



Nr C 584
April 2021

Nationell luftövervakning

Sakrapport med data från övervakning inom Programområde Luft t.o.m 2019

Malin Fredricsson, Helena Danielsson, Katarina Hansson, Gunilla Pihl Karlsson, Michelle Nerentorp, Annika Potter (IVL), Hans Christen Hansson, Hans Areskoug, Peter Tunved (ACES), Johan Mellqvist (Chalmers), Bodil Lindström, Therese Nanos (SLU), Sandra Andersson, Thomas Carlund och Wing Leung (SMHI)



NATIONELL
MILJÖÖVERVAKNING
PÅ UPPDRAG AV
NATURVÅRDSVERKET

Författare Malin Fredricsson, Helena Danielsson, Katarina Hansson, Gunilla Pihl Karlsson, Michelle Nerentorp, Annika Potter (IVL), Hans Christen Hansson, Hans Areskoug, Peter Tunved (ACES), Johan Mellqvist (Chalmers), Bodil Lindström, Therese Nanos (SLU), Sandra Andersson, Thomas Carlund och Wing Leung (SMHI)

Medel från: Naturvårdsverket

Fotograf: Pixabay

Rapportnummer C 584

ISBN 978-91-7883-267-5

Upplaga Finns endast som PDF-fil för egen utskrift

© **IVL Svenska Miljöinstitutet 2021**

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



NATIONELL
MILJÖÖVERVAKNING
PÅ UPPDRAG AV
NATURVÅRDSVERKET

ÄRENDENUMMER NV-03101-21
PROGRAMOMRÅDE Luft
DELPROGRAM Samtliga delprogram i
Programområde Luft

Nationell luftövervakning, Sakrapport med data från övervakning inom Programområde Luft t.o.m 2019

Rapportförfattare Malin Fredricsson, Helena Danielsson, Katarina Hansson, Gunilla Pihl Karlsson, Michelle Nerentorp, Annika Potter (IVL), Hans Christen Hansson, Hans Areskoug, Peter Tunved (ACES), Johan Mellqvist (Chalmers), Bodil Lindström, Therese Nanos (SLU), Sandra Andersson, Thomas Carlund och Wing Leung (SMHI)	Utgivare IVL Svenska Miljöinstitutet Postadress Box 210 60 100 31 Stockholm Telefon 010-788 6500
Rapporttitel och undertitel Nationell luftövervakning Sakrapport med data från övervakning inom Programområde Luft t.o.m 2019	Beställare Luftenheten Naturvårdsverket 106 48 Stockholm Finansiering Nationella miljöövervakningen Programområde Luft
Nyckelord för plats Sverige	
Nyckelord för ämne Sakrapporten, Programområde luft, luftkvalitet, halter, nedfall, deposition, svavel, kväve, partiklar, marknära ozon, metaller, organiska miljögifter, pesticider, ozonskikt, UV-strålning, Svalbard, mätning, modellering, regional bakgrund.	
Tidpunkt för insamling av underlagsdata 2018 – 2019 (även tidigare års mätningar redovisas)	
Sammanfattning Naturvårdsverket ansvarar för den nationella luftövervakningen i bakgrundsmiljö i Sverige. I rapporten redovisas resultat från verksamheten inom Programområde Luft avseende mätningar (genomförda av IVL, SU, SLU och SMHI) till och med 2019 och regionala modellberäkningar (utförda av SMHI) till och med 2018. För flertalet av de luftföroreningskomponenter som övervakas inom den nationella miljöövervakningen har det, sedan mätningarna startade för mellan 20 och 40 år sedan, generellt sett skett en avsevärd förbättring avseende såväl halter i luft som deposition i bakgrundsmiljö. Utvecklingen har dock varierat i något olika utsträckning beroende på komponenter och lokalisering i landet. Föroreningsbelastningen är oftast lägre ju längre norrut i landet man kommer. För de flesta ämnen som det finns miljökvalitetsnormer (MKN) respektive miljömål för ligger halterna i regional bakgrund avsevärt lägre än angivna gräns- och målvärden. Halterna av ozon överskrider dock i dagsläget (2019) MKN för hälsa.	

Förkortningar

ACTRIS	<i>Aerosols, Clouds, and Trace gases Research InfraStructure network</i>
CLRTAP	<i>Convention on Long-Range Transboundary Air Pollution</i>
EMEP	<i>European Monitoring and Evaluation Programme Co-operative programme for monitoring and evaluation of the long range transmission of air pollutants in Europe inom UNECE</i>
EUBREWNET	<i>European Brewer ozone spectrophotometer Network</i>
FMI	<i>Finska Meteorologiska Institutet</i>
FTIR	<i>Fourier Transform Infra Red</i>
GAW	<i>Global Atmosphere Watch</i>
HELCOM	<i>Helsingfors Kommissionen</i>
IM	<i>Integrerad Monitoring (delprogram inom Programområde Skog)</i>
IMM	<i>Institutet för Miljömedicin</i>
IVL	<i>IVL Svenska Miljöinstitutet AB</i>
LNKN	<i>Luft- och nederbördskemiska nätet</i>
MATCH	<i>Multi scale Atmospheric Transport and Chemistry modeling system</i>
MKN	<i>Miljö kvalitetsnorm</i>
NDACC	<i>Network for Detection of Atmospheric Composition Change</i>
NILU	<i>Norsk Institutt for Luftforskning</i>
NV	<i>Naturvårdsverket</i>
OSPAR	<i>The Oslo and Paris Conventions for the protection of the marine environment of the North-East Atlantic</i>
SECA	<i>Utsläppskontrollområde (Emission Control Area, ECA) är ett område till sjöss där man beslutat om obligatoriska metoder för att minska fartygsgenererade luftutsläpp av NO_x, SO_x och partiklar. Östersjön, Nordsjön och Engelska kanalen är ett svavelkontrollområde (SECA).</i>
SLU	<i>Sveriges lantbruksuniversitet</i>
SMED	<i>Svenska MiljöEmissionsData</i>
SMHI	<i>Sveriges Meteorologiska och Hydrologiska Institut</i>
SSM	<i>Strålsäkerhetsmyndigheten</i>
SU	<i>Stockholms universitet</i>
SWEDAC	<i>Styrelsen för ackreditering och teknisk kontroll</i>
WMO	<i>World Meteorological Organization</i>
WOUDC	<i>The World Ozone and Ultraviolet Radiation Data Centre</i>

Innehållsförteckning

Sammanfattning.....	7
Summary	17
1. Inledning	26
2. Försurande och övergödande ämnen i luft och nederbörd	27
2.1. Resultat Försurande och övergödande ämnen	30
2.1.1. Halter i luft – försurande och övergödande ämnen	30
2.1.2. Nedfall och nederbördsmängder – försurande och övergödande ämnen	46
3. Partiklar i luft	64
3.1. Resultat Partiklar	65
3.1.1. PM ₁₀ och PM _{2,5}	65
3.1.2. Partikelbundna organiska ämnen och sot.....	68
3.1.3. PM _{2,5} tätort	72
4. Marknära ozon.....	74
4.1. Resultat Marknära ozon	75
4.2. Resultat Volatila organiska ämnen (VOC).....	79
4.2.1. Ozonbildande VOC uppmätta i urban bakgrundsluft i Göteborg.....	79
4.2.2. Bensen, toluen, etylbensen och xylener (BTEX) i bakgrundsluft	82
5. Metaller i luft och nederbörd samt mossor	84
5.1. Resultat Metaller	86
5.1.1. Luft – metaller.....	86
5.1.2. Deposition - metaller	91
5.1.3. Källutvärdering.....	93
5.1.4. Mossor – metaller	96
6. Organiska miljögifter i luft och nederbörd	105
6.1. Resultat Organiska miljögifter	106
6.1.1. Organiska miljögifter i luft och deposition.....	106
6.1.2. Pesticider (reglerade inom internationella konventioner och EU-direktiv).....	113
6.1.3. Bromerade flamskyddsmedel	121
6.1.4. Per- och polyfluorerade ämnen (PFAS).....	124
6.1.5. Polyklorerade dibensodioxiner och furaner (PCDD/PCDF)	128
6.1.6. Klorparaffiner	130
7. Pesticider i luft och nederbörd	132
7.1. Resultat Pesticider i luft och nederbörd.....	133
7.1.1. Pesticider i nederbörd.....	134
7.1.2. Pesticider i deposition.....	137
7.1.3. Pesticider i luft	138
7.1.4. Pesticider i vinterprover av luft och nederbörd.....	140
8. Ozonskiktets tjocklek	143
8.1. Resultat Stratosfäriskt ozon	144
9. Ozonnedbrytande ämnen.....	147
9.1. Resultat	148

9.1.1.	Halogener.....	148
9.1.2.	Ozon.....	151
9.1.3.	Kväveinnehållande stratosfäriska gaser.....	151
9.1.4.	Klimat- och atmosfärskemiska gaser.....	152
10.	Mätningar på Svalbard.....	156
10.1.	Aerosolens storleksfördelning i Arktis 2000-2019.....	156
11.	Modellresultat av försurande och övergödande ämnen samt marknära ozon	162
11.1.	Årlig kartläggning med MATCH - Sverigesystemet.....	162
11.1.1.	Meteorologiska år.....	163
11.2.	Halter i luft.....	165
11.2.1.	Halter i luft av svavel och kväve.....	165
11.2.2.	Halter av marknära ozon.....	173
11.3.	Deposition	175
11.3.1.	Deposition av svavel och kväve	175
11.3.2.	Deposition av baskatjoner	183
11.3.3.	Deposition av ozon till skog och grödor.....	188
12.	Delprogram STRÅNG UV-indikator	191
12.1.	Resultat	192
12.1.1.	Kartläggning av solstrålning via STRÅNG	192
13.	Tack.....	196
14.	Referenser.....	197
Bilaga I	Metoder och kvalitetssäkring.....	1
Mätningar	1	
Metodik	1	
Kvalitetssäkringsrutiner	1	
Modellberäkningar	2	
Metodik	2	
Kvalitetssäkringsrutiner	3	
Datalagring.....	5	
Referenser.....	6	
Bilaga II	Beskrivning av mätprogram för metaller, organiska miljögifter och pesticider	1
Metaller inom EMEP	1	
Organiska miljögifter.....	2	
Växtskyddsmedel (pesticider) i luft och nederbörd.....	4	
Bilaga III	Beskrivning av modellberäkningar	1

Sammanfattning

Naturvårdsverket ansvarar för den nationella luftövervakningen i bakgrundsmiljö. I rapporten redovisas resultat från verksamheten inom Programområde Luft avseende mätningar (genomförda av IVL Svenska Miljöinstitutet (IVL), Institutionen för Miljövetenskap vid Stockholms universitet (SU), Institutionen för Mark och Miljö vid Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) och Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (SMHI) till och med 2019 och regionala modellberäkningar (utförda av SMHI) till och med 2018.

För flertalet av de luftföroreningskomponenter som övervakas inom den nationella miljöövervakningen har det, sedan mätningarna startade för mellan 20 och 40 år sedan, generellt skett en avsevärd förbättring avseende såväl halter i luft som deposition i bakgrundsmiljö. Utvecklingen har dock varierat i något olika utsträckning beroende på komponenter och lokalisering i landet. Föroreningsbelastningen är oftast lägre ju längre norrut i landet man kommer.

För de flesta ämnen som det finns miljö kvalitetsnormer (MKN) respektive miljömål för ligger halterna avsevärt lägre än angivna gräns- och målvärden. Halterna av marknära ozon överskrider i dagsläget (2019) MKN för hälsa. För såväl ozon, partiklar (i form av $PM_{2.5}$) och bensen (i urban bakgrund) finns risk för halt nivåer som överstiger miljömålets preciseringar.

Försurande och övergödande ämnen

Mätningar av försurande och övergödande ämnen genomförs vid 4 mätplatser inom EMEP, där både lufthalter och nederbördskemi övervakas. Inom Luft- och Nederbördskemiska nätet genomförs lufthaltmätningar vid 9 mätplatser och nederbördskemimätningar vid 15 mätplatser. Inom Krondroppsnetet-NV övervakas nederbördskemi vid 18 mätplatser samt torrdeposition vid 10 mätplatser. Utöver dessa mätningar sker det inom Krondroppsnetet-NV även mätningar av krondropp, markvattenkemi och lufthalter vid 2 mätplatser.

Den luftföroreningsrelaterade belastningen på miljön har under de senaste årtiondena minskat kraftigt till följd av internationella överenskommelser om att begränsa utsläppen av bland annat svavel- och kväveoxider samt av strukturella förändringar inom industrin.

Luft

Halter av svavel- och kväveföreningar i luft 2018 och 2019

Uppmätta årsmedelhalter av svaveldioxid visar inte på några större skillnader mellan 2018 och 2019. De högsta halterna förekom under dessa år i sydöstra Sverige, men även längre norrut, längs Norrlandskusten, uppmättes något förhöjda halter under 2018. De högsta årsmedelhalterna av kvävedioxid uppmättes under 2018 och 2019 i södra Sverige, då ofta vid kustnära stationer. Vid EMEP-stationerna Bredkälen, Råö, Hallahus och Norunda mäts, förutom lufthalter av svaveldioxid och kvävedioxid, även halter av sulfat, nitrat och ammonium. Ammoniak mäts vid mätstationerna Storulvsjön, Ottenby samt i Hallahus. Generellt visar alla mätningar på att lufthalterna är högre i södra Sverige jämfört med i norra Sverige.

Modellering med MATCH-Sverigesystemet

Modellering av regionala lufthalter utförs med MATCH-Sverigesystemet genom att kombinera observationer och modelldata till en nationell kartläggning, där mätningar och modeller kompletterar varandra i syfte att uppnå ett förbättrat kunskapsläge. Med hjälp av modellering kan föroreningshalterna i Sverige dessutom delas upp i halter orsakade av svenska emissioner och halter orsakade av emissioner utanför Sverige.

Modelleringen visar att för reducerat kväve i luft varierade årsmedel av totalhalten för 2018 mellan som högst $1,68 \mu\text{g N/m}^3$ i söder och som lägst $0,01 \mu\text{g N/m}^3$ i nordligaste Sverige. För kvävedioxid

varierade årsmedelhalten för regional bakgrund mellan som lägst 0,07 i Norrlands inland och som högst i södra Sverige och Stockholmsregionen, med maxvärde 2,52 µg N/m³. Koncentrationen av svaveldioxid år 2018 varierade mellan 0,02 och 1,12 µg S/m³. Under 2018 orsakade de svenska emissionerna i genomsnitt 56 % av totalhalterna för SO₂ över svenska landområden. Motsvarande siffror för NO₂ och reducerat kväve beräknas båda till 57 %.

Tidsserier för halter av svavel- och kväveföreningar i luft

Jämförelser mellan de olika regionernas (norra, sydöstra och sydvästra Sverige) tidsserier för svaveldioxid och kvävedioxid visar att halterna i luft är högre i de sydligaste delarna av Sverige. Minskningen av halter av svaveldioxid och kvävedioxid i luft följer generellt minskningen av emissioner av dessa luftföroreningar.

Tidsserier för sulfat i luft följer samma trend som minskningen av svaveldioxid i luft. Även för nitrat och ammonium ses en minskning av halterna i luft i sydöstra och sydvästra Sverige, dock inte lika tydlig som för svavelföreningarna. Halten av nitrat och ammonium i norra Sverige ligger på en betydligt lägre nivå jämfört med de sydliga delarna av Sverige, och någon minskning kan knappast ses för denna del av landet.

En signifikant minskning av svaveldioxid i luft ses endast vid en av mätstationerna i norra Sverige, medan en signifikant minskning för mätstationerna i sydöstra och sydvästra Sverige ses för nästan alla undersökta tidsserier. Trendanalysen för kvävedioxidhalt i luft visar på signifikanta minskningar vid samtliga mätstationer, förutom Hoburgen, den enda mätstationen i sydöstra Sverige som ingår i analysen. Där har ingen signifikant förändring av kvävedioxidhalten i luft observerats under den analyserade perioden.

Trendanalyser för sulfat, nitrat och ammonium visar att halterna i luft av dessa svavel- och kväveföreningar har minskat signifikant förutom för nitrathalt i luft vid Breckälven.

Klorid, natrium, magnesium, kalcium och kalium i luft

Generellt uppvisar haltnivåerna av klorid, natrium, magnesium, kalcium och kalium samma avtagande gradient från söder till norr som för övriga mätta parametrar. Att halterna av speciellt klorid, natrium och magnesium är högst vid Råö beror på att stationen är belägen nära havet på västkusten. Mellanårsvariationen är ganska stor, och någon statistisk signifikant trend finns inte för någon av parametrarna.

Nederbörd och deposition

Nedfall via nederbörden av svavel och kväve under 2018 och 2019

Svavelnedfallet med nederbörden (utan havssaltsbidrag) var mycket lågt under både 2018 och 2019. Högst svavelnedfall under de båda åren uppmättes i södra Sverige, med cirka 2–3 kilo per hektar.

Kvävenedfallet med nederbörden var högre 2019 jämfört med de närmast föregående åren men var fortfarande generellt lågt. Under både 2018 och 2019 uppmättes högst kvävenedfall med nederbörden i Halland, cirka 10 kilo per hektar.

Tidsserier för nederbördsmängder, pH i nederbörden samt svavel- och kvävenedfall med nederbörden

De 15 mätplatserna inom LNKN och de 18 mätplatserna inom Krondroppsnätet-NV har indelats i tre olika områden: norra, sydöstra och sydvästra Sverige, med vardera 11 mätplatser per område.

Nederbördsmängderna varierar relativt kraftigt mellan år och mätplats. Generellt har nederbördsmängderna varit högst i sydvästra Sverige, följt av norra Sverige och sydöstra Sverige. Nederbördsmängden spelar ofta en stor roll för nedfallet av flertalet ämnen, men även koncentrationen av ett ämne är viktigt.

I takt med att försurande utsläpp har minskat har pH-värdena i nederbörden ökat. Mätningarna visar att pH idag oftast är över 5, men pH i nederbörden påverkas lätt av olika joner, vilket gör att om det exempelvis finns mycket basiskt ammonium i nederbörden så blir pH högre.

Årsvist nedfall av sulfatsvavel utan havssaltsbidrag med nederbörden har under senare år varit mycket låga vid mätplatserna i Sverige, mellan 0,5 och 3,5 kg/ha. Det högsta svavelnedfallet med nederbörden förekommer i sydvästra Sverige och det lägsta i norra Sverige. Under 1980-talet var svavelnedfallet med nederbörden över 10 kg/ha i sydvästra Sverige, och det totala svavelnedfallet via krondropp, inklusive torrdepositionen, kunde vara upp mot 35 kg/ha i södra Sverige.

Generellt har det oorganiska kvävenedfallet med nederbörden varit under 5 kg/ha i de norra delarna av Sverige sedan början av 2000-talet. Under de senaste åren har kvävenedfallet med nederbörden i norra Sverige varit betydligt lägre, mellan 0,5 och 3,5 kg/ha. I de sydöstra delarna av Sverige har kvävenedfallet med nederbörden sedan mätstarten oftast varit under 10 kg/ha för att minska till cirka 2–5 kg/ha under de senaste åren. Allra högst kvävenedfall med nederbörden har det varit i de sydvästra delarna av Sverige, vissa år upp mot 20 kg/ha. Under 2010-talet har kvävenedfallet med nederbörden varierat mellan drygt 2–15 kg/ha i sydvästra Sverige. Det totala kvävenedfallet är dock betydligt högre än bara nedfallet med nederbörden.

En statistisk trendanalys visar att minskningen av såväl sulfatsvavel som oorganiskt kväve med nederbörden är på en jämförbar nivå med minskningen av motsvarande emissionerna från både EU-28 och från Sverige. Avseende kväve är det främst nedfallet av nitratkväve med nederbörden som minskat.

Totaldeposition av oorganiskt kväve och oxiderat svavel

Mätningarna av nedfall med nederbörden över öppet fält inkluderar främst våtdeposition. Det totala nedfallet av kväve mäts och beräknas med hjälp av mätningar med strängprovtagare och bulkprovtagare som sker på öppet fält tillsammans med närliggande mätningarna av krondropp. Analysen visar att för Sverige som helhet, samt för de tre indelade områdena, finns en statistiskt signifikant minskning av det totala kvävenedfallet mellan 2001 – 2018.

Mängden totaldeposition (våt och torr) till olika marktyper har också beräknats med modellsystemet MATCH-Sverige. Modelleringen visar att största depositionen av reducerat kväve sker i södra Sverige och minst deponeras i norra Norrlands inland. Det svenska bidraget beräknas vara lite lägre i Mälardalen, Skåne, Västergötland och Norrlandskusten under 2018 än 2017. Totaldepositionen över Sverige varierade mellan 20 och 430 mg N/m² under 2018. Liknande mönster syns för oxiderat kväve, och för 2018 varierade totaldepositionen mellan 24 och 409 mg N/m².

Den beräknade totaldepositionen av oxiderat svavel exklusive havssalt (XSO_x) för år 2016 - 2018 var lägst av alla år som visas (1998 - 2018). Längst kusterna är depositionen lägre på grund av SECA-områdets krav på lägre svavelhalter i marina bränslen efter år 2015. Det svenska bidraget är ungefär detsamma för de tre åren, vilket indikerar att långdistanstransporten orsakat minskningen av totaldeposition. Totaldepositionen av oxiderat svavel utan havssalt varierade mellan 31 och 489 mg S/m² år 2018.

Partiklar

PM_{2.5} är generellt lägst under sommarhalvåret. Vintertid är haltnivån, framför allt i södra Sverige, betydligt högre. I både den regionala och urbana bakgrunden avtar medelhalten avseende PM_{2.5} norrut i landet, och är i urban bakgrund i södra Sverige (Burlöv, Stockholm) i samma storleksordning som i den regionala bakgrunden. I norra Sverige (Umeå) är halten högre i tätort än på landsbygd. Att halterna är högre i södra Sverige beror på närheten till källområdena i Centraleuropa. Den genomsnittliga exponeringsindikatorn visar att Sverige uppnår de krav som EU ställt på en acceptabel exponeringsnivå.

Halten av PM₁₀ i den regionala bakgrunden är ungefär 15 µg/m³ i södra Sverige (Vavihill/Hallahus och Råö), ungefär 8 µg/m³ i Mellansverige (Aspvreten, Norunda och Norr Malma) och 3 – 4 µg/m³ i norra Sverige (Bredkålen). Att halterna är högre i södra Sverige beror på närheten till källområdena i Europa.

Vid stationerna i Mellansverige har årsmedelvärdet av PM₁₀ sjunkit från nästan 20 µg/m³ i början av 1990-talet till under 10 µg/m³ i dag. Den minskande trenden har avstannat sedan 2010. Även på de övriga stationerna ser trenden ut på ungefär samma sätt. På Vavihill/Hallahus och Råö tycks dock halten ha minskat även under de senaste åren. På Bredkålen, den nordligaste stationen, syns ingen trend sedan mätstart 2009.

Halten av PM_{2.5} i den regionala bakgrunden är 6-7 µg/m³ i södra Sverige (årsmedelvärde, Vavihill), 3 – 4 µg/m³ i mellersta Sverige (Råö, Norr Malma, Norunda och Aspvreten) och 1-2 µg/m³ i norra delen av landet (Bredkålen).

PM_{2.5} i östra Svealand har sedan 1998 sjunkit från 11-12 µg/m³ (på Aspvreten) till cirka 4 µg/m³ (på Norunda och Norr Malma) i dag. Det är framförallt under perioden 2000 – 2010 som halten sjunkit, därefter verkar minskningen avstannat. Trenden på de övriga stationerna i andra delar av landet överensstämmer väl med den på Aspvreten.

Halten av organiskt kol (OC) i PM₁₀-fraktionen är i södra och mellersta delen av Sverige (Vavihill och Aspvreten) ungefär 1,5 µg/m³ utan någon tydlig årstidsvariation. Halten har varit i stort sett oförändrad sedan mätstart 2008.

Årsmedelvärdena av sot mätt som elementärt kol, EC, har sedan 2008 legat i intervallet 0,1 till 0,3 µg/m³. På Aspvreten har halterna sjunkit, men den tendensen syns inte på Vavihill/Hallahus. Observera att data för 2017 - 2019 saknas från Vavihill/Hallahus. Halterna i Norunda 2018 och 2019 är i samma storleksordning som de som uppmättes vid Aspvreten.

Halten av elementärt kol har en tydlig årstidsvariation. Månadsmedelvärdena av EC är drygt två gånger högre under vintern (0,25 - 0,30 µg/m³) än under sommaren (0,10 - 0,15 µg/m³). Sot bestämt som 'black carbon', BC, ger resultat som överensstämmer väl med de för elementärt kol, EC.

Marknära ozon

Halten av ozon styrs i stor utsträckning av de meteorologiska förutsättningarna, och för medelbelastningen av ozon finns det varken någon tydlig tidsmässig trend eller någon geografisk gradient över landet. Antalet höghaltstillfällen är dock generellt betydligt fler i södra än i norra Sverige, vilket återspeglas i såväl 8-timmarsmedelvärdet (MKN för hälsa) som AOT40 (MKN för växtlighet). Ozonhalten under sommaren 2018 påverkades starkt av det varma och soliga vädret.

Under 2019 uppmättes ett överskridande av timmedelhalten över informationsnivån (180 µg/m³) och under 2018 tangerades detta värde en gång. Miljömålet för timme (80 µg/m³) såväl som MKN för 8-timmarsmedelvärdet (120 µg/m³) överskreds vid flera av mätstationerna under båda dessa år.

Modellerade dygnsöverskridanden över miljömålets precisering (70 µg/m³ glidande 8 – timmarsmedelvärde) av marknära ozon visar att 2018 hade fler överskridanden än 2016 och 2017 i hela landet. Flest överskridanden inträffade runt väst- och sydkusten, Gotland samt Norrlands inland. Jämfört med maximum över perioden 1990 - 2013 var 2018 ganska likt det maximala året för överskridande av 70 µg/m³ för nästan hela Sverige.

Överskridanden av 120 µg/m³ (som 8-timmarsmedelvärde) skedde de främst i södra Sverige under 2018, med i genomsnitt 10 - 20 dagars överskridande. Överskridanden i Blekinge och Upplands region skedde också 10 - 20 dagar samt en stor del av norra Norrland med 5 - 6 dagars överskridande. För

överskridanden över 120 µg/m³ var medel över perioden 1990 - 2013 lågt i norr (upp till 2 dygn) och högre i söder (ca 4 - 15 dygn). Det innebär att 2018 var ett extremår för höga halter av marknära ozon i hela Sverige.

Måttet AOT40, som indikerar vegetationspåverkan på grödor respektive skog, var markant högre under 2018 än 2016 och 2017, och störst påverkan var det vid västkusten, Skåne och Blekinge. AOT40 för grödor hade 2018 ett värde som var något högre än medel över perioden 1990 - 2013, medan 2016 och definitivt 2017 var lägre än medelåret. AOT40 för skog var markant högre i nästan hela landet under 2018 jämfört med medlet över perioden. Trenden över 1990 - 2013 var minskande överallt utom i norra Norrland för både grödor och skogseffekter. Skillnaderna mellan åren 2016 - 2018 kan förklaras av meteorologisk variabilitet, medan den långsiktiga trenden framför allt kan tillskrivas utsläppsminskningar i Europa och Nordamerika, och utsläppsökningar i Asien.

Modellering med MATCH-Sverigesystemet

Under 2016 implementerades ozondeposition till växter (ozonupptag), PODY för generisk lövskog (POD1_{gen-lövskog}) och generiska grödor (POD3_{gen-grödor}) i MATCH-Sverigesystemet. För åren 2013-2018 framträder det en kraftig gradient från fjällområdena i nordväst, där värdena är mycket låga, till sydligaste Sverige, där värdena är högre för både POD1_{gen-lövskog} och POD3_{gen-grödor}. AOT40 för skog var markant högre i nästan hela landet under 2018 jämfört med de andra åren, POD1_{gen-lövskog} däremot har ungefär samma gradient för alla åren, men med lite högre värden vid södra kusten under 2018. Att variationen över Sverige och år-till-årvariation skiljer sig mellan PODY och AOT40 illustrerar vikten av att även ta hänsyn till de fysikaliska processer som påverkar ozonupptagandet i utvärdering av uppnådda miljömål.

Under 2019 implementerades PODY för björk, gran, vete och potatis i modellsystemet MATCH-Sverige, och PODY för generiska grödor och lövskog uppdaterades. POD1_{spec-björk} samvarierar med POD1_{gen-lövskog} över åren (2013 - 2018), förutom att värdena är lite högre på grund av en längre vegetationsperiod för björk och att björk, jämfört med generiskt lövträd, har en större maximal klyvöppningskonduktans. För POD1_{spec-gran} är gradienten och värdena liknande POD1_{gen-lövskog}. När det gäller POD6_{spec-vete} så är det rumsliga mönstret likt POD3_{gen-grödor}, värdena är lägre för att en högre ozonhaltströskel används för vete. Det rumsliga mönstret och år till år-variabiliteten för POD6_{spec-potatis} är likt POD6_{spec-vete}. Värdena för POD6_{spec-potatis} är något lägre än POD6_{spec-vete} på grund av skillnader i beskrivningen av växtsäsongen.

Flyktiga organiska ämnen (VOC)

Sedan 2004 har det i urban bakgrundsluft i Göteborg under sex mätveckor per år utförts timbaserade mätningar av så kallade ozonbildande VOC. Sedan 2009 har också en veckomedelhalt per månad av bensen, toluen, etylbensen och xylener (BTEX) uppmätts vid bakgrundsstationen Råö.

Halterna för de flesta VOC:er är generellt högst under november till mars, d.v.s. under den kallare tiden av året. Orsakerna till årstidsvariationen är sannolikt att utsläppen från olika typer av förbränning är större under den kallare tiden av året, men även att blandningsskiktet i den lägre delen av atmosfären är lägre under vintermånaderna. Ingen årstidsspecifik variation av fördelningen mellan mer eller mindre flyktiga VOC påvisades för 2009–2019, de mest volatila ämnena stod för den största andelen under alla årstider.

Under 2018-2019 var ingen uppmätt veckomedelhalt av bensen på mätplatsen i Göteborg högre än miljö kvalitetsnorm (MKN) eller preciseringen av det nationella miljömålet. Det var endast en av de uppmätta veckomedelhalterna från mätplatsen vid Råö som var högre än preciseringen av det nationella miljömålet. Detta indikerar att MKN och miljömål för bensen, vilka båda anges som årsmedelhalt, inte överskreds på dessa platser.

Under samtliga mätveckor 2018–2019 var uppmätta veckomedelhalter av 1,3-butadien på mätplatsen i Göteborg lägre än det nationella miljömålet, vilket indikerar att målet uppfylls också på årsbas.

Metaller i luft och deposition

Metaller i luft och deposition mäts vid fyra bakgrundsstationer i Sverige (Vavihill/Hallahus, Råö, Aspvreten (sen 2018 flyttad till Norunda), Bredkålen) och vid en bakgrundsstation i norra Finland (Pallas). De metaller som mäts är: arsenik (As), kadmium (Cd), kobolt (Co), krom (Cr), koppar (Cu), nickel (Ni), mangan (Mn), bly (Pb), vanadin (V) och zink (Zn).

Kvicksilver mäts i luft och deposition vid tre av de svenska mätstationerna (Vavihill/Hallahus, Råö, Bredkålen) och vid Pallas. De kvicksilverspecier som mäts i luft är totalt gasformigt kvicksilver (TGM) och totalt partikulärt kvicksilver (TPM). Under 2018 mättes kvicksilverspecier i luft på Råö med en automatisk metod (med timupplösning) från april till december. I deposition mäts total mängd kvicksilver.

Många av de uppmätta metallerna har utsläppskällor såsom metallverk, stålverk, eldning av fossila bränslen. Halterna av tungmetaller i luft och nederbörd är, med viss reservation för kvicksilver, lägre i Sverige än i många andra jämförbara EU-länder, främst till följd av vår nordliga position och våra förhållandevis låga inhemska emissioner. Eftersom kvicksilver huvudsakligen uppträder som en gas, med lång uppehållstid i atmosfären, har metallen ett delvis annorlunda spridningsmönster än övriga tungmetaller. Numera är halterna av kvicksilver i luft och nederbörd i södra Sverige och i stora delar av Europa ungefär lika höga.

Mätningarna visar att metallhalter i luft överlag är lägst vid de nordligare stationerna Bredkålen och Pallas. Högst årsmedelvärden av metaller i luft har uppmätts vid Råö och Aspvreten/Norunda. En ökning av metallhalter i luft observerades under 2018 vid främst den sydligaste stationen Vavihill/Hallahus, men även för vissa metaller vid Råö och /AspvretenNorunda. Annars observerades fram till 2017 en nedåtgående trend. Vad denna ökning år 2018 berodde på är inte utrett, men kan, som för kvicksilver, ha orsakats av lufttransport från källor i Europa.

De nedre utvärderingströsklarna avseende MKN för årsmedelvärden av tungmetaller i luft, för skydd för människors hälsa, har inte överskridits vid någon av de fem stationerna sedan mätningarna startades.

Depositionen för flertalet metaller uppvisade en ökning vid flertalet stationer under 2019, främst vid Vavihill/Hallahus.

Metaller i mossa

Belastningen av metaller i miljön har, genom undersökning av förekomsten i mossa, mätts vart femte år sedan 1975.

Sammanfattade resultat från undersökningen 2015

En generell syd-nordlig gradient kan ses för de flesta av de analyserade metallerna, med de högsta koncentrationerna i södra och sydvästra Sverige. Koncentrationen av arsenik, bly, kadmium, koppar, krom, kvicksilver, zink och kobolt var lägre i prover från fjälltrakterna och från norra Sveriges inland jämfört med norra Sveriges kustland och övriga delar av landet. Lokalt förhöjda metallkoncentrationer, på grund av emissioner från lokala utsläppskällor, bryter dock ibland detta generella mönster.

Jämförelse mot år innan 2015 samt resultat från trendanalyser

För bly, kadmium, kvicksilver, nickel, vanadin, aluminium och kobolt visade variansanalys att medelkoncentrationen i mossor för hela Sverige var lägre 2015 jämfört med 2010. För arsenik, koppar och krom visade variansanalys att medelkoncentrationen i mossor för hela Sverige 2015 var högre jämfört med 2010. För övriga metaller fanns ingen statistiskt säkerställd skillnad mellan 2015 och 2010.

Mellan 1975 och 2015 har metallkoncentrationen i mossor i Sverige minskat signifikant för samtliga metaller som ingått i trendanalysen. Den största minskningen har noterats för bly. Den enda metall för vilken ingen signifikant minskning har kunnat ses för den senaste 40-årsperioden är krom i mossprover insamlade i norra Sveriges kustland.

För Sverige som helhet har metallkoncentrationen i mossor inte minskat i samma utsträckning under 25-årsperioden 1990 - 2015 som för perioden 1975 - 2015. Endast bly, kadmium, nickel och vanadin visade på en statistiskt signifikant minskning som medelvärde för Sverige som helhet under perioden 1990 - 2015.

Organiska miljögifter

PAH-halterna i luft har inte visat någon tydlig minskning sedan starten av mätningarna. Detta har också visats genom trendanalys för Råö och Pallas. Halterna av PCB och klorerade pesticider i bakgrundsluft har generellt minskat vid samtliga stationer sedan mätningarna startade 1996. De senaste fem till åtta åren har dock ingen minskning observerats, utan halterna ligger på ungefär samma nivåer.

Under perioden 2009 till 2019 har halterna av PAH, PCB och DDT i luft och deposition varit högre i södra Sverige jämfört med i norra Finland (Pallas). Lufthalterna av α -HCH och klordaner har inte visat någon geografisk skillnad, vilket också gäller för depositionen. Halterna av α -HCH i luft vid Pallas är i samma storleksordning som mätt i arktiska områden.

Endosulfan (α -, β -endosulfan, endosulfan-sulfat) förekommer i samtliga luft- och depositionsprover vid både Råö och Pallas. Vid Råö detekterades en årstidsvariation med högre deposition på sommaren.

Pesticiderna aldrin och heptaklor, vilka mäts vid Råö, har endast kunnat detekteras i enstaka luft- och depositionsprover. Dieldrin, som började mätas vid Råö 2016, har detekterats mer frekvent i luft men endast i enstaka depositionsprover.

Sedan starten av mätningarna har halterna av BDE (47, 99, 100) i luft och deposition generellt minskat vid samtliga stationer. Dock förekommer en mellanårsvariation. BDE 85, 153, 154, 209 har endast detekterats vid enstaka tillfällen. HBCDD-halterna har generellt varit låga vid både Pallas och Råö.

Mätningarna av PFAS i luft och nederbörd startade 2009 vid Råö. Ingen trend har observerats för PFAS i luft, dock har halterna av PFOS och PFOA i nederbörd varit lägre under de senaste åren. Programmet utökades i juli 2017 med fler ämnen och stationer. Resultaten visar en geografisk skillnad, med högre lufthalter vid Råö jämfört med vid Pallas.

Under 2009-2019 har vid de flesta tillfällen uppmätts högre halter dioxiner/furaner i luften på svenska västkusten (Råö) jämfört med östkusten (Aspvreten/Norunda). Halterna av klorparaffiner (SCCP och MCCP) i luft har tvärtemot oftast varit högre vid Aspvreten. Klorparaffiner i deposition har dock varit högre vid Råö.

Mätresultaten visar att åtgärder såsom användningsförbud medför att halter i luft och deposition långsiktigt minskar. PCB förekommer dock fortfarande i bakgrundsluft, trots att användningen för länge sedan stoppats. Minskningen av PCB-halterna går långsamt, vilket visar att det i samhället och i ekosystem skett en upplagring av PCB. Vad gäller t.ex. PBDE syns en tydlig nedgång av halterna, den

snabba minskningen är en effekt av att dessa ämnen har förbjudits inom EU samt att de listats under Stockholmkonventionen.

Växtskyddsmedel (pesticider)

Högre halter och fler substanser av växtskyddsmedel har påträffats i nederbörd från Vavihill/Hallahus i sydligaste Sverige jämfört med i nederbörd från Aspvreten/Norunda som ligger längre åt nordost. Skillnaden mellan lokalerna beror på att Vavihill/Hallahus ligger betydligt närmare stora jordbruksområden, både i Sverige och på kontinenten, jämfört med Aspvreten/Norunda. För båda platserna gäller att knappt hälften av de substanser som oftast har påträffats i nederbörden inte har varit godkända för användning i Sverige under de åren undersökningen pågått. Den samlade depositionen av pesticider vid Vavihill/Hallahus har varit varierande under åren, med lägsta deposition under torkan 2018 och högsta deposition 2019. Vid Aspvreten/Norunda ligger depositionen ca en tiopotens lägre. I luftprov från Vavihill/Hallahus påträffas i stor utsträckning samma substanser som i nederbördsproven. Vintern 2017/18 samt 2018/19 gjordes en vinterprovtagningsskampanj i Hallahus. Prosulfokarb påträffades i förhöjda halter i november i både luft och nederbörd. I ett specialprojekt analyserades även glyfosat och AMPA i ett visst antal prover i nederbörd och luft (filter). Glyfosat påträffades i alla filterprover, samt i låga halter i nederbördsprover från Hallahus.

Stratosfäriskt ozon

Mängden av ozon i stratosfären över Sverige varierar ofta kraftigt från dag till dag, och uppvisar även en tydlig årlig cykel. Dessa variationer beror i huvudsak på storskaliga variationer i hur luften i stratosfären rör sig men även på att kemiska reaktioner både bildar och bryter ner ozon. Överlagrat på detta finns en långsiktig trend som beror på att människans utsläpp av ozonnedbrytande ämnen har påverkat kemin. Enligt globala mätdata har ozonskiktets tjocklek stabiliserats från slutet av 1990-talet efter tidigare decennier av förtunning. En tydlig återhämtning är dock ännu inte synbar, varken vid de svenska stationerna eller i globala data, beroende på den stora naturliga variationen. Stratosfärens ozon skyddar jordytan från skadlig UV-strålning. Under maj och juli 2018 blev den sammanlagda UV-strålningen bland de högsta månadsvärdena som uppmätts vid mätstationen i Norrköping. Även för 2018 som helhet blev den totala UV-strålningen hög. Ozonmängden var något lägre än normalt för årstiden i maj och juli, men framförallt bidrog den låga molnigheten till den höga UV-strålningen.

Ozonnedbrytande ämnen

Studier av ozonnedbrytande ämnen i atmosfären genomförs med hjälp av infraröda spektroskopiska mätningar av solen vid Harestua solobservatorium (60°N, 11°O). Ur solspektra extraheras atmosfäriska kolumner (integrerad koncentration) och i vissa fall höjdkoncentrationsprofiler av ämnena: HCl, HF, HNO₃, ClONO₂, N₂O, O₃, HCClF₂, CCl₂F₂, CH₄, C₂H₆ och CO. Mätningar genomförs ca. 1 gång per vecka inom ramen för det globala nätverket NDACC. Sedan 1994 finns ca. 1200 dagsmedelvärden lagrade, vilket möjliggör att studera trender. Mätningar av atmosfärens klor (HCl+ClONO₂) visar att den tidigare negativa trenden avstannat de senaste 5 åren. Detta fenomen ses i de flesta NDACC-stationer på norra halvklotet men inte på det södra. HF har ökat med 25 % mellan perioderna 1995-1999 och 2015-2019, och ökningstakten är ca 1 %/år relativt 2019 års medelvärde. För ersättningsfreon HCFC-22 har kolumnen ökat 86 % mellan perioderna 1995-1999 och 2015-2019, och trenden har sedan minskat den senaste 5-årsperioden, från 3.1 %/år mellan perioderna 2005-2009 och 2010-2014, till 0.8 %/år mellan perioderna 2010-2014 och 2015-2019. De senaste 15 åren har CFC-12 minskat ca 10 %, och idag återstår ytterligare 90 % reduktion innan atmosfären är tillbaka till sitt ursprungliga tillstånd. Under perioden 1995-2020 var trenden för O₃ svagt negativ de första åren för att sedan bli obefintlig. Vad beträffar den högre atmosfärens kvävereservoarämnen (HNO₃, NO₂, ClONO₂) så har det dominerande huvudämnet HNO₃ inte uppvisat någon distinkt trend de senaste 25 åren. NO₂, å andra sidan, har ökat, och detta verkar delvis vara på bekostnad av minskad ClONO₂.

Kolumnerna av klimatgaserna CH₄ och N₂O har båda ökat med ungefär 10 % de senaste 25 åren. N₂O har ökat monotont, med eventuell avmattning de senaste åren, medan metan uppvisat betydligt större variation med en plåtå under tidiga 2000-talet, en tydlig uppgång kring 2013-2017 och återigen en plåtå de senaste åren. Kolumnerna av atmosfärkemigaserna CO och etan har minskat fram till 2008. Efter detta började etan att öka kraftigt, medan CO fortsatte minska. De senaste 5 åren har dock etan återigen börjat minska.

Svalbard

Sedan år 2000 har enheten för atmosfärsvetenskap vid Institutionen för Miljövetenskap vid Stockholms universitet, observerat aerosolens storleksfördelning på toppen av Zeppelinberget vid Ny Ålesund på Svalbard. Mätningarna har också gjorts av partiklarnas ljusabsorberande och ljusspridande egenskaper samt på senare tid även partiklarnas interaktion med moln.

Aerosolens storleksfördelning är en mycket viktig parameter, eftersom man utifrån storleksfördelningen kan dra slutsatser angående aerosolens ålder, dess interaktion med kortvågig strålning (särskilt om den kemiska sammansättningen är känd) gällande både spridning av kortvågig strålning och absorption av densamma. Aerosolens storleksfördelning är även central för aerosolens förmåga att delta i molnbildningsprocesser, vilket i sin tur påverkar aerosolens livslängd i atmosfären. I en känslig miljö som Arktis är även små förändringar av strålningsbalansen av stor betydelse. Om t.ex. mängden molnbildande aerosoler förändras ger det en direkt återkoppling på atmosfärens budget för både kort- och långvågig strålning, samtidigt som den direkta spridningen av kortvågig strålning påverkas. Kunskap om luftföroreningars del i en förändrad strålningsbalans, och därmed i den snabba klimatförändringen i Arktis, är avgörande för utformandet av en effektiv åtgärdsstrategi för både en bättre luftkvalitet i källområdena och minsta möjliga klimatförändring i Arktis.

Mätningarna har visat att den arktiska aerosolen uppvisar en mycket distinkt årscykel, med störst antal stora partiklar under den arktiska våren och mest nypartikelbildning under sommaren, följt av ett minimum i antalskoncentration runt september-oktober. Den långa tidserien har möjliggjort en trendanalys, som visar en minskning av långdistanstransporterade partiklar speciellt under Arctic Haze-perioden men även under vintern. Samtidigt har antalet små lokalt nybildade partiklar ökat under sommaren. Minskningen under vintern och våren kan med största sannolikhet kopplas till minskade antropogena emissioner vid lägre latituder, medan det ökande antalet små partiklar troligen härrör från naturliga källor i Arktis.

STRÅNG

STRÅNG är ett modellsystem för beräkning av ett antal solstrålningsvariabler över norra Europa. Här ges en översikt av resultat för globalstrålning, UV-strålning och fotosyntetiskt aktiv strålning (PAR). Modellen har varit i drift sedan 1999 och används bland annat som ett komplement till de ganska sparsamma mätningar som finns för solstrålning, för övervakning av UV-strålning och för kolbalansberäkningar i samband med klimatrapporteringsförordningen. Infallande solstrålning uppvisar stora variationer som styrs av årstid och tidpunkt på dagen genom solens position i relation till en plats. Strålningen styrs också i hög grad av atmosfärens tillstånd, vilket ger upphov till variationer i instrålningen i tid och på sikt mellan olika år. Framförallt är molnigheten styrande, vilket över tid ger upphov till geografiska skillnader i instrålning mellan t.ex. kustområden (hög strålning) och inland (lägre strålning). Även luftens innehåll av t.ex. ozon och luftburna partiklar, samt markytans reflektionsförmåga, har betydelse. Åren 2018 och 2019 var soliga år, vilket representeras av modellen likväl som av stationsmätningar. Inte minst sommaren 2018 var rekordsolig vid flertalet platser i landet.

Tyvärr ligger modellresultaten för UV-strålningen under 2018 och 2019 märkbart lågt på grund av ett fel i beräkningen av effekten från aerosolpartiklar i luften. Inte minst under maj och juli 2018 var det både soligt och låga halter av stratosfäriskt ozon, vilket i verkligheten ledde till att UV – strålningen var mycket hög. Buggen i STRÅNG har nu rättats till, men behöver appliceras på de tidigare framräknade värdena.

Summary

The Swedish Environmental Protection Agency, is responsible for the national air quality and precipitation monitoring in rural background areas. This report presents the results from the activities within the National monitoring programme for air pollutants including measurements (performed by IVL Swedish Environmental Research Institute (IVL), Stockholm University(SU), Swedish University of Agricultural Sciences (SLU) and Swedish Meteorological and Hydrological Institute (SMHI) respectively) until 2019 and modelling (performed by SMHI) until 2018.

For most of the air pollutants monitored the situation has improved significantly since the measurements started between 20 and 40 years back, regarding air concentrations as well as deposition in the rural background. The pollution load is in general decreasing the further north one goes.

For most of the components for which there are environmental quality standards (EQS) and environmental objectives, the concentrations are well below the limit and target values. The concentrations of ground-level ozone exceed the air quality standard for health. For ground-level ozone, particles and benzene (in urban background air) there is a risk for concentration levels above the specifications of the environmental objectives.

Acidifying and eutrophying substances

Measurements of acidifying and eutrophying substances are carried out at 4 sites within EMEP where both air content measurements and precipitation chemistry measurements take place. Within the Air and precipitation chemistry network (LNKN), air concentrations measurements are carried out at 9 measurement sites and precipitation chemistry measurements are carried out at 15 measurement stations. Within SWETHRO-NV, measurements of precipitation chemistry are carried out at 18 measurement stations and dry deposition at 10 measurement stations. In addition to this, crown drip, soil water chemistry and air concentrations are measured within SWETHRO-NV at 2 measurement sites.

The air pollution-related burden on the environment has decreased sharply in recent decades as a result of international agreements to limit emissions of sulphur and nitrogen oxides, among other things, and structural changes in industry.

Air

Concentrations of sulphur and nitrogen compounds in air 2018 and 2019

Measured annual average concentrations of sulphur dioxide do not show any large differences between 2018 and 2019. The highest concentrations occurred during these years in southeastern Sweden but also further north, along the coast, slightly elevated concentrations were measured in 2018. The highest annual average concentrations of nitrogen dioxide were recorded in 2018 and 2019 in southern Sweden, often at coastal stations. In addition to concentration of sulphur dioxide and nitrogen dioxide in air, concentrations of sulphate, nitrate and ammonium are measured at the sites Bredkålen, Råö, Hallahus and Norunda. Ammonia is measured at the measurement stations Storulvsjön, Ottenby and Hallahus. In general, all measurements show that air concentrations are higher in southern Sweden compared to northern Sweden.

Modelling with the MATCH Sweden system

Modelling the concentration of different components in air is achieved by combining observations with model data in the MATCH Sweden system. Measurements and model data complement each

other in order to achieve a better knowledge. With the model system, concentration levels can be divided into contributions from Swedish and foreign emission sources (long-range transport).

Modelling results (on a regional scale) show that for reduced nitrogen the total yearly average concentration varied between 1.68 $\mu\text{g N/m}^3$ in the south of Sweden, and 0.01 $\mu\text{g N/m}^3$ in the most northern parts of the country in 2018. For nitrogen dioxide the highest concentrations were modeled in the larger urban areas and the concentration varied between 0.07 and 2.52 $\mu\text{g N/m}^3$. The modelled air concentration of SO_2 varies between 0.02 and 1.12 $\mu\text{g S/m}^3$ in Sweden. For 2018 the Swedish emissions were calculated to have caused on average 56% of the total concentration of SO_2 over Swedish land areas. For NO_2 and reduced nitrogen the equivalent percentage for both was estimated to 57%.

Time series for concentrations of sulphur and nitrogen compounds in air

Comparisons between the different regions' (northern, south-eastern and south-western Sweden) time series for sulphur and nitrogen dioxide concentrations show that the concentrations in air are higher in the southernmost parts of Sweden. The reduction in sulphur dioxide and nitrogen dioxide concentrations in air follows the reduction in emissions of these air pollutants.

Time series for sulphate in air follow the same trend as the reduction of sulphur dioxide in air. Also for nitrate and ammonium there is a decrease in air concentrations in south-eastern and south-western Sweden, although not as clear as for sulphur compounds. The nitrate and ammonium concentration in air in northern Sweden is at a significantly lower level compared to the southern parts of Sweden and hardly no decrease can be seen for this part of the country.

Significant reduction of sulphur dioxide concentration in air is seen only for one of the measuring stations in northern Sweden. For south-eastern and south-western Sweden, the concentration of sulphur dioxide in air decreases significantly between 2001 and 2019 for almost all measuring stations. The results of the trend analysis for nitrogen dioxide content in air show significant reductions for all measuring stations in Sweden, except for Hoburgen in the south-eastern part of the country, where no significant change in concentration of nitrogen dioxide in air is observed during the analysed period.

Trend analyses for sulphate, nitrate and ammonium 1986 -2019 show that the concentrations in air of these sulphur and nitrogen compounds have decreased significantly except for nitrate concentration in air at Breckälén.

Chloride, sodium, magnesium, calcium and potassium in air

In general, the levels of chloride, sodium, magnesium, calcium and potassium show the same decreasing gradient from south to north as for other measured parameters. The reason for finding the highest concentrations of chloride, sodium and magnesium in air at the measuring station Råö are due to the fact that this station is located close to the sea on the west coast. The variation between years is quite large and no statistically significant trend exists for any of the parameters.

Precipitation and Deposition

Wet deposition of sulphur and inorganic nitrogen in 2018 and 2019

Wet deposition of sulphur (without the contribution from sea salt) was very low in both 2018 and 2019. The highest sulphur deposition in the two years was recorded in southern Sweden with approximately 2-3 kilos per hectare.

The wet deposition of nitrogen was higher in 2019 compared to the previous years. In both 2018 and 2019, the highest wet deposition of nitrogen was measured in Halland, with approximately 10 kilograms per hectare.

Time series for precipitation, pH in precipitation and wet deposition of sulphur and inorganic nitrogen

The 15 measurement sites within LNKN and the 18 measurement sites within Krondropps nätet-NV have been divided into three different geographical regions: northern, south-eastern and southwestern Sweden, each with 11 measurement sites per area.

The amount of precipitation varies relatively widely between years and measurement sites. In general, the precipitation has been highest in southwestern Sweden followed by northern Sweden and southeastern Sweden. The amount of precipitation is important for the size of the deposition of most substances, but the concentration of a substance is also important.

As acidifying emissions have decreased, the pH values in precipitation have increased. The measurements show that pH today is in most cases over 5. However, pH in precipitation is easily affected by different ions, which means that if, for example, there is a lot of alkaline ammonium in the precipitation, then pH will increase.

The wet deposition of sulphur (without the contribution from sea salt) has in recent years been very low; between 0.5 and 3.5 kg/ha. The highest sulphur deposition was found in southwestern Sweden and the lowest in the northern part of Sweden. During the 1980s, the wet deposition of sulphur was over 10 kg/ha in southwestern Sweden. Data from the SWETHRO Network show that during the same period the total sulphur deposition measured as throughfall, that includes dry deposition, could be up to 35 kg/ha in southern Sweden.

The wet deposition of inorganic nitrogen has been below 5 kg/ha in the northern parts of Sweden since the beginning of the 2000s. In recent years, the nitrogen deposition with precipitation in northern Sweden has been substantially lower, between 0.5 and 3.5 kg/ha. In the south-eastern parts of Sweden, the wet deposition of nitrogen has usually been below 10 kg/ha since the start of the measurements. In recent years it has decrease to about 2-5 kg/ha. The highest wet nitrogen deposition has been measured in the southwestern parts of Sweden, some years up to 20 kg/ha. During the 2010s, the nitrogen deposition with precipitation has varied between 2-15 kg/ha in southwestern Sweden. However, the total nitrogen deposition to forests is substantially higher than the wet deposition. The total deposition of nitrogen to coniferous forests is measured and calculated using measurements with string samplers and bulk deposition samplers together with throughfall measurements within the SWETHRO Network.

The reduction of wet deposition of sulphur as well as of inorganic nitrogen (nitrate + ammonium) during 1997-2019 is in line with the decrease in corresponding reported emissions from both the EU-28 and from Sweden. For nitrogen it is mainly the wet deposition of nitrate that has decreased.

Total deposition of inorganic nitrogen and oxidized sulfur

The measurements of deposition with precipitation over an open field mainly include only the wet deposition. The total deposition of nitrogen to coniferous forests is measured and calculated using measurements with string samplers and bulk samplers carried out in the open field, together with the nearby measurements of throughfall. The analysis showed that for Sweden as a whole and for all three different regions, there was a statistically significant decrease in the total nitrogen deposition to coniferous forests between 2001 and 2018.

The amount of total deposition (both wet and dry) to various soil types has also been calculated by the model system MATCH Sweden and presented in this report. The modeling shows that the largest

deposition of reduced nitrogen takes place in southern Sweden, and is lowest in northern Sweden. The Swedish contribution is slightly lower around the Lake Mälaren area, in Skåne, Västergötland and the Norrland coast in 2018 compared to 2017. The total deposition over Sweden ranges between 20 and 430 mg N/m² in 2018. Similar patterns can be seen for oxidized nitrogen, for which the deposition varies between 24 and 409 mg N/m² in 2018.

The calculated total deposition of oxidized sulfur (XSOX, sea salt not included) for 2016-2018 is the lowest compared to all the years shown (1998-2018). The deposition along the coasts is lower due to the requirement of SECA for lower sulfur contents in marine fuels after 2015. The Swedish contribution is approximately the same for those three years, which suggests that long-range transport causes most of the reduction of total deposition. The total deposition of oxidized sulfur excluding sea salt varies between 31 and 489 mg S/m² in 2018.

Particles

PM_{2.5} is generally lowest during the summer. In winter, the concentration level, especially in southern Sweden, is significantly higher. In both regional- and urban background air the average concentration of PM_{2.5} decreases northwardly, and is in the south of Sweden (Burlöv, Stockholm) of the same order of magnitude as in the regional background. In the northern part of the country (Umeå) the concentration levels are higher in urban than in rural areas. The higher concentrations in the south are due to the vicinity to the sources in Central Europe. The average exposure indicator shows that Sweden achieves the requirements set by the EU at an acceptable level of exposure.

The concentration of PM₁₀ in the regional background is about 15 µg/m³ in southern Sweden (Vavihill and Råö), about 8 µg/m³ in central Sweden (Aspvreten, Norunda and Norr Malma) and 3 - 4 µg/m³ in the north (Bredkålen). The higher concentrations in the south is due to the vicinity to the sources in Central Europe and, in the case of Råö on the Swedish west coast, the nearby North Sea.

The levels of PM₁₀ in eastern central Sweden (the stations Aspvreten, Norunda and Norr Malma), where measurements have been going on since 1990 (Aspvreten), the level has dropped from almost 20 µg/m³ to 7 - 9 µg/m³ today. Most of the decrease happened before 2010. However, at the stations in the south (Vavihill/Hallahus) and on the west coast (Råö) the decrease seems to have continued after 2010. At the northernmost station, Bredkålen, there are no evident trend since 2009 when the monitoring started.

The concentration of PM_{2.5} in the regional background is 6 - 7 µg/m³ in southern Sweden (annual mean, Vavihill), 3 - 4 µg/m³ in central Sweden (Råö, Norr Malma, Norunda and Aspvreten) and 1 - 2 in the northern part of the country (Bredkålen).

PM_{2.5} at Aspvreten since 1998 has fallen from 11 to 12 µg/m³ to about 4 µg/m³ today. Most of the decrease occurred in the period 2000 - 2010. The trend is similar at the other stations in Sweden.

The concentration of organic carbon (OC), in the PM₁₀ fraction, was approximately 1,5 µg/m³ in the southern and middle part of Sweden (Vavihill and Aspvreten) with no clear seasonal variation.

The annual averages of soot measured as elemental carbon, EC, have been in the range 0,1 to 0,3 µg/m³. The averages have decreased at the site Aspvreten in the middle of Sweden since 2008 when the monitoring started. However, that trend cannot be seen at Vavihill/Hallahus in the southern part of Sweden.

Soot as elemental carbon has an evident seasonal variation. The monthly averages are about 0,25 to 0,30 µg/m³ during the winter and 0,10 to 0,15 µg/m³ during the summer. Soot is also measured as 'black carbon', BC. The results of the BC monitoring correspond to the results obtained for elemental carbon, EC.

Ground-level ozone

The concentration of ground-level ozone is largely determined by the meteorological conditions, and for the average annual level of ozone there is neither a clear trend in time nor a geographical gradient over the country. The number of episodes of high concentrations of ozone, though, is significantly higher in the southern part of Sweden than in the north, both as regards the 8-hour mean value (limit value for health) and AOT40 (limit value for vegetation). Ozone levels during the summer of 2018 were strongly affected by the warm and sunny weather.

During 2019 one hourly values above the information threshold ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$) were observed. However, the environmental goal for hourly means ($80 \mu\text{g}/\text{m}^3$) as well as the limit value for the 8-hour mean ($120 \mu\text{g}/\text{m}^3$) were exceeded at many of the monitoring sites during these years.

Modelling with the MATCH Sweden system

In 2016, ozone deposition (ozone uptake) for plants were implemented in the MATCH-Sweden modelling system. The two measures implemented were PODY for generic deciduous forest ($\text{POD1}_{\text{gen deciduous forest}}$) and generic crops ($\text{POD3}_{\text{gen crops}}$). During 2013-2018, a strong gradient was shown from the mountain areas in the northwest where the values were very low to southernmost Sweden where the values were higher for both $\text{POD1}_{\text{gen deciduous forest}}$ and $\text{POD3}_{\text{gen crops}}$. AOT40 for forest was significantly higher in almost the entire country in 2018 compared to other years. $\text{POD1}_{\text{gen deciduous forest}}$ on the other hand has about the same gradient for all years, but with slightly higher values on the southern coast in 2018. The variation across Sweden and the year-to-year annual variation between PODY and AOT40 illustrate the importance of also taking into account the physical processes that affect ozone uptake in the evaluation of environmental goals.

In 2019, PODY for birch, spruce, wheat and potatoes were implemented in the MATCH Sweden model system, and the calculation of PODY for generic crops and deciduous forest was also updated. $\text{POD1}_{\text{spec birch}}$ covaries with $\text{POD1}_{\text{gen deciduous forest}}$ over the years (2013-2018). The values were slightly higher for birch due to a longer vegetation period and that birch, compared to generic deciduous trees, had a greater maximum split opening conductance. For $\text{POD1}_{\text{spec spruce}}$, the gradient and values were similar to $\text{POD1}_{\text{gen deciduous forest}}$. In the case of $\text{POD6}_{\text{spec wheat}}$, the spatial pattern was similar to $\text{POD3}_{\text{gen crops}}$. The values of $\text{POD6}_{\text{spec wheat}}$ were lower because a higher ozone content threshold was used for wheat. The spatial pattern and year-to-year variability of $\text{POD6}_{\text{spec potatoes}}$ was similar to $\text{POD6}_{\text{spec wheat}}$. The values for $\text{POD6}_{\text{spec potatoes}}$ were slightly lower than $\text{POD6}_{\text{spec wheat}}$ due to differences in the description of the growing season.

Volatile organic components (VOC)

Since 2004 hourly measurements of ozone precursor VOCs have been carried out six weeks a year in urban background air in Gothenburg. At the background station Råö weekly average concentrations of benzene, toluene, ethylbenzene and xylenes (BTEX) have been measured once a month since 2009.

Highest concentrations of the VOCs were measured in November to March, i.e. during the colder period of the year. The seasonal variations are probably due to higher emissions from combustion processes at wintertime combined with a lower mixing layer in the lower part of the atmosphere during the same period of the year. No specific seasonal variation in the distribution of the VOCs were detected in 2009-2013, the most volatile substances accounted for the largest share in all seasons.

EQS for benzene is $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ as an arithmetic annual average. With the guidance of more than 100 weekly measurements of benzene at the background site Råö and 75 weekly average values in urban background air in Gothenburg (roof level), the EQS was not exceeded at these sites during 2009-2019.

The Swedish Environmental Objective "Clean Air", which is intended to be achieved within one generation, has a specification of $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ as a yearly average for benzene. At the Gothenburg station

average concentrations of benzene did not exceed $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ at any of the weekly measurements during 2017-2019. Neither was the specification of the environmental quality objective considering 1,3-butadiene of $0.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ as a yearly average exceeded at any of the measurement periods.

Heavy metals

Metals in air and deposition are measured at four background stations in Sweden (Vavihill / Hallahus, Råö, Aspvreten (since 2018 moved to Norunda), Bredkålen) and at a background station in northern Finland (Pallas). The measured metals are: arsenic (As), cadmium (Cd), cobalt (Co), chromium (Cr), copper (Cu), nickel (Ni), manganese (Mn), lead (Pb), vanadium (V) and zinc (Zn).

Mercury is measured in air and deposition at three of the Swedish measuring stations (Vavihill / Hallahus, Råö, Bredkålen) and at Pallas. The mercury species measured in air are: total gaseous mercury (TGM) and total particulate mercury (TPM). In 2018, mercury species were measured in air at Råö using the automatic method from April to December. In deposition, the total amount of mercury is measured.

Many of the saturated metals have emission sources such as steel companies, steel mills and burning of fossil fuels. The levels of heavy metals in air and precipitation are, with some reservation for mercury, lower in Sweden than in many other comparable EU countries, mainly due to our northern position and our relatively low domestic emissions. Since mercury mainly acts as a gas, with a long residence time in the atmosphere, the metal has a partially different dispersion pattern than other heavy metals. Nowadays, the levels of mercury in air and precipitation in southern Sweden and in large parts of Europe are about equally high.

The measurements show that the concentrations of metals in air have generally been lowest at the northern stations Bredkålen and Pallas. The highest annual average values of metals in air have been measured at Råö, Aspvreten and Norunda. An increase in metal levels in air was observed in 2018 at mainly the southernmost station Vavihill / Hallahus, but also for certain metals at Råö and Norunda. Otherwise, a downward trend was observed until 2017. What this increase in 2018 is due to has not been determined, but may, as for mercury, be caused by transported airmasses from emission sources in Europe.

The lower evaluation thresholds for annual mean values of heavy metals in air, for protection of human health, have not been reached at any of the five stations since the measurements were started.

The deposit for most metals has shown an increase at most stations in 2019, mainly at Vavihill / Hallahus.

Metals in mosses

The load of metals in the environment have, been measured every five years since 1975 through studies of carpet-forming mosses.

Summary results from the 2015 survey

A general south-north gradient can be seen for most of the analysed metals, with the highest concentrations in southern and south-western Sweden. The concentration of arsenic, lead, cadmium, copper, chromium, mercury, zinc and cobalt was lower in samples from the mountain areas and from the inland regions of northern Sweden compared to northern Sweden's coastal area and other parts of the country. However, locally elevated metal concentrations, due to emissions from local emission sources, sometimes break this general pattern.

Comparison to year before 2015 and results from trend analyses

For lead, cadmium, mercury, nickel, vanadium, aluminium and cobalt, variance analysis showed that the mean concentration in mosses for the whole of Sweden was lower in 2015 compared to 2010. For arsenic, copper and chromium the variance analysis showed that the mean concentrations in mosses for the whole of Sweden in 2015 was higher compared to 2010. For other metals, there was no statistically significant difference between 2015 and 2010.

Between 1975 and 2015, the metal concentration in mosses in Sweden has decreased significantly for all metals included in the trend analysis. The largest decrease can be seen for lead. The only metal for which no significant decrease could be seen for the last 40 years was for chromium in moss samples collected in northern Sweden's coastal areas.

For Sweden as a whole, the metal concentration in moss has not decreased to the same extent during the 25-year period 1990-2015 as for the period 1975-2015. Only lead, cadmium, nickel and vanadium showed a statistically significant decrease as an average for Sweden as a whole during the period 1990-2015.

Persistent organic substances

PAH concentrations in air have not shown any clear decrease since the start of the measurements. This has also been demonstrated through trend analysis for Råö and Pallas. The levels of PCB and chlorinated pesticides in background air have generally decreased at all stations since the start of measurements in 1996. However, the last 5-8 years no decrease has been observed, showing leveled concentrations.

During the period 2009-2019, the levels of PAH, PCB and DDT in air and deposition were higher in southern Sweden than in northern Finland (Pallas). The air concentrations of α -HCH and chlordane's showed no geographical variation, same for atmospheric deposition. The air measurements of α -HCH at Pallas were at the same magnitude as measurements in Arctic areas.

Endosulfan (α -, β -endosulfan, endosulfan sulfate) have been detected in all of the air and deposition samples from both Råö and Pallas. At Råö, a seasonal variation with higher deposition in summer was detected. The pesticides, aldrin, heptachlor, which only are measured at Råö, have only been detected occasionally in air and deposition samples. Dieldrin (started 2016 at Råö) was detected more frequently in air, but only in a few deposition samples.

Since the start of measurements, the levels of BDE (47, 99, 100) in air and deposition have generally decreased at all stations. However, an annual variation is detectable. BDE 85, 153, 154, 209 were only detected occasionally. HBCDD levels during the last years have been at the same level both at Pallas and Råö.

The measurements of PFAS in air and deposition started in 2009 at Råö. No trend was observed for PFAS in air, however, the levels of PFOS and PFOA in precipitation were lower the recent years. The measurement program expanded in July 2017 to include more substances and stations. The results show a geographical variation with higher air levels at Råö compared to Pallas.

In 2009-2017, on most occasions, higher levels of dioxins / furans were measured in air on the Swedish west coast (Råö) compared to the east coast (Aspvreten and Norunda). The levels of chlorinated paraffin's (SCCPs and MCCPs) in air were, on the contrary, usually higher at Aspvreten. However, deposition of chlorinated paraffin's was generally higher at Råö.

The long-term monitoring program gives the possibility to follow up measures and bans. Although the use of PCBs was banned a long time ago, they still occur in background air. The decrease in PCB levels is slow, which shows that the PCBs are stored in the communities and ecosystems. PBDE shows a clear decline in levels, which is a consequence of the ban of these chemicals within the EU.

Plant protection products (pesticides)

Higher concentrations and a larger number of different pesticides were found in precipitation collected at Vavihill/Hallahus in the very south of Sweden, compared to precipitation collected at Aspvreten (Aspvreten is situated just south of Stockholm, new location Norunda in Uppland). Differences in findings between the sites can be explained by the closeness of Vavihill/Hallahus to more intense agricultural areas, both in Sweden and on the European continent. A substantial portion (close to 50 %) of the pesticides occurring in precipitation is no longer applied within Sweden, highlighting the importance of a trans-boundary transport, also of some modern pesticides. The average deposition in rainwater has varied over the years in Vavihill/Hallahus, but was at its lowest during the drought in 2018 and peaked in 2019. The deposition at Aspvreten/Norunda has been one tenth of that at Vavihill/Hallahus. Substances found in air samples are to a large extent the same as those found in precipitation. A winter campaign was launched during the winter season of 2017/18 and also in 2018/19. The results show that prosulfocarb is detected in moderately high concentrations in both air and rain during winter time. Another special project admitted analysis of glyphosate and AMPA in rain and air samples. Glyphosate was found in all air samples, and also in a few rain samples in low levels.

Stratospheric ozone

There is a large natural variation of ozone in the stratosphere from day to day and also over the year. These variations are mainly caused by large scale atmospheric transport mechanisms, but there is also a dependence on atmospheric chemistry. One of these chemically introduced factors is a long term decline of stratospheric ozone due to manmade ozone depleting substances. In global records the amount of total ozone has stabilized since the late 1990-ies after earlier decades of depletion. However, a clear recovery is not yet visible neither at the Swedish monitoring sites nor in global data due to the large natural variation caused by atmospheric dynamics. In May and July 2018 the accumulated monthly UV radiation was among the highest monthly values recorded at the measurement station in Norrköping. Also for the whole year 2018 the accumulated UV radiation was high. In May and July the total ozone was somewhat lower than average for the time of the year but the main cause of the high UV was the low cloudiness.

Ozone depleting substances

Studies of ozone-depleting substances in the atmosphere are carried out using infrared spectroscopic measurements of the sun at the Harestua Solar Observatory (60°N, 11°E). Atmospheric columns (path integrated concentration) and in some cases height concentration profiles of the substances are extracted from solar spectra: HCl, HF, HNO₃, ClONO₂, N₂O, O₃, HCClF₂, CCl₂F₂, CH₄, C₂H₆ and CO. Measurements are carried out approximately once a week within the framework of the global network NDACC and since 1994 more than 1200 daily average values have been stored, which makes it possible to study trends. Measurements of atmospheric chlorine (HCl + ClONO₂) show that the previous negative trend has stopped in the last 5 years. This phenomenon is seen in most NDACC stations in the northern hemisphere but not in the south. HF has increased by 25 % between the periods 1995-1999 and 2015-2019 and the rate of increase is approximately 1 %/year relative to the 2019 average. For replacement freon HCFC-22, the column has increased 86 % between the periods 1995-1999 and 2015-2019 and the trend has since decreased in the last 5-year period, from 3.1%/year between the periods 2005-2009 and 2010-2014, to 0.8%/year between the periods 2010-2014 and 2015-2019. In the last 15 years, CFC-12 has decreased by about 10 % and hence further 90 % reduction is needed before the atmosphere returns to its original state. During the period 1995 to 2020, the trend for O₃ was slightly negative in the first years and then became non-existent. As for the higher atmosphere nitrogen reservoir substances (HNO₃, NO₂, ClONO₂), the dominant main substance HNO₃ has not shown any distinct trend in the last 25 years. NO₂, on the other hand, has increased and this seems to be partly at the expense of reduced ClONO₂. The columns of the greenhouse gases CH₄ and N₂O have both increased by about 10% in the

last 25 years. N₂O has increased monotonically, with possible slowdown in recent years, while methane has shown significantly greater variation with a plateau during the early 2000s, a clear rise around 2013-2017 and again a plateau in recent years. The columns of the atmospheric gases CO and ethane have decreased until 2008. After this, ethane began to increase sharply while CO continued to decrease. In the last 5 years, however, ethane has started to decrease again.

Svalbard

Since 2000, the Atmospheric science unit at the Department of Environmental Science, Stockholm University, has observed the size distribution of the aerosol at the top of Zeppelinberget at Ny Ålesund on Svalbard. Measurements have also been made of the light-absorbing and light-scattering properties of the particles and, more recently, their interaction with clouds.

The aerosol size distribution is a very important parameter as from the size distribution conclusions can be drawn about the age of the aerosol, its interaction with shortwave radiation (especially if the chemical composition is known) regarding both scattering of shortwave radiation and absorption. The size distribution of the aerosol is also central to its ability to participate in cloud formation processes, which in turn affects the aerosol lifetime in the atmosphere. In a sensitive environment such as the Arctic, even small changes in the radiation balance is of great importance. If we change e.g. the amount of cloud-forming aerosols, we get a direct feedback on the atmospheric budget for both short- and long-wave radiation, at the same time as the direct spread of short-wave radiation is affected. Knowledge of the role of air pollutants in a changed radiation balance and thus in the rapid climate change in the Arctic is crucial for the design of an effective mitigation strategy for both better air quality in the source areas and the least possible climate change in the Arctic.

The measurements have shown that the Arctic aerosol shows a very distinct annual cycle, with the largest number of large particles during the Arctic spring, most new particle formation during the summer followed by a minimum in number concentration around September-October. The long time series have enabled a trend analysis; which shows a reduction in long-distance transported particles, especially during the Arctic Haze period but also in winter. At the same time, the number of small locally newly formed particles has increased during the summer. The decrease during winter and spring can most likely be linked to reduced anthropogenic emissions at lower latitudes, while the increasing number of small particles probably originates from natural sources in the Arctic.

STRÅNG

STRÅNG is a model system for calculations of solar radiation over the Northern Europe. Here the results for global radiation, UV radiation and photosynthetically active radiation (PAR) are given. The model has been running since 1999 and is used among many things as a complement to the sparse measurements of solar radiation in Sweden, for surveillance of UV exposure, and for calculation of carbon budgets for the national greenhouse gas emission inventories. The amount of solar radiation that reaches the earth surface is controlled by time of year and day through the position of the sun in relation to a place on earth. Down welling radiation is also controlled to a large extent by the atmospheric state, in particular by cloudiness, which causes variations over time and also geographical differences in irradiation. For instance, the radiation is higher along the Swedish coasts than at the inland areas. Also, the composition of the air, where ozone and aerosol particles are important components, and the reflectivity of the surface, alter the amount of radiation. The years 2018 and 2019 were sunny compared to previous years, this is in line with ground-based measurements. In particular the summer 2018 were record breaking at many locations in Sweden. Unfortunately, the presented results for UV radiation are too low during these years, due to an error in the calculations of the effect from aerosol particles that were not discovered. This error has now been corrected, but has not yet been applied to already produced data. In reality high amount of sunlight and low levels of stratospheric ozone during May and July 2018 facilitated very high UV radiation.

1. Inledning

Naturvårdsverket (NV) ansvarar för den nationella luftövervakningen i bakgrundsmiljö. På uppdrag av Naturvårdsverket bedrivs mätningar av bl.a. luftens och nederbördens sammansättning, främst i bakgrundsmiljö, inom olika mät- och modelleringsprogram. IVL Svenska Miljöinstitutet har ansvar för genomförandet av merparten av mätverksamheten inom luftområdet. Därtill ombesörjer både Institutionen för Miljövetenskap vid Stockholms universitet (SU) och Institutionen för Mark och Miljö vid Sveriges lantbruksuniversitet (SLU) delar av övervakningen. Även Sveriges meteorologiska och hydrologiska institut (SMHI) genomför övervakning inom programområdet samt årliga kartläggningar, där modellberäkningar och data från mätverksamheten integreras genom dataassimilering.

Syftet med mätningarna är främst att:

- ge underlag för internationell rapportering (EU-direktiv och Luftvårdskonventionen);
- ge underlag till bedömningar om huruvida nationella och länsvisa miljömål samt miljö kvalitetsnormer uppnås;
- långsiktigt övervaka miljön för att finna storskaliga förändringar i föroreningshalterna som kräver åtgärder eller vidare forskningsinsatser;
- ge underlag vid utarbetande av lokala och regionala åtgärdsstrategier samt studera effekter av vidtagna åtgärder;
- erhålla en bild av hur lufthalter, nederbördskoncentrationer och deposition varierar både geografiskt och med tiden över landet;
- från dessa resultat i bakgrundsmiljö erhålla bedömningsunderlag vid studier av mer föroreningsbelastade miljöer, t.ex. vid bedömningar i miljökonsekvensbeskrivningar;
- ge underlag för validering av beräkningsmodeller och följa upp resultatet av vidtagna åtgärder.

Samordnad övervakning på nationell nivå påbörjades i slutet av 1970-talet och har varierat i omfattning under åren. Mätprogrammet revideras regelbundet, och förändringar sker till följd av förändrade krav och behov.

SMHI:s årliga modellberäkningar av lufthalter och deposition över Sverige har pågått sedan tidigt 1990-tal. Modellsystemet har under de senaste åren uppdaterats med mer avancerad metodik.

Övervakningen av ozonskiktet inleddes 1988 i Norrköping och 1991 i Vindeln. Modellsystemet STRÅNG startade år 2000. Det har uppgraderats i omgångar, senast i mars 2017 för att göra nödvändiga tekniska förändringar för att systemet ska fortsätta fungera, och samtidigt införa och förbereda för vidare förbättringar i modellens prestanda.

Sedan 2000 har aerosolens storleksfördelning på toppen av Zeppelinberget i det gamla gruvsamhället Ny Ålesund på Svalbard observerats.

I föreliggande rapport redovisas resultaten från större delen av IVL:s, SU:s, SLU:s och SMHI:s verksamhet inom Programområde Luft till och med 2019 (för modellberäkningarna t.o.m. 2018).

2. Försurande och övergödande ämnen i luft och nederbörd

Under denna rubrik presenteras två delprogram. Delprogrammet Försurande och övergödande ämnen (där mätningar inom EMEP och Luft- och nederbördskemiska nätet (LNKN) ingår) samt Delprogrammet Krondroppsnetet-NV, se Tabell 2-1, Tabell 2-2 och Tabell 2-3 nedan. Båda delprogrammen följer trender för försurande och övergödande ämnen. Rapportering sker till internationella konventioner. De nationella miljökvalitetsmål som främst berörs är *Bara naturlig försurning*, *Ingen övergödning* och *Frisk luft*. Syftet är att uppfylla nationella, länsvisa och internationella riktlinjer som ligger till grund för nationell och regional miljömålsuppföljning.

Mätningar av försurande och övergödande ämnen genomförs vid fyra mätplatser inom EMEP, där både lufthaltsmätningar och mätningar av nederbördskemiska sker. Inom LNKN genomförs lufthaltsmätningar vid nio mätplatser och nederbördskemiska mätningar vid 15 mätplatser. Inom Krondroppsnetet-NV genomförs mätningar av nederbördskemiska vid 18 mätplatser samt torrdeposition vid 10 mätplatser. Utöver dessa mätningar sker det inom Krondroppsnetet-NV även mätningar av krondropp, markvattenkemi och lufthalter vid två mätplatser.

Utöver de här presenterade data för Krondroppsnetet-NV finns ytterligare data inom Krondroppsnetet som även är ett Gemensamt Delprogram inom Programområde Luft inom Naturvårdsverket. Krondroppsnetet startades 1985 som ett regionalt finansierat, nationellt samordnat mätprogram. Sedan år 2000 har Naturvårdsverket varit medfinansierare för en del mättyper och mätstationer.

Tabell 2-1 Uppmätta parametrar i luft och nederbörd inom EMEP.

Parametrar	Oorganiska komponenter i luft: SO ₂ , SO ₄ , NO ₃ +HNO ₃ , NH ₄ +NH ₃ , Cl, Na, K, Ca, Mg, NO ₂ Oorganiska komponenter i nederbörd: SO ₄ , NO ₃ , NH ₄ , pH, Na, K, Ca, Mg, Cl, konduktivitet, nederbördsmängd
Stationer	Aspvreten (t.o.m. 2017)/Norunda (fr.o.m. 2018), Bredkålen, Hallahus/Vavihill, Råö
Mätfrekvens	Dygnsvis och månadsvis
Kravställare	EU - direktiv, Miljökvalitetsnormer, Luftvårdskonventionen.
Lagringsplats	Grunddata lagras samt kan hämtas via datavårdens webbplats www.smhi.se/datavardluft
Utförare	IVL Svenska Miljöinstitutet AB
Om delprogrammet på Naturvårdsverkets webbplats	www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Miljoovervakning/Miljoovervakning/Programomrade-Luft/Delprogram--Forsurande-och-overgodande-amnen-i-bakgrundsluft/
Mer information	Mätstationerna ingår i det europeiska mätnätet EMEP (Co-operative programme for monitoring and evaluation of the long range transmission of air pollutants in Europe), som är ett europeiskt samarbetsprogram för övervakning av långdistanstransporterade, gränsöverskridande luftföroreningar. Resultaten från EMEP ligger till grund för arbetet med konventionen om gränsöverskridande luftföroreningar inom UNECE-regionen.

Tabell 2-2 Uppmätta parametrar i luft och nederbörd inom Luft- och Nederbördskemiska nätet.

Mättyp	Öppet fält (15 mätstationer), lufthalter (9 mätstationer).
Parametrar	Nederbördsmängd, SO ₄ -S, NO ₃ -N, NH ₄ -N, Kjeldahl-N, Cl, Na, K, Ca, Mg, Mn, pH, alkalinitet, konduktivitet, P _{tot} Lufthalter av NO ₂ , SO ₂ och O ₃
Stationer	Totalt 15 mätstationer av nederbördskemi fördelade över Sverige: Erange, Ammarnäs, Rickleå, Sandnäset, Docksta, Djursvallen, Jädraås, Transtrandsberget, Ryda Kungsgård, Tyresta, Pjungserud, Granan, Majstre, Norra Kvill, Sännen. Totalt 9 mätstationer av lufthalter fördelade över Sverige: Grankölen, Rickleå, Docksta, Djursvallen, Jädraås, Pjungserud, Granan, Hoburgen, Sännen.
Mätfrekvens	Månadsvis
Kravställare	Luftvårdskonventionen
Lagringsplats	Grunddata lagras samt kan hämtas via datavärdens webbplats www.smhi.se/datavardluft
Utförare	IVL Svenska Miljöinstitutet AB
Om delprogrammet på Naturvårdsverkets webbplats	www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Miljoovervakning/Miljoovervakning/Programomrade-Luft/Delprogram---Forsurande-och-overgodande-amnen-i-bakgrundsluft/
Mer information	Inom Luft- och nederbördskemiska nätet har mätningarna av halter i nederbörd pågått sedan 1983 och av halter i luft sedan 1994 på stationer över hela landet. Ytterligare cirka tjugo stationer har tidigare ingått i mätnätet, men dessa har avslutats. Det finns många olika syften med mätningarna och användningsområden för data från LNKN. Ett användningsområde är att fungera som underlag vid utvärdering av de svenska miljömålen. Data används även till forskning och som underlag till modellering.

Tabell 2-3 Uppmätta parametrar i luft och nederbörd samt krondropp och markvatten inom Krondropps nätet-NV.

Mättyp	Öppet fält (18 mätstationer), krondroppsmätningar (2 mätstationer), mätningar med strängprovtagare (10 mätstationer), lufthalter (2 mätstationer) och markvattenkemiska mätningar (2 stationer).
Parametrar	Nederbörds kemi samt krondropp: Krondroppsmängd, Nederbördsmängd, SO ₄ -S, NO ₃ -N, NH ₄ -N, Kjeldahl-N, Cl, Na, K, Ca, Mg, Mn, pH, alkalinitet, konduktivitet, P _{tot} Strängprov: volym, SO ₄ -S, NO ₃ -N, NH ₄ -N, Kjeldahl-N, Cl, Na, K, Ca, Mg, Mn, pH, alkalinitet, konduktivitet, P _{tot} Markvatten kemi: volym, SO ₄ -S, NO ₃ -N, NH ₄ -N, Kjeldahl-N, TOC, Cl, Na, K, Ca, Mg, Mn, pH, alkalinitet, konduktivitet, P _{tot} , Fe, Al (org + tot) Lufthalter: NO ₂ , SO ₂ , NH ₃ och O ₃
Stationer	Totalt 18 mätstationer med nederbörds kemiska mätningar fördelade över hela Sverige: Blåbärs skullen, Hissmossa, Fulufjäll, Storulvsjön, Farstanäs, Höka, Grankölen, Högbränna, Sör-Digertjärn, Hensbacka, Komperskulla, Timrilt, Kvisterhult, Rockneby, Ottenby, Edeby, Fagerhult, Tagel. Totalt 10 mätstationer med mätningar med strängprovtagare fördelade över hela Sverige: Blåbärs skullen, Hissmossa, Storulvsjön, Stenshult, Grankölen, Hensbacka, Timrilt, Rockneby, Edeby, Fagerhult. Totalt 2 mätstationer med mätningar av krondropp, markvatten kemi och lufthalter: Storulvsjön och Ottenby.
Mätfrekvens	Månadsvis (nederbörds kemi, krondropp, strängprov samt lufthalter), samt tre gånger per år för markvatten kemi.
Kravställare	Luftvårds konventionen
Lagringsplats	Grunddata lagras samt kan hämtas via datavärdens webbplats www.smhi.se/datavardluft . Då alla data ej ännu kan lämnas till datavärd (ej från krondropp, strängprov och markvatten) finns samtliga data att hämta via www.krondroppsnetet.ivl.se .
Utförare	IVL Svenska Miljöinstitutet AB
Om delprogrammet på Naturvårdsverkets webbplats	www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Miljoovervakning/Miljoovervakning/Programomrade-Luft/Krondroppsnetet-NV/
Mer information	Naturvårdsverket har finansierat mätningar inom Krondropps nätet-NV sedan 2000. Mätningar har dock pågått inom Krondropps nätet sedan 1985, med finansiering främst från olika luftvårdsförbund och länsstyrelser. Genom åren har antalet mätplatser inom Krondropps nätet varierat. Som mest fanns i mitten av 1990-talet cirka 185 ytor. Då övervakningen sker i brukad skog har ytor flyttats vid avverkning samt efter kraftiga störningar, till exempel vid omfattande stormskador. 2020 bedrivs mätningar på 59 platser i Sverige, och numera finns mätserier med mer än 30 års data för några ytor. Mätningarna bedrivs både på öppet fält och i skogen under träd kronorna. Nedfall och lufthalter mäts månadsvis, medan markvatten kemi mäts tre gånger om året för att representera förhållandena före, under respektive efter vegetationsperioden. Det finns många olika syften med mätningarna och användningsområden för data från Krondropps nätet-NV. Ett användningsområde är att fungera som indikator för miljö kvalitets målet <i>Ingen övergödning</i> samt även som delunderlag till en indikator inom miljö kvalitets målet <i>Bara naturlig försurning</i> . Data används även för den regionala uppföljningen av de svenska miljömålen. Utöver detta används data internationellt inom Luftkonventionen samt även till forskning både nationellt och internationellt.

2.1. Resultat Försurande och övergödande ämnen

2.1.1. Halter i luft – försurande och övergödande ämnen

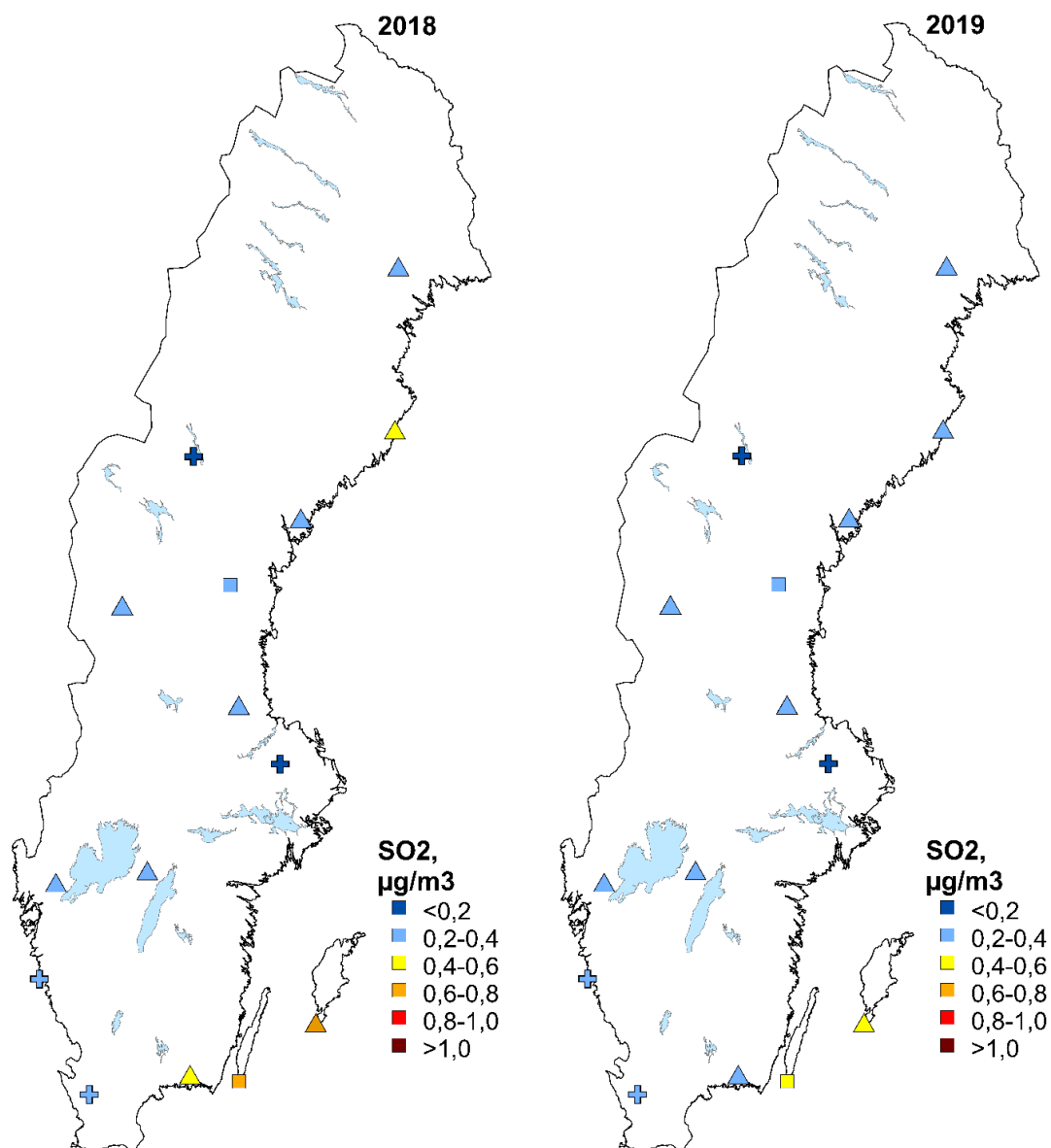
Nedan presenteras trender för årsmedelhalter i luft av svavel och kväve samt även årsmedelhalter av klorid, natrium, magnesium, kalcium och kalium.

Inom EMEP startade mätningar av halter i luft redan 1978. EMEP är därmed det mätnät där mätningar av halter i luft har pågått under längst tid. Mätseriernas längd varierar något mellan stationer och parametrar. I figurerna nedan visas årsmedelhalter av SO₂, SO₄, NO₂, NO₃ och NH₄ stationsvis för samtliga år då mätningar pågått.

För flera av stationerna inom EMEP, LNKN och Krondroppsnätet-NV finns mätdata från 1980- och 1990-talen och framåt. För att kunna se om skillnader finns mellan olika delar av landet har Sverige delats in i tre olika regioner. Indelningen är densamma som den som används inom miljömålsuppföljningen. Baserat på årsmedelvärden för enskilda mätstationer inom respektive region har årsmedelvärden beräknats för regionerna. Stationer med mätserier som saknar mätdata för ett eller flera år har uteslutits ur beräkningarna. För stationer med databortfall över 20 % har inte årsmedelvärden beräknats.

2.1.1.1. Halter av svavel- och kväveföreningar i luft 2018 och 2019

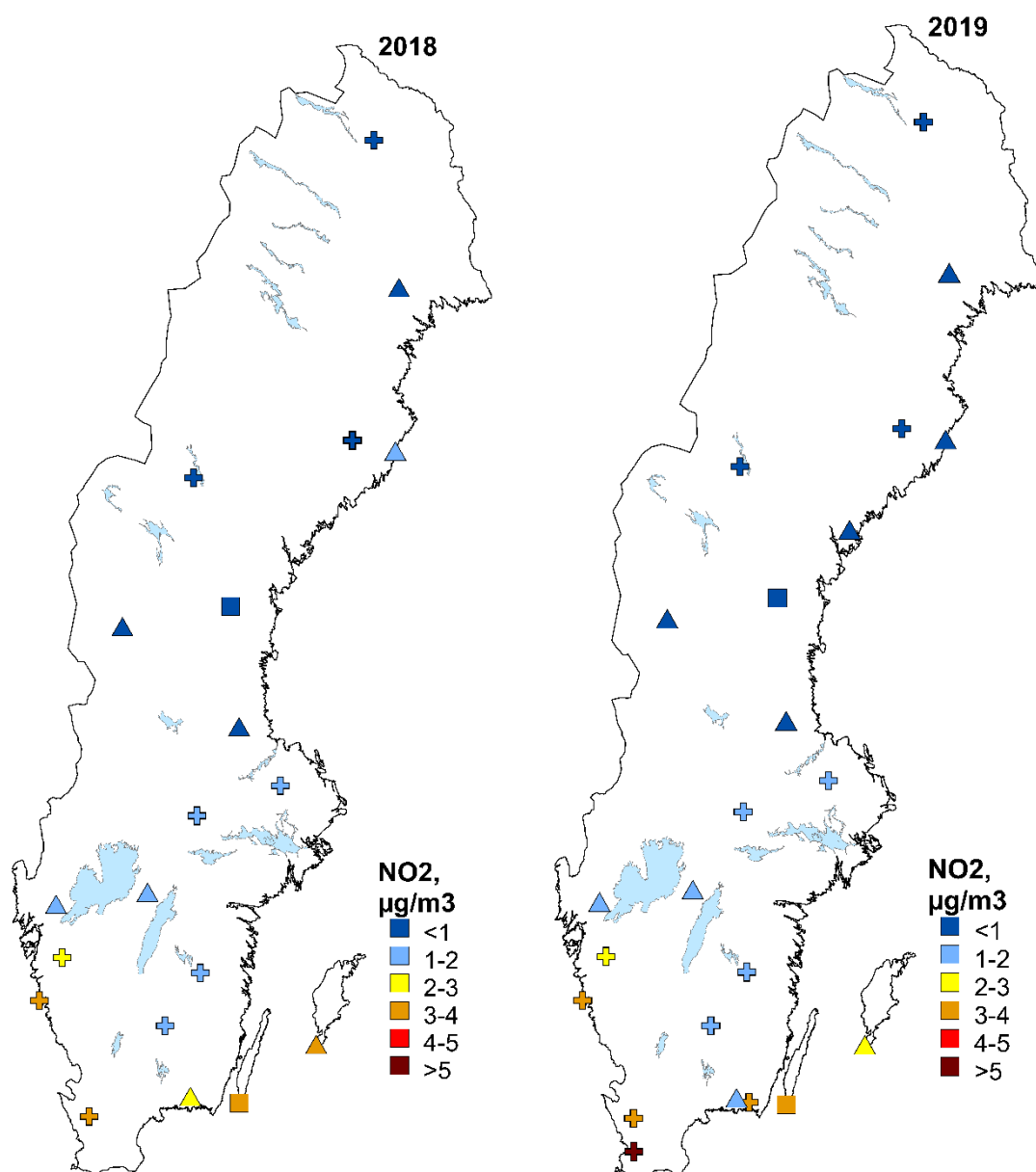
I kartorna nedan (Figur 2-1) visas lufthalterna av svaveldioxid (SO₂) för åren 2018 och 2019. Uppmätta halter visar inte på några större skillnader mellan åren. Den högsta årsmedelhalten under 2018 och 2019 observerades vid Ottenby på södra Öland (0,7 respektive 0,5 µg/m³) men även vid Hoburgen på södra Gotland uppmättes under 2018 och 2019 halter av SO₂ över 0,5 µg/m³. Även längre norrut, längs Norrlandskusten, kan förhöjda SO₂-halter förekomma. Under 2018 uppmättes en årsmedelhalt på 0,5 µg/m³ vid mätstationen Rickleå i Västerbotten. Vid övriga mätstationer var årsmedelhalterna under 0,5 µg/m³.



Figur 2-1 Årsmedelhalter av SO₂ i luft (µg/m³) för åren 2018 och 2019. Symbolerna indikerar vilket mätnät som resultaten tillhör: plustecken = EMEP, fyrkanter = Krondropps nätet-NV och trianglar = LNKN.

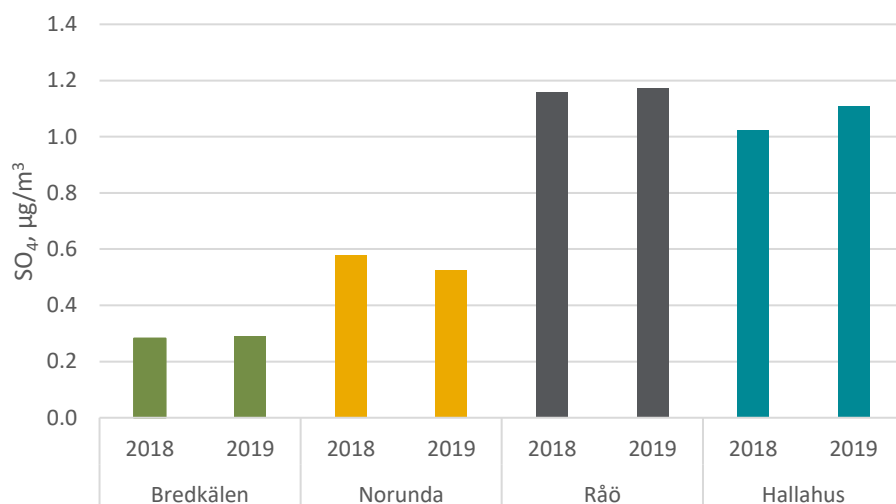
Årsmedelhalter av kvävedioxid (NO₂) för 2018 och 2019 illustreras i kartorna nedan (Figur 2-2). Kartorna visar tydligt att det finns en syd- nordgradient för halter av NO₂ i luft, med de högsta halterna i landets södra delar, då framför allt i kustnära trakter.

Den allra högsta årsmedelhalten av NO₂ uppmättes 2019 i Staffanstorp i Skåne (10,8 µg/m³). Denna mätstation är en förortsstation och resultaten för denna station kan inte jämföras direkt mot bakgrundsstationernas. Årsmedelhalter över 3 µg/m³ uppmättes vid mätstationerna Ottenby, Råö och Hallahus under 2018 och 2019 samt för Hoburgen 2018 och Rödeby 2019.

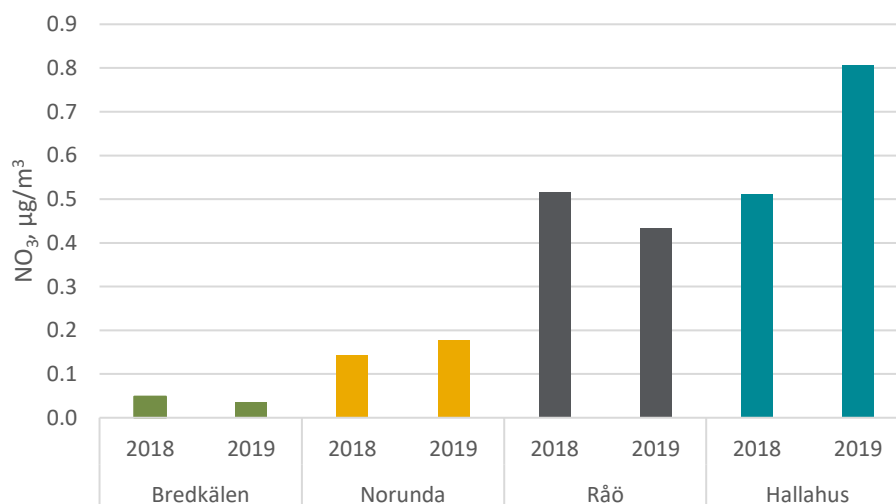


Figur 2-2 Årsmedelhalter av NO₂ i luft (µg/m³) för åren 2018 och 2019. Symbolerna indikerar vilket mätnät som resultaten tillhör: plustecken = EMEP, fyrkanter = Krondropps nätet-NV och trianglar = LNKN.

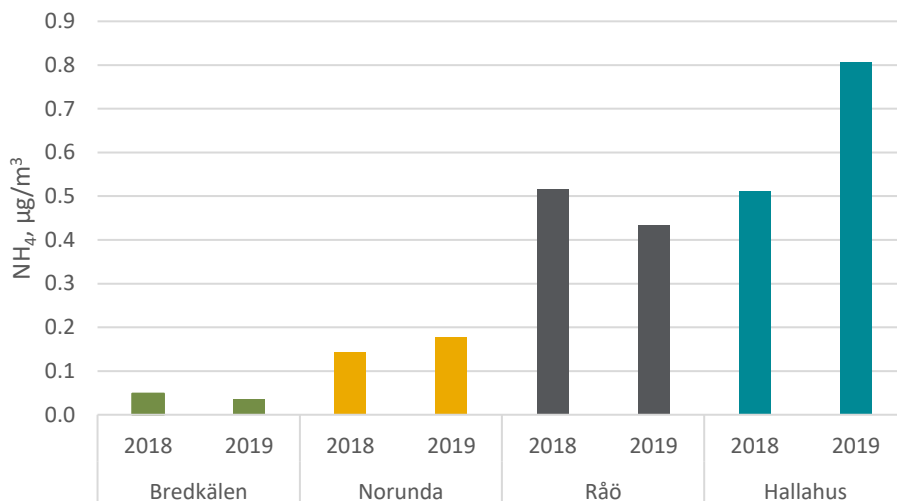
Vid EMEP-stationerna Bredkälven, Råö, Hallahus och Norunda mäts förutom lufthalter av SO₂ och NO₂ även halter av sulfat (SO₄), nitrat (NO₃) och ammonium (NH₄) (för NO₃ och NH₄, i gas- och i partikelfas). Därtill mäts ammoniak (NH₃) vid mätstationerna Storulvsjön och Ottenby inom Krondropps nätet-NV samt även i Hallahus. Resultaten av mätningar av dessa lufthalter presenteras i figurerna nedan. Generellt visar alla mätningar på att lufthalterna är högre i södra Sverige jämfört med norra Sverige.



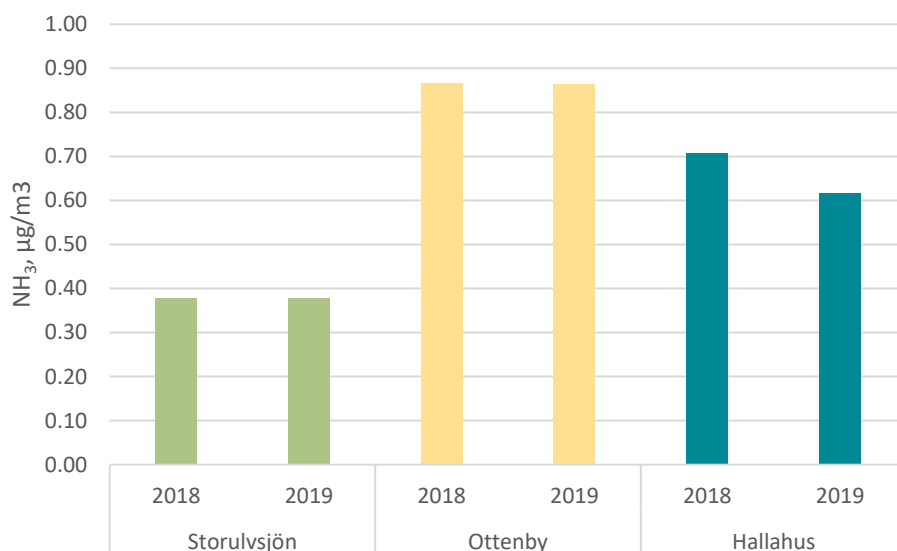
Figur 2-3 Årsmedelhalter av sulfat (SO_4) i luft 2018 och 2019 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) vid mätstationerna Breckälven, Norunda, Råö och Hallahus.



Figur 2-4 Årsmedelhalter av nitrat (NO_3) (gas- och partikelfas) i luft 2018 och 2019 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) vid mätstationerna Breckälven, Norunda, Råö och Hallahus.



Figur 2-5 Årsmedelhalter av ammonium (NH_4) (gas- och partikelfas) i luft 2018 och 2019 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) vid mätstationerna Breckkälen, Norunda, Råö och Hallahus.



Figur 2-6 Årsmedelhalter av ammoniak (NH_3) i luft 2018 och 2019 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) vid mätstationerna Storulvsjön, Ottenby och Hallahus.

2.1.1.2. Tidsserier för halter av svavel- och kväveföreningar i luft

Nedan presenteras tidsserier för stationer som har varit aktiva under 2018 och 2019. Avgörande för om årsmedelvärden inkluderats i figurerna är att det maximalt får saknas två månadsmedelvärden för stationer med månadsvis mätning med diffusionsprovtagare, eller maximalt 20 % av dygnsvärden för stationer som har dygnsvis mätning. Mätplatserna har indelats i tre olika områden, Norra Sverige, Sydöstra Sverige eller Sydvästra Sverige (Figur 2-7 och Figur 2-11). Indelningen är densamma som används för miljömålsuppföljningen inom miljömålen *Ingen övergödning* och *Bara naturlig försurning*.

I kapitel 2.1.1.3 redovisas statistisk trendanalys av förändring över tid för halter av svavel- och kväveföreningar i luft.

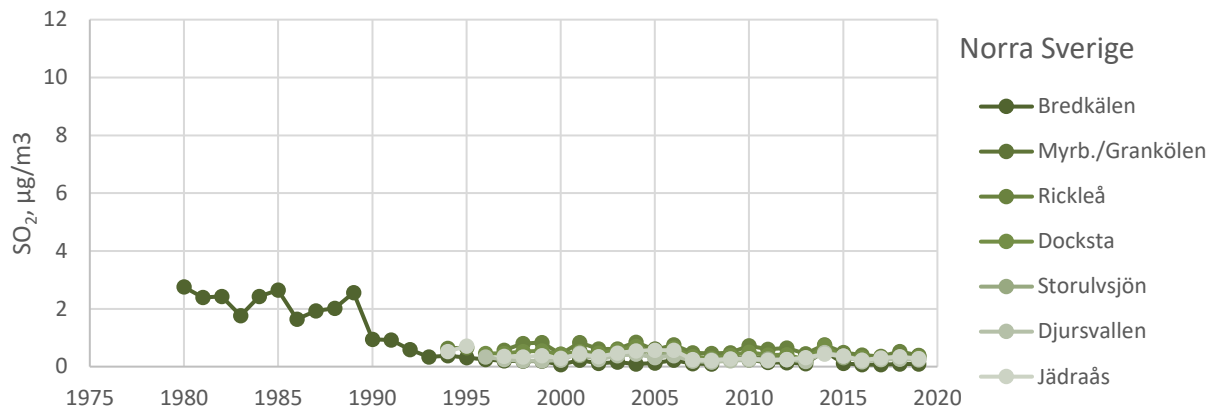


Figur 2-7 Karta över de mätstationer som ingår i tidsserierna av halter av SO₂ i luft, 1978 - 2019, för regionerna Norra Sverige, Sydöstra Sverige och Sydvästra Sverige. Regionindelningen följer den indelning som används i miljömålsuppföljningen av miljömålet *Bara naturlig försurning*. Symbolerna indikerar vilket mätnät som mätstationen tillhör.

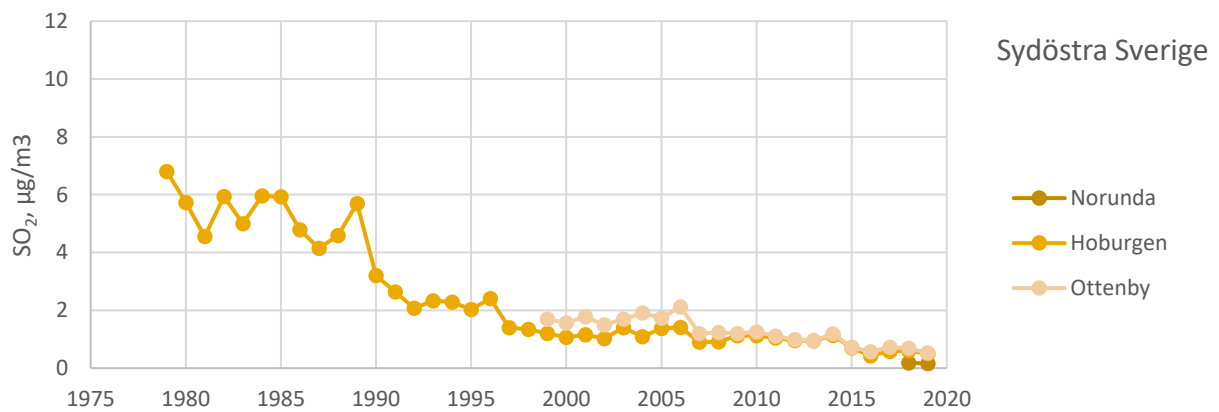
I Figur 2-8, Figur 2-9 och Figur 2-10 presenteras årsmedelvärden av SO₂ för sju mätplatser i norra Sverige, tre mätplatser i sydöstra Sverige och fem mätplatser i sydvästra Sverige.

Det som resultaten tydligt visar är att halter av SO₂ i luft generellt är högre i de sydligaste delarna av Sverige. Detta gäller framför allt för åren innan mitten av 1990-talet.

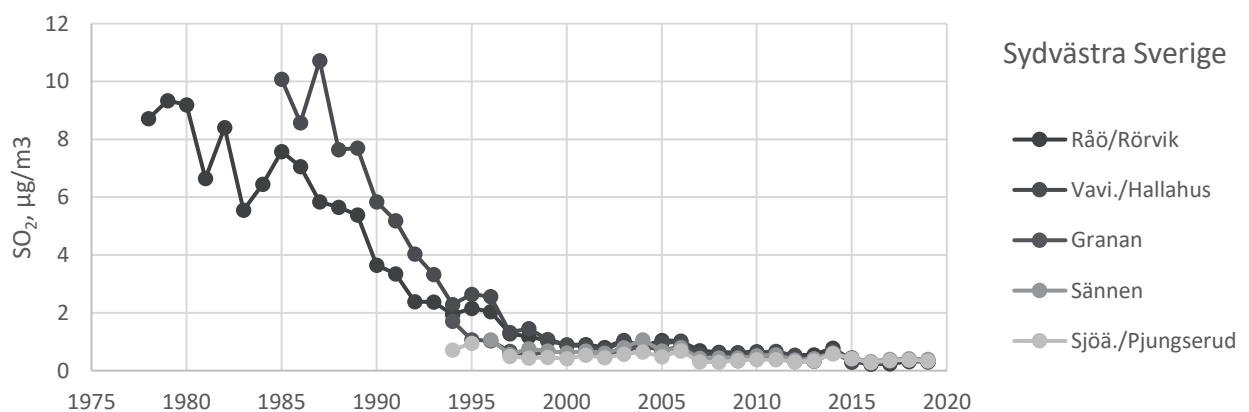
För senare år är skillnaden i halter av SO₂ i luft mindre, men årsmedelhalterna är fortfarande lägre i norra Sverige jämfört med södra Sverige.



Figur 2-8 Årsmedelhalter av svaveldioxid (SO₂) i luft (µg/m³) i norra Sverige 1980 – 2019.



Figur 2-9 Årsmedelhalter av svaveldioxid (SO₂) i luft (µg/m³) i sydöstra Sverige 1978 – 2019.



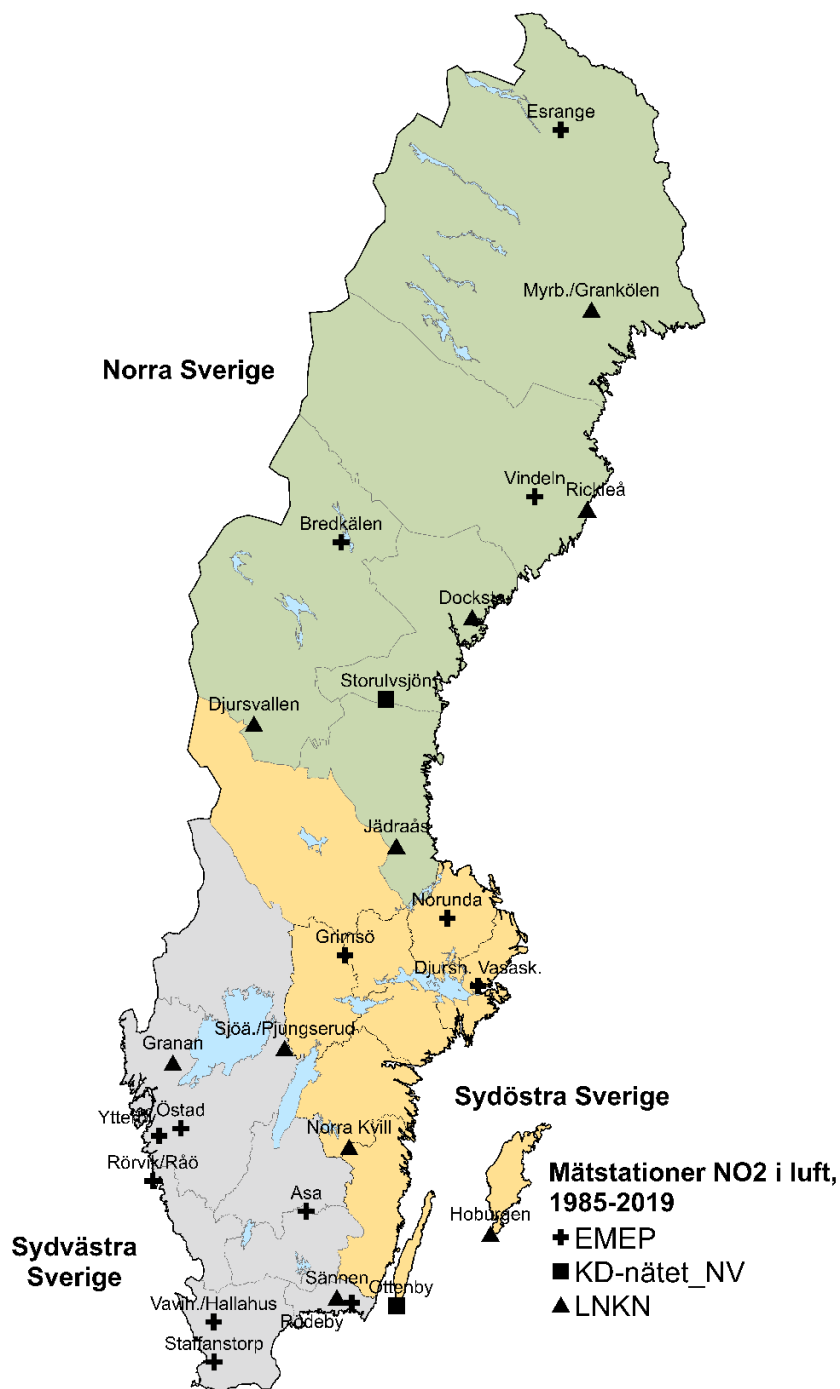
Figur 2-10 Årsmedelhalter av svaveldioxid (SO₂) i luft (µg/m³) i sydvästra Sverige 1978 – 2019.

En jämförelse mellan den procentuella minskningen av SO₂-halter i luft och emissioner av SO₂ mellan 1990 och 2018 visas i Figur 2-15. Generellt följer minskningen av halter i luft den minskning man kan

se för emissionerna, men minskningen tycks vara något snabbare för halterna i luft i norra och sydvästra Sverige jämfört med emissionsminskningen. Uppmätta halter av SO₂ i luft under 2014 avviker dock från trenden, då särskilt för norra Sverige.

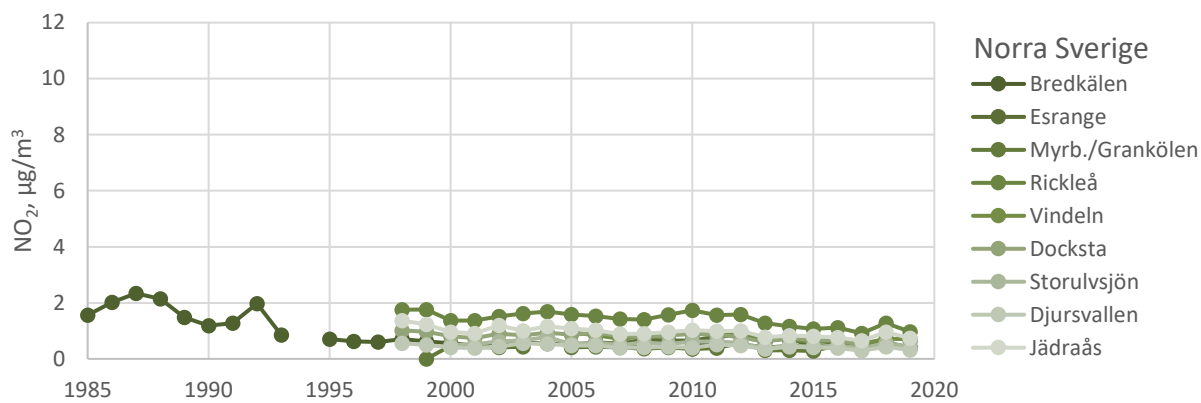
Orsaken till detta är stora utsläpp av svavel till atmosfären från ett vulkanutbrott på Island, (Hellsten, m.fl. 2017). Halterna av SO₂ i luft i norra Sverige var för 2014 i samma nivå som under början av 1990-talet.

I Figur 2-12, Figur 2-13 och Figur 2-14 presenteras årsmedelvärden av NO₂ för nio mätplatser i norra Sverige, sex mätplatser i sydöstra Sverige och sju mätplatser i sydvästra Sverige.

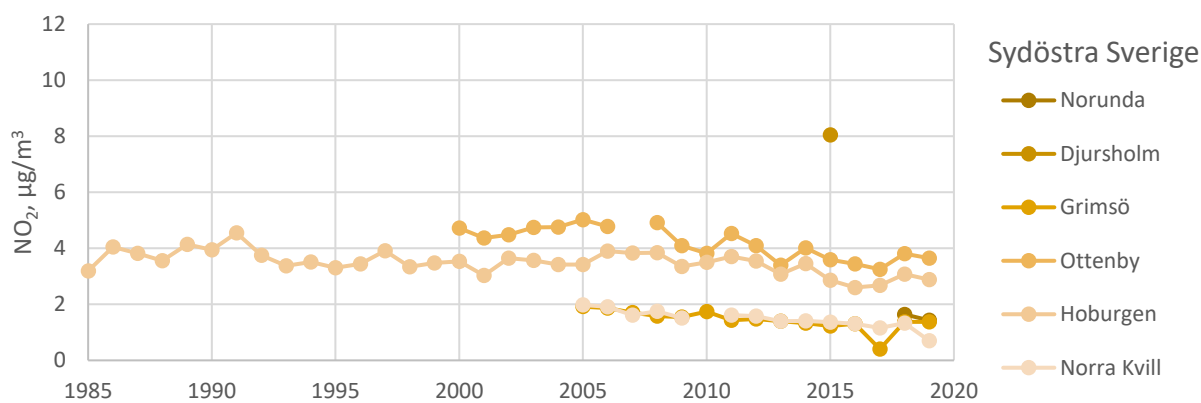


Figur 2-11 Karta över de mätstationer som ingår i tidsserierna av halter av NO₂ i luft, 1985 - 2019, för regionerna Norra Sverige, Sydöstra Sverige och Sydvästra Sverige. Regionindelningen följer den indelning som används i miljömålsuppföljningen av miljömålet *Bara naturlig försurning*. Symbolerna indikerar vilket mätnät som mätstationen tillhör.

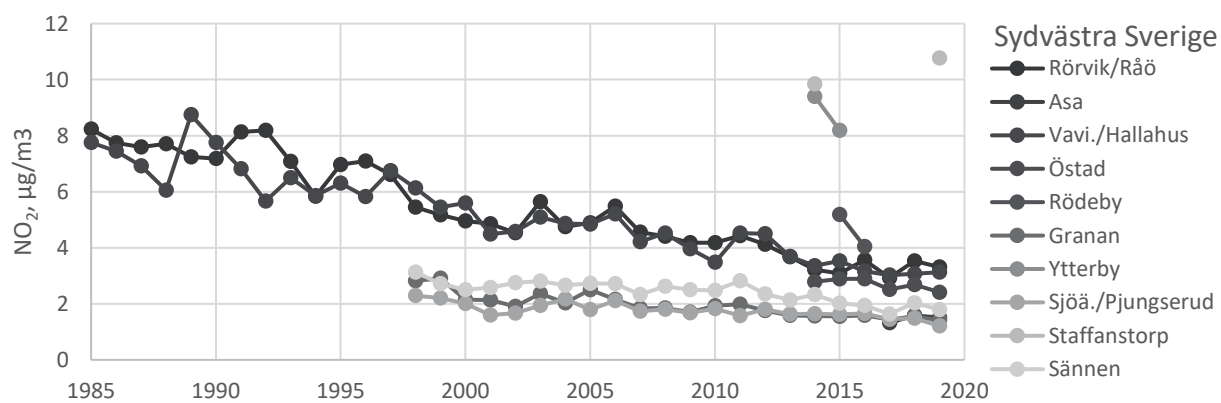
Årsmedelhalten av NO₂ är som för hela tidsperioden lägst i norra Sverige och högst i sydvästra Sverige. Förändringen av halter i luft över tid är mindre för NO₂ jämfört med motsvarande förändring av SO₂-halter i luft. Den tydligaste minskningen mellan 1985 och 2019 kan ses för mätplatserna i sydvästra Sverige.



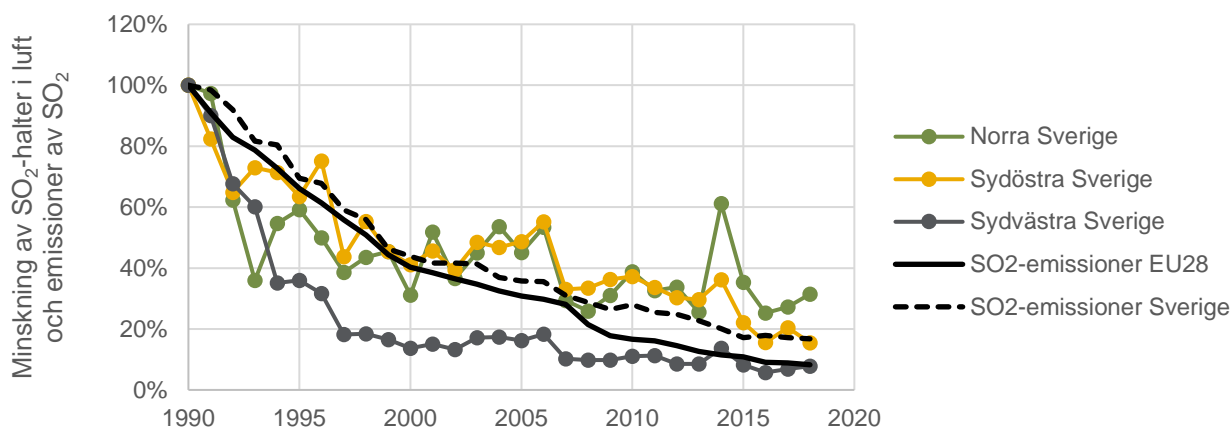
Figur 2-12 Årsmedelhalter av kvävedioxid (NO₂) i luft (µg/m³) i norra Sverige 1985 – 2019.



Figur 2-13 Årsmedelhalter av kvävedioxid (NO₂) i luft (µg/m³) i sydöstra Sverige 1985 – 2019.

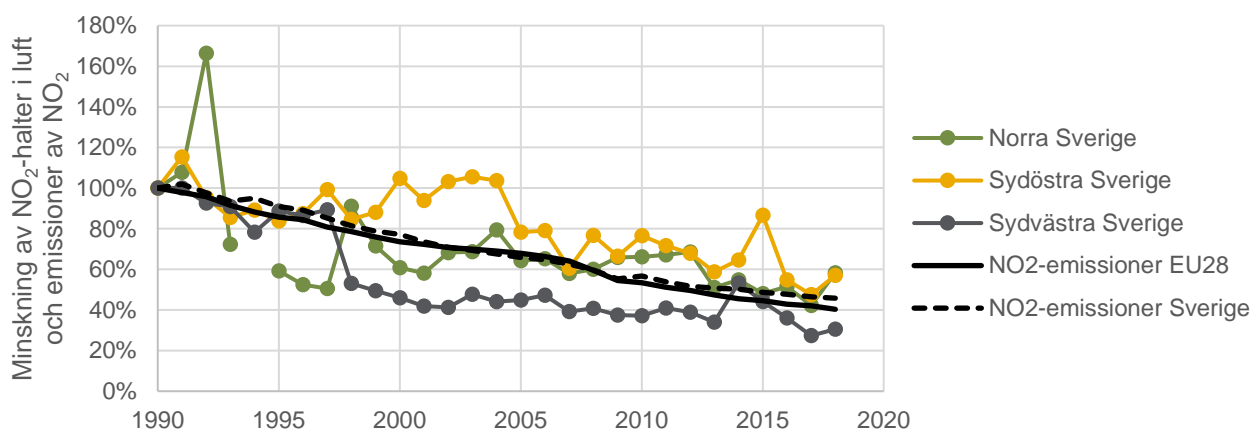


Figur 2-14 Årsmedelhalter av kvävedioxid (NO₂) i luft (µg/m³) i sydvästra Sverige 1985 – 2019.



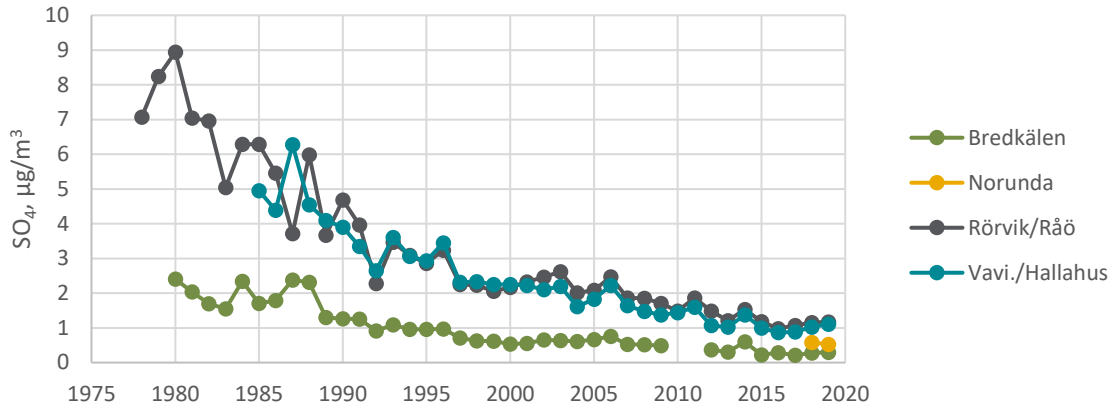
Figur 2-15 Jämförelse mellan minskade halter av SO₂ i luft i norra Sverige, sydöstra Sverige och sydvästra Sverige och minskade emissioner av SO₂ för EU28 och Sverige.

Motsvarande jämförelse mellan halter i luft av NO₂ och emissioner av NO₂ visas i Figur 2-16. Även för NO₂ följer halterna i luft ganska väl minskade emissioner av NO₂ inom EU28 och Sverige, dock är minskningstakten för halter i luft och emissioner mindre jämfört med motsvarande för SO₂. Under 1992 var halterna av NO₂ i luft ovanligt hög i norra Sverige. Noteras bör att för denna tidiga del av tidsperioden finns endast en mätplats (Bredkålen) som representerar norra Sverige.



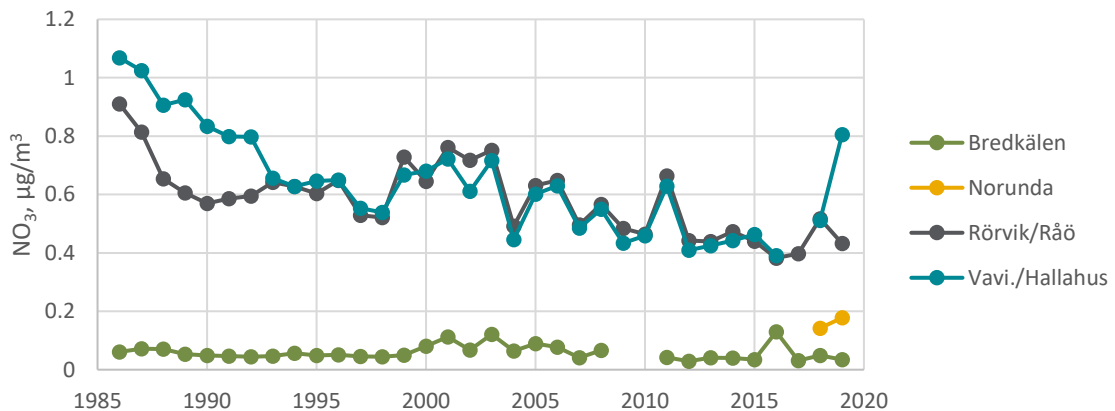
Figur 2-16 Jämförelse mellan minskade halter av NO₂ i luft i norra Sverige, sydöstra Sverige och sydvästra Sverige och minskade emissioner av NO₂ för EU28 och Sverige.

Tidsserier för SO₄, NO₃ och NH₄ uppmätta i luft vid mätstationerna Bredkålen, Norunda, Rörvik/Råö och Vavihill/Hallahus visas i Figur 2-17, Figur 2-18 och Figur 2-19. Minskningen av SO₄ i luft följer samma trend som minskningen av SO₂ i luft, med en snabb och tydlig minskning framför allt för perioden innan mitten av 1990-talet. Därefter ses en fortsatt minskning men i något långsammare takt än för SO₂.

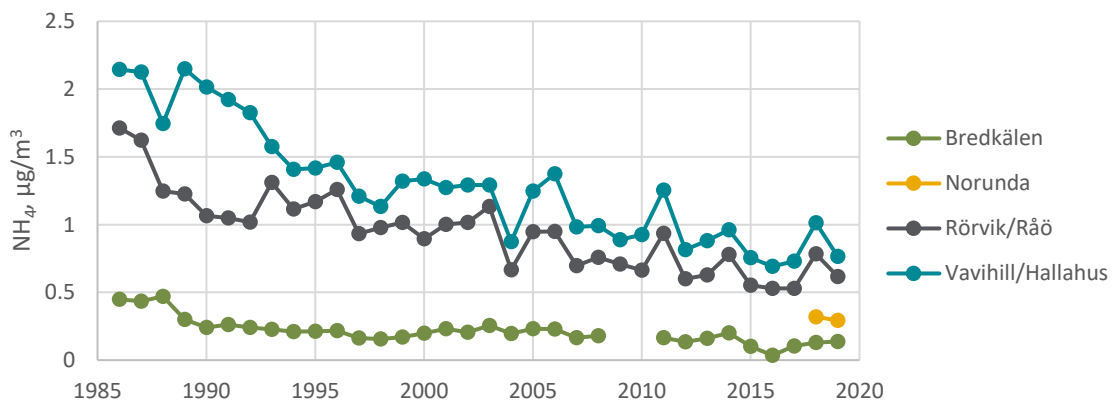


Figur 2-17 Årsmedelhalter av sulfat (SO_4) i luft ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) vid Bredkälén i norra Sverige, Norunda i sydöstra Sverige och Rörvik/Råö och Vavihill/Hallahus i sydvästra Sverige.

Även för NO_3 och NH_4 ses över tid en minskning av halterna i luft i sydöstra och sydvästra Sverige, dock inte lika tydlig som för SO_2 och SO_4 . Halten av NO_3 och NH_4 i norra Sverige ligger på en betydligt lägre nivå jämfört med de sydliga delarna av Sverige, och någon minskning kan knappast ses.

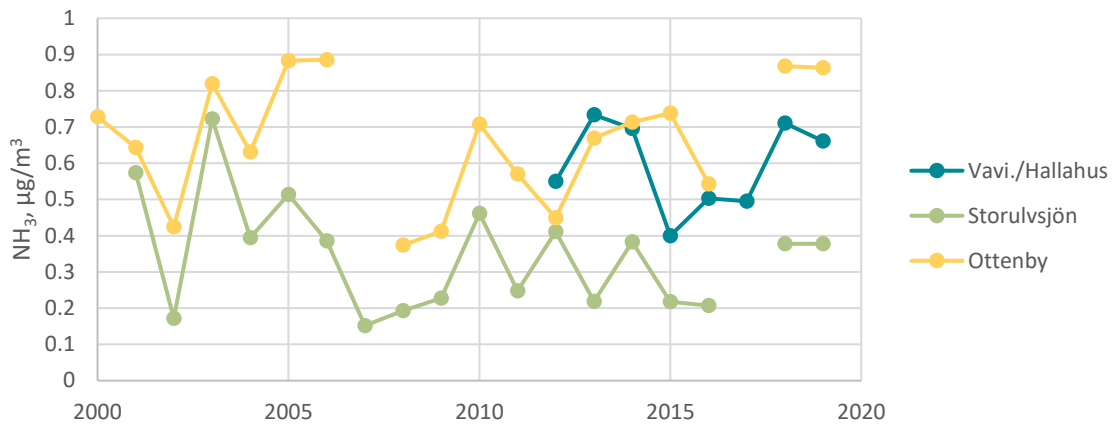


Figur 2-18 Årsmedelhalter av nitrat (NO_3) (gas- och partikelfas) i luft ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) vid Bredkälén i norra Sverige, Norunda i sydöstra Sverige och Rörvik/Råö och Vavihill/Hallahus i sydvästra Sverige.



Figur 2-19 Årsmedelhalter av ammonium (NH_4) (gas- och partikelfas) i luft ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) vid Bredkälén i norra Sverige, Norunda i sydöstra Sverige och Rörvik/Råö och Vavihill/Hallahus i sydvästra Sverige.

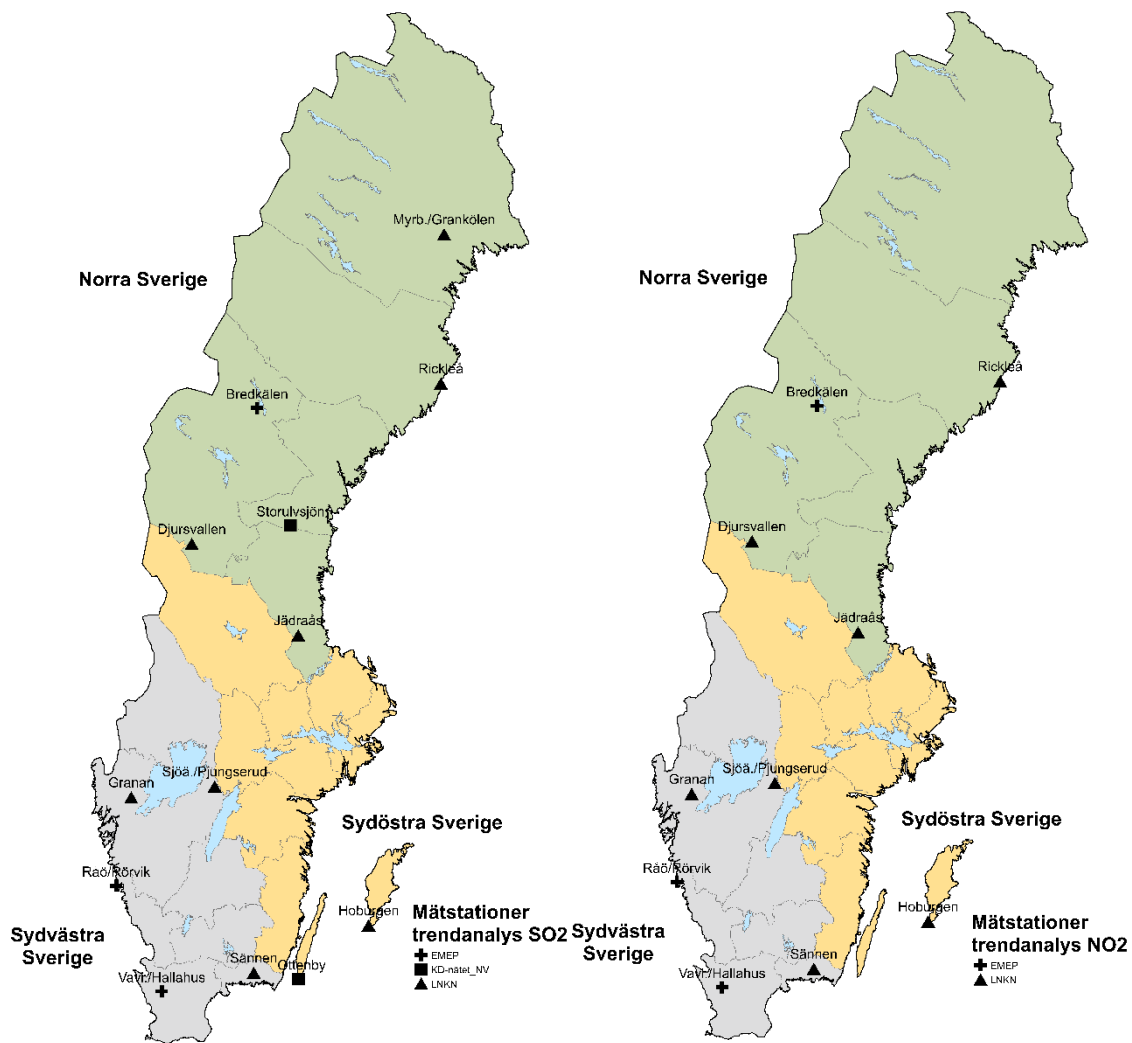
I Figur 2-20 presenteras årsmedelhalter av ammoniak i luft. Mellanårsvariationen är stor och skillnaden mellan halter uppmätta i norra Sverige, Storulvsjön, skiljer sig för vissa år inte mycket från halterna uppmätta vid mätstationerna Ottenby och Vavihill/Hallahus i landets södra delar.



Figur 2-20 Årsmedelhalter av ammoniak (NH₃) i luft (µg/m³) vid mätstationerna Storulvsjön i norra Sverige, Ottenby i sydöstra Sverige och Vavihill/Hallahus i sydvästra Sverige, 2000 - 2019.

2.1.1.3. Trendanalys av halter av svavel- och kväveföreningar i luft

En statistisk analys av förändringar över tid har gjorts för de lokaler som finns i kartorna i Figur 2-21. För att kunna inkludera så många mätstationer som möjligt har trendanalys för SO₂- och NO₂-halter i luft gjorts för perioderna 2001 - 2019 respektive 1998 - 2019. Resultatet presenteras i Tabell 2-4 och Tabell 2-5.



Figur 2-21 Kartor över de mätstationer som ingår i trendanalyserna av halter av SO₂ och NO₂ i luft, 2001-2019. Mätstationerna som ingår är hämtade från EMEP, Krondropps nätet-NV och LNKN som ingår i den nationella miljöövervakningen. Endast mätplatser där minst fyra års data i början och slutet av de undersökta perioderna är inkluderade. Ett års data finns endast med om 10 månaders data finns för det aktuella året. Symbolerna indikerar vilket mätnät som mätplatserna tillhör.

Tabell 2-4 Resultat från Mann-Kendall-analys av halter i luft av SO₂ för perioden 2001 – 2019. P-värde <0,05 = * signifikans; P-värde < 0,01 = ** signifikans; P-värde < 0,001 = ***-signifikans. Procenttalen är total procentuell förändring över hela tidsperioden. Data baseras på kalenderår.

Region	Mätstation	Signifikans	% förändring
Norra Sverige	Bredkålen	Ingen	-57%
	Jädraås	Ingen	-35%
	Rickleå	**	-53%
	Storulvsjön	Ingen	-28%
	Djursvallen,Nedre	Ingen	-50%
	Myrberg/Grankölen	Ingen	-30%
Sydöstra Sverige	Hoburgen	**	-57%
	Ottenby	***	-71%
Sydvästra Sverige	Granan	**	-47%
	Sännen	**	-43%
	Råö/Rörvik	***	-66%
	Sjöängen/Pjungserud	Ingen	-37%
	Vavihill/Hallahus	***	-64%

Att ingen signifikant minskning av SO₂ i luft kan ses för flertalet mätstationer i norra Sverige beror troligen på att halterna i luft varit på en ganska låg nivå under hela tidsperioden. Generellt kan nämnas att den största minskningen av SO₂ i luft kan ses under 1980- och 1990-talet (Figur 2-8, Figur 2-9, Figur 2-10). Även de höga halterna som uppmättes under 2014, som berodde på ett vulkanutbrott på Island, påverkar resultatet av trendanalysen något. En jämförande trendanalys av tidsperioden 1995 – 2019 för norra Sverige, som omfattar endast totalt tio mätstationer, visar på signifikant minskade SO₂-halter i luft för åtta av dessa.

Trendanalys för mätstationerna Bredkålen i norra Sverige, Hoburgen i sydöstra Sverige och Rörvik/Råö i sydvästra Sverige för perioden 1979 – 2019 visar på starkt signifikant minskning ($p < 0,001$) av SO₂-halterna för alla dessa tre mätstationer.

Till skillnad från trendanalys av SO₂-halterna i luft visar resultatet av trendanalysen för NO₂-halten i luft på signifikanta minskningar för samtliga mätstationer i norra Sverige under perioden 1998 – 2019 (Tabell 2-5). Även samtliga mätstationer i sydvästra Sverige har starkt minskade NO₂-halter i luft. Den enda mätstationen i sydöstra Sverige som ingår i analysen, Hoburgen, har ingen signifikant förändring av NO₂-halten i luft under den analyserade perioden.

Trendanalys av NO₂-halter i luft för den längsta möjliga tidsperioden, 1985 – 2019, visar en signifikant minskning även för mätstationen Hoburgen.

Tabell 2-5 Resultat från Mann-Kendall-analys av halter i luft av NO₂ för perioden 2001 – 2019. P-värde <0,05 = * signifikans; P-värde < 0,01 = ** signifikans; P-värde < 0,001 = ***-signifikans. Procenttalen är total procentuell förändring över hela tidsperioden. Data baseras på kalenderår.

Region	Mätstation	Signifikans	% förändring
Norra Sverige	Bredkålen	***	-46%
	Djursvallen	**	-44%
	Jädraås	***	-46%
	Rickleå	**	-45%
Sydöstra Sverige	Hoburgen	Ingen	-14%
Sydvästra Sverige	Granan	***	-50%
	Rörvik/Råö	***	-39%
	Sjöängen/Pjungserud	***	-47%
	Sännen	***	-43%
	Vavihill/Hallahus	***	-49%

I Tabell 2-6 presenteras resultat från trendanalyser för EMEP-stationerna Bredkålen, Rörvik/Råö och Vavihill/Hallahus, 1986 – 2019, för SO₄, NO₃ (gas- och partikelfas) och NH₄ (gas- och partikelfas). Halter i luft av dessa svavel- och kväveföreningar har minskat signifikant, förutom NO₃-halten i luft vid Bredkålen.

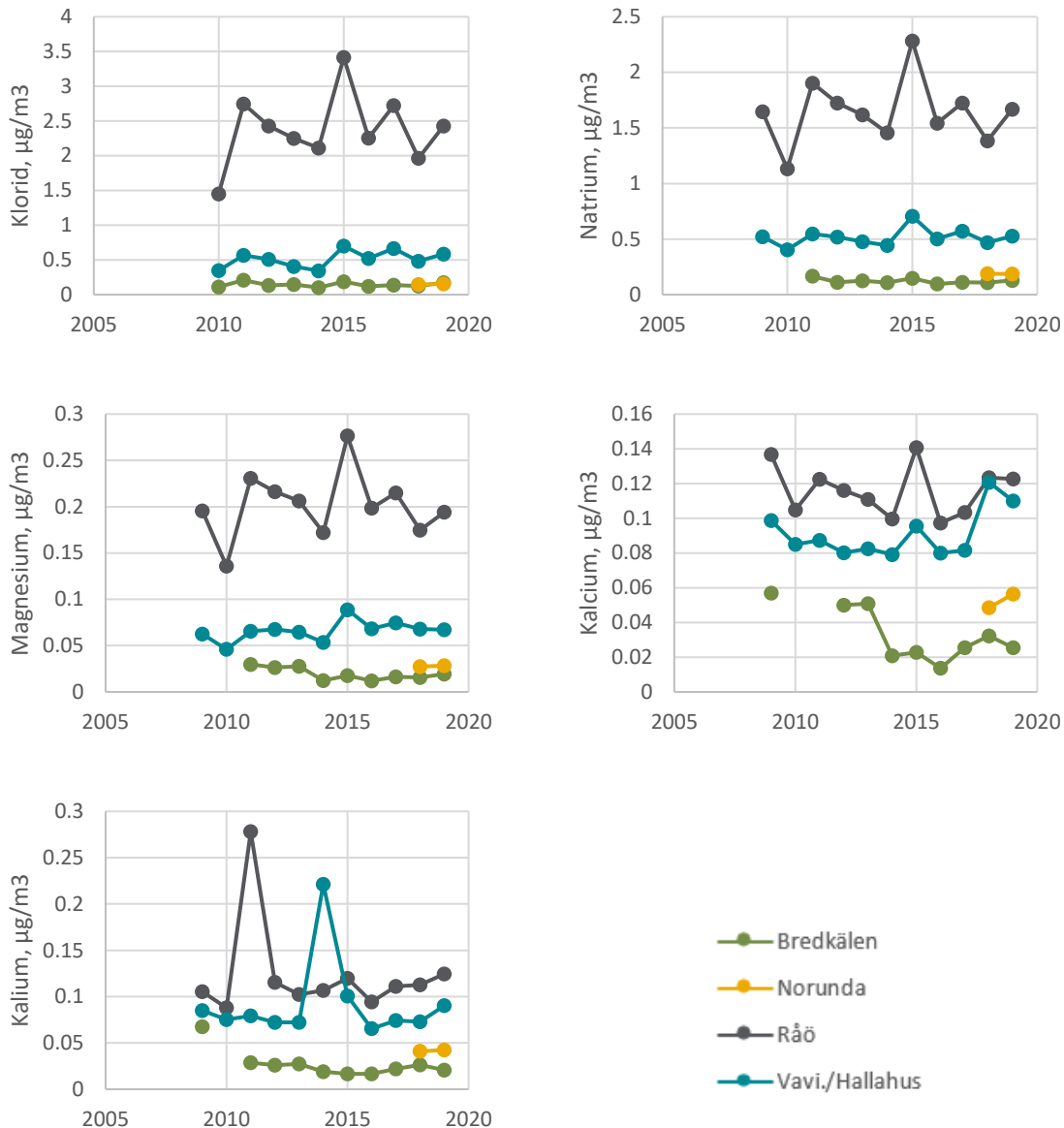
Tabell 2-6 Resultat från Mann-Kendall-analys av halter i luft av SO₄, NO₃ och NH₄ för perioden 1986 – 2019. P-värde <0,05 = * signifikans; P-värde < 0,01 = ** signifikans; P-värde < 0,001 = ***-signifikans. Procenttalen är total procentuell förändring över hela tidsperioden. Data baseras på kalenderår.

Mätstation	SO ₄ , signifikans	SO ₄ , % förändring	NO ₃ , signifikans	NO ₃ , % förändring	NH ₄ , signifikans	NH ₄ , % förändring
Bredkålen	p<0,001	-84 %	Ingen	-43 %	p<0,001	-69 %
Rörvik/Råö	p<0,001	-79 %	p<0,001	-52 %	p<0,001	-64 %
Vavihill/Hallahus	p<0,001	-75 %	p<0,001	-25 %	p<0,001	-64 %

2.1.1.4. Klorid, natrium, magnesium, kalcium och kalium i luft

I januari 2009 påbörjades dygnsvisa mätningar av klorid, natrium, magnesium, kalcium och kalium i luft vid EMEP-stationerna Vavihill, Råö, Norunda och Bredkålen. Resultaten redovisas i Figur 2-22 som årsmedelvärden för respektive station och parameter.

Generellt uppvisar haltnivåerna av klorid, natrium, magnesium, kalcium och kalium samma avtagande gradient från söder till norr som för övriga mätta parametrar. Uppmätta halter är lägst vid Bredkålen och högst vid Råö. Att halterna av speciellt klorid, natrium och magnesium är högst vid Råö beror på att stationen är belägen nära havet på västkusten. Mellanårsvariationen är ganska stor och någon statistisk signifikant trend finns inte för någon av parametrarna (Mann-Kendall).



Figur 2-22 Årsmedelhalter av klorid, natrium, magnesium, kalcium och kalium i luft (i partikelfas, $\mu\text{g}/\text{m}^3$) under 2009 - 2019.

2.1.2. Nedfall och nederbördsmängder – försurande och övergödande ämnen

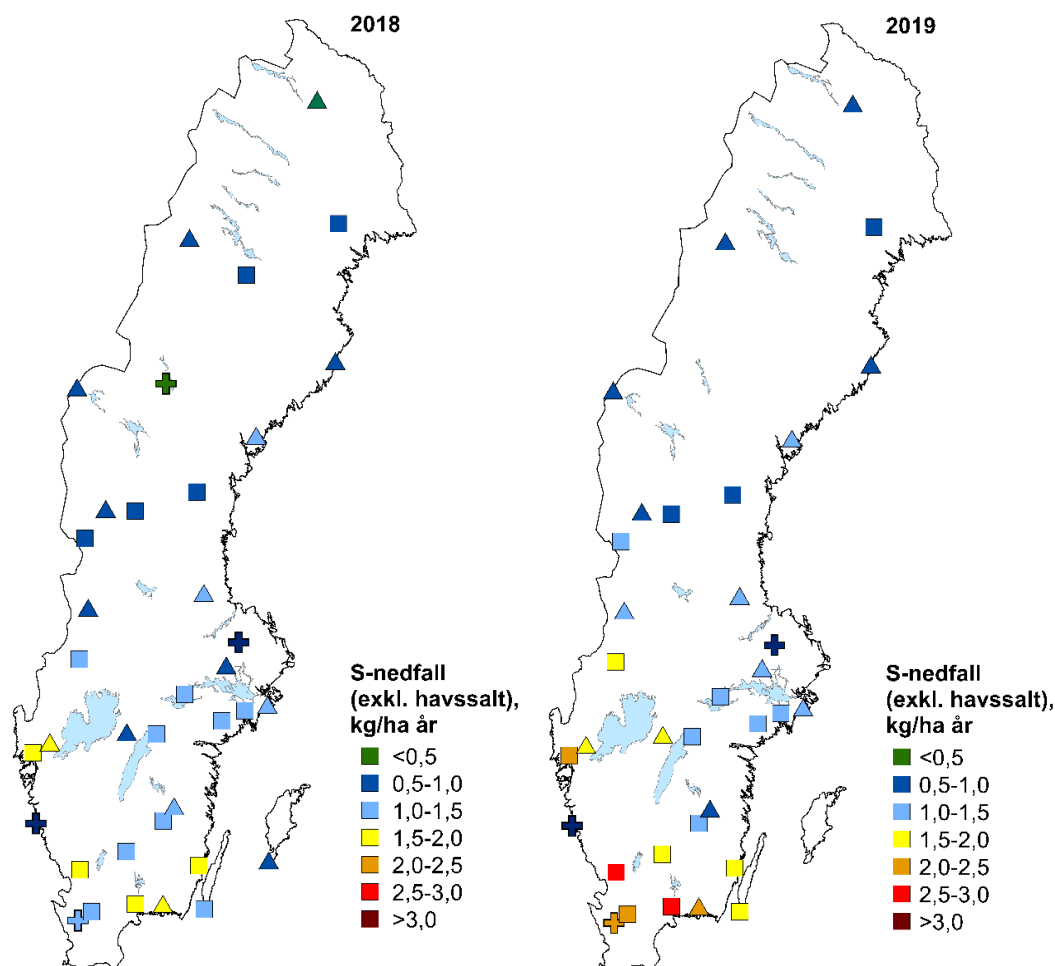
I följande kapitel används för kvävenedfallet beteckningarna nitrat- och ammoniumkväve, det vill säga kvävedelen av nitrat respektive ammonium. Vid modellering av motsvarande används ofta beteckningarna oxiderat (allt oxiderat kväve) respektive reducerat (NH_3 och NH_4^+) kväve, se kapitel 11. Den enhet som används nedan i detta kapitel, kg/ha , kan jämföras med den enhet som används vid modellering med MATCH - Sverigesystemet, mg/m^2 , ($1 \text{ kg}/\text{ha} = 100 \text{ mg}/\text{m}^2$).

2.1.2.1. Nedfall via nederbörden av svavel och kväve under 2018 och 2019

Nedan visas kartor från åren 2018 och 2019 för nedfall med nederbörden över öppet fält av sulfatsvavel utan havssaltsbidrag ($\text{SO}_4\text{-S}_{\text{ex}}$) samt oorganiskt kväve (summan av nitratkväve ($\text{NO}_3\text{-N}$) och ammoniumkväve ($\text{NH}_4\text{-N}$)) över öppet fält, Figur 2-23 och Figur 2-24. Data som visas i kartorna kommer från Kron droppsnätet-NV, LNKN samt EMEP, vilket indikeras med olika symboler.

Svavelnedfallet med nederbörden har sedan 2015 varit lågt jämfört med tidigare år. Även 2018 och 2019 var svavelnedfallet lågt. Det finns en gradient med högre nedfall i södra Sverige och lägst nedfall i norr, speciellt lågt i inre Norrland och fjällområdena i nordväst. Gradienten beror dels på närheten till de stora källorna för luftföroreningsutsläpp i Europa både på land och till sjöss, dels på att nederbördsmängderna är högst i sydväst och avtar mot nordost. Dock kan svavelnedfallet vara relativt högt vid Norrlandskusten på grund av utsläpp från de industrier som finns där.

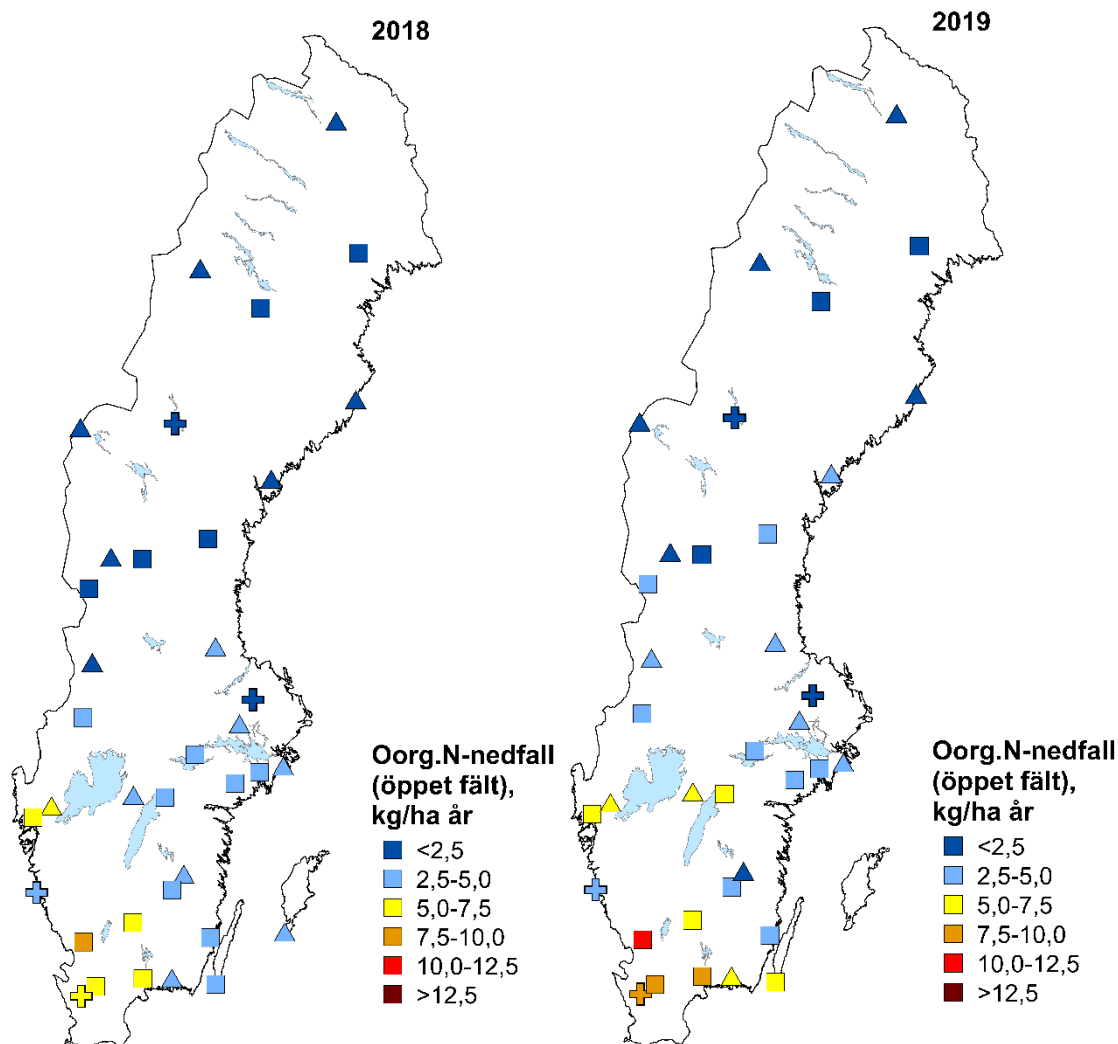
Svavelnedfallet med nederbörden för de båda åren 2018 och 2019 var ungefär på samma låga nivå, dock var nedfallet något högre i sydvästra Sverige 2019 (Figur 2-23). Det högsta svavelnedfallet (utan havssaltsbidrag) som uppmättes under 2018 var 2,0 kilo per hektar i södra Halland. Motsvarande uppmättes som högst under 2019 ett svavelnedfall på 2,9 kilo per hektar i Blekinge.



Figur 2-23 Svavelnedfall (sulfatsvavel, $\text{SO}_4\text{-S}$) utan havssaltsbidrag över öppet fält (bulkdeposition för data från Kron droppsnätet-NV och LNKN samt data från Wet-only-provtagare för EMEP) för alenderåren 2018 och 2019. Symbolerna indikerar vilket mätnät som resultaten tillhör: fyrkanter = Kron droppsnätet-NV, trianglar = LNKN, plustecken = EMEP.

Även för kvävenedfallet med nederbörden syns en tydlig depositionsgradient, med högre nedfall i sydväst och lägre mot norr. Liksom för svavel beror gradienten dels på närheten till de stora källorna för luftföroreningsutsläpp i Europa både på land och till sjöss, dels på att nederbördsmängderna är högst i sydväst och avtar mot nordost. Kvävenedfallet med nederbörden var högre 2019 jämfört med de närmast föregående åren men fortfarande generellt lågt. Under båda åren uppmättes högst kvävenedfall med nederbörden (9,6 respektive 10,5 kg/ha) i Halland, Figur 2-24.

Mätningarna av nedfall med nederbörden över öppet fält (s.k. bulkdeposition) inkluderar främst våtdeposition men även en mindre mängd torrdeposition till själva mätutrustningen. För en äldre modell av bulkprovtagare uppskattades andelen torrdepositionen av kväve till mätutrustningen till cirka 10 procent i södra Sverige (Hellsten & Westling, 2006). För den provtagaren som nu används startades i oktober 2017 mätningar, finansierade av Naturvårdsverket, för att beräkna torrdepositionen till utrustningen. Dessa mätningar pausades dock i oktober 2019 i avvaktan på ny finansiering.



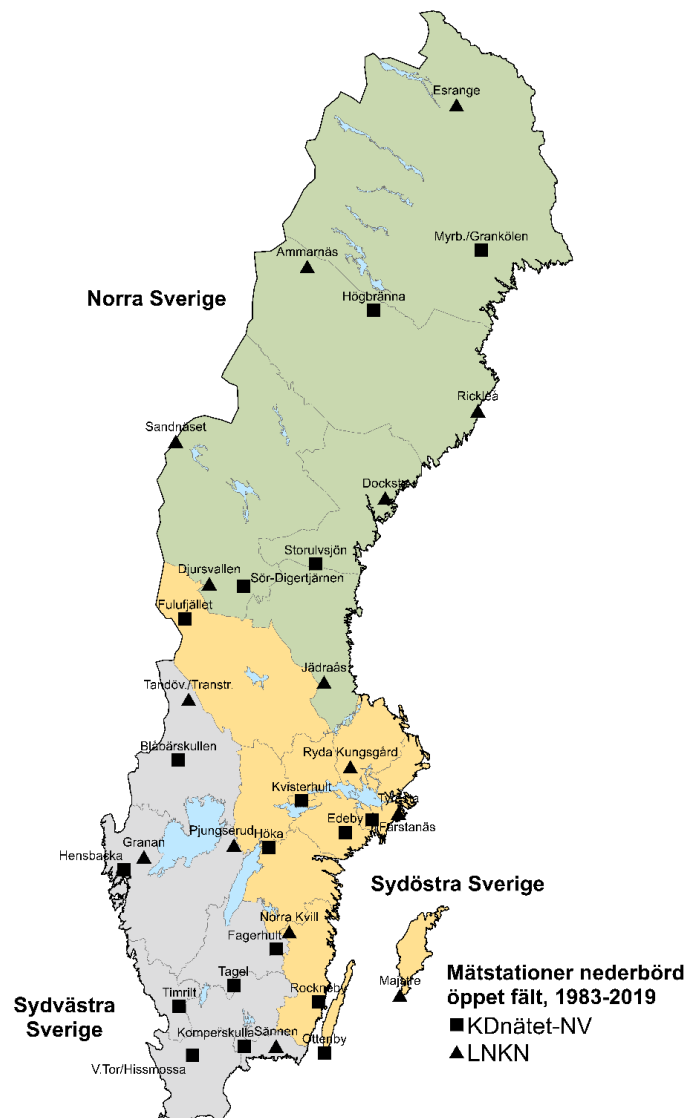
Figur 2-24 Nedfall av oorganiskt kväve (nitratkväve ($\text{NO}_3\text{-N}$) + ammoniumkväve ($\text{NH}_4\text{-N}$)) över öppet fält (bulkdeposition för data från Krondropps nätet-NV och LNKN samt data från Wet-only-provtagare för EMEP) för 2018 samt 2019. Symbolerna indikerar vilket mätnät som resultaten tillhör: fyrkanter = Krondropps nätet-NV, trianglar = LNKN och plustecken = EMEP.

2.1.2.2. Tidsserier för nederbördsmängder, pH i nederbörden samt nedfall med nederbörden av svavel, klorid och oorganiskt kväve

De 15 mätplatserna inom LNKN och de 18 mätplatserna inom Krondroppsnätet-NV har indelats i tre olika områden: Norra, Sydöstra och Sydvästra Sverige enligt kartan i Figur 2-25.

Indelningen i dessa områden är samma som den indelning som används för miljömålsuppföljningen inom miljömålen *Ingen övergödning* och *Bara naturlig försurning*. I norra Sverige finns data från 11 mätplatser varav 4 från Krondroppsnätet-NV och 7 från LNKN. I Sydöstra Sverige finns data från 11 mätplatser varav 7 från Krondroppsnätet-NV och 4 från LNKN. I Sydvästra Sverige finns data från 11 mätplatser varav 7 från Krondroppsnätet-NV och 4 från LNKN.

Statistiska trendanalyser vad gäller förändringar över tid redovisas i ett särskilt kapitel nedan, 2.1.2.3.



Figur 2-25 Karta över de mätstationer som ingår i tidsserierna av nederbördskemiska mätningar, 1983 – 2019, för regionerna Norra Sverige, Sydöstra Sverige och Sydvästra Sverige. Regionindelningen följer den indelning som används i miljömålsuppföljningen av miljömålen: *Ingen övergödning* och *Bara naturlig försurning*. Mätstationerna som ingår är hämtade från Krondroppsnätet-NV och LNKN som ingår i den nationella miljöövervakningen. Symbolerna indikerar vilket mätnät som mätplatserna tillhör.

I figurerna nedan visas årsvisa (kalenderår) resultat från mätplatserna inom LNKN och Krondroppsnätet-NV.

Inom de olika mätnäten hanteras saknade värden på lite olika sätt, beroende på syftet med mätnäten. Inom Krondroppsnätet-NV ersätts alltid saknade månadsdata med resultat från en närliggande mätplats under samma period, då syftet med dessa mätningar är att beräkna deposition. Saknade data för mätplatser inom LNKN ersätts normalt inte, då syftet med dessa mätningar främst är att beräkna halter i nederbörden. För att årsdeposition ska kunna beräknas har mätår från mätplatser inom LNKN endast tagits med där maximalt två månaders data saknas. Dessa saknade månader har ersatt med ett medelvärde för resterande årets 10 eller 11 månader. Detta gör att samtliga mätår och mätplatser finns med i resultatfigurerna från Krondroppsnätet-NV. När det gäller LNKN har resultat medtagits endast för de mätår där det saknas data från högst två månader.

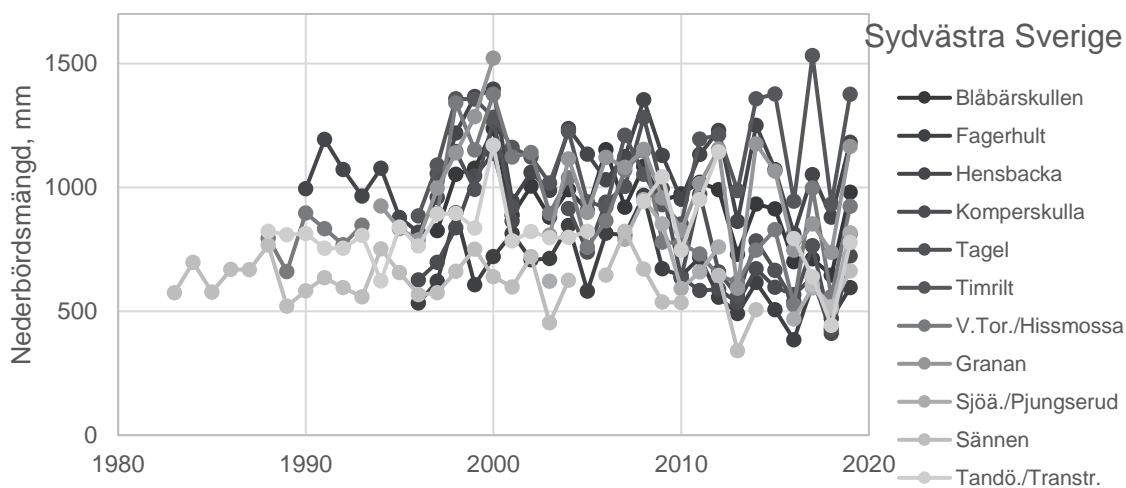
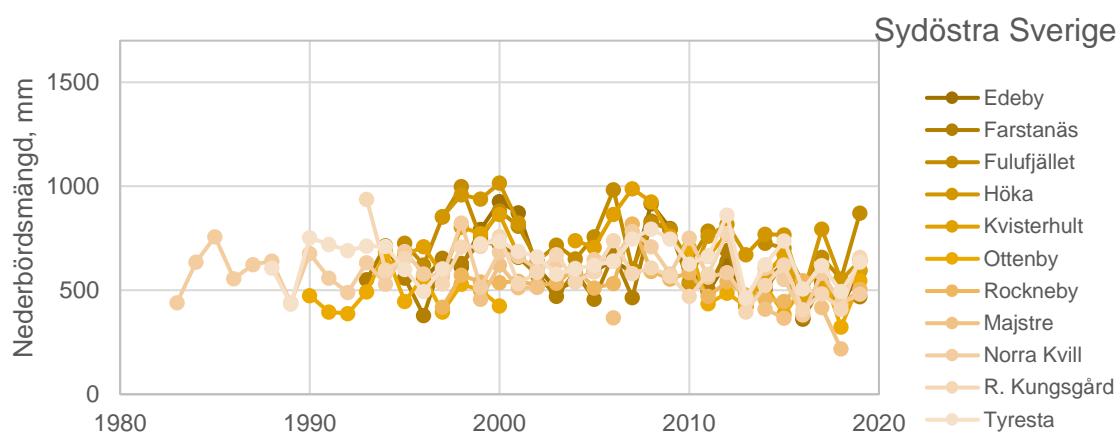
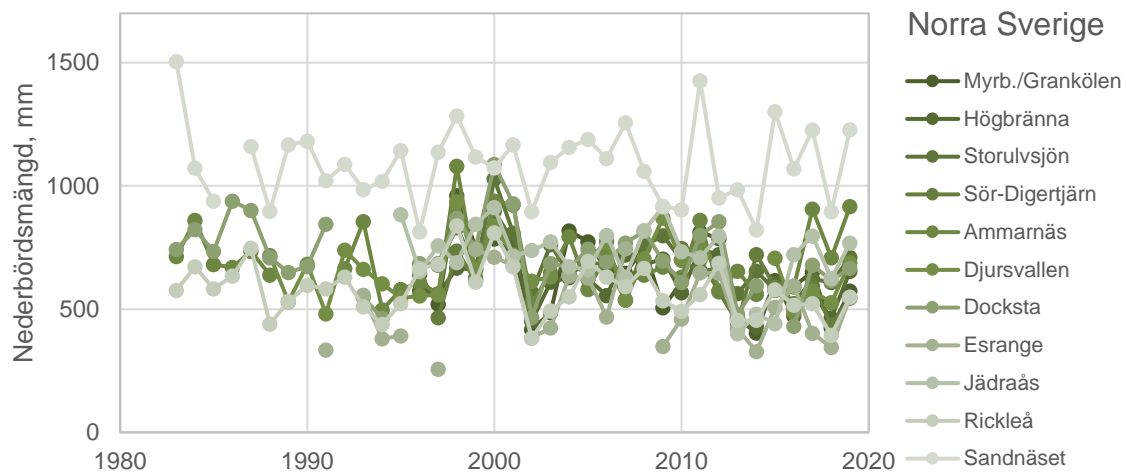
Data från EMEP har inte använts för redovisningen av tidsserier då mätutrustningen är annorlunda samt att det tidigare varit problem med lockprovtagarna vid några av mätstationerna.

De mätresultat som visas i Figurerna Figur 2-26 - Figur 2-32 är; nederbördsmängd, pH, nedfall med nederbörden till öppet fält (bulkdeposition) av klorid, svavel (sulfatsvavel ($\text{SO}_4\text{-S}$)) utan havssaltsbidrag, oorganiskt kväve ($\text{NO}_3\text{-N} + \text{NH}_4\text{-N}$), nitratkväve ($\text{NO}_3\text{-N}$) samt ammoniumkväve ($\text{NH}_4\text{-N}$).

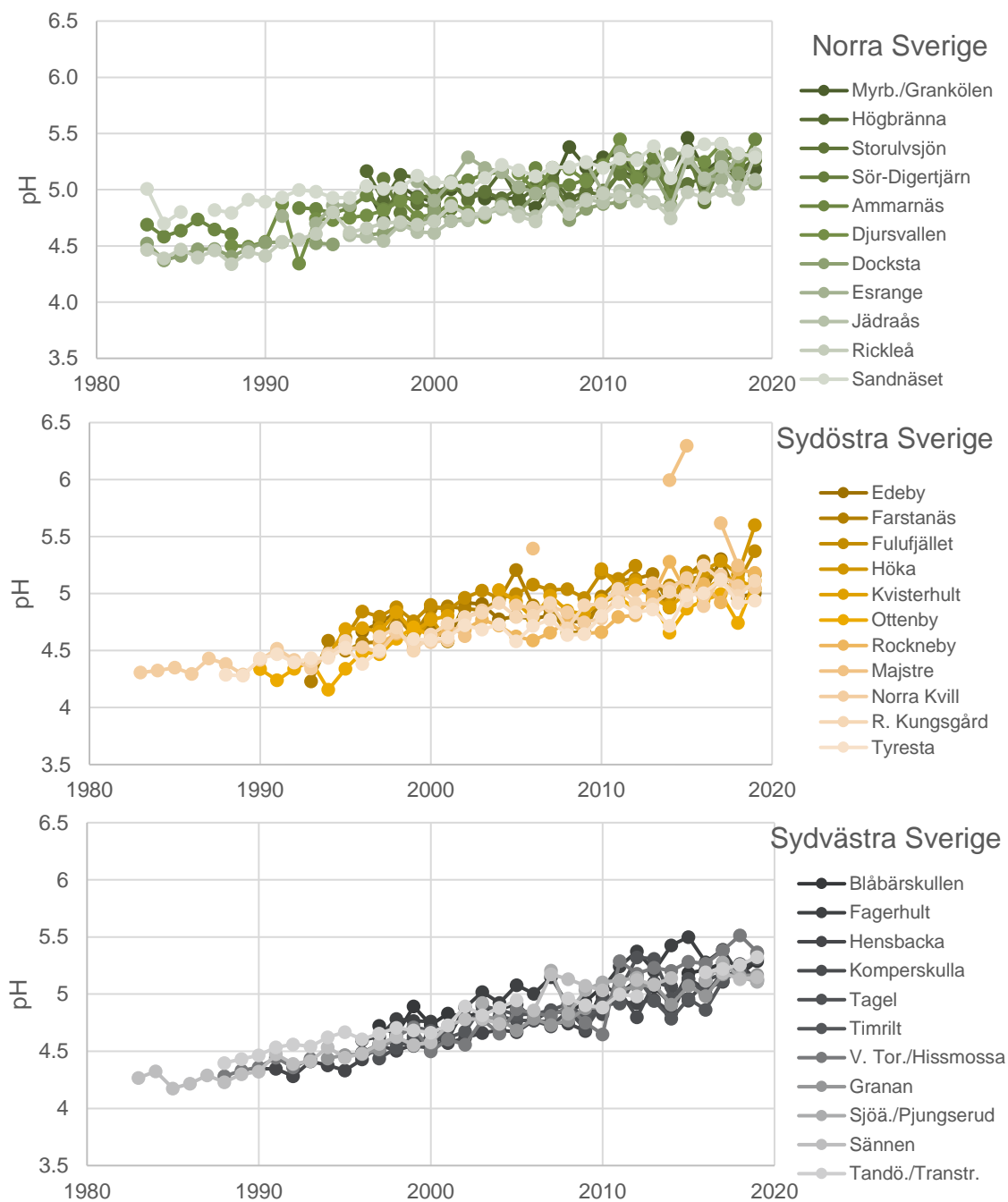
Årlig nederbördsmängd för mätplatserna inom de tre områdena under perioden 1983 - 2019, visas i Figur 2-26.

Nederbördsmängderna varierar relativt kraftigt mellan år och mätplats. Generellt har nederbördsmängderna varit högst i sydvästra Sverige, följt av norra Sverige och sydöstra Sverige. Det är tydligt att platser längre västerut har de högsta nederbördsmängderna, medan platser längre österut generellt har lägre nederbördsmängd. I norra Sverige har de högsta nederbördsmängderna uppmätts vid Sandnäset som ligger längst västerut i Jämtlands län, följt av Ammarnäs i västra Västerbottens län. I sydöstra Sverige har nederbördsmängderna oftast varit högst i Höka i Östergötland och Fulufjället i västra Dalarna. I sydvästra Sverige har oftast de västliga mätplatserna Timrilt i Halland och Hensbacka i Västra Götalands län haft högst nederbördsmängd. Nederbördsmängden spelar ofta en stor roll för nedfallet av flertalet ämnen. Dock är det inte bara nederbördsmängden som bestämmer vilket nedfall som blir, utan även koncentrationen av ett ämne spelar en stor roll.

Årsvisa värden för pH i nederbörden för mätplatserna inom de tre områdena under perioden 1983 - 2019, visas i Figur 2-27. pH i nederbörden har ökat vid mätplatserna i samtliga tre områden. Under 1980-talet var pH i nederbörden vid de flesta mätplatserna runt 4,5 - 5,0, medan de under 2010-talet oftast var runt 5,0-5,5. I takt med att försurande utsläpp har minskat har pH-värdena i nederbörden ökat. Enligt Havs- och Vattenmyndigheten (2020) skulle pH-värdet i nederbörden ligga runt 5,3-5,5 utan försurning. Mätningarna visar att pH idag oftast är över 5, men pH i nederbörden påverkas lätt av olika joner, vilket gör att om det till exempel finns mycket ammonium i nederbörden så blir pH högre då NH_4 är basiskt.



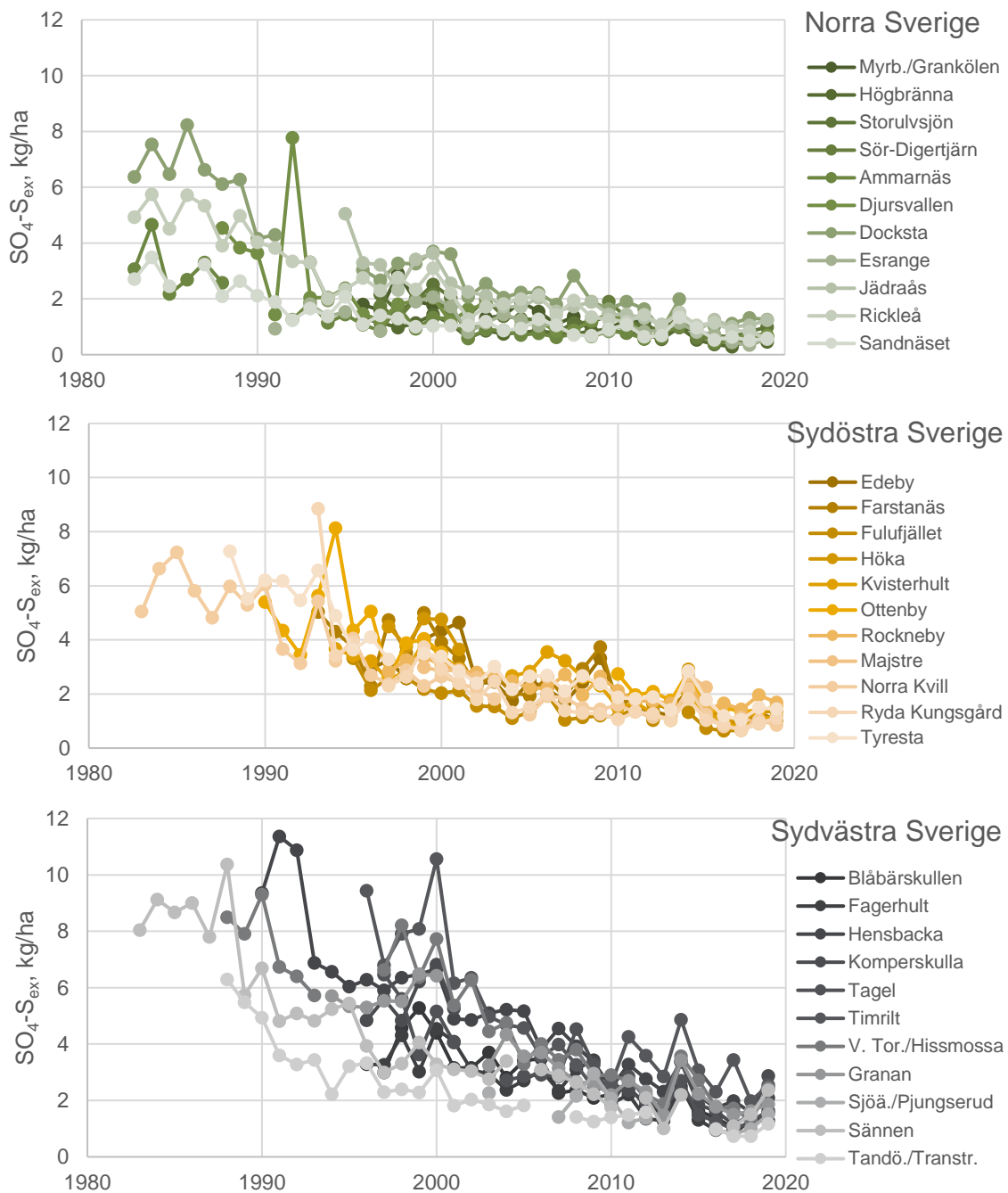
Figur 2-26 Årsvis (kalenderår) uppmätt nederbördsmängd i mm vid mätplatserna inom LNKN och Krondroppsnetet-NV. Mätplatserna har klassats till tre olika områden: Norra, Sydöstra och Sydvästra Sverige enligt kartan i Figur 2-25.



Figur 2-27 Årsvist (kalenderår) uppmätt pH i nederbörden vid mätplatserna inom LNKN och Krondroppsnetet-NV. Mätplatserna har klassats till tre olika områden: Norra, Sydöstra och Sydvästra Sverige enligt kartan i Figur 2-25.

Årsvist nedfall av sulfatsvavel utan havssaltsbidrag med nederbörden för mätplatserna inom de tre områdena under perioden 1983 - 2019 visas i Figur 2-28. Under senare år har svavelnedfallet med nederbörden vid mätplatserna i Sverige varit mycket låga, mellan 0,5 och 3,5 kg/ha. Under 1980-talet var svavelnedfallet med nederbörden över 10 kg/ha i sydvästra Sverige. Data från Krondroppsnetet, vad gäller nedfall uppmätt som krondropp, visar att under samma period kunde det totala svavelnedfallet, inklusive torrdepositionen, i södra Sverige vara upp mot 35 kg/ha. Längre norrut har svavelnedfallet med nederbörden generellt varit lägre. Detta mönster kvarstår, med det högsta svavelnedfallet med nederbörden i sydvästra Sverige och det lägsta i norra Sverige.

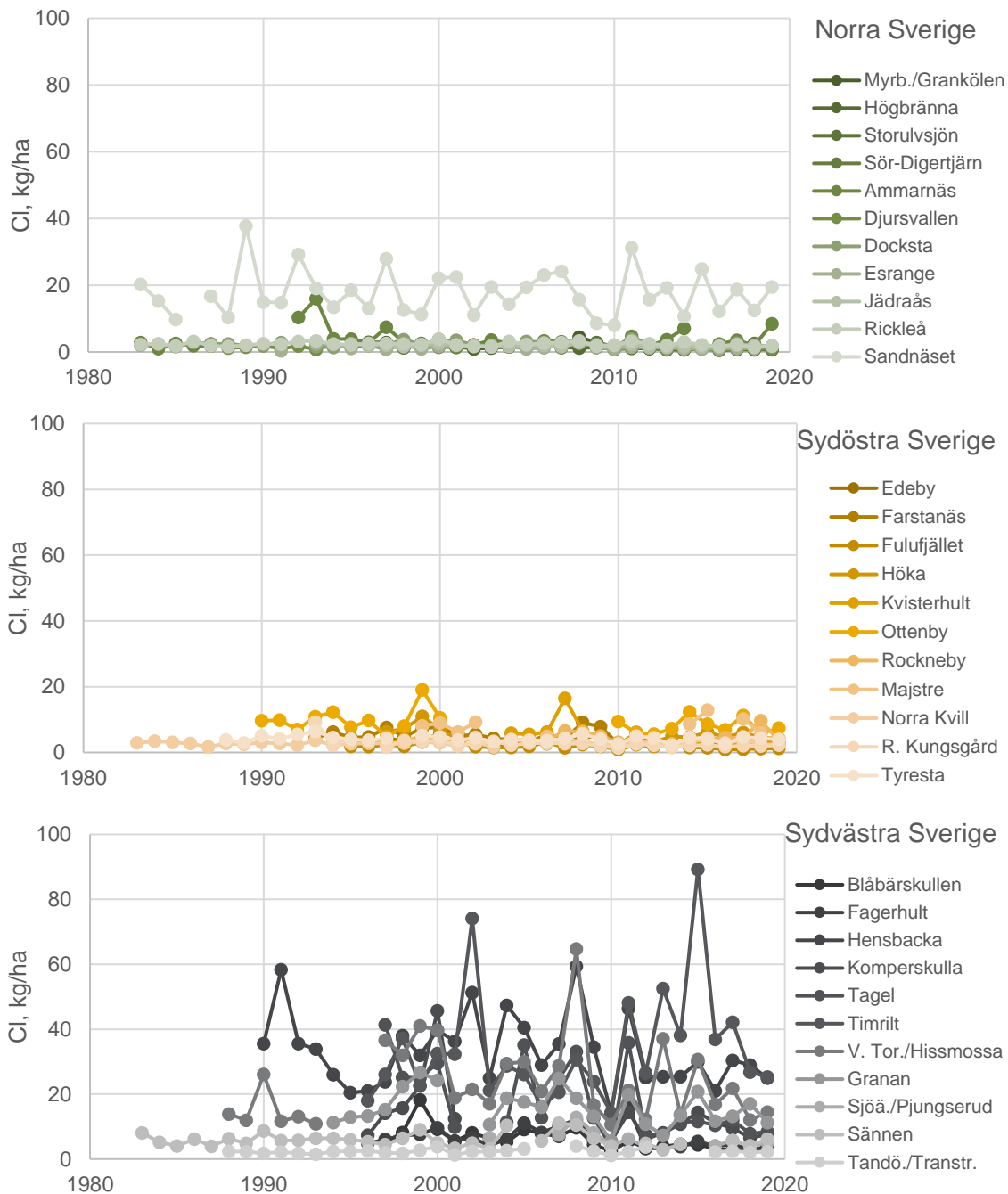
Under 2014 var svavelnedfallet förhållandevis högt i alla tre områdena, vilket till stor del beror på svavelutsläppen från ett vulkanutbrott på Island (Hellsten, m.fl. 2017). Att svavelnedfallet minskat beror främst på minskade utsläpp av svavel från nationella och internationella källor, både landbaserade och från sjöfarten till havs.



Figur 2-28 Årsvist (kalenderår) nedfall av sulfatsvavel utan havssaltsbidrag med nederbörden vid mätplatserna inom LNKN och Krondroppsnetet-NV. Mätplatserna har klassats till tre olika områden: Norra, Sydöstra och Sydvästra Sverige enligt kartan i Figur 2-25.

Årsvist kloridnedfall med nederbörden för mätplatserna inom de tre områdena under perioden 1983–2019 visas i Figur 2-29. Även nedfallet av klorid har generellt varit klart högst i sydvästra Sverige jämfört med övriga delar av landet, vilket förklaras av att kloridnedfallet speglar påslaget från havssalt. Nedfallet av klorid varierar relativt kraftigt mellan åren beroende på vädersituationen.

Om det är ett år med många stormar blir kloridnedfallet ofta högre. I norra Sverige har högst kloridmängder uppmätts vid Sandnäset, vilket beror på dess läge längst västerut i Jämtlands län.

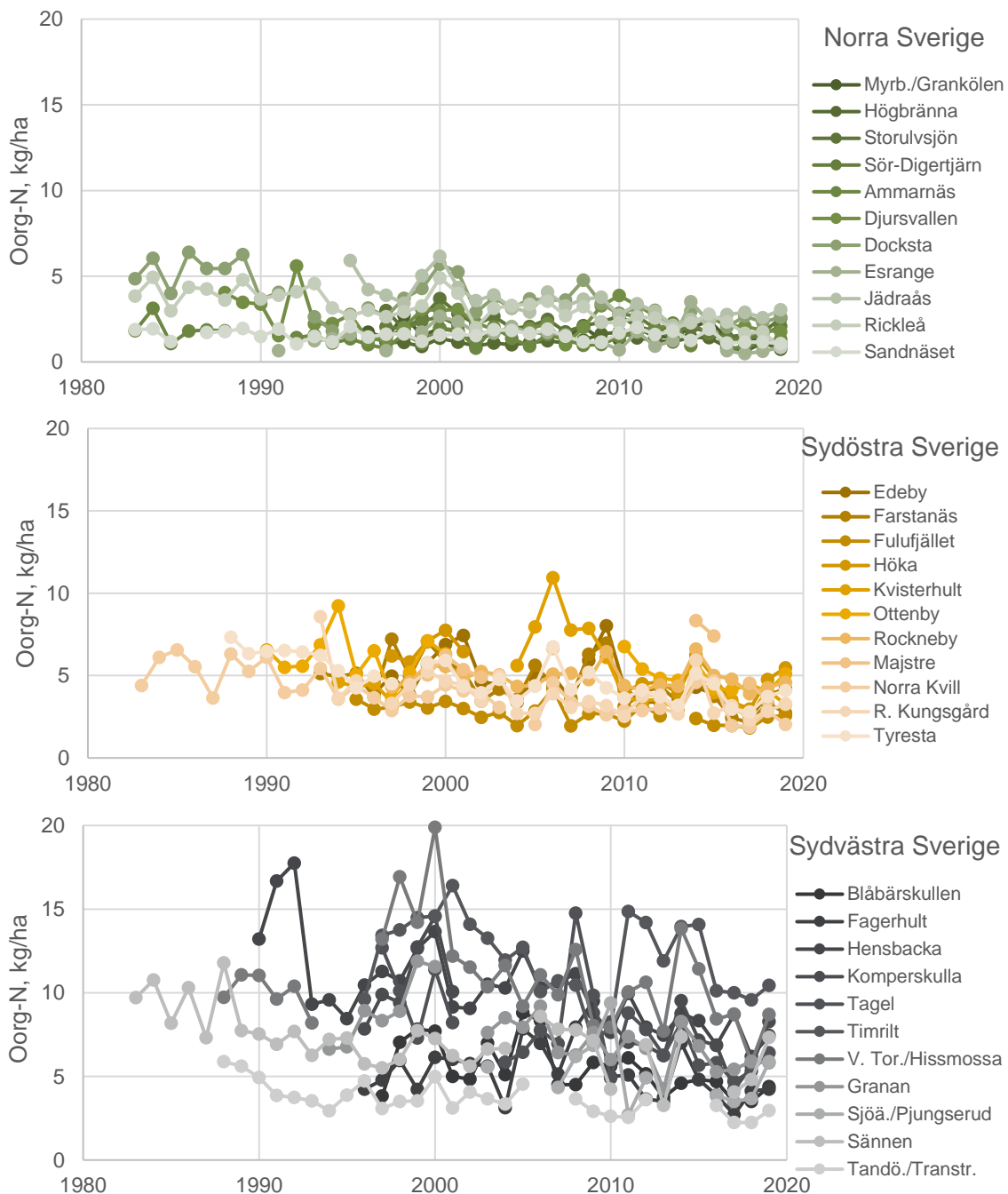


Figur 2-29 Årsvist (kalenderår) nedfall av klorid med nederbörden vid mätplatserna inom LNKN och Krondroppsnetet-NV. Mätplatserna har klassats till tre olika områden: Norra, Sydöstra och Sydvästra Sverige enligt kartan i Figur 2-25.

Årsvist oorganiskt kvävenedfall med nederbörden för mätplatserna inom de tre områdena under perioden 1983 - 2019 visas i Figur 2-30. Det oorganiska kvävenedfallet med nederbörden är högst i de sydvästra delarna av Sverige och lägst i de norra delarna. Generellt har det oorganiska kvävenedfallet med nederbörden varit under 5 kg/ha i de norra delarna av Sverige sedan början av 2000-talet. Under de senaste åren har kvävenedfallet med nederbörden i norra Sverige varierat mellan 0,5 och 3,5 kg/ha.

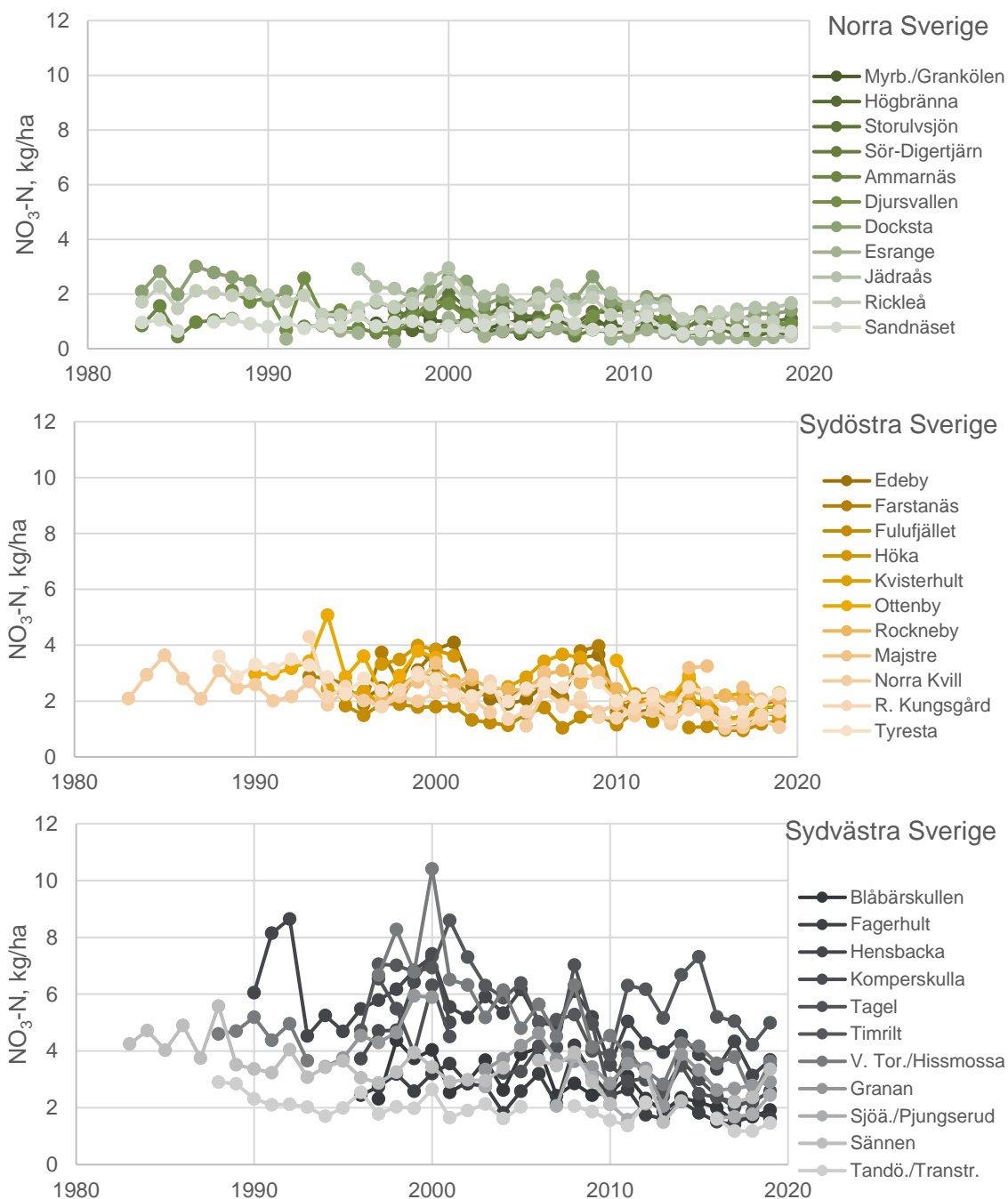
I de sydöstra delarna av Sverige har kvävenedfallet varit något högre, dock oftast under 10 kg/ha, sedan mätstarten. Under de senaste åren har kvävenedfallet med nederbörden i sydöstra Sverige varierat mellan 2,0 och 5,5 kg/ha. Allra högst kvävenedfall med nederbörden har det varit i de sydvästra delarna av Sverige, vissa år upp mot 20 kg/ha. Under 2010-talet har kvävenedfallet med nederbörden varierat mellan drygt 2 och 15 kg/ha i sydvästra Sverige.

Det totala kvävenedfallet är dock betydligt högre än bara nedfallet med nederbörden. Detta då det finns en betydande torrdepositionen av kväve som behöver läggas till för att få det totala kvävenedfallet. Mer information om det totala oorganiska kvävenedfallet ges i kapitel 2.1.2.4.

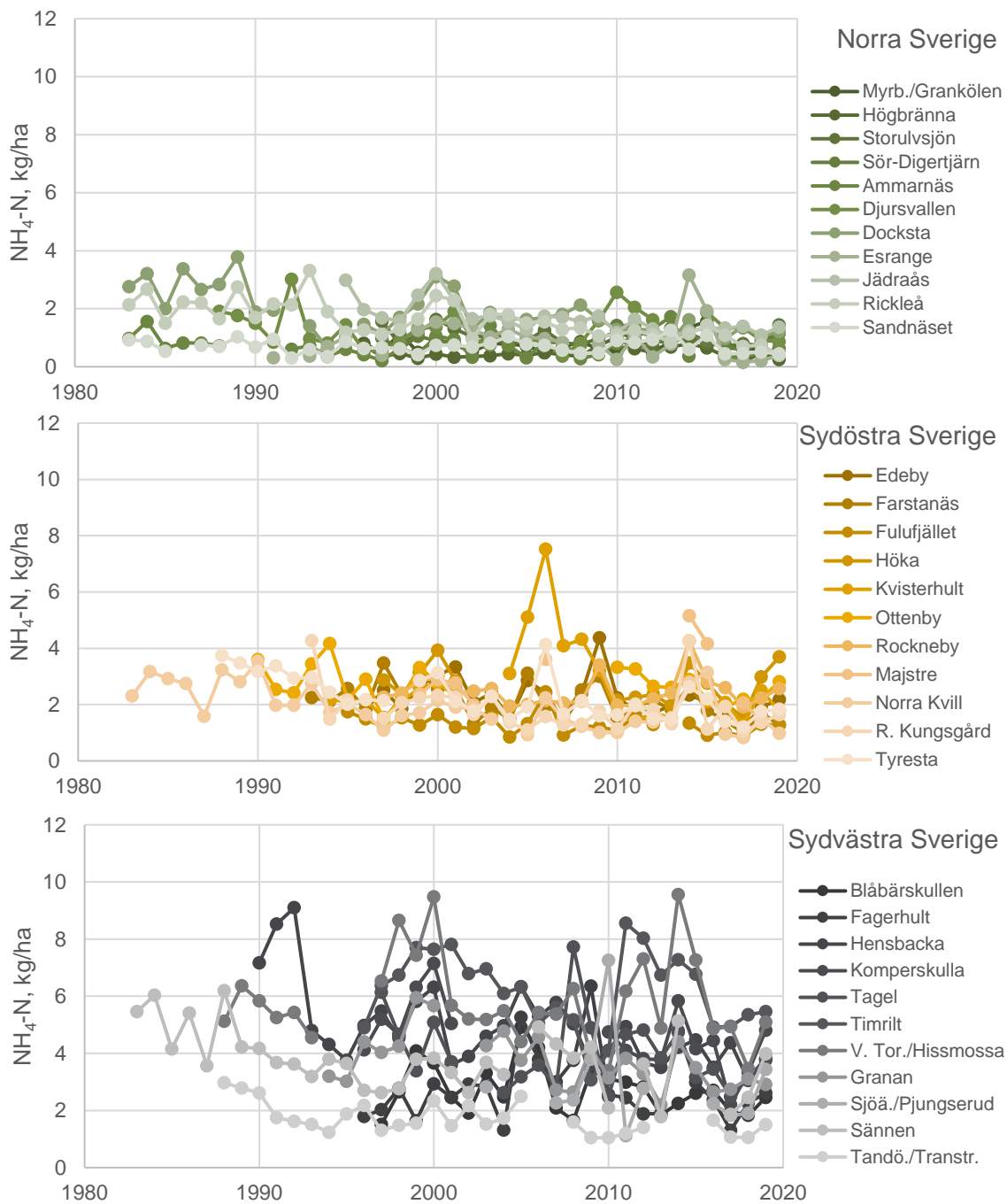


Figur 2-30 Årsvist (kalenderår) nedfall av oorganiskt kväve (nitrat- plus ammoniumkväve) i nederbörden vid mätplatserna inom LNKN och Krondroppsnätet-NV. Mätplatserna har klassats till tre olika områden: Norra, Sydöstra och Sydvästra Sverige enligt kartan i Figur 2-25.

Årsvist nedfall av nitratkväve respektive ammoniumkväve med nederbörden för mätplatserna inom de tre områdena under perioden 1983 - 2019 visas i Figur 2-31 och Figur 2-32. Från figurerna ser man generellt att i norra Sverige består det oorganiska kvävet ungefär till hälften av nitrat- respektive ammoniumkväve, medan det är något mer ammoniumkväve än nitratkväve i de sydöstra och i de sydvästra delarna av landet.



Figur 2-31 Årsvist (kalenderår) nedfall av nitratkväve i nederbörden vid mätplatserna inom LNKN och Krondroppsnetet-NV. Mätplatserna har klassats till tre olika områden: Norra, Sydöstra och Sydvästra Sverige enligt kartan i Figur 2-25



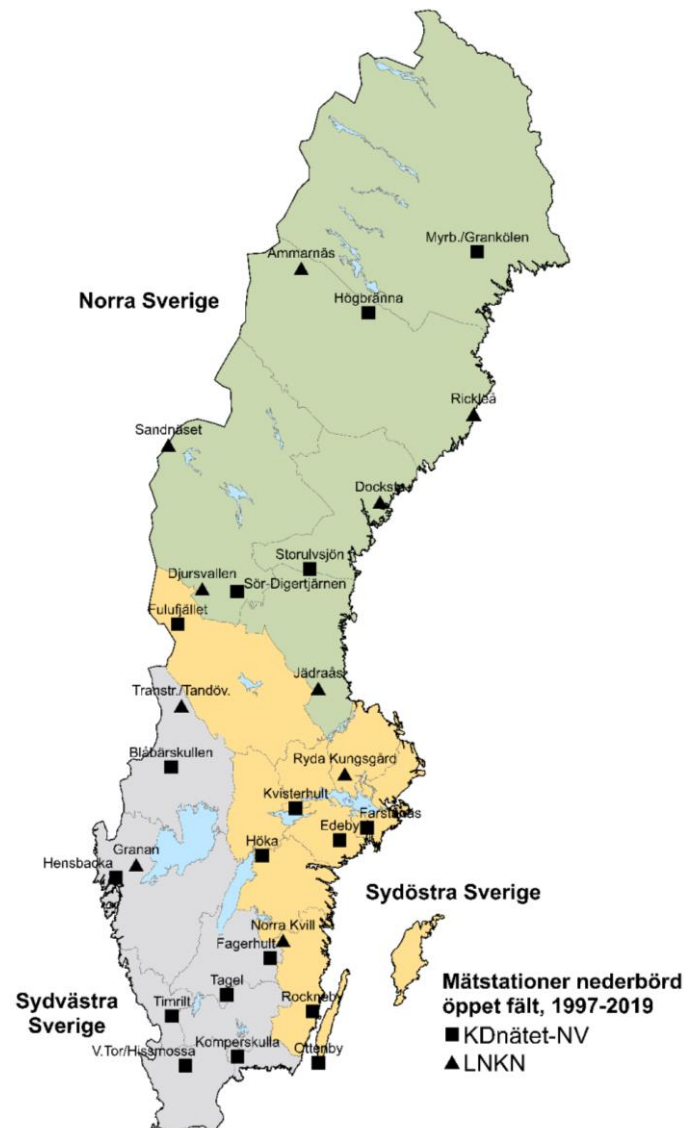
Figur 2-32 Årsvist (kalenderår) nedfall av ammoniumkväve i nederbörden vid mätplatserna inom LNKN och Krondropps nätet-NV. Mätplatserna har klassats till tre olika områden: Norra, Sydöstra och Sydvästra Sverige enligt kartan i Figur 2-25.

2.1.2.3. Trendanalys för tidsperioden 1997 - 2019 för nederbördsmängder, pH i nederbörden samt nedfall med nederbörden av svavel, klorid och oorganiskt kväve

En statistisk analys av förändringar över tid har gjorts för de lokaler som finns i kartan i Figur 2-33. I denna analys har samtliga 18 mätplatser från Krondropps nätet-NV och 10 av de 15 mätplatserna från LNKN använts. Att inte samtliga mätplatser är med beror på kraven att minst fyra års data i början och slutet av den undersökta perioden, som omfattar 22 år (1997–2019), bör finnas med för att förändringar över tidsperioden skall kunna bedömas på ett tillförlitligt sätt. Utöver detta krav kan det saknas data vissa år. Detta är något som den statistiska metoden Mann-Kendall kan hantera.

Att inte alla mätplatser från LNKN som kunde tas med beror även på att det för vissa mätplatser finns år som saknar mer än två månaders data och att ovan ställda krav på datatillgång därmed inte kunnat uppfyllas.

Data från EMEP har inte använts för redovisningen av tidsserier då mätutrustningen är annorlunda samt att tidigare varit problem med själva lockprovtagarna vid några av mätstationerna.



Figur 2-33 Karta över de mätstationer som ingår i trendanalyserna av nederbördskemiska mätningar, 1997 – 2019. Mätstationerna som ingår är hämtade från Krondropps nätet-NV och LNKN som ingår i den nationella miljöövervakningen. Endast de mätplatser är med där minst fyra års data i början och slutet av den undersökta perioden (1997 - 2019) finns. Ett års data finns endast med om 10 månaders data finns för det aktuella året. Symbolerna indikerar vilket mätnät som mätplatserna tillhör.

I området Norra Sverige ingår 10 mätplatser i analysen: Ammarnäs, Djursvallen, Docksta, Jädraås, Rickleå och Sandnåset från LNKN samt Myrberg/Grankölen, Högrännan, Storulvsjön och Sör-Digertjärn från Krondropps nätet-NV. I området Sydöstra Sverige ingår 9 mätplatser i analysen: Granan och Tandövala/Transtrandsberget från LNKN samt Edeby, Farstanäs, Fulufjället, Höka, Kvisterhult, Ottenby och Rockneby från Krondropps nätet-NV. I området Sydvästra Sverige ingår 9 mätplatser i analysen: Norra Kvill och Ryda Kungsgård från LNKN samt Blåbärskullen, Fagerhult, Hensbacka, Komperskulla, Tagel, Timrilt och Västra Torup/Hissmossa från Krondropps nätet-NV.

Den statistiska analysen som genomförts för nedfallsmätningarna har utförts med Mann-Kendall-analys. Mann-Kendall är en utvärderingsmetod för att påvisa signifikanta monotona trender (Mann, 1945) utan att göra antaganden om någon fördelning för värdena. Mann-Kendall kan användas för att analysera flera platser samtidigt och på så små dataset som fyra värden per plats. Förenklat kan man säga att metoden jämför alla värden parvis och summerar hur ofta det senare värdet är större respektive mindre än det tidigare värdet. Detta gör att ett fåtal eventuella kraftigt avvikande värden inte påverkar resultatet i någon större utsträckning. Saknade årsvärden är inte heller något problem. Allt detta gör Mann-Kendall till en robust metod som passar för utvärdering av nedfallsmätningarna.

Signifikans anges i tre olika nivåer; $p < 0.05 = *$ signifikans; $p < 0.01 = **$ signifikans; $p < 0.001 = ***$ signifikans. I Tabell 2-7 nedan visas resultaten från den statistiska analysen.

Tabell 2-7 Resultat från Mann-Kendall-analys av nederbörds mängd, pH i nederbörden, nedfall med nederbörden av följande parametrar: Cl, SO₄-S_{ex}, Oorg-N, NO₃-N, NH₄-N för mätplatser inom Krondroppsnätet-NV (18 st) och LNKN (10 st) vad gäller förändringar över tid under perioden 1997-2019. P-värde $< 0,05 = *$ signifikans; P-värde $< 0,01 = **$ signifikans; P-värde $< 0,001 = ***$ signifikans. Olika färgnyanser indikerar olika styrkor på signifikanserna. Procenttalen inom parentes är total procentuell förändring över hela tidsperioden. Data baseras på kalenderår.

	Nederbörds- mängd	pH	SO ₄ -S _{ex}	Cl	Oorg N	NO ₃ -N	NH ₄ -N	
Norra Sverige	Ammarnäs	*** (7 %)	** (-47 %)					
	Djursvallen	*** (12 %)	*** (-66 %)					
	Docksta	*** (9 %)	*** (-67 %)		** (-43 %)	** (-41 %)	** (-45 %)	
	Jädraås	*** (12 %)	*** (-69 %)		*** (-43 %)	*** (-43 %)	** (-39 %)	
	Högbränna	* (4 %)	*** (-58 %)	*** (-63 %)				
	Myrberg / Grankölen	** (8 %)	*** (-70 %)	** (-55 %)		** (-40 %)		
	Rickleå	* (-33 %)	*** (6 %)	*** (-70 %)		*** (-53 %)	*** (-43 %)	*** (-62 %)
	Sandnäset		*** (8 %)	** (-49 %)			** (-30 %)	
	Storulvsjön	* (-21 %)	*** (6 %)	*** (-65 %)	*** (-60 %)	** (-40 %)	** (-37 %)	
	Sör-Digertjärn		** (12 %)	** (-69 %)			* (-42 %)	
Sydöstra Sverige	Edeby	* (-30 %)	*** (9 %)	*** (-68 %)	* (-38 %)	* (-34 %)	** (-41 %)	* (-30 %)
	Farstanäs	* (-30 %)	*** (9 %)	*** (-77 %)	** (-52 %)	** (-52 %)	*** (-54 %)	** (-46 %)
	Fulufjället	* (-24 %)	*** (8 %)	*** (-69 %)	** (-56 %)	** (-30 %)	*** (-44 %)	
	Höka	* (-31 %)	** (14 %)	*** (-80 %)			** (-58 %)	
	Kvisterhult	* (-37 %)	*** (7 %)	*** (-77 %)		* (-38 %)	** (-51 %)	
	Norra Kvill	* (-28 %)	*** (12 %)	*** (-72 %)		* (-38 %)	*** (-47 %)	
	Ottenby		** (9 %)	** (-70 %)				
	Rockneby		*** (12 %)	*** (-55 %)			* (-21 %)	
	Ryda Kungsgård		*** (10 %)	*** (-69 %)	** (-46 %)	* (-33 %)	** (-38 %)	
Sydvästra Sverige	Blåbärskullen		*** (12 %)	*** (-73 %)	*** (-66 %)	** (-41 %)	*** (-54 %)	
	Fagerhult	** (-33 %)	*** (16 %)	*** (-73 %)	* (-43 %)		*** (-49 %)	
	Hensbacka		*** (15 %)	*** (-77 %)		*** (-40 %)	*** (-46 %)	** (-32 %)
	Komperskulla		*** (14 %)	** (-81 %)		* (-44 %)	** (-57 %)	* (-33 %)
	Tagel	** (-47 %)	*** (18 %)	*** (-81 %)	* (-65 %)	** (-44 %)	*** (-58 %)	
	Timrilt		*** (11 %)	*** (-73 %)		* (-29 %)	** (-33 %)	
	Västra Torup / Hissmossa	*** (-47 %)	*** (21 %)	*** (-84 %)	* (-53 %)	*** (-43 %)	*** (-59 %)	
	Granan		*** (14 %)	*** (-79 %)		*** (-42 %)	*** (-44 %)	** (-47 %)
	Tandövala /Transtrandsberget		*** (14 %)	*** (-64 %)		* (-31 %)	* (-32 %)	

Nederbördsmängderna har sedan 1997 minskat statistiskt säkerställt med cirka 20–30 % vid två av tio mätplatser i norra Sverige, med cirka 25–35 % vid sex av nio mätplatser i sydöstra Sverige och med cirka 35–45 % vid tre av nio mätplatser i sydvästra Sverige. Nederbördsmängderna varierar relativt kraftigt mellan åren, vilket gör det svårare att erhålla en statistiskt signifikant förändring. Det är intressant att en minskad nederbördsmängd kan säkerställas över en lång tidsperiod, 22 år, vid många mätplatser i centrala och östra delarna av södra Sverige. SMHI:s analys av förändringar av årsnederbörden i relation till normalperioden 1961 - 1990 indikerar också att nederbörden i nordöstra och nordvästra Götaland har minskat under perioden 1997–2018 (SMHI, 2020).

pH i nederbörden har ökat med cirka 5–20 %, och nedfallet av sulfatsvavel utan havssaltsbidrag med nederbörden har minskat med cirka 50–85 % vid samtliga 28 mätplatser i alla tre områdena sedan 1997. Störst minskning av svavelnedfallet har uppmätts i sydvästra Sverige, där belastningen har varit högst. Minskningen av sulfatsvavel med nederbörden kan jämföras med att under kalenderårsperioden 1997–2018 har emissionerna av SO_x, mätt som SO₂, från EU-28, minskat med 92 % och från Sverige med 72 % (CEIP, 2020).

Kloridnedfallet i nederbörden har sedan 1997 minskat med cirka 55 – 65 % vid tre av tio mätplatser i norra Sverige, med cirka 40–55 % vid fyra av nio mätplatser i sydöstra Sverige och med cirka 45–65 % vid fyra av nio mätplatser i sydvästra Sverige. Nedfallet av klorid varierar relativt kraftigt mellan åren, vilket gör det svårare att erhålla en statistiskt signifikant förändring.

Nedfallet av oorganiskt kväve (nitrat- + ammoniumkväve) med nederbörden har sedan 1997 minskat statistiskt säkerställt med cirka 40–55 % vid fyra av tio mätplatser i norra Sverige, med cirka 30–50 % vid sex av nio mätplatser i sydöstra Sverige och med cirka 30–45 % vid åtta av nio mätplatser i sydvästra Sverige. Detta kan jämföras med minskningen av emissionerna. Om man beräknar emissionerna till enbart kväve (kväveoxid + ammoniak) har emissionerna minskat med 35 % från EU-28 respektive 34 % från Sverige under perioden 1997–2018 (CEIP, 2020).

Det är främst nedfallet av nitratkväve med nederbörden som minskat. Nitratnedfallet med nederbörden har minskat med cirka 30–45 % vid sju av tio mätplatser i norra Sverige, med cirka 20–60 % vid åtta av nio mätplatser i sydöstra Sverige och med cirka 30–60 % vid samtliga nio mätplatser i sydvästra Sverige. Detta kan jämföras med att de rapporterade utsläppen av kväveoxider har minskat med 52 % från EU-28 respektive 48 % från Sverige under perioden 1997–2018 (CEIP, 2020).

Nedfallet av ammoniumkväve med nederbörden har minskat med cirka 40–60 % vid tre av tio mätplatser i norra Sverige sedan 1997. I sydöstra Sverige minskade nedfallet av ammoniumkväve med nederbörden med cirka 30–45 % vid två av nio mätplatser och i sydvästra Sverige med cirka 30–50 % vid tre av nio mätplatser. De rapporterade utsläppen av ammoniak har minskat med 16 % från EU-28 respektive 15 % från Sverige under motsvarande tidsperiod 1997–2018 (CEIP, 2020).

2.1.2.4. Totaldeposition av oorganiskt kväve – mätresultat och trendanalys

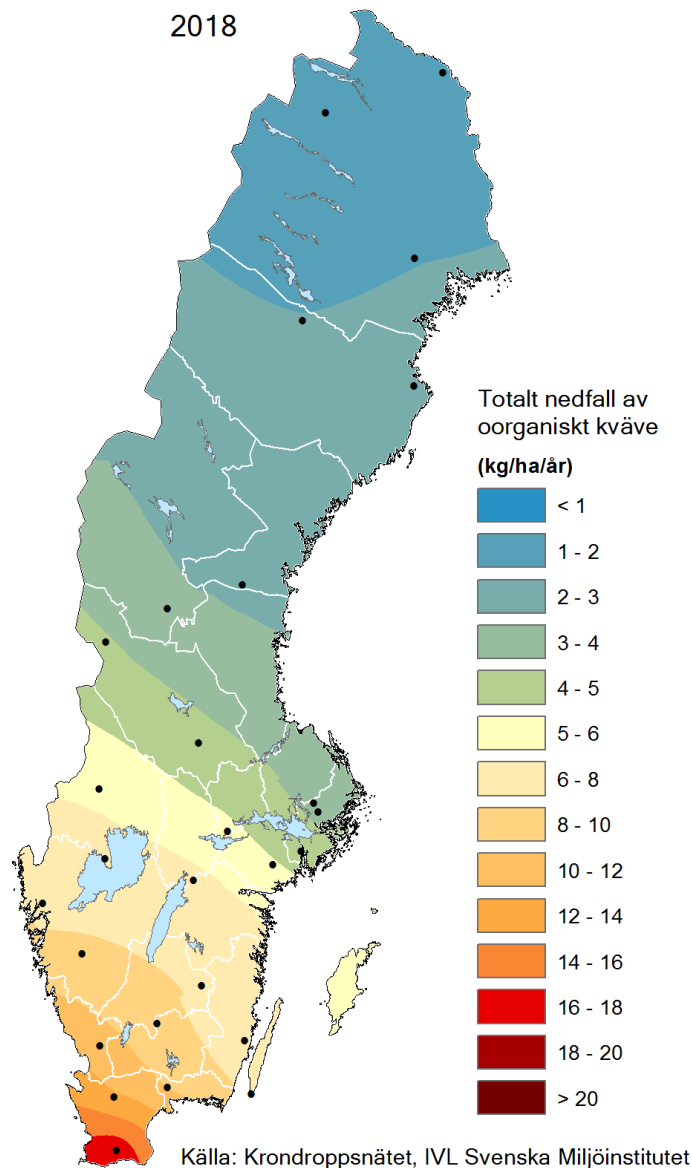
Mätningarna av nedfall med nederbörden över öppet fält (s.k. bulkdeposition) inkluderar främst våtdeposition. Det totala nedfallet av kväve mäts och beräknas med hjälp av mätningar med strängprovtagare och bulkprovtagare som sker på öppet fält tillsammans med närliggande mätningarna av krondropp. De mätningarna med strängprovtagare och bulkprovtagare som finansieras av Naturvårdsverket inom Programområde Luft är avgörande för att kunna beräkna totalt nedfall av kväve. Detta eftersom kväve interncirkulerar i träden, vilket gör att krondroppsmätningar ej kan användas "rakt av" för detta ändamål. Utöver de mätningar som finansieras av Naturvårdsverket behövs resultat från mätningar av nedfall med nederbörden till öppet fält vid fler mätplatser från hela Krondroppsnätet för att indikatorn "Totalt nedfallet av kväve till barrskog" för miljömålet *Ingen övergödning* ska kunna beräknas med geografisk täckning över hela Sverige. Det är

Havs- och vattenmyndigheten som är ansvarig myndighet för indikatorn "Nedfall av kväve till barrskog" och som finansierar framtagandet av bland annat beräkningarna och kartorna.

Metoden för att beräkna totalt nedfall av kväve finns beskrivet i Karlsson m.fl., 2018; 2019. Torrdepositionens andel av den totala kvävedepositionen till granskog har i norra Sverige utgjort cirka 20–30 %, i sydöstra Sverige cirka 40–45 % och i sydvästra Sverige cirka 25–55 % för perioden 2014–2019.

I Figur 2-34 visas det totala kvävenedfallet till barrskog i Sverige för kalenderåret 2018 som tagits fram och rapporterats inom miljömålet *Ingen övergödning* som indikatorn "Nedfall av kväve till barrskog". Kvävenedfallet visar en tydlig gradient, från som mest 16–18 kg N/ha/år i sydväst (Skåne) till <1 kg N/ha/år som lägst i nordväst. Om man jämför det uppmätta totala kvävenedfallet under 2018 med det modellerade, se Kapitel 0, ser man att det modellerade (MATCH – Sverigesystemet) varierade mellan 0,4 – 11,4 kg N/ha (summan reducerat och oxiderat kväve), vilket var lägre än det som togs fram från mätningar, som varierade mellan 0,8 – 15,3 kg N/ha. Både mätningarna och modellen visar på att kvävenedfallet under 2018 var lågt.

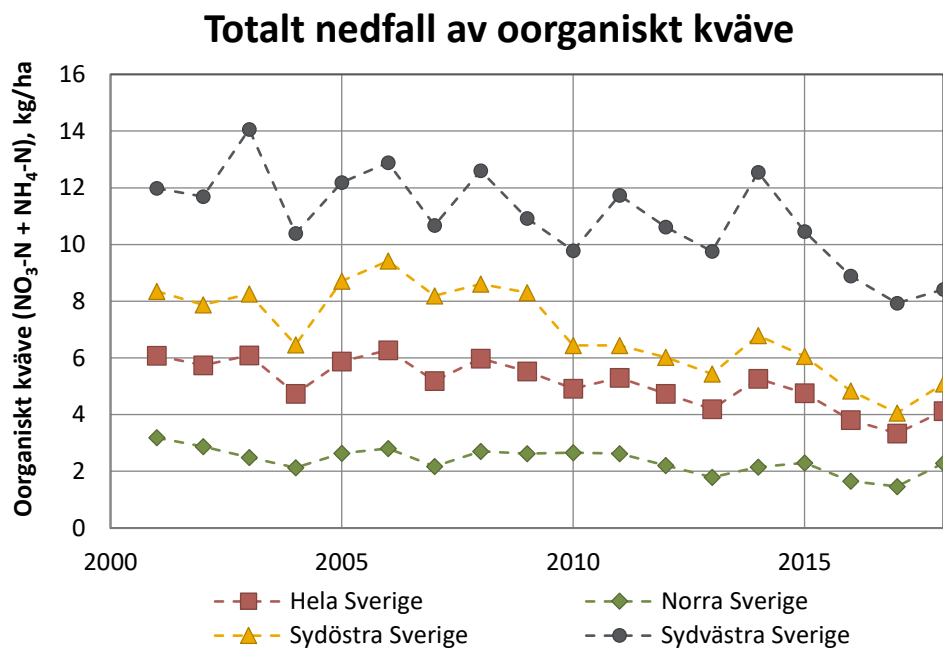
Samtliga nationella, områdesvisa samt även länsvisa data för det totala kvävenedfallet under perioden 2001 till 2019 finns på <http://www.sverigesmiljomal.se/> för indikatorn "Nedfall av kväve till barrskog" för miljömålet *Ingen övergödning*.



Figur 2-34 Totalt oorganiskt kvävenedfall till barrskog i Sverige under 2018. Kartan är framtagen med hjälp av geografisk interpolation (Kriging). Enskilda mätpunkter som interpoleringen baseras på är markerade med svarta punkter på kartan. Data kommer från indikatorn "Nedfall av kväve till barrskog" inom miljömålet *Ingen övergödning*. <http://sverigesmiljomal.se/miljomalen/ingen-overgodning/nedfall-av-kvave-till-barrskog>. Metoden finns beskriven i detalj i Karlsson m.fl., 2018; 2019.

Kartor för totalt nedfall av kväve har tagits fram för åren 2001–2018. För att få fram tidsserier har årliga medelvärden av alla pixlar (2 km × 2 km) i kartorna beräknats, uppdelat i tre områden. Varje pixel har tilldelats ett värde på nedfallet via en grafisk interpolation (Kriging), baserat på de aktiva mätplatserna för varje år.

I Figur 2-35 visas områdesvisa tidsserier för det totala kvävenedfallet samt en tidsserie för Sverige som helhet. Som visats finns även för de areaviktade tidsserierna i Figur 2-35 en tydlig gradient, med högst totalt kvävenedfall i det sydvästra området och lägst i norr. Att nedfallet är störst i sydväst beror som tidigare nämnts 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.



Figur 2-35 Årligt totalt nedfall av oorganiskt kväve ($\text{NO}_3\text{-N} + \text{NH}_4\text{-N}$) till barrskog i tre olika geografiska områden över Sverige, norra, sydöstra samt sydvästra Sverige samt till Sverige som helhet för perioden 2001–2018. Beräkningarna, som utgår från interpolerade kartor, inkluderar summan av torr- och våtdeposition och baseras på kalenderår. Data för torrdepositionen mellan 2008–2013 är interpolerad. Data kommer från indikatorn "Nedfall av kväve till barrskog" inom miljömålet *Ingen övergödning*. <http://sverigesmiljomal.se/miljomalen/ingen-overgodning/nedfall-av-kvave-till-barrskog/>. Metoden finns beskriven i detalj i Karlsson m.fl., 2018. Figuren bearbetad till denna rapport.

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 2-35. Analysen visade att för Sverige som helhet samt för de tre indelade områdena finns en statistiskt signifikant minskning av det totala kvävenedfallet mellan 2001 - 2018. Den totala procentuella minskningen var för Sverige som helhet cirka 35 procent, norra Sverige ca 34 procent, för sydöstra Sverige cirka 47 procent och för sydvästra Sverige cirka 30 procent.

Det minskande kvävenedfallet beror främst på att utsläppen på land och till havs, 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).

Det finns sedan 2018 även motsvarande statistiskt signifikanta förändringar av de areaviktade nederbördsmängderna för Sverige som helhet eller för de tre områdena. Minskningarna i nederbördsmängd för de olika områdena är dock lägre än minskningen av kvävenedfallet.

3. Partiklar i luft

Tabell 3-1 Partiklar i luft

Parametrar	PM ₁₀ , PM _{2.5} , organiskt och elementärt kol i PM ₁₀ (OC och EC), sot som 'black carbon' (BC) och black smoke (BS) (avslutat 2016), ljuspridning och partikelstorleksfördelning
Stationer	Aspvreten (t.o.m. 2017), Norunda (fr.o.m. 2018), Bredkålen, Råö, och Vavihill/Hallahus Burlöv - förskolan Uven, Stockholm - Olaus Petri, Umeå - Församlingshemmet
Mätfrekvens	1 timme: PM ₁₀ , PM _{2.5} och BC. 3 dygn: OC och EC 1 dygn: PM _{2.5}
Kravställare	EU-direktiv och miljökvalitetsnormer samt Luftvårdskonventionen
Lagringsplats	Datavårdskap luft, www.smhi.se/datavardluft http://ebas.nilu.no/default.aspx
Utförare	IVL Svenska Miljöinstitutet, ACES Stockholms universitet
Om delprogrammet på Naturvårdsverkets webbplats	www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Miljoovervakning/Miljoovervakning/Programomrade-Luft/Delprogram---Partiklar-i-luft/
Mer information	

Delprogrammet Partiklar i luft följer upp miljökvalitetsmålet *Frisk luft* samt direktiv 2008/50/EG om luftkvalitet och renare luft i Europa. Även önskemål från EMEP tillgodoses.

Mätning av partiklar i form av PM₁₀ och PM_{2.5} sker idag vid de fyra EMEP-stationerna, där även andra luftkomponenter samt nederbörd övervakas. Vid vissa av dessa stationer sker också mätning av andra partikelmått. För uppföljning av det exponeringsminskningsmål (mått på befolkningens genomsnittliga exponering) som anges i Luftkvalitetsförordningen (SFS 2010:477) övervakas även PM_{2.5} i urban bakgrundsluft i tre tätorter i landet.

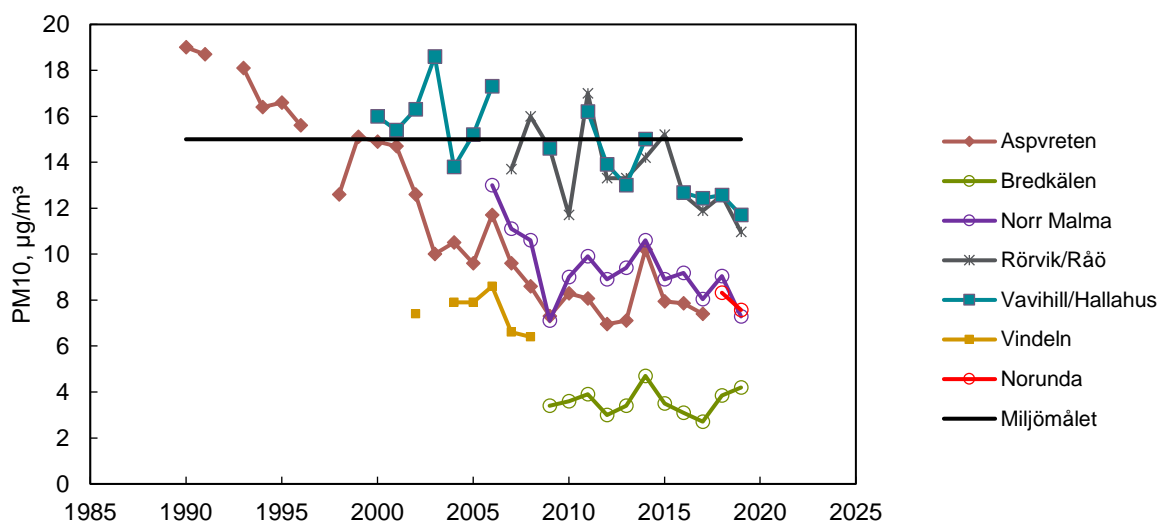
Stationerna Aspvreten (Norunda fr.o.m. 2018) och Hallahus/Vavihill ingår också i ACTRIS (Aerosols, Clouds, and Trace gases Research InfraStructure Network). ACTRIS syfte är att samordna avancerade markbaserade mätningar av aerosoler, molnegenskaper och kortlivade gaser vid ett tjugotal stationer runt om i Europa. En del av dessa mätningar ingår i den nationella miljöövervakningen: organiskt och elementärt kol (OC/EC), partiklarnas storleksfördelning, ljusabsorption och ljusspridning.

3.1. Resultat Partiklar

3.1.1. PM₁₀ och PM_{2.5}

Mätningar av partiklar i luften på stationer i bakgrundsområden har gjorts i Sverige sedan början av 1990-talet. Till en början i begränsad omfattning, men numera på ett flertal stationer. Vid Aspvreten och Hallahus/Vavihill har mätningar av PM₁₀ och PM_{2.5} gjorts sedan 1990 resp. 2000. partikelmätningarna vid Aspvreten startade 1998 och avslutades 2017 och ersattes med mätningar på Norunda. Mätningarna vid Råö och Breckkälen startades 2007 resp. 2009. Mätdata från Östra Sveriges Luftvårdsförbunds mätstation Norr Malma i närheten av Norrtälje med mätstart 2006 redovisas också här liksom resultat från Vindelns i Västerbotten, där mätningar gjordes i början av 2000-talet. Miljökvalitetsnormerna för PM₁₀ och PM_{2.5} ligger betydligt högre än motsvarande värden för miljömålets preciseringar. Nedan redovisas därför enbart halternas förhållande till miljömålet.

PM₁₀: Koncentrationen av PM₁₀ är idag något lägre än miljömålet för årsmedelvärdet på Vavihill/Hallahus och Råö, dvs. strax under 15 µg/m³, se Figur 3-1. På stationerna längre öster- och norrut är koncentrationerna lägre. Vid Aspvreten (Södermanland), Norunda (Uppland) och Norr Malma (Uppland) är halten 8 - 10 µg/m³; vid Breckkälen i Jämtland ungefär 3 µg/m³. Att halten är högre ju längre söderut man befinner sig i landet beror huvudsakligen på att södra Sverige ligger betydligt närmare de stora källområdena i Centraleuropa



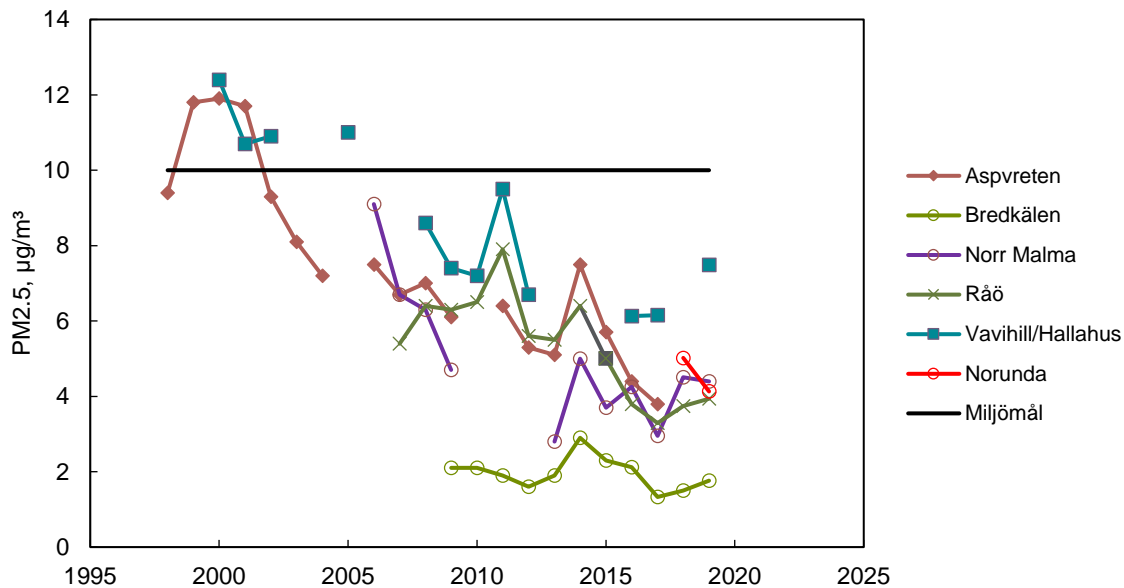
Figur 3-1 Årsmedelvärden av PM₁₀ vid svenska bakgrundsstationer 1990 – 2019.

Vid stationerna i östra Svealand har årsmedelvärdet av PM₁₀ sjunkit från nästan 20 µg/m³ i början av 1990-talet till under 10 µg/m³ i dag. Den minskande trenden har avstannat sedan 2010. Även på de övriga stationerna ser trenden ut på ungefär samma sätt. På Vavihill/Hallahus och Råö tycks halten ha minskat även under de senaste åren. På Breckkälen, den nordligaste stationen, syns ingen trend sedan mätstart 2009.

PM_{2.5}: Miljömålet för årsmedelvärdet för PM_{2.5} klaras idag vid alla svenska bakgrundsstationer, Vid Vavihill/Hallahus är årsmedelvärdet 6 - 8 µg/m³ idag, se Figur 3-2. Observera att data från

Vavihill/Hallahus saknas för 2014, 2015 och 2018. Vid Råö, Norr Malma, Norunda och Aspvreten är koncentrationerna lägre, 3 - 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. I Bredkålen i Jämtland betydligt lägre, 1 - 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

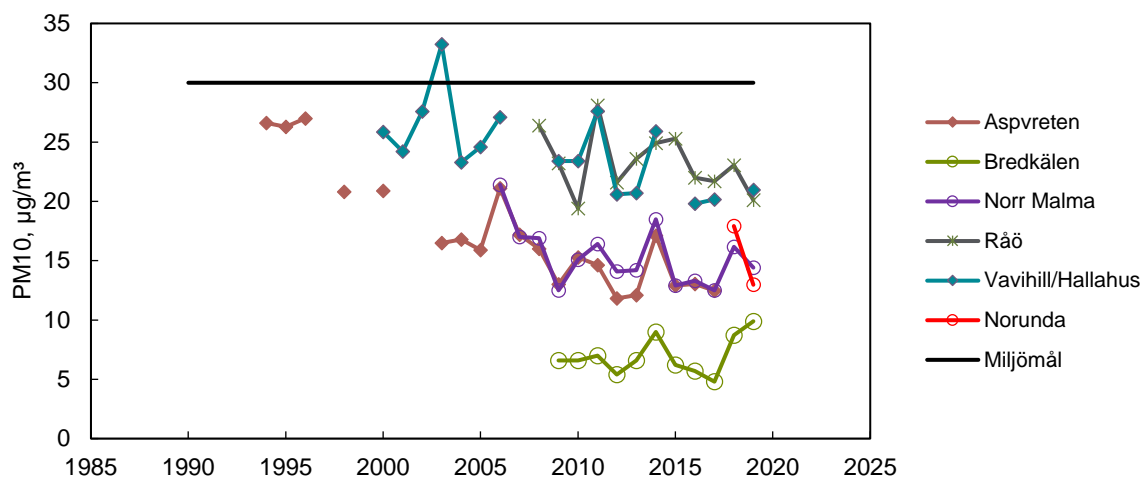
Trenden för $\text{PM}_{2.5}$ vid stationerna i östra Svealand sedan starten 1998 överensstämmer väl med den för PM_{10} på samma stationer. Årsmedelvärdet har sjunkit från 11-12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ vid Aspvreten till ca 4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ idag på samtliga stationer i området. Det är framförallt under perioden 1998 – 2010 som halten sjunkit, därefter avtar minskningen. Trenden är ungefär likadan på samtliga stationer.



Figur 3-2 Årsmedelvärden av $\text{PM}_{2.5}$ vid svenska bakgrundsstationer 1998 – 2019.

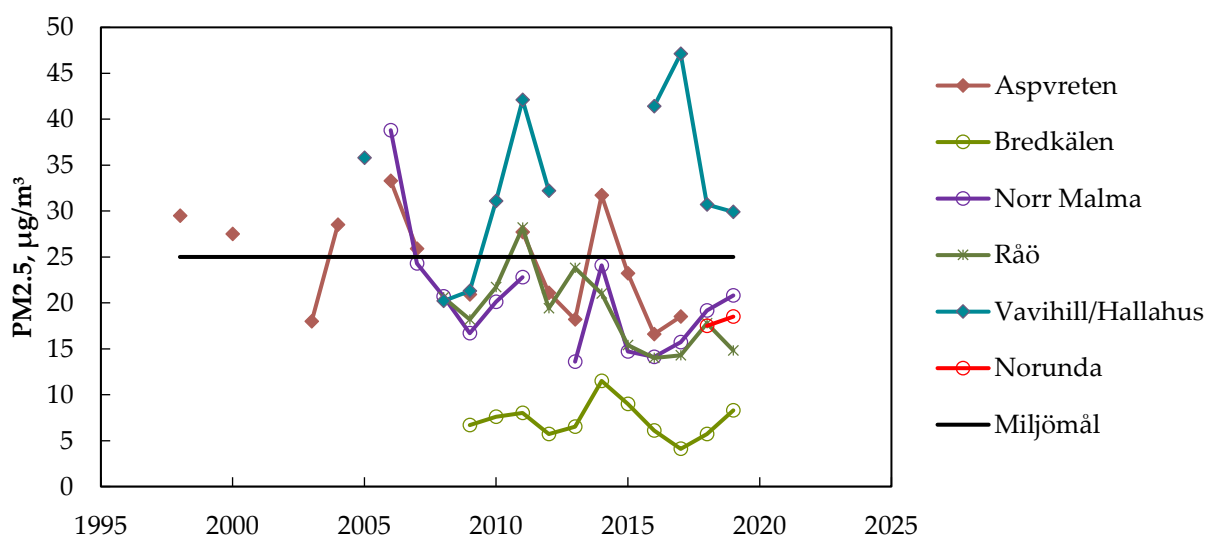
För både PM_{10} och $\text{PM}_{2.5}$ finns förutom miljömålet för årsmedelvärde ett för dygnsvärden. För PM_{10} får dygnsmedelvärdet överstiga 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ högst 36 gånger per år, vilket motsvarar 90-percentilen. För $\text{PM}_{2.5}$ är miljömålet att dygnsmedelvärdet får överskrida 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ högst 3 gånger under ett år. Detta motsvarar 99-percentilen.

Miljömålet för PM_{10} -dygnsvärden uppfylls på alla stationer, se Figur 3-3. På Vavihill/Hallahus och Råö är 90-percentilen runt 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ och på stationerna i övriga delar av landet betydligt lägre. Vid Aspvreten kan man också se att 90-percentilen sjunkit från strax över 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ till runt 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sen början av 1990-talet. Sen början av 2000-talet finns det ingen tydlig trend på någon station.



Figur 3-3 90-percentil av dygnsmedelvärdena av PM10 på svenska bakgrundsstationer 1990 – 2019.

Miljömålet för dygnsvärdena av PM_{2.5} uppfylls däremot inte alla år, se Figur 3-4. Det är bara vid Bredkålen i Jämtland som målet säkert nås varje år. Miljömålets formulering, högst tre dygn per år över 25 µg/m³, gör också målet väldigt känsligt för vädrets variationer mellan åren. Det räcker med ett par tillfällen under året med transport av förorenad luft från kontinenten för att målet ska överskridas i södra Sverige. Antalet sådana tillfällen kan variera betydligt mellan åren beroende på meteorologin, t.ex. var 99-percentilen vid Vavihill/Hallahus långt över miljömålet 2016 och 2017.



Figur 3-4 PM_{2.5} 99-percentil av dygnsvärden på svenska bakgrundsstationer 1998 – 2019.

3.1.2. Partikelbundna organiska ämnen och sot

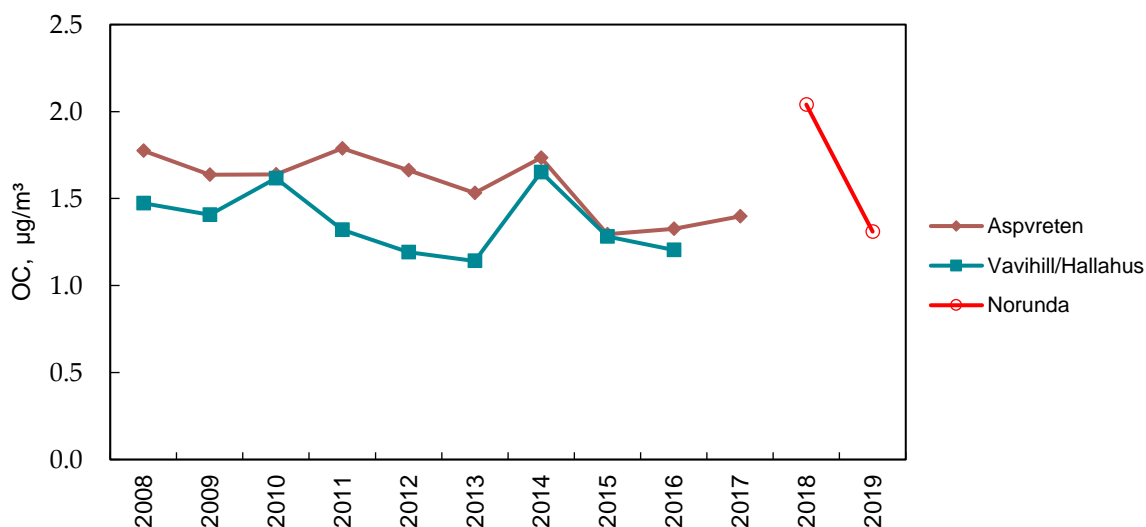
3.1.2.1. Partikelbundna organiska ämnen

Mätningarna av partikelbundna organiska ämnen startades vid Vavihill/Hallahus och Aspvreten i april 2008. Mätningarna vid Aspvreten avslutades i december 2017 och ersattes med mätningar vid Norunda. På Aspvreten och Norunda har mätningarna gjorts var tredje dag och periodvis med högre frekvens. Vid Vavihill/Hallahus har mestadels vecko- eller tredygnsprover tagits. Under 2016 harmoniserades mätningarna och har sedan dess gjorts som tredygnsprover

Under de år mätningarna gjorts har årsmedelvärdet varit mellan 1,0 och 1,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, se Figur 3-5. Under perioden har halterna varit i stort sett oförändrade, möjligen har halterna på Aspvreten sjunkit något. Observera att data saknas från Vavihill/Hallahus för år 2017 - 2019.

Det organiska kolet, OC, ingår i olika föreningar med andra ämnen, främst syre, kväve och väte. Den totala massan av organiska ämnen (OM) är alltså högre än OC. Andelen kol i dessa föreningar beror på aerosolens ålder, dvs. avstånd från källorna och källornas sammansättning och på meteorologiska förhållanden under transporten från källorna. I den vetenskapliga litteraturen anges att kolandelen i dessa föreningar kan variera mellan 50 – 70 %. Det innebär att OM (årsmedelvärdet) vid Aspvreten och Vavihill under 2008 – 2015 var mellan 2 och 3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Organiska ämnen, OM, finns mestadels bundet till de små partiklarna, dvs. $\text{PM}_{2.5}$. Vid Aspvreten och Vavihill/Hallahus var årsmedelvärdet av $\text{PM}_{2.5}$ mellan 6 och 9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ under 2008-2015. Det innebär att OM utgör mellan 20 – 50 % av $\text{PM}_{2.5}$ vid dessa stationer.



Figur 3-5 Partikelbundet organiskt kol, OC, vid Vavihill/Hallahus, Aspvreten (t.o.m. 2017) och Norunda (fr.o.m. 2018). Årsmedelvärden 2008 till och med 2019.

3.1.2.2. Sot

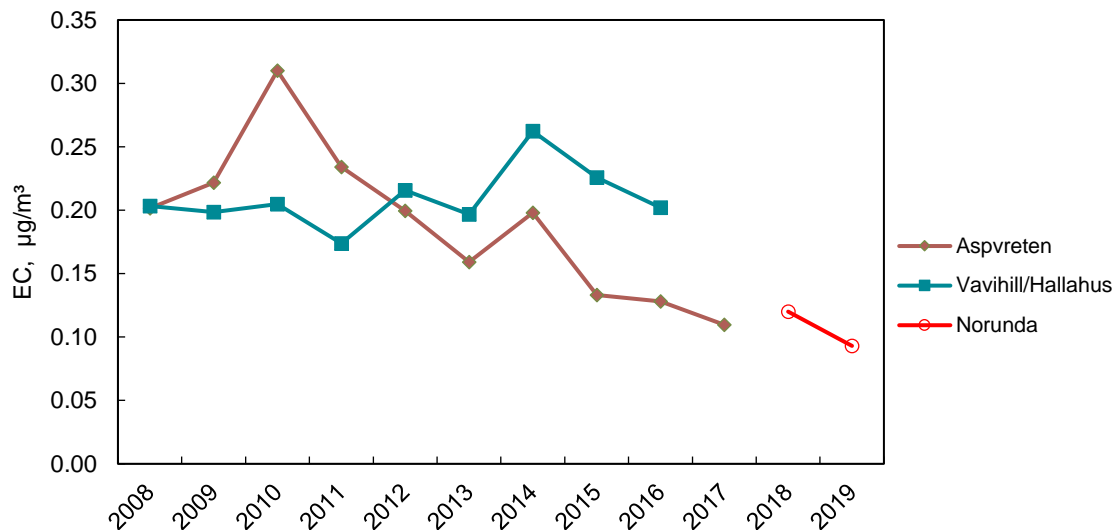
Sot bestäms på flera olika sätt, och det mätresultat man erhåller beror på metoden. Beteckningen elementärt kol (EC) används om bestämningen görs med en termo-optisk metod. Om halten bestäms med hjälp av ljusabsorption används beteckningen black carbon (BC), och om halten bestäms med hjälp av ljusreflektion från ett filter med partiklar används ofta uttrycket black smoke (BS).

Sot som black smoke (BS) har mätts på många platser i Sverige sedan 1960-talet men avslutades 2016, då halterna i luften numera mycket ofta är under metodens detektionsgräns. Resultatet från mätningarna av BS på bakgrundsstationerna är redovisade i Fredricsson m.fl. (2018).

Om bestämningen görs som EC görs en direkt mätning av partiklarnas kolinnehåll, vid de övriga metoderna måste det uppmätta värdet (ljusabsorption resp. ljusreflektion) räknas om till en koncentration med hjälp av olika antaganden. Bestämningen av sot som EC är därför den metod som ger det mest tillförlitliga värdet på mängden elementärt kol. Vid analysen bestäms samtidigt organiskt kol, OC. Metoden kan dock inte på ett säkert sätt skilja på OC och EC. Vad som anges som OC och EC är därför metodberoende.

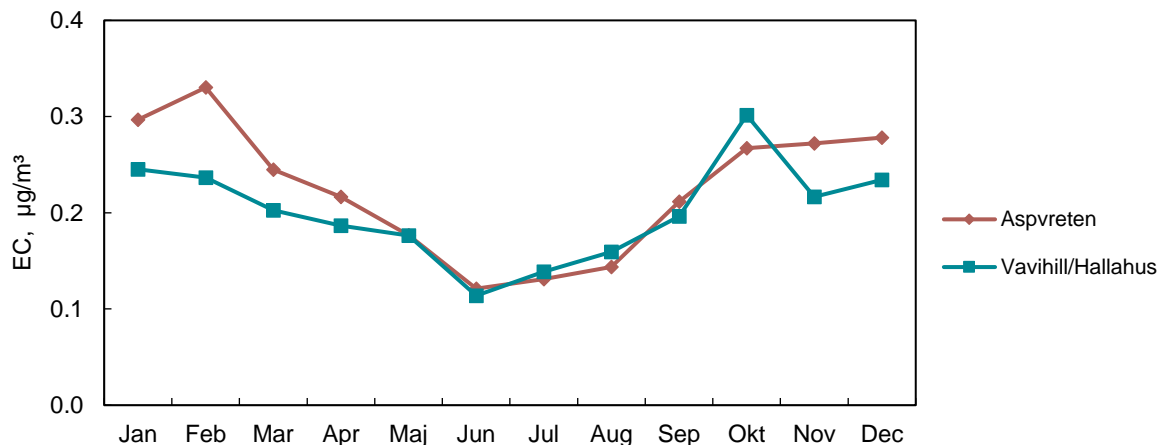
Halterna av sot som EC har mätts vid Aspvreten från april 2008 till december 2017. Mätningarna i Norunda startade 2018. För Vavihill/Hallahus finns data för 2008 t.o.m. 2016. Liksom för OC är det andelen EC i PM₁₀-fraktionen som mäts.

Årsmedelvärdena sedan 2008 har legat i intervallet 0,1 till 0,3 µg/m³, se Figur 3-6. Vid Aspvreten har halterna sjunkit, men den tendensen syns inte vid Vavihill/Hallahus. Observera att data för 2017 - 2019 saknas från Vavihill/Hallahus. Halterna vid Norunda 2018 och 2019 är i samma storleksordning som de som uppmättes vid Aspvreten 2008 t.o.m. 2017.



Figur 3-6 Partikelbundet elementärt kol, EC, vid Vavihill/Hallahus, Aspvreten (t.o.m. 2017) och Norunda (fr.o.m. 2018). Årsmedelvärden 2008 – 2019.

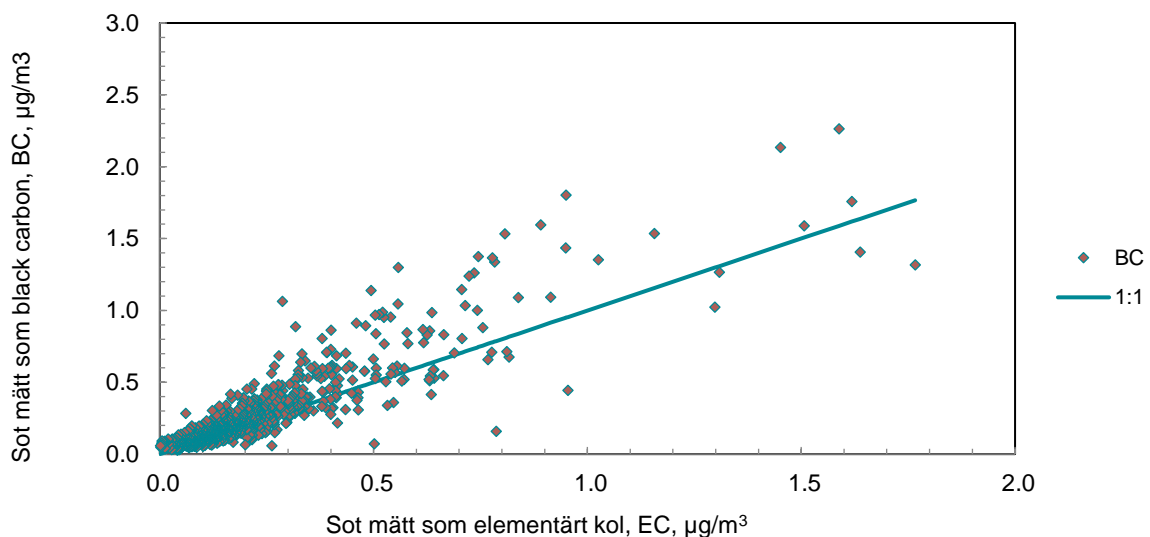
Koncentrationerna av elementärt partikelbundet kol är betydligt högre under vinterhalvåret än under sommaren, se Figur 3-7.



Figur 3-7 Partikelbundet elementärt kol, EC, vid Vavihill/Hallahus och Aspvreten. Årsvariation, månadsmedelvärden.

Orsaken till de högre halterna under den kalla årstiden är att förbränningen av fossila bränslen och biobränslen, den främsta källan till sot, ökar i Europa under den kalla årstiden.

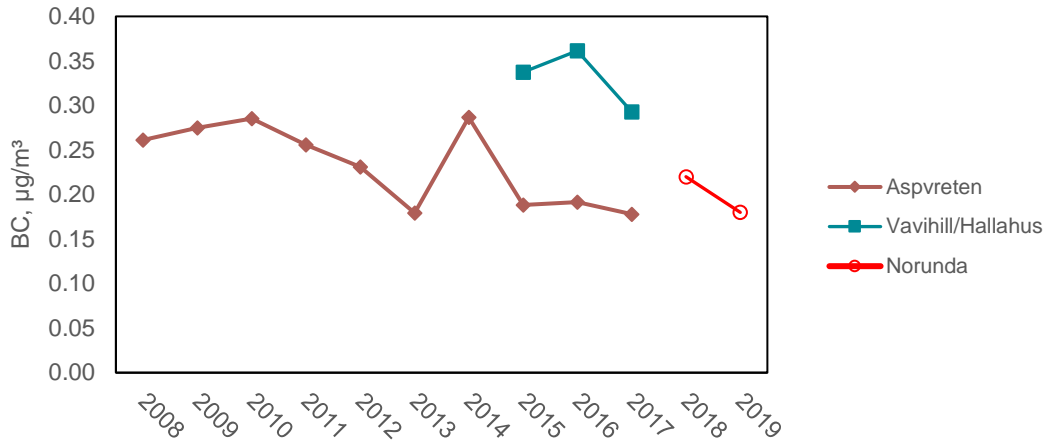
Vid Aspvreten, från 2018 vid Norunda, och vid Vavihill/Hallahus bestäms också sot som 'black carbon' (BC). Vid Aspvreten visar mätningarna av EC och BC, dvs. två metoder med helt olika principer för att mäta innehållet av sot, god korrelation, se Figur 3-8. Den optiska metoden, BC, ger dock i genomsnitt något högre värden än metoden för EC. Det visas i figuren genom att de flesta punkterna ligger ovanför den heldragna 1:1-linjen



Figur 3-8 Sot mätt som BC plottat mot sot mätt som EC. Dygnsdata från Aspvreten.

Mätningarna av sot som BC vid Aspvreten och Vavihill/Hallahus startade under första halvåret 2008. Aspvreten-mätningarna avslutades 2017, då Norunda startades.

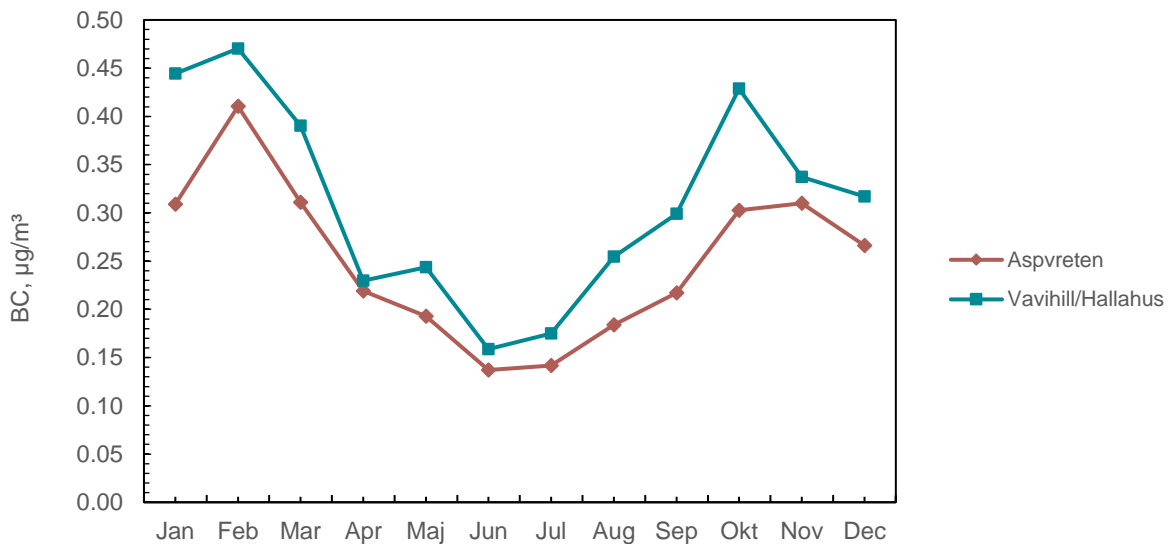
I Figur 3-9 visas årsmedelvärdena sedan mätningarnas start. För Vavihill/Hallahus saknas en hel del data, varför data endast visas för år 2015 – 2017.



Figur 3-9 Årsmedelvärden av BC vid Aspvreten, Norunda och Vavihill/Hallahus 2008 – 2019.

Sothalten vid Aspvreten mätt som BC har i linje med mätningarna av sot som EC, Figur 3-6, sjunkit från strax under 0,3 µg/m³ 2008 till runt 0,2 µg/m³ 2017. Halten vid Norunda 2018/19 är i samma storleksordning som de som uppmätts vid Aspvreten. Vid Vavihill/Hallahus var halterna av EC drygt 50 % högre än vid Aspvreten. Orsaken till att halterna av BC, liksom för nästan alla andra luftföroreningsparametrar, är högre vid Vavihill/Hallahus än vid Aspvreten är att stationen ligger närmare utsläppskällorna i Centraleuropa.

Precis som för EC är BC högre under vinterhalvåret än under sommarhalvåret, se Figur 3-10.



Figur 3-10 Årsvariation av BC vid Aspvreten och Vavihill/Hallahus.

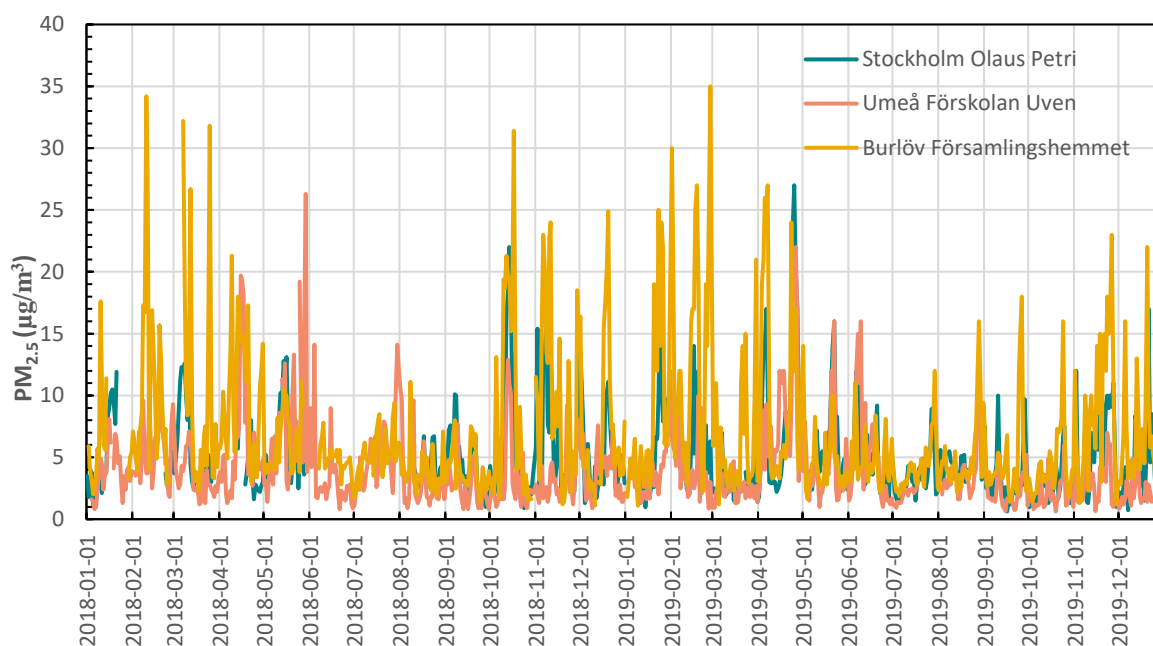
3.1.3. PM_{2.5} tätort

I Luftkvalitetsförordningen (SFS 2010:477) anges, i syfte att skydda människors hälsa, ett exponeringsminskningsmål för PM_{2.5}. Måttet på befolkningens genomsnittliga exponering baseras på det sammanlagda medelvärdet för koncentrationen av PM_{2.5} i urban bakgrundsluft i tre tätorter i landet; Burlöv (strax utanför Malmö), Umeå och Stockholm. Indikatorn beräknas som ett glidande tre-årsmedelvärde för koncentrationen av PM_{2.5} i samtliga dessa mätpunkter. Detta utgör underlaget för att fastställa målet (i procent) för en minskad exponering, där medelhalten för åren 2009 - 2011 ska jämföras med motsvarande värde för åren 2018 - 2020. För perioden 2009 - 2011 var den genomsnittliga exponeringsnivån 6,6 µg/m³.

Under 2014 flyttades två av mätstationerna, i Burlöv (140709) respektive Umeå (141219), på grund av att de byggnader där instrumenten var placerade skulle rivas. I båda fallen ligger den nya lokaliseringen i närheten av den tidigare mätplatsen och bedöms vara jämförbar beträffande föroreningsbelastning.

I Figur 3-11 redovisas dygnsmedelhalter för respektive mätstation under 2018 och 2019.

PM_{2.5} är generellt lägst under sommarhalvåret. Vintertid är halt-nivån, framför allt i södra Sverige, betydligt högre, vilket delvis beror på en ökad förbränning och partiklar som förs in med vindarna från övriga Europa. Liksom i den regionala bakgrundsluften avtar den genomsnittliga partikelbelastningen i urban bakgrund norrut i landet. Miljömålet (högst 3 dygn > 25 µg/m³ under ett kalenderår) överskreds i Burlöv både 2018 (6 dygn) och 2019 (5 dygn). I Stockholm respektive Umeå skedde endast ett överskridande, i Umeå under 2018 och i Stockholm under 2019.

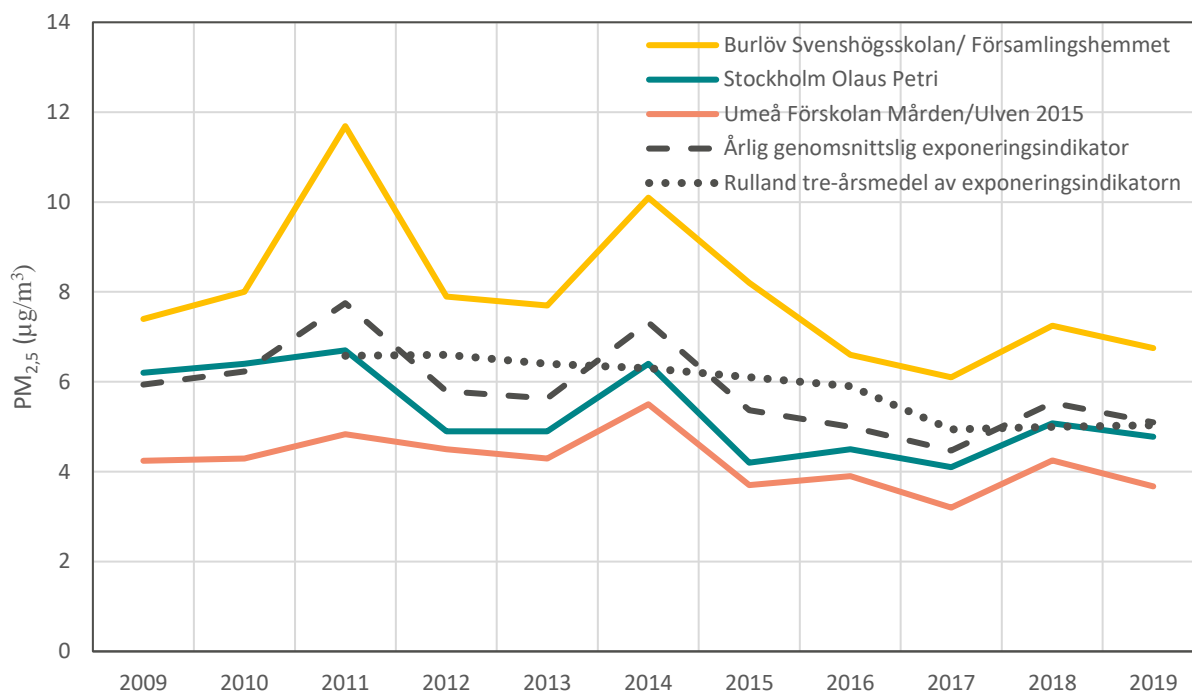


Figur 3-11 Dygnsmedelhalter av PM_{2.5} (µg/m³) under 2018 och 2019.

I Figur 3-12 redovisas årsmedelhalter av PM_{2.5} under 2009 - 2019. För att kunna beräkna exponeringsindikatorn har, för de år då databortfallet varit > 25 procent (Stockholm 2009; 2013, 2018 och Umeå 2009), har en viss komplettering gjorts med PM_{2.5}-data från andra mätningar i urban bakgrundsluft i dessa städer.

Av figuren framgår att det generellt finns en tendens till minskning från 2014 fram till 2017, under 2018 var halterna tydligt förhöjda för samtliga stationer för att återigen minska något 2019.

Resultatet av indikatorberäkningen ger (som rullande tre-årsmedelvärde) en genomsnittlig exponering för åren 2017 - 2019 på 5,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ett värde i samma nivå som den tidigare perioden (2015 - 2017) och lägre än de tidigare perioderna som går att beräkna (från 2011 och framåt). Denna indikatorhalt innebär att man i Sverige redan uppnått det krav som ställs för en acceptabel exponeringsnivå ($< 8,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) med avseende på $\text{PM}_{2,5}$ år 2020, förutsatt att nivån inte ökar.



Figur 3-12 Årsmedelhalter av $\text{PM}_{2,5}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) i urban bakgrundsluft under 2009 – 2019 samt årligt genomsnitt och rullande tre-årsmedelvärde av exponeringsindikatorn. Observera att viss komplettering gjorts av mätdata för Stockholm (2009, 2013, 2018) respektive Umeå (2009).

4. Marknära ozon

Tabell 4-1 Marknära ozon och VOC.

Parametrar	Ozon (O ₃)
Stationer	Timvisa mätningar, bakgrundsstationer: Vavihill/Hallahus; Råö; Norra Kvill; Grimsö; Aspvreten (t.o.m. 2017) Norunda (fr.o.m. 2018); Bredkålen; Vindeln; Esrange; Östad; Asa Timvisa mätningar förortsstationer: Staffanstorp; Rödeby; Ytterby; Djursholm Månadsvisa mätningar: Djursvallen, nedre; Docksta; Granan; Jädraås; Rickleå; Sjöängen; Sännen; Hoburgen
Mätfrekvens	Timme respektive månad
Kravställare	EU - direktiv, Miljökvalitetsnormer, Luftvårdskonventionen
Lagringsplats	Datavårdskap luft www.smhi.se/datavardluft , www.ivl.se/ozon
Utförare	IVL Svenska Miljöinstitutet, ACES Stockholms universitet
Om delprogrammet på Naturvårdsverkets webbplats	www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Miljoovervakning/Miljoovervakning/Programomrade-Luft/Delprogram---Marknara-ozon/
Mer information	

Parametrar	Volatila organiska ämnen (VOC)
Stationer	En veckomätning per månad, bakgrundsstation: Råö Timvisa mätningar urban bakgrund: "Femman" Göteborg
Mätfrekvens	Timme respektive vecka
Kravställare	EU - direktiv, Miljökvalitetsnormer, Luftvårdskonventionen
Lagringsplats	Datavårdskap luft www.smhi.se/datavardluft , www.ivl.se/ozon
Utförare	IVL Svenska Miljöinstitutet
Om delprogrammet på Naturvårdsverkets webbplats	www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Miljoovervakning/Miljoovervakning/Programomrade-Luft/Delprogram---Marknara-ozon/
Mer information	

Syftet med delprogrammet är att följa upp de halter av marknära ozon som är reglerade enligt svensk och internationell lagstiftning. Delprogrammet följer upp miljökvalitetsmålet *Frisk luft*.

Även övervakningen av marknära ozon sker inom ramen för EMEP-programmet. Mätningarna sker på timbasis med kontinuerligt registrerande UV-absorptionsinstrument vid totalt 14 stationer, varav IVL driver 13 och ACES vid Stockholms universitet en av dessa.

Enligt gällande EU-direktiv och svenska miljökvalitetsnormer skall allmänheten informeras om halterna överskrider vissa nivåer. IVL har ansvar för detta varningssystem, och vid tillfällen då

ozonhalten överstiger 180 µg/m³ i mer än en timme skickar IVL ut information till lokalradiostationerna.

Hemsidan (www.ivl.se/ozon) uppdateras också varje timme med aktuella halter vid samtliga mätstationer inom den nationella miljöövervakningen i Sverige.

Därutöver sker mätning av ozon på månadsbasis vid de nio stationer som mäter luft inom LNKN (avsnitt, 2). EU:s luftkvalitetsdirektiv 2008/50/EG kräver, förutom ozon, även mätningar av ozonbildande ämnen såsom kväveoxider och ett antal VOC. Kvävedioxid (NO₂) mäts på månadsbasis vid de tio ozonstationer där dygnsprovtagning av NO₂ inte sker.

Cirka 30 olika VOC mäts sedan 2004 i luft vid en urban bakgrundsstation inom miljöövervakningsprogrammet. Många VOC spelar en viktig roll i fotokemiska processer i den lägre delen av atmosfären, där de bidrar till bildningen av ozon och andra oxidanter. De VOC som ingår i mätprogrammet är, med undantag av formaldehyd och totalkolväte, de ämnen som man inom direktivet rekommenderar mätningar av.

Några VOC som har visats, eller misstänks vara cancerogena, ingår också bland de VOC som mäts. Exempel är eten, propen, 1,3-butadien och bensen (IMM-rapport, 1994 och 2004).

Eftersom den långväga transporten spelar en viktig roll när det gäller ozon och de mer stabila ozonbildande flyktiga kolvätena har även diffusiva veckomätningar av bensen, toluen, etylbensen och xylen (BTEX) utförts vid Råö sedan 2009.

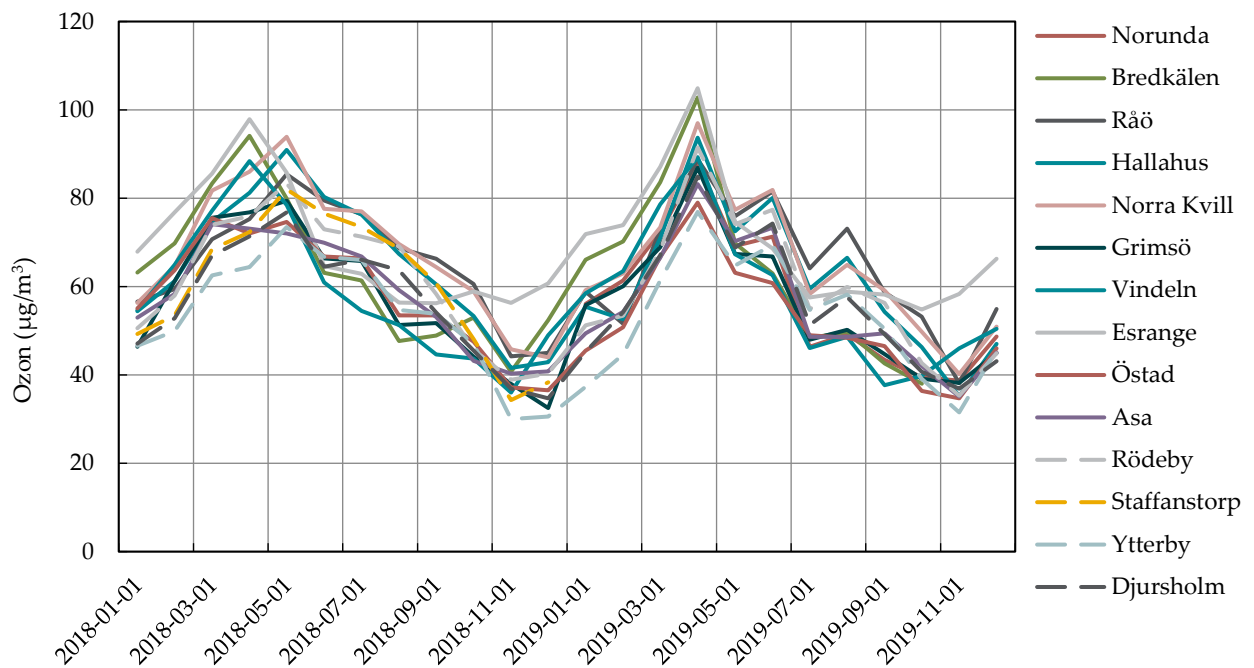
4.1. Resultat Marknära ozon

Månadsmedelvärden under 2018 och 2019 för de fjorton platser där marknära ozon mäts på timbasis redovisas Figur 4-1. Generellt observeras de högsta medelhalterna under våren (mars-maj), och något tidigare i norra Sverige än i de södra delarna av landet.

Ozonmedelhalterna är normalt höga under sensvåren och försommaren. Under 2018 var de genomsnittliga ozonmedelhalterna högst under april-maj men även höga under juni och juli. Vädret under maj till mitten av augusti var mycket varmt, soligt och torrt med få ostadiga perioder, vilket bidrog till att förklara de höga ozonförekomsterna dessa månader. Även det varma och torra vårvädrat under 2019 bidrog till höga halter, framför allt under april.

Den högsta månadsmedelhalt mellan 2018 - 2019 uppmättes i Esrange i april 2019, då var månadsmedelhalten 105 µg/m³. Samma månad och år hade även Breckälven en medelhalt på 103 µg/m³. Vid övriga stationer låg halterna som månadsmedelvärde under 100 µg/m³.

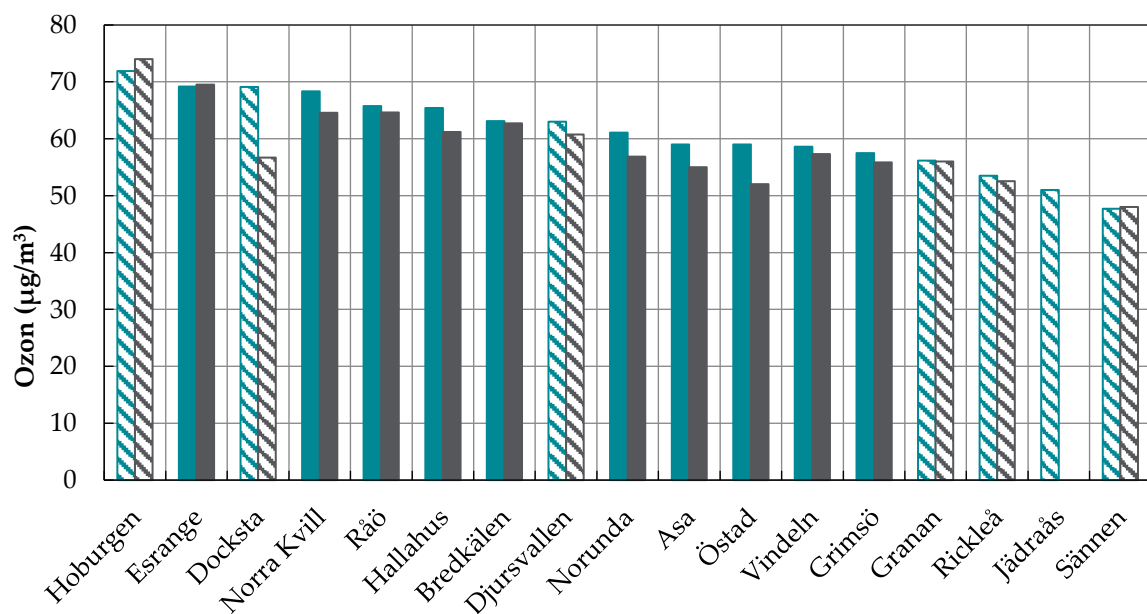
Miljömålet för timmedelvärdet, 80 µg/m³, överskreds kraftigt vid samtliga mätstationer. Uppmätta halter i förorterna visade generellt på något lägre nivåer än i den regionala bakgrunden i södra Sverige, vilket delvis beror på att ozon bryts ner av kväveoxid från fordonsavgaser. Informationsnivån (180 µg/m³ som enskilt timmedelvärde) tangerades under ett tillfälle under 2018 och överskreds under ett tillfälle 2019 (181 µg/m³) i Hallahus.



Figur 4-1 Månadsmedelhalter, baserat på mätningar på timbasis, vid de svenska nationella mätstationerna under 2018 – 2019. De heldragna linjerna avser mätningar i regional bakgrund och de streckade linjerna avser mätningar i förorter.

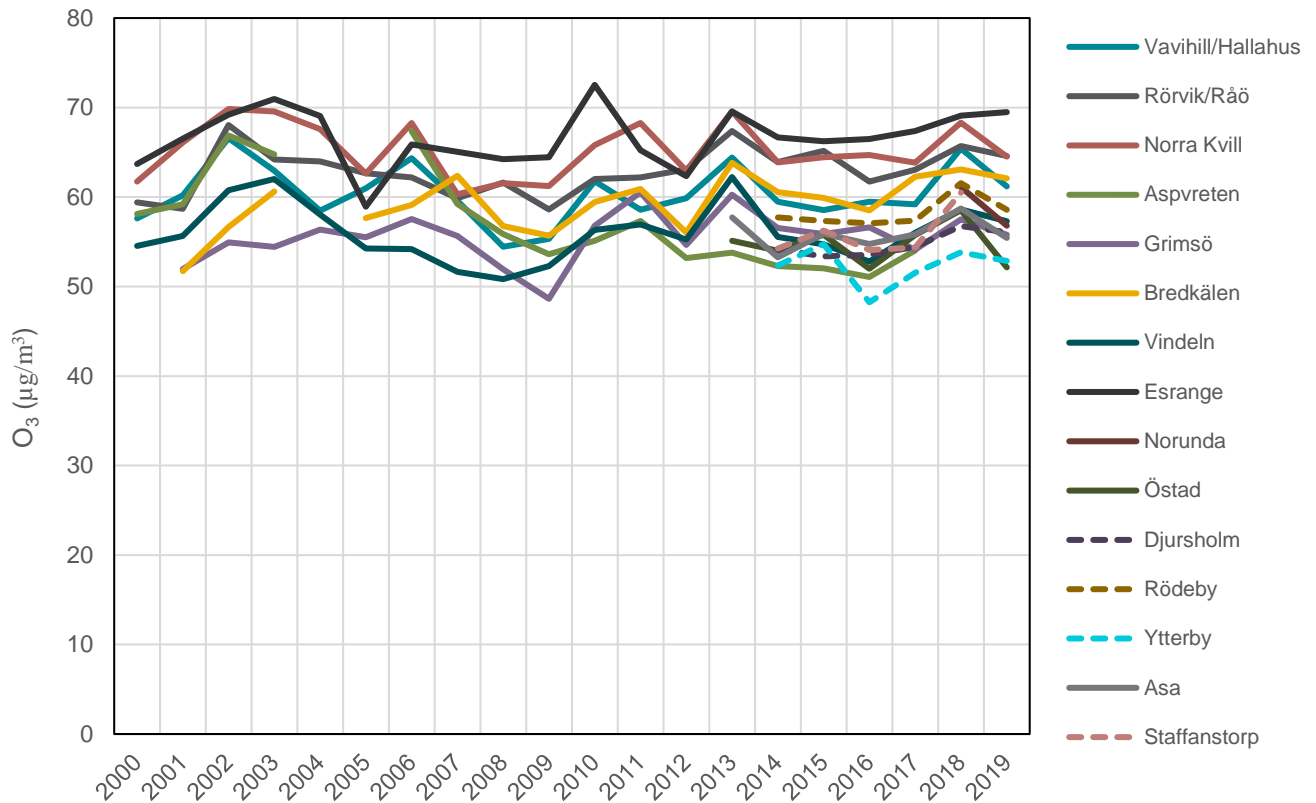
I Figur 4-2 visas belastningen av ozon i form av årsmedelhalter i bakgrundsluft under 2018 och 2019 vid samtliga 14 mätstationer som ingår i den nationella övervakningen och för vilka årsmedelvärden kan beräknas. Haltnivån varierade mellan 48 µg/m³ (Sännen, 2018 och 2019) och 74 µg/m³ (Hoburgen, 2019).

Skillnaden mellan årsmedelhalterna 2018 och 2019 var mycket liten. Till skillnad från många andra luftföroreningskomponenter finns det för årsmedelvärdet ingen tydlig geografisk haltgradient över landet.



Figur 4-2 Årsmedelhalter av ozon i svensk bakgrundsluft under 2018 - 2019 från mätningar på både tim- och månadsbas. De blåa stolparna avser mätningar under 2018 och de gråa stolparna avser mätningar 2019. De streckade staplarna avser mätningar med diffusionsprovtagare (månadsmätningar).

Det finns heller ingen tydlig trend i medelbelastningen av ozon på årsbas under det senaste decenniet, utan det är framför allt meteorologin som styr mellanårsvariationen. I Figur 4-3 redovisas utvecklingen avseende årsmedelhalten under perioden 2000 - 2019 vid de svenska nationella mätstationerna. Av figuren framgår också att Esrange och Norra Kvill, med undantag för några år i mitten av 2000-talet, genomgående uppvisat de högsta haltnivåerna.



Figur 4-3 Årsmedelhalterna av ozon mellan åren 2000 och 2019.

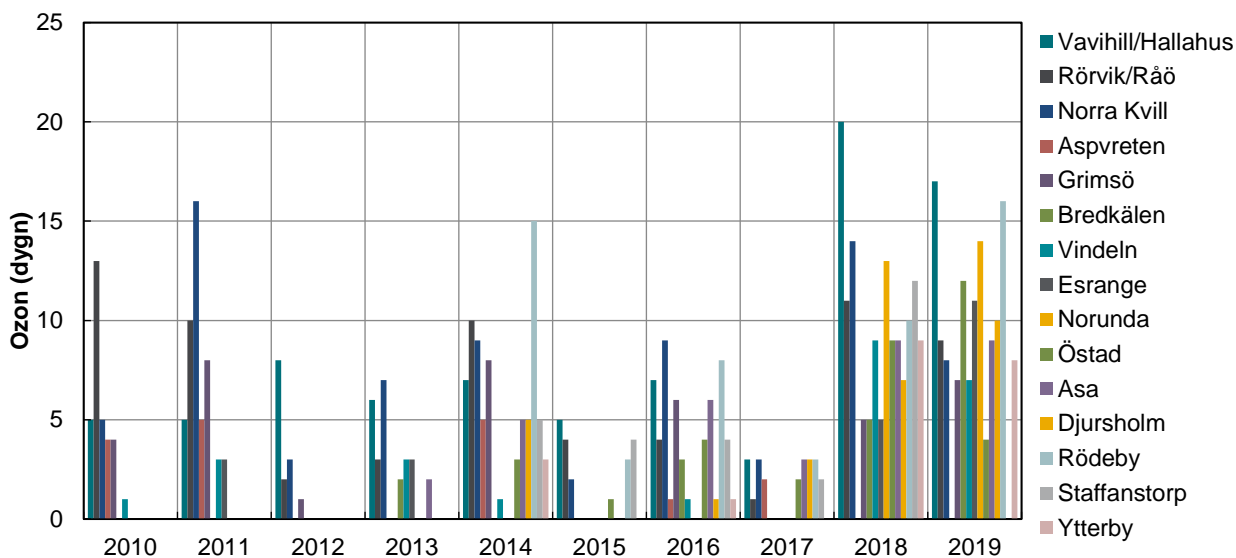
Antalet dygn då det glidande 8-timmarsmedelvärdet varit högre än $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$ varierar också, främst i förhållande till meteorologin, se Figur 4-4.

Här syns dock en tydlig geografisk gradient, där antalet höghaltstillfällen är betydligt fler i södra än i norra Sverige. Vid högtryckstillfällen, då kraftigt förorenad luft från centrala Europa förs in över Sverige med svaga vindar, kan det uppstå så kallade ozonepisoder. Under dessa episoder kan ozonhalten vara två-tre gånger högre än normalt.

Nuvarande MKN ($> 120 \mu\text{g}$ ozon/ m^3 som glidande 8-timmarsmedelvärde) för människors hälsa överskrids varje år vid flertalet av stationerna.

Den högsta frekvensen noterades i Hallahus både under 2018 (20 dygn) och 2019 (17 dygn), vilket var betydligt fler överskridanden än de senaste åren innan dess. Detta beror troligtvis till stor del på vädret, då det varit långa perioder med höga temperaturer, hög solinstrålning och långvarig torka, vilket leder till höga ozonhalter.

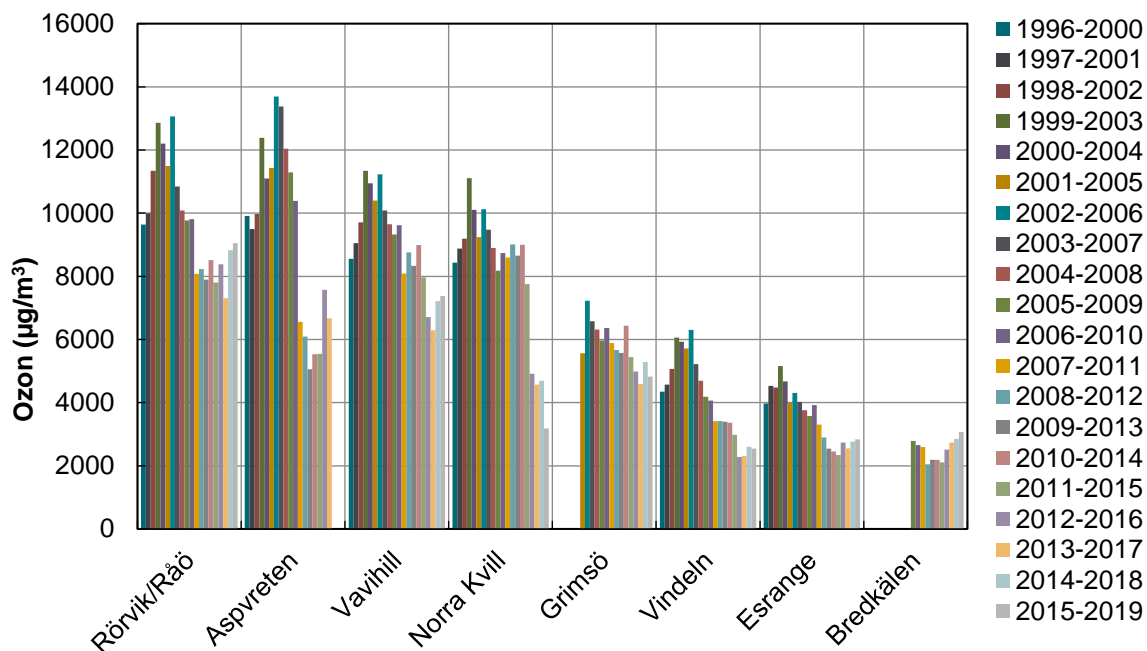
Miljömålets precisering ($70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ som glidande 8-timmarsmedelvärde) överskrids kraftigt i regional bakgrund i hela landet.



Figur 4-4 Antalet dygn med glidande 8-timmarsmedelvärden > 120 µg ozon/m³ mellan åren 2000 och 2019.

Samma mönster som för miljö kvalitetsnormen till skydd för människors hälsa, en högre ozonbelastning i södra Sverige, ses även för normen för växtlighet, AOT40, Figur 4-5. Den belastningsnivå (18 000 µg/m³·h som 5-årsmedelvärde) som skall eftersträvas från 2010 har aldrig uppmätts.

I södra Sverige låg nivån för perioden 2015 - 2019 som högst kring 9 000 µg/m³·h, medan belastningen i norra och mellersta Sverige låg lägre än nivån för det värde (6 000 µg/m³·h) som gäller från 2020.



Figur 4-5 AOT40 (µg/m³·h) för ozon mellan maj – juli, kl. 08-20, som rullande 5-årsmedelvärden mellan åren 2000 och 2019 (som slutår i medelvärdesberäkningen).

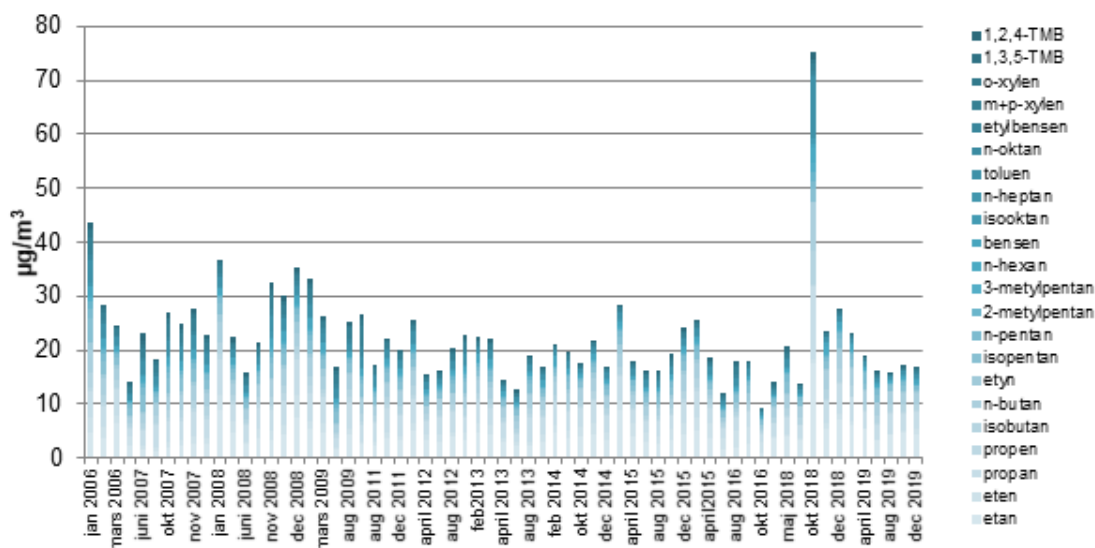
4.2. Resultat Volatila organiska ämnen (VOC)

4.2.1. Ozonbildande VOC uppmätta i urban bakgrundsluft i Göteborg

Från 2004–2007 utfördes de timbaserade VOC-mätningarna i urban bakgrundsluft i Göteborg huvudsakligen under vinterhalvåret, vilket från 2008 ändrades till sex mätveckor spridda över året. Redan 2006 flyttades dock en av mätperioderna till juni månad med tanke på att det är under sommarsäsongen som de högsta ozonhalterna vanligtvis uppmäts. På grund av instrumentproblem utfördes inga timbaserade mätningar av VOC under 2017. Mätningarna återstartades först april 2018, när ett nytt analysinstrument fanns på plats.

De summerade medelhalterna av uppmätta VOC för mätperioden respektive månad finns redovisade i Figur 4-6. För de flesta månaderna baserar sig medelhalterna på timmedelvärden uppmätta under en vecka av månaden.

VOC-halterna är för de flesta VOC högst under november till mars, d.v.s. under den kallaste tiden av året, medan de lägsta halterna återfinns under juni till oktober. Orsakerna till denna fördelning under året kan sannolikt vara att utsläppen från olika typer av förbränning ofta är större under den kallare tiden av året, men även att blandningsskiktet i den lägre delen av atmosfären är lägre under vintermånaderna.

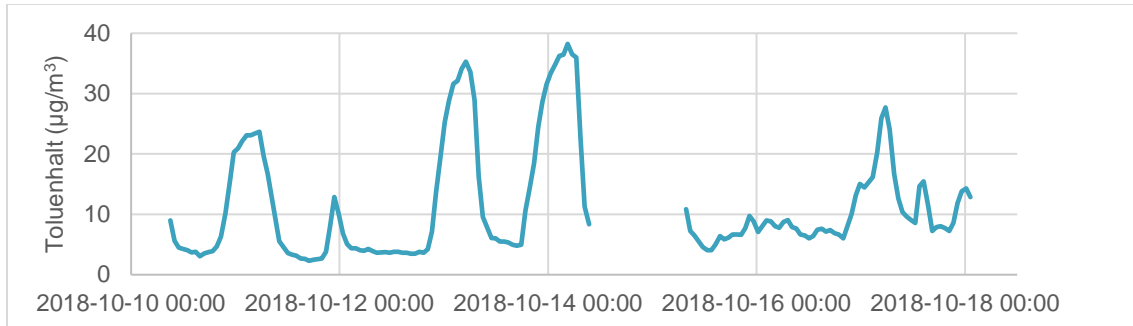


Figur 4-6 Uppmätta timmedelvärden av VOC i urban bakgrundsluft i Göteborg, aggregerade som veckovisa periodmedelvärden. Halterna är angivna i $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Under november 2007, december 2008, februari 2013 och augusti 2016 utfördes två veckolånga mätperioder som båda visas i figuren.

I oktober 2018 uppmättes av ännu okänd anledning förhöjda koncentrationer av flertalet VOC. Mest utmärkande var det för toluen, som hade en veckomedelhalt omkring 15 gånger högre än vad som är vanligt för denna mätplats. I Figur 4-7 nedan, där uppmätta toluenhalter i oktober 2018 visas avsatta mot tid, framgår att halterna var som högst nattetid.

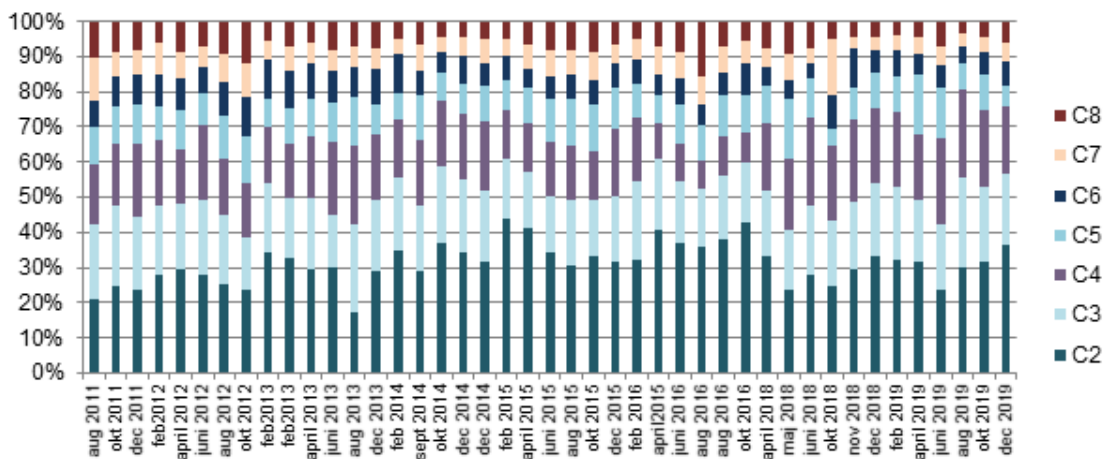
Andra VOC med förhöjda koncentrationer, som exempelvis hexan, heptan, oktan, etylbensen och xylener, denna period uppvisade en likartad dygnsvariation men med lägre koncentrationer jämfört med toluen.

Bland de VOC som inte var nämnvärt förhöjda under perioden fanns eten, propen, 1,3-butadien och bensen, vilka har visats eller misstänks vara cancerogena.



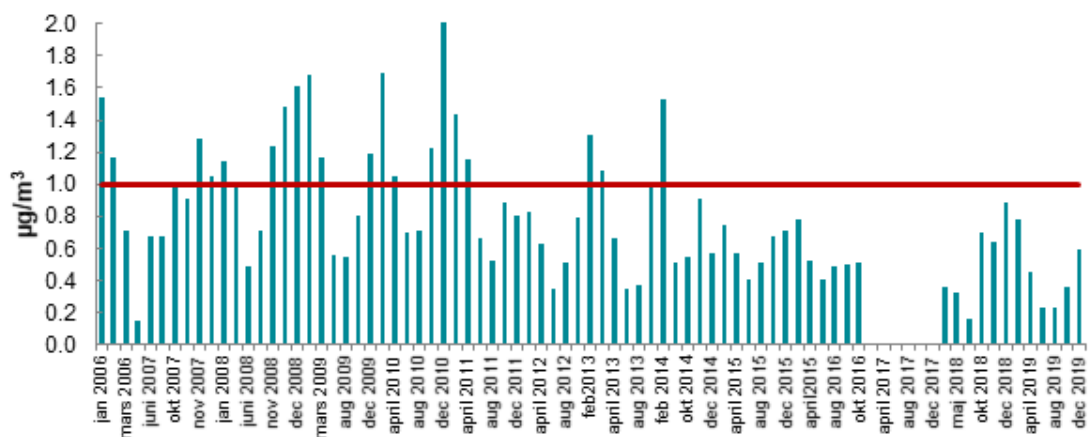
Figur 4-7 Uppmätta timmedelvärden av toluen i oktober 2018. Halterna är angivna i $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Fördelningen av VOC som veckomedel över rapporteringsgräns, det vill säga den lägsta haltnivå som kan bestämmas kvantitativt med tillfredsställande säkerhet, baserat på antal kolatomer visas i Figur 4-8. Ingen årstidsspecifik variation av fördelningen kan utläsas ur figuren, de mest volatila ämnena står för den största andelen under alla årstider. Andelen uppmätta VOC med 2–3 kolatomer (C2 och C3) är cirka 40–60 %, C4-kolväten 10–20 % och C5-kolväten 10–15% medan C6-, C7- och C8-kolvätena står för cirka 5 % vardera av summan av de kolväten som uppmätts över rapporteringsgräns.



Figur 4-8 Fördelning av uppmätta VOC i urban bakgrundsluft i Göteborg baserat på antal kolatomer för veckomedelhalter 2011–2019.

MKN för bensen är $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ som ett aritmetiskt årsmedelvärde som inte skall överskridas från år 2010. Med ledning av veckomedel av uppmätta bensenhalter, Figur 4-9, bedöms att MKN sannolikt inte överskrids.

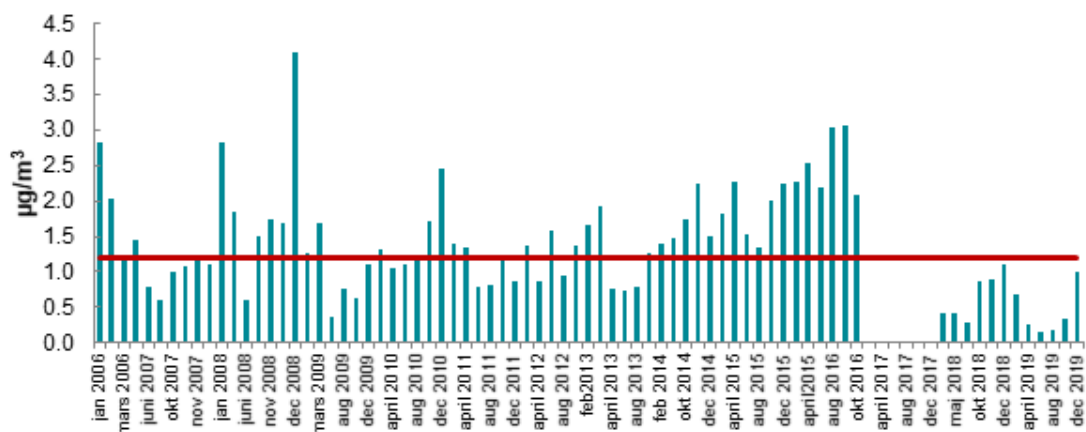


Figur 4-9 Timmedelvärden av bensen i urban bakgrundsluft i Göteborg, aggregerade som veckomedelvärden (visade månadsvis). Den röda linjen visar det nationella miljömålet för bensen på 1 µg/m³ som ett årsmedelvärde. Halterna är angivna i µg/m³.

För bensen och 1,3-butadien finns nationella preciseringar av miljö kvalitetsmålen avseende årsmedelvärden för bensen (1 µg/m³) och butadien (0,2 µg/m³) (Miljödepartementet, 2012). Under samtliga mätveckor 2006–2019 var uppmätta veckomedel av 1,3-butadienhalterna lägre än 0,2 µg/m³, medan 21 av 75 periodmedelvärden av bensen överskred 1 µg/m³, se Figur 4-9. Under 2015–2019 överskred ingen periodmedelhalt av bensen miljö kvalitetsmålet, vilket indikerar att målet uppfylls på årsbas.

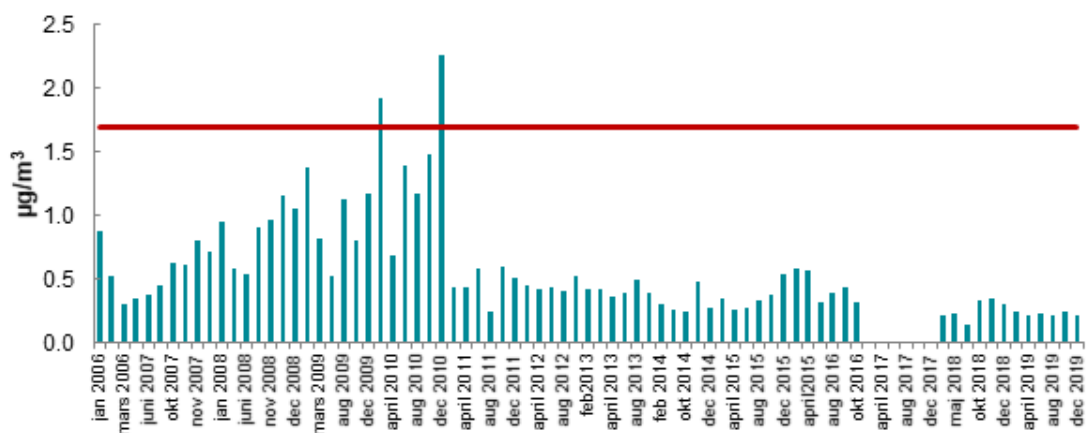
Institutet för miljömedicin (IMM) har angivit rekommenderade medicinska lågrisknivåer för ett antal enskilda VOC som anses kunna ge upphov till cancer eller påverka centrala nervsystemet. Lågrisknivån definieras som den halt nivå som teoretiskt kan ge upphov till ett cancerfall per 100 000 invånare vid livstidsexponering. För eten fanns fram till nyligen ett hälsobaserat nivågränsvärde på 1,2 µg/m³. Lågrisknivån för eten har nu tagits bort från IMM:s webb-plats för att ses över och uppdateras med nyare undersökningar. Om översynen kommer att resultera i lägre eller högre lågrisknivå är ännu inte beslutat.

Periodmedelhalter av eten visas i Figur 4-10. Samtliga periodmedelhalter av eten från 2015 och 2016 överskred det tidigare angivna hälsobaserade nivågränsvärdet, medan det från mätningarnas återupptagande i april 2017 har uppmätts lägre halter. Ingen av de 12 mätveckorna 2017–2019 hade en periodmedelhalt av eten över 1,2 µg/m³. Orsaken till trendbrottet är oklart. Man kan för de senaste 2 åren se en mer tydlig säsongvariation med högre halter under vinterhalvåret.



Figur 4-10 Uppmätta timmedelvärden av eten i urban bakgrundsluft i Göteborg, aggregerade som veckomedelvärden visade månadsvis. Den röda linjen visar den tidigare angivna medicinska lågrisknivån för eten på 1,2 µg/m³ som livstidsexponering. Halterna är angivna i µg/m³.

För propen fanns tidigare ett hälsobaserat nivågränsvärde som, liksom för eten, nu är under översyn. Nivågränsvärdet var angivet som ett intervall; 1,7–17 µg/m³. Veckomedelhalter av propen visas i Figur 4-11. För propen överskred endast 2 av 75 periodmedelvärden det tidigare nivågränsvärdet. Från 2011 har halterna varit betydligt lägre än innan. Anledningen till detta är oklar.



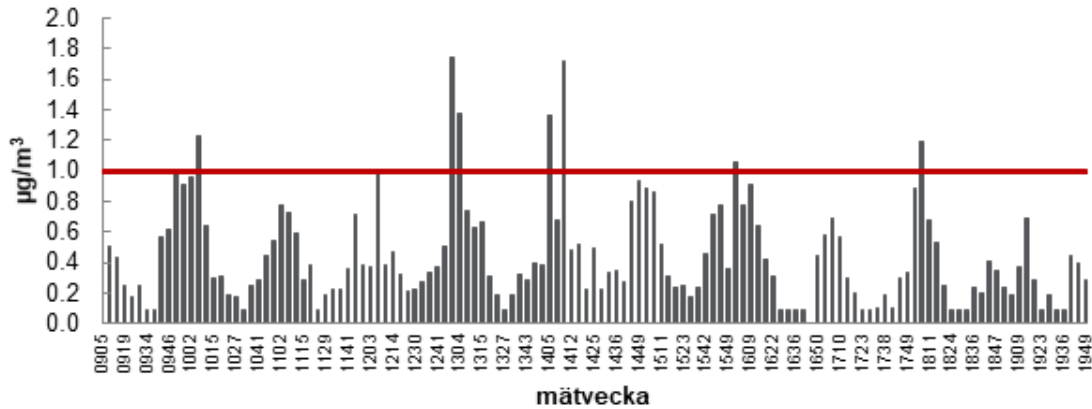
Figur 4-11 Uppmätta timmedelvärden av propen i urban bakgrundsluft i Göteborg aggregerade som veckomedelvärden visade månadsvis. Den röda linjen visar nedre gräns för intervallet av den tidigare medicinska lågrisknivån för propen på 1,7 µg/m³ som livstidsexponering.

4.2.2. Bensen, toluen, etylbensen och xylener (BTEX) i bakgrundsluft

Sedan 2009 har det genomförts mätningar av BTEX, *n*-oktan och *n*-nonan med diffusiv provtagning en vecka per månad vid bakgrundsstationen Råö söder om Göteborg.

I Figur 4-12 visas bensenhalter vid Råö-stationen uppmätta med diffusiv veckoprovtagning, en vecka per månad under 2009–2019. Då mätdata saknades för februari 2009 adderades en extra mätvecka i december samma år. För november 2016 saknas mätdata då provtagaren på grund av sjukdom inte plockades ner efter exponeringstidens slut.

Precis som för mätplatsen i centrala Göteborg finns en tydlig säsongvariation, med högre bensenhalter under vintersäsongen än under sommaren. Under sommarmätningarna 2016–2019 var ett flertal mätresultat lägre än rapporteringsgräns. I figuren nedan har de ersatts med halva rapporteringsgränsen. Av 133 uppmätta veckomedelhalter av bensen var det endast 6 som var 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ eller högre, vilket indikerar att det nationella miljömålet inte överskreds vid Råö 2009–2019.



Figur 4-12 Veckomedelhalter av bensen uppmätta vid Råö. Den röda linjen visar preciseringen av det nationella miljömålet för bensen på 1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ som ett årsmedelvärde. Halterna är angivna i $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

För toluen var uppmätta halter högre än rapporteringsgränsen (0,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) flertalet av mätperioderna under vinterhalvåret, medan de under sommarhalvåret var lägre. Högsta uppmätta veckomedelhalt för toluen var under 2018–2019 0,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. För övriga VOC (etylbenzen, xylener, *n*-butylacetat, *n*-oktan och *n*-nonan) var uppmätta halter, med några få undantag, under rapporteringsgräns för de mätningar som utförts på Råö under 2018–2019.

5. Metaller i luft och nederbörd samt mossa

Tabell 5-1 Metaller i luft och nederbörd.

Parametrar	Arsenik (As), kadmium (Cd), kobolt (Co), krom (Cr), koppar (Cu), nickel (Ni), mangan (Mn), bly (Pb), vanadin (V), zink (Zn), totalt gasformigt kvicksilver (TGM), totalt partikulärt kvicksilver (TPM), gasformigt elementärt kvicksilver (GEM), gasformigt oxiderat kvicksilver (GOM), partikulärt kvicksilver med automatisk metod (TPM).
Stationer	Hallahus (tidigare Vavihill), Råö (tidigare Rörvik), Bredkålen, Pallas, Norunda (tidigare Aspvreten).
Mätfrekvens	1–2 dygn/vecka, veckoprov (TGM, TPM, luft), 2-veckorsprov (Total Hg, nederbörd), månadsprov (tungmetaller, luft, nederbörd), 5-minuters medelvärden (GEM), 4h medelvärden (GOM och TPM).
Kravställare	Luftvårdskonventionen (CLRTAP), Minamatakonventionen, EU-direktiv 2004/107/EG
Lagringsplats	Datavårdskapet för luftkvalitet, www.smhi.se/datavardluft
Utförare	IVL Svenska Miljöinstitutet
Om delprogrammet på Naturvårdsverkets webbplats	www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Miljoovervakning/Miljoovervakning/Programomrade-Luft/Metaller-i-luft-och-nederbord/
Mer information	De nationella miljökvalitetsmål som främst berörs är <i>Giftfri miljö</i> samt <i>Frisk luft</i> .

De 10 metallerna arsenik (As), kadmium (Cd), kobolt (Co), krom (Cr), koppar (Cu), nickel (Ni), mangan (Mn), bly (Pb), vanadin (V) och zink (Zn) mäts i luft och nederbörd vid Hallahus (tidigare Vavihill), Råö (tidigare Rörvik), Norunda (från 2018, tidigare Aspvreten) och Bredkålen. Kviksilver mäts i luft och nederbörd på samma stationer, med undantag för att mätstationen Aspvreten/Norunda ersatts med mätstationen Pallas i norra Finland. Detta på grund av en överenskommelse mellan FMI i Finland och Naturvårdsverket, där FMI ansvarar för mätningarna av de 10 metallerna i Pallas och IVL för kvicksilvermätningarna. Data från Pallas rapporteras till EMEP som gemensamma finsk-svenska data. Under 2018 mättes kvicksilverspecierna gasformigt elementärt kvicksilver (GEM), gasformigt oxiderat kvicksilver (GOM) och partikulärt kvicksilver (TPM) i luft med automatisk metod på Råö från april till december. Dessa data presenteras separat i kapitel 5.1.1.1.

Metallerna Cu, Zn, Cr, Ni, Co, Mn och V är i låga doser essentiella för djur och människor. Vid brist på eller i för höga doser kan de däremot vara skadliga för hälsan. I motsats är metallerna Pb, As, Cd och Hg exempel på metaller som inte har någon funktion i levande vävnader och därför kan vara skadliga redan i låga halter. De 11 metallernas vanligaste utsläppskällor, samt dess möjliga hälsoeffekter, presenteras i Tabell 5-2.

Tabell 5-2 Vanliga utsläppskällor till metaller i luft och deras möjliga negativa hälsoeffekter vid höga doser.

Metall	Utsläppskällor till luft	Möjliga hälsoeffekter
Bly (Pb)	Metallverk, skrot och malmbaserade stålverk, glasindustri Eldning av olja, kol, ved, avfall, flygbränsle	Skador på nervsystemet, blodbrist, njurskador, blykolik
Arsenik (As)	Metallverk, malmbaserade stålverk, glasindustri, bomullsindustri, pesticider Eldning av olja, kol, ved, flygbränsle	Cancerframkallande, hjärt-kärlsjukdom, leverskada, kronisk hosta, diabetes
Nickel (Ni)	Skrotbaserade malmverk, gruvor, raffinaderier Eldning av olja, kol, ved	Lungcancer, hudallergier
Kadmium (Cd)	Skrot- och malmbaserade stålverk, metallverk, handelsgödsel, fosfatgödmedel Eldning av olja, kol, ved, flygbränsle	Njurskador, benskörhet och frakturer
Vanadin (V)	Framställningsprocessen, ferrovanadintillverkning, raffinaderier Eldning av olja	T.ex. huvudvärk, skakningar, hjärtklappning
Kobolt (Co)	Framställningsprocessen, volframkarbidframställning Eldning av fossila bränslen, avfall	Hudbesvär, lungsjukdom
Mangan (Mn)	Järn- och stålverk, framställningsprocessen, tryckfärger, fungicider Eldning av fossila bränslen	Kan påverka nervsystemet i höga doser
Koppar (Cu)	Skrot- och malmbaserade stålverk, metallverk Eldning av olja, kol, ved	Kan ge hälsorisker vid över- och underskott
Krom (Cr)	Skrotbaserade malmverk, ferrolegeringsverk, gruvor, gjuteri Eldning av ved	Cancerframkallande (6-värt), astma, hudbesvär
Zink (Zn)	Skrot- och malmbaserade stålverk, metallverk, verkstadsindustri, gruvor, gjuteri Eldning av olja, ved	Höga halter kan vara giftigt
Kvicksilver (Hg)	Småskalig guld- och silvertillverkning, metallverk, cementindustri, kloralkaliindustri Eldning av fossila bränslen, avfall	Skador på nervsystemet, känselstörningar, njurskador

Syftet med miljöövervakningen av metaller är att följa upp haltutvecklingen i luft och deposition enligt de nationella miljö kvalitetsmålen och stämma av mot miljö kvalitetsnormer i utomhusluft för skydd av människors hälsa (Luftkvalitetsförordningen, SFS 2010:477).

I detta kapitel redovisas de mätningar av tungmetaller i luft och deposition som genomförts inom miljöövervakningen från 1995 till 2019, i vissa fall från 2009 till 2019 beroende på tillgängliga data. Eventuella trender och säsongvariationer diskuteras.

5.1. Resultat Metaller

Här presenteras de mätningar av de 11 metallerna i luft och deposition som genomförts inom miljöövervakningen från 2009 – 2019 (10 metaller) och 1995 – 2019 (Hg). Data diskuteras utifrån eventuellt observerade trender i årsmedelvärden och säsongsvariationer. Värden under detektionsgränser presenteras som halva detektionsgränsen.

5.1.1. Luft – metaller

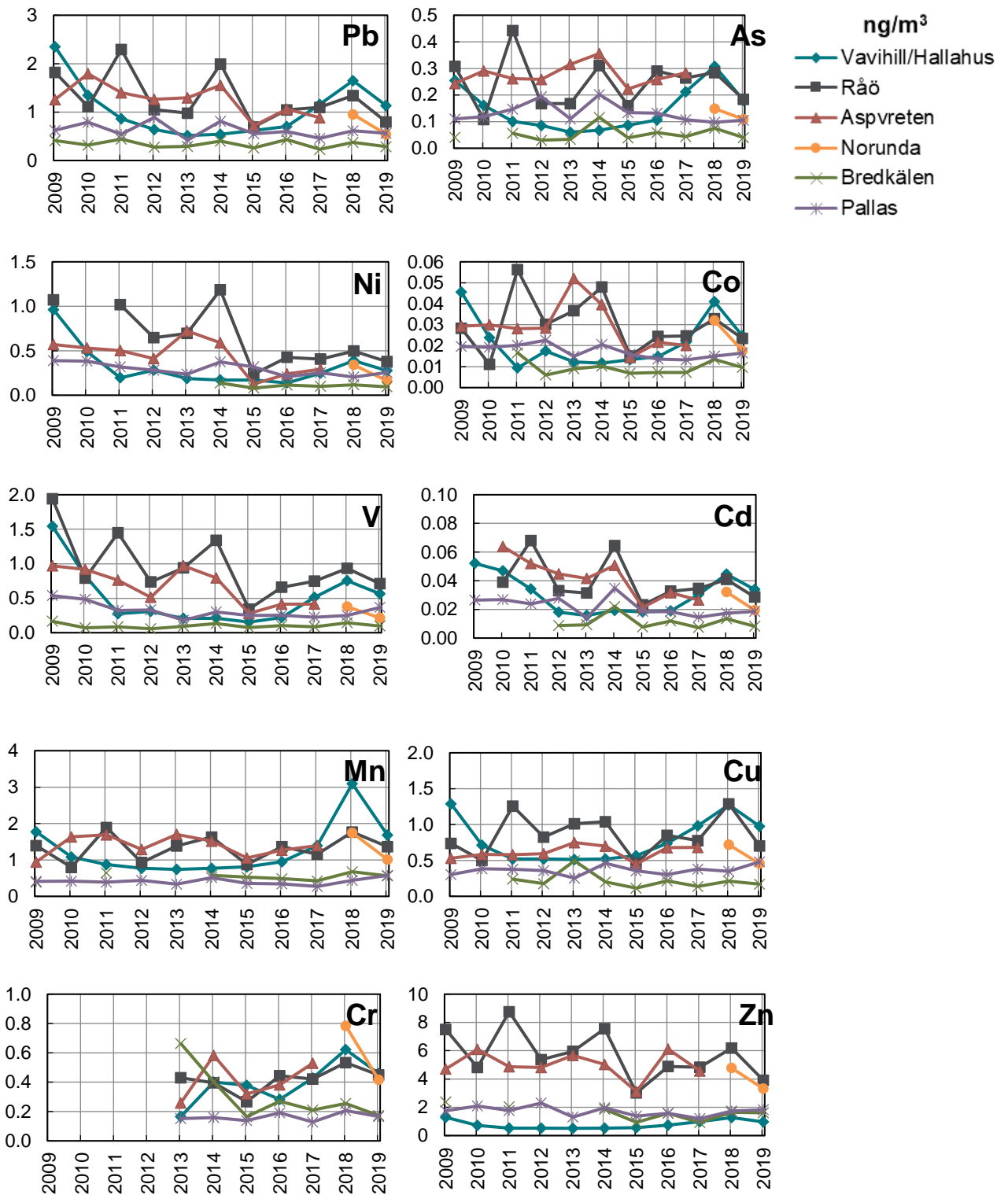
5.1.1.1. Årsmedelvärden

Årsmedelvärden (2009 – 2019) av de 10 metallerna som analyserats på partikelfraktion PM₁₀ (<10 µm) presenteras i Figur 5-1.

Årsmedelvärdena visar att lufthalterna av metaller överlag har varit lägst vid de nordligare stationerna Breckålen och Pallas. För de flesta metallerna har lufthalterna på dessa stationer varit relativt stabil under de senaste 10 åren, med en viss tendens till nedåtgående trend för vissa metaller (Pb, Ni, Cd, Co och Zn). Vid Vavihill/Hallahus, som är den sydligaste mätstationen, har det under 2011 - 2017 generellt uppmätts lägre lufthalter av metaller än vid de nordligare stationerna Råö och Aspvreten. Mellan 2017 och 2019 har det dock observerats en ökning av lufthalter för samtliga metaller vid Hallahus. En ökad lufthalt av främst Cd, Co, Mn, Cu, Cr och Zn observerades på samtliga sydliga stationer (Råö, Norunda, Hallahus) under 2018. Dessutom har halterna av Pb i luft ökat de senaste två åren, främst vid Hallahus. Detta trots att halterna av Pb i luft minskat med 90 procent sedan 1990-talet tack vare förbudet av blytillsats i bensin som infördes på 1990-talet (EMEP, 2015).

Förutom ökningen av metallhalter i luft under 2018 så har tidigare en nedåtgående trend observerats på alla stationerna för Zn, V, Cd och Ni. Övriga metaller visade olikartade trender, med en möjlig ökning av halterna av As och Mn vid Breckålen och av Cr och Cu vid Pallas.

De miljö kvalitetsnormer för skydd av människors hälsa som anges i Luftkvalitetsförordningen (SFS 2010:477) är angivna som 500 ng/m³ för Pb, 6 ng/m³ för As, 20 ng/m³ för Ni och 5 ng/m³ för Cd (www.naturvardsverket.se). Dessa trösklar har inte överskridits vid någon av de fem stationerna sedan mätningarna startades.



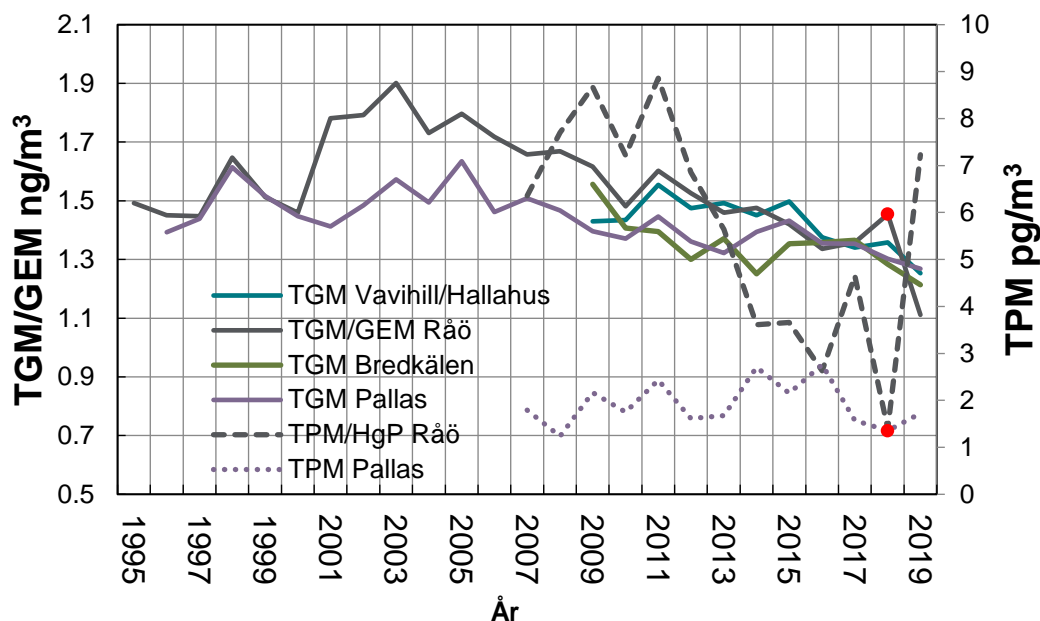
Figur 5-1 Årsmedelvärden av de 10 mätta tungmetallerna i luft från 2009 till 2019 mätta vid stationerna Vavihill/Hallahus, Råö, Aspvreten/Norunda (till/från 2018), Bredkålen och Pallas.

Årsmedelhalter av totalt gasformigt kvicksilver (Hg) (TGM) och totalt partikulärt Hg (TPM) i luft från Vavihill/Hallahus, Råö, Bredkålen och Pallas visas i Figur 5-2. Under 2018 mättes vid Råö kvicksilverhalter i luft med automatisk metod från april till december, och årsmedelvärdet är därför baserat på medelvärden för manuell metod (jan-mars) och automatisk metod (apr-dec). Dessa värden är rödmarkerade i Figur 5-2.

Vid Råö och Pallas, som har de längsta mätserierna (1995 – 2019), har koncentrationen av TGM, förutom en liten uppgång vid Råö under 2018, stadigt minskat sedan 2005. Även vid Vavihill/Hallahus och Bredkålen har koncentrationerna minskat sedan mätstarten 2009. En geografisk trend kan skönjas, med lägre halter i norr än i söder, vilket troligtvis beror på avståndet till källor söderifrån (Wängberg et al., 2016).

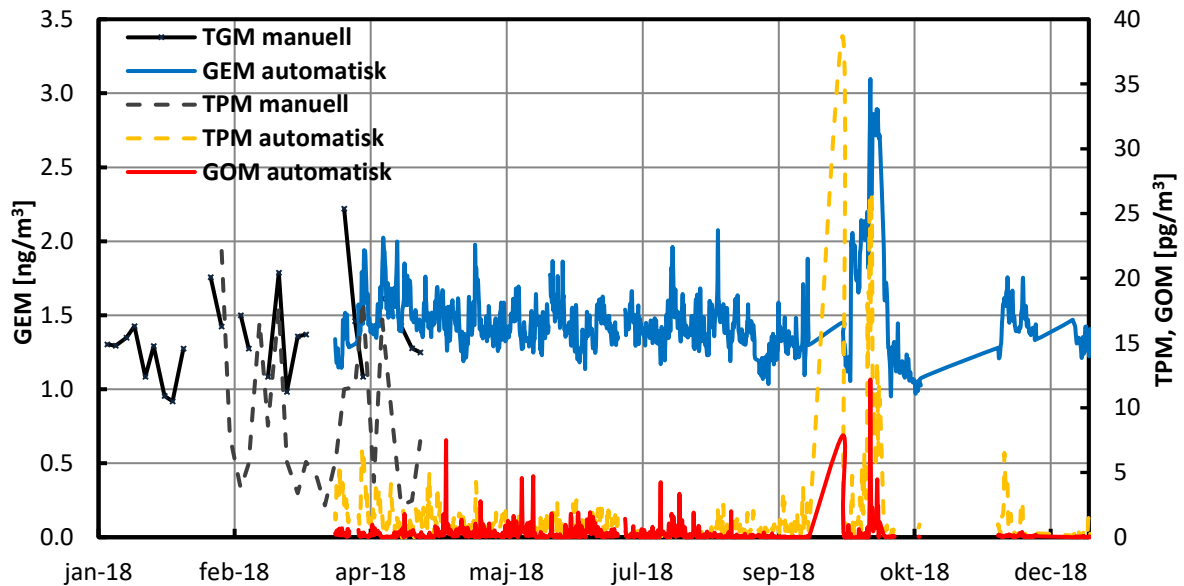
Bakgrundskoncentrationen av TGM i luft har i norra hemisfären haft en kraftig nedåtgående trend sedan 1980-talet. Mellan 1985 och 1989 var medelhalten av TGM vid Råö 3,2 ng/m³ (Iverfeldt et al., 1995). Till följd av minskade utsläpp av Hg från både inhemska och europeiska källor har koncentrationen mer än halverats till dagens nivå kring ca 1,3 ng/m³. Medelhalten av TGM i norra hemisfären, mätt på 13 stationer, var för perioden 2013-2014 1,3 – 1,6 ng/m³ (Sprovieri et al., 2016), vilket stämmer väl överens med de värden som presenteras i Figur 5-2.

Halten av TPM, som generellt är förknippad med antropogena källor, har sedan 2009 varit högre vid Råö än vid Pallas. Dock visar TPM-halterna vid Pallas en ökande trend, medan koncentrationerna fram till 2018 tydligt minskade vid Råö. Vad ökningen under 2019 vid Råö beror på är inte utrett, men kan ha berott på problem med instrumenteringen.



Figur 5-2 Årsmedelvärden av totalt gasformigt kvicksilver (TGM) och totalt partikulärt kvicksilver (TPM) mätt vid Vavihill/Hallahus, Råö, Bredkålen och Pallas från 1995 till 2019. Röda cirklar: under 2018 på Råö mättes gasformigt elementärt kvicksilver (GEM) och TPM från april till december med automatisk metod (Tekran 2537+1130/35).

Instrumenteringen för mätning av GEM, GOM och TPM vid Råö med automatisk metod bestod av ett Tekran 2537B instrument, som med en atomfluorescensdetektor kan mäta GEM-värden med en upplösning på 5 min. Ihopkopplat med ett kvicksilverspecieringssystem (Tekran 1130/35) mäts GOM och TPM med en upplösning på 4 h. Mätningarna vid Råö under 2018 presenteras i Figur 5-8, där mätningarna januari till mars utgjordes av den annars använda manuella metoden. Under april mäts TPM med manuell och automatisk metod parallellt, vilket generellt visade 2-6 gånger högre värden uppmätt med manuell metod jämfört med den automatiska. Orsaken för detta är under utredning, men beror troligtvis på problem med den manuella instrumenteringen. Saknade mätdata i Figur 5-8 beror på problem med instrumenteringen.



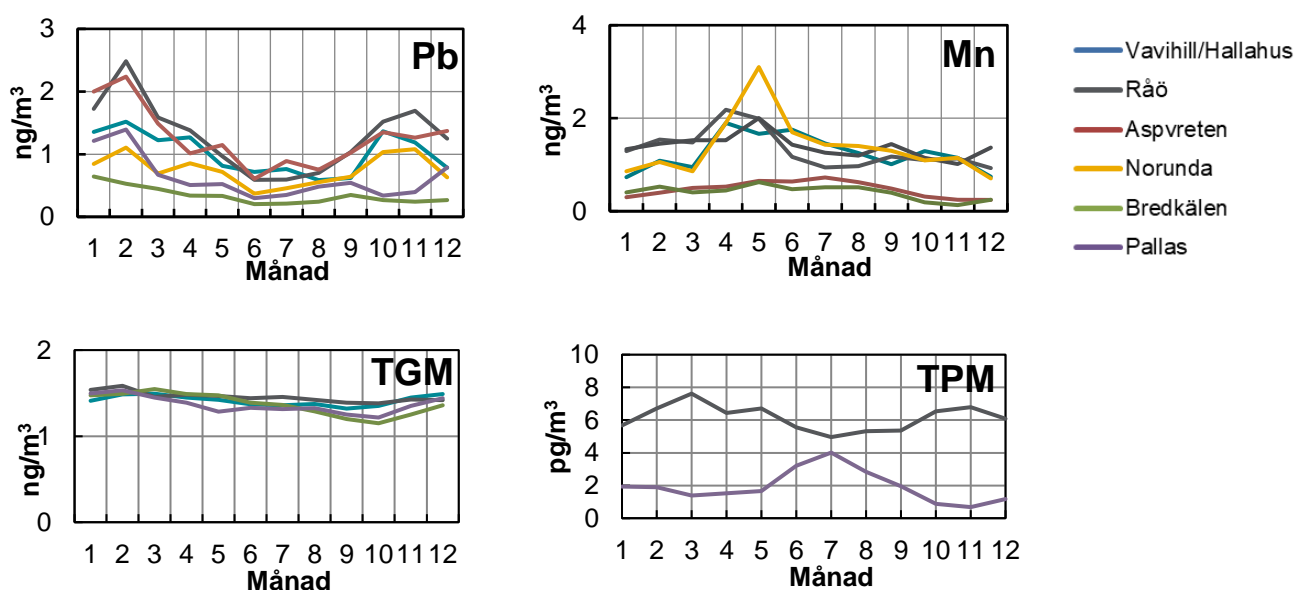
Figur 5-3 Kvicksilverkoncentrationer (TGM och TPM) i luft på Råö under 2018 mätt januari till april med manuell metod och från april till december med automatisk metod (GEM, TPM och GOM) med Tekran 2537 + 1130/35 instrument.

5.1.1.2. Säsongsvariationer

Månadsmedelvärden för Pb, Mn, TGM och TPM från 2009 till 2019 presenteras i Figur 5-4. Data för TGM och TPM vid Råö under 2018 har uteslutits på grund av metodskillnad. Årsvariationerna för Pb, Cd och Zn uppvisar liknande mönster på alla stationer (även för As vid Råö), med lägre halter på sommaren och högre på vintern, se exempel för Pb i Figur 5-4. Detta beror troligtvis på ökad förbränning av fossila bränslen med anledning av ökat värmebehov. Mn, Co, Ni och V uppvisar likartade säsongsvariationer med högre halter på våren (månad 2–5), se exempel för Mn i Figur 5-4. Cu och Cr påvisar ingen tydlig säsongsvariation vid någon av stationerna.

TGM (Figur 5-4) visar en genomgående säsongsvariation på samtliga fyra mätstationer, med högre halter under vinterhalvåret. Ökade utsläpp på grund av kolförbränning i norra hemisfären, i kombination med lägre atmosfärisk blandningshöjd under vinterhalvåret, är en trolig förklaring. Den lägre halten av TGM under sommarhalvåret föreslogs av Jiskra et al. (2018) bero på upptag av kvicksilver i luft till växtlighet.

Årsvariationen av bildandet av TPM visar motsatta trender vid Råö jämfört med vid Pallas. Råö, som ligger närmare europeiska utsläppskällor, är troligtvis mer influerat av långväga luftburen transport från antropogena källor, medan Pallas mer påverkas av lokal naturlig oxidation och bildning av TPM (Wängberg et al., 2016).



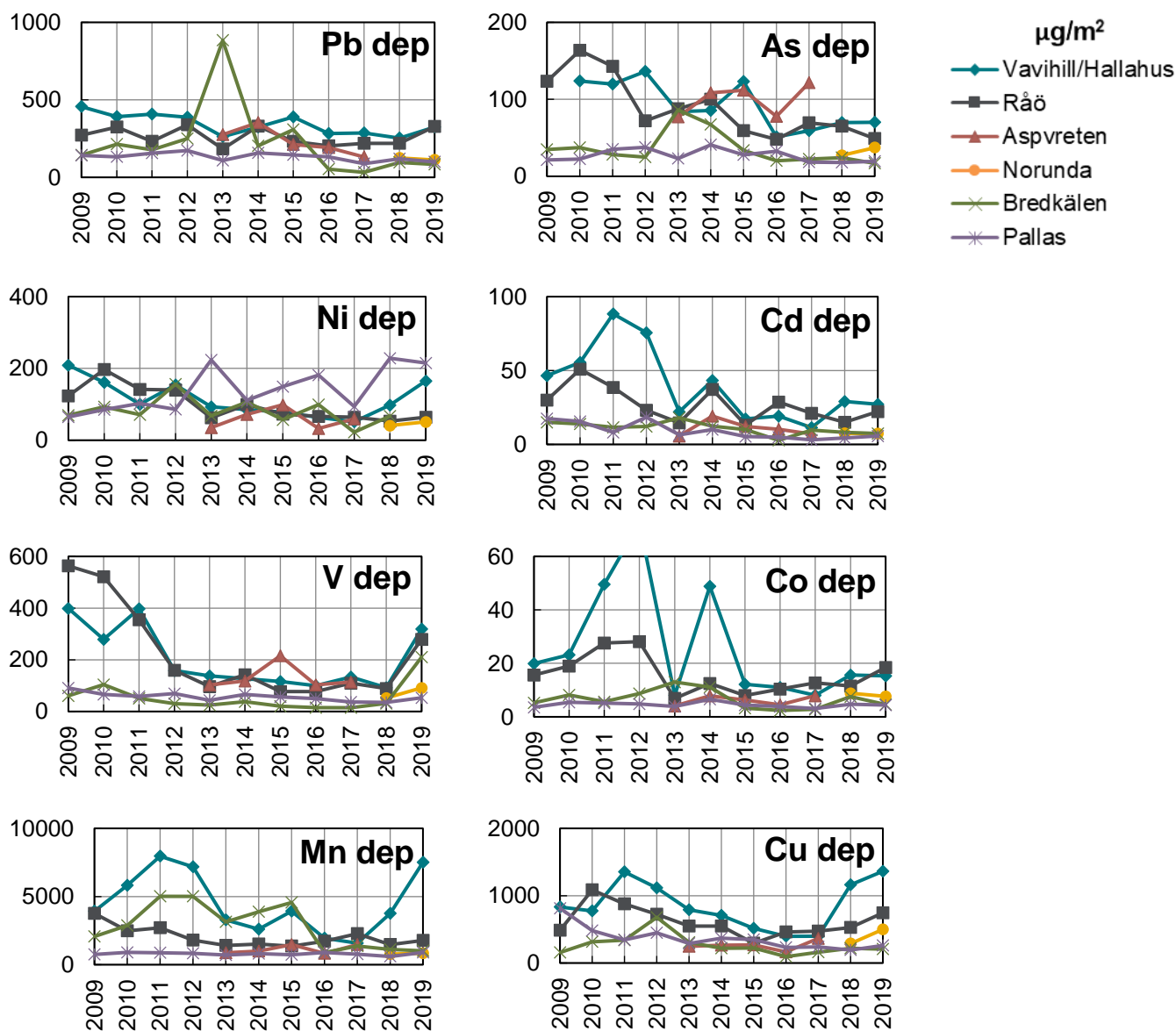
Figur 5-4 Månadsmedelvärden vid de fem mätstationerna räknat på data från 2009–2019 av bly (Pb), mangan (Mn), totalt gasformigt kvicksilver (TGM) och totalt partikulärt kvicksilver (TPM) i luft (TGM och TPM för 2018 på Råö är ej inkluderade p.g.a. metodskillnad).

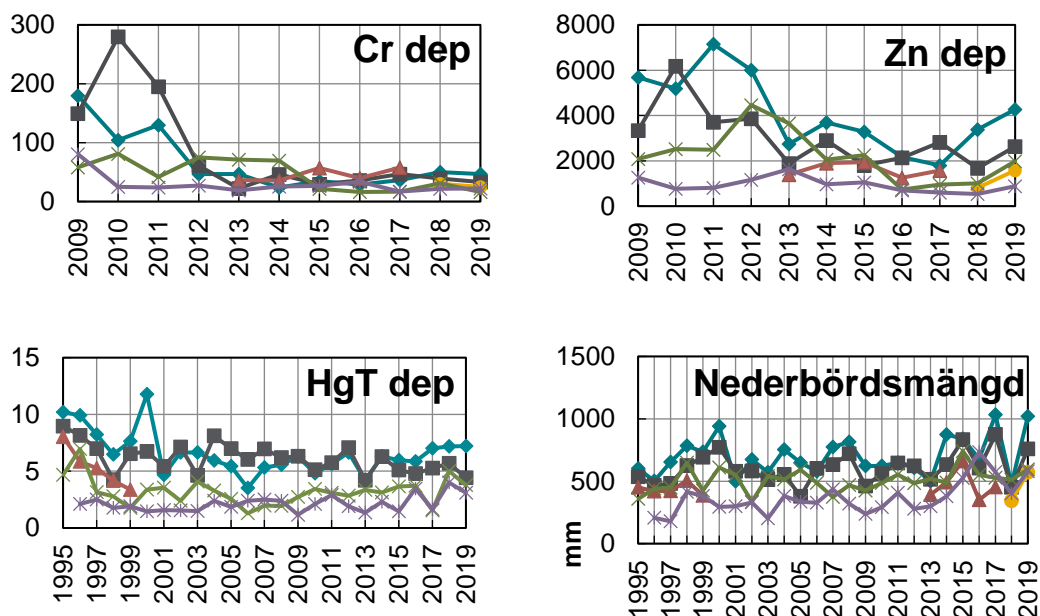
5.1.2. Deposition - metaller

5.1.2.1. Årsmedelvärden

I Figur 5-5 presenteras årsmedelvärden av nederbördsmängd och deposition av de 11 metallerna, uppmätt med bulkprovtagning. Depositionen av metaller visar generellt en geografisk trend med högre deposition i söder än i norr. Trots lägre lufthalter har Vavihill/Hallahus förhållandevis högre deposition av flertalet metaller (Pb, Zn, Cd, Co, Mn och Cu) än de övriga stationerna.

Mätningarna för de senaste två åren (2018 – 2019) visar en ökning av deposition för flera metaller, främst för Pb, V, Mn och Cu, med högre värden 2019. Dessa ökningarna i deposition sammanfaller inte direkt med lufthalterna av samma metaller, som uppmättes i högre halter under 2018. Vad denna förskjutning beror på är inte utrett. På grund av de höga uppmätta depositionerna av metaller under 2019 kan inga trender urskönjas för 10-årsperioden 2009 – 2019.



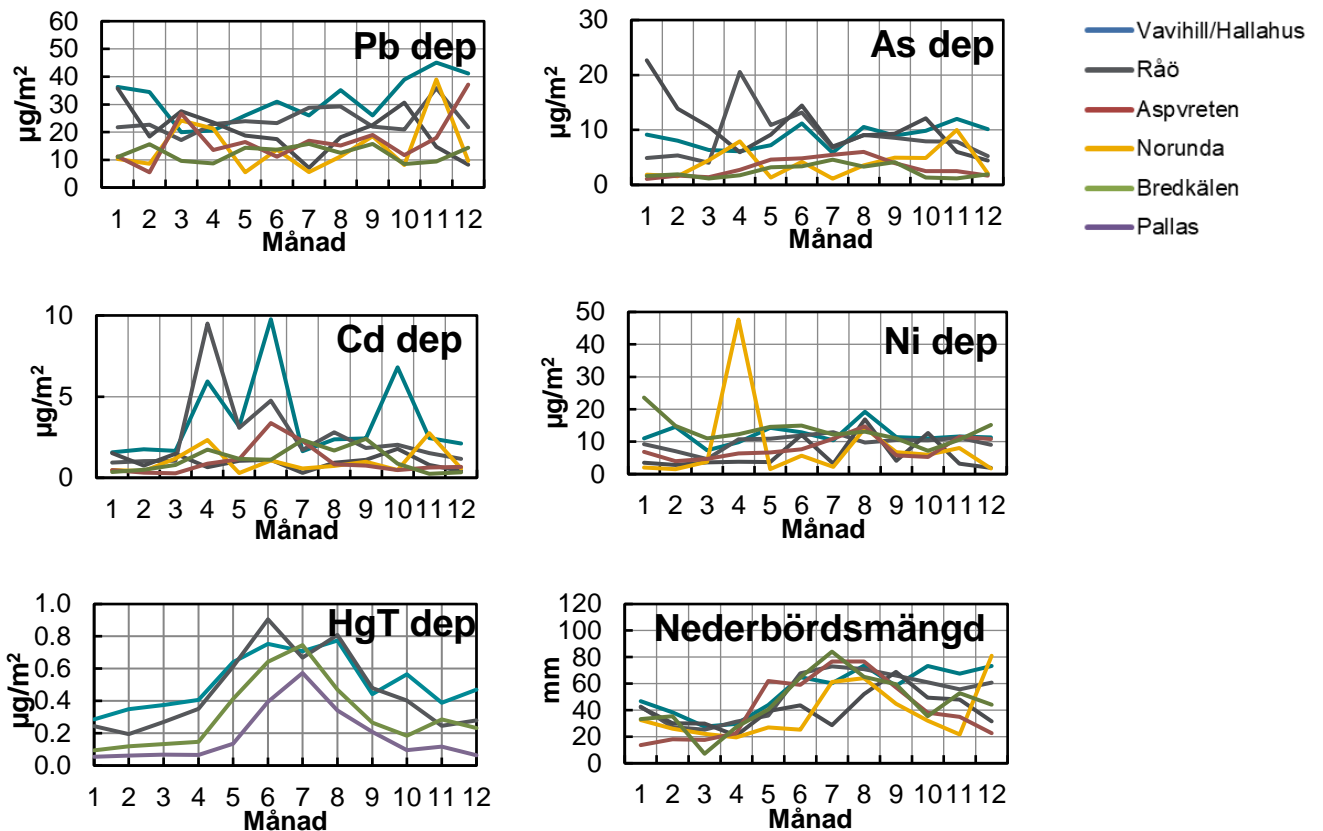


Figur 5-5 Årsmedelvärden av de 11 metallerna i depositionsprover och total nederbördsmängd från 1995 till 2019 vid stationerna Vavihill/Hallahus, Råö, Aspvreten (t.o.m. 2017), Norunda (fr.o.m. 2018), Breckålen och Pallas.

5.1.2.2. Säsongsvariationer

Månadsmedeldepositionen, räknat på data från 2009 till 2019, presenteras i Figur 5-6, för nederbördsmängd, för Pb, As, Cd och Ni (reglerade i Luftkvalitetsförordningen (SFS 2010:477)) och för HgT.

Nederbördsmängden varierade säsongsmässigt liknande på alla stationer. Ingen tydlig säsongsvariation observerades för någon av metalldepositionerna. Vid Råö uppmättes högre halter av As, Cd, Cu, Zn och Co under månad 4. Orsaken till detta är okänt. HgT visade generellt två till fyra gånger högre deposition på sommaren jämfört med vintern. Detta mönster följer väl säsongsvariationen av bildandet av TPM i luft uppmätt vid Pallas (Figur 5-6), vilket kan antas bero på naturlig oxidation. Trots att TPM-halterna i luft, uppmätt vid Råö, följer säsongsvariationen av antropogena utsläpp, verkar depositionen av Hg vid Råö vara mer influerat av säsongsberoende naturlig oxidation, vilken tidigare visats vara större på sommaren (Wängberg et al., 2016).



Figur 5-6 Månadsmedelvärden av bly (Pb), arsenik (As), kadmium (Cd), nickel (Ni), totalt kvicksilver (HgT) i depositionsprover och nederbördsmängd från 2009 till 2019 vid stationerna Vavihill/Hallahus, Råö, Aspvreten (t.o.m. 2017), Norunda (fr.o.m. 2018), Bredkålen och Pallas.

5.1.3. Källutvärdering

En undersökning av möjliga utsläppskällor visar att mätstationen Vavihill/Hallahus har några närliggande möjliga källor (metallverk i Landskrona (ca 30 km bort), järn/stålverk i Höganäs (ca 40 km bort), järnverk i Halmstad (ca 70 km bort)). Stationen Aspvreten ligger ca 20 km från ett stålverk i Oxelösund. Sydväst om stationen, 80 respektive 90 km bort, ligger två metallverk i Finspång och Gusum. Den nya stationen Norunda, som ersatt Aspvreten fr.o.m. 2018, är belägen norr om Uppsala med ett 30-tal registrerade stålverk/järnbruk i Uppland. Osäkert om vilka som är aktiva och kan vara potentiella källor. Den närmsta potentiella emissionskälla till Råö-stationen är ett ferrolegeringsverk placerat i Vargön, ca 100 km bort. Den observerade ökningen av metallhalter i luft under 2018 på dessa stationer kan därför inte förklaras vara på grund av ökade utsläpp från gemensamma närbelägna källor, eller andra faktorer såsom stationsbyte, utan beror troligen på långväga lufttransport från gemensamma avlägsna utländska källor.

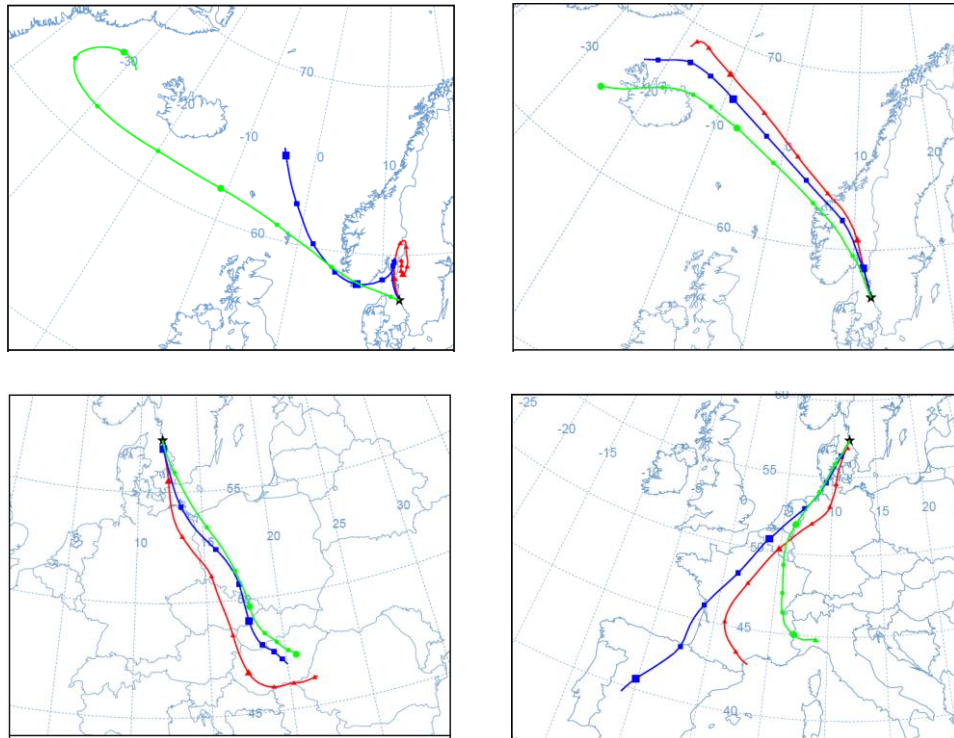
Närmast den nordligaste stationen Pallas ligger en gruvdrift i Kittilä (73 km söderut), där guld utvinns. Guld och andra basmetaller utvinns även i Sodankylä, ca 160 km sydöst. Trots att Pallas är den nordligaste och mest avlägsna mätstationen uppmäts oftast lägst halter vid den sydligare stationen Bredkålen. Bredkålen ligger långt från aktiva gruvor och metallverk. Närmast stora utsläppskälla är Boliden Mineral AB i Kristineberg, ca 200 km norrut, och kopparsmältverket i Rönnskär (ca 300 km nordöst), som näst efter Falu Gruva är Sveriges genom tiderna största föroreningskälla med avseende på metaller. Detta visar att det kan finnas en viss koppling mellan uppmätta luftkoncentrationer och avstånd till direkta utsläppskällor.

En korrelationsanalys (IBM SPSS Statistics), utförd av IVL på data fram till 2015, indikerar en möjlig koppling mellan de flesta metallhalterna vid Vavihill, vilket i sin tur kan indikera gemensamma utsläppskällor. Även på Råö förekom korrelationer mellan de flesta metallhalter, förutom för Cr. Detta kan bero på att många Cr-värden 2009–2012 var under detektionsgränsen (ej presenterade i Figur 5-1). Vid Aspvreten påträffades störst samvariation mellan Pb, Cd och Zn, men också mellan Co, Ni, Mn och V. En gemensam nämnare för dessa metaller är utsläpp vid förbränning av olja. Vid Bredkälen och Pallas var samvariationerna störst mellan Pb, Zn och V. Detta kan bero på gemensamma källor.

En uppskattning via modellering (för år 2010) visade att mer än 85 procent av den totala depositionen av Pb, Cd och Hg i Sverige berodde på långväga transport via luft från Europa (EMEP, 2012). Sedan dess har det rapporterats att halterna av metaller i luft minskat i Europa sedan åtgärder för minskade utsläpp införts i och med introduktionen av Protokoll för tungmetaller och andra miljöpolicyer (EMEP Status Report 2/2018). Närheten till källor i östra Europa och transport från länder utanför Europa kan därför vara en trolig orsak till den höga depositionen av bland annat Pb, Cd och Hg uppmätt vid Vavihill/Hallahus under 2018/2019.

Den tidsmässigt högupplösta automatiska metoden för att mäta kvicksilverspecier i luft gör det möjligt att följa snabba förändringar av Hg-halter i luft, vilket i sin tur gör det möjligt att spårsöka emissionskällor.

Under mitten på oktober 2018 uppmättes förhöjda halter av GEM och TPM på Råö. Tiden för ökningen av Hg-halter i luft undersöktes med hjälp av vindtrajektorier (NOAA HYSPLIT, <https://ready.arl.noaa.gov>) för att göra en spårsökning av förorenade luftmassor (se Wängberg et al., 2016). Undersökningen visade att under denna period hade luftmassor passerat södra Europa och troligtvis fört med sig förorenade halter till Råö, vilket kan påvisas av främst de förhöjda halterna av TPM. Dessa förhållanden har tidigare visats stämma för Råö under 2012 – 2013, då samma utrustning var i bruk vid Råö (Wängberg et al., 2016). Vindtrajektorierna innan, under och efter episoden av förhöjda halter visas i Figur 5-7.



Figur 5-7 Vindtrajektorier (bakåt) från Råö, anländande innan (övre t.v. 2018-10-03), under (undre t.v. 2018-10-12 och undre t.h. 2018-10-13) och efter episoden med förhöjda halter av GEM och TPM vid Råö (övre t.h. 2018-10-24).

5.1.4. Mossa – metaller

Tabell 5-3 Metaller i mossa

Parametrar	Arsenik (As), bly (Pb), järn (Fe), kadmium (Cd), koppar (Cu), krom (Cr), kvicksilver (Hg), nickel (Ni), vanadin (V), zink (Zn), aluminium (Al), kobolt (Co), mangan (Mn) och molybden (Mo).
Stationer	611 provplatser fördelade över hela Sverige (provtagningen 2015).
Mätfrekvens	Vart 5:e år
Kravställare	-
Lagringsplats	Datavårdskapet för luftkvalitet, www.smhi.se/datavardluft
Utförare	IVL Svenska Miljöinstitutet
Om delprogrammet på Naturvårdsverkets webbplats	www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Miljoovervakning/Miljoovervakning/Programomrade-Luft/Delprogram---Metaller-i-mossa/
Mer information	De nationella miljökvalitetsmål som främst berörs är <i>Giftfri miljö</i> samt <i>Frisk luft</i> . Resultaten redovisas till ICP Vegetation inom Luftvårdskonventionen (CLRTAP).

5.1.4.1. Bakgrund och syfte med undersökningen

Redan under slutet av 1960-talet utvecklades i Sverige en ny och enkel metod att mäta belastningen av tungmetaller i miljön. Metoden är baserad på användning av mattbildande mossor som indikatorer för tungmetaller beroende på denna växtgrupps speciella egenskap att nästan uteslutande få sin näring från atmosfären (Rühling & Tyler, 1968; Tyler, 1971). De täta mattor som väggmossa (*Pleurozium schreberi*), husmossa (*Hylocomium splendens*) och andra mattbildande mossor bildar visade sig vara effektiva "fällor" för metaller i luftburna partiklar och i nederbörd.

Undersökningar baserade på metoden har i Sverige utförts vart femte år sedan 1975, och sedan 1990 har motsvarande studier genomförts i många andra europeiska länder, också med fem års intervall. Det europeiska arbetet bedrivs inom ICP Vegetation enligt konventionen om långväga gränsöverskridande luftföroreningar (CLRTAP).

Metoden med att använda mattbildande mossor som bioindikator för metaller ger en god bild av trender för nedfallet över Sverige och över andra länder. Lokala skillnader kan också spåras och ge information om såväl lokala utsläppskällor som långväga transporterade utsläpp. Mätningar av metaller i mossor används i många länder i Europa för att följa upp nationella miljömål och metallprotokollet till CLRTAP om minskade utsläpp av metaller.

Syftet med metallmätningarna i mossor är bl.a. att:

- följa upp och utvärdera tillståndet i miljön av tungmetaller över Sverige;
- kvalitativt och kvantitativt karakterisera det regionala bakgrundsnedfallet av metaller;
- påvisa mer betydande föroreningskällor och den geografiska utsträckningen av de påverkade områdena;
- följa upp tidigare nedfallsmätningar och följa förändringar över tiden genom trendberäkningar;
- presentera mätningarna på ett lättillgängligt sätt i form av illustrativa kartor;
- följa upp resultatet av emissionsbegränsande åtgärder;
- delta i och rapportera till det europeiska samarbetet inom Luftkonventionen (ICP Vegetation).

Inom ramen för den nationella miljöövervakningen, Programområde Luft, vid Naturvårdsverket utför IVL Svenska Miljöinstitutet under 2020 - 2021 analyser av koncentrationer av metaller i mossor som insamlats över hela Sverige under 2020. Resultaten för den nu pågående undersökningen redovisas under 2021.

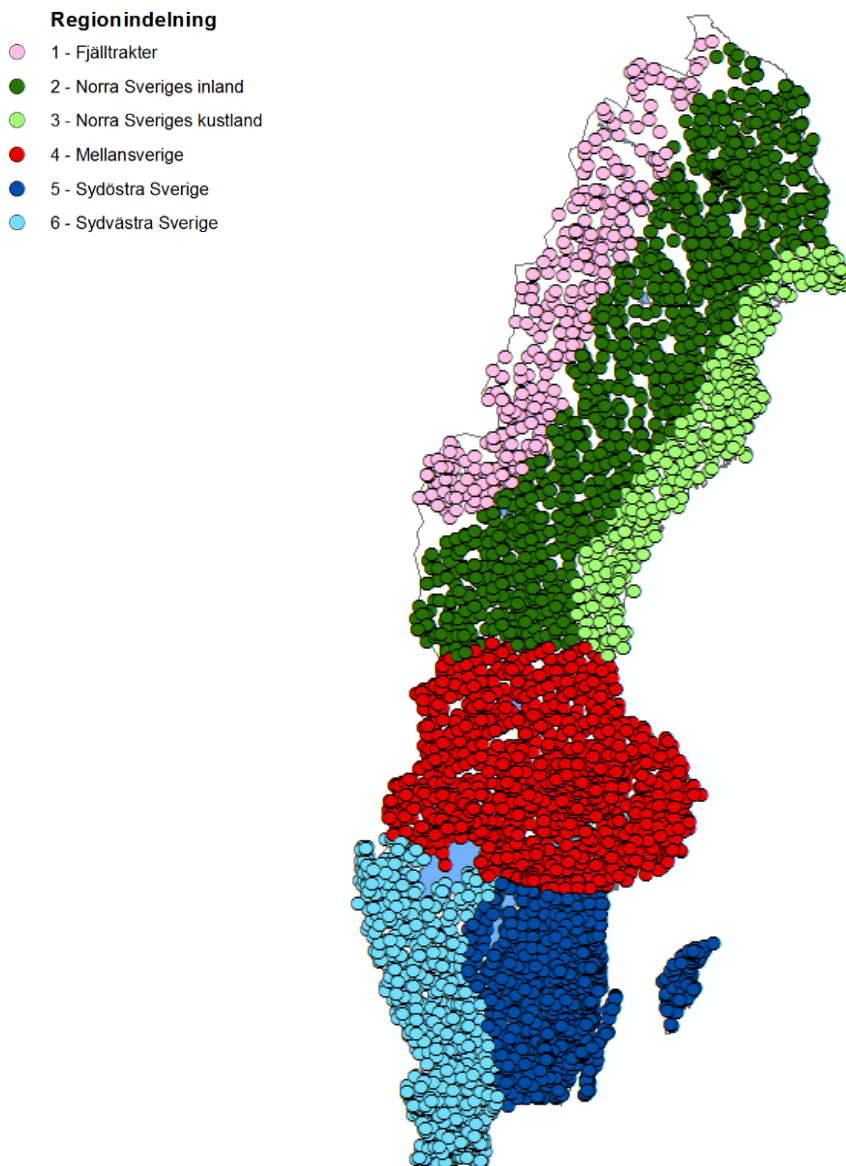
5.1.4.2. Provpunkter och regionindelning

Deposition i Sverige av lufttransporterade ämnen påverkas till stor del av intransport från andra länder. För den statistiska analysen av metallinnehållet i mossproverna har därför Sverige indelats i sex olika regioner som förväntas representera olika depositionsbelastning (Figur 5-8). Indelningen baseras på Kindbom m.fl. (2001).

Antalet prover som helhet samt per region har varierat genom åren (Tabell 5-4).

Tabell 5-4 Tabell över antal mossprover per region och år. OBS, antalet årliga prover kan variera mellan metaller för tidiga år.

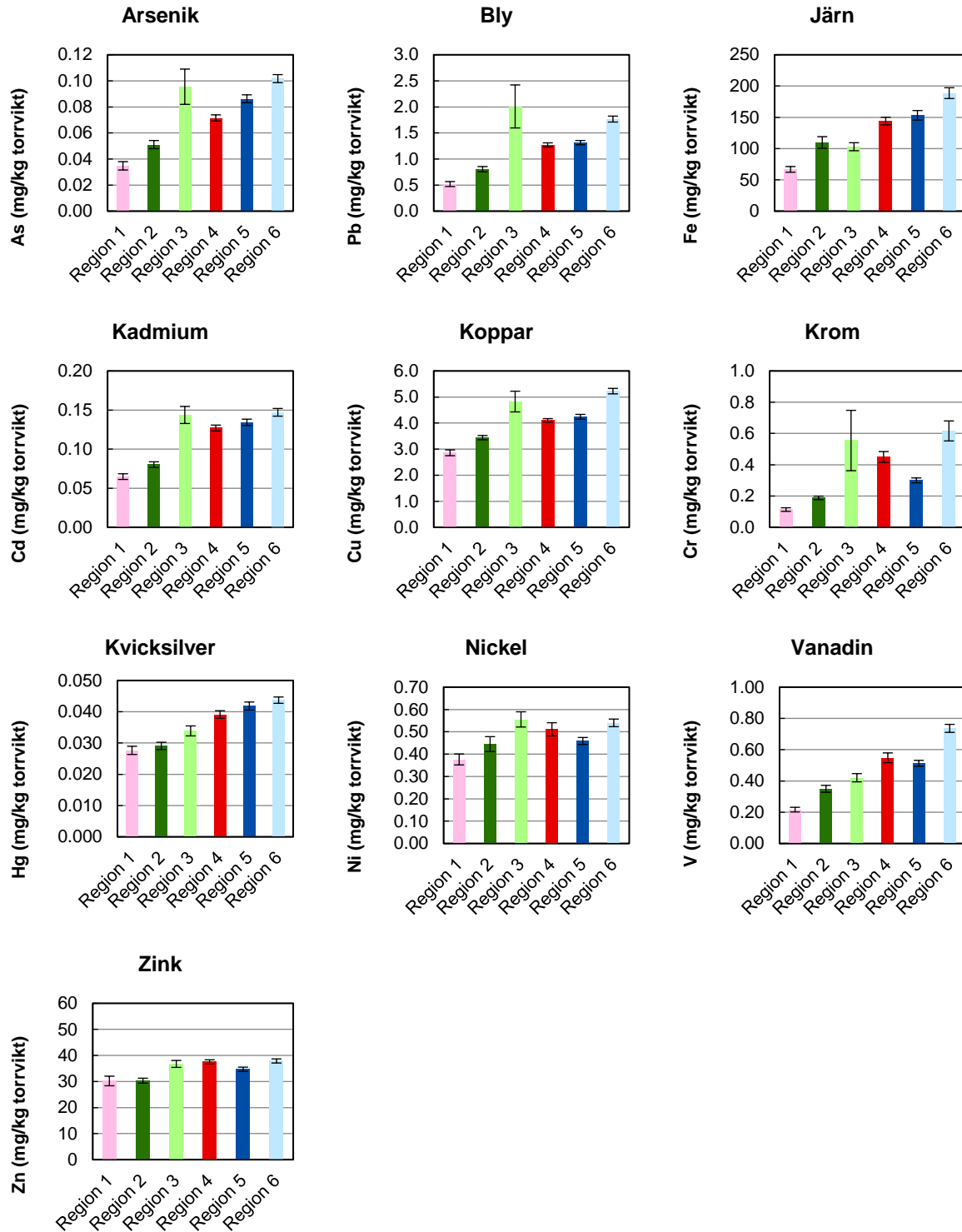
Region	1975	1980	1985	1990	1995	2000	2005	2010	2015
1 Fjälltrakter	42	84	90	76	31	22	25	41	31
2 Norra Sveriges inland	180	215	194	172	175	103	122	136	162
3 Norra Sveriges kustland	76	72	86	70	61	33	51	60	55
4 Mellansverige	180	223	213	186	187	98	135	153	153
5 Sydöstra Sverige	93	105	119	104	114	61	81	103	99
6 Sydvästra Sverige	89	117	135	105	139	79	116	109	111
Hela Sverige	660	816	837	713	707	396	530	602	611



Figur 5-8 Regionindelning (baserad på samtliga insamlade mossprover 1975 - 2015).

5.1.4.3. Sammanfattade resultat från undersökningen 2015

En generell syd- nordlig gradient kan ses för de flesta av de analyserade metallerna, med de högsta koncentrationerna i södra och sydvästra Sverige (Region 6) (se Figur 5-9). Koncentrationen av arsenik, bly, kadmium, koppar, krom, kvicksilver, zink och kobolt var lägre i prover från fjälltrakterna (Region 1) och från norra Sveriges inland (Region 2) jämfört med norra Sveriges kustland (Region 3) och övriga delar av landet. Lokalt förhöjda metallkoncentrationer, på grund av emissioner från lokala utsläppskällor, bryter dock ibland detta generella mönster. Exempel på detta är något förhöjda koncentrationer av arsenik, bly, kadmium och koppar i Västerbottens läns kusttrakter, förhöjd koncentration av krom i Norrbottens läns kusttrakter nära Finland samt något förhöjda koncentrationer av järn och vanadin i malmfälten i Norrbottens län.



Figur 5-9 Medelkoncentrationer av arsenik, bly, järn, kadmium, koppar, krom, kvicksilver, nickel, vanadin och zink i mossprover från 2015 (mg/kg torrvt).

5.1.4.4. Jämförelse mot år innan 2015 samt resultat från trendanalyser

För järn, zink och molybden fanns ingen signifikant förändring av medelkoncentrationen i mossor för Sverige som helhet vid 2015 års undersökning jämfört med 2010.

För bly, kadmium, kvicksilver, nickel, vanadin, aluminium och kobolt visade variansanalys att medelkoncentrationen i mossor för hela Sverige var lägre 2015 jämfört med 2010.

För arsenik, koppar och krom visade variansanalys att medelkoncentrationen i mossor för hela Sverige 2015 var högre jämfört med 2010.

Att arsenikkoncentrationerna tycks öka kan dock bero på att rapporteringsgränsen för arsenik var betydligt högre 2010 (0,08 mg/kg) jämfört med 2015 (0,015 mg/kg). Av totalt analyserade mossprover 2010 var koncentrationerna under rapporteringsgräns i över 90 % av mossproverna. Detta innebär att för 2010 hade över 90 % av mossproverna ansatta koncentrationer på 0,04 mg/kg. I undersökningen 2015 hade endast ungefär 20 % av mossproverna en verklig koncentration av arsenik under 0,04 mg/kg. Därför kan det förefalla som att koncentrationerna av arsenik i insamlade mossprover har stigit från 2010 till 2015.

De metaller som ingick i trendanalyserna var arsenik, bly, järn, kadmium, koppar, krom, nickel, vanadin och zink. De tidsperioder som studerats var 1975 - 2015, 1990-2015 samt 2000-2015. För arsenik och järn skilde sig studerade tidsperioder från ovan nämnda, eftersom dessa metaller inte analyserats vid samtliga provtagningstillfällen. Ingen trendanalys gjordes för kvicksilver då proverna troligen inte för samtliga år torkats i rumstemperatur.

Mellan 1975 och 2015 har metallkoncentrationen i mossor i Sverige minskat signifikant för samtliga metaller som ingått i trendanalysen. Den största minskningen har noterats för bly följt av vanadin, krom, nickel, arsenik, kadmium, koppar och zink. Den enda metall för vilken ingen signifikant minskning kunde ses för den senaste 40-årsperioden var krom i mossprover insamlade i norra Sveriges kustland. För samtliga övriga regionala områden och för alla övriga metaller fanns en statistiskt signifikant minskning under tidsperioden.

Koncentrationer av järn i mossor analyserades för första gången 1985. Under de senaste 30 åren har koncentrationen av järn i mossor minskat för Sverige som helhet och för samtliga enskilda regionala områden.

För Sverige som helhet har metallkoncentrationen i mossor inte minskat i samma utsträckning under den senaste 25-årsperioden (1990 - 2015) som för perioden 1975 - 2015. Endast bly, kadmium, nickel och vanadin visade på en statistiskt signifikant minskning som medelvärde för Sverige som helhet under perioden 1990 - 2015. För övriga metaller fanns det i några fall statistiskt signifikant minskande metallkoncentrationer för vissa regioner. Koncentrationen av järn i norra Sveriges kustland, koncentrationen av arsenik i fjälltrakterna samt koncentrationen av krom i fjälltrakterna och norra Sveriges inland har minskat sedan 1990. För alla övriga metaller i de olika regionerna fanns ingen statistisk signifikant minskning mellan 1990 och 2015.

Under de senaste 15 åren (2000 - 2015) har det inte skett någon statistiskt signifikant förändring avseende koncentrationen i mossor för någon av de undersökta metallerna i någon region eller för Sverige som helhet.

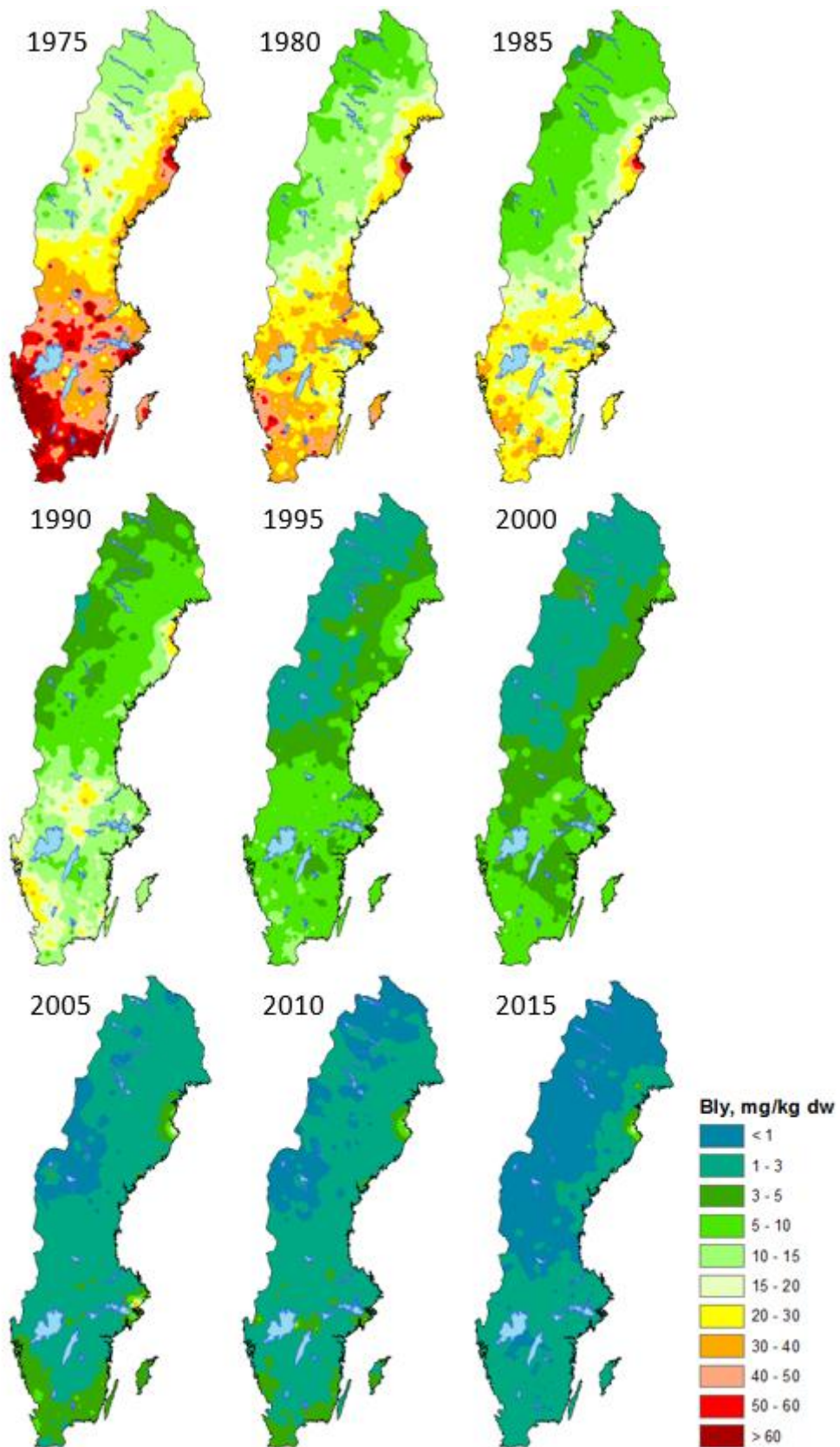
Exempel på minskade halter av metaller i mossa 1975 - 2015

Nedan visas tre exempel på hur koncentrationen av metaller i mossa har förändrats mellan 1975 och 2015. Kartorna visar en tydlig och glädjande trend att belastningen av metaller har minskat över tid.

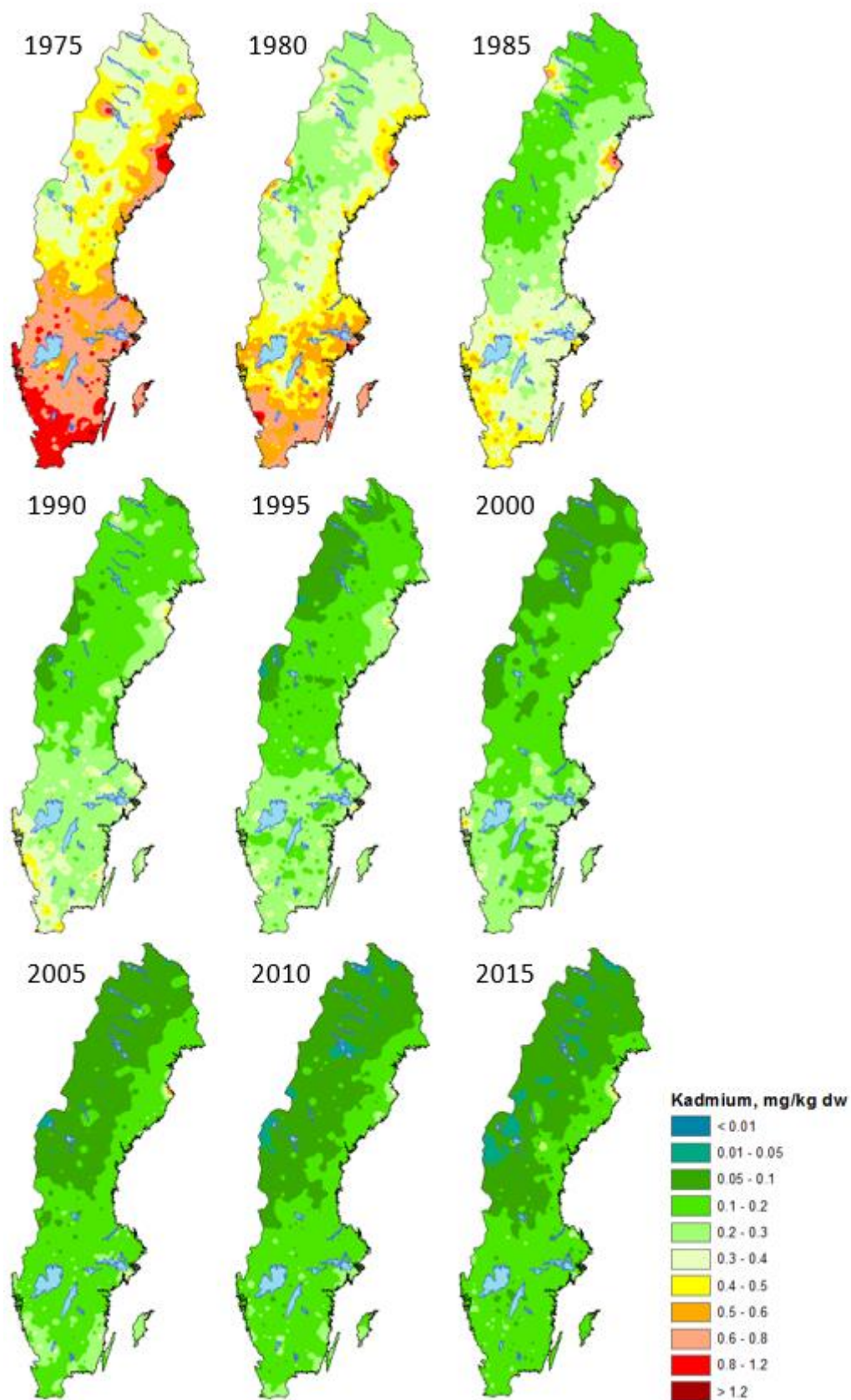
Figur 5-10 visar koncentration av bly i mossa mellan 1975 och 2015. I figuren syns tydligt den kraftiga minskning som kontinuerligt skett sedan 1975, då de nationella mätningarna startade. Blytillsats i bensin förbjöds i mitten av 1990-talet, vilket är en förklaring till att minskningen varit så stor.

Figur 5-11 visar koncentration av kadmium i mossa mellan 1975 och 2015. I figuren syns tydligt den kraftiga minskning som kontinuerligt skett sedan 1975, då de nationella mätningarna startade. Minskningen som kan ses beror främst på bättre reningsutrustning hos metallsmältverk och stålverk, men också på att det i Sverige i mitten av 1990-talet infördes en skatt på kadmium i konstgödsel. Denna skatt avskaffades dock 1 januari 2010.

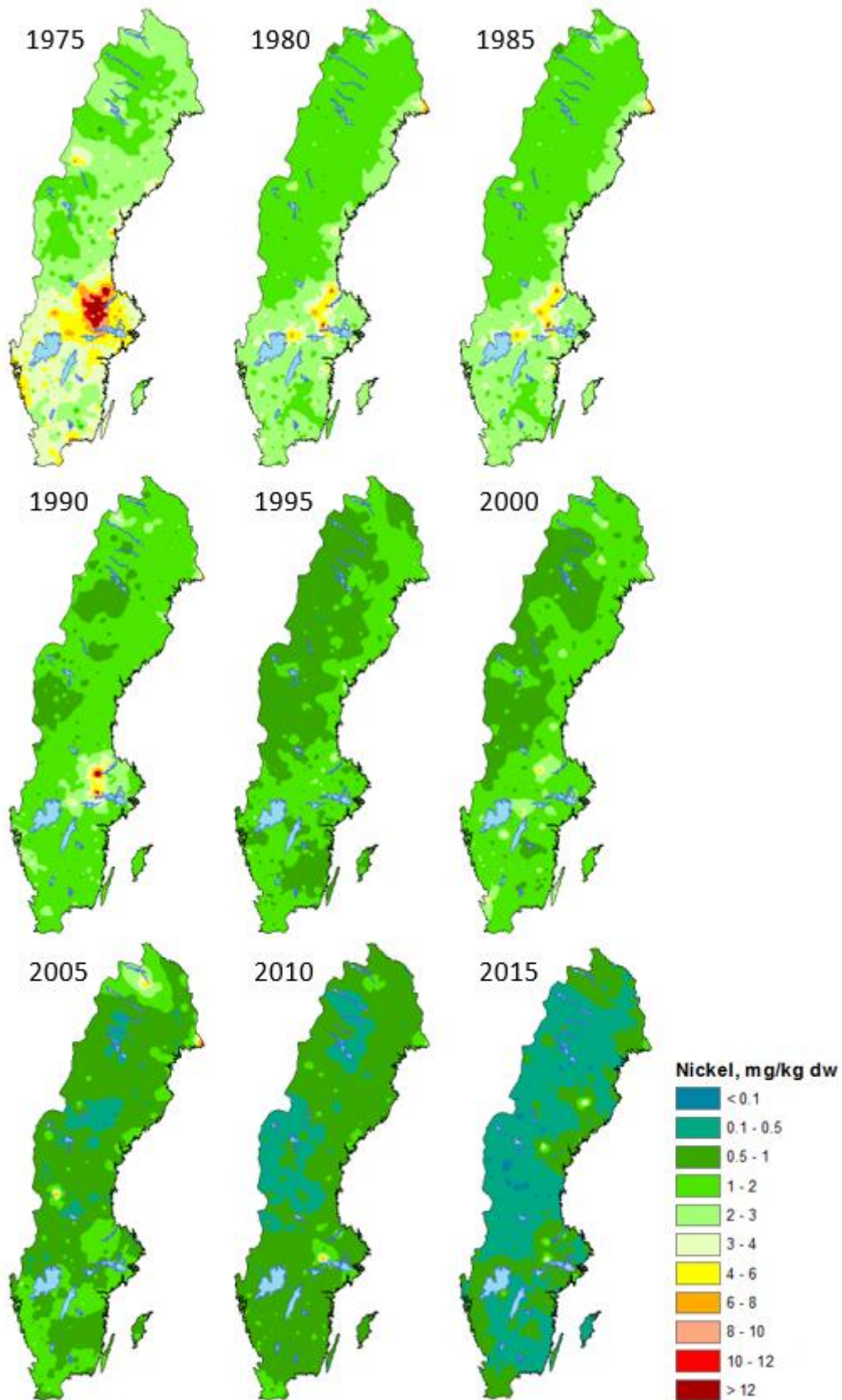
Figur 5-12 visar koncentration av nickel i mossa mellan 1975 och 2015. I figuren syns tydligt den kontinuerliga minskning som skett sedan 1975, då de nationella mätningarna startade. Under 2015 var 63 % av proverna under 0,5 mg/kg torrsvikt. Motsvarande uppgift för 2010 och 2005 var 21 % respektive 17 %. Norra Sveriges inland har generellt den lägsta belastningen samtliga år.



Figur 5-10 Koncentration (mg/kg torrsvikt) av bly i mossa, 1975 - 2015.



Figur 5-11 Koncentration (mg/kg torrsvikt) av kadmium i mossa, 1975 - 2015.



Figur 5-12 Koncentration (mg/kg torrsvikt) av nickel i mossa, 1975-2015.

6. Organiska miljögifter i luft och nederbörd

Tabell 6-1 Organiska miljögifter i luft och nederbörd.

Parametrar	Polycykliska aromatiska kolväten (PAH), Polyklorerade bifenyler (PCB), Hexaklorbensen (HCB), Hexaklorocyklohexaner, (HCH), Klordaner, DDTer, Endosulfaner, Aldrin, Heptaklor, Dieldrin, flamskyddsmedel, Per- och polyflourerade ämnen (PFAS), Polyklorerade dibensodioxiner och furaner (PCDD/PCDF), Klorparaffiner (SCCP och MCCP)
Stationer	Hallahus (tidigare Vavihill), Råö (tidigare Rörvik), Norunda (tidigare Aspvreten), Pallas (Finland)
Mätfrekvens	Veckoprover, slås ihop till månadsprover
Kravställare	Miljö kvalitetsmålen "Giftfri miljö" och "Frisk luft", EG-direktiv för luftkvalitet (2004/107/EG), EMEP/AMAP, Stockholmskonventionen
Lagringsplats	Datavårdskapet för luftkvalitet, www.smhi.se/datavardluft
Utförare	IVL Svenska Miljöinstitutet
Om delprogrammet på Naturvårdsverkets webbplats	www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Miljoovervakning/Miljoovervakning/Programomrade-Luft/Delprogram---Organiska-miljogifter/
Mer information	

Mätningar inom delprogrammet Organiska miljögifter bedrivs vid fyra stationer: Hallahus (tidigare Vavihill), Råö (tidigare Rörvik), Norunda (tidigare Aspvreten) och Pallas (finska Lappland). Mätningarna inom ramen för den nationella miljöövervakningen på Råö och Aspvreten startades 1994. Mätningarna vid Pallas i norra Finland startade 1996 och genomförs i samarbete med Finska Meteorologiska Institutet (FMI). Fram till 2008 genomfördes mätningarna av organiska ämnen i luft och deposition vid Aspvreten av Stockholm Universitet (SU). År 2008 tog IVL över ansvaret för provtagning och analys. Mätningar av PAH vid Vavihill inkluderades i delprogrammet år 2009. Mätningarna vid Aspvreten avslutades 2017 och från januari 2018 genomförs samma mätprogram vid Norunda.

2001 respektive 2003 inkluderades mätningar av polybromerade difenyletrar (PBDE) vid Råö och Pallas. Från 2009 utökades delprogrammet med ännu flera ämnen och ämnesgrupper, som dioxiner och furaner, klorparaffiner, per- och polyflourerade ämnen samt vissa pesticider. Från juli 2017 tillkom ett antal nya främst bromerade flamskyddsmedel, dieldrin och flera per- och polyflourerade ämnen. Mer information om ämnesgrupperna ges i Bilaga 2. I figurerna nedan presenteras resultat från mätningar utförda mellan 1996 och 2019. Fram till 2001 (Råö) och 2008 (Aspvreten och Pallas) genomfördes mätningarna med en frekvens på 1 vecka per månad för att därefter övergå till kontinuerliga månatliga mätningar.

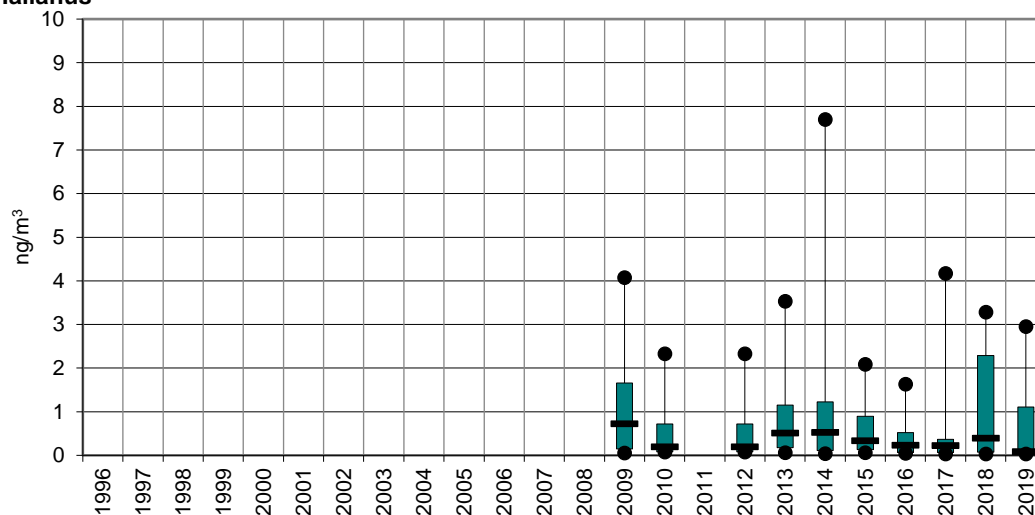
6.1. Resultat Organiska miljögifter

6.1.1. Organiska miljögifter i luft och deposition

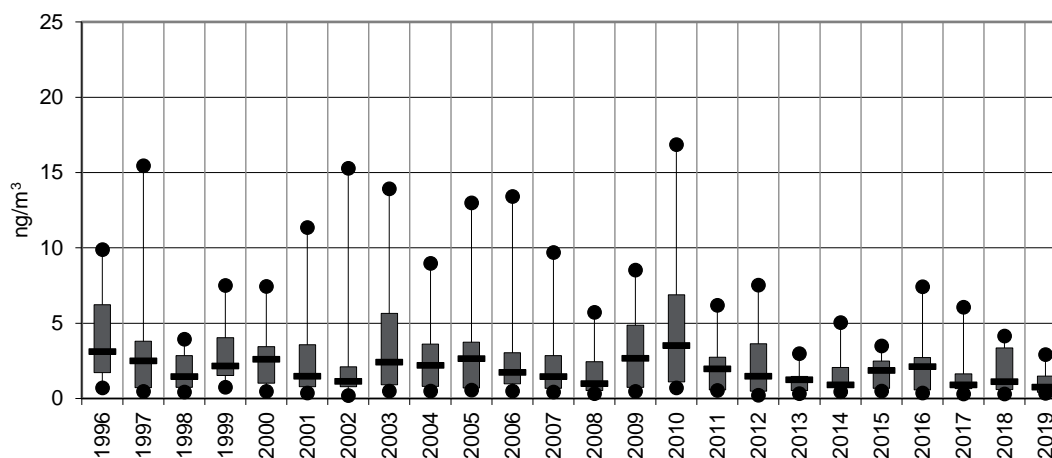
6.1.1.1. Polycykliska Aromatiska Kolväten (PAH)

Årsmedelhalterna av summa (12) PAH (se Bilaga 2) i luft vid Hallahus, Råö, Aspvreten, Norunda och Pallas för åren 1996 till 2019 visas i Figur 6-1. Årsmedelhalten av summa (12) PAH (2009 - 2019) vid Hallahus låg mellan 0,42-1,2 ng/m³. Årsmedelhalterna varierade mellan 1,1-6,1 ng/m³ vid Råö, 1,2-5,2 ng/m³ vid Aspvreten, 1,2-1,7 ng/m³ vid Norunda samt 0,33-1,0 ng/m³ vid Pallas. Vid Hallahus används PAH-provtagare av PM₁₀ modell, vilket innebär att PAH koncentrationen endast bestäms i partikelfasen och inte partikel- och gasfas som vid de övriga stationerna. Detta innebär att de mer lättflyktiga PAH-ämnen, som t.ex. fenantren, är lägre i prover från Hallahus jämfört med de övriga stationerna.

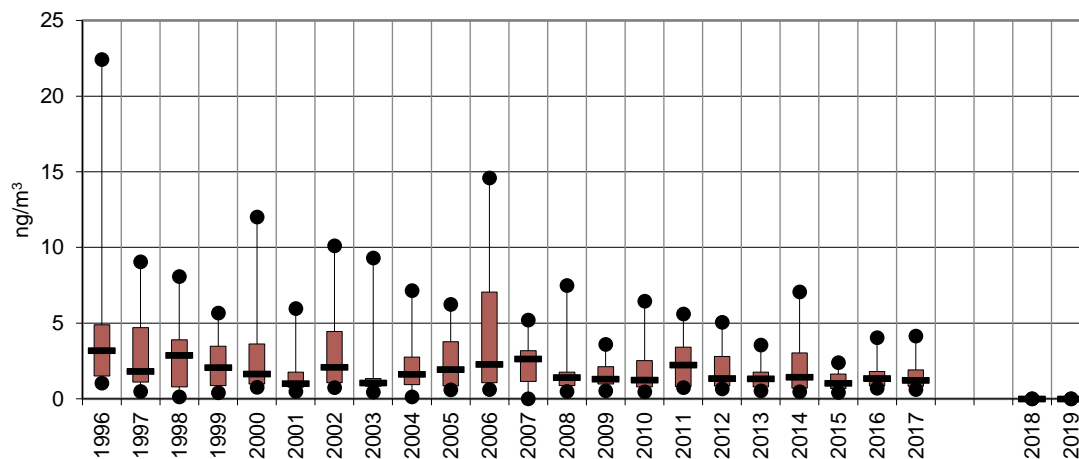
a) Hallahus



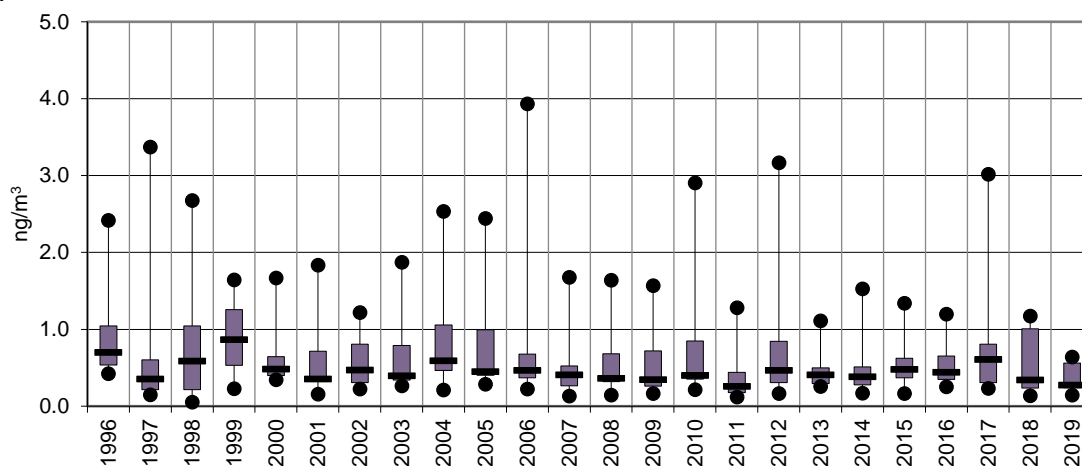
b) Råö



c) Aspvreten (1996-2017) och Norunda (2018-2019)

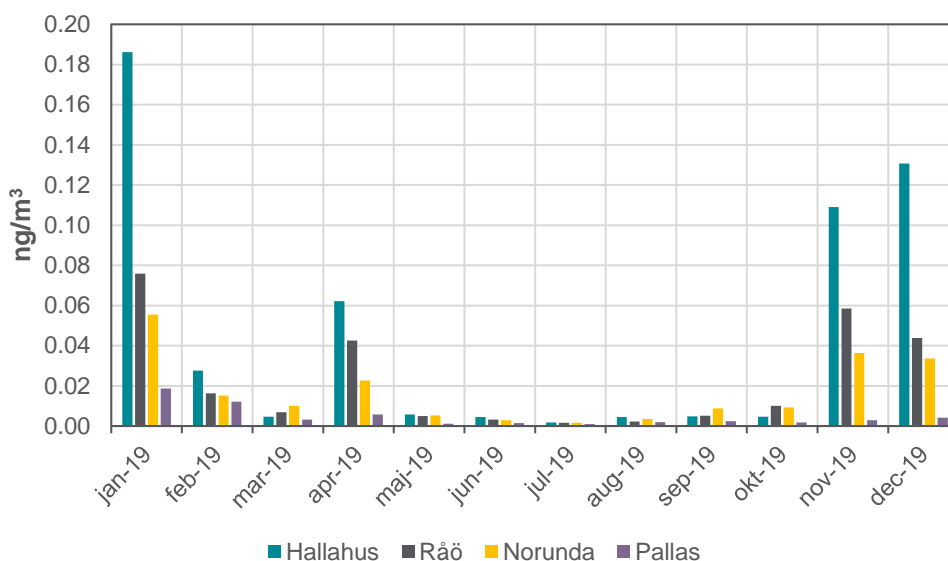


d) Pallas



Figur 6-1 Årsmedelhalten av PAH (summa 12) i luft vid a) Hallahus (2009-2019), b) Råö (1996-2019), c) Aspvreten (1996-2017) och Norunda (2018-2019) samt d) Pallas (1996-2019). Notera att skalan på y-axeln för Hallahus och Pallas är lägre så att man ska kunna se mellanårsvariationen. Resultaten redovisas som "box whisker plots", där boxens övre och undre gränser representerar 25- och 75-percentilen, linjen inne i boxen representerar medianvärdet och svarta punkter representerar min- och maxvärdena.

Som ett exempel på årstidsvariation visas i Figur 6-2 en av PAH-komponenterna, benso(a)pyren. Halten benso(a)pyren var under 2019, i likhet med andra år, högst under den kalla årstiden. MKN och EU-direktivet för benso(a)pyren, som ligger på 1 ng/m³ som årsmedelvärde, överskreds inte vid någon av stationerna.



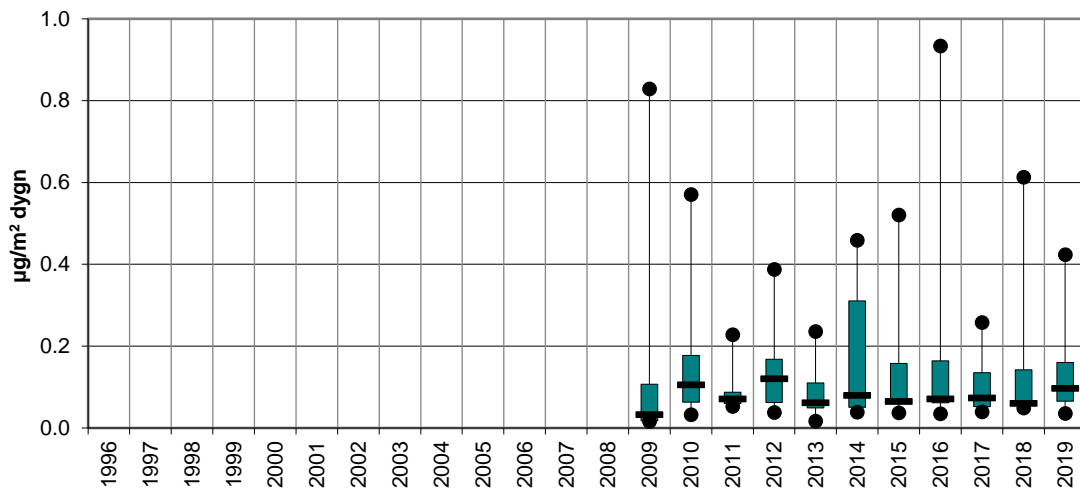
Figur 6-2 Halten benso(a)pyren i luft 2019 vid Hallahus, Råö, Norunda och Pallas.

Depositionen av summa (12) PAH vid Hallahus, Råö, Aspvreten, Norunda och Pallas för åren 1996 till 2019 visas i Figur 6-3. Med undantag för de första mätåren vid Råö och Aspvreten har den uppmätta depositionen av PAH varit relativt likartad från år till år. Under 2009-2019 har PAH-depositionen vid Hallahus varierat mellan 0,081- 0,17 $\mu\text{g}/\text{m}^2$, dygn. Medeldepositionen vid de övriga mätstationerna varierade under perioden 1996-2019 mellan 0,063–0,44 $\mu\text{g}/\text{m}^2$, dygn (Råö), 0,063–0,58 $\mu\text{g}/\text{m}^2$, dygn (Aspvreten), 0,1 $\mu\text{g}/\text{m}^2$, dygn (2018-2019, Norunda) och 0,019-0,20 $\mu\text{g}/\text{m}^2$, dygn (Pallas).

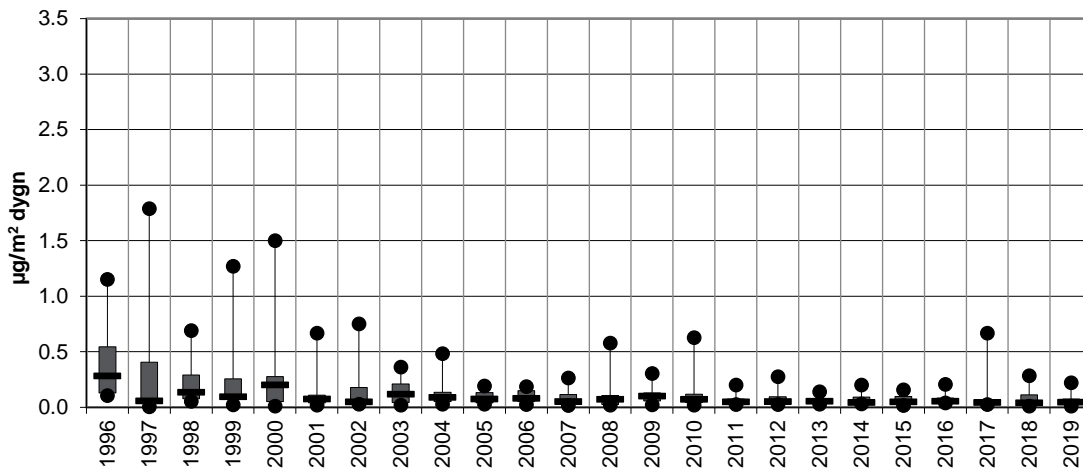
PAH emitteras till luft via förbränning av till exempel fossila bränslen men även via naturliga källor som vulkanisk aktivitet och skogsbränder. Det som kan påverka halterna i luft är närheten till källor, men PAH kan även transporteras i luft över stora avstånd varför de återfinns i bakgrundsområden (Anttila, et al. 2016).

Sedan starten av mätprogrammet, 1994, har PAH-halterna inte visat på någon tydligt minskande trend, vilket också har visats för Råö och Pallas i en trendanalys där ingen signifikant minskande långtidstrend kunde påvisas för summa PAH (Anttila et al., 2016). Däremot förekommer en mellanårsvariation. Halten av PAH i luft har generellt varit högre i söder, Vavihill/Hallahus, Råö, Aspvreten och Norunda jämfört med Pallas i norr. Även depositionen är något lägre i norr än vid de södra stationerna. Detta beror troligtvis på avståndet till utsläppskällor i Europa och ökad lokal belastning i de södra delarna av Sverige. Årstidsvariationer visar generellt på högre lufthalter på vintern, vilket främst beror på ett större användande av fossila bränslen (Brorström-Lundén, 1995).

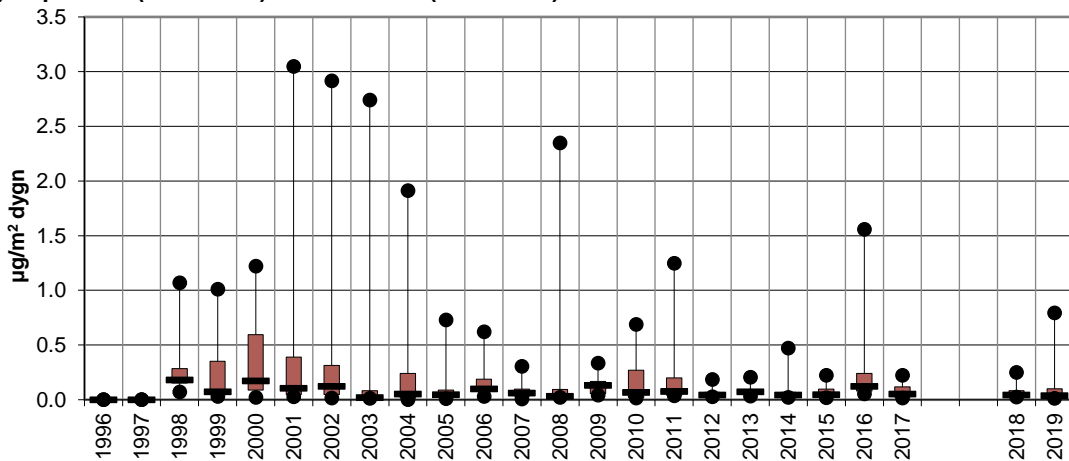
a) Hallahus

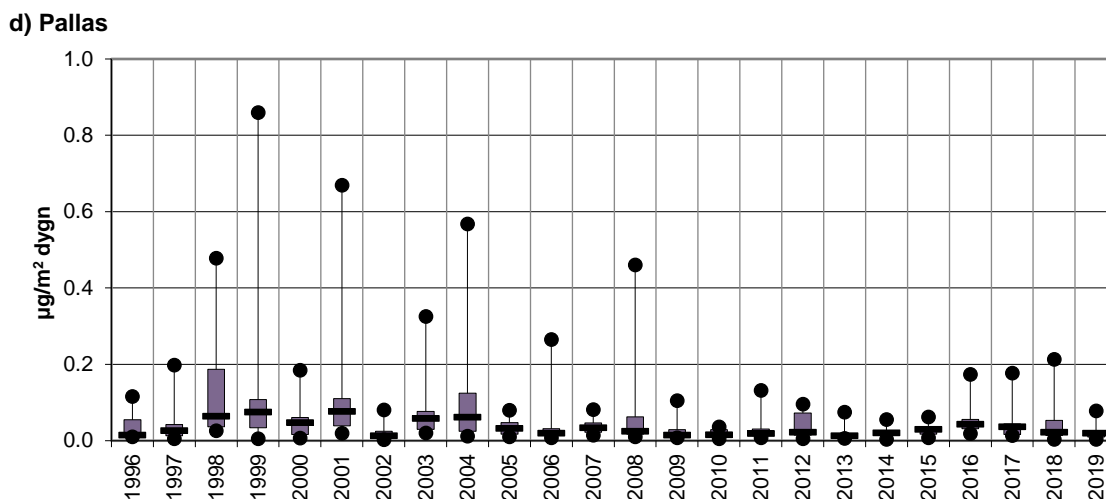


b) Råö



c) Aspveten (1996-2017) och Norunda (2018-2019)





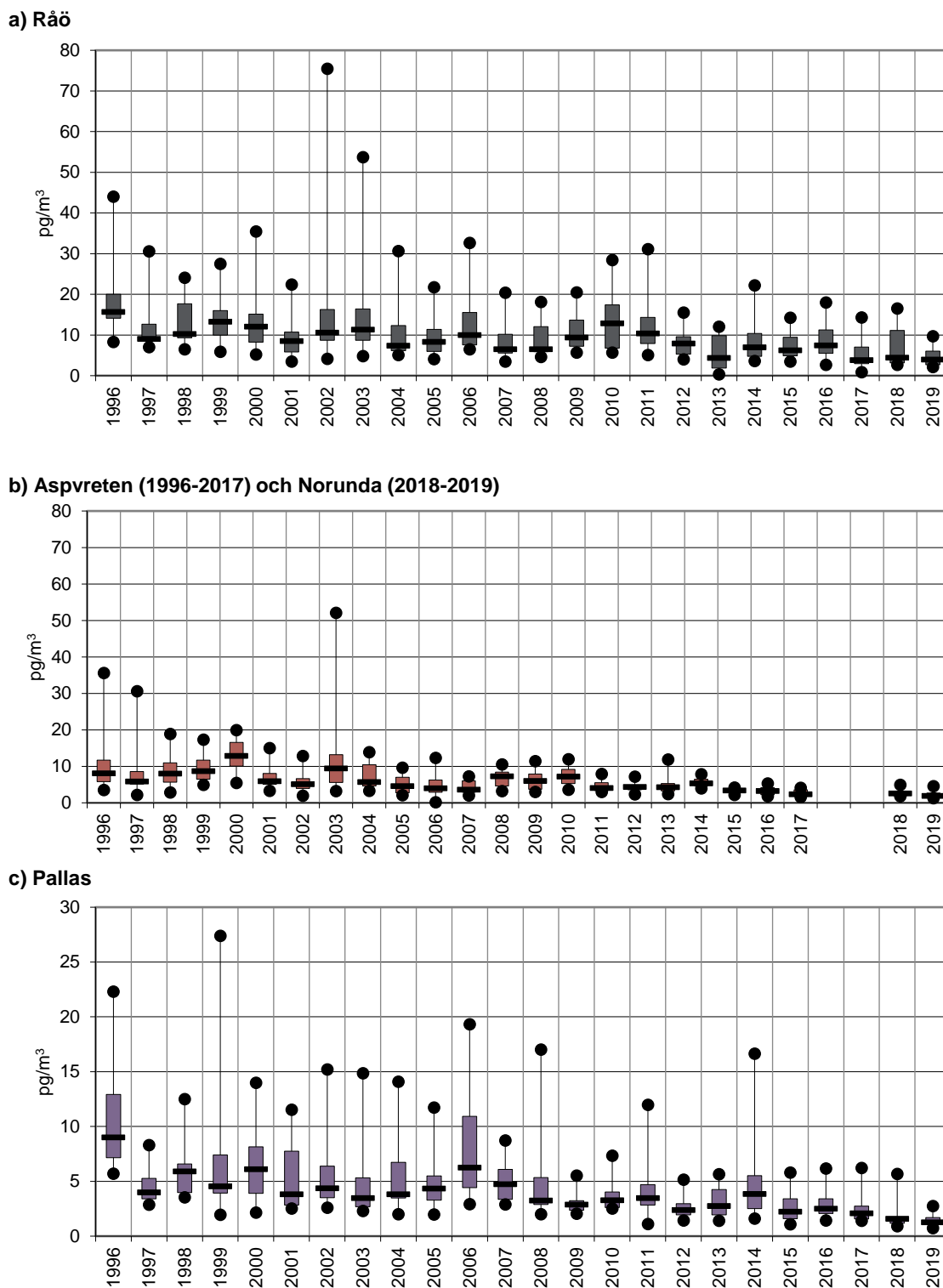
Figur 6-3 Dygnsmedeldeposition av PAH (summa 12) vid a) Hallahus (2009-2019), b) Råö (1996-2019), c) Aspvreten (t.o.m. 2017) och Norunda (2018-2019) samt d) Pallas (1996-2019). Notera att skalan på y-axeln för Hallahus och Pallas är lägre så att man ska kunna se mellanårsvariationen. Resultaten redovisas som "box whisker plots" där boxens övre och undre gränser representerar 25- och 75-percentilen, linjen inne i boxen representerar medianvärdet och svarta punkter representerar min- och maxvärdena.

6.1.1.2. Polyklorerade Bifenyl (PCB)

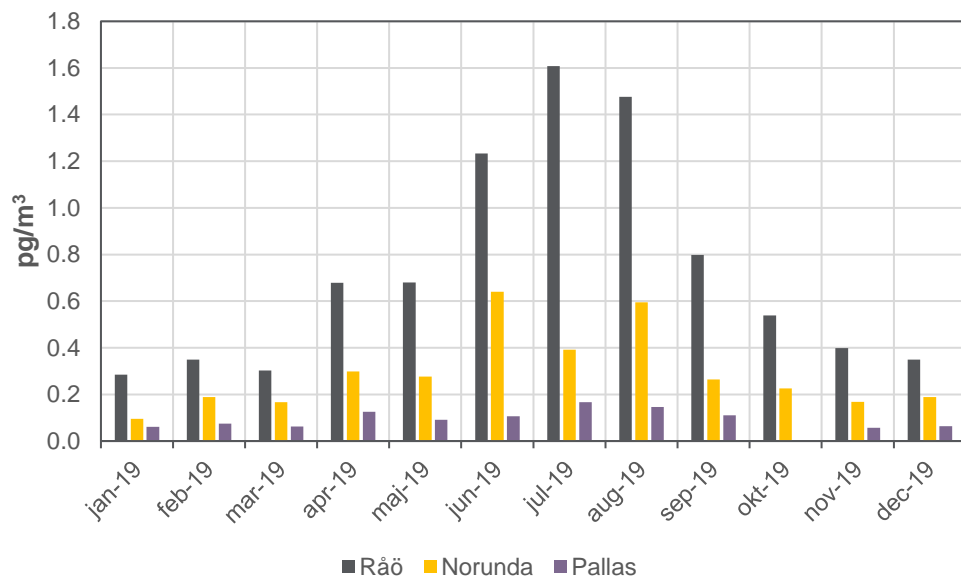
Årsmedelhalterna av PCB (summa 7, se Bilaga 2) i luft vid Råö, Aspvreten, Norunda och Pallas för åren 1996 till 2019 visas i Figur 6-4. Årsmedelhalten av PCB varierade 1996-2019 mellan 4,9–19 pg/m^3 vid Råö, 2,8–13 pg/m^3 vid Aspvreten, 2,4–2,8 pg/m^3 vid Norunda (2018-2019) och 1,5–11 pg/m^3 vid Pallas. I Figur 6-5 visas som ett exempel årstidsvariationen av PCB-153 under 2019. Den högsta halten under det året förekom, i likhet med andra år, under sommaren och de lägsta koncentrationerna under vinterhalvåret.

Dygnsdepositionen av PCB (summa 7) för åren 1996-2019 vid Råö, Aspvreten, Norunda och Pallas presenteras i Figur 6-6. Generellt har depositionen minskat sedan de första årens mätningar, och i likhet med halterna i luft har minskningen klingat av och varit relativt likartad från år till år vid alla tre områden. I likhet med för luft har depositionen vid Råö varit något högre jämfört med Aspvreten, Norunda och Pallas. Under hela mätperioden varierade årsmedelhalterna mellan 0,39–2,4 ng/m^2 , dygn vid Råö, 0,15–2,1 ng/m^2 , dygn vid Aspvreten, 0,062–0,16 ng/m^2 , dygn vid Norunda (2018-2019) samt 0,016–2,3 ng/m^2 , dygn vid i Pallas.

Användningen av PCB förbjöds i nya produkter i Sverige och Europa 1978, men finns fortfarande kvar i miljön på grund av dess långa nedbrytningstid, persistens (Naturvårdsverket, 2017). Resultaten från mätningar mellan 1994 - 2019 vid Råö och Pallas visar att PCB-halterna i luft minskat vid båda stationerna sedan starten av mätprogrammet, vilket bekräftas av trendanalyser (Anttila et al., 2016; Hung et al., 2016). Anttila et al. (2016) visade att PCB-halterna fram till 2012 i genomsnitt har minskat med 2-4 procent per år vid såväl Pallas som Råö. Generellt har dock minskningen klingat av, och under de senaste åren ligger halterna i stort sett på samma nivåer.

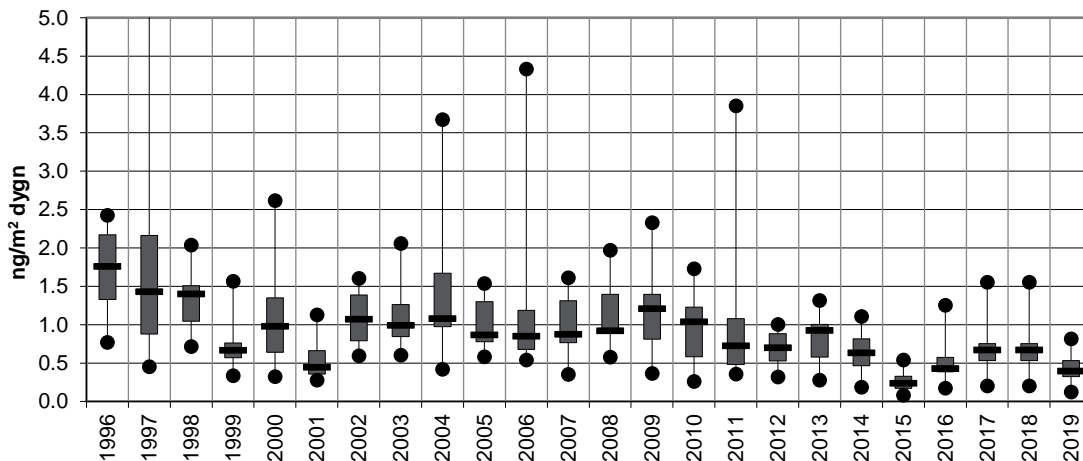


Figur 6-4 Årsmedelhalten PCB (summa 7) i luft vid a) Råö, b) Aspvreten (t.o.m. 2017) och Norunda (2018-2019) samt c) Pallas från 1996 till 2019. Notera att skalan på y-axeln för Pallas är lägre så att man ska kunna se mellanårsvariationen. Resultaten redovisas som "box whisker plots", där boxens övre och undre gränser representerar 25- och 75-percentilen, linjen inne i boxen representerar medianvärdet och svarta punkter representerar min- och maxvärdena.

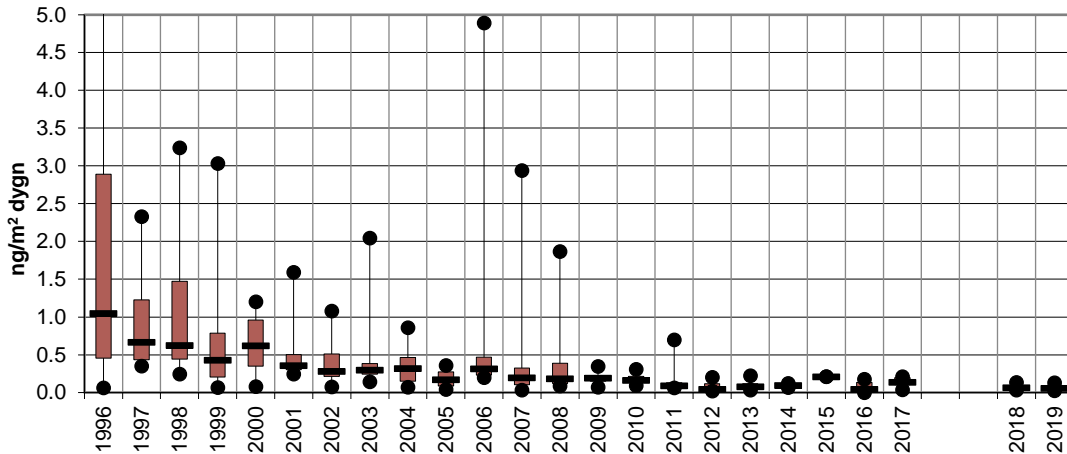


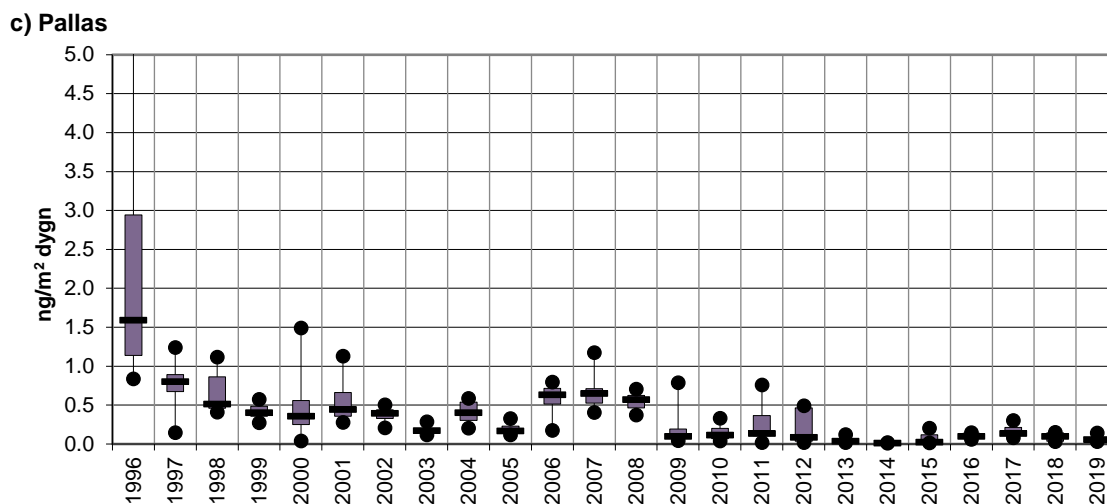
Figur 6-5 Månadsmedelhalten PCB-153 (pg/m³) i luft 2019 vid Råö, Norunda och Pallas.

a) Råö



b) Aspvreten (1996-2017) och Norunda (2018-2019)





Figur 6-6 Dygnsmedeldeposition av PCB (summa 7) vid a) Råö, b) Aspvreten (t.o.m. 2017) och Norunda (2018-2019) samt c) Pallas från 1996 till 2019. Resultaten redovisas som "box whisker plots", där boxens övre och undre gränser representerar 25- och 75-percentilen, linjen inne i boxen representerar medianvärdet och svarta punkter representerar min- och maxvärdena. Observera att Y-axelns skala är kapad så att maxvärdet Råö 1997 (8,0 ng/m², dygn), Aspvreten 1996 (9,3 ng/m², dygn) samt Pallas 1996 (6,5 ng/m², dygn) inte syns.

Mätningarna visar att årsmedelhalten av PCB i luft och deposition varierar årsvis för de olika stationerna. Halterna har generellt varit något högre på västkusten (Råö) jämfört med östkusten (Aspvreten och Norunda) och finska Lappland (Pallas). Detta beror troligtvis på spridningsmönstret från utsläppskällor. De högre halterna på sommaren beror främst på sekundära källor, d.v.s. re-emissioner till luft från mark- och vattenytor.

6.1.1.3. Hexaklorbensen (HCB)

HCB förekommer i luft vid samtliga tre stationer. Mellan 2009-2019 varierade medelårshalten hexaklorbensen (HCB) i luft mellan 6-32 pg/m³ vid Råö, 6-37 pg/m³ vid Aspvreten (2009-2017), 10->25 pg/m³ vid Norunda (2018-2019) och 6-51 pg/m³ vid Pallas. Dessa halter är underskattade p.g.a. provtagningsmetodiken, det vill säga långa provtagningsstider och den använda adsorbenten, vilket också visas av att HCB-halten vid tre arktiska stationer (Alert - Canada, Zeppelin - Svalbard och Storhofdi - Island) är högre än vid Pallas (Hung m.fl., 2010). Detta innebär också att det inte går att se några trender i resultaten.

Depositionen av HCB varierade under 2009 till 2019 mellan 0,06-0,23 ng/m², dygn vid Råö, 0,063-0,14 ng/m², dygn vid Aspvreten, 0,054-0,064 ng/m², dygn vid Norunda och <0,04-0,17 ng/m², dygn vid Pallas.

6.1.2. Pesticider (reglerade inom internationella konventioner och EU-direktiv)

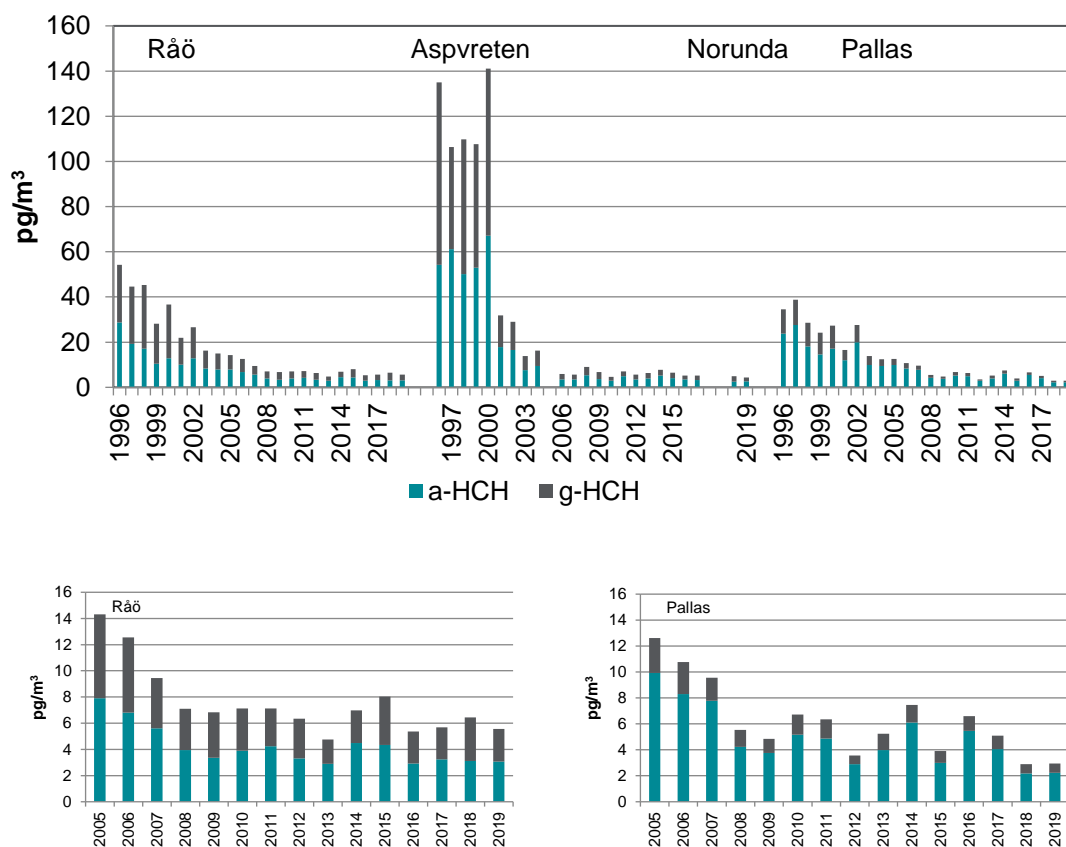
6.1.2.1. Hexaklorocyclohexaner (HCH)

Årsmedelhalten av insekticiden γ - och α -HCH i luft för åren 1996-2019 vid Råö, Aspvreten, Norunda och Pallas visas i Figur 6-7. Under åren 1996-2019 varierade årsmedelhalten av α -HCH mellan 2,9-29 pg/m³ vid Råö, 3,2-62 pg/m³ vid Aspvreten, 2,5-2,7 pg/m³ vid Norunda (2018-2019) och 2,2-28 pg/m³

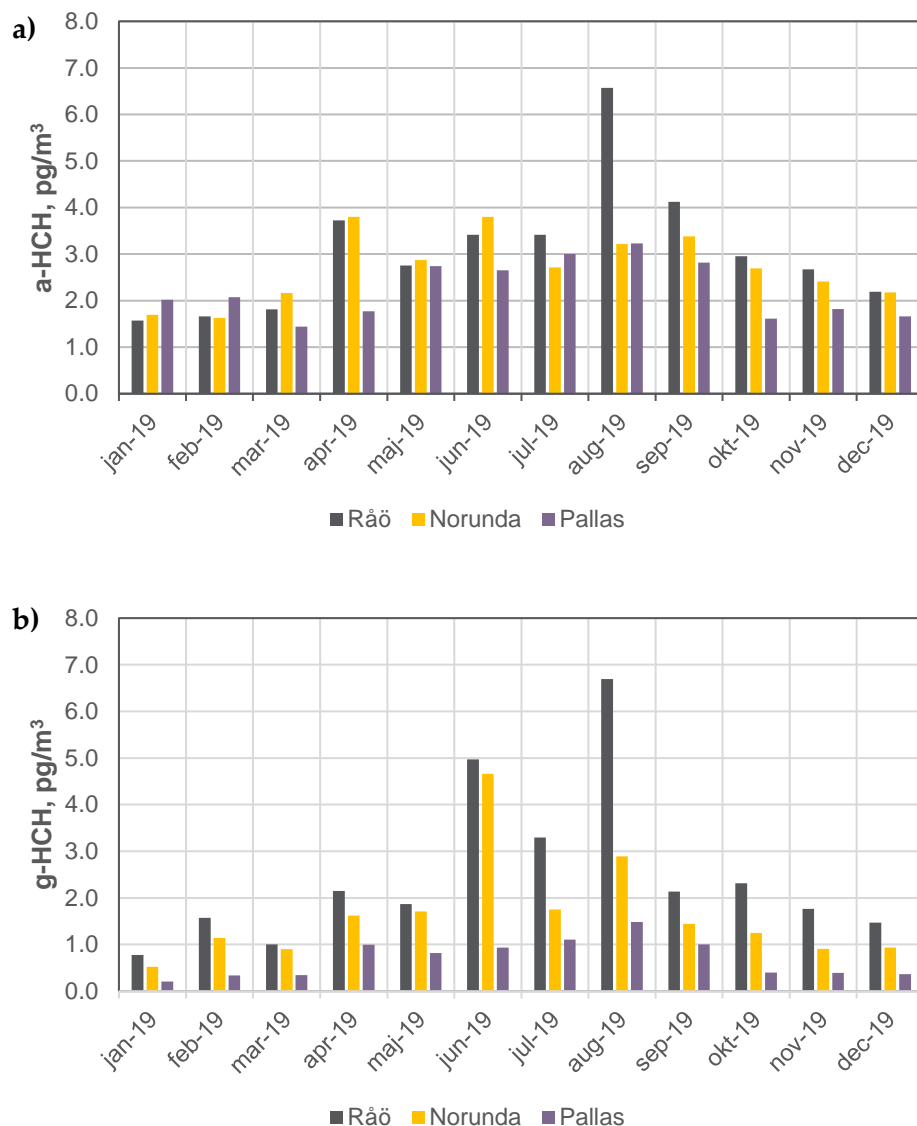
vid Pallas. Årsmedelhalten av γ -HCH varierade under samma period mellan 1,9-28 pg/m^3 vid Råö, 1,6-81 pg/m^3 vid Aspvreten, 1,6-2,5 pg/m^3 vid Norunda (2018-2019) och 0,70-11 pg/m^3 vid Pallas. Från 1996 till 2008 utfördes provtagningen och analyserna av prover från Aspvreten på Stockholms Universitet. Det är därför svårt att avgöra om de tidiga höga värdena på stationen beror på en närliggande källa eller på mät- eller analysmetodik, då IVL inte har full historik från de tidiga mätningarna.

Sedan år 2005 har halten α -HCH i luft varit i samma storleksordning vid alla tre geografiska områdena, någon geografisk variation mellan syd och norr förekommer alltså inte längre. Däremot var halten γ -HCH högre i söder (Råö, Aspvreten och Norunda) jämfört med norra Finland (Pallas). Vid Pallas var halten α -HCH högre än γ -HCH, se förstoringar för 2005 till 2019 i Figur 6-7, vilket även observerats på Zeppelin, Ny-Ålesund och vid Svalbard (<http://ebas.nilu.no>). Halterna av α -HCH ligger alltså i samma nivå i norra Finland som vid arktiska områden. En förklaring kan vara re-emission av α -HCH (Anttila et al., 2016).

Årstidsvariationen av α - respektive γ -HCH i luft under 2019 visas i Figur 6-8. Precis som för PCB:er var halterna under vår- och sommarmånader förhöjda.

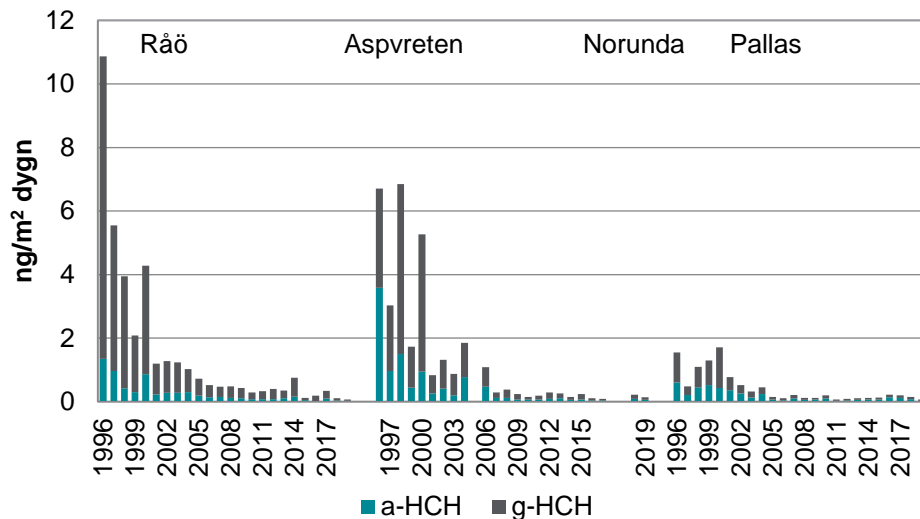


Figur 6-7 Årsmedelhalten av α - och γ -HCH i luft vid Råö, Aspvreten, Norunda (2018-2019) och Pallas. Nedan: förstoring av data från Råö och Pallas från 2005 till 2019.



Figur 6-8 Halten av a) α -HCH och b) γ -HCH i luft 2019 vid Råö, Norunda och Pallas.

Depositionen av α - och γ -HCH vid Råö, Aspvreten, Norunda och Pallas (1996-2019) visas i Figur 6-9. Sedan starten av mätningarna har depositionen minskat vid alla tre stationerna. Depositionen av α -HCH varierade mellan <0,03-1,3 ng/m², dygn vid Råö, 0,033-3,6 ng/m², dygn vid Aspvreten, 0,058-0,085 ng/m², dygn vid Norunda (2018-2019) och 0,028-0,60 ng/m², dygn vid Pallas. Under de senaste åren har α -HCH-fluxerna varit i samma storleksordning vid alla stationer och ingen skillnad mellan norr och söder kan urskiljas. Depositionen av γ -HCH (1996 - 2019) varierade mellan 0,064-9,5 ng/m², dygn vid Råö, 0,052-5,4 ng/m², dygn vid Aspvreten, 0,080-0,13 ng/m², dygn vid Norunda (2018-2019) och 0,023-1,3 ng/m², dygn i Pallas. Depositionen av γ -HCH uppvisade samma geografiska fördelning som i luft, med de högsta fluxerna i söder och de lägsta i norr (Pallas).



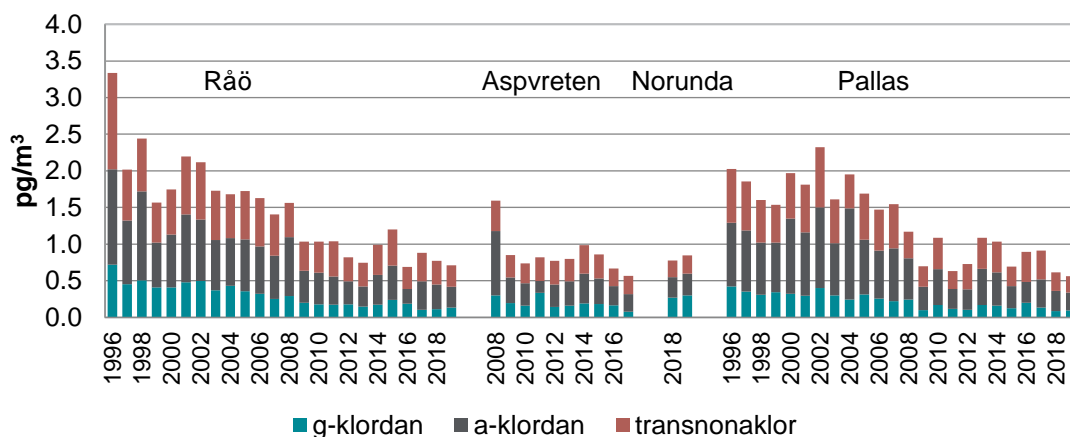
Figur 6-9 Dygnsmedeldeposition av HCH vid Råö, Aspvreten, Norunda och Pallas från 1996 till 2019.

Både α -HCH och γ -HCH är listade i Stockholmskonventionen. Användning och produktion av teknisk blandning av HCH, där α -HCH utgör den största andelen, förbjöds före det att lindan (γ -HCH) förbjöds inom jordbruket år 2009. Halterna av HCHer i luft visar en tydlig minskande trend (Anttila et al., 2016; Hung et al., 2016). Trendanalyser av data från Råö respektive Pallas mellan 1994 (1995) och 2011 visar en genomsnittlig minskning av α -HCH på 6 procent och γ -HCH på 6-7 procent per år för båda stationerna (Anttila et al., 2016). Den största minskningen skedde under de första årens mätningar.

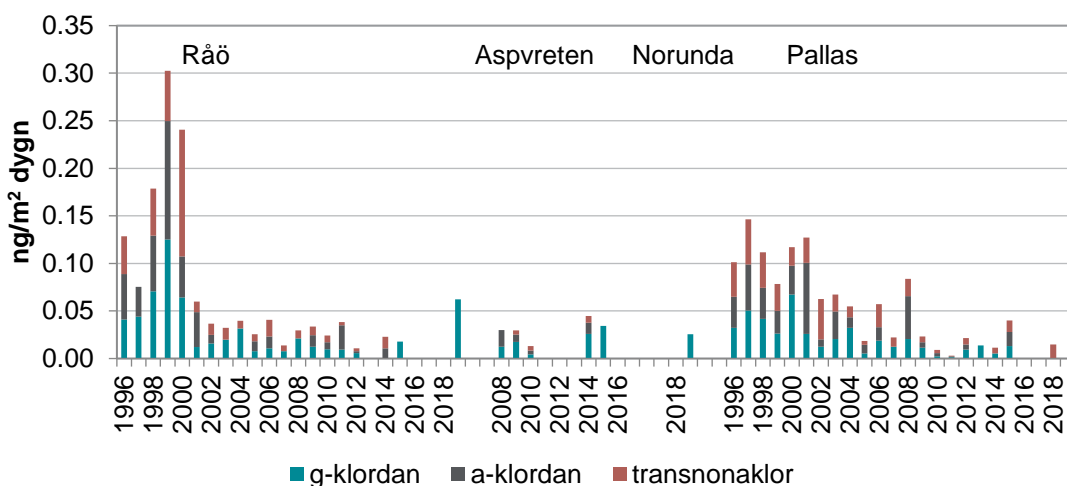
6.1.2.2. Klordaner

Årsmedelhalten γ - och α -klordan samt transnonaklor i luft (1996-2019) vid Råö, Aspvreten och Norunda och Pallas visas i Figur 6-10. Mätningarna av klordaner vid Aspvreten startade 2008. Årsmedelhalterna ligger i samma storleksordning vid alla stationer. Årsmedelhalten av klordaner 1996-2019 varierade mellan 0,67–3,3 pg/m³ vid Råö, 0,56–1,6 pg/m³ vid Aspvreten (2008-2017), 0,78–0,84 pg/m³ vid Norunda (2018-2019) samt 0,56–2,3 pg/m³ i Pallas. Depositionen av klordaner har minskat och under de senaste fem åren har mängden legat nära eller under rapporteringsgränsen för den analytiska metoden, se Figur 6-11.

Klordaner användes tidigare bland annat som insekticid och termiticid och är idag reglerade inom Stockholmskonventionen. Trendanalyser gjorda på data från Råö (1994-2011) respektive Pallas (1995-2011) visar en genomsnittlig årlig minskning i luftkoncentration på ca 3-4 % vid båda stationerna (Anttila et al., 2016). I liket med t.ex. PCB och α -HCH har minskningen av klordanerna avklingat under de senare åren.



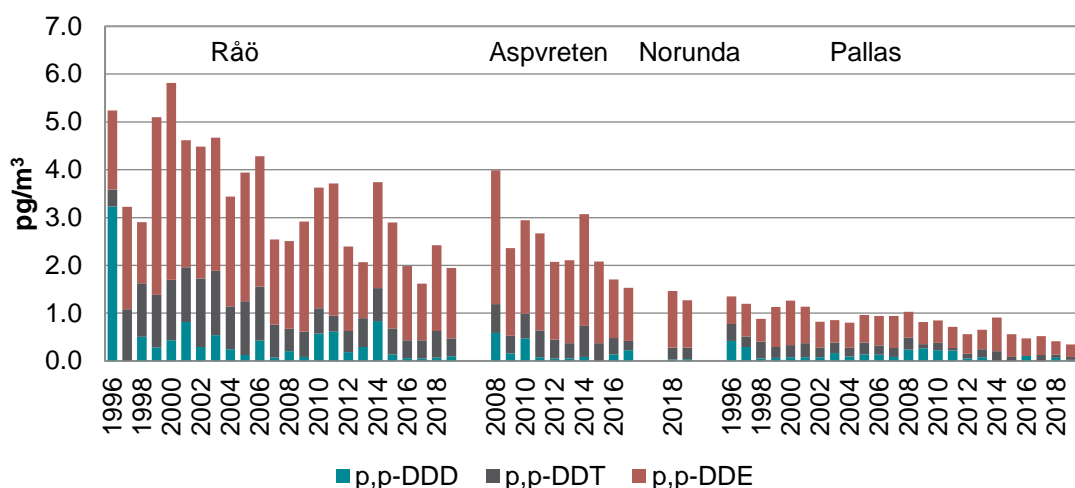
Figur 6-10 Årsmedelhalter av klordaner i luft vid Råö, Aspvreten, Norunda och Pallas, 1996-2019. Mätningarna av klordaner vid Aspvreten startade 2008.



Figur 6-11 Dygnsmedeldeposition av klordaner vid Råö, Aspvreten, Norunda och Pallas, 1996-2019. Mätningarna av klordaner vid Aspvreten startade 2008.

6.1.2.3. Diklordifenyltrikloretan, DDT och dess nedbrytningsprodukter

Årsmedelhalten av p,p-DDT och dess nedbrytningsprodukter p,p-DDE, och p,p-DDD i luft vid Råö, Aspvreten, Norunda och Pallas (1996 (2008)-2019) visas i Figur 6-12. DDE-halterna har varit högre än både DDT och DDD. Årsmedelhalterna i luft av p,p-DDD varierade under denna mätperiod mellan 0,053-3,2 pg/m³ vid Råö, <0,03-0,59 pg/m³ vid Aspvreten, 0,031-0,041 pg/m³ vid Norunda (2018-2019) samt <0,03-0,42 pg/m³ vid Pallas. Årsmedelhalten för p,p-DDT varierade under samma period mellan 0,34-1,4 pg/m³ (Råö), 0,19-0,60 pg/m³ (Aspvreten) 0,12-0,25 pg/m³ (Norunda, 2018-2019) och 0,053-0,35 pg/m³ (Pallas), medan årsmedelhalten av p,p-DDE låg mellan 1,2-4,1 pg/m³ vid Råö, 1,0-9,0 pg/m³ vid Aspvreten, 1,0-1,2 pg/m³ vid Norunda samt 0,26-0,93 pg/m³ vid Pallas.



Figur 6-12 Årsmedelhalter av p,p-DDT, p,p-DDD och p,p-DDE i luft vid Råö, Aspvreten, Norunda och Pallas från 1996 till 2019.

Depositionen av p,p-DDT, p,p-DDE och p,p-DDD har under 1996-2019 generellt varit låg. p,p-DDD-fluxerna varierade mellan <math><0,03-0,25 \text{ ng/m}^2, \text{ dygn}</math> (Råö), <math><0,02-0,11 \text{ ng/m}^2, \text{ dygn}</math> (Aspvreten), <math><0,02-0,03 \text{ ng/m}^2, \text{ dygn}</math> (Norunda, 2018-2019) och <math><0,02-0,24 \text{ ng/m}^2, \text{ dygn}</math> (Pallas). p,p-DDT-fluxerna varierade mellan $0,045-0,47 \text{ ng/m}^2, \text{ dygn}$ (Råö), <math><0,01-0,18 \text{ ng/m}^2, \text{ dygn}</math> (Aspvreten, tom 2017), <math><0,01-0,039 \text{ ng/m}^2, \text{ dygn}</math> (Norunda, 2018-2019) och <math><0,02-0,22 \text{ ng/m}^2, \text{ dygn}</math> (Pallas). Depositionen av p,p-DDE varierade mellan $0,045-0,40 \text{ ng/m}^2, \text{ dygn}$ (Råö), $0,006-0,56 \text{ ng/m}^2, \text{ dygn}$ (Aspvreten t.o.m. 2017), $0,028-0,55 \text{ ng/m}^2, \text{ dygn}$ (Norunda, 2018-2019) och $0,018-0,14 \text{ ng/m}^2, \text{ dygn}$ (Pallas).

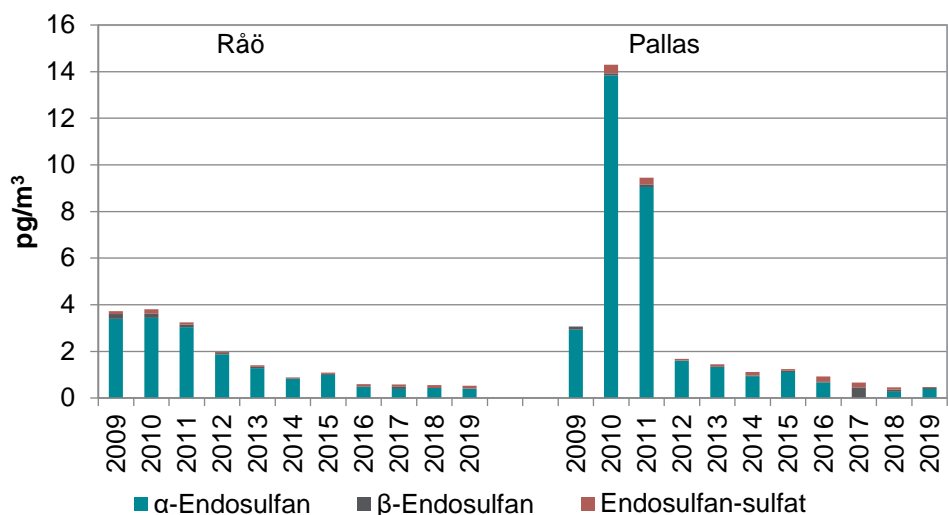
p,p-DDT användes tidigare som insekticid och står listad i Stockholmskonventionen (Stockholm Convention, 2008, Annex B, begränsad användning). p,p-DDE och p,p-DDD är nedbrytningsprodukter till p,p-DDT. Lufthalterna vid Råö, Aspvreten och Norunda var högre jämfört med vid Pallas, och även depositionen var lägst vid Pallas jämfört med vid de andra stationerna. De geografiska skillnaderna förklaras med mätstationernas avstånd till källområden. Anttila et al. (2016) visade en nedåtgående trend i luftkoncentrationen av p,p-DDE och p,p-DDT i luft på cirka 2-5 procent per år vid både Råö och Pallas (1996-2011). För p,p-DDT gick det inte att genomföra trendanalysen.

6.1.2.4. Endosulfan

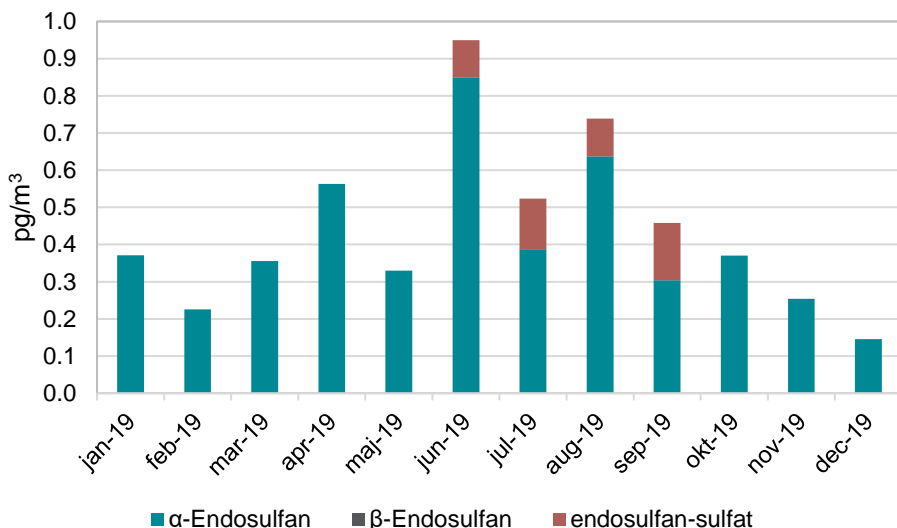
Årsmedelhalten av α - och β -endosulfan samt endosulfan-sulfat i luft vid Råö och Pallas för åren 2009-2019 presenteras i Figur 6-13.

Årsmedelhalten α -endosulfan uppmättes i högre nivåer jämfört med de två övriga (β -endosulfan samt endosulfan-sulfat) och varierade mellan $0,39-3,4 \text{ pg/m}^3$ vid Råö respektive <math><0,2-14 \text{ pg/m}^3</math> vid Pallas. En viss årstidsvariation förekom 2019 med något förhöjda värden under sommaren, se Figur 6-14.

Årsmedelhalten β -endosulfan för åren 2009-2019 varierade mellan <math><0,08-0,20 \text{ pg/m}^3</math> vid Råö och $0,016-0,13 \text{ pg/m}^3$ vid Pallas. Halten endosulfan-sulfat varierade mellan $0,035-0,18 \text{ pg/m}^3$ vid Råö respektive $0,03-0,38 \text{ pg/m}^3$ vid Pallas.

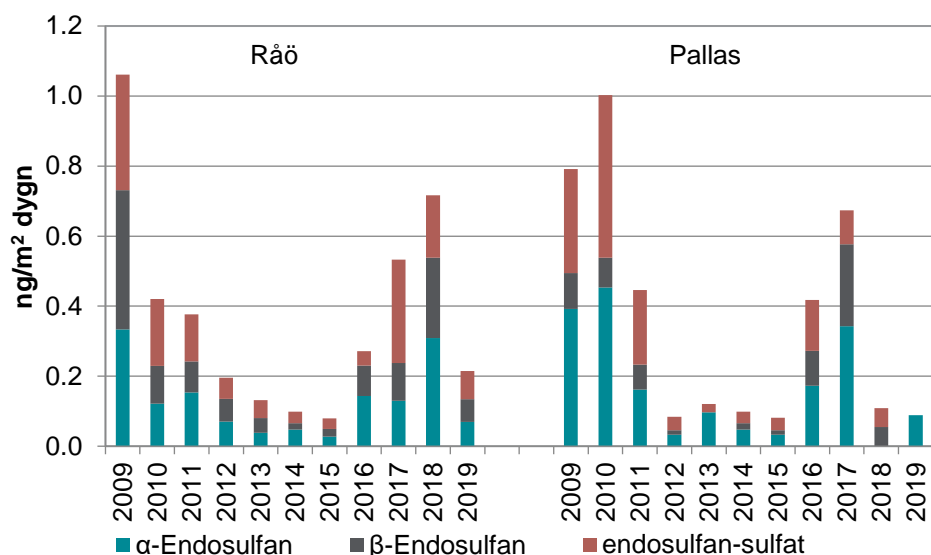


Figur 6-13 Årsmedelhalten av α - och β -endosulfan samt endosulfan-sulfat i luft vid Råö och Pallas mellan 2009 och 2019.



Figur 6-14 Årstidsvariation av α - och β -endosulfan samt endosulfan-sulfat i luft vid Råö 2019.

Depositionen av α - och β -endosulfan samt endosulfan-sulfat vid Råö och Pallas visas i Figur 6-15. Under 2009-2019 var depositionen av α -endosulfan i ungefär samma nivå vid Råö (0,027-0,33 ng/m², dygn) och Pallas (<0,05-0,45 ng/m², dygn). Depositionen av β -endosulfan varierade mellan 0,018-0,40 ng/m², dygn vid Råö och <0,05-0,23 ng/m², dygn vid Pallas och depositionen av endosulfan-sulfat varierade mellan 0,030-0,33 ng/m², dygn vid Råö och <0,05-0,46 ng/m², dygn vid Pallas. 2017-2018 var mängderna i deposition vid flera mätillfällen under kvantifieringsgränsen för analysen, varför årsmedelvärdet endast är baserat på ett fåtal mätillfällen då mängder under kvantifieringsgränsen inte ingår i årsmedelvärdet.



Figur 6-15 Dygnsmedeldeposition av endosulfan vid Råö och Pallas 2009-2019.

Endosulfan är en insekticid och ämnet inkluderades i Stockholmskonventionen år 2014. Förhöjda lufthalter uppmättes vid Pallas under 2010 och 2011, men i övrigt indikerades minskande halter vid båda stationerna.

I deposition skiljde sig generellt den relativa fördelningen mellan de olika föreningarna från den i luft. α -endosulfan var inte lika dominant i deposition jämfört med i luft, medan endosulfan-sulfat var högre. Detta kan förklaras med ämnenas olika vattenlöslighet. En viss årstidsvariation, med större deposition under sommarhalvåret, indikerades vid Råö. Säsongsvariationen var inte lika tydlig vid Pallas. Vid både Råö och Pallas uppmättes en lägre deposition under de senare mätåren jämfört med i början av mätningarna, och en minskad trend observerades fram till 2015. Den ökade depositionen från 2016 till 2018 (Råö) och 2016 till 2017 (Pallas), sammanföll inte med några ökade lufthalter och har för närvarande ingen förklaring.

6.1.2.5. Aldrin, heptaklor, dieldrin

Aldrin har endast detekterats i ett luftprov från Råö, augusti 2010, då $1,2 \text{ pg/m}^3$ uppmättes. Heptaklor har detekterats i två luftprover från 2010 (juli och augusti) i halter på $0,80$ respektive $1,2 \text{ pg/m}^3$. I övriga prover kunde aldrin eller heptaklor inte påvisas. I deposition har aldrin endast detekterats i ett prov från Råö, $0,12 \text{ ng/m}^2$, dygn, mars 2013. Heptaklor detekterades endast i juli- och augustiprovet från 2010 ($0,47$ respektive $0,25 \text{ ng/m}^2$, dygn) samt januari 2019 ($0,067 \text{ ng/m}^2$, dygn).

Dieldrin började mätas i luft och depositionsprover år 2016. Årsmedelhalten av dieldrin i luft på Råö 2016-2019 varierade mellan $1,4$ och $2,0 \text{ pg/m}^3$. Under samma period kunde dieldrin endast detekteras i ett depositionsprov från Råö (januari 2018, $0,19 \text{ ng/m}^2$, dygn).

Aldrin och dieldrin har båda använts i pesticidprodukter och står båda med i Annex A i Stockholmskonventionen. Dessutom kan dieldrin vara en nedbrytningsprodukt av aldrin. Heptaklor är en insekticid som använts för att bland annat bekämpa termiter och andra insekter. Då många halter var under kvantifieringsgränsen för analysen har en årstidsvariation på Råö bara kunnat observeras för dieldrin. Trenden visar högre halter under sommarhalvåret än under vintern. Detta kan bero på en högre fotodegradering under sommaren (AMAP, 2017). Även en statistiskt signifikant korrelation med temperatur har observerats av Bossi et al., (2013).

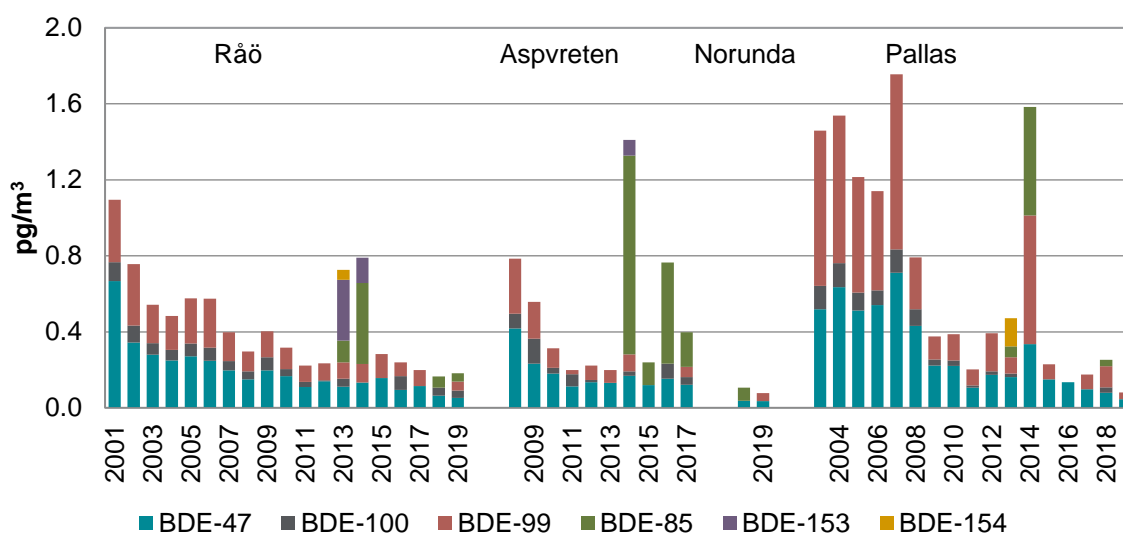
6.1.3. Bromerade flamskyddsmedel

6.1.3.1. Polybromerade difenyletrar, PBDE och hexabromcyklododekan, HBCDD

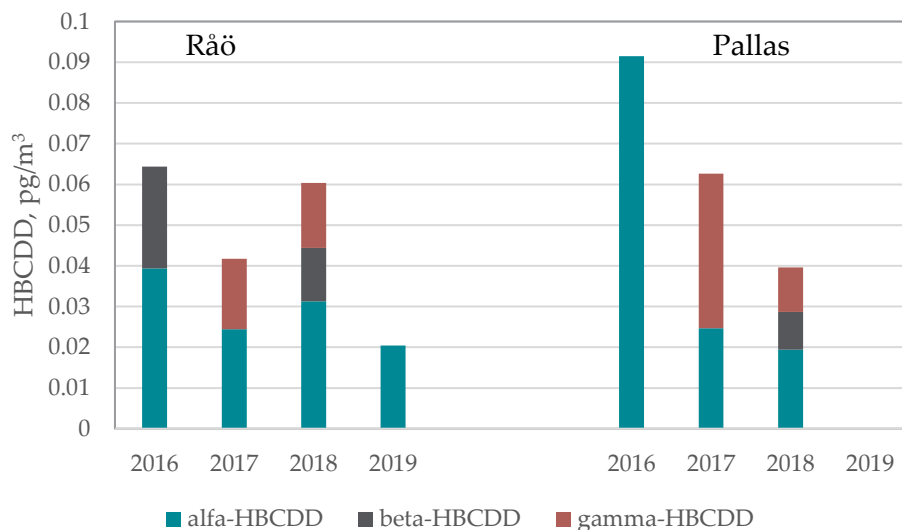
Årsmedelhalten av PBDE i luft vid Råö, Aspvreten, Norunda och Pallas visas i Figur 6-16. Sedan starten av mätningarna har årsmedelhalterna av BDE (47, 99, 100) varierat mellan 0,11-1,1 pg/m³ vid Råö, 0,12-0,78 pg/m³ vid Aspvreten, 0,037-0,077 pg/m³ vid Norunda (2018-2019) och 0,082-1,8 pg/m³ vid Pallas. 2013 inkluderades BDE 85, 154 och 153 i mätningarna. Halterna av dessa var generellt låga eller under kvantifieringsgränsen för analysen. Enstaka månadsvärden bidrog dock till förhöjda halter för vissa år (t.ex. 2014). Årsmedelhalten av summa BDE-85, 153, 154 från 2013 till 2019 varierade mellan <0,05-0,60 pg/m³ vid Råö, <0,01-1,1 vid Aspvreten, <0,03-0,069 pg/m³ vid Norunda och <0,05-0,57 pg/m³ vid Pallas.

BDE-209 (deca-BDE) och hexabromcyklododekan (HBCDD) i luft på Råö och Pallas (2009-2019) förekom endast sporadiskt i detekterbara halter. Årsmedelhalten av BDE-209 varierade mellan <0,2-17 pg/m³ vid Råö och <0,08-0,68 pg/m³ vid Pallas. Årsmedelhalten av HBCDD i luft (2009-2019) varierade mellan 0,02-4.4 pg/m³ vid Råö och <0,05-0,092 pg/m³ vid Pallas.

Från 2016 genomförs analyserna av HBCDD på en LC-MS, med vilken alfa-, beta- och gamma-HBCDD bestäms separat med lägre detektionsgränser. Mellan 2016-2019 har halten HBCDD varierat mellan 0,020 och 0,064 pg/m³ vid Råö och <0,004 till 0,092 pg/m³ vid Pallas, se Figur 6-17. Någon årstidsvariation kunde inte urskönjas.



Figur 6-16 Årsmedelhalten av BDE (47, 99, 100) i luft vid Råö, Aspvreten, Norunda och Pallas. I figuren visas också årsmedelhalten BDE (85, 153, 154) för 2013-2019.



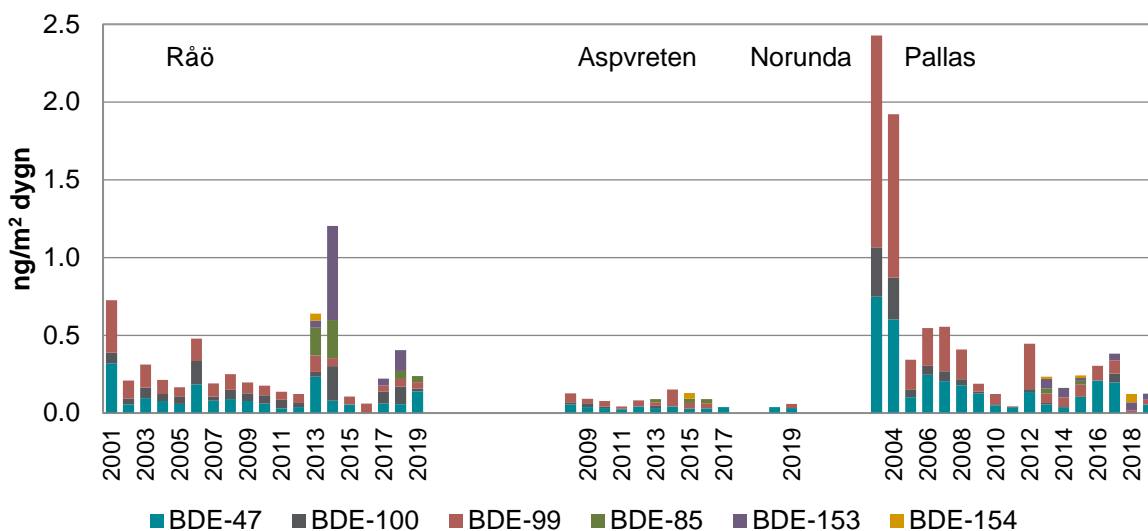
Figur 6-17 Halten av alfa-, beta- och gamma-HBCDD i luft vid Råö och Pallas 2016 - 2019. HBCDD detekterades inte i några prover från Pallas 2019.

Depositionen av PBDE vid Råö, Aspvreten, Norunda och Pallas visas i Figur 6-18. De högsta BDE-47, 99, 100-fluxerna uppmättes vid Pallas 2003 och 2004. Depositionen av BDE (47, 99, 100) sedan starten av mätningarna varierade mellan 0,041-0,73 ng/m², dygn på Råö, 0,037-0,13 ng/m², dygn vid Aspvreten, <0,02-0,038 ng/m², dygn vid Norunda (2018-2019) och 0,043-2,4 ng/m², dygn vid Pallas. Depositionen av BDE-85, 153, 154 (2013-2019) uppmättes till <0,05-0,85 ng/m², dygn vid Råö, <0,02-0,064 ng/m², dygn vid Aspvreten, <0,02-0,064 ng/m², dygn vid Norunda samt <0,02 ng/m², dygn vid Pallas, vilket var i samma nivå som summa BDE (47, 99, 100) under samma period.

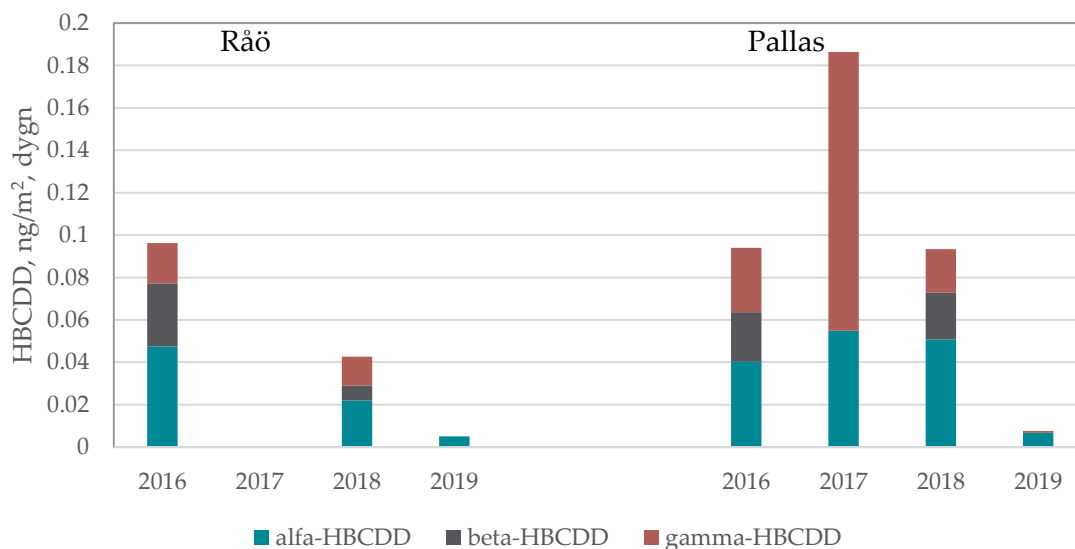
Depositionen av BDE-209 och HBCDD på Råö och Pallas (2009-2019) varierade, precis som i luft, mellan olika tillfällen och detekterades endast sporadisk. HBCDD kunde inte bestämmas i depositionsprover från Råö 2017, troligtvis beroende på en matriseffekt. Mellan 2016 och 2019 varierade HBCDD mellan 0,05-0,096 ng/m², dygn vid Råö och 0,008-0,19 ng/m², dygn vid Pallas, se Figur 6-19. BDE-209 depositionen 2009-2019 varierade mellan <0,3-3,3 ng/m², dygn vid Råö och <0,3-1,8 ng/m², dygn vid Pallas. HBCDD detekterades inte i prover från Pallas mellan 2009 och 2014 (<0,05 ng/m², dygn). Depositionen av HBCDD i vid Pallas 2015-2019 låg på 0,02-0,19 ng/m², dygn. Den lägre detekterbara haltnivån under senare år beror på att en annan analytisk metod med lägre kvantifieringsgränser använts.

Det som skiljer olika BDE åt är deras bromeringsgrad. PentaBDE (mix av huvudsakligen BDE-47, 99 men också 85, 100, 153, 154) och OktaBDE förbjöds i EU 2004 och är reglerade inom Luftvårdskonvention (CLRTAP) och Stockholmskonventionen. BDE-209 (decaBDE) inkluderades i Stockholmskonventionen 2017 och HBCDD 2014.

Med undantag för Pallas 2014 har halterna av BDE 47, 99 och 100 i luft minskat sedan starten av mätningar vid alla tre stationer. Även depositionen har minskat. Inga trender kunde urskönjas för BDE-209 eller HBCDD.



Figur 6-18 Deposition av BDE (47, 99, 100, 85, 153 och 154) vid Råö, Aspvreten, Norunda och Pallas.



Figur 6-19 HBCDD i deposition från Råö och Pallas för 2016-2019. Data för Råö deposition 2017 saknas på grund av interferenser i analysen, troligen till följd av matriseffekten.

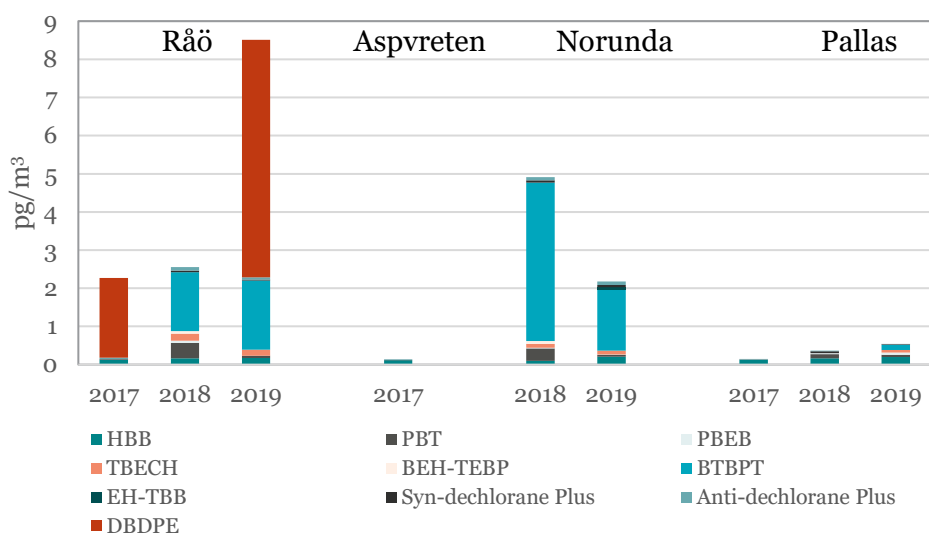
6.1.3.2. "Nya" flamskyddsmedel

På grund av utfasningen av PBDE som flamskyddsämnen har ett stort och ökande antal alternativa flamskyddsmedel introducerats på marknaden. Med "nya" menas här flamskyddsmedel vars användning och förekomst i miljön förväntas öka (på engelska används termen "emerging brominated flame retardants"). Förutom de bromerade flamskyddsmedlen ingick även ett klorerat flamskyddsmedel, Dechlorane Plus (DP), i mätningarna.

Nya bromerade flamskyddsmedel, se Bilaga II, började mätas i luft i juli 2017 och bestäms i sex luftprover per år från Råö, Norunda och Pallas.

Av de bromerade föreningarna kunde alla detekteras i några eller alla prover, se Figur 6-20. Halterna var högre vid Råö och Norunda jämfört med vid Pallas, där hexabromobensen (HBB) och pentabromoetylbenzen (PBT) var de ämnen som utgjorde största andelen av summan nya BFR. 1,2-bis(2,4,6-tribromofenoxy)etan (BTBPE) var det ämnet som annars förekom i högsta halt både vid Norunda och Råö (0,11-8,3 pg/m³), men inte kunde detekteras i några av prover från Pallas. Vid Råö kunde även dekabromodifenyletan (DBDPE) detekteras i högre halt i enstaka prover (1,1-6,2 pg/m³).

Syn och anti Dechlorane Plus (DP syn/DP anti) uppmättes på alla tre stationer och halterna var i nivå med vad som tidigare uppmätts vid Råö och Pallas (Remberger et al., 2014). Lufttransport är en viktig spridningsväg för detta flamskyddsmedel och Dechlorane Plus kan därför finnas i bakgrundsmiljöer. DP syn varierade mellan 0,01-0,079 pg/m³ vid Råö, <0,01-0,11 pg/m³ vid Norunda och <0,01-0,013 pg/m³ vid Pallas. DP anti uppmättes vid Råö till 0,029-0,15 pg/m³ och vid Norunda 0,012-0,22 pg/m³. Vid Pallas var koncentrationen av DP anti mellan 0,005 och 0,079 pg/m³.

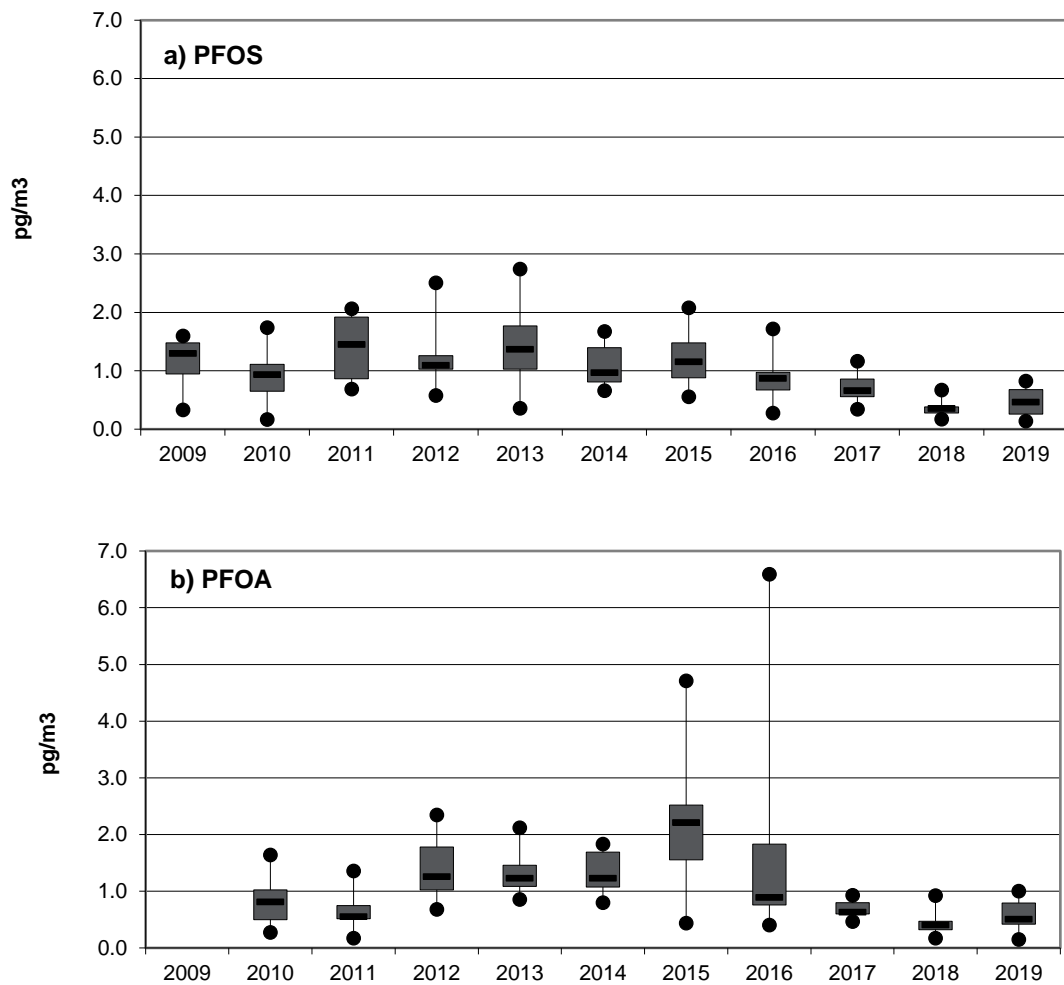


Figur 6-20 Halten "nya" flamskyddsmedel i luft, Råö, Pallas (2017 – 2019), Aspvreten (2017) och Norunda (2018-2019). Mätningarna startade andra halvåret 2017.

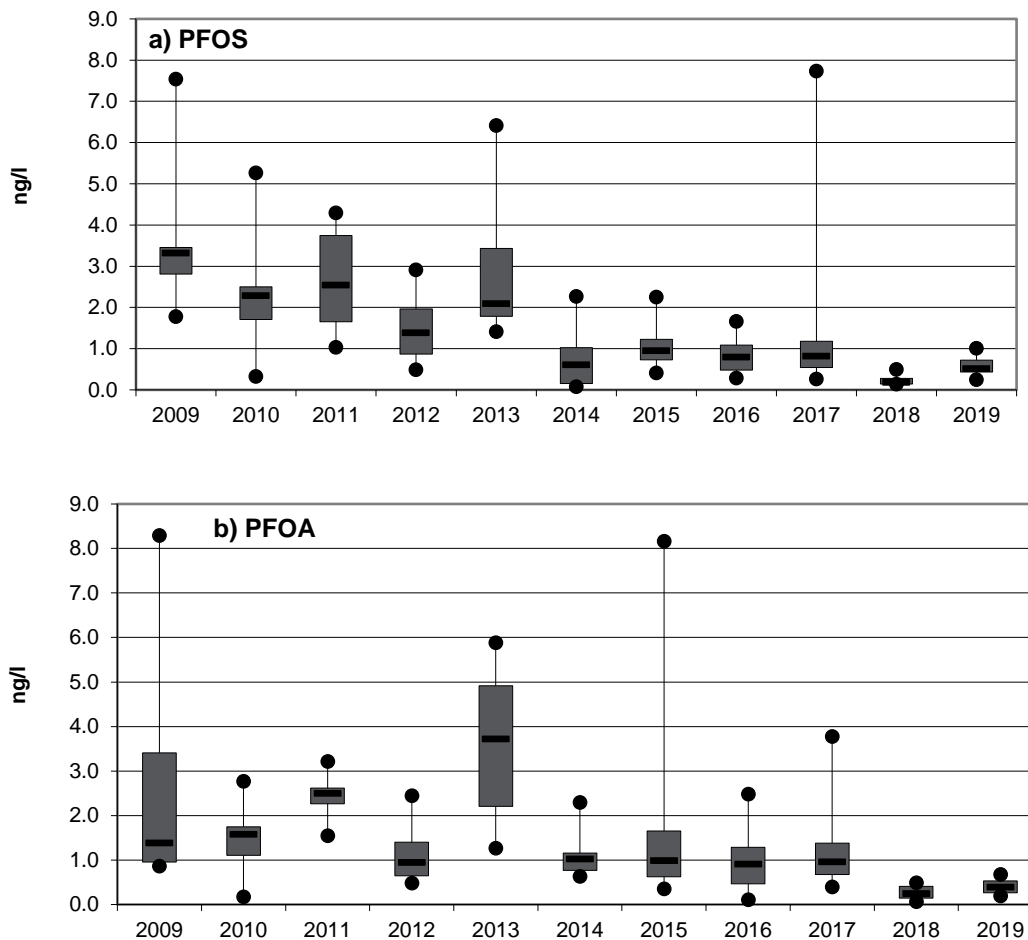
6.1.4. Per- och polyfluorerade ämnen (PFAS)

Mätningar i luft och nederbörd av två per- och polyfluorerade ämnen, perfluoroktansulfonat (PFOS) och perfluoroktansyra (PFOA), vid Råö startade i juli 2009. Halterna av PFOS och PFOA vid Råö för åren 2009-2019 i luft visas i Figur 6-21 och i nederbörd i Figur 6-22. Årsmedelhalten för PFOS i luft 2009-2019 vid Råö varierade mellan 0,35 och 1,4 pg/m³. Motsvarande variation för årsmedelhalt av PFOA i luft var 0,43-2,1 pg/m³. Någon tydlig trend av PFOS och PFOA i luft indikeras inte. De högsta årsmedelhalterna av PFOS uppmättes 2011 och 2013, medan de högsta PFOA-halterna förekom 2015 och 2016.

Årsmedelhalten av PFOS i nederbörden vid Råö 2009-2019 varierade mellan 0,58 och 3,7 ng/l och PFOA varierade mellan 39 och 3,6 ng/l. Halterna av både PFOS och PFOA har vanligen varit lägre under de senaste åren.



Figur 6-21 Halten av a) PFOS och b) PFOA i luft vid Råö (pg/m³) från 2009 till 2019. Resultaten redovisas som "box whisker plots", där boxens övre och undre gränser representerar 25- och 75-percentilen, linjen inne i boxen representerar medianvärdet och svarta punkter representerar min- och maxvärdena.



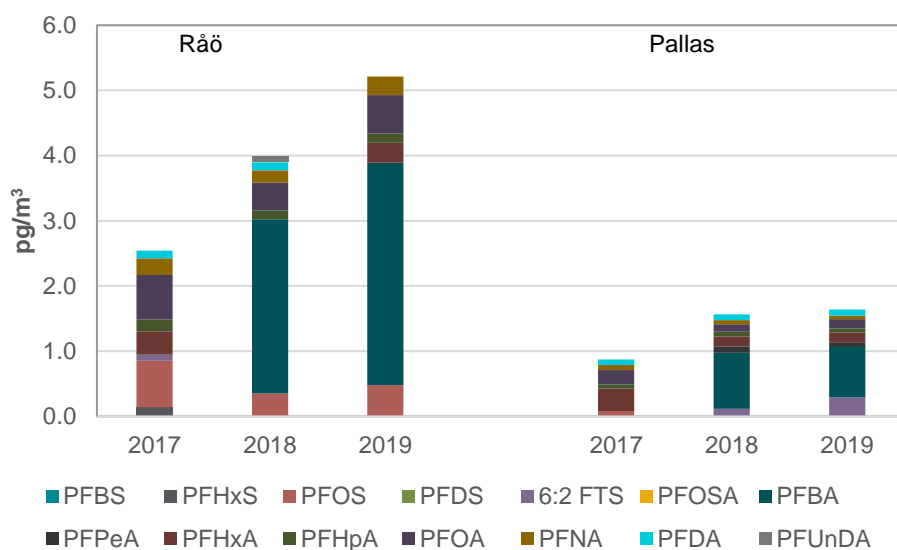
Figur 6-22 Halten av a) PFOS och b) PFOA i nederbörd (ng/l) vid Råö från 2009 till 2019. Resultaten redovisas som "box whisker plots", där boxens övre och undre gränser representerar 25- och 75-percentilen, linjen inne i boxen representerar medianvärdet och svarta punkter representerar min- och maxvärdena.

Från juli 2017 utökades mätprogrammet med fler fluorerade ämnen och fler stationer. Luftmätningarna utökades då med en station, Pallas, och nederbördsmätningarna med två stationer, Pallas och Norunda. I proverna från Råö inkluderades de nya substanserna redan från januari 2017. I och med införandet av fler substanser och fler stationer kan förekomst och trender bevakas på ett bättre sätt. Antalet PFAS utökades till att omfatta 14 substanser (PFAS₁₄).

Halten av de PFAS₁₄ i luft från Råö och Pallas visas i Figur 6-23 och i nederbörd från Råö, Pallas och Norunda i Figur 6-24.

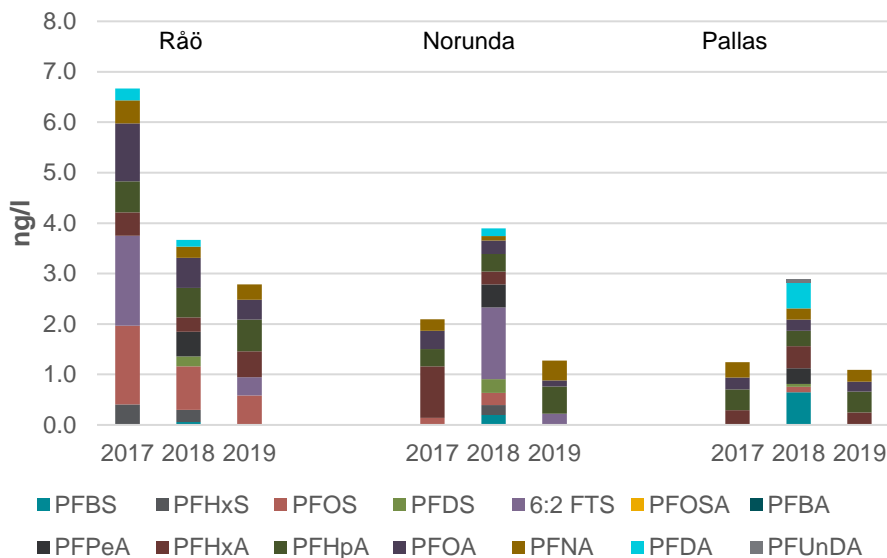
Mätresultaten från 2017-2019 visar att PFAS-koncentrationen i luft är högre i södra Sverige (Råö) jämfört med norra Finland (Pallas). Årsmedelhalten av PFAS₁₄ 2017-2019 vid Råö varierade mellan 2,5 till 5,2 pg/m³ och vid Pallas mellan 0,9 till 1,6 pg/m³. Det dominerande ämnet under 2018 och 2019 mätt vid både Råö och Pallas var PFBA, som utgjorde respektive 65-67% och 47-55% av totala halten av PFAS₁₄. Höga koncentrationer av PFBA har också uppmäts i Arktis på flertalet stationer (Muir et al., 2019) och förklaringen författarna angav var att PFBA troligtvis har flertalet gasfaskällor till luft, som till exempel att HFC-329, HFE-7100 och HFC-7200, ersättningskemikalier till ozonnedbrytande CFC:er, i luft degraderas till PFBA.

Även halten PFOS och PFOA i luft var högre vid Råö (från 0,35-0,71 och 0,43-0,68 pg/m³) jämfört med Pallas (från <0,05-0,081 och 0,12-0,22 pg/m³). Summan av PFOS och PFOA vid Råö och Pallas motsvarade som mest ca 50 respektive 35 procent av summan PFAS₁₄.



Figur 6-23 Årsmedelhalten av PFAS i luft vid Råö och Pallas 2017-2019. Mätningarna vid Pallas startade juli 2017.

De halter av PFAS (PFOS och PFOA) i nederbörd som under tidigare år har uppmätts vid Råö har varit höga, vilket kan förklaras med det havsnära läget och påverkan av "sea spray". Detta var en av anledningarna till införandet av mätningar vid Norunda och Pallas. Vid de två nya stationerna uppmättes 2017 och 2019 lägre halter PFAS än vid Råö, medan halterna 2018 var ungefär i samma storleksordning vid alla stationerna. Årsmedelhalten PFAS i nederbörd på Råö varierade mellan 2,8-6,7 ng/l, 1,3-3,9 ng/l vid Norunda och 1,1-2,9 ng/l vid Pallas. Summan av PFOS och PFOA på Råö utgjorde cirka 40 % av summan PFAS₁₄, medan motsvarande andel vid Norunda respektive Pallas var ca 10 - 20%. PFOS kunde dock inte bestämmas i nederbördsproverna från Pallas 2017 och 2019 samt Norunda 2019, eftersom halterna var låga och under rapporteringsgränsen för analysen.



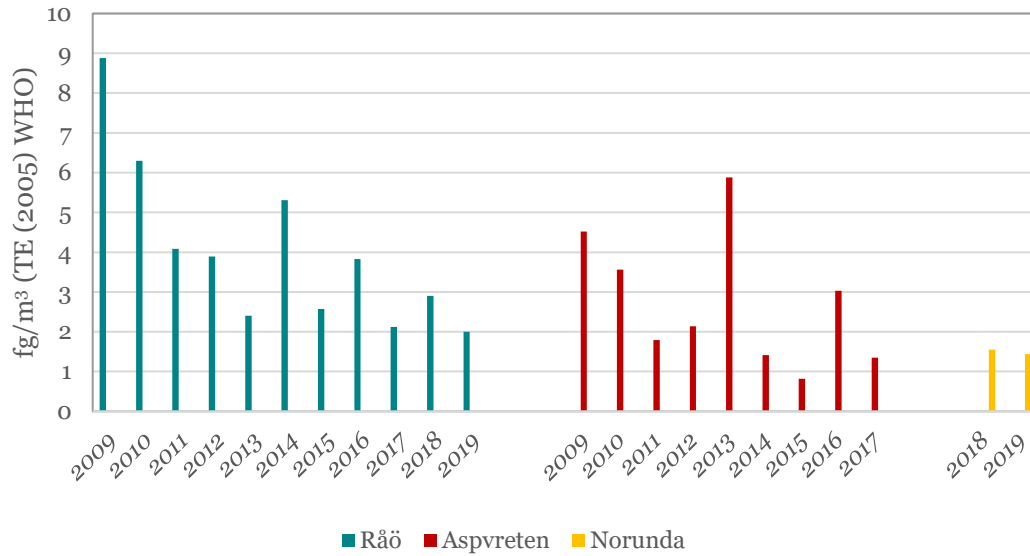
Figur 6-24 Årsmedelhalten av PFAS i nederbörd vid Råö, Norunda och Pallas 2017-2019. Mätningarna vid Norunda och Pallas startade juli 2017.

Högfluorerade ämnen, såsom perfluorooktansulfonat (PFOS) och perfluorooktansyra (PFOA), är persistenta, bioackumulerande och toxiska föroreningar med global spridning. Trots att långkedjiga PFAS, däribland PFOS och PFOA, inte längre tillverkas eller används i Europa så fortsätter de att läcka ut i miljön från sekundära källor. PFOS och dess salter, PFOA samt PFOA-relaterade ämnen är listade under Stockholmskonventionen.

6.1.5. Polyklorerade dibensodioxiner och furaner (PCDD/PCDF)

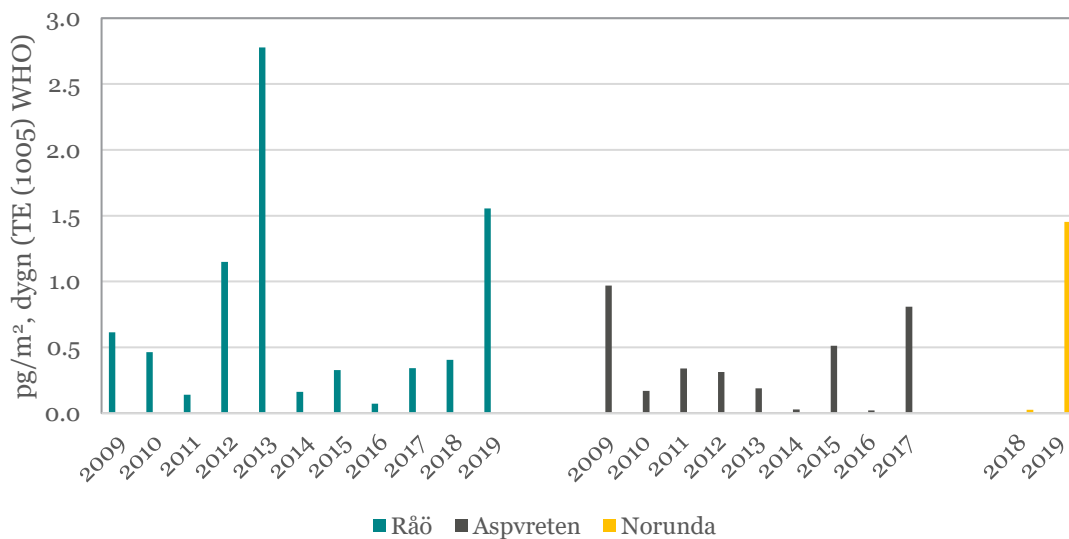
Polyklorerade dibensodioxiner och furaner (PCDD/PCDF) mäts sedan 2009 i luft- och deposition vid Råö, Aspvreten (t.o.m. 2017) och Norunda (fr.o.m. 2018) under fyra månader jämnt spridda över året. Resultaten från dessa mätningar presenteras i Figur 6-25.

Baserat på fyra mätningar per år varierade årsmedelhalten av summan PCDD/PCDF på Råö för perioden 2009-2019 mellan 2,0 till 8,9 fg TEQ/m³ (WHO TEQ 2005). Halterna var generellt lägre under sommaren. Vid Aspvreten och Norunda uppmättes vid de flesta tillfällen lägre halter jämfört med vid Råö. Årsmedelhalten var 0,82-5,9 fg TEQ/m³ vid Aspvreten och 1,4-1,5 fg TEQ/m³ vid Norunda.



Figur 6-25 Summa polyklorerade dibensodioxiner och furaner i luft vid Råö (2009-2019), Aspvreten (2009-2017) och Norunda (2018-2019), halterna är angivna i fg TEQ/m³, lower limit (WHO TEQ 2005).

Deposition av summan PCDD/PCDF vid Råö, Aspvreten och Norunda presenteras i Figur 6-26. Baserat på fyra mätningar per år varierade depositionen av summa PCDD/PCDF mellan 0,7 och 2,8 pg TEQ/m², dygn vid Råö, 0,006 till 0,97 pg TEQ/m², dygn vid Aspvreten och 0,026 och 1,4 pg TEQ/m², dygn vid Norunda (2018-2019).



Figur 6-26 Dygnsmedeldeposition av polyklorerade dibensodioxiner och furaner (summa PCDD/PCDF) vid Råö (2009-2019), Aspvreten (2009-2017) och Norunda (2018-2019), fluxerna är angivna i pg TEQ/m², dygn, lower limit (WHO TEQ 2005).

Dioxiner kan bildas oavsiktligen vid förbränning i närvaron av klor. De har också naturliga källor vid vulkanutbrott och skogsbränder. PCDD/PCDF inkluderades i Annex C (reducering av oavsiktliga utsläpp) i Stockholmskonventionen 2004 (Stockholm Convention, 2008).

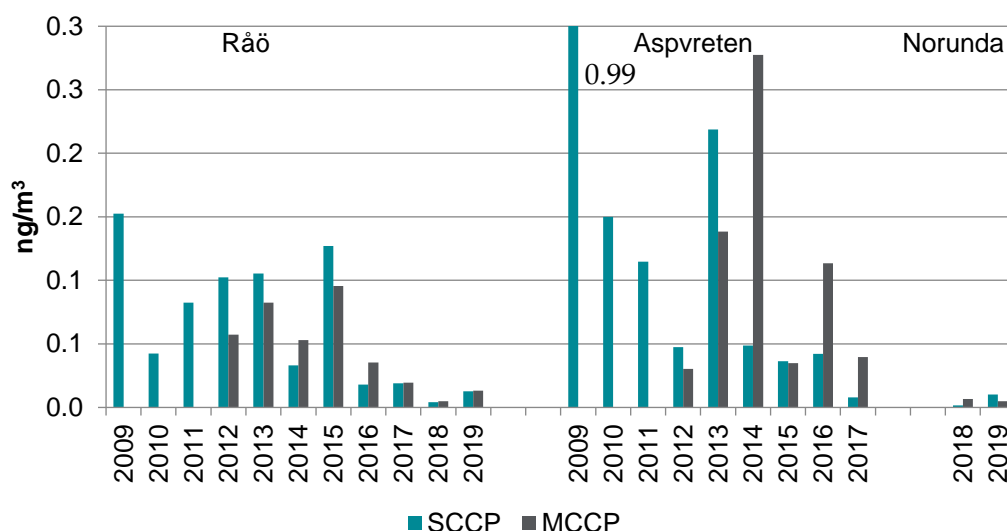
Lufthalterna av dioxiner vid Råö var 2016-2019 i samma storleksordning som vid tidigare mätningar på Råö (2004-2005) (Palm Cousins m.fl., 2006).

Med undantag för september 2013 vid Råö och juni 2019 vid Norunda, har den högsta depositionen vid båda stationerna uppmätts under vintermånader. De observerade årstidsvariationer förklaras med att dioxiner bildas vid förbränningsprocesser. De avvikande värdena beror på två höga enskilda komponenter, (2378-TCDD och 12378-PeCDD), vilket inte kan förklaras.

6.1.6. Klorparaffiner

Kortkedjiga klorparaffiner, C10-13 (SCCP), mäts sedan 2009 i luft- och deposition vid Råö och Aspvreten/Norunda, under fyra månader jämnt spridda över året. Mediumkedjiga klorparaffiner, C14-17 (MCCP) inkluderades i programmet 2012.

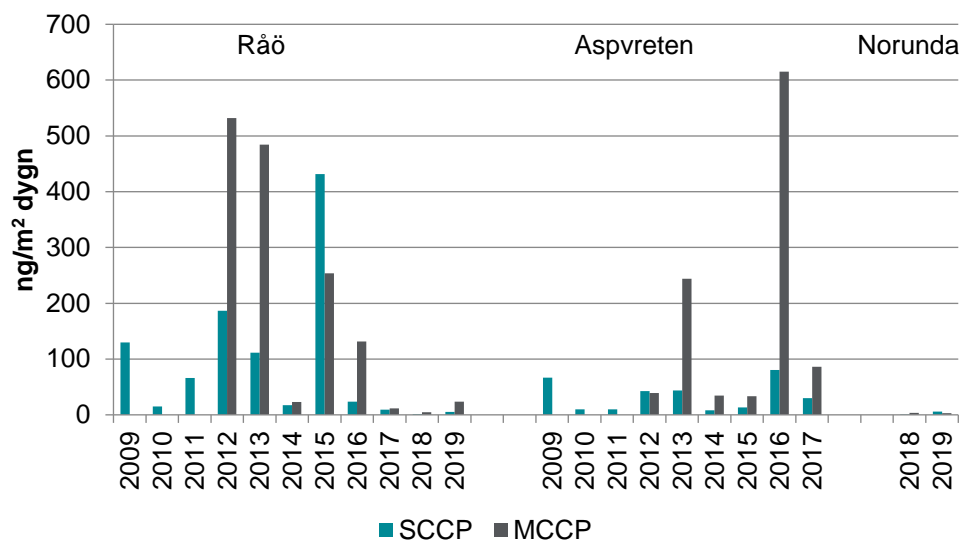
Årsmedelhalterna, baserat på fyra prover per år, av SCCP och MCCP i luft vid Råö, Aspvreten och Norunda presenteras i Figur 6-27. Halten SCCP (2009 - 2019) varierade mellan 0,001-0,15 ng/m³ på Råö och mellan 0,01-0,99 ng/m³ vid Aspvreten (2009-2017) samt 0,002-0,01 ng/m³ vid Norunda (2018-2019). MCCP-koncentrationen varierade under 2012-2019 mellan 0,005-0,96 ng/m³ vid Råö och 0,030-0,28 ng/m³ vid Aspvreten (2009-2017) och 0,005-0,007 ng/m³ vid Norunda (2018-2019). Under första året av mätningar inträffade ett par tillfällen med högre SCCP-halter vid Aspvreten.



Figur 6-27 Årsmedelhalten av SCCP och MCCP (ng/m³) i luft vid Råö (2009-2019), Aspvreten (2009-2017) och Norunda (2018-2019). Årsmedelvärdena baseras på fyra prover per år. Observera att värdet för SCCP 2009 i figuren är kapad pga. skalan (0,99 ng/m³).

Depositionen, baserat på fyra mätningar per år, av SCCP och MCCP för mätningarna mellan 2009 (2012) och 2019 presenteras i Figur 6-28. Depositionen av SCCP som årsmedel baserat på fyra mätningar per år, varierade mellan 1,1 och 430 ng/m², dygn vid Råö, mellan 7,9 och 81 ng/m², dygn vid Aspvreten och mellan 0,68 och 5,6 ng/m², dygn vid Norunda. Depositionen av MCCP som årsmedel, baserat på fyra mätningar per år (2012-2019), var 4,6 - 530 ng/m², dygn vid Råö, 34 - 615 ng/m², dygn vid Aspvreten (2009-2017) samt 3 - 3,6 ng/m², dygn vid Norunda (2018-2019). Den största depositionen av SCCP uppmättes i december 2015 vid Råö.

SCCP har producerats sedan 1930-talet och har använts som industrikemikalie i ett stort antal applikationer, till exempel som flamskyddsmedel och som tillsatsmedel i plaster. De reglerades i Stockholmskonventionen först 2017. MCCP har liknande användningsområden som SCCP, och det viktigaste är som en extender i PVC-plast. MCCP är inte reglerade i Stockholmskonventionen. Inga trender för klorparaffiner har hittills observerats varken vid Råö eller Aspvreten/Norunda.



Figur 6-28 SCCP och MSCP i deposition vid Råö, Aspvreten och Norunda 2009-2019.

7. Pesticider i luft och nederbörd

Tabell 7-1 Pesticider i nederbörd

Parametrar	<p>Pesticider i luft och nederbörd.</p> <p><i>Luft:</i> 116 (filter) och 104 (PUF) olika pesticider, vilka både avspeglar historisk och nutida användning, varav en del är förbjudna inom Sverige och därmed avspeglar långväga transport.</p> <p><i>Nederbörd:</i> 157 olika pesticider, vilka både avspeglar historisk och nutida användning, varav en del är förbjudna inom Sverige och därmed avspeglar långväga transport.</p>
Stationer	<p><i>Luft:</i> Vavihill (2009-2016), Hallahus (2017-)</p> <p><i>Nederbörd:</i> Vavihill (2002-2016), Hallahus (2017-) Aspvreten (2009-2016), Norunda (2017-)</p>
Mätfrekvens	<p><i>Luft:</i> apr-okt, 1-4 prov/månad</p> <p><i>Nederbörd:</i> apr-okt, ca 2 prov/mån</p>
Kravställare	Förordning EG 1107/2009 (godkännande av växtskyddsmedel) och direktiv 2009/128/EG (uthållig användning av växtskyddsmedel), samt EMEP, LRTAP för vissa substanser (legacy POP:s).
Lagringsplats	I en Access-databas på Institutionen för vatten och miljö, SLU, samt hos datavärden (Jordbruksmark) på Institutionen för mark och miljö, SLU.
Om delprogrammet på Naturvårdsverkets webbplats	www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Miljoovervakning/Miljoovervakning/Programomrade-Luft/Delprogram---Pesticider-i-luft-och-nederbord/
Mer information	

Växtskyddsmedel (pesticider) ingår i begreppet bekämpningsmedel och är en grupp kemiska substanser som främst används för att skydda grödor från olika typer av angrepp, exempelvis av svampar och insekter, och för att hålla undan konkurrerande vegetation (ogräs). Jordbruket står för den största användningen av dessa substanser, men även inom den produktionsinriktade trädgårdsodlingen är användningen omfattande. Användningen sker under större delen av odlingssäsongen, och avdunstning från mark och gröda kan leda till betydande förluster till atmosfären. Aktiva substanser i växtskyddsmedel bedöms gemensamt inom EU och regleras numera genom förordningen 1107/2009.

Godkännandeprocessen innebär en riskbedömning av substanserna, vilken bland annat inkluderar en bedömning av hur långlivad substansen är i atmosfären och därmed risken för långdistansspridning. Detta arbete bygger i stor utsträckning på modeller, varför det föreligger ett behov av underlag som visar hur substanserna uppträder i naturen. Arbetet under det senaste årtiondet har lett till att flera växtskyddsmedel med kända negativa effekter i miljön numera är förbjudna inom EU. Några av dessa är atrazin, endosulfan och lindan, vilka tidigare har använts i stor omfattning och varit vanligt

förekommande i atmosfärisk deposition inom exempelvis de nordiska länderna, men förbuden gör att depositionen nu klingar av.

Det finns fortfarande uppskattningsvis cirka 400 olika aktiva substanser registrerade som växtskyddsmedel inom EU, och det godkänns även kontinuerligt nya substanser. Dessa substanser har generellt sett bättre egenskaper vad gäller både hälsa och miljö än tidigare generationer av växtskyddsmedel. Det finns emellertid substanser som fortfarande är godkända trots att de till exempel är både endokrinstörande och persistenta i mark och vatten, eller med en beräknad halveringstid i luft på närmare 2 dygn. Det är därför angeläget att kontinuerligt följa utvecklingen när det gäller potentiellt hälso- och miljöfarliga växtskyddsmedel som deponeras över Sverige.

Nuvarande övervakningsprogram för växtskyddsmedel (Delprogram Pesticider i luft och nederbörd) inleddes 2002 med insamling av nederbörd vid en station i södra Sverige (Vavihill, från och med 2017 Hallahus). Delprogrammet utvidgades 2009 och inkluderar numera även luftprovtagning av växtskyddsmedel (vid Vavihill/Hallahus) samt en nordligare station med nederbördsprovtagning (Aspvreten, följt av Norunda från 2017). Både de tidigare och de nya stationerna är samlokaliserade med IVL:s stationer. Undersökningens utformning och analysprogrammets omfattning redovisas i Bilaga 2.

Syftet med miljöövervakningsprogrammet är att:

- studera innehåll av växtskyddsmedel i luft och nederbörd samt följa förändringar i sammansättning och halter över tiden,
- ge underlag för bedömningar av atmosfärisk deposition av växtskyddsmedel i Sverige,
- ge underlag till nationellt och internationellt arbete kring riskminskning vid användning av växtskyddsmedel samt uppföljning av utförda åtgärder,
- komplettera mätningar i ytvatten för att studera varifrån belastningen härrör, som underlag för myndigheternas arbete med påverkansanalys.

7.1. Resultat Pesticider i luft och nederbörd

Utöver den ordinarie provtagningen (april – oktober) genomfördes luft- och nederbördsprovtagning även under vintrarna 2017/2018 och 2018/2019 (dvs provtagning året runt) vid Hallahus. Detta gjordes för att undersöka förekomsten av växtskyddsmedel i luft och nederbörd även under den del av året då normalt endast begränsad användning av växtskyddsmedel sker. Vinterprovtagning av nederbörd har gjorts vid ett tidigare tillfälle (2008/2009), medan detta var första gången vinterprovtagning av luft gjordes. Resultaten från vinterprovtagningen 2017/2018 redovisades i Fredricsson m.fl. (2018), för data fram till 2017, medan vinterkampanjen för 2018/2019 redovisas i denna rapport.

Under provtagningssäsongen 2019 analyserades för första gången glyfosat och dess nedbrytningsprodukt AMPA i luft och nederbördsprover, inom ramen för ett specialprojekt finansierat av Naturvårdsverket. Glyfosat används främst innan sådd (cirka april), när vallen bryts i juni eller juli, efter skörd (cirka augusti) samt sent på hösten när grön mark bryts (cirka oktober). Prover från dessa perioder valdes ut så att totalt 14 nederbördsprover och 10 luftprover (filter) från Hallahus samt 10 nederbördsprover från Norunda analyserades för glyfosat och AMPA. Bakgrunden till detta är de senaste årens diskussion om hälsoriskerna med glyfosat samt att substansen har mycket stor och utbredd användning, vilket gör att det finns intresse av att se hur substansen sprids med luft och via deposition. Glyfosat har obefintligt ångtryck och spridning via luft sker via vindavdrift vid besprutningstillfället, via bindning till luftspridda partiklar, medan AMPA, som bildas i jord, endast sprids till luften via vinderosion.

7.1.1. Pesticider i nederbörd

Sedan nederbördsprovtagningen påbörjades i Vavihill (följt av Hallahus) har substanser generellt påträffats i halter i spannet 0,001-0,1 µg/l. Undantaget är främst prosulfokarb som påträffats i halter över 1 µg/l under alla år och då alltid under senhösten. Under 2019 var prosulfokarb också den enskilda substans som uppmätts i högst halt (med 5,9 µg/l, Tabell 7-1) i nederbörd sedan starten 2002 i Vavihill/Hallahus. Vid Aspvreten/Norunda, som ligger längre norrut, har de uppmätta halterna i nederbördsprover sedan starten 2009 genomgående varit lägre, jämfört med Vavihill/Hallahus. Den högsta uppmätta halten av en enskild substans i Norunda under sommaren 2019 stod den förbjudna substansen terbutylazin för med 0,33 µg/l.

Förutom generellt högre halter i nederbördsproverna från Vavihill/Hallahus påträffas också fler substanser, totalt 110 olika substanser jämfört med 61 i Aspvreten/Norunda, av de totalt cirka 160 substanser som analyserats under hela eller delar av perioden 2002-2019 (se Bilaga 2 för översikt av substanser som analyseras). Skillnader mellan de två provplatserna återspeglar främst att Aspvreten/Norunda ligger på större avstånd från områden med mer intensiv användning av växtskyddsmedel, både i Sverige och på kontinenten, jämfört med Vavihill/Hallahus.

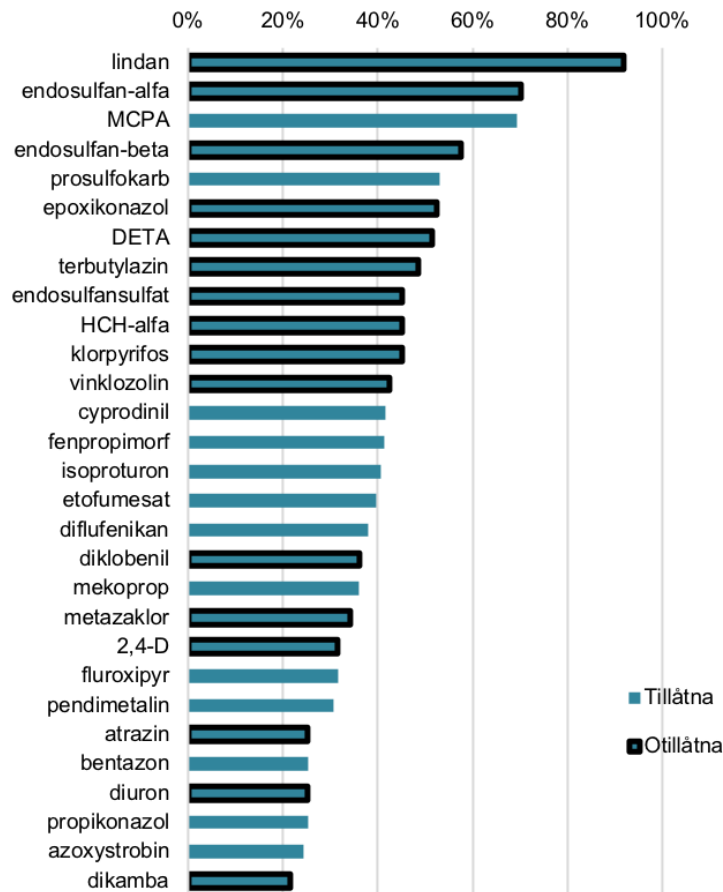
Eftersom nederbördsprovtagningen pågått i 18 år i Vavihill/Hallahus har figurerna över fyndfrekvens delats upp i två tidsperioder, 2002-2009 (Figur 7-1) samt 2010-2019 (Figur 7-2), för att kunna se förändringar. Generellt ses att en betydande andel av de fynd som gjorts i nederbördsprover från Vavihill/Hallahus utgörs av växtskyddsmedel som har varit förbjudna för användning i Sverige under hela eller större delen av den undersökta perioden. Under de första åtta åren (2002-2009) återfanns 29 substanser i fler än 20 % av proverna från Vavihill, varav 16 av dessa var förbjudna under hela eller huvuddelen av perioden (Figur 7-1). Under de senaste tio åren (2010-2019) påträffades 26 substanser i fler än 20 % av proverna, varav 11 av dessa var förbjudna under hela eller huvuddelen av perioden (Figur 7-2). I nederbördsprover från Aspvreten/Norunda är det 8 substanser som påträffats i fler än 20 % av proverna, varav 5 av dessa var förbjudna under hela eller huvuddelen av perioden 2009-2019 (Figur 7-3).

Prosulfokarb är den tillåtna substans som påträffats flest gånger (68 %) i nederbördsproverna under perioden 2010-2019 från Vavihill/Hallahus (Figur 7-2). Detta är en tydlig uppgång från perioden innan (Figur 7-1). Däremot har MCPA, som var den mest påträffade tillåtna substans under 2002-2009, minskat under perioden 2010-2019. På stationen Aspvreten/Norunda är fungiciden propamokarb den vanligast påträffade substansen (45 %) som är tillåten (Figur 7-3).

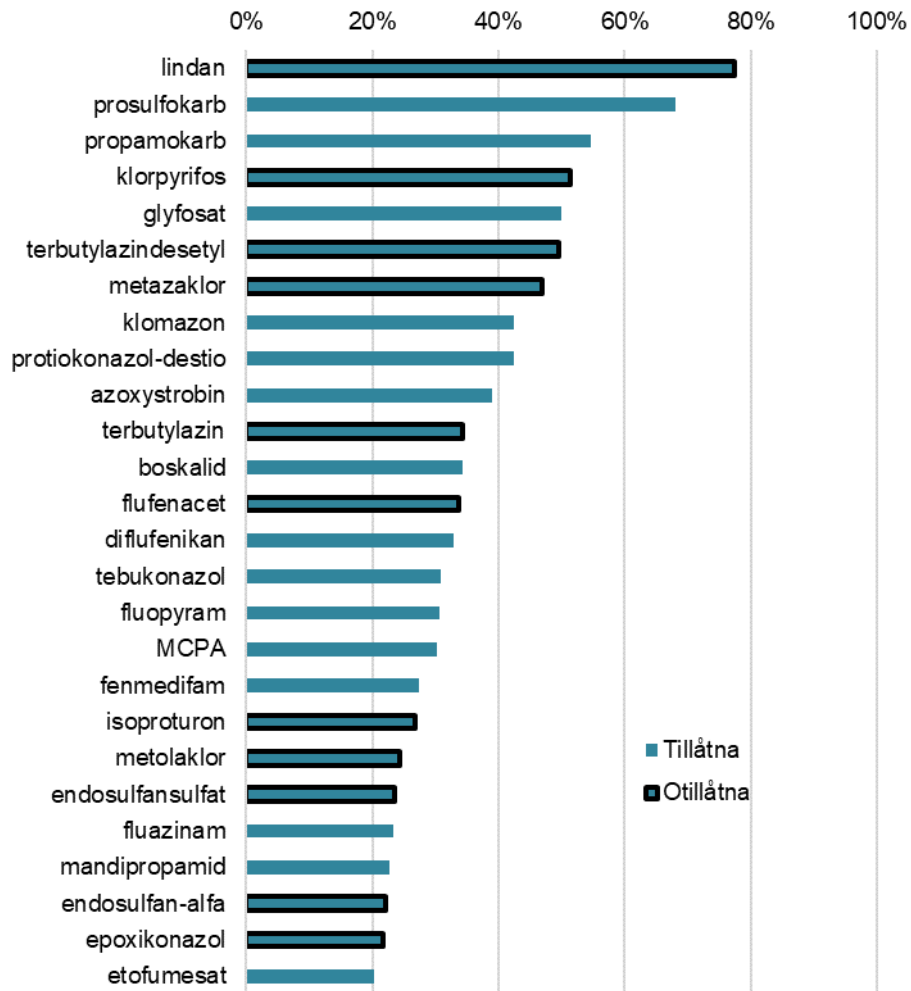
I de 14 nederbördsprover från sommaren 2019 som analyserades för den tillåtna substansen glyfosat och dess nedbrytningsprodukt AMPA påträffades glyfosat i 7 av nederbördsproverna, främst i spårhalter mellan 0,009 och 0,023 µg/l och en halt på 0,33 µg/l, men ingen AMPA. Som jämförelse kan nämnas att det under sommaren 2019 i Skånes typområde (där främst ytvattenprovtagning pågår) påträffades som högst en halt av glyfosat på 3,4 µg/l i ytvatten. I de 10 nederbördsproverna från Norunda påträffades inga halter av vare sig glyfosat eller AMPA.

Den substans som oftast påträffats på båda stationerna, och i Vavihill/Hallahus under båda tidsperioderna, är lindan (γ -HCH). Detta trots att den varit förbjuden som växtskyddsmedel i Sverige i drygt 25 år och inom EU i drygt 15 år. Halten av lindan har som mest varit 0,008 µg/l nederbörd från Vavihill, vilket är lägre än till exempel riktvärdet för ytvatten (0,02 µg/l; som anger högsta halten av en substans då inga skador på akvatisk miljö kan förväntas). Dock är fyndfrekvensen för lindan lägre under den senare perioden (2010-2019) jämfört med tidigare (2002-2009), vilket tyder på att substansen håller på att minska i luften.

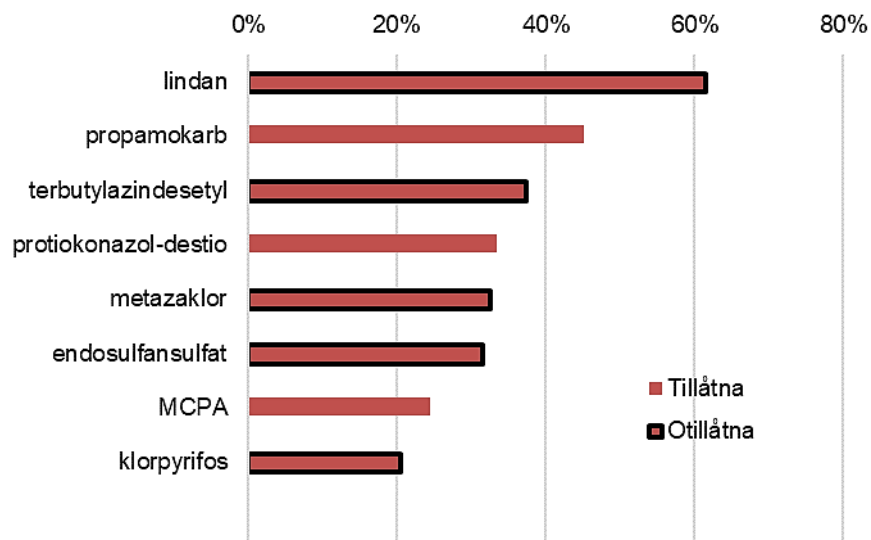
Halterna av vissa förbjudna substanser, till exempel atrazin, uppvisar en tydligt avtagande trend till följd av att de förbjudits inom EU. Samtidigt visar resultaten att en betydande andel av de substanser som påträffas i depositionen är förbjudna i Sverige, och i vissa fall inom EU, vilket visar på en fortsatt gränsöverskridande atmosfärisk transport av växtskyddsmedel från kontinenten, eller möjligtvis ännu mer långväga.



Figur 7-1 Fyndfrekvens (andel prov med fynd) för de vanligast förekommande pesticiderna i nederbörd april – oktober från Vavihill 2002-2009 (ex. lindan har återfunnits i 92 % av nederbördsproverna). Staplar med svart ram anger de substanser, inklusive nedbrytningsprodukter till vissa av dessa, som inte varit tillåtna att användas inom jordbruket i Sverige under hela eller huvuddelen av tidsperioden.



Figur 7-2 Fyndfrekvens (andel prov med fynd) för de vanligast förekommande pesticiderna i nederbörd april – oktober 2010-2019 från Vavihill/Hallahus. Staplar med svart ram anger de substanser, inklusive nedbrytningsprodukter till vissa av dessa, som inte varit tillåtna att användas inom jordbruket i Sverige under hela eller huvuddelen av tidsperioden.

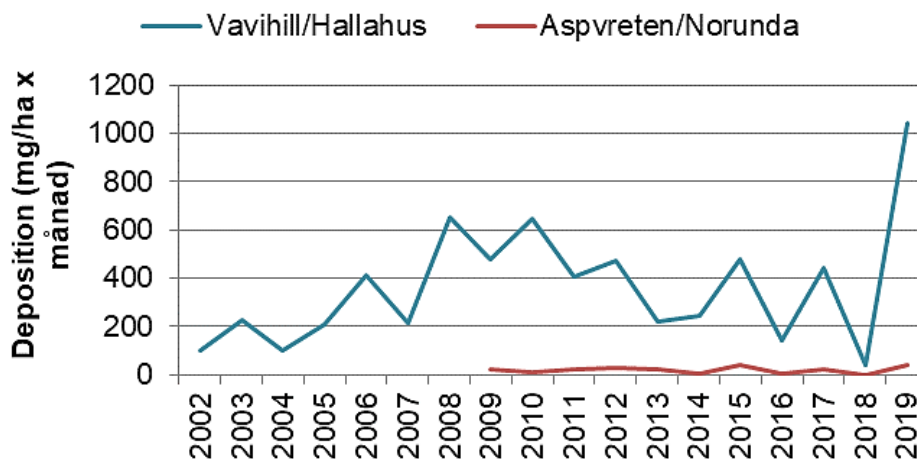


Figur 7-3 Fyndfrekvens (andel prov med fynd) för de vanligast förekommande pesticiderna i nederbörd 2009-2019 från Aspvreten/Norunda. Staplar med svart ram anger de substanser, inklusive nedbrytningsprodukter till vissa av dessa, som inte varit tillåtna att användas inom jordbruket i Sverige under hela eller huvuddelen av tidsperioden.

7.1.2. Pesticider i deposition

Den sammanlagda depositionen via nederbörden vid Vavihill/Hallahus har under perioden 2002-2017 varierat mellan 100 och 650 mg per ha och månad (motsvarande 10-65 µg per m² och månad), räknat som månadsmedel för maj, juni och oktober (Figur 7-4), d.v.s. under de månader som har provtagits kontinuerligt sedan 2002. Både år 2018 och 2019 avviker från det mönstret. Under 2018 var depositionen vid Hallahus lägst någonsin, med 40 mg per ha och månad. Detta beror på den rekordtorra sommaren 2018, då det knappt föll något regn. Under hela året 2018 föll 620 mm vid Hallahus, medan det under 2017 föll 1040 mm. Under den period då prover samlades in (maj-oktober) föll 304 mm vid Hallahus 2018 jämfört med 670 mm 2017. År 2019 avvek genom att uppvisa den högsta depositionen som uppmätts under alla år i Vavihill/Hallahus, med 1044 mg per ha och månad. Under 2019 föll 1138 mm nederbörd under hela året, varav 607 mm under provtagningsperioden maj-oktober, vilket liknar år 2017 mer än 2018. Detta sammanföll dessutom med förhöjda halter av prosulfokarb under oktober, vilket påverkar den totala depositionen.

Aspvreten/Norunda har haft betydligt lägre deposition, mellan 0,8 och 41 mg per ha och månad, under 2009-2019 jämfört med Vavihill/Hallahus. Även vid Norunda var depositionen låg under 2018 års torra sommar, med 0,8 mg per ha och månad.



Figur 7-4 Genomsnittlig månadsdeposition för maj, juni och oktober för Vavihill/Hallahus, Skåne, 2002-2019 och maj, juni, september för Aspvreten, Södermanland/Norunda, Uppland, 2009-2019.

7.1.3. Pesticider i luft

Resultaten från luftprovtagningen i adsorbenten, PUF, (2009-2019) vid Vavihill/Hallahus visar att många av de pesticider som detekteras i nederbörden även återfinns i luften (Figur 7-5). Totalt har mellan 15 och 60 enskilda substanser detekterats per år. Av de 28 substanser som påträffats i fler än 25 % av proverna är 8 stycken tillåtna för användning inom Sverige. Precis som för nederbördsproverna från Vavihill/Hallahus är det prosulfokarb som har påträffats i högst halt i luftproverna, med den högsta halten uppmätt under 2018 med 75 ng/m³. Prosulfokarb hör till den substans som oftast påträffas i luft (PUF), samt i nederbördsproverna, och under lång tid efter att höstbekämpningen avslutats i mitten av oktober, vilket kan bero på att avdunstningen fortsätter under en tid efter bekämpningstillfället. Halterna är dock oftast högst i slutet av oktober och under november, vilket tyder på ett bidrag från länder i närområdet där substansen har stor användning, i bland annat i Danmark och England, där höstbekämpningarna ofta sker senare än i Sverige.

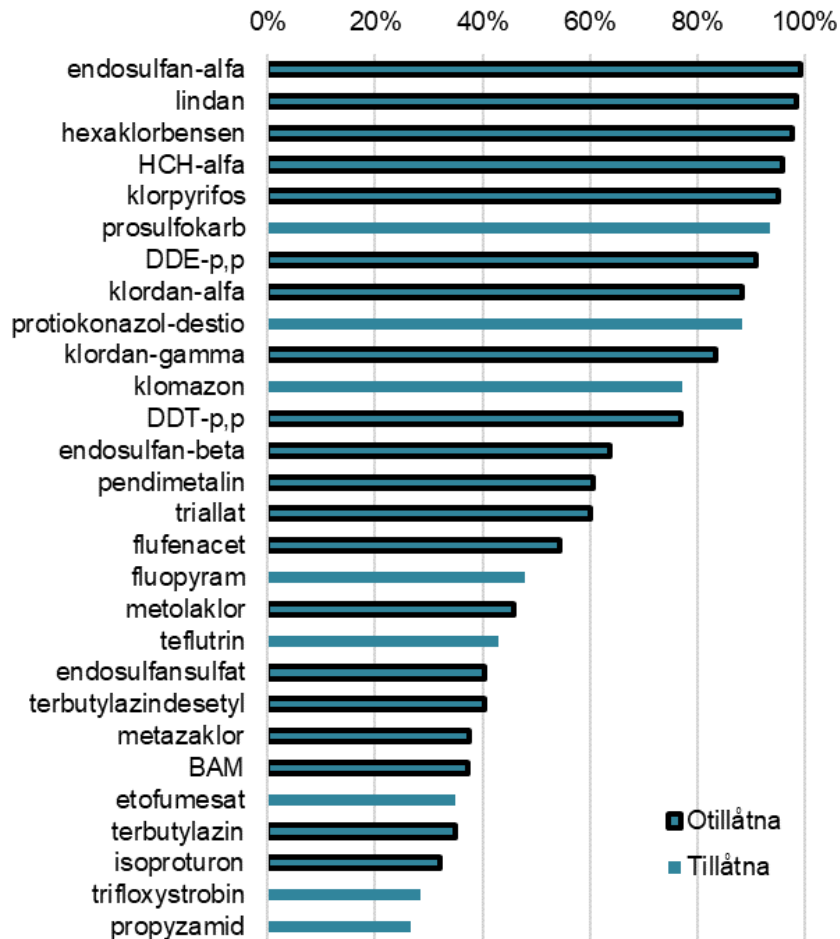
Fördelningen av vilka substanser och hur ofta de påträffas i luft respektive nederbörd är delvis beroende på hur de transporteras i atmosfären, men också i vilka halter de förekommer. Varje luftprov representerar stora volymer luft (ca 3 500 m³ luft som passerar en adsorbent under sju dagars aktivt pumpande), vilket kan bidra till att vissa förbjudna substanser som förekommer i mycket låga halter oftare påträffas i luftproverna jämfört med nederbördsproverna.

Inom ett tidigare specialprojekt genomfördes analyser även av det glasfiberfilter som sitter monterat framför PUF-adsorbenten i samma kassett. Projektet syftade till att studera om det finns bekämpningsmedel som transporteras i luften bundna till partiklar och som därmed fångas upp av filtret innan de når adsorbenten. Resultaten visar att filtret fångar upp en större andel av de substanser som idag är tillåtna för användning, både inom Sverige och EU, än vad som påträffas i PUF-adsorbenten. Detta resulterade i att filteranalyser numera ingår i den ordinarie miljöövervakningen, och resultatet presenteras överskådligt i Figur 7-6.

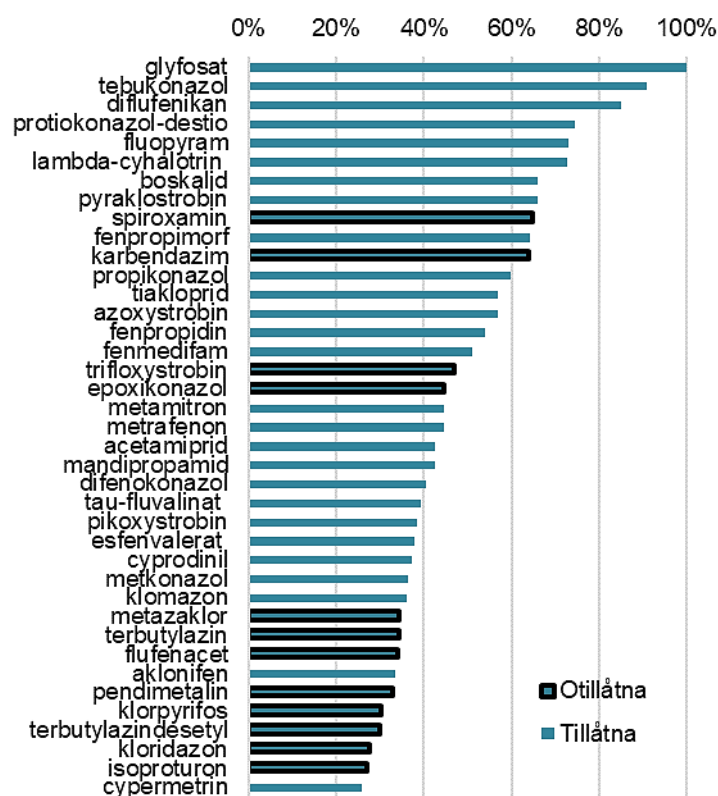
Under 2019 lades glyfosat tillfälligt till i filteranalyserna, som ett sidoprojekt för att undersöka förekomsten av glyfosat i luft och nederbörd. Glyfosat påträffades i samtliga filterprover från 2019, tätt följt av fungiciden tebukonazol som är ny för 2019 och kommer fortsätta analyseras framöver. Den substans som tidigare oftast har påträffats i filterproverna är ogräsmedlet diflufenikan, som återfinns i

84 % av alla prover under perioden 2016-2019, följt av protiokonazol-destio, som är en nedbrytningsprodukt till svampmedlet protiokonazol.

Av de 39 substanser som förekommit i mer än 25 % av filterproverna, är 29 stycken tillåtna för användning i Sverige, vilket stärker bilden av att de bägge provtagningsmatriserna kompletterar varandra när det gäller att spegla förekomsten av växtskyddsmedel i luft.



Figur 7-5 Fyndfrekvens (andel prov med fynd) för de vanligaste förekommande pesticiderna i luftprovets PUF-del, 2009-2019 från Vavihill/Hallahus. Staplar med svart ram anger de substanser, inklusive nedbrytningsprodukter till vissa av dessa, som inte varit tillåtna att användas inom jordbruket i Sverige under större delen av tidsperioden. Endast substanser med fyndfrekvens över 25 % visas. Tillåtna substanser avser godkända substanser i Sverige.



Figur 7-6 Fyndfrekvens (andel prov med fynd) för de vanligaste förekommande pesticiderna i luftprovets filter, 2014-2019 från Vavihill/Hallahus. Staplar med svart ram anger de substanser, inklusive nedbrytningsprodukter till vissa av dessa, som inte varit tillåtna att användas inom jordbruket i Sverige under större delen av tidsperioden. Endast substanser med fyndfrekvens över 25 % visas. Tillåtna substanser avser godkända substanser i Sverige.

7.1.4. Pesticider i vinterprover av luft och nederbörd

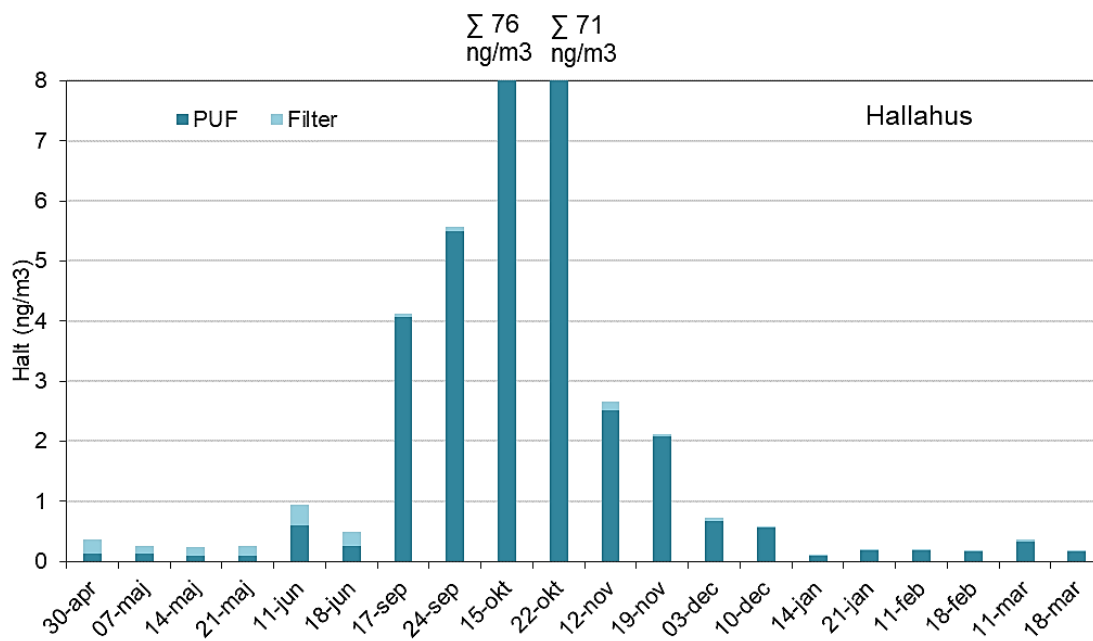
Resultaten från vinterprovtagningsskampanjen i Hallahus 2018/2019 bekräftar bilden från vintern 2017/2018 om att ett stort antal växtskyddsmedel förekommer i nederbörd och luft under hela eller stora delar av vintern, dock i lägre halter än under sommarhalvåret (Tabell 7-2), för luftproverna (PUF) illustrerat i Figur 7-7.

I alla vinterprover (100% fyndfrekvens) av nederbörd påträffades prosulfokarb, vilket också var den substans som påträffades i högst halt, 0,54 µg/l. Prosulfokarb var också vanlig (75 % fyndfrekvens) i luftproverna från vintern 2018/2019, med en högsta halt på 2,2 ng/m³ i ett novemberprov.

Prosulfokarb omfattades av nya användningsvillkor under andra halvan av 2019, för att minska riskerna för just vindavdrift, då den är väldigt flyktig och har påträffats i odlingar av grödor med ätliga delar ovan jord avsedda för humankonsumtion. Tyvärr genomfördes ingen vintermätning 2019/20 som kan visa på om de nya villkoren haft effekt, men möjligen kan vinterprovtagning i framtiden ge svar på detta.

Tabell 7-2 Sammanfattning av fynd från nederbörd och luft under 2018-2019. Antal substanser visar totalt antal substanser som påträffats i ett eller flera prov från respektive matris och område. Högsta sammanlagda halt inkluderar spårhalter.

Område	Antal substanser	Högsta sammanlagda halt i ett enskilt prov ($\mu\text{g/l}$, ng/m^3)	Högsta halt av en enskild substans ($\mu\text{g/l}$, ng/m^3)	
<i>Nederbörd Norunda - ordinarie säsong</i>				
2018	13	0,07	DETA	0,029
2019	28	0,47	DETA	0,33
<i>Nederbörd Hallahus - ordinarie säsong</i>				
2018	44	4,7	prosulfokarb	4,7
2019	55	5,9	prosulfokarb	5,9
<i>Nederbörd – vinter 2018/2019</i>				
Hallahus	21	0,68	prosulfokarb	0,58
<i>Luft – ordinarie säsong 2018</i>				
Hallahus Filter	58	0,36	fluopyram	0,14
Hallahus PUF	41	76	prosulfokarb	75
<i>Luft – vinter 2018/2019</i>				
Hallahus Filter	21	0,14	diflufenikan	0,039
Hallahus PUF	23	2,5	prosulfokarb	2,2
<i>Luft – ordinarie säsong 2019</i>				
Hallahus Filter	56	0,59	fenpropidin	0,31
Hallahus PUF	41	24	prosulfokarb	23



Figur 7-7 Summahalter (ng/m³) av växtskyddsmedel i luftprover (PUF och filter) från Hallahus under ordinarie säsong (april - oktober 2018) och vintersäsong (november 2018 - mars 2019). Angivna halter representerar medelhalten under veckan innan angivet datum. OBS att provtagningen inte är kontinuerlig, varför x-axeln inte är tidskorrekt.

8. Ozonskiktets tjocklek

Tabell 8-1 Ozonskiktets tjocklek

Parametrar	Totalozon
Stationer	Vindeln och Norrköping
Mätfrekvens	1 värde per dag sorteras ut från flera mätvärden per timme dagtid.
Kravställare	Wienkonventionen för skydd av ozonskiktet
Lagringsplats	https://www.smhi.se/klimatdata/meteorologi/ozon , https://woudc.org/home.php , http://rbcce.aemet.es/eubrewnet
Utförare	SMHI
Om delprogrammet på Naturvårdsverkets webbplats	www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Miljoovervakning/Miljoovervakning/Programomrade-Luft/Delprogram---Ozonskiktets-tjocklek/
Mer information	

Syftet med delprogrammet är att följa hur ozonskiktet varierar från dag till dag och hur det utvecklas långsiktigt. Eftersom problemet med uttunning av ozonskiktet är globalt är verksamheten en del av det globala nätet av stationer inom WMO GAW (World Meteorological Organization Global Atmosphere Watch). Mätningarna görs vid två stationer i Sverige: Vindeln och Norrköping. Data skickas sedan varje månad till WOUDC (World Ozone and Ultraviolet Radiation Data Centre). Mätningarna utförs som en följd av Wienkonventionen för skydd av ozonskiktet, men är även intressant som en indikator över förhållandena i stratosfären. De nationella miljökvalitetsmål som främst berörs är *Skyddande ozonskikt* och *Säker strålmiljö* (ultraviolett solstrålning).

Efter den globala nedåtgående trenden i ozonskiktets tjocklek fram till mitten på 1990-talet så har läget stabiliserats. Nedgången har avstannat. Den naturliga variabiliteten i ozonskiktets tjocklek, som både regionalt och globalt påverkas av variationer i atmosfärens cirkulation, tros vara en förklaring till att en statistiskt signifikant återhämtning ännu inte syns i totalozonet.

Det finns två typer av standardinstrument som använts under många år för totalozonmätningar: Dobson och Brewer spektrofotometrar. I Vindeln finns både en Dobson spektrofotometer, som är ett gammalt men robust instrument som sköts manuellt, och en Brewer som är ett automatiskt instrument. Även Brewer spektrofotometrar behöver dock frekvent tillsyn och underhåll. I Norrköping används bara en Brewer spektrofotometer.

Utöver dataleverans till WOUDC ingår de svenska Brewer-stationerna sedan 2017 även i det europeiska nätet av Brewer-stationer, EUBREWNET. EUBREWNET:s databas, samt även en grupp av referensinstrument och kalibreringsverksamhet för totalozonmätningar, drivs av den spanska vädertjänsten AEMET. (Se <http://rbcce.aemet.es/eubrewnet> och <http://rbcce.aemet.es/>.) Förutom att de svenska ozonmätningarna snabbt finns tillgängliga via EUBREWNET:s hemsida bidrar EUBREWNET också till kvalitetsövervakning av de ingående stationerna och är därmed till nytta även för de svenska totalozonmätningarna.

En viktig och omfattande del av verksamheten under senare år har varit och är kunskapsöverföring till yngre personal inför stundande pensionering av nuvarande experter och projektansvarig. Detta gäller både på stationen i Vindeln och i Norrköping.

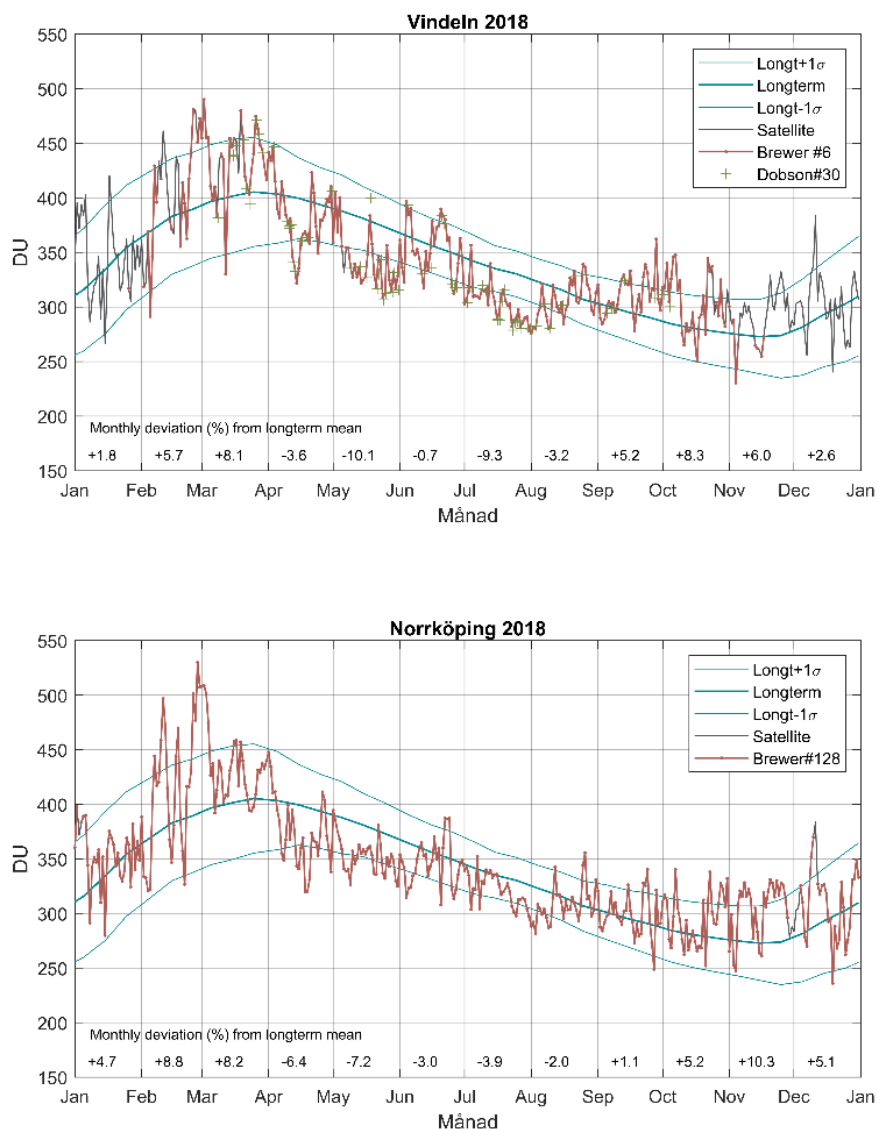
8.1. Resultat Stratosfäriskt ozon

Mängden av ozon i stratosfären över Sverige varierar ofta kraftigt från dag till dag och uppvisar även en tydlig årlig cykel. Dessa variationer beror i huvudsak på storskaliga variationer i hur luften i stratosfären rör sig men även på att kemiska reaktioner både bildar och bryter ner ozon. Överlagrat på detta finns en långsiktig trend som beror på att människans utsläpp av ozonnedbrytande ämnen har påverkat kemin. Efter decennier av förtunning tyder nu globala mätdata på att ozonskiktets tjocklek stabiliserats som en följd av utsläppsminskningar. Mängden och fördelningen av stratosfäriskt ozon, det man ofta kallar ozonlagret, påverkas kraftigt av variationen i atmosfärens cirkulation. Detta visar sig särskilt tydligt på lokal skala, men även globalt är den naturliga variationen betydande.

Enheten för totalozon är DU (dobsonenheter). En dobsonenhet (1 DU) motsvarar det antal ozonmolekyler som behövs i ett luftskikt av enbart ozon som är 0,01 mm tjockt vid temperaturen 0°C och lufttrycket 1013,25 hPa. Ett vanligt värde på totalozonet är 300 DU. Detta motsvarar alltså ett gasskikt av enbart ozon som endast är 3 mm tjockt.

Mätningarna av totalozon för 2018 i Vindeln och i Norrköping visas i Figur 8-1, där de rödaktiga linjerna visar variationen dag för dag (motsvarande figurer för övriga år finns på www.smhi.se). I de fall det inte varit möjligt att mäta, exempelvis under en del av vinterhalvåret i Vindeln, finns satellitdata inlagt (violett linje). För att få en uppfattning hur de dagliga värdena förhåller sig till den normala variationen finns tre mjuka kurvor som visar variationen av totalozonet som observerades i Uppsala åren 1951–1966; dels medelvärde, dels plus respektive minus en standardavvikelse. För varje månad anges den procentuella avvikelsen från medelvärdet.

Under senare delen av vintern och början av våren 2018 så var ozonskiktet relativt tjockt jämfört med det gamla långtidsmedelvärdet. Under den extremt soliga maj, och även väldigt soliga juli, detta år var däremot totalozonet tydligt lägre än normalt. Kombinationen av mycket klart väder och relativt låga ozonnivåer gjorde att UV-strålningen, som bara mäts i Norrköping, var bland de högsta som registrerats för dessa månader. Det blev dock inga nya rekord. På årsbasis var ozonskiktet något tjockare 2018 än 2019. Men tack vare de relativt låga halterna under den soliga våren och sommaren 2018 så blev UV-strålningen både under våren och sommaren, liksom för året som helhet, högre 2018 än 2019.



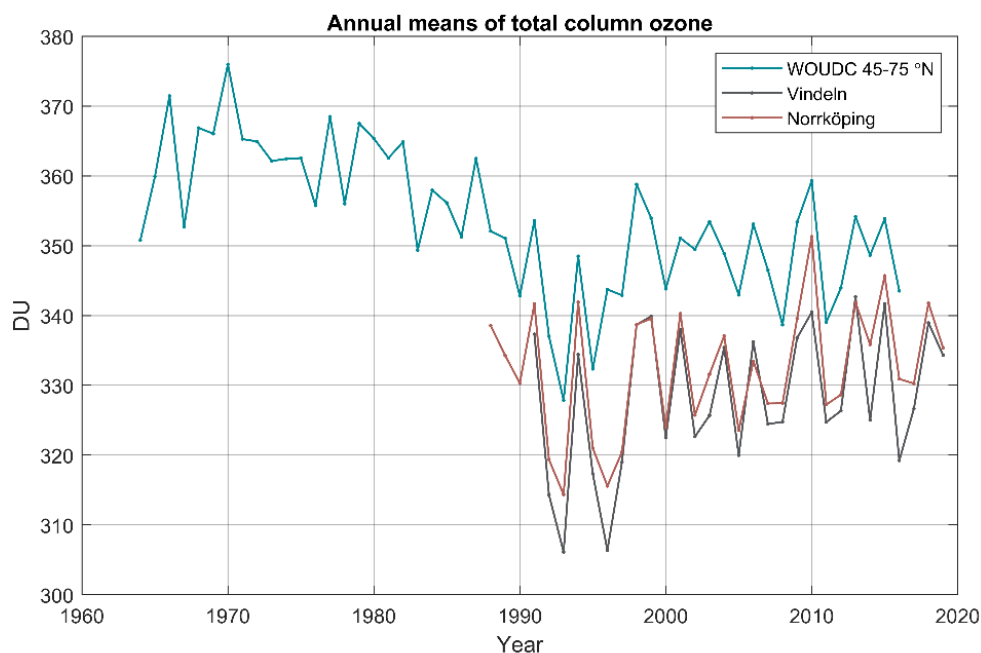
Figur 8-1 Mängden totalozon (DU) i Vindeln (överst) och Norrköping (underst) 2018.

Hur utvecklingen av ozonskiktet har gått sedan mätningarna inleddes 1988 visas i Figur 8-2. Vid WOUDC har man beräknat latitudmedelvärden av totalozon utifrån markmätningar av totalozon för perioden 1964-2017, baserat på en studie av Fioletov et al. (2002). Från detta dataset har ett areaviktat medelvärde för området 45–75 °N också lagts in i Figur 8-2. Under den period mätningarna varit igång i Vindeln och Norrköping ingår dessa mätdata i de framräknade medelvärdena för 45-75 °N. Dessvärre har det aktuella datasetet från WOUDC inte uppdaterats efter 2017.

Som tydligt framgår av Figur 8-2 varierar den genomsnittliga tjockleken av ozonskiktet kraftigt från år till år. Detta gäller särskilt för enskilda stationer, men variabiliteten är betydande även för ett mycket stort geografiskt område. Dessa fluktuationer orsakas huvudsakligen av variabiliteten i atmosfärens cirkulation, vilken har stor betydelse för fördelningen av det stratosfäriska ozonet. De låga värdena som observerades 1992–1993 påverkades därtill i denna riktning av det mycket kraftiga utbrottet av vulkanen Pinatubo.

Trots den stora variabiliteten är en uttunning av ozonlagret tydlig från ca mitten av 1970-talet till mitten av 1990-talet. Under denna period ökade halterna av ozonnedbrytande ämnen, och globalt nådde de sin maximala koncentration 1997 (se t.ex. WMO 2018). I polartrakterna var halterna som högst några år senare. Tack vare Montrealprotokollet som antogs 1987 och dess skärpningar i efterföljande avtal har halterna av ozonnedbrytande ämnen börjat avta med start strax före millennieskiftet. I och med detta väntas på sikt en återhämtning av ozonlagret.

Mätdata visar att uttunnningen har avstannat men det syns ännu inte någon klar återhämtning (Figur 8-2). I dagsläget syns inte någon signifikant trend i mätdata från slutet av 1990-talet och framåt i någon av de presenterade mätserierna. Att separera små ändringar i ozonet beroende på långsamt minskande halter av ozonnedbrytande ämnen är helt enkelt svårt. Även den pågående klimatförändringen kommer att påverka den globala fördelningen av ozon. Längre mätserier i kombination med atmosfärsmodellering behövs för att kunna fastställa framtida trender och dess orsaker.



Figur 8-2 Totalozon (DU) årsvärden för Vindeln 1991–2019 och Norrköping 1988–2019. För perioden runt vintersolståndet, då solen står för lågt för att säkra mätningar ska kunna göras i Vindeln, har denna serie kompletterats med observationer från satellit för beräkning av årsmedelvärde. Även en längre tidsserie som beräknats av WOUDC avseende medelvärdet för latitudbandet 45–75 °N har lagts in.

9. Ozonnedbrytande ämnen

Tabell 9-1 Ozonnedbrytande ämnen

Parametrar	Totalkolumn av HCl, HF, HNO ₃ , ClONO ₂ , N ₂ O, O ₃ , HCClF ₂ , CCl ₂ F ₂ , CH ₄ , C ₂ H ₆ och CO Vertikalprofiler av O ₃ , CH ₄ och HCl
Stationer	Harestua (60.2 N, 10.7 O)
Mätfrekvens	1 gång per vecka
Kravställare	Network for detection of Stratospheric (NDACC). Data levereras till " Ozone United Nations Environment Program (UNEP) och "International Ozone Commission of the International Association of Meteorology and Atmospheric Sciences#.
Lagringsplats	Kolumn (Ascii) ftp://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/ndacc/station/harestua/ames/ftir/ Vertikalprofiler (HDF format: (ftp://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/ndacc/station/harestua/hdf/ftir/
Utförare	Rymd-, geo- och miljövetenskap, Chalmers Tekniska Högskola; IVL Svenska Miljöinstitutet
Om delprogrammet på Naturvårdsverkets webbplats	www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Miljoovervakning/Miljoovervakning/Programomrade-Luft/Ozonnedbrytande-amnen/
Mer information	

Syftet med delprogrammet är att följa hur de atmosfäriska halterna av ozonnedbrytande ämnen varierar och hur dessa utvecklas långsiktigt. Med resultaten undersöks efterlevnaden av Wienkonventionen och Montrealprotokollet samt utvärderas det nationella miljökvalitetsmålet *Ett skyddande ozonskikt*.

Detektionsprincipen är att mäta infraröda spektra av solen, med s.k. FTIR spektrometer (Fourier Transform InfraRöd), och ur dessa utvärdera den totala mängden (totalkolumnen) av ämnet som solljuset passerat. För vissa av ämnena är det även möjligt att mäta hur koncentrationen varierar med höjd (koncentrationsprofil). Mätningar genomförs en gång per vecka, i mån av tillgång till soligt väder.

Förutom ozon kan man ur spektra utvärdera halterna av ett antal reservoarsubstanser i vilka de ozonnedbrytande ämnen lagras i den övre atmosfären, tex klor (HCl, ClONO₂), fluor (HF) och kväve (HNO₃ och ClONO₂). Man kan även spektralt utvärdera CFC-12(CCl₂F₂) och HCFC-22(HCClF₂), dvs den i atmosfären vanligaste förekommande freonen respektive ersättningsfreonen. Andra ämnen som också utvärderas har klimatpåverkan (N₂O, CH₄, CCl₂F₂, O₃, HCClF₂) eller har stor relevans för atmosfärens kemi och luftkvalitet (CO, C₂H₆, CH₄).

De uppmätta atmosfärsgaserna uppvisar stor variabilitet över tid, latitud och höjd i atmosfären. Detta medför att man måste ha tillgång till ett stort antal mätplatser i världen och långa tidsserier för att säkert kunna uttala sig om eventuella trender. Mätningarna görs därför inom nätverket NDACC (Network for Detection of Atmospheric Composition Change- <http://www.ndacc.org>), vilket är aktivt sedan 1991 och inkluderar 17 mätstationer som har gemensamt datautbyte och kvalitetssäkring.

Mätningarna in delprogrammet görs från Harestua (10.75 O, 60.2 N), 50 km norr om Oslo, sedan 1994. Data används för att ge forskningsunderlag för att studera förekomsten av stratosfärsgaser,

klimgaser och gaser med relevans för atmosfärskemi. Mätningarna är mycket användbara för att validera satellitmätningar samt kan användas för att studera förekomsten av nya ämnen, t.ex. SF₆.

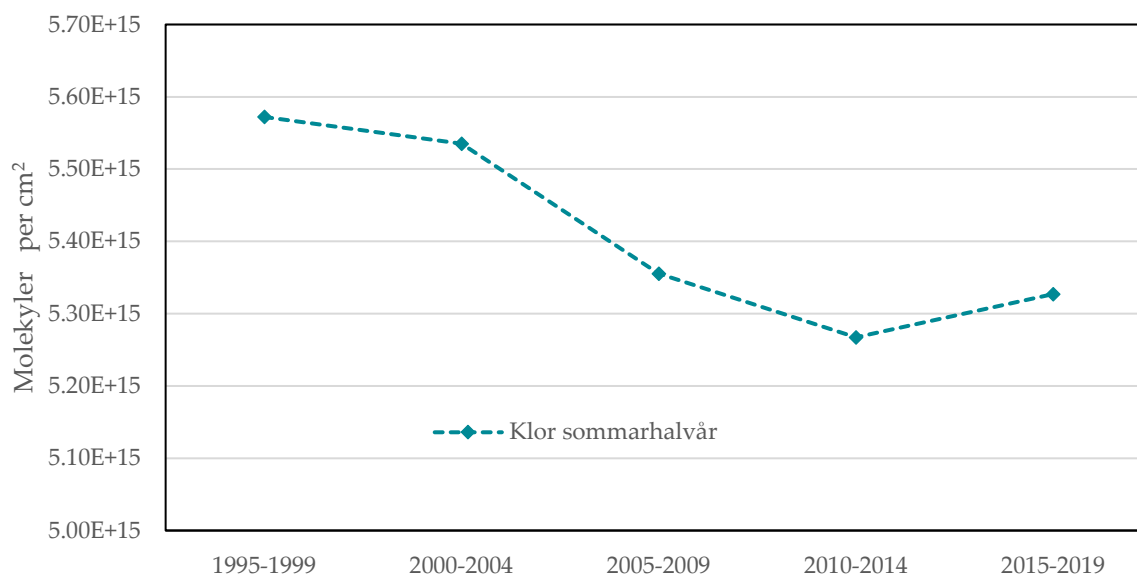
I den övre atmosfären ovan 10 km, vid ca 60 N, uppstår varje år en polarvirvel, vilken bildar en transportbarriär mellan den arktiska och mellanlatitudinella luften. Innanför denna polarvirvel uppstår ozonuttunnning beroende på att klor, som transporterats upptill stratosfären (med hjälp av så kallade freoner), reagerar på ispartiklar och övergår från de kemiskt inaktiva formerna väteklorid (HCl) och klornitrat (ClONO₂) till klormonoxid (ClO), vilken bryter ner ozon katalytiskt. Summan av HCl och ClONO₂ står för merparten av allt klor i den övre atmosfären, ovan 10 km, på mellanlatitud. Ungefär 20-30 % av ozonkolumnen i Arktis bryts på detta sätt ner under kalla vintrar. Ämnena som är relevanta i denna process mäts med sol-FTIR.

Under senare år har det uppmärksammats alltmer att den pågående klimatförändringen påverkar förhållandena i stratosfären där ozonskiktet befinner sig. Temperaturen där har sjunkit, vilket påverkar de ozonnedbrytande processerna. Det finns alltså en koppling mellan ozon och de substanser som bryter ner ozon och klimatfrågan, som inte bara berör de potenta växthusgaserna CFC (klor-fluor-karboner), vilka fasas ut som en följd av Montrealprotokollet. En annan intressant ozon-klimat-koppling som uppmärksammats på senare år är att den pågående klimatförändringen kommer att öka atmosfärens cirkulation i stratosfären. Enligt atmosfärmodellerna kommer transporten av nybildat ozon över tropikerna att föras allt snabbare mot polerna; inom forskningsområdet kallas detta för att Dobson-Brewer-cirkulationen förstärks. Följden av detta blir att vi i framtiden kommer att få aningen tjockare ozonskikt över högre breddgrader, medan det samtidigt blir lite tunnare över lägre breddgrader. Mätningarna vid Harestua indikerar t.ex. förändring i Dobson Brewer-cirkulationen.

9.1. Resultat

9.1.1. Halogener

I Figur 9-1 visas 5-årsmedelvärden av den totala klorkolumnen (väteklorid plus klornitrat) uppmätt med sol-FTIR vid Harestua solobservatoriet för sommarmånaderna (maj-oktober), då de atmosfäriska halterna uppvisar mindre variation. Det totala antalet solmätningar är ca 446 under det ljusa halvåret över hela mätperioden, fördelat över flera 5-årsperioder med medelvärdesbildade data. Under 2019 genomfördes totalt 38 mätningar, varav 18 under sommarhalvåret. Den negativa trenden för klor sedan 1999 har avstannat, och halterna har istället ökat mellan två sista 5-årsperioderna, något som observerats på alla mätstationer på norra halvklotet under de senare åren, men ej på det södra. Enligt modellberäkningar (Mahieu, 2014) kan detta bero på förändringar i norra hemisfärens cirkulation. Tittar man på de enskilda klorämnena så minskar ClONO₂ något, medan HCl ökar i motsvarande grad. Om man inkluderar vintermånaderna så är trenden stökigare. Detta kan bero på att atmosfären är mer dynamisk på vintern, eftersom den årliga polarvirveln då påverkar luften vid Harestua.

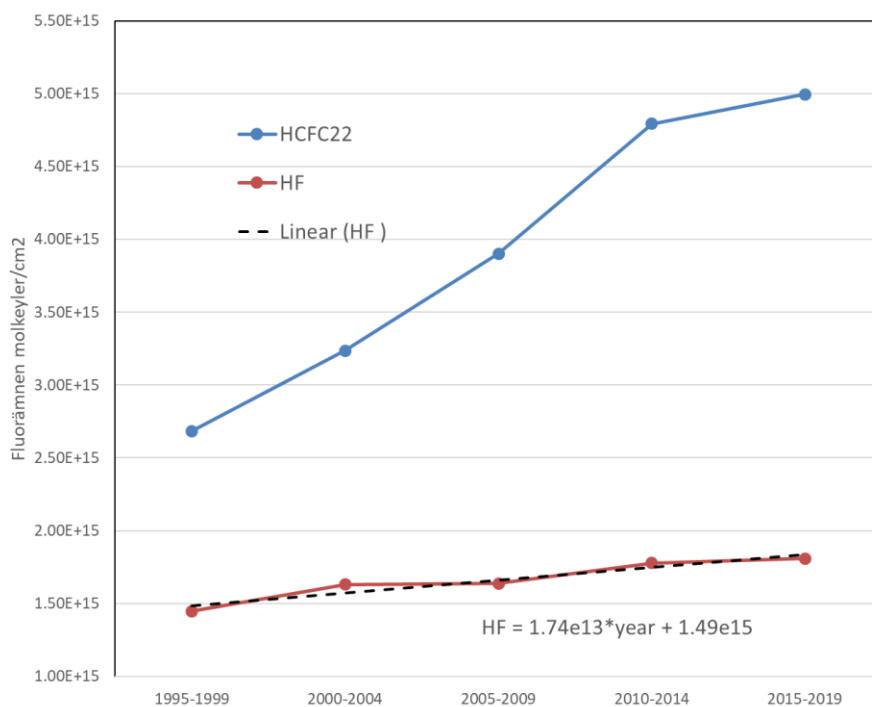


Figur 9-1 Total klorkolumn (väteklorid plus klornitrat) uppmätt med sol-FTIR vid Harestua solobservatorium för sommarmånaderna (maj-oktober).

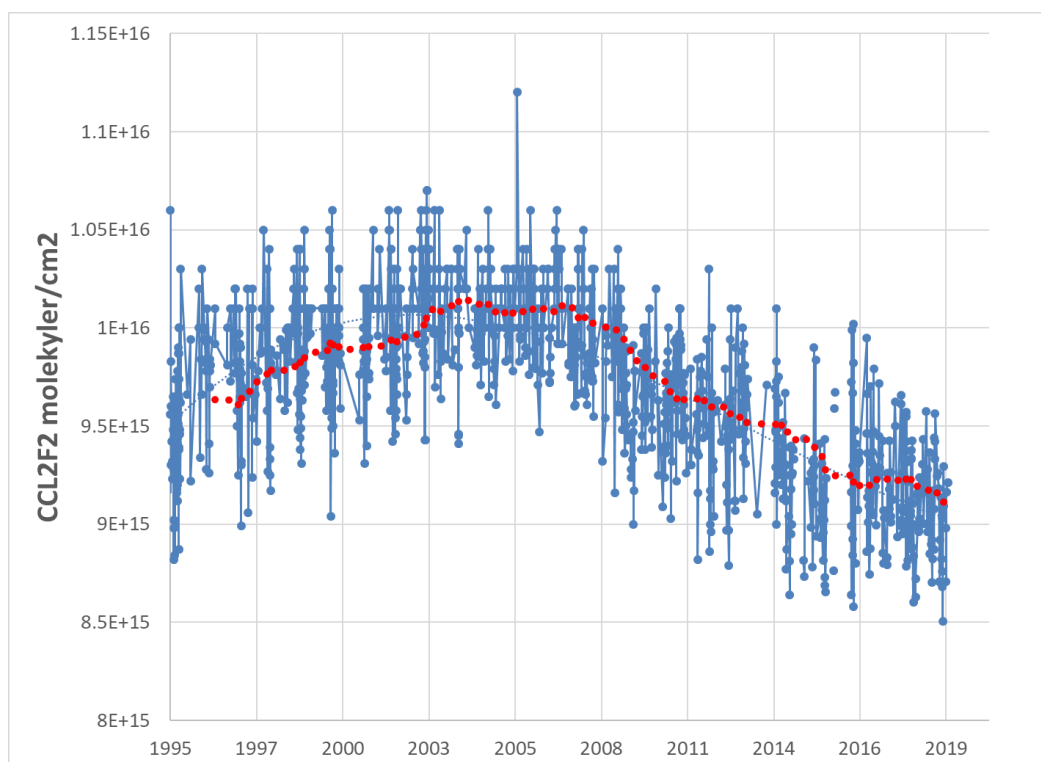
Data för fluorämnena HF och HCFC-22 visas som flerårsmedelvärden i Figur 9-2. Man kan se att HF ökat kontinuerligt med ungefär $1.74 \cdot 10^{13}$ molekyler/cm² år, och detta motsvarar 0.96 %/år relativt medelvärdet för år 2019. Jämför man perioderna 1995-1999 och 2015-2019 är medelkolumnen av HF 25 % större. Den positiva trenden beror förmodligen på en ökande mängd ersättningsfreoner.

För ersättningsfreonet HCFC-22 har kolumnen ökat 86 % mellan perioderna 1995-1999 och 2015-2019, men ökningstakten har minskat den sista 5-årsperioden, från 3.1 %/år mellan perioderna 2005-2009 och 2010-2014 till 0.8 %/år mellan perioderna 2010-2014 och 2015-2019. Detta är konsekvent med att emissionsstudier indikerar att emissionerna kulminerat omkring 2008 (WMO, 2018). Dessutom visar gasmätningar från olika nätverk (NOAA, AGAGE) också på en avstannande koncentrationstrend.

I Figur 9-3 visas uppmätta kolumner av CCL₂F₂ (CFC-12) samt ett löpande medelvärde över ca 2 år. De sista 15 åren har CFC-12 minskat ca 10 %, men det är värt att notera att 90 % kvarstår i atmosfären av detta ozonförstörande ämne vars användning förbjöds redan i början 1990-talet.



Figur 9-2 Flerårsmedelvärden av fluorkolumnen ovanför Harestua, i form av HF och HCFC-22.

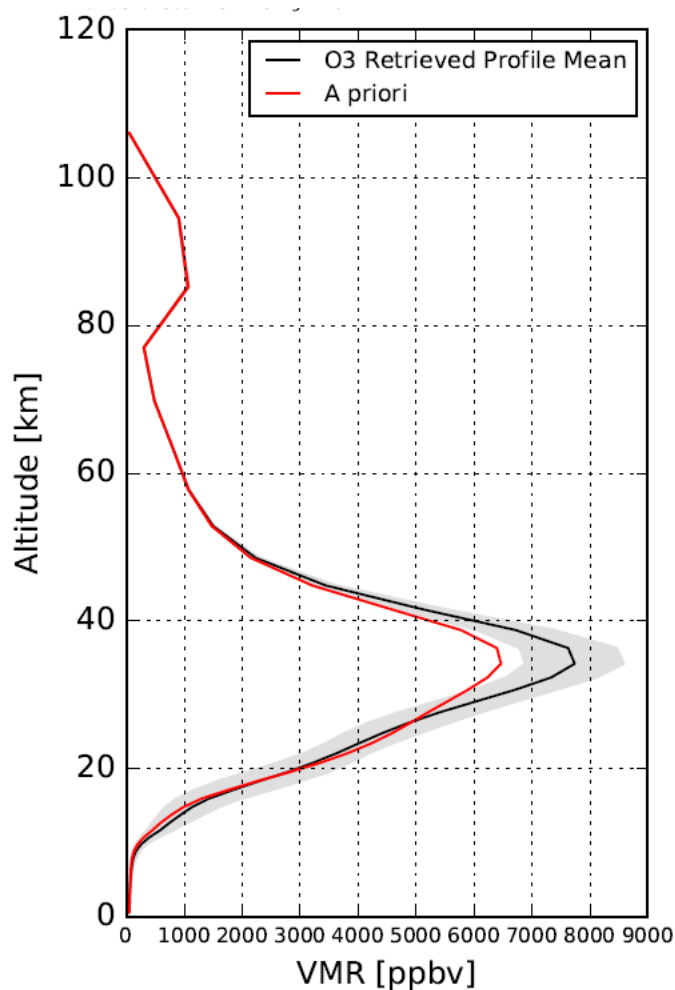


Figur 9-3 Kolumner av CCL2F2 (CFC-12) vid Harestua samt löpande medelvärde över 2 år.

9.1.2. Ozon

I Figur 9-4 visas en atmosfärisk höjprofil av blandningsförhållandet av ozon för 2019. Denna motsvarar medelvärdet av 40 dagars sol-FTIR-mätningar vid Harestua-observatoriet, fördelade jämnt över året.

När man utvärderar atmosfäriska koncentrationsprofiler ur de infraröda solspektra så utgår man från en klimatologisk koncentrationsprofil, s.k. apriori-profil. Figuren visar apriori-profilen (röd linje) samt medelvärde (svart linje) och standardavvikelse (gråmarkerad area). Mätningar av kolumnen av ozon med sol-FTIR ovanför Harestua visar ingen signifikant trend de senaste 17 åren, och detta är i konsekvens med mätningarna i Norrköping och Vindeln som redovisas i kapitel 8.



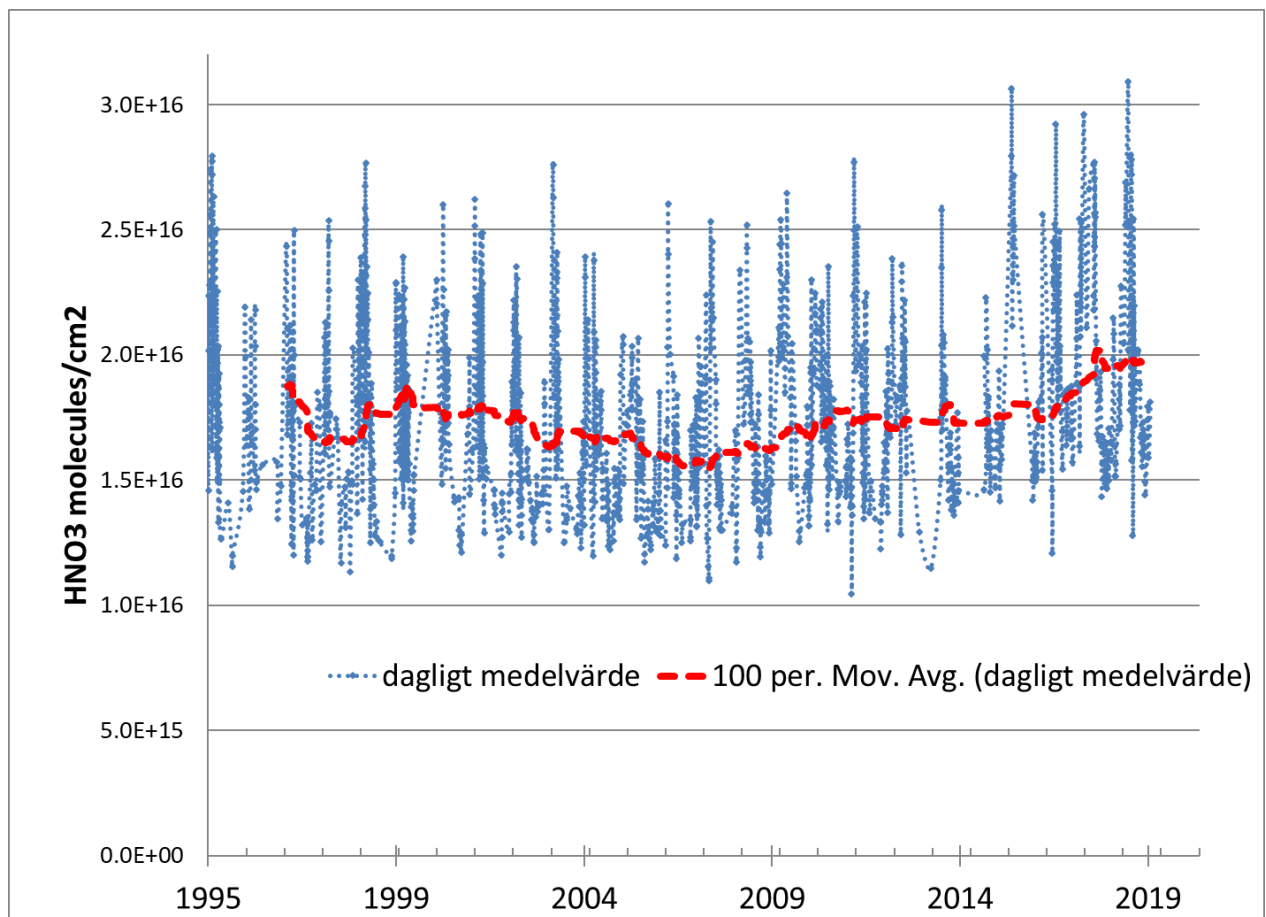
Figur 9-4 Ozonprofilen för 2019 utvärderad med infraröda solspektra. Figuren visar apriori-profilen (startprofilen) samt medelvärde (svart linje) och standardavvikelse (gråmarkerad area) för mätningarna under 2019.

9.1.3. Kväveinnehållande stratosfäriska gaser

Med FTIR mäts de flesta kvävereservoarämnen (HNO_3 , ClONO_2), vilka i sin tur producerats från lustgas (N_2O). Det viktigaste av dessa är HNO_3 , vilket visas i Figur 9-5 tillsammans med ett löpande 2-årsmedelvärde. Man kan se att HNO_3 haft varierande trend de senaste 25 åren, med ökande positiv trend de sista åren.

Man förväntar sig en ökning eftersom ämnet bildas från N_2O , vilken ökat med 10 % över de sista 25 åren, men uppenbarligen finns det andra orsaker till dess variation som döljer förändringen.

För $ClONO_2$ finns det en negativ trend sedan 1995, vilken verkar förklaras av en ökning av NO_2 (vilken också mäts med sol-FTIR men inte rapporteras). Detta skulle kunna förklaras av en potentiell ökning av temperaturen i stratosfären, vilket skulle gynna NO_2 -bildning på bekostnad av $ClONO_2$. Summan av NO_2 och $ClONO_2$ har ökat ca 10 %, vilket är i konsekvens med att lustgas ökat.

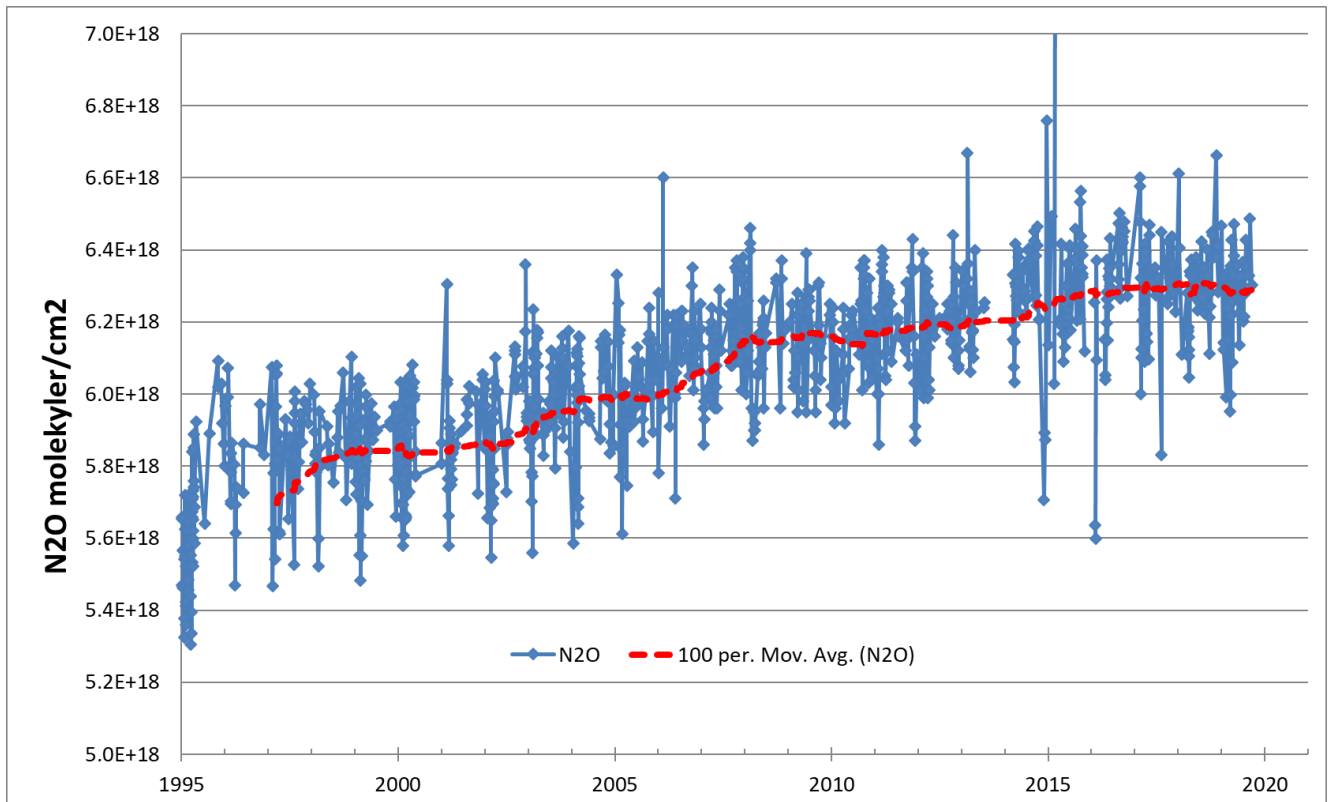


Figur 9-5 HNO₃-kolumner uppmätta vid Harestua, dagsmedelvärden samt löpande medelvärde över ca 2 år.

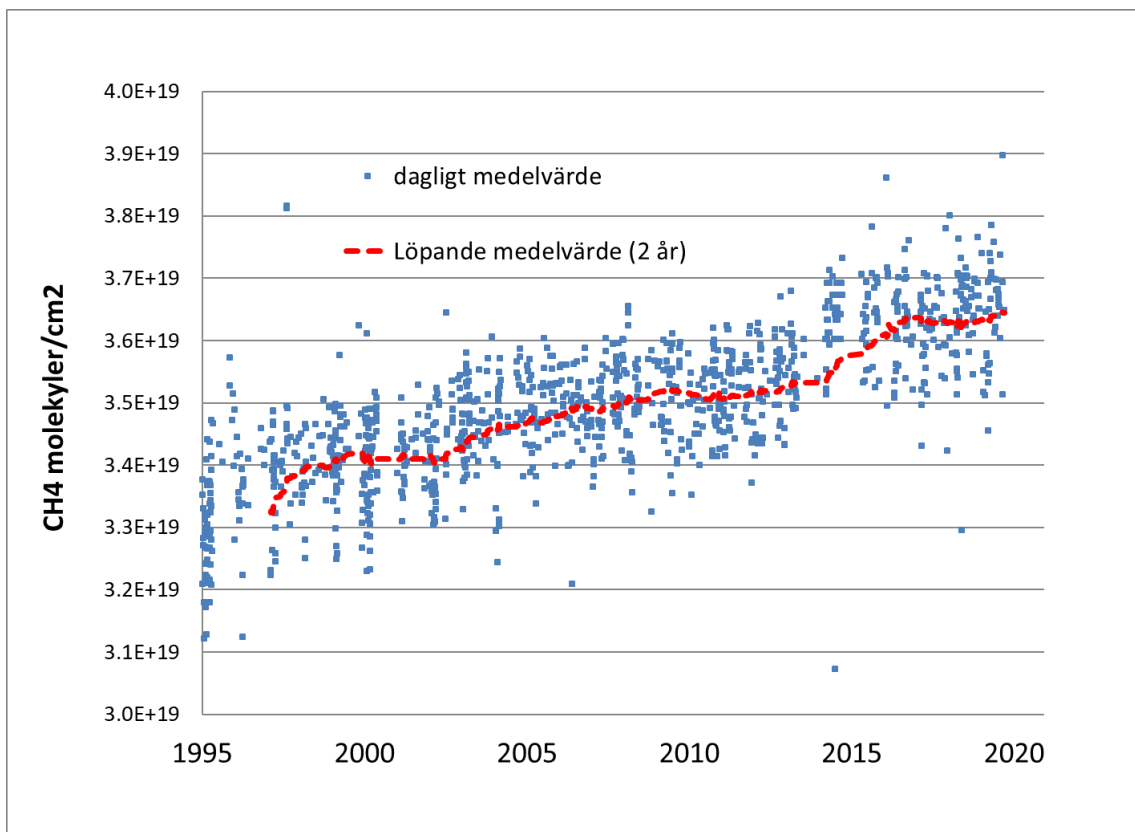
9.1.4. Klimat- och atmosfärskemiska gaser

För klimatgaserna lustgas (N_2O) i Figur 9-6 och metan (CH_4) i Figur 9-7 ser man positiva trender. Båda dessa gaser är långlivade och transporterar effektivt upp kväve och väte till stratosfären, där omvandling till HNO_3 och H_2O sker. Kolumnen av N_2O har i medeltal ökat ca 0,4 % per år de senaste 25 åren. Detta ämne är viktigt att följa då kväve är förutspått att kunna vara det dominerande ozonförstörande ämnet, när klor och brom från freoner och flamskyddsmedel så sakteliga dött ut i atmosfären; dock är vi inte där ännu. För CH_4 har trenden varierat relativt kraftigt, med en avstannande trend under 2005-2012, som sedan blivit positiv för att till synes avstanna igen under de sista åren. Även detta är viktigt att följa de närmsta åren.

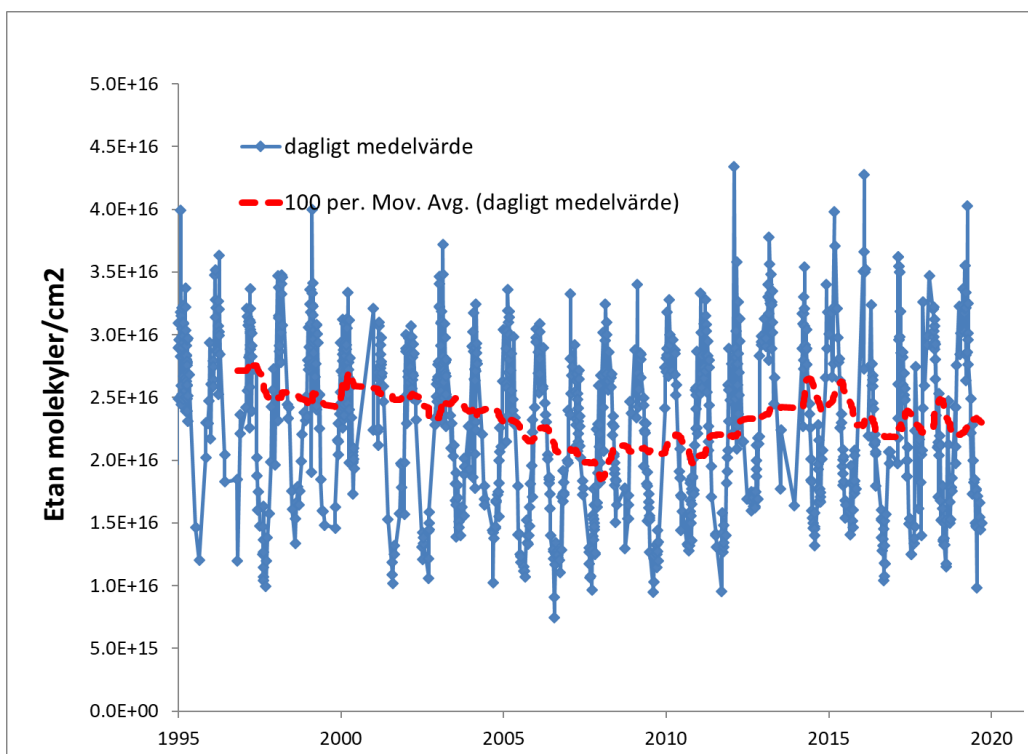
De atmosfäriska kolumnerna av etan och CO visas i Figur 9-8 respektive Figur 9-9 som dagsmedelvärden samt löpande tvåårsmedelvärden. CO är viktig då den tillsammans med CH₄ är huvudsänska för radikalen OH, vilken i sin tur bryter ner de flesta väteinnehållande molekyler i atmosfären och på så sätt bestämmer deras livstid. Värt att notera här är att CO minskar över hela perioden, medan etan först minskar på samma sätt som CO för att sedan öka efter 2008 och sedan återigen börja minska de senaste åren. Studier har indikerat att olje- och gasutvinning med s.k. "fracking" var mycket intensiv under 2008 och framåt, vilket skulle kunna förklara ökningarna vid 2008.



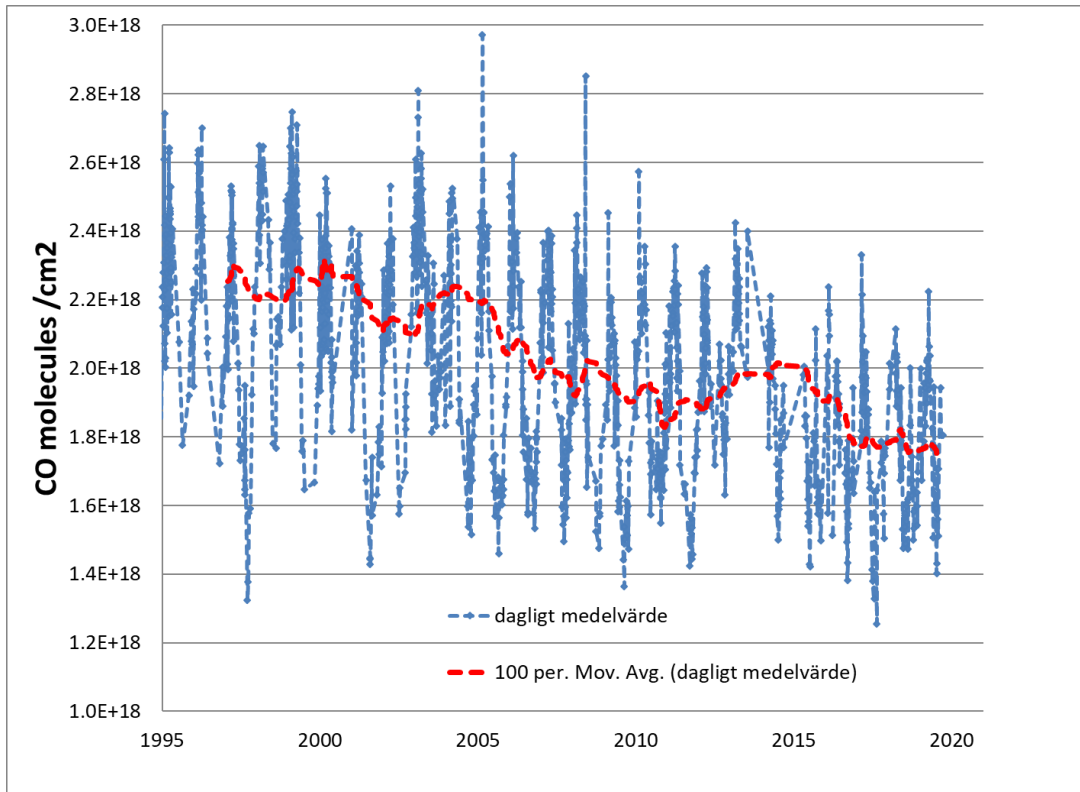
Figur 9-6 N₂O-kolumner uppmätta vid Harestua, dagsmedelvärden samt löpande medelvärde över ca 2 år. Ökningen över lång tid är ca 0.4 %.



Figur 9-7 Metan-kolumner uppmätta vid Harestua, dagsmedelvärden samt löpande medelvärde över ca 2 år.



Figur 9-8 Etan-kolumner uppmätta vid Harestua, dagsmedelvärden samt löpande medelvärde över ca 2 år.



Figur 9-9 CO-kolumner uppmätta vid Harestua, dagsmedelvärden samt löpande medelvärde över ca 2 år.

10. Mätningar på Svalbard

Tabell 10-1 Mätningar på Svalbard

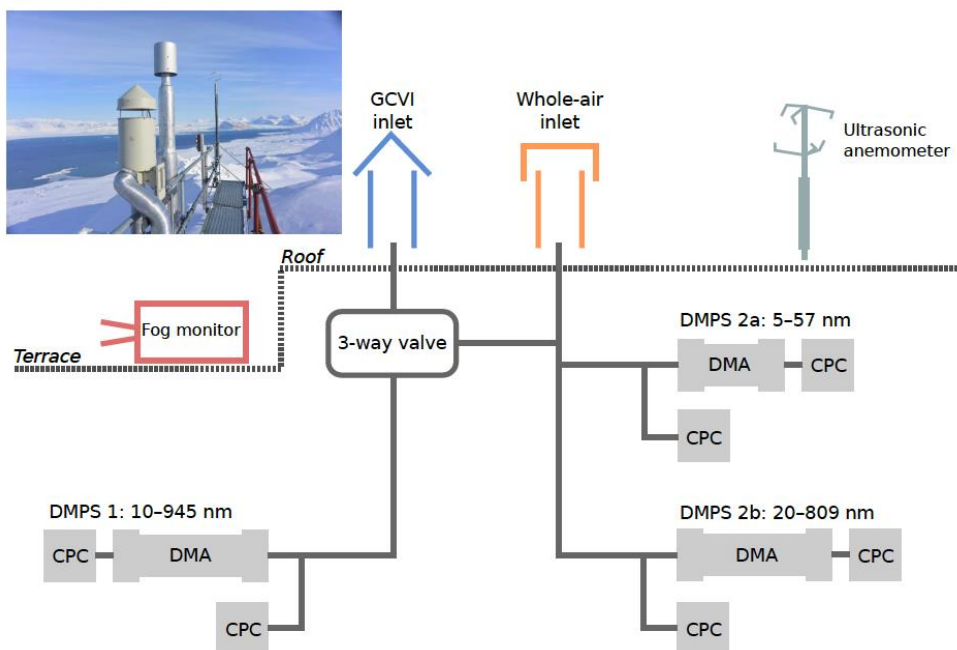
Parametrar	Partikelantal, storleksfördelning, BC, OC/EC
Stationer	Zeppelinfjället, Svalbard
Mätfrekvens	1 timme, 1 vecka OC/EC
Kravställare	Luftvårdskonventionen
Lagringsplats	http://ebas.nilu.no/default.aspx
Utförare	ACES Stockholms universitet
Om delprogrammet på Naturvårdsverkets webbplats	www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Miljoovervakning/Miljoovervakning/Programomrade-Luft/Svalbard/
Mer information	

10.1. Aerosolens storleksfördelning i Arktis 2000-2019

Sedan 2000 har enheten för atmosfärsvetenskap vid Institutionen för Miljövetenskap observerat aerosolens storleksfördelning på toppen av Zeppelinberget i det gamla gruvsamhället Ny Ålesund, som nu är helt och hållet omvandlat till en forskningsby med forskningsstationer från 10 olika länder.

Vår mätstation ligger ca 2 km från byn och 473 m upp på berget Zeppelin för att säkerställa minsta möjliga inverkan från övriga aktiviteter i forskningsbyn. Stationen ägs och sköts av Norsk Polar Institut, medan observationerna görs av Norsk Institut för Luftundersökelse och Stockholms Universitet. Vi har även nära samarbete med andra nationer, bl.a. Korea och Japan, som bistår med kompletterande observationer.

Våra mätningar av partikelantal och storlek kompletteras av observationer av partiklarnas ljusabsorberande och ljusspridande egenskaper samt på senare tid även med partiklarnas interaktion med moln. I dagsläget uppmäts aerosolens storleksfördelning mellan 5 och 630 nm, och detta storleksintervall har gällt sedan 2011 då DMPS-systemet moderniserades för att uppfylla den kvalitetssäkring och standardisering av instrumenten för stationer som ingår i den europeiska forskningsinfrastrukturen ACTRIS (Aerosol Cloud and Tracegases Research Infrastructure). I samband med denna modernisering uppgraderades även stationens insug och är nu av typen "whole air inlet", vilket tillåter provtagning av samtliga partiklar även om stationen befinner sig i moln. Innan denna modernisering uppmättes partiklarnas storleksfördelning mellan 10 och 630 nm (2005-2011), och dessförinnan mellan 20 nm och 630 nm (mellan 2000-2005). Idag utgör detta dataset en unik databas med nära två årtiondens observationer av aerosolens storleksfördelning i Arktis. Nedan beskrivs nuvarande mätsystem schematiskt i Figur 10-1.



Figur 10-1 Schematisk illustration av SU:s instrumentuppställningen på Zeppelinobservatoriet. Bilden visar hur helluftsinsuget (orange) och molndroppsuget (GCVI, blått) är kopplat till partikelstorleksanalyser (DMAs) och partikelräknare (CPCs). Trevägsventilen fördelar provtagningsflödet från instrumenten på vänstersidan efter GCVI-insuget till instrumenten efter helluftsinsuget när stationen inte är i moln. Molnprovtagningen aktiveras när visibiliteten är mindre än 1 km. Ytterligare stödande mätningar utgörs av en molndetektor och en ultrasonic anemometer (Karlsson et al. 2020, i review).

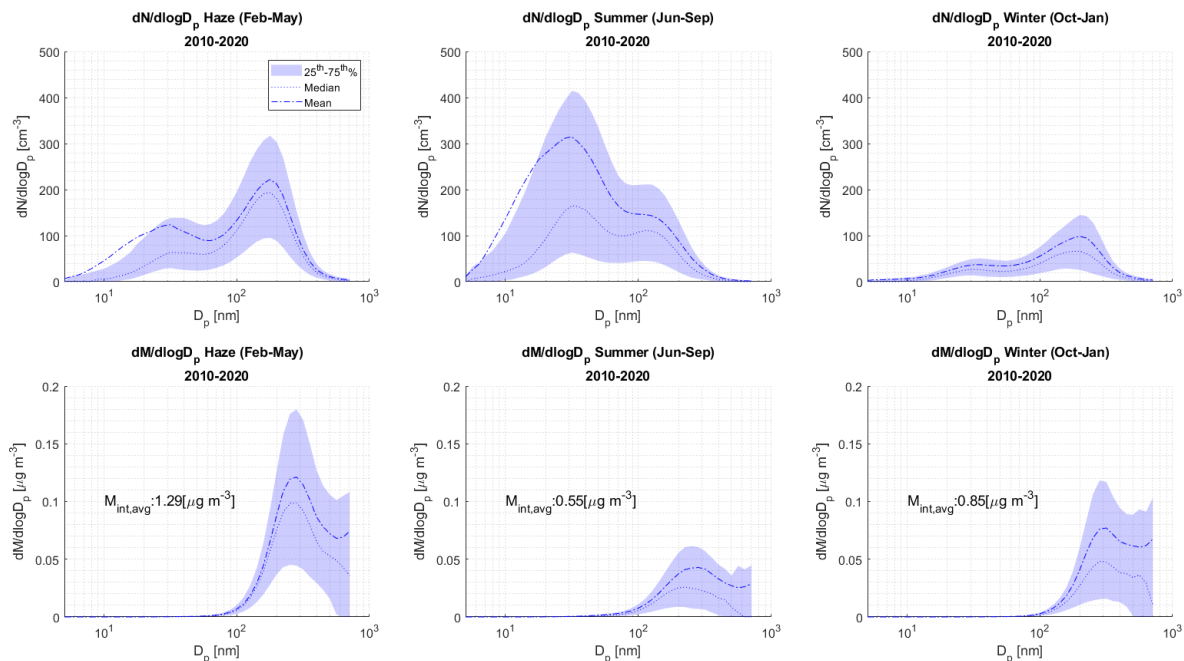
Aerosolens storleksfördelning är av central betydelse för förståelsen av hur aerosolen interagerar med strålning i atmosfären, dels indirekt genom påverkan på molnbildning, dels direkt genom både spridning och absorption av kortvägig strålning från solen. Partiklarnas förmåga till att bilda molndroppar (dvs. deras förmåga att fungera som molnkondensationskärnor, eller "CCN") är starkt storleksberoende, och stora vattenlösliga partiklar är de som fungerar bäst som molnkondensationskärnor. Antalet CCN och därmed antalet molndroppar påverkar molnens strålningsegenskaper, dvs. hur de reflekterar både solstrålning och värmestrålning, samt molnens livslängd. Storleken, och vattenlösligheten, är dessutom viktigt för hur partiklarna direkt sprider inkommande kortvägig strålning samt interagerar med vattenånga i atmosfären.

Storleksfördelningen ger också viktig information om aerosolens historia, och fungerar i viss utsträckning som ett "fingeravtryck" hos aerosolen, som ger information om källområden och processer som påverkat luften. Detta kan t.ex. vara omfattning av molnpåverkan, urtvättning och bildning av nya partiklar i atmosfären, samt påverkan från långväga transport från både skogsbränder och antropogena källor.

Långtidsobservationer av aerosolens storleksfördelning och dess ljusspridningsegenskaper utgör en viktig del i den kommande AMAP-rapporten om kortlivade klimatdrivande komponenter. Zeppelin är en av få observationsplatser i Arktis som samlar in denna viktiga typ av information. Olika föreningar, både naturliga och antropogena, bidrar till den atmosfäriska aerosolen i Arktis. Svavel- och nitratföreningar, sot och organiska föreningar blandas fysiskt och kemiskt i atmosfären, tillsammans utgör de den atmosfäriska aerosolen och bidrar därmed till aerosolens totala inverkan på strålning och molnbildning. Observationer hur antal och storlek förändras hos den atmosfäriska

aerosolen på grund av luftföroreningars inverkan under en 20-årsperiod är därför ett mycket viktigt underlag i bedömningen av varför Arktis klimat förändras så snabbt.

Generellt uppmäts det i Arktis förhållandevis låga koncentrationer av partiklar, både i fråga om antal och massa. I Figur 10-2 redovisas aerosolens storleksfördelning i tre olika årstidsperioder, sommar, vinter och "Arctic Haze"-perioden som median för hela mätperioden, samt 25-75 percentiler av observationerna.



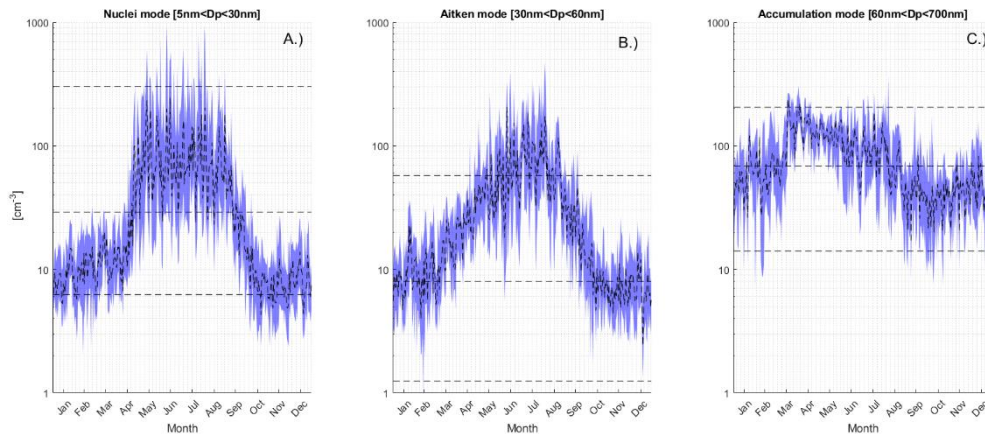
Figur 10-2 Median av aerosolens storleksfördelning samt 25-75 percentil för tre olika årstidsperioder, sommar, vinter och "Arctic Haze"-perioden för perioden 2000-2020. Storleksfördelningarna redovisas som antalsfördelning (övre raden) och massfördelning (nedre raden).

Halterna är låga och storleksmässigt fördelar sig aerosolen mellan två storleksklasser, dels en större mod, ackumuleringsmoden antalsmässigt centrerad kring 150 nm, dels en mindre mod, Aitken moden, centrerad kring 40-50 nm. Lokalt minimum mellan dessa två moder är den nedre gräns vid vilken partiklar i medeltal börjar interagera med molnen. Från massfördelningen framgår att ackumuleringsmoden dominerar massan totalt under året och att "Arctic Haze"-perioden uppvisar ca 2-3 ggr högre halter jämfört med halterna under vinter respektive sommaren.

Dessa moder återfinns allmänt i atmosfären. Att de uppstår beror dels på bildningen vid emission, dels på atmosfäriska processer. Deras förekomst, antal och variation ger information om källtyp, ålder och vilka processer de genomgått. Dessutom behövs storleksfördelningen för att beräkna deras inverkan på strålning och moln, vilket i sin tur behövs i klimatmodelleringen. Dessa data är därmed viktiga både för att utveckla transport- och klimatmodeller samt att utvärdera hur väl de beskriver atmosfären och dess funktioner.

Från Figur 10-3 framgår det tydligt att årstidsvariationen av antalskoncentrationen i de två moderna skiljer sig markant åt. En tredje mod av mycket små partiklar mindre än 30 nm (Nuclei mode) visas i den vänstra delfiguren. Dessa partiklar är nybildade av kondenserande gaser, troligen emitterade från havet, bl.a. dimetylssulfid, och uppvisar en tydlig topp under den ljusa tiden i Arktis, vilket indikerar fotokemisk driven partikelbildning. Nyartikelbildning sker under någon timme under de flesta dagarna på sommaren, vilket gör att man ser dem endast i att medianstorleksfördelningen för Aitken mod under sommaren är förskjuten mot mindre partiklar. Aitkenmodpartiklar bildas genom att de

nybildade Nuclei mod partiklarna växer ytterligare genom kondensation av atmosfäriska gaser. Dessa två moder domineras alltså av naturliga emissioner och atmosfärskemiska processer. Ackumuleringsmodens partiklar uppvisar ett maximum runt mars-april. Detta beror av att dessa partiklar kommer från långväga transport av åldrade luftföroreningar in i Arktis. Nederbörden längs med transportvägen under denna årstid är låg, vilket gör transporten effektiv av dessa stora partiklar. Under sommaren förändras transportmönstren, och luften utsätts för mer omfattande urtvättning då nederbörden ökar; detta gör att den dominerande ackumuleringsmodens antal minskar. Sammantaget visar Figur 10-3 att vintern och "Arctic Haze"-perioden domineras av ackumulationsmodspartiklar huvudsakligen från långdistanstransporterade luftföroreningar. Trajektorieanalys av transportvägarna visar att emissionsområdena främst är belägna i Euroasien.

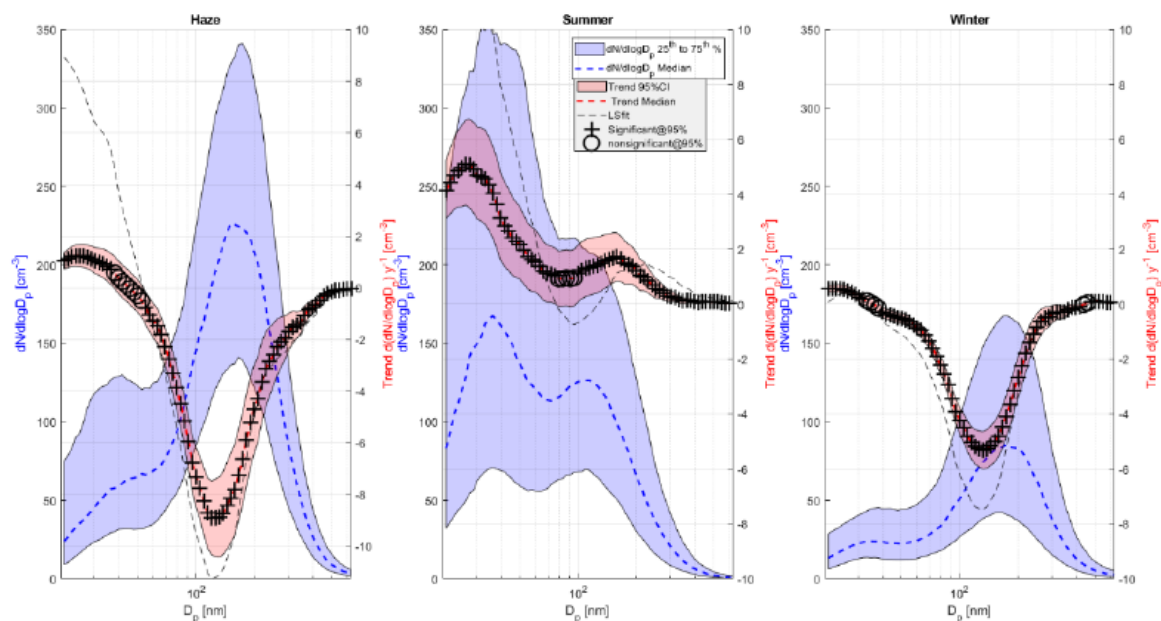


Figur 10-3 Årstidsvariation av partiklar i tre olika storleksintervall, nybildade, Aitken mod och ackumulation mod data för perioden 2000-2020, Mt Zeppelin, Svalbard.

Antalet partiklar i ackumuleringsmoden bestäms till stor del av antropogena källor, speciellt under "Arctic haze"-perioden, medan de finare partiklarna i huvudsak bestäms av naturliga lokala processer såsom nypartikelbildning i atmosfären. Förändrade isförhållanden, med större andel öppet hav, kan t.ex. förväntas bidra till ökade emissioner av dimetylsulfid som emitteras naturligt från havet, vilket i sin tur ökar mängden kondenserbara gaser och därmed gas-partikel-bildning.

En förändring av aerosolens antalskoncentration är viktigt ur klimatsynpunkt. Förändras antalet partiklar som fungerar som molnkondensationskärnor som domineras av ackumulationsmodpartiklar, så förändras samtidigt molnens strålningsegenskaper. Vilken effekt detta har på strålningsbalansen beror på årstid; under sommaren medför en ökad mängd molnkondensationskärnor en nettoavkylning då kortvägig solstrålning reflekteras tillbaka ut i rymden, medan en ökad mängd molnkondensationskärnor under den mörka delen av året har motsatt effekt eftersom det ökar återstrålningen av utgående värmestrålning, vilket leder till en värmende nettoeffekt på det arktiska klimatsystemet.

Figur 10-4 visar en preliminär trendanalys av hur storleksfördelningen har förändrats under de senaste 20 åren. Den visar en klar minskning av partiklar i de tre årstidsperioder som diskuteras ovan, "Arctic Haze"-perioden (mars-maj), sommar och vinter. Man ser en tydlig minskning av ackumulationsmodpartiklar med upp till 10 % per år. Under sommaren ser man en ökning av nybildade partiklar i storleksområdet 10-20 nm.



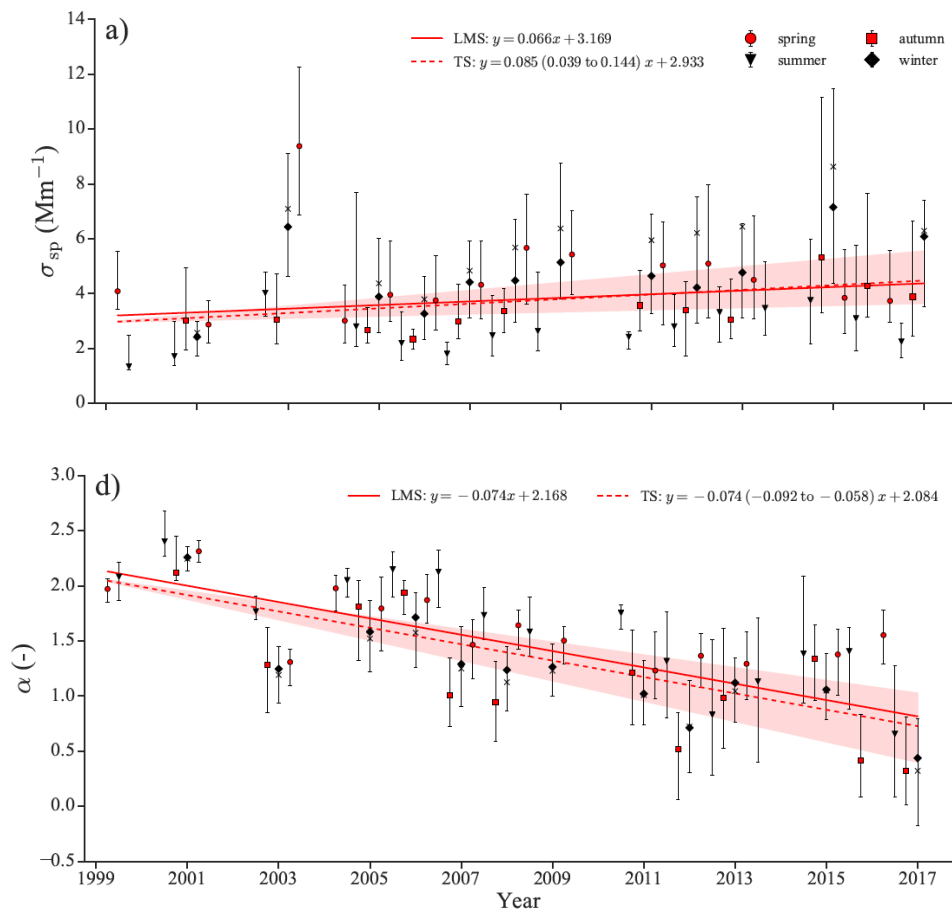
Figur 10-4 Partikelstorleksfördelningen förändring under de senast 20 åren i tre olika årstidsperioder, "Arctic Haze"-perioden, sommar och vinter. Blå streckad kurva visar medianfördelningen och den blåfärgade skuggningen visar 25-75 % percentilerna. Den röda streckade linjen visar median trenden per storleksinterbal och den rödsuggade ytan dess konfidensintervall på 95 %. Den grå streckade linjen är en minsta kvadratanpassning till trenddata.

Den kraftiga reduktionen av partikelantalet i ackumuleringsmoden beror på minskade emissioner av luftföroreningar i bl.a. Europa, vilket även tydligt återspeglas i observationsdata från t.ex. Aspveten och Vavihill. Det som gör det extra intressant med dessa data är att så markanta förändringar i de molnbildande partiklarnas koncentration som det faktiskt är tal om, borde ge en betydande inverkan på strålningsbalansen. Problemet är dock att det är svårt att utvärdera denna effekt eftersom klimatmodellerna än idag har svårt att representera partiklarnas antalskoncentration i Arktis korrekt, vilket i sin tur komplicerar en analys av deras faktiska klimateffekt. Detta har initierat en utökad satsning på just studier av sambandet mellan partiklar och molnbildning.

Det verkar således finnas tydliga trender i aerosolkoncentrationen, och eftersom halterna är låga är molnens känslighet även för små absoluta förändringar ganska stor. Ytterligare arbete kvarstår här; framför allt måste det säkerställas att förändringen är statistiskt signifikant, särskilt då instrumentuppställningen förändrats under de studerade åren. Dock kan nämnas att dessa förändringar av mätmetoden sannolikt främst påverkar de små partiklarna, och att den minskning vi ser i ackumuleringsmoden faktiskt är korrekt.

Parallellt med partikelstorleksmätningar har även partiklarnas ljusspridande egenskaper observerats sedan 1990. I en trendanalys framgår att aerosolens ljusspridning (σ_{sp}) har ökat signifikant sedan 1999, vilket tyder på ökande koncentrationer av atmosfäriska partiklar (Figur 10-5a). Samtidigt har Ångströmkoefficienten (α), som är förhållande mellan olika ljusvåglängder, minskat vilket visar att fraktionen stora partiklar har ökat (Figur 10-5d). Partiklarnas storlek är avgörande för hur mycket ljus de sprider, där stora partiklar sprider mycket mer. En analys av hur transportvägar ser ut och vilka olika källor som kan ligga bakom detta visar att luften transporteras mer över öppet hav än tidigare. Med tanke på observerat minskat antal av ackumulationspartiklar visar denna något motsägelsefulla observation troligen på ett ökat antal av stora havssaltspartiklar, medan antalet långdistanstransporterade luftföroreningpartiklar minskat med mer. Detta är en indikation på hur

den Arktiska aerosolen kommer att förändras med ett mera öppet Arktiskt hav och bättre luftkvalitet i Europa och Asien (Heslin-Rees et al., 2020).



Figur 10-5 Säsongsmedianer för a/ partikel ljusspridningskoefficienten vid 550 nm våglängd och d/ Ångströmsexponenten, kvot av spridningskoefficienterna vid 450 och 550 nm. Säsongsmedianerna utmärks av olika symboler och 25-75 percentilerna via streck genom respektive symbol. De hela och streckade röda linjerna visar trender beräknade enligt minsta kvadrat- (hel) och Theil-Sen- (streckad) metoderna. Den röda skuggningen visar 90% konfidensintervall för Theil-Sen-trenden (Heslin-Rees et al., 2020).

11. Modellresultat av försurande och övergödande ämnen samt marknära ozon

11.1. Årlig kartläggning med MATCH - Sverigesystemet

Tabell 11-1 Modellresultat av försurande och övergödande ämnen samt marknära ozon.

Parametrar	Halt i luft: NO ₂ , SO ₂ , NH _x , marknära O ₃ Deposition: NO _y , NH _x , SO _x , baskatjoner (Ca, Mg, K, Na) med och utan havssalt, O ₃
Stationer	Geografisk full täckning på upplösningen 22x22 km över hela Sverige. Data från EMEP, IM, LNKN-mätstationer (luft och nederbördskemi för kväve- och svavelföreningar samt marknära ozon) ingår i kartläggningen.
Mätfrekvens	Årlig kartläggning
Kravställare	EU-direktiv, luftvårdskonventionen
Lagringsplats	Datavårdskapet ligger hos SMHI, och data hämtas här: https://www.smhi.se/klimatdata/miljo/atmosfarskemi
Utförare	SMHI
Om delprogrammet på Naturvårdsverkets webbplats	www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Miljoovervakning/Miljoovervakning/Programomrade-Luft/MATCH-modellen/
Mer information	Se Bilaga 3 för mer detaljer

SMHI genomför varje år kartläggning av halter i luft och deposition av försurande och övergödande ämnen på nationell nivå. För att uppnå en så bra kartläggning som möjligt kombineras modellbeskrivning av lufthalter och koncentration i nederbörd över Sverige med kvalitetsgranskade mätdata i en så kallad variationell analys. Genom denna analys kan man beskriva den geografiska fördelningen av föroreningshalter. För bästa möjliga analys krävs kunskap om utsläpp och de atmosfärskemiska processer som ingår i MATCH-Sverigesystemets fysikaliska modeller, samt sofistikerad användning av tillgängliga och kvalitetsgranskade mätdata.

Med hjälp av fysikaliska modeller kan man särskilja bidrag till lufthalter och deposition från olika källregioner och sektorer, t.ex. Sveriges bidrag och långdistansbidrag, något som inte är möjligt om enbart mätdata finns att tillgå. Vidare behövs modeller för att kunna beskriva förändringar framåt i tiden genom olika utsläppsscenarioer samt för att uppnå full geografisk och tidsmässig täckning.

Syftet med MATCH-Sverigesystemet är att geografiskt kartlägga halter i luft samt deposition av försurande och övergödande ämnen över Sverige. De nationella miljö kvalitetsmål som berörs är

främst *Frisk luft, Bara naturlig försurning* och *Ingen övergödning*. I systemet ingår fysikaliska modeller och kvalitetsgranskade mätdata, vars resultat integreras för att erhålla en så bra kartläggning som möjligt. MATCH-Sverigesystemets metodik lyfts fram som världsledande och unik i internationella forskningssammanhang (två möten och en styrgrupp inom Global Atmospheric Watch, GAW¹, på WMO i mars 2016 (WMO, 2017) samt på WMO i februari 2019 (WMO, 2019)).

Kartläggningar med MATCH-Sverigesystemet har gjorts sedan 1990-talet. Metodiken har förbättrats och ändrats genom åren, varför trendanalys inte har kunnat göras. Under 2015 och 2018 har två återanalyser gjorts, en för marknära ozon (1990-2013) och en för deposition av svavel och kvävekomponenter (1980-2013). Tack vare dessa studier kan vi jämföra kartläggningar gjorda med nuvarande metodik med långa, historiska tidsserier.

I denna rapport presenteras försurande och övergödande nedfall, halter i luft samt ozondeposition för åren 2016-2018, framtagna med MATCH-Sverigesystemet. Resultat för 2019 inkluderas inte eftersom det är ett knappt års fördröjning från att mätdata blir tillgängliga till att resultaten är klara för MATCH-Sverigesystemet. I övrigt hänvisas till SMHI:s hemsida (<http://www.smhi.se/klimatdata/miljo/atmosfarskemi>), där resultat för åren 1998-2018 finns att se och ladda ner. Tillgänglig data är sammanställd i Bilaga III.

För depositionsresultat för svavel och kväve jämförs 2016-2018 mot återanalyserade data för åren 1980-2013. För marknära ozon jämförs resultat för 2016-2018 mot återanalyserad data för 1990-2013.

11.1.1. Meteorologiska år

Meteorologin varierar från ett år till ett annat, vilket kan orsaka variationer i halter i luft och nederbörd. De naturliga utsläppen varierar med meteorologin, medan de mänskliga utsläppen oftast inte varierar lika mycket mellan åren. Detta gör att föroreningsförhållandena i Sverige varierar med årliga avvikelser i temperatur och nederbörd i större grad än på grund av årliga skillnader i föroreningsutsläpp i Sverige och övriga Europa. Först presenteras temperatur- och nederbördsavvikelser från normalvärden i årsmedel för 2016-2018. Därefter presenteras resultatkartor från modellberäkningar av halter i luft och deposition till mark med MATCH-Sverigesystemet för 1998-2018.

Kartor för temperatur, vind och nederbörd finns på SMHI:s webbsida, <https://www.smhi.se/data>. Där finns även kartor som visar avvikelser från normala årsmedelvärden för temperatur och nederbörd. Normalvärden används för att olika sorters klimatuppgifter ska kunna jämföras.

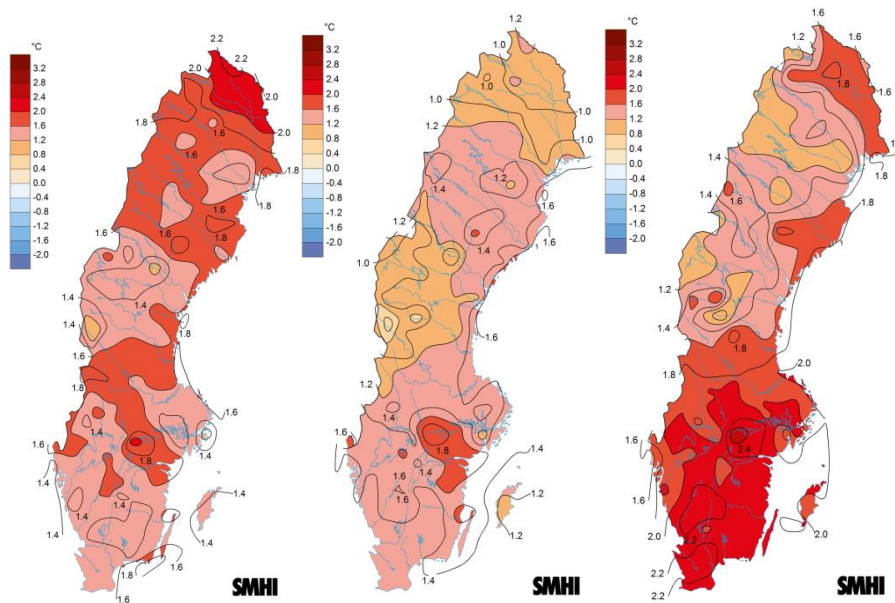
Världsmeteorologiska organisationen (WMO) har därför bestämt att en 30-årsperiod, 1961-1990, är den nu gällande standardnormalperioden för att användas för klimatbeskrivningar. En översiktlig återblick på det gångna årets väder finns på <https://www.smhi.se/klimat/klimatet-da-och-nu/arets-vader>.

Kartorna i Figur 11-1 visar att alla tre åren var varmare än normalt i hela Sverige. År 2016 visade högre temperaturavvikelse (1,6-2,2°) i Norrland, medan år 2017 var ett relativt mildt år jämfört med 2016 och 2018. År 2018 blev 1,8-2,4° varmare än normalt i nästan hela Svealand och Götaland.

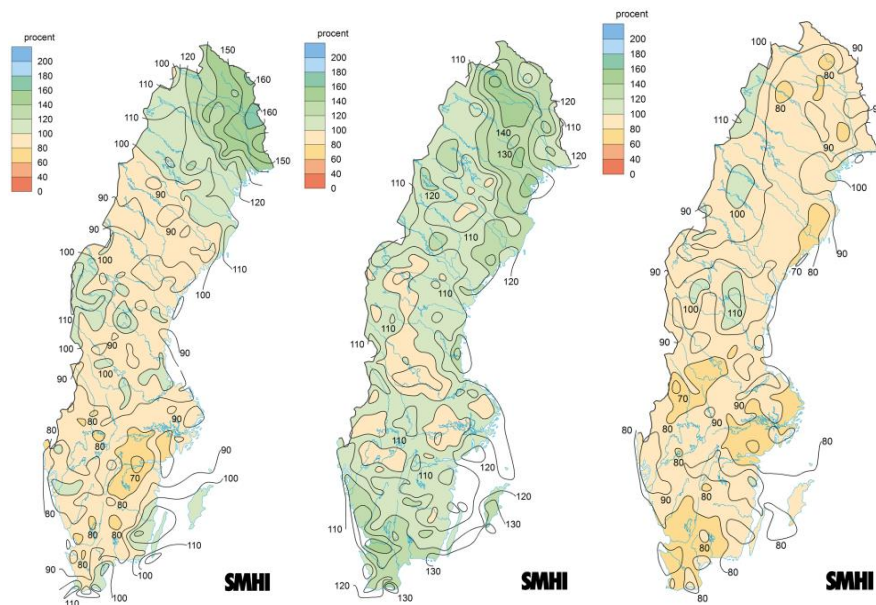
¹ Measurement model fusion of global atmospheric deposition: MMF-GTAD. SMHI deltar även i styrgruppen för framtagande av globala produkter inom MMF-GTAD vid WMO

Högre temperatur och torrare luft och mark än normalt kan bl.a. bidra till minskat ozonupptag i växter och större naturliga utsläpp av biogena organiska gaser, och därmed högre ozonhalt under sommarhalvåret (se t.ex. Johansson m.fl., 2020; Andersson och Engardt, 2010).

Figur 11-2 visar årsnederbörd av den normala årsnederbörden i procent för 2016-2018. Stora delar av Sverige hade ett nederbördsfattigt år 2016, förutom norra Norrland där det blev mycket blötare än normalt. År 2017 blev blötare än normalt i större delen av landet, särskilt i Skåne, Blekinge, Halland samt norra Norrland. År 2018 fick mindre nederbörd än normalt i hela Sverige. På många ställen blev det ännu mer nederbördsfattigt än 2016.



Figur 11-1 Årsmedeltemperaturens avvikelse (i °C) från den normala årsmedeltemperaturen (medelvärde 1961-1990) för år 2016 (vänster), 2017 (mitten) och 2018 (höger). (<https://www.smhi.se/data/meteorologi/kartor/arsmedeltemperatur-avvikelse>)



Figur 11-2 Årsnederbörd (i procent) av den normala årsnederbörden (medelvärde 1961-1990) för år 2016 (vänster), 2017 (mitten) och 2018 (höger). (<https://www.smhi.se/data/meteorologi/kartor/arsnederbord-procent-av-normal>)

11.2. Halter i luft

11.2.1. Halter i luft av svavel och kväve

I Figur 11-3 och Figur 11-4 visas halter i luft av reducerat kväve (NH_x , dvs. summan av ammonium och ammoniak), i Figur 11-5 och Figur 11-6 för kvävedioxid (NO_2) och i Figur 11-7 och Figur 11-8 för svaveldioxid (SO_2). För respektive förorening visas beräkningar av de totala halterna, d.v.s. halter innehållande både bidrag från Sverige och övriga Europa (långväga transportbidrag) samt Sveriges bidrag separat.

För halter av reducerat kväve i bakgrundsluft i Figur 11-3 återfinns för år 2016-2018 de högsta halterna i Götaland, speciellt i Skåne, Västra Götaland och Östergötland samt Kalmar-Ölandregionen. Norra Norrlands inland har den lägsta halten av reducerat kväve. I Figur 11-4 redovisas en viss ökning av Sveriges bidrag till lufthalter av reducerat kväve i södra och mellersta Sverige samt längst kusten i Norrland för år 2016-2018 jämfört med tidigare år. De svenska emissionerna av reducerat kväve ligger på en stabil, icke-sjunkande nivå de senaste åren. Totalhalterna visar inga större skillnader i mönster mellan åren 2016 och 2018, utom en viss höjning av halterna 2018. Totalhalten år 2018 varierar mellan som högst $1,68 \mu\text{g N/m}^3$ i södra och som lägst $0,10 \mu\text{g N/m}^3$ i nordligaste Sverige.

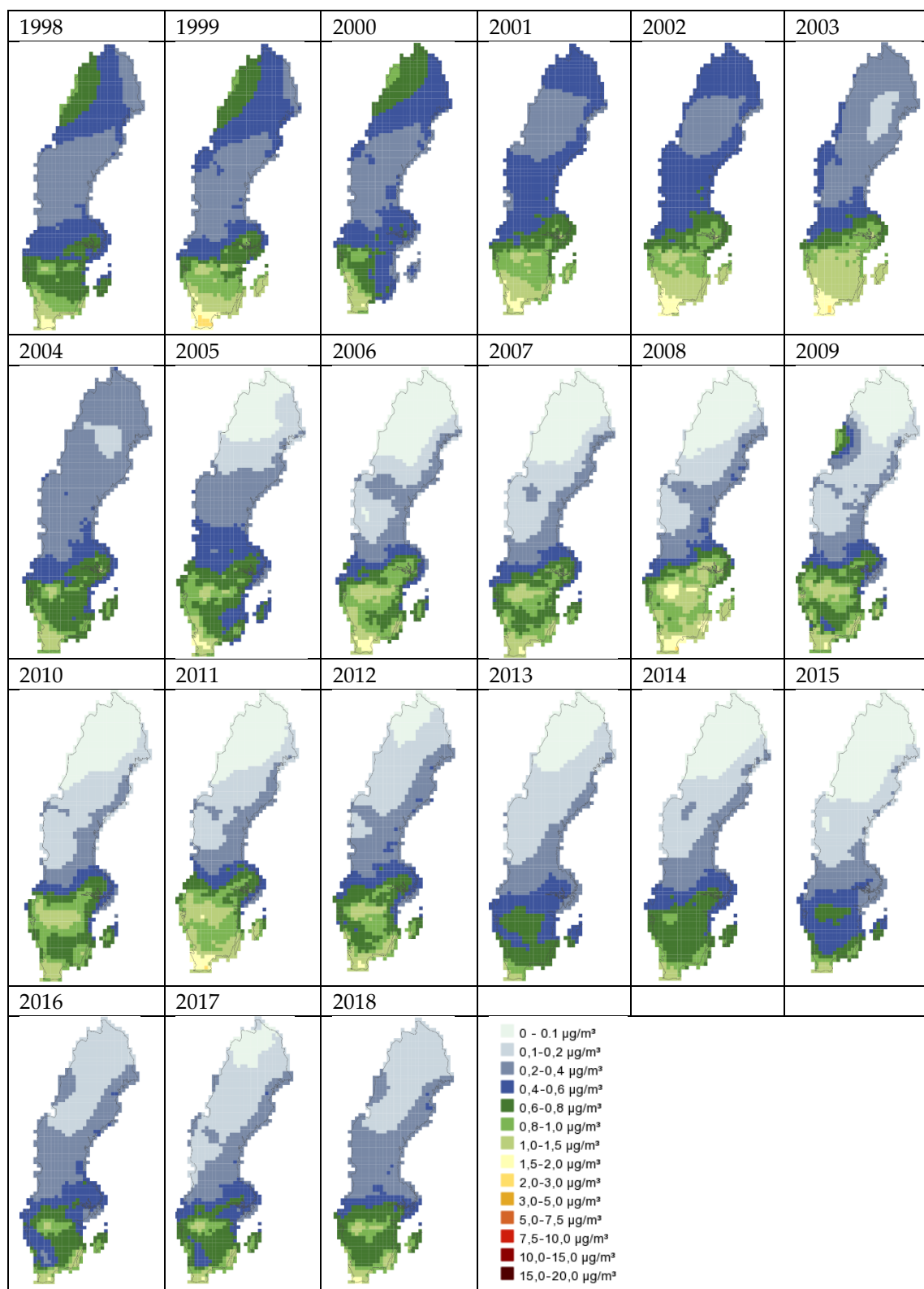
Figur 11-5 visas totalhalter av kvävedioxid i bakgrundsluft. De högsta halterna återfinns längs södra kusten samt Stockholmsregionen. År 2018 har högre halter än 2016 och 2017, främst i Stockholmsområdet, vilket också syns i Figur 11-6, med en ökning av Sveriges bidrag av kvävedioxid runt huvudstaden. Detta indikerar att det var det svenska bidraget som har bidragit till höjningen av koncentration under 2018. Om man bortser från 2018 så syns en sjunkande trend av totalhalter av kvävedioxid i Sverige. Totalhalterna av kvävedioxid varierar mellan $0,07$ och $2,52 \mu\text{g N/m}^3$ över Sverige år 2018.

För halter av svaveldioxid i bakgrundsluft i Figur 11-7 redovisas relativt låga halter i nästan hela Sverige, förutom ett lokalt maximum som återfinns i Skellefteå. Den dominerande utsläppskällan av svaveldioxid i Skellefteå är Rönnskärsverken och i närheten har det också byggts en återvinningsindustri enligt Skellefteå kommuns webbsida (<https://www.skelleftea.se/default.aspx?id=4970>). Totalkoncentrationen i luft år 2018 varierade mellan 0,02 och 1,12 µg S/m³ över Sverige. I Figur 11-8 ses att det svenska bidraget var ungefär samma för 2016-2018, förutom en gradvis minskning i koncentrationen runt Kiruna och Gällivare.

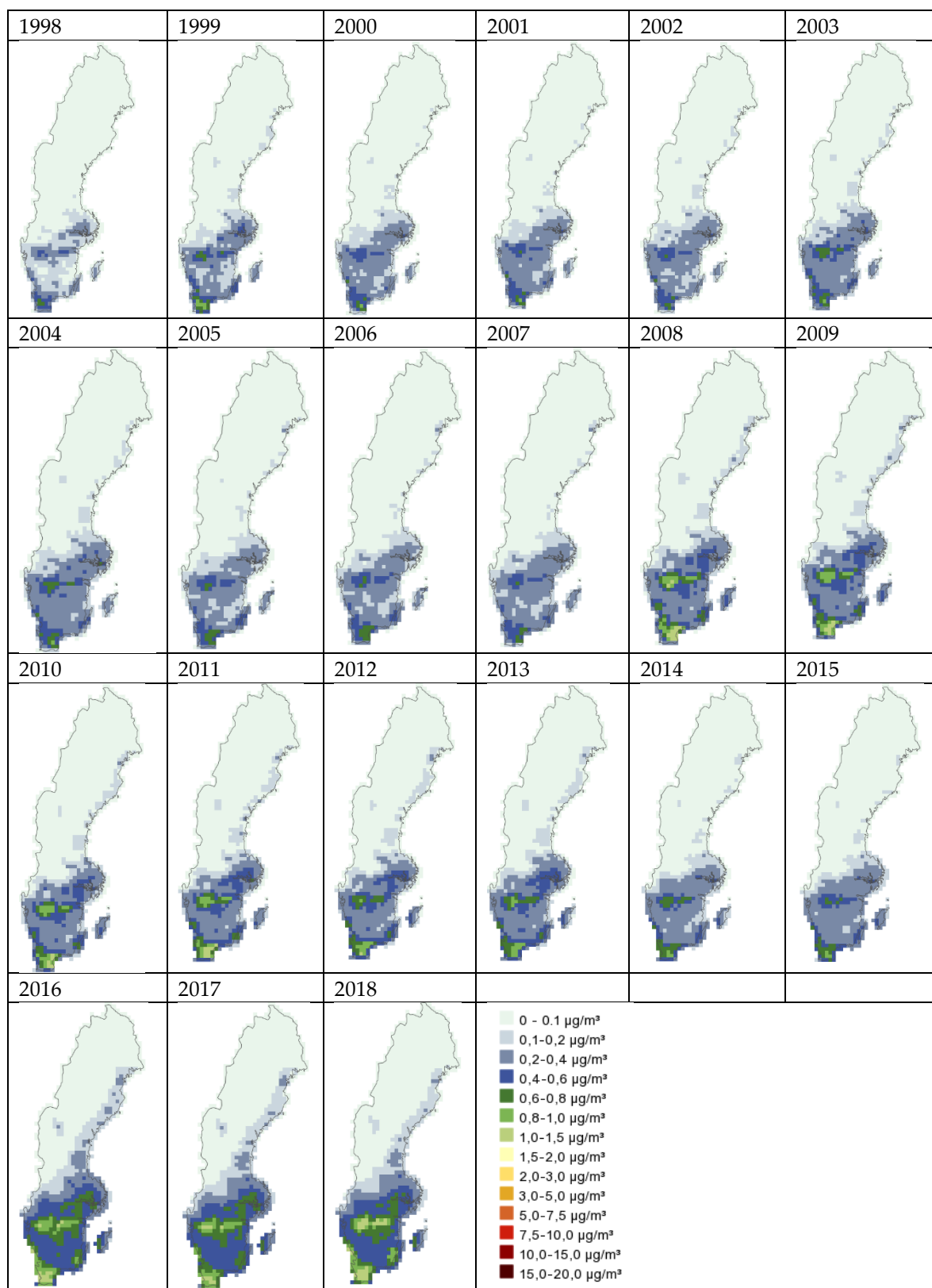
Skillnaderna mellan de tre åren (2016-2018) för oxiderat och reducerat kväve orsakades primärt av variationer i meteorologi, både direkt och via påverkan på mängden utsläpp. Mönster och mängd nederbörd, temperatur, vindmönster och vindstyrka varierar mellan åren och bidrar därmed till variation i lufthalter och deposition. T.ex. bidrar en kallare vinter till mer stabilt väder (d.v.s. mindre turbulens och därmed mindre omblandning), vilket tenderar att öka halten av lokalt utsläppta föroreningar, d.v.s. Sverigebidraget. Nederbördsmängden påverkar också lufthalten av svavel- och kvävehaltiga gaser och partiklar, mer nederbörd medför en större uttvättning. Om det regnar i luftmassan som transporteras mot Sverige (oftast sydväst om Sverige) så blir långdistansbidraget till lufthalt lägre. Om det regnar i Sverige så blir totala lufthalten (och torrdepositionen) i Sverige lägre, och Sverigebidraget till våtdeposition ökar. Intransporterade föroreningar våtdeponeras också effektivt med nederbörd över Sverige. Därmed är våt- och totaldepositionen oftast som störst i sydvästra Sverige, där det regnar mycket och där smutsig luft från kontinenten oftast transporteras in över Sverige.

Förändrade förhållanden i oxidativ kapacitet mellan åren påverkar också lufthalten av kväve- och svavelhaltiga gaser och partiklar. Detta är kopplat till halten av långdistanstransporterad luftmassa innehållande t.ex. troposfäriskt ozon.

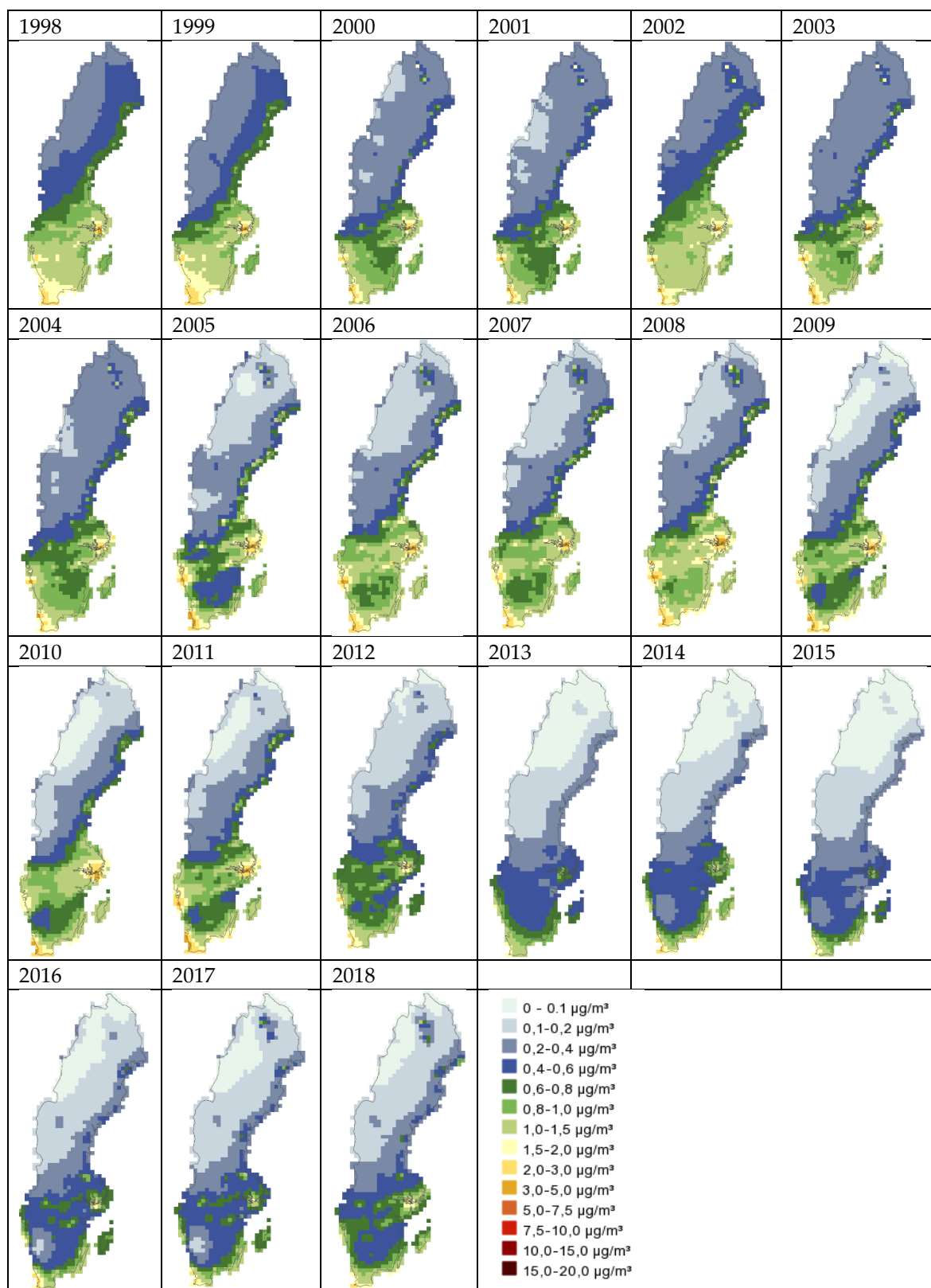
Under 2018 orsakade de svenska emissionerna i genomsnitt 56 % av totalhalterna för SO₂. Motsvarande siffra för NO₂ och reducerat kväve var 57 % respektive 57 %.



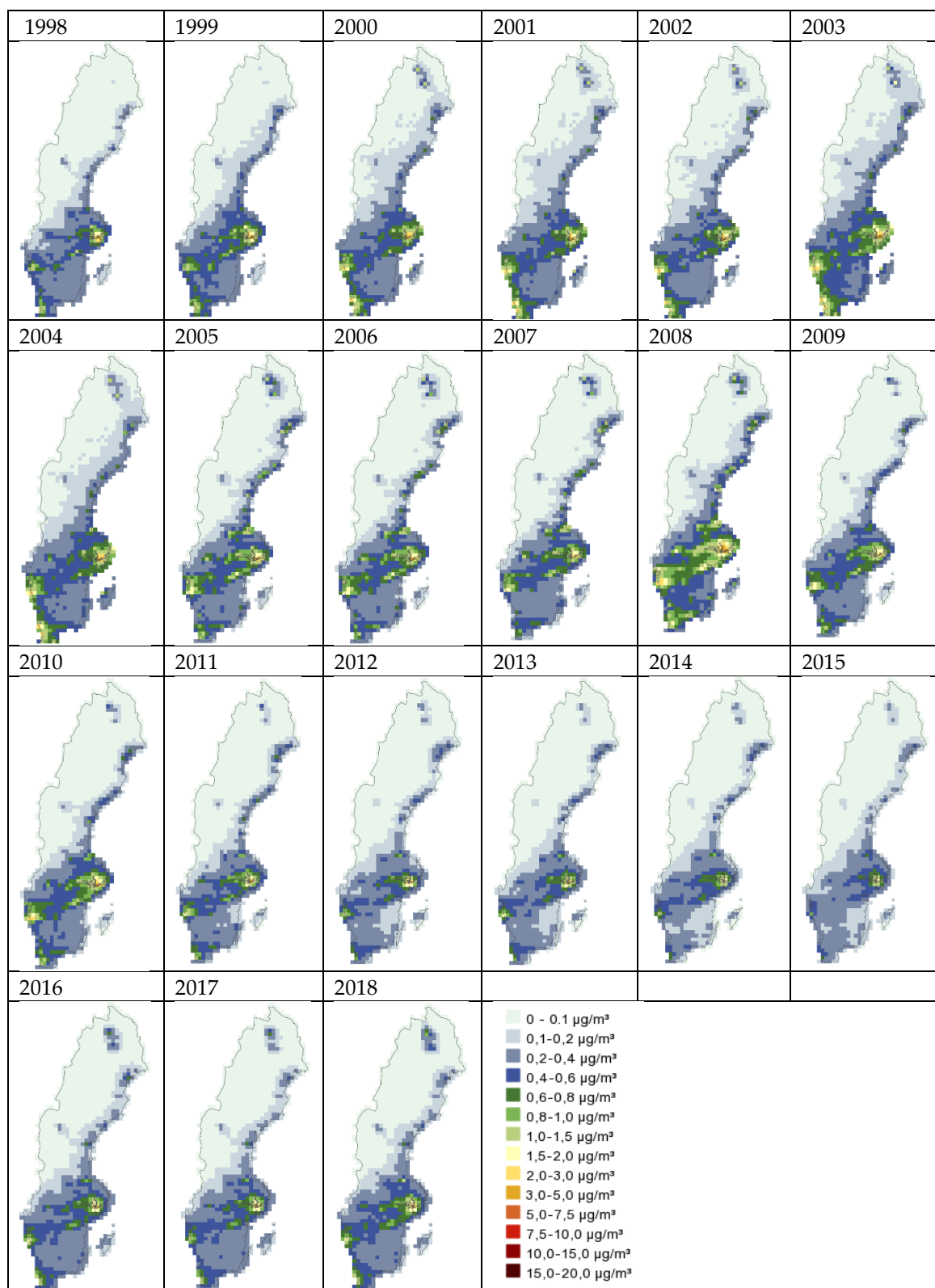
Figur 11-3 Totala halter av reducerat kväve (summan av ammonium och ammoniak) i luft för år 1998 - 2018 (enhet µg N/m³).



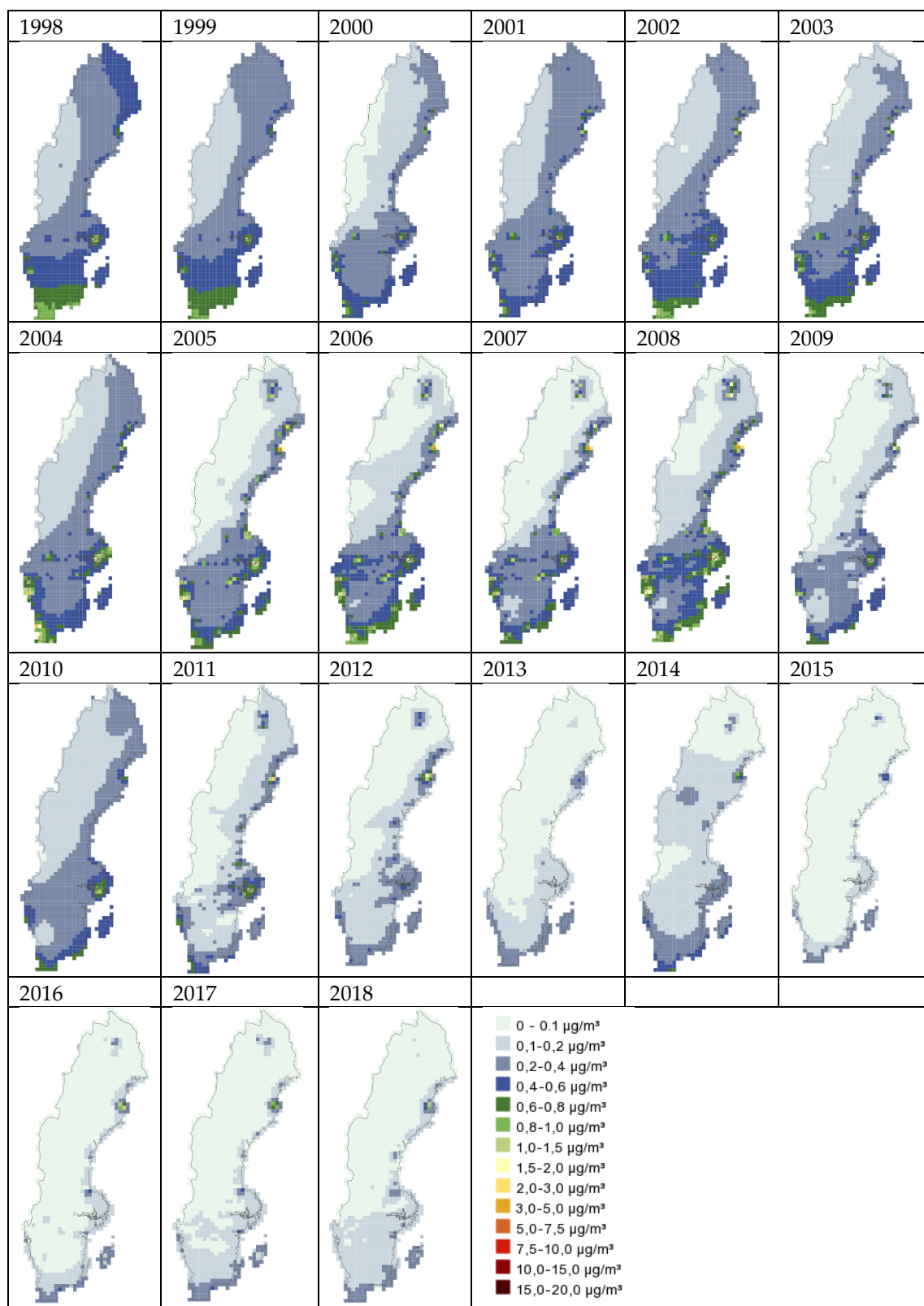
Figur 11-4 Svenska bidrag till halter av reducerat kväve (summan av ammonium och ammoniak) i luft för år 1998 - 2018 (enhet µg N/m³).



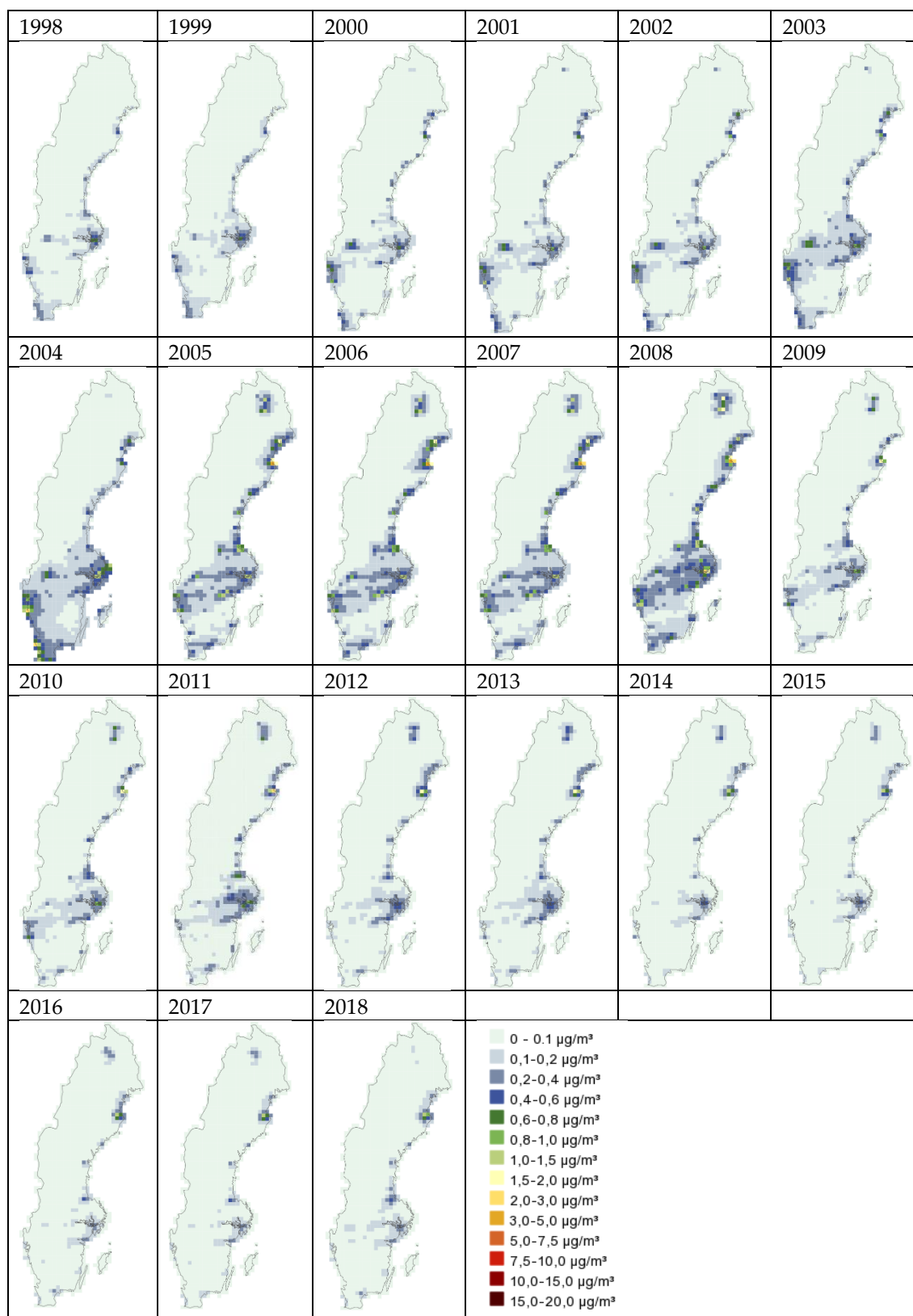
Figur 11-5 Totala halter av kvävedioxid i luft för år 1998-2018 (enhet µg N/m³).



Figur 11-6 Svenskt bidrag av kvävedioxid i luft för år 1998 - 2018 (enhet µg N/m³).



Figur 11-7 Totala halter av svaveldioxid i luft för år 1998-2018 (enhet µg S/m³).



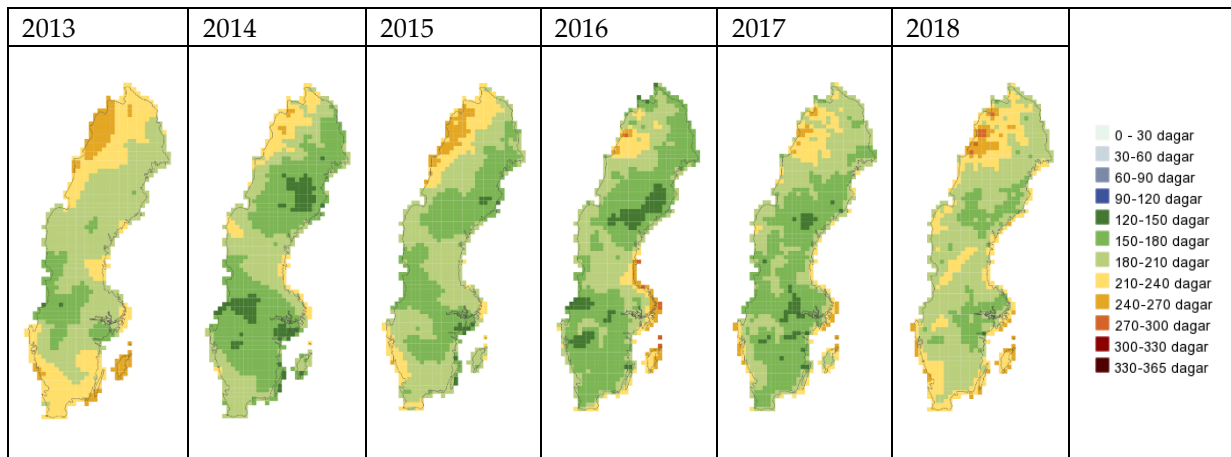
Figur 11-8 Svenskt bidrag till halter av svaveldioxid i luft för år 1998-2018 (enhet µg S/m³).

11.2.2. Halter av marknära ozon

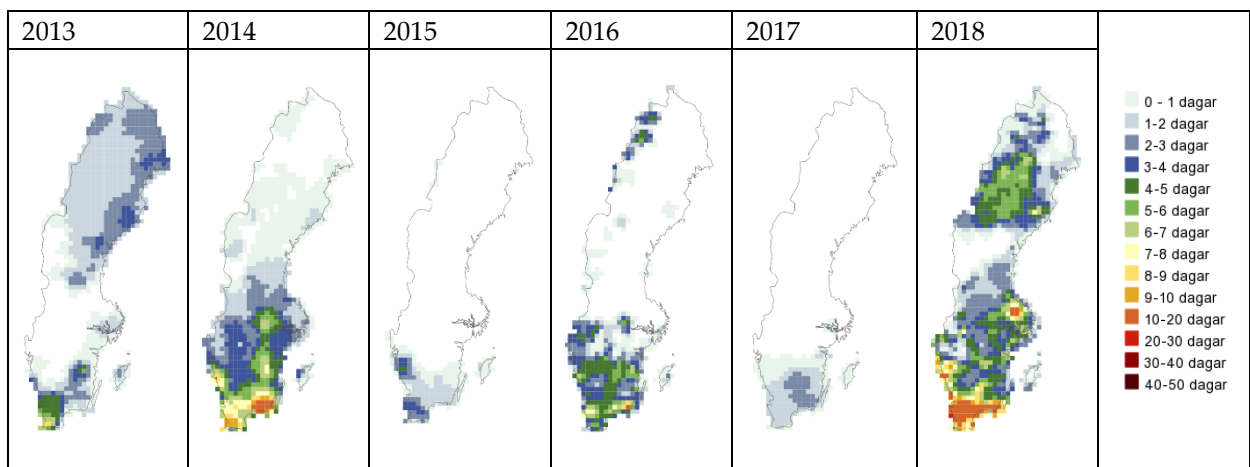
I Figur 11-9 och Figur 11-10 redovisas antal dagar dygnets maximala flytande 8-timmarsmedelvärde av marknära ozon överskred 70 respektive 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ under åren 2013-2018. Det blev fler dygnsöverskridanden av 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ år 2018 jämfört med 2016 och 2017 över i princip hela landet. De högsta överskridanden inträffade runt väst- och sydkusten, Gotland samt Norrlands inland. För 1990-2013 (Andersson et al., 2015; Andersson et al., 2017) är antalet dygn med maximalt flytande 8-timmarsmedelvärde över 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ i medel 160-190 över hela perioden i stora delar av landet, och något högre i fjällen och södra Götalands kusttrakter, medan norra Norrlands kusttrakter och det i delar av västliga Svealand är något lägre. Detta innebär att år 2018, med i medel 202 dagar över 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, låg mycket högre än genomsnittet under den långa perioden. Jämfört med maximum över hela perioden var 2018 ganska likt det maximala året för överskridande av 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ för nästan hela Sverige. Under perioden 1990-2013 ökade antalet överskridande av 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ med mer än 1 dygn per år (Andersson et al., 2017), en utveckling som även verkar fortsätta senare år.

När det gäller överskridanden av 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ så hade år 2018 betydligt fler dygnsöverskridanden jämfört med 2016 och 2017. Dessa skedde främst i södra Sverige, med i genomsnitt 10-20 dagar över 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ i Skåne och Blekinge, Upplands region med 10-20 dagars överskridande samt en stor del av norra Norrland med 5-6 dagars överskridande. För år 2017 skedde de flesta överskridandena i södra Sverige, med som mest cirka 1-3 dagars överskridande. År 2016 skedde fler dygnsöverskridanden i Götaland med genomsnitt 3-5 dagars överskridande och ett lokalt maximum i Blekinge med 11 dagars överskridande. För antal dygn över 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ var medel över hela perioden 1990-2013 (Andersson et al., 2015) lågt i norr (upp till 2 dygn) och högre i söder (ca 4-15 dygn), medan maximalt antal dygn i norr över perioden översteg 10 dygn i vissa områden och i söder mellan 10 och 36 dygn. De flesta överskridanden inträffade dock under 1990-talet i södra Sverige. Det senaste året, före 2014, med fler än 10 överskridanden på ett utbrett område var 2004. Under perioden 1990-2013 var det en signifikant minskande trend i södra och centrala Sverige, med 0.32 respektive 0.12 dagar per år. 2018 var alltså ett extremår för höga halter av marknära ozon i hela Sverige. Högre temperatur och torrare luft och mark år 2018 är orsaken till fler dagar med högre ozonhalt under sommaren (Johansson et al., 2020).

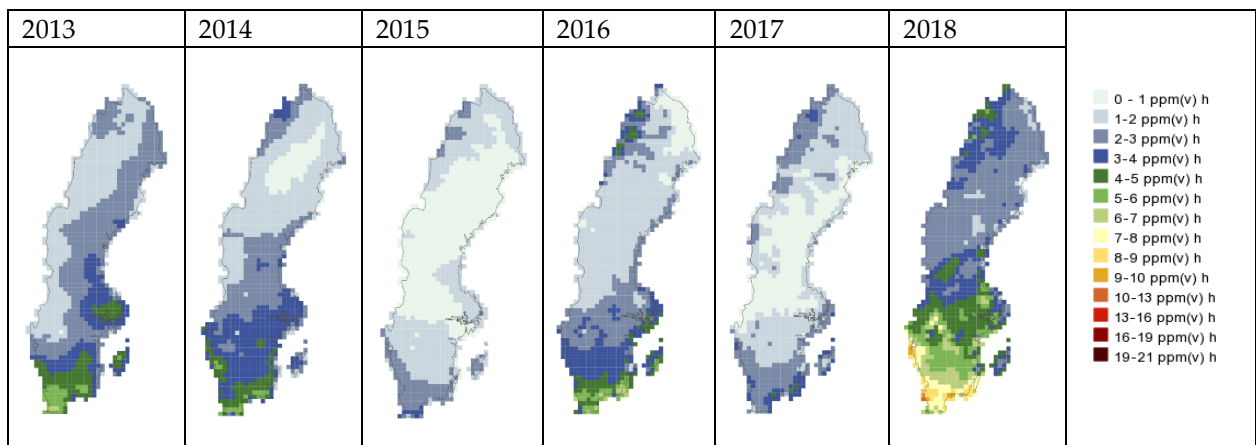
I Figur 11-11 och Figur 11-12 visas AOT40, som indikerar vegetationspåverkan på grödor respektive skog, under åren 2013-2018. AOT40 anges här i enheten ppm(v) h (parts per million volume hours), d.v.s. summan av halter som överstiger 40 ppb(v) under maj-juli respektive april-september. Vegetationspåverkan på grödor var markant högre under 2018 än 2016 och 2017, och störst påverkan var det i Svealand och Götaland, speciellt vid västkusten, Skåne och Blekinge. AOT40 för grödor hade år 2018 ett värde som var något högre än medel över perioden 1990-2013, medan 2016, och definitivt 2017, var lägre än medelåret. AOT40 för skog var markant högre i nästan hela landet under 2018 jämfört med tidigare år, med störst påverkan i södra Sverige och Uppland. Maxvärdet för 1990-2013 gällande AOT40 för skog liknade 2018 i mellersta och södra Sverige. I norra Sverige var år 2018 högre än maxvärdet över perioden. Trenden över 1990-2013 (Andersson et al., 2015) är minskande överallt, utom i norra Norrland, för både grödor och skogseffekter (signifikant minskning i Svealand för grödor och i Götaland för skog). Skillnaderna mellan åren 2016-2018 orsakades av meteorologisk variabilitet, medan den långsiktiga trenden framför allt orsakas av utsläppsminskningar i Europa och Nordamerika, och utsläppsökningar i Asien. Det senare bidrar till en allmän ökning av de lägsta ozonhalterna, vilket i sin tur bidrar till en ökning av överskridandedagar av låga trösklar som 70 respektive 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (35 resp 40 ppb(v)), medan svenska och europeiska emissionsminskningar bidrar till minskade höga halter under sommarhalvåret (Andersson et al., 2017).



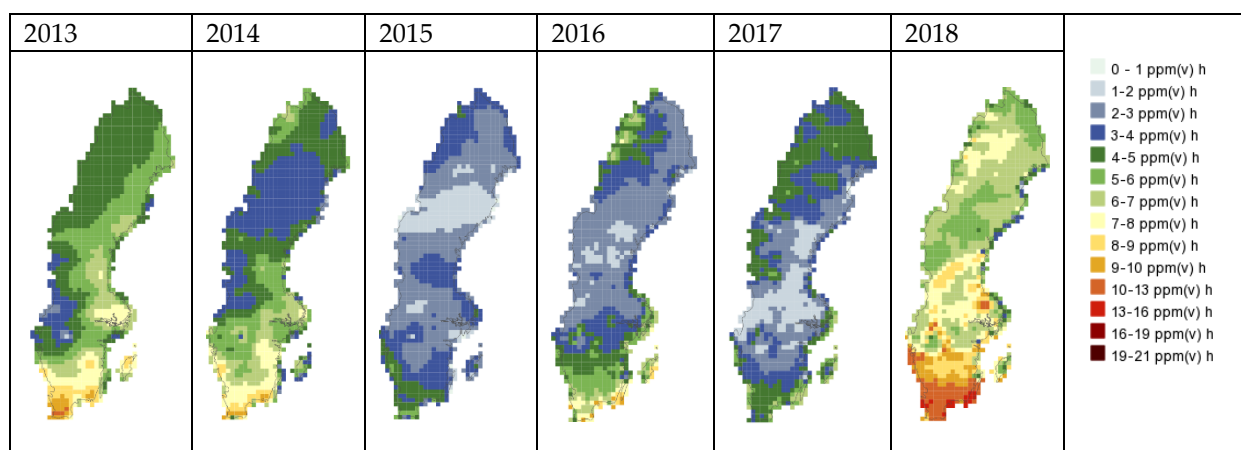
Figur 11-9 Antal dagar över 70 µg/m³ av marknära ozon för år 2013-2018.



Figur 11-10 Antal dagar över 120 µg/m³ av marknära ozon för år 2013-2018.



Figur 11-11 AOT40 för grödor i ppm(v) h för år 2013-2018.



Figur 11-12 AOT40 för skog i ppm(v) h för år 2013-2018.

11.3. Deposition

11.3.1. Deposition av svavel och kväve

Figur 11-13 till Figur 11-18 visar deposition (våt- och torrdeposition) av reducerat kväve (NH_x , dvs. summan av ammonium och ammoniak), oxiderat kväve (NO_y , dvs. summan av bland annat NO , NO_2 , HNO_3 , PAN, N_2O_5 , NO_3 -salter och organiskt NO_3) och oxiderat svavel exklusive havssalt (XSO_x , dvs. summan av svaveldioxid och sulfat utan havssaltbidrag) för år 1998-2018. För varje förorening visas figurer för den totala depositionen, d.v.s. summan av Sverigebidrag och långdistanstransportbidrag (bidrag från resten av Europa), samt Sveriges bidrag. På SMHI:s hemsida presenteras depositionen uppdelad på våt- och torrdeposition, samt torrdepositionsflöde till olika marktyper.

Generellt så har depositionen av kväve och svavel en stark gradient med högst deposition i södra Sverige och lägst i Norrlands inland. Det finns en sjunkande trend för totaldepositionen i Sverige och trenden är starkare för svavel än för kväve (Andersson et al., 2018).

Depositionsmönstret av totaldepositionen av reducerat kväve (Figur 11-13) varierar något mellan åren 2016 till 2018, men det allmänna mönstret är att södra Sverige mottar störst mängd, och minst deponeras i norra Norrlands inland. Det svenska bidraget, i Figur 11-14, var lite lägre i Mälaren, Skåne, Västergötland och Norrlandskusten under 2018 än 2017 och 2016. Jämfört med perioden 1983 till 2013 (Andersson et al., 2018) är totaldepositionen under 2016-2018 jämförbar med de lägsta åren i tidsserien (i slutet av perioden). Totaldepositionen varierar över Sverige mellan 20 och 430 mg N/m^2 under 2018.

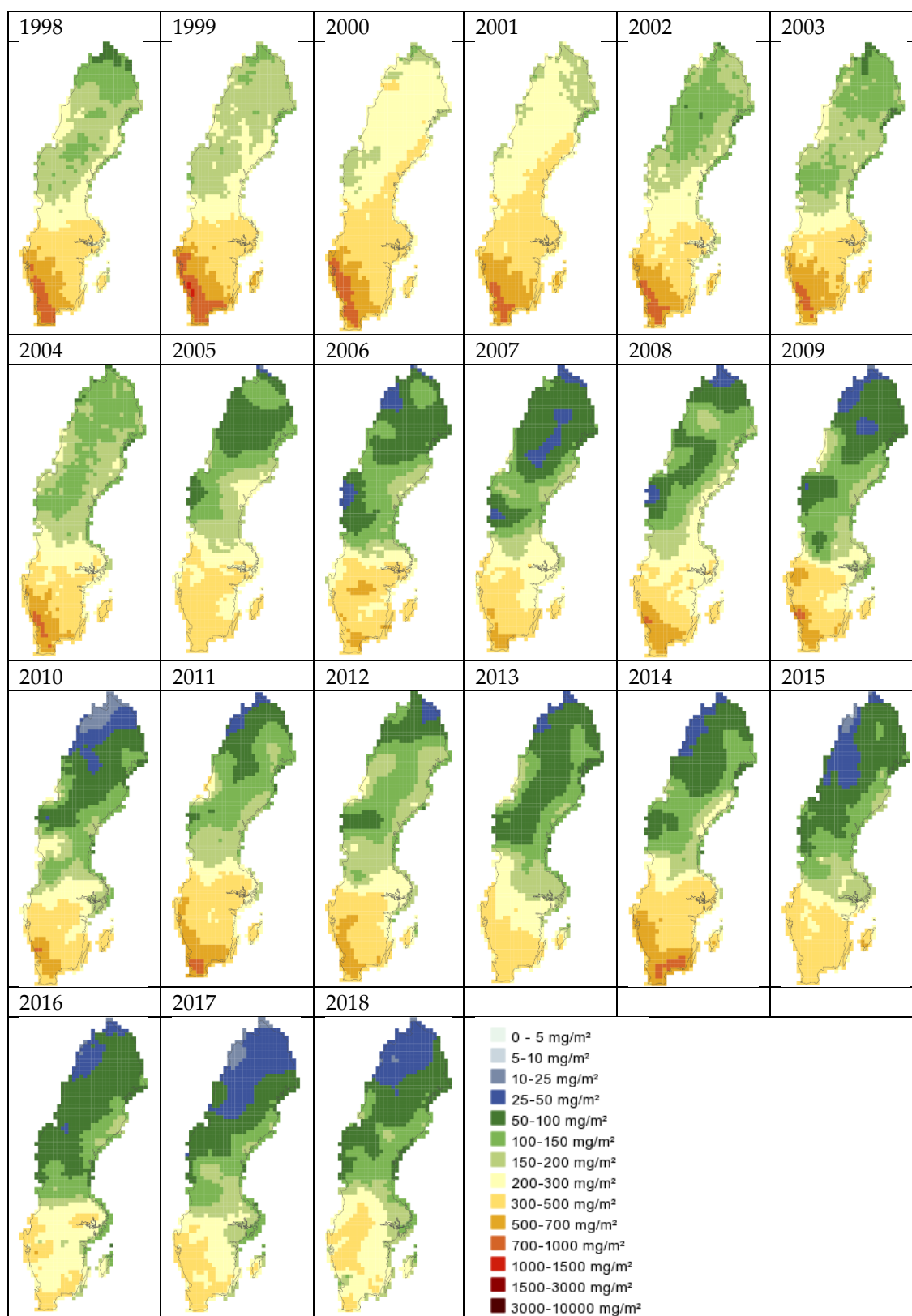
Den lägsta totaldeposition av oxiderat kväve (Figur 11-15) sker i fjällområden i norra Norrlands inland, och den högsta depositionen sker i södra Sverige. Figur 11-21 visar att totaldeposition av oxiderat kväve var större i östra Svealand 2018 än 2016-2017, men lägre på väst- och sydkusten under år 2018. Detta avvikande mönster under 2018 är sannolikt orsakat av torkan som kan ha bidragit till att föroreningarna kunde transporteras längre norrut under 2018, snarare än att våtdeponeras utmed Götalands syd- och västkust. Det svenska bidraget varierar svagt mellan åren 2016-2018 (Figur 11-16), och är något lägre under 2018. Variationer i totaldepositionen beror till största del på variation i långtransportbidrag.

Jämfört med perioden 1983 till 2013 (Andersson et al., 2018) är 2016-2018 jämförbara med de lägsta (och sista) åren i tidsserien. Depositionen är ungefär lika eller något lägre under 2016-2018 än det lägsta året i återanalysens tidsperiod, vilket indikerar att den sjunkande trenden för deposition av oxiderat kväve fortsätter i Sverige. För 2018 varierade totaldepositionen mellan 24 och 409 mg N/m².

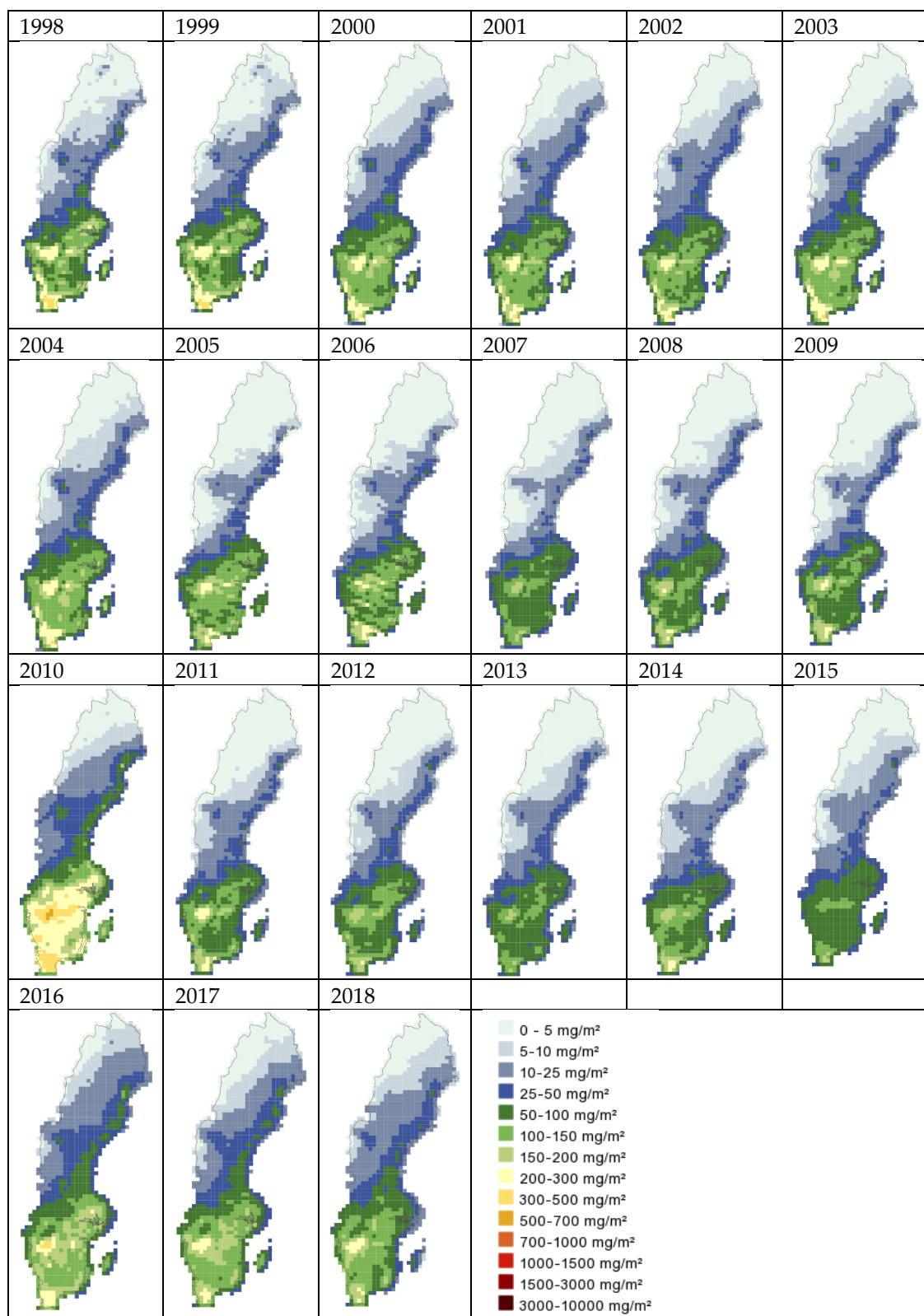
Totaldepositionen av oxiderat svavel i Figur 11-17 visar att år 2016-2018 har lägst deposition av alla år som visas. Särskilt längst kusterna är svaveldepositionen lägre, vilket är en effekt av SECA-områdets hårda krav på lägre svavelhalter i marina bränslen, vilka trädde i kraft år 2015. Det svenska bidraget (Figur 11-18) var ungefär detsamma för de tre åren, vilket indikerar att främst långdistanstransporten påverkar minskningen av totaldeposition. Vid jämförelser av totaldeposition av svavel 2016-2018 mot tidsperioden 1983-2013 (Andersson et al., 2018) ses att samtliga tre år har lägre deposition än det lägsta året i återanalysen, vilket bekräftar en fortsatt kraftig nedåtgående trend i hela landet. Totaldepositionen av oxiderat svavel utan havssalt varierade mellan 31 och 489 mg S/m² år 2018 i Sverige.

Depositionen under ett visst år beror, som för lufthalten, på mängden utsläpp samt meteorologiska förhållanden i Sverige, samt intransporten från resten av Europa som också påverkas av meteorologiska förhållanden och utsläppsnivåer. Depositionen sker i form av både torr- och våtdeposition. För våtdepositionen är mängd och fördelning av nederbörd under ett visst år mycket viktig. För torrdepositionen är lufthalten viktig. Mer nederbörd ett visst år innebär ofta en större våtdeposition, vilket lokalt medför lägre lufthalter och därmed mindre torrdeposition. Den totala depositionen (summan av våt och torr) är dock beroende av långdistanstransporterade föroreningar från övriga Europa, vilket medför att både våt- och torrdeposition kan vara högre ett visst år jämfört med ett annat oavsett nederbördsmängd i Sverige. Förutom detta påverkar även fördelningen av kväve- och svavelämnena mellan gas- och partikelfas. Detta beror bl.a. på hur oxidativ atmosfären är ett visst år, vilket t.ex. är kopplat till halten av troposfäriskt ozon samt transport och blandningsförhållanden.

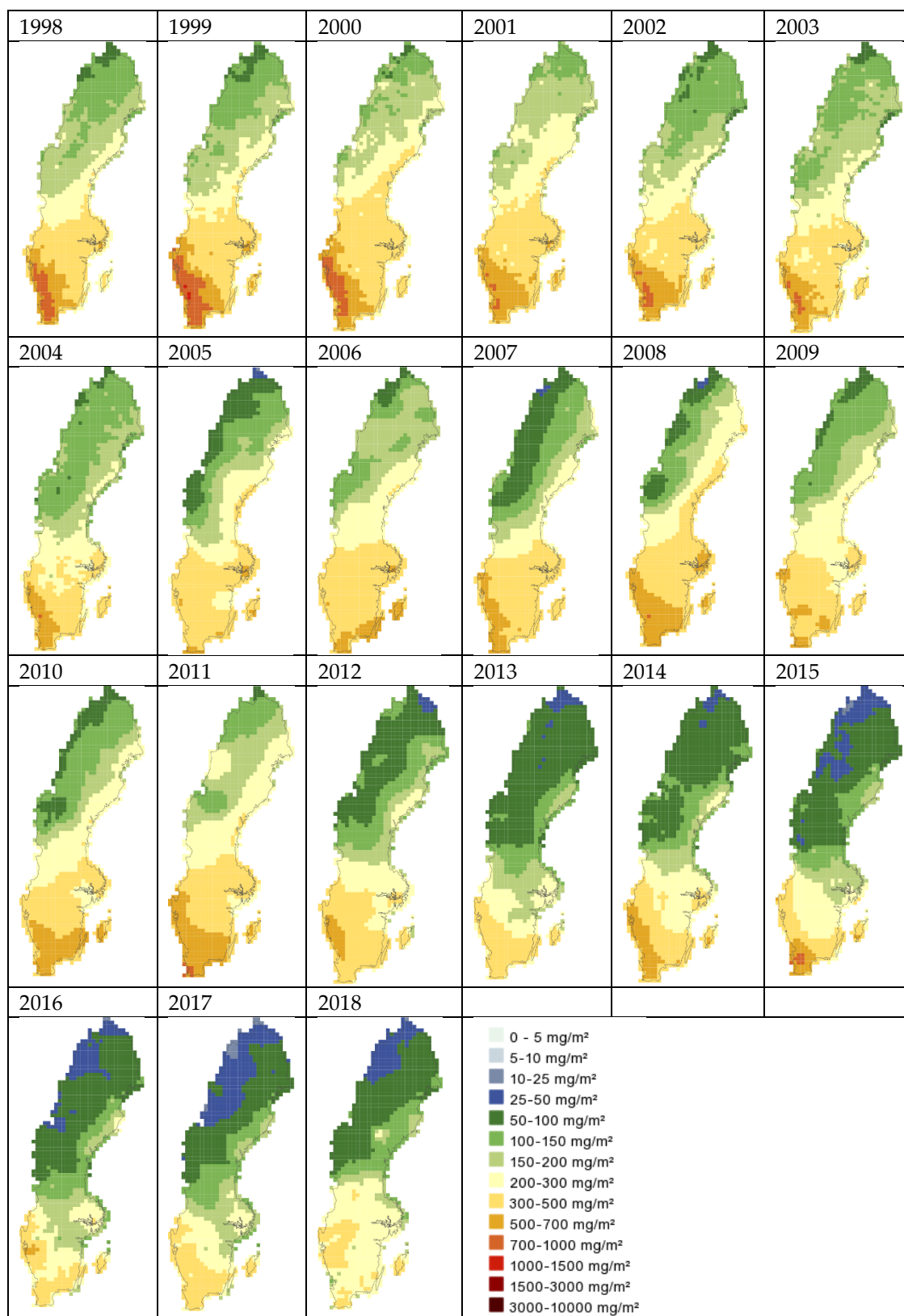
Generellt sett betyder mer nederbörd mer våtdeposition där lufthalterna är höga, med en snabbare minskning (starkare gradient) av lufthalterna, och därmed även av depositionen, norrut i Sverige. På datavärldskapets hemsida (<https://www.smhi.se/data/miljo/atmosfarskemi>) finns kartläggningar av bl.a. våt- och torrdeposition uppdelat samt även deposition till olika marktyper.



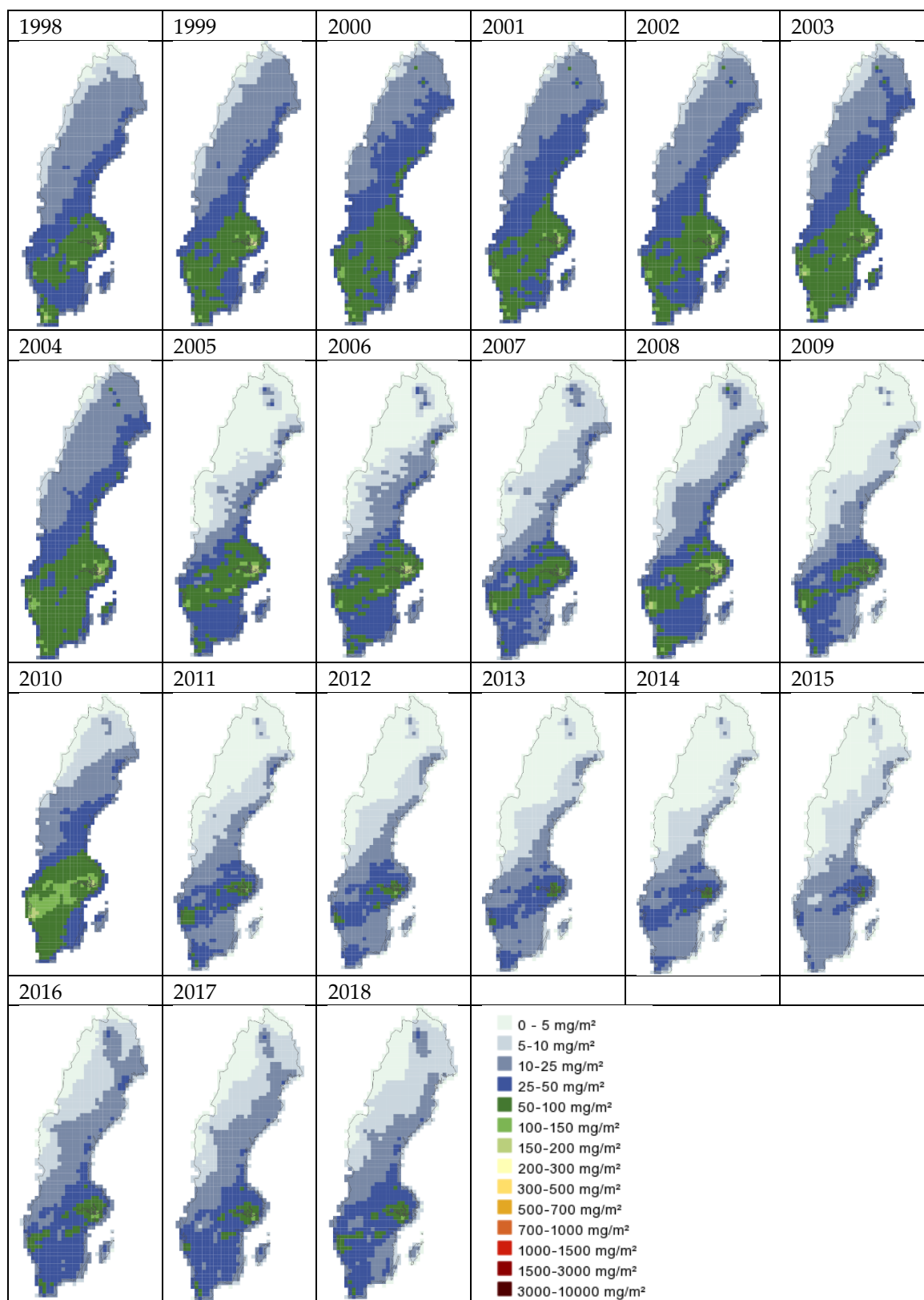
Figur 11-13 Totaldeposition av reducerat kväve (summan av ammonium och ammoniak) för år 1998-2018 (enhet mg N/m²).



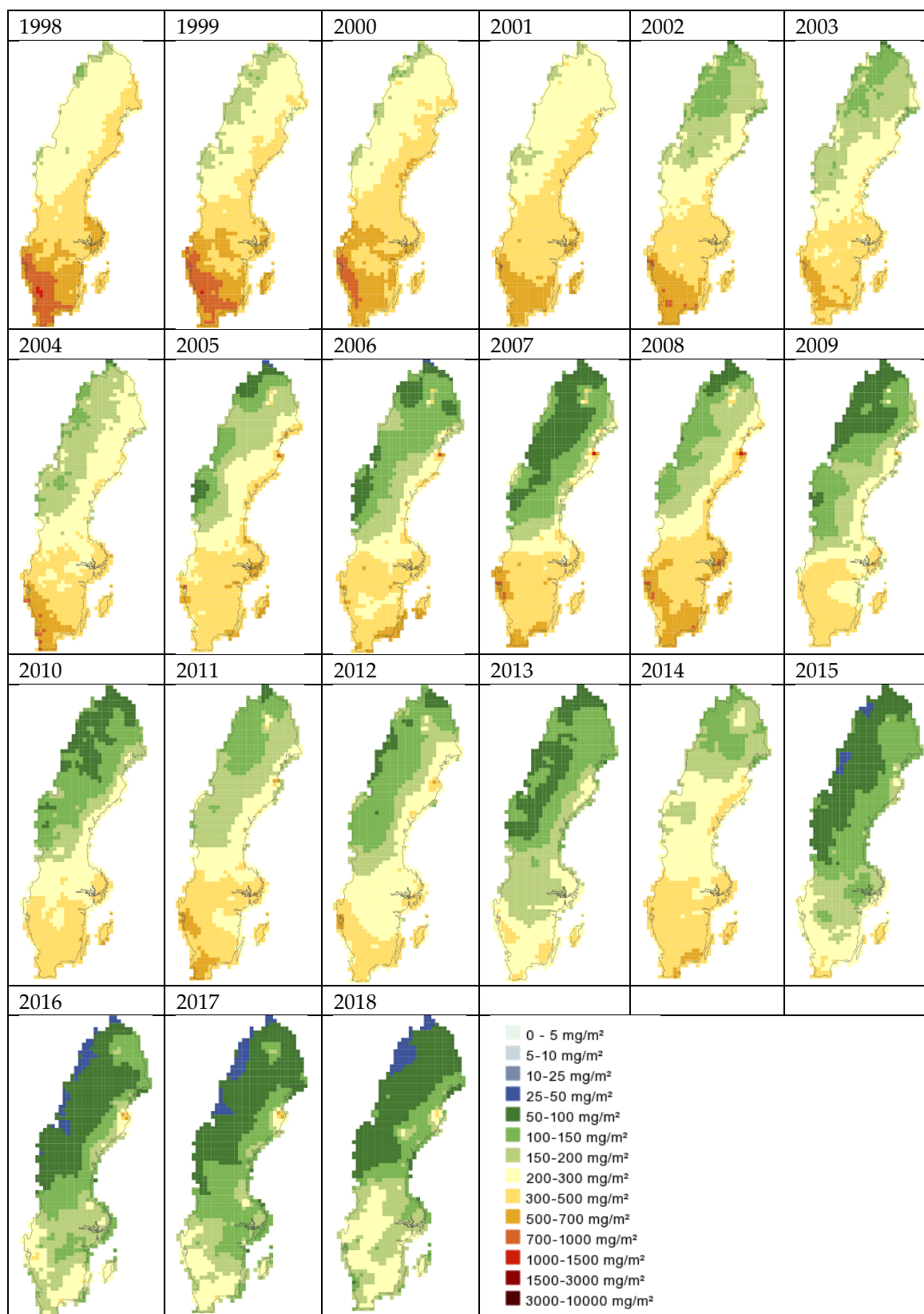
Figur 11-14 Svenskt bidrag till deposition av reducerat kväve (summan av ammonium och ammoniak) för år 1998-2018 (enhet mg N/m²).



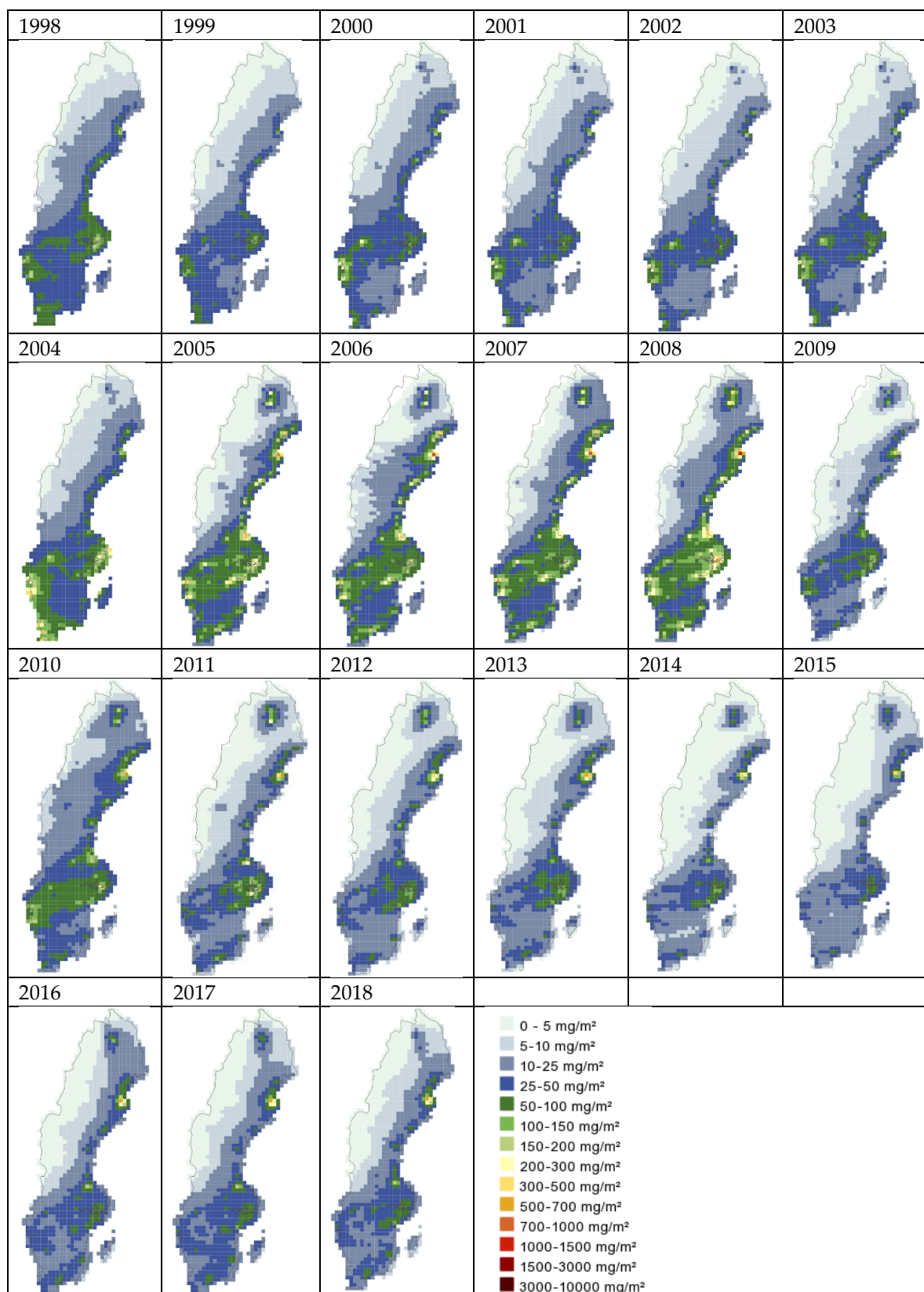
Figur 11-15 Totaldeposition av oxiderat kväve (summan av bland annat NO, NO₂, HNO₃, PAN, N₂O₅, NO₃-salter och organiskt NO₃) för år 1998-2018 (enhet mg N/m²).



Figur 11-16 Svenskt bidrag till deposition av oxiderat kväve (summan av bland annat NO, NO₂, HNO₃, PAN, N₂O₅, NO₃-salter och organiskt NO₃) för år 1998-2018 (enhet mg N/m²).



Figur 11-17 Totaldeposition av oxiderat svavel (summan av svaveldioxid och sulfat) exkl. havssalt för år 1998-2018 (enhet mg S/m²).

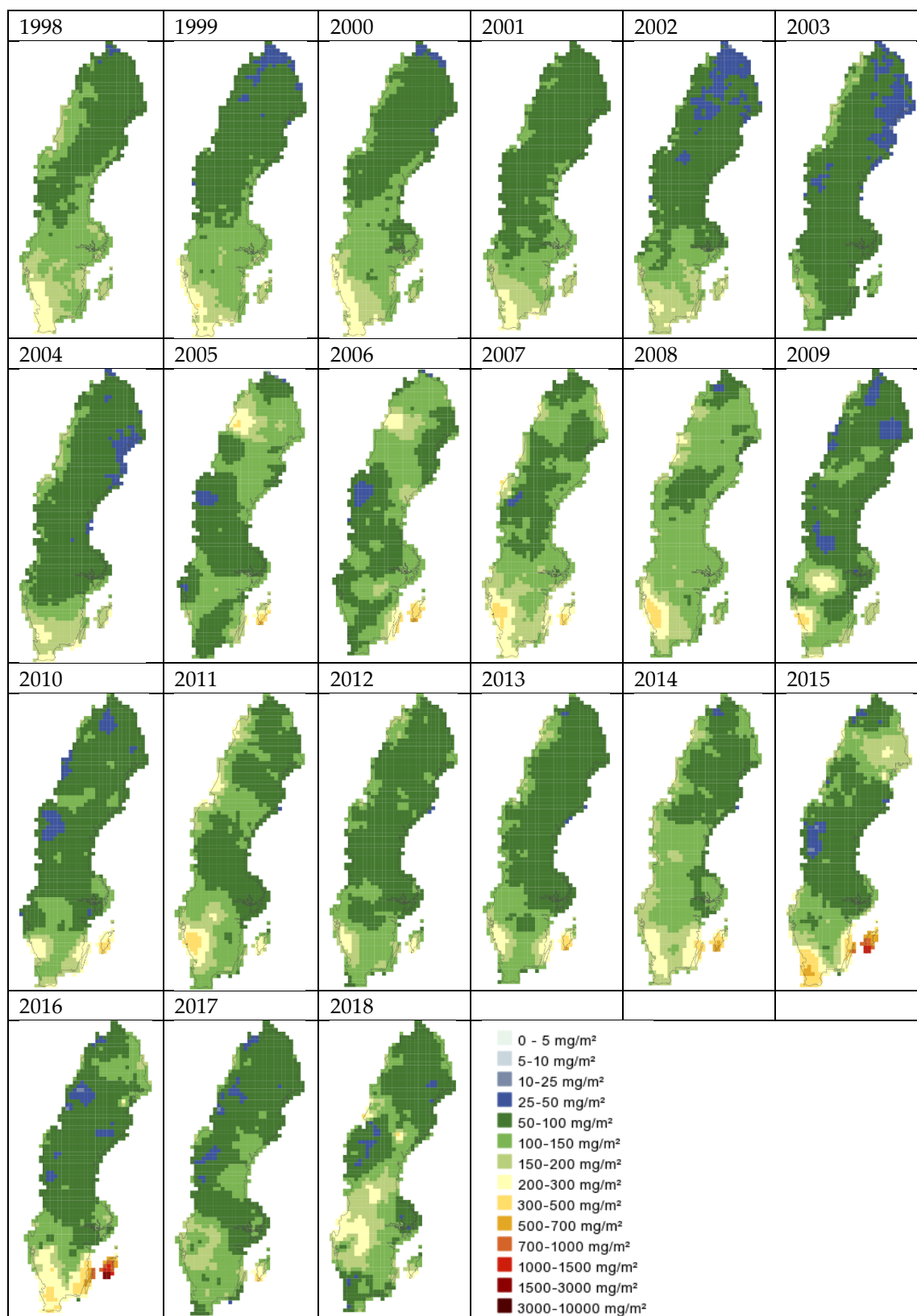


Figur 11-18 Svenskt bidrag till deposition av oxiderat svavel (summan av svaveldioxid och sulfat) exkl. havssalt för år 1998-2018 (enhet mg S/m²).

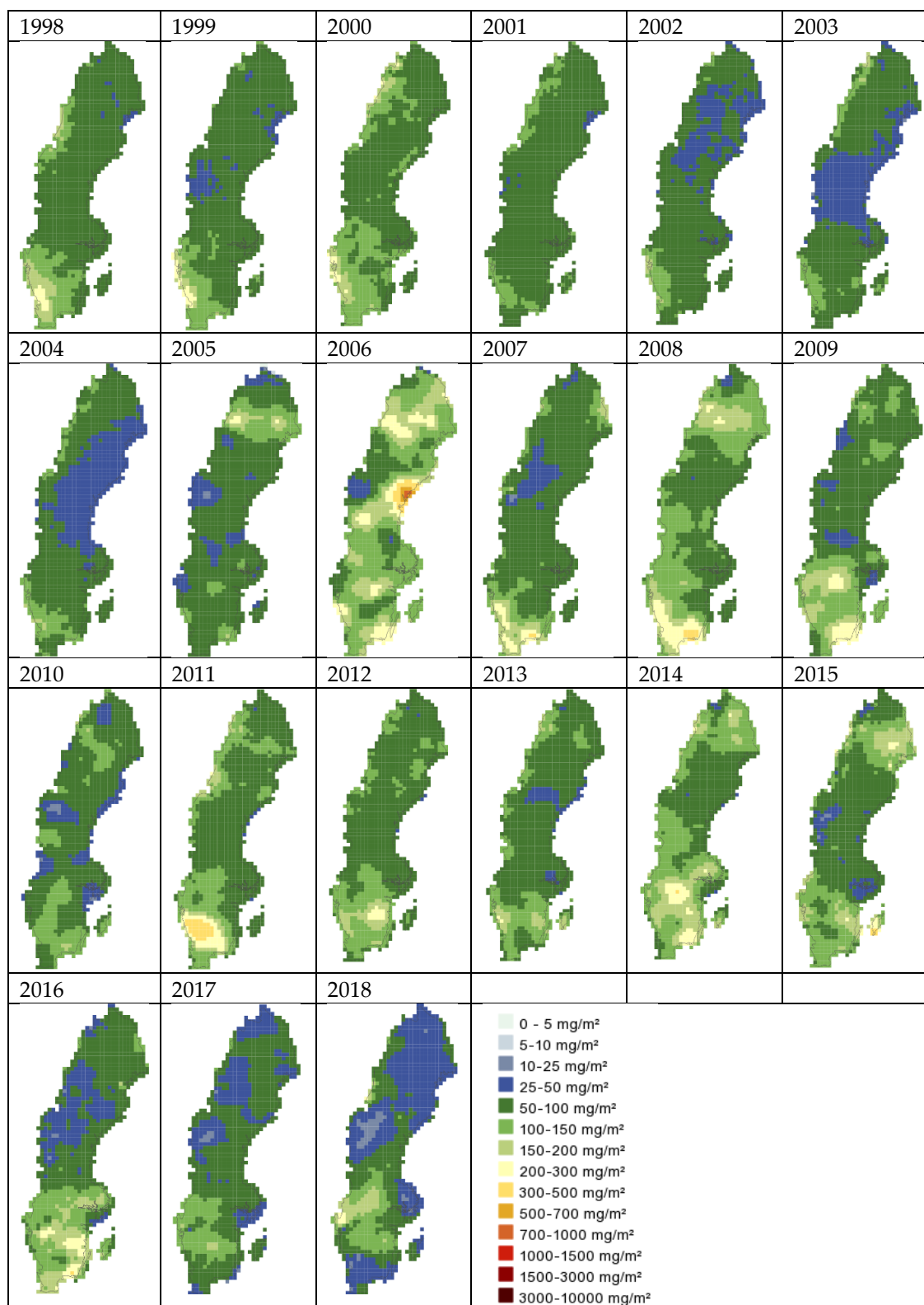
11.3.2. Deposition av baskatjoner

För baskatjoner ingår beräkning av våtdeposition i MATCH-Sverigesystemet. I Figur 11-19 till Figur 11-22 visas resultat för våtdepositionsberäkningar av baskatjoner för 1998-2018. Deposition av baskatjoner är av intresse eftersom de verkar neutraliserade. Vid försurningsmodellering är kunskap om detta nedfall användbart, då det kan balansera åtminstone delar av det försurande kväve- och svavelnedfallet som sker.

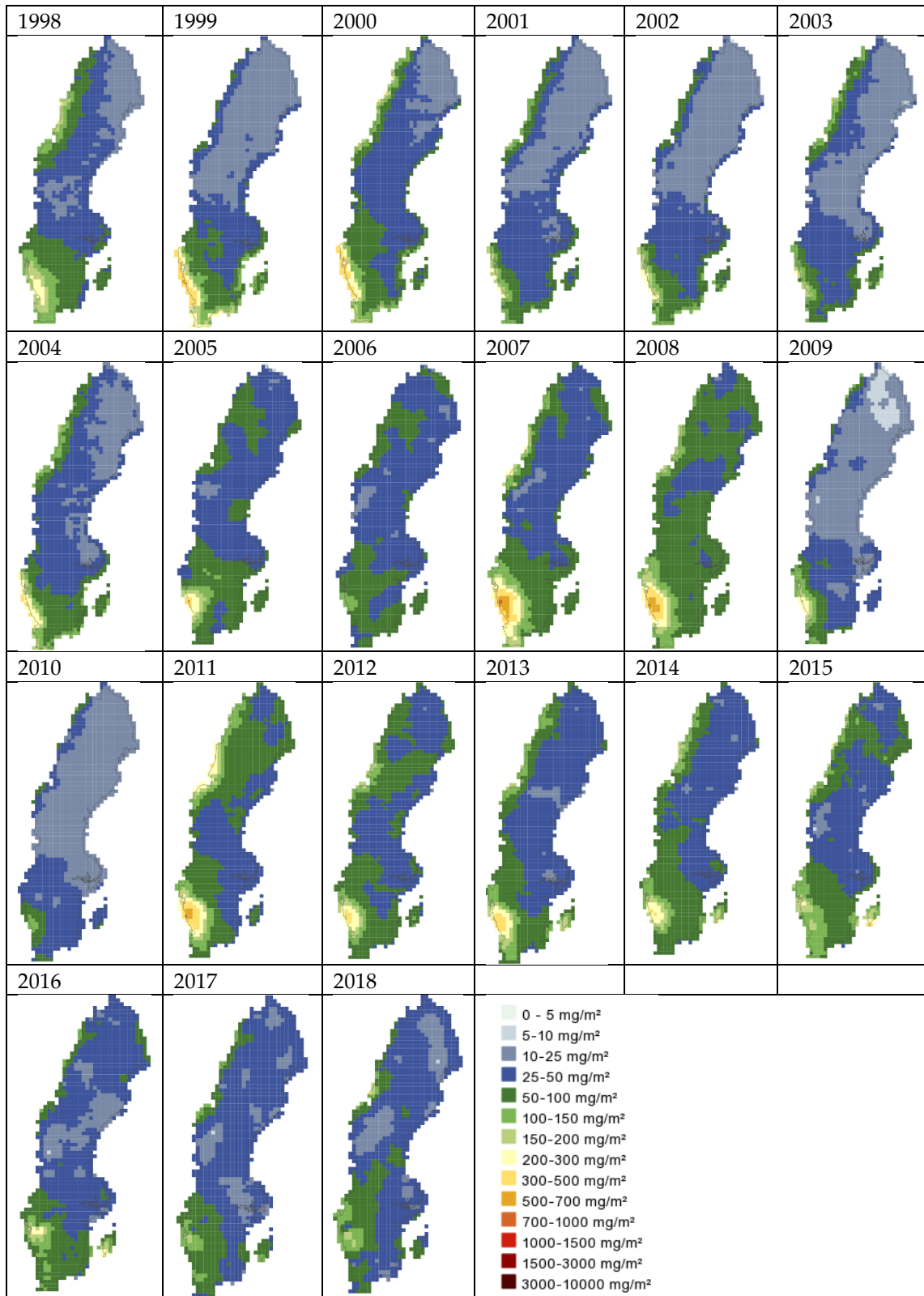
Den största våtdepositionen av kalcium (Ca) finns främst över södra Sverige, särskilt i östra Götaland och Gotland år 2016 (Figur 11-19). Det var lägre våtdeposition över södra Sverige och Gotland för 2017 och 2018, medan 2016 var extremt även i ett längre perspektiv (enbart 2015 har haft lika hög deposition, även det på Gotland, sedan 1998). Depositionen av kalium (K) var lägre i allmänhet under 2018, jämfört med 2016-2017 och även jämfört med de flesta åren från 1998 (Figur 11-20), förutom i västra Svealand. Störst våtdeposition av magnesium (Mg) återfinns utmed västkusten, vilket inte är förvånande då det absolut största bidraget kommer från havssalt (Figur 11-21). Det gäller även natrium, som återfinns i höga nivåer, framför allt längs västkusten och delvis längs ostkusten (Figur 11-22). Natriumet tolkas enbart som härstammande från havssalt i MATCH-Sverigesystemet. Våtdepositionen av natrium utmed gränsen mot Norge är en effekt av mycket höga natriumhalter i nederbörd utmed Norges kust.



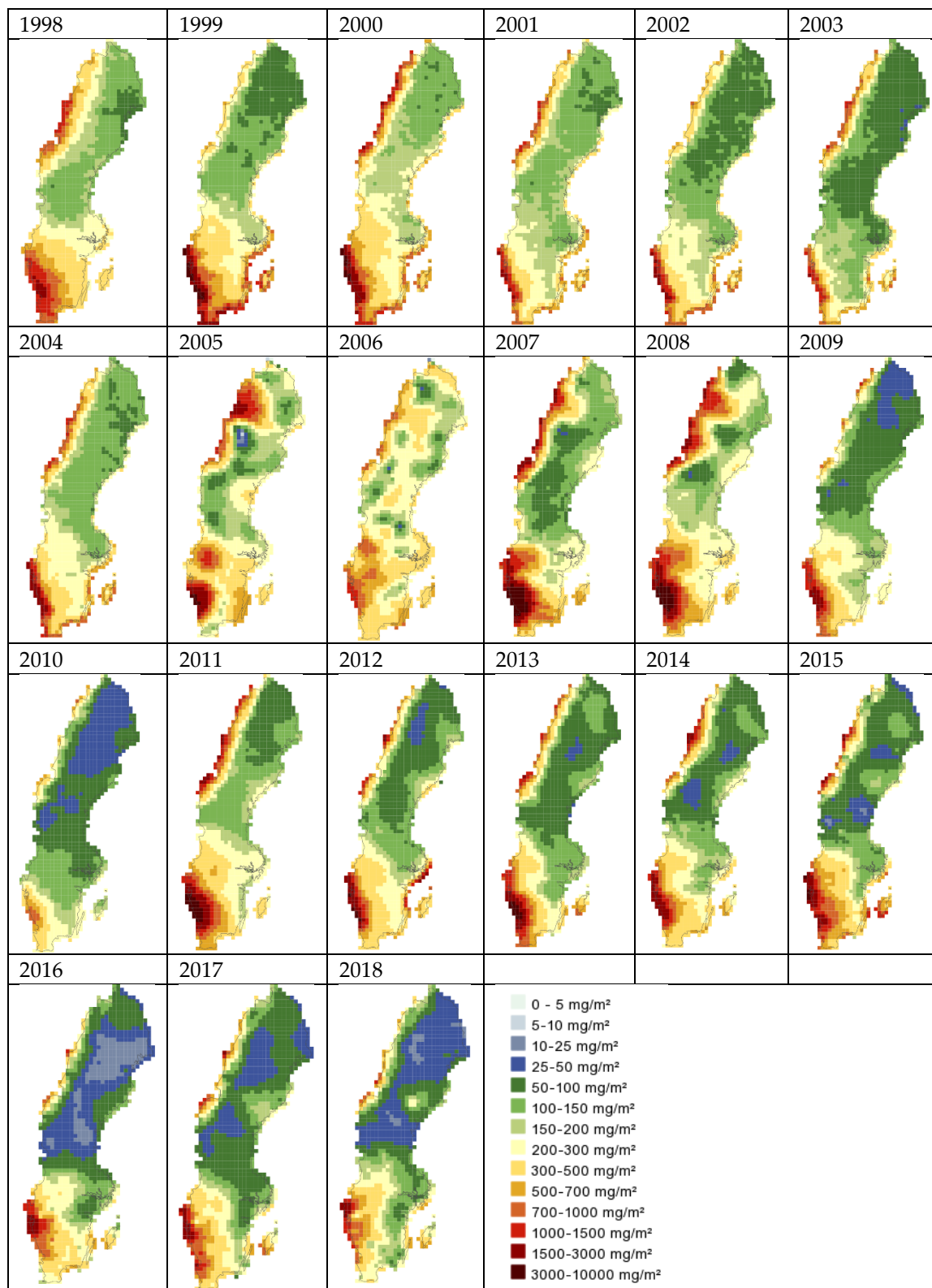
Figur 11-19 Våtdeposition av kalcium för år 1998-2018 (enhet mg Ca/m²).



Figur 11-20 Vätdeposition av kalium för år 1998-2018 (enhet mg K/m²).



Figur 11-21 Våtdeposition av magnesium för år 1998-2018 (enhet mg Mg/m²).



Figur 11-22 Våtdeposition av natrium för år 1998-2018 (enhet mg Na/m²).

11.3.3. Deposition av ozon till skog och grödor

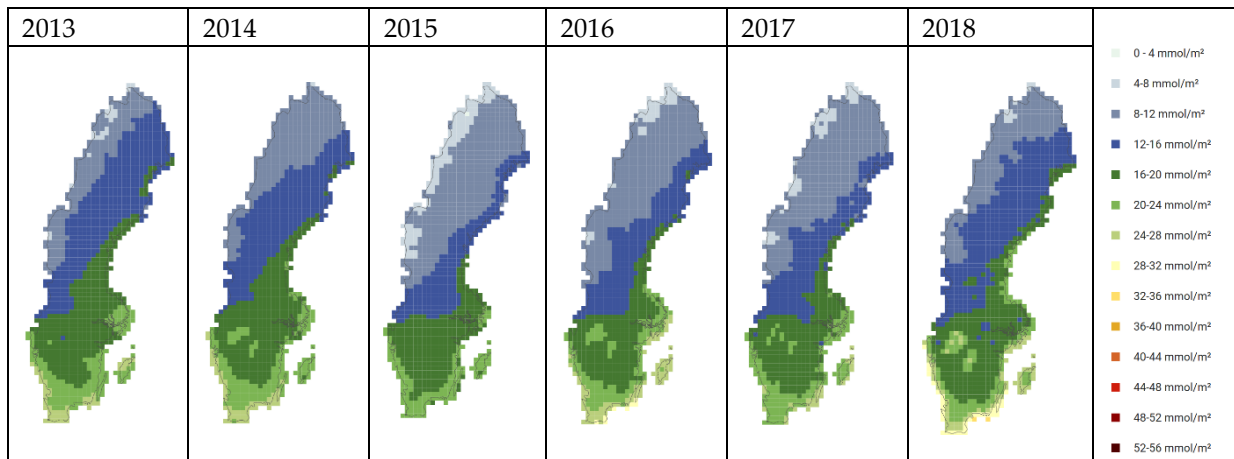
Under 2016 har ozondeposition till växter (ozonupptag), PODY för generisk lövskog ($POD1_{gen-lövskog}$) och generiska grödor ($POD3_{gen-grödor}$) implementerats i MATCH-Sverigesystemet (Engardt et al, 2016). PODY står för "Phytotoxic Ozone Dose above a flux threshold of Y". PODY varierar med ozonexponering för växter, men även med en rad fysikaliska och meteorologiska parametrar såsom växtsäsong, solstrålning, luftens temperatur och fuktighet, vilka påverkar växternas klyvöppningar, genom vilka deras huvudsakliga inandning av koldioxid sker, och som bieffekt även upptag (och påverkan) av luftföroreningar.

PODY-beräkningar påbörjades och publicerades med start från miljöövervakningsåret 2013.

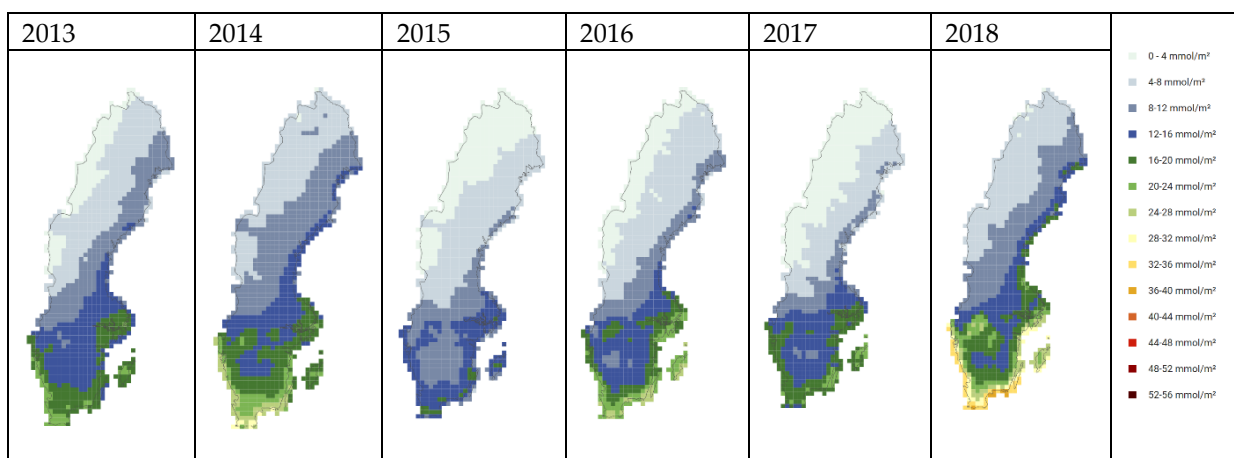
I Figur 11-23 och Figur 11-24 visas $POD1_{gen-lövskog}$ respektive $POD3_{gen-grödor}$ för år 2013-2018. Det framträder en kraftig gradient från fjällområdena i nordväst, där värdena är mycket låga, till sydligaste Sverige, där värdena är högre för både $POD1_{gen-lövskog}$ och $POD3_{gen-grödor}$. Detta trots att marknära ozon inte har ett minimum i fjällområden. $POD1_{gen-lövskog}$ och $POD3_{gen-grödor}$ har lägst värden i fjällområdena då det där finns ogynnsamma temperaturer för tillväxten av träd och grödor. AOT40 för skog var markant högre i nästan hela landet under 2018 jämfört med de andra åren, $POD1_{gen-lövskog}$ däremot har ungefär samma gradient för alla åren, men med lite högre värden vid södra kusten under 2018. AOT40-måttet uppvisar dessutom annorlunda rumslig fördelning än $POD1_{gen-lövskog}$. Att variationen över Sverige och år-till-årvariationen skiljer sig mellan PODY och AOT40 illustrerar vikten av att även ta hänsyn till de fysikaliska processer som påverkar ozonupptagandet i utvärdering av uppnådda miljömål.

Vi ser betydligt mer årlig variation i $POD3_{gen-grödor}$ än $POD1_{gen-lövskog}$. Värdena i söder var mycket lägre under 2015 än de andra åren, medan värdena vid väst- och sydkusten var mycket högre under 2018 än de andra åren. Detta beror åtminstone delvis på ett högre tröskelvärde, där den större rumsliga och temporala variationen i högstahalter av marknära ozon (se t.ex. Andersson et al., 2017, Figur 11-8) därmed slår igenom tydligare i ozonupptaget.

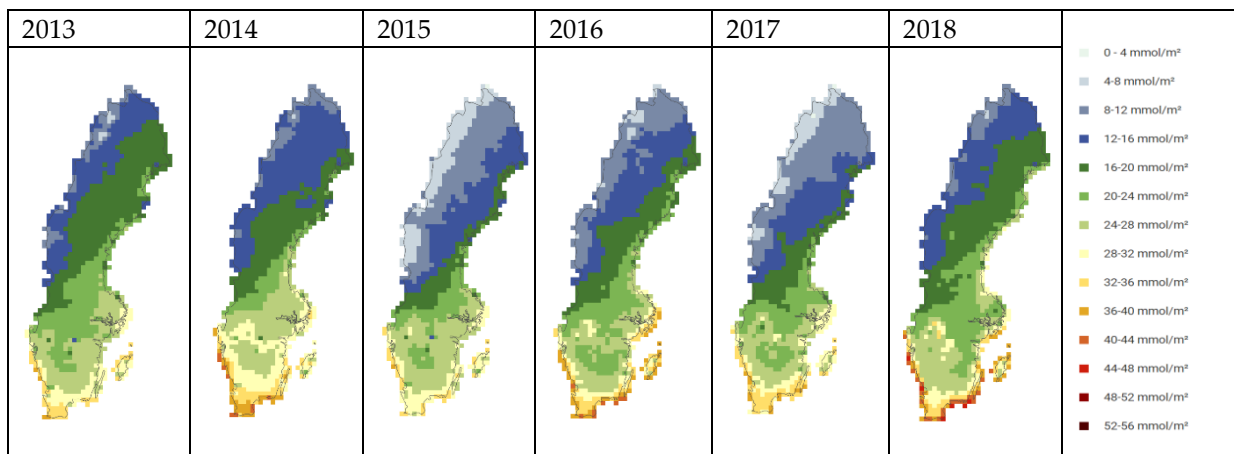
Under 2019 har PODY för björk, gran, vete och potatis implementerats, och PODY för generiska grödor och lövskog uppdaterats (Langner et al, 2019). I Figur 11-25, Figur 11-26, Figur 11-27 och Figur 11-28 visas respektive $POD1_{spec-björk}$, $POD1_{spec-gran}$, $POD6_{spec-vete}$ och $POD6_{spec-potatis}$ för år 2013-2018. $POD1_{spec-björk}$ samvarierar med $POD1_{gen-lövskog}$ över åren, förutom att värdena är lite högre på grund av en längre vegetationsperiod för björk och att björk, jämfört med generiskt lövträd, har en större maximal klyvöppningskonduktans. För $POD1_{spec-gran}$ är gradienten och värdena liknande $POD1_{gen-lövskog}$. Detta torde vara ett sammanträffande, då vegetationsperiod för gran är mycket längre än för generiskt lövträd, medan gran har en mindre maximal klyvöppningskonduktans. När det gäller $POD6_{spec-vete}$ så är det rumsliga mönstret likt $POD3_{gen-grödor}$, värdena är lägre för att en högre ozonhaltströskel används för vete. Det rumsliga mönstret och år till år-variabiliteten för $POD6_{spec-potatis}$ är likt $POD6_{spec-vete}$. Värdena för $POD6_{spec-potatis}$ är något lägre än för $POD6_{spec-vete}$ på grund av skillnader i beskrivningen av växtsäsongen.



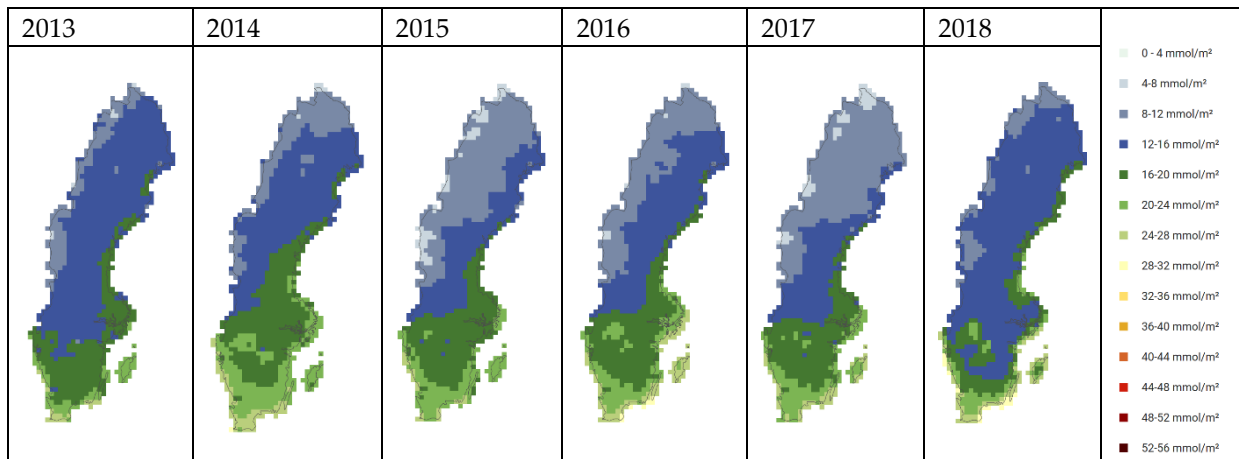
Figur 11-23 POD1_{gen-lövskog} i mmol/m² för år 2013-2018.



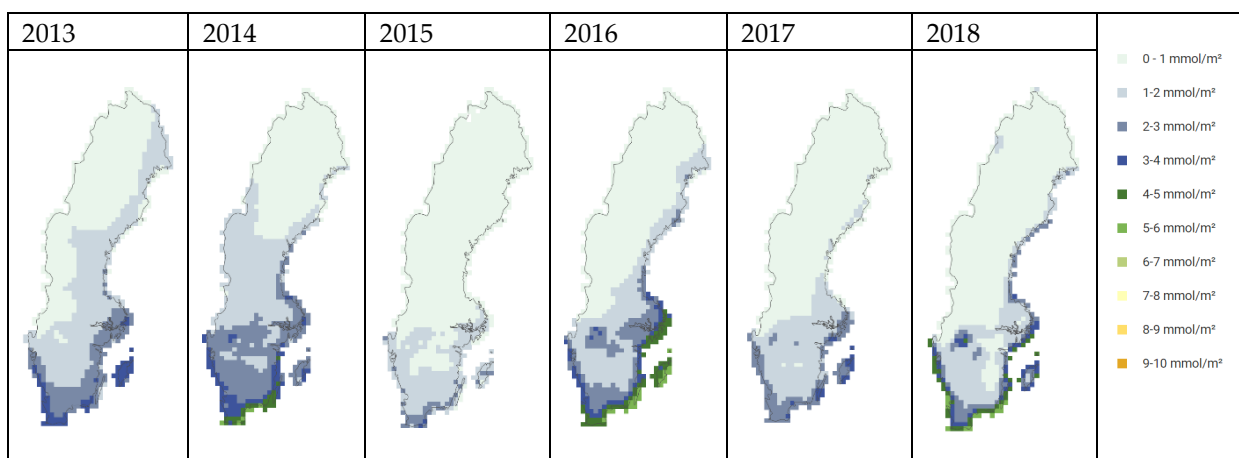
Figur 11-24 POD3_{gen-grödor} i mmol/m² för år 2013-2018.



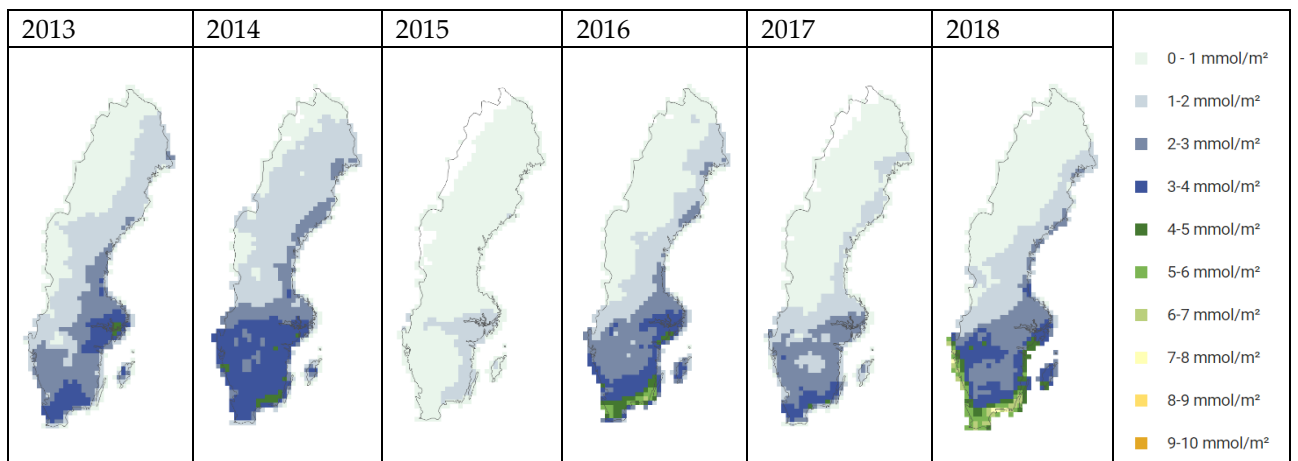
Figur 11-25 POD1_{spec-björk} i mmol/m² för år 2013-2018.



Figur 11-26 POD1_{spec-gran} i mmol/m² för år 2013-2018.



Figur 11-27 POD6_{spec-vete} i mmol/m² för år 2013-2018.



Figur 11-28 POD6_{spec-potatis} i mmol/m² för år 2013-2018.

12. STRÅNG UV-indikator

Tabell 12-1 Delprogram STRÅNG UV-indikator

Parametrar	Global, direkt, diffus och UV-strålning samt fotosyntetiskt aktiv strålning (PAR)
Stationer	Inga, modellberäkning i rutnät om 2,5 * 2,5 km över norden (490770 gridpunkter)
Mätfrekvens	Tidsupplösning från 1 timme upp till 1 år
Kravställare	Wienkonventionen
Lagringsplats	Data kan laddas ner fritt från webben: http://strang.smhi.se
Utförare	SMHI
Om delprogrammet på Naturvårdsverkets webbplats	www.naturvardsverket.se/Miljoarbete-i-samhallet/Miljoarbete-i-Sverige/Miljoovervakning/Miljoovervakning/Programomrade-Luft/STRANG-UV-indikator/
Mer information	http://strang.smhi.se

Syftet med delprogrammet är att beräkna ett antal solstrålningsvariabler; här ges en översikt av modellresultat för globalstrålning, UV-strålning och fotosyntetiskt aktiv strålning (PAR). Data från STRÅNG är tillgängliga via ett webbgränssnitt för vem som helst och presenteras i form av kartor och tidsserier (från timvärden upp till årsvärden). Systemet är framtaget som ett samarbete mellan Naturvårdsverket (NV), SMHI och Strålsäkerhetsmyndigheten (SSM). De beräknade värdena jämförs regelbundet med mätningar från SMHI:s solstrålningsnät.

Modellresultaten från STRÅNG används till flertalet olika syften, dessvärre inte alltid kända eftersom data kan laddas ner från webben. Globalstrålningen används av SLU för att utföra kolbalansberäkningar i samband med klimatrapporteringsförordningen, vilket är NV:s intresse. UV-strålningen ger en bild av hur mängden skadlig ultraviolett solstrålning fördelar sig i norra Europa, vilket är värdefullt för SSM att få en bild av. SMHI har behov av att kunna fylla ut perioder i mätningar av solstrålning då dessa fallerat. Det nationella miljökvalitetsmål, utöver *Begränsad klimatpåverkan*, som berörs är *Säker strålmiljö*.

Under åren har STRÅNG genomgått en del förändringar, vilket gjort att bland annat modellens upplösning och modellområde ändrats. Under modellens första period, januari 1999 – maj 2006 var den rumsliga upplösningen 22 km, under april 2006 – mars 2017 var den 11 km, och från april 2017 är upplösningen nu 2,5 km.

12.1. Resultat

12.1.1. Kartläggning av solstrålning via STRÅNG

12.1.1.1. Globalstrålning

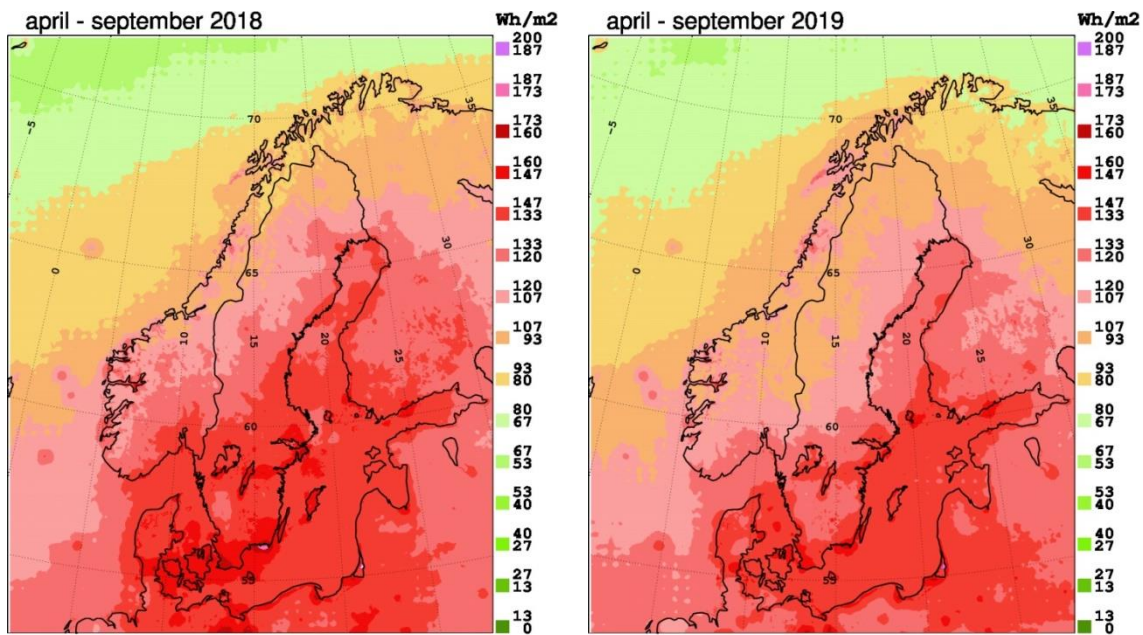
Globalstrålning är den strålning som infaller från himlavalvet mot en horisontell yta. Den innefattar både det ljus som kommer direkt från solen, och det som spritts i atmosfären och mot marken. Globalstrålningen spänner över hela det strålningsspektrum som infaller mot jordytan från solen, ca 0,28-4 μm .

Den ackumulerade globalstrålningen beror av dygnets längd, samt av absorption och spridning av ljus i luften. Framförallt molnmängd, men också halterna av ozon, luftburna partiklar samt vattenånga, påverkar hur mycket strålning som når marken. En viktig faktor här är solhöjden, som varierar över dagen och året, eftersom den påverkar hur lång vägen genom atmosfären blir. Starkast är strålningen nära ekvatorn, där solen står som högst. Således är också globalstrålningen högre i södra Sverige än i norra Sverige. Man kan också se variationer som huvudsakligen beror på geografiska skillnader i molnighet. Genomsnittliga kartor från STRÅNG under perioden 2006-2016 för månaderna januari, april, juli och oktober som visar på den säsongsmässiga variationen publicerades i 2018 års sakrapport.

I Figur 12-1 visas den genomsnittliga globalstrålningen för åren 2018 och 2019 under sommarhalvåret då solinstrålningen är som störst (april-september). I kartorna kan de ovan beskrivna geografiska mönstren urskiljas, men också skillnader i instrålning mellan åren som framförallt orsakas av variationer i molnmängd.

I söder är globalstrålningen lägre över sydsvenska höglandet än utmed kusterna och över de stora sjöarna. I norra Sverige avtar globalstrålningen från kusten uppemot fjällen. Man kan också se att området kring Östersjön och södra Sverige får mer strålning än omgivningen på motsvarande breddgrad. Båda dessa år var soliga jämfört med tidigare år (se www.smhi.se/stralning) men framförallt 2018 var en mycket solig sommar. Det stämmer väl överens med att solskenstidsmätningar vid flera av SMHI:s stationer blev de högsta uppmätta. Det är dessvärre svårt att studera trender i modelldata från STRÅNG, eftersom modellen inte är homogen över tid.

Studier som undersökt långsiktiga trender i mätdata visar att globalstrålningen minskade i stora delar av Europa från 1960-talet och fram till slutet av 1980-talet, så även i Sverige. Sedan dess har det skett en viss ökning (Wild, 2012), och från cirka 2005-2006 pekar svenska mätdata på att det skett en stabilisering på den högre nivån (se www.smhi.se), dock med en uppgång just för 2018 och 2019.



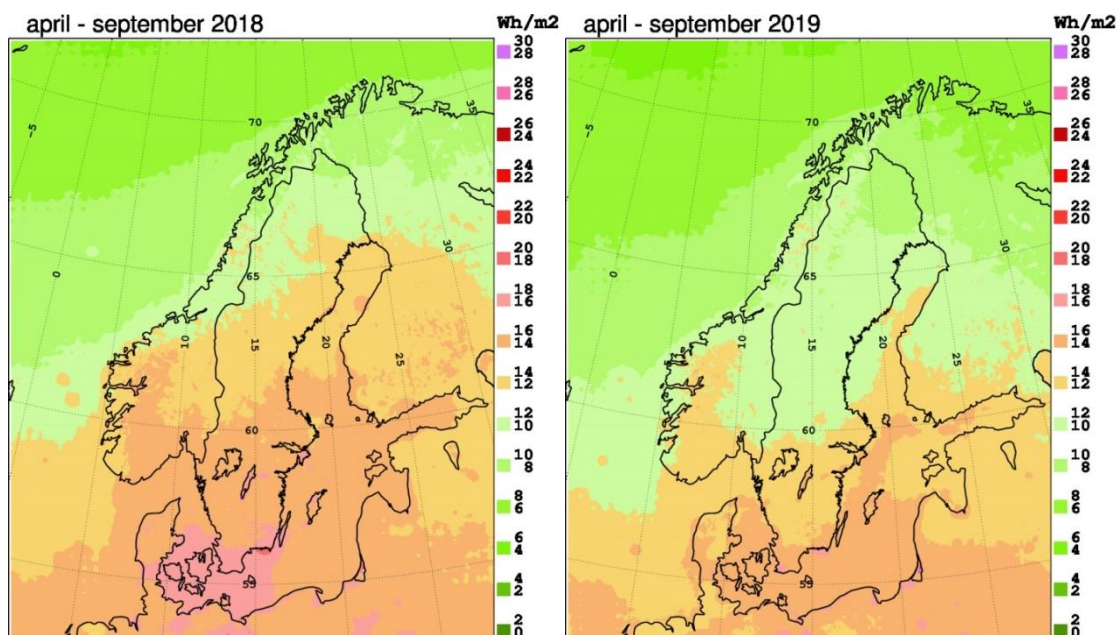
Figur 12-1 Globalstrålning för åren 2018 och 2019 under sommarhalvåret (medel av ackumulerade månadsvärden för april-september).

12.1.1.2. UV-strålning

Ultraviolett (UV) strålning utgörs av den kortvågiga ändan av solens spektrum (280-400 nm), och är den strålning som gör oss solbrända eller i värsta fall kan orsaka hudcancer. Genom STRÅNG beräknas den CIE-erytemviktade UV-strålningen (enhet mW/m²), vilket innebär att hänsyn tagits till våglängdsberoendet hos strålningens solbränneeffekt på huden när totalen över UV-intervallet beräknats (ICNIRP, 1995). Från detta kan man vidare beräkna UV-index vid en tidpunkt genom division med 25 mW/m², vilket vanligen ges på en (heltalig) enhetslös skala från 0 till 11+. UV-index syftar till att förenklat indikera hur stark UV strålningen är och hur man bör skydda sig.

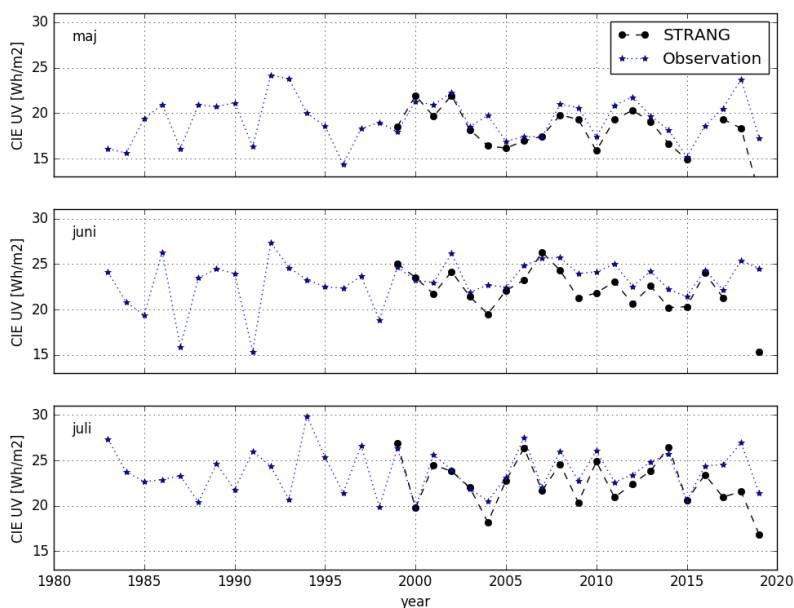
UV-strålningen som visas i Figur 12-2 påminner mycket om globalstrålningen, men eftersom den endast spänner över de korta våglängderna skiljer den sig i hur den interagerar med atmosfären. Dessa våglängder sprids mer av luftens molekyler, varav UV-strålningen visar ett starkt höjd- och latitudberoende, samtidigt som den påverkas mindre av förekomsten av moln. Detta gör att fördelningen av UV-strålningen ser något annorlunda ut än för globalstrålningen.

UV-strålningen under 2018 och 2019 ligger märkbart lågt på grund av en bugg i beräkningen av effekten från aerosolpartiklar i luften. Felet ligger i omvandlingen av aerosolernas optiska egenskaper. Informationen ges ursprungligen för våglängder kring 550 nm, och behöver sedan omvandlas till att gälla intervallet för UV-strålning; 280-400 nm. Tyvärr upptäcktes felet sent, och har ännu inte hunnit åtgärdas. Framförallt 2018 var UV-strålningen hög trots de låga ackumulerade värdena i kartan. Inte minst maj och juni var extremt soliga månader, då dessutom ozonet var lågt över Sverige, vilket ledde till hög UV-strålning.



Figur 12-2 CIE-erytemviktad UV-strålning för åren 2018 och 2019 under sommarhalvåret (medel av ackumulerade månadsvärden för april-september).

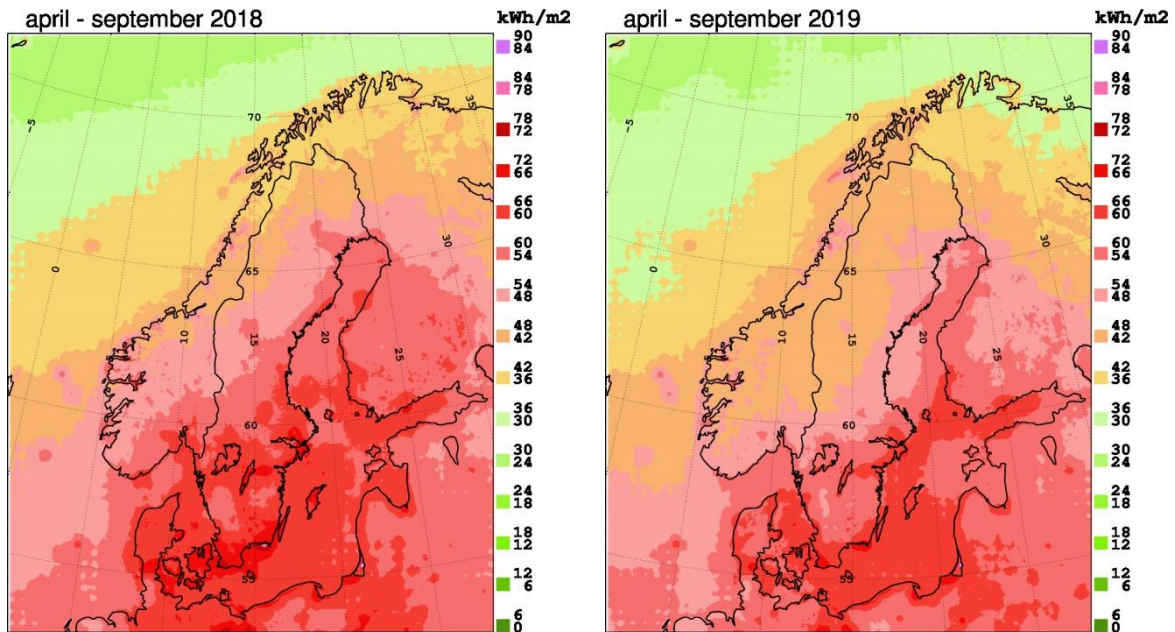
En tidsserie med modellerad UV-strålning från STRÅNG samt uppmätta värden i Norrköping visas i Figur 12-3 för månaderna maj-juli, då UV-strålningen är som högst. Skillnaden mellan olika år kan vara relativt stor, uppåt 50 procent, och är framförallt kopplad till molnighet. Felet för timvärden på UV för modellen jämfört med mätningar ligger på i genomsnitt ca 30 procent. De markant avvikande värdena för 2018 och 2019 syns tydligt. För årsvisa värden samt under våren finns en uppåtgående trend för uppmätt UV i Norrköping (ej visat).



Figur 12-3 Ackumulerade månadsvärden av CIE-erytemviktad UV-strålning från STRÅNG (start 1999) samt mätdata från Norrköping (start 1983) för månaderna maj, juni och juli.

12.1.1.3. Fotosyntetiskt aktiv strålning

Fotosyntetiskt aktiv strålning (PAR) är den del av solens spektra (400-700 nm) som kan användas för växternas fotosyntes. PARs geografiska fördelning påminner starkt om den för globalstrålningen, eftersom PARs spektrala tyngdpunkt ligger nära globalstrålningens tyngdpunkt. De båda strålningsstorheterna påverkas därför i liknande grad av strålningsprocesser i atmosfären. Som framgår av Figur 12-4 är PAR högt även över Östersjön, vilket påverkar t.ex. algblomning. Modellerad PAR i detta område är en intressant parameter eftersom det finns få mätningar tillgängliga.



Figur 12-4 Fotosyntetiskt aktiv strålning (PAR) för åren 2018 och 2019 under sommarhalvåret (medel av ackumulerade månadsvärden för april-september).

13. Tack

Vi vill rikta ett stort tack till all enskild provtagningspersonal ute i landet som genom sitt arbete möjliggjort denna rapport.

14. Referenser

- AMAP. (2017). AMAP Assessment 2016: Chemicals of Emerging Arctic concern. Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP), Oslo, Norway. xvi+353 pp.
- Andersson, C., Alpfjord, H., Robertson, L., Karlsson, P.E. and Engardt, M. (2017). Reanalysis of and attribution to near-surface ozone concentrations in Sweden during 1990-2013. *Atmos. Chem. Phys.* 17, 13869-13890, <https://doi.org/10.5194/acp-17-13869-2017>.
- Andersson, C., Alpfjord Wylde, H. and Engardt, M. (2018). Long-term sulfur and nitrogen deposition in Sweden – 1983-2013 reanalysis. *SMHI rapport in meteorology* 163, 102pp.
- Andersson, C., and Engardt, M. (2010). European ozone in a future climate: importance of changes in dry deposition and isoprene emissions. *J. Geophys. Res.* 115, D02303, doi:10.1029/2008JD011690.
- Andersson, C., Engardt, M. and Alpfjord, H. (2015). Återanalys av marknära ozon i Sverige för perioden 1990-2013. *SMHI rapport nr 2015-80*, 44pp.
- Anttila, P., Brorström-Lundén, Hansson, K., Hakola H. and Vestenius, M. (2016). Assessment of the spatial and temporal distribution of persistent organic pollutants (POPs) in the Nordic atmosphere, *Atmospheric Environment* 140 (2016) 22e33.
- Brorström-Lundén, E. (1995). "Measurements of Semivolatile Organic Compounds in Air and Deposition". Doktorsavhandling. Departement of Analytical and Marine Chemistry, Göteborg. ISBN 91-7197-114-9.
- CEIP, (2020). Emissionsdata från <https://www.ceip.at/webdab-emission-database/reported-emissiondata>.
- EG:s förordning 1107/2009 som reglerar villkoren för godkännande av växtskyddsmedel inom EU.
- EMEP (2012). Status Report 2/2012. "Long-term changes of Heavy Metal Transboundary Pollution of the Environment (1990-2010)"
- EMEP (2015) Status Report 1/2015 "Transboundary particulate matter, photo-oxidants, acidifying and eutrophying components"
- EMEP (2016). Status Report 2/2016. "Assessment of heavy metals transboundary pollution, progress in model development and mercury research".
- EMEP (2018). Status Report 2/2018. "Assessment of heavy metal transboundary pollution on global, regional and national scales".
- Engardt, M., Alpfjord, H., Andersson, C. (2016). PODY-beräkningar med MATCH Sverigesystemet. SMHI Meteorologi Nr 160, 16 pp (In Swedish). Windmark, F., Jakobsson, M., Segersson, D. and Andersson, C. 2016. Underlag till uppskattning av marginalkostnader för svensk sjöfart. Modellering av ozon, sekundära partiklar och deposition av svavel och kväve. RAPPORT NR 2016-30, 31 pp. (In Swedish).
- Fioletov, V. E., Bodeker, G. E., Miller, A. J., Mc Peters, R. D., and Stolarski, R. (2002): Global and zonal total ozone variations estimated from ground-based and satellite measurements: 1964–2000, *J. Geophys. Res.*, 107, 4647, <https://doi.org/10.1029/2001JD001350>, 2002.
- Fredricsson, M., Brorström-Lundén, M., Danielsson, H., Hansson, K., Pihl Karlsson, G., Nerentorp, M., Potter, A., Sjöberg, K., Kreuger, J., Nanos, T., Areskoug, H., Krejci, R., Alpfjord Wylde, H., Andersson, C., Andersson, S., Carlund, T., Josefsson, W. & Leung, W. (2018). Nationell luftövervakning. Sakrapport med data från övervakning inom Programområde Luft t.o.m. 2017. IVL Rapport C 360.

- Havs- och Vattenmyndigheten (2020). Webbplats: <https://www.havochvatten.se/miljopaverkan-och-atgarder/miljopaverkan/forsurning/forsurning-av-sjoar-och-vattendrag.html>
- Hellsten, S., Westling, O. (2006). Försurande och övergödande nedfall i skog – Delprogram Kron dropp inom programområde Luft, Sakrapport 2006 06 01, För Naturvårdsverket, Avtal 211 0411.
- Hellsten, S., Gustafsson, G., 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 C234.
- Hung, H., Kallenborn, K., Breivik, Y., Su, E., Brorström-Lunden, E., Oalbsdottir, K., Thorlacius, J.M., Leppänen, S., Bossi, R., Skov, H., Mano, S., Patton, G.W., Stern, G., Sverko, E., Fellin, P. (2010). Atmospheric monitoring of organic pollutants in the Arctic under the Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP): 1993-2006. *Science of the Total Environment* 408, 2854-2873.
- Hung, H., Katsoyiannis A., Eva Brorström-Lundén, E., Olafsdottir, K., Aas, W., t Breivik, K., Bohlin-Nizzetto, P., Sigurdsson, E., Hakola H., Bossi R., Skov H., Sverko, E., Barresi, E., Fellin P. and Wilson, S. (2016). Temporal trends of Persistent Organic Pollutants (POPs) in arctic air: 20 years of monitoring under the Arctic Monitoring and Assessment Programme (AMAP). *Environmental Pollution*
- ICNIRP (1995), Global Solar UV Index, A joint recommendation of WHO, WMO, UNEP and ICNIRP, ICNIRP-1/95, ISBN 3-9804789-0-4.
- IMM-rapport (1994): Uppdaterad hälsoriskbedömning av bensen, rapport nr 3/94.
- IMM-rapport (2004): Kortfattad riskbedömning av 1,3-butadien, rapport nr 1/04.
- Iverfeldt Å., Munthe J., Brosset C., Pazyna J. (1995). Long term changes in concentration and deposition of atmospheric mercury over scandinavia. *Water, Air, and Soil Pollution* 80, 227-233.
- Jiskra, M, Sonke, J., Obrist, D., Bieser, J., Ebinghaus, R., Myhre, C., Aspmo, K., Wängberg, I., Kyllönen, K., Worthy D., Martin, L., Labuschagne, C., Mkololo, T., Ramonet, M., Magand, O., Dommergue, A, (2018). A vegetation control on seasonal variations in global atmospheric mercury. *Nature Geoscience*. NGS-2017-04-00901C.
- Johansson, J.M., Watne, Å.K., Karlsson, P.E., Pihl Karlsson, G., Danielsson, H., Andersson, C., and Pleijel, H. (2020). The European heat wave of 2019 and its promotion of the ozone climate penalty in southwest Sweden. *Boreal environ. Res.* 25: 39-50.
- Karlsson, P.E., Pihl Karlsson, G., Hellsten, S., Akselsson, C. (2018). Utveckling av en indikator för totalt nedfall av kväve till barrskog inom miljö kvalitetsmålet *Ingen övergödning*. IVL Rapport C 286.
- 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
<https://doi.org/10.1016/j.atmosenv.2019.116964>
- Kindbom, K., Svensson, A., Sjöberg, K., Pihl Karlsson, G. (2001). Trends in monitoring air concentration and deposition at background monitoring sites i Sweden – major inorganic compounds, heavy metals and ozone. IVL Rapport B 1429.
- Langner, J., Alpfjord Wylde, H., & Andersson, C. (2019). Mapping of phytotoxic ozone dose for birch, spruce, wheat and potato using the MATCH-Sweden system. *SMHI rapport in meteorology* 166, 38pp.
- Luftkvalitetsförordningen (SFS 2010:477).
- Mahieu et al. (2014), Recent Northern hemisphere stratospheric HCl increase due to atmospheric circulation changes, *Nature*, 515 (7525), 104-107, 2014
- Mann, H.B. (1945). Non-parametric tests against trend: *Econometrica* v. 13, p. 245–259.

- Miljödepartementet (2012). Svenska miljömål – preciseringar av miljökvalitetsmålen och en första uppsättning etappmål. Ds 2012:23.
- Muir, D., Bossi, R., Carlsson, P., Evans, M., De Silva, A., Halsall, C., Rauert, C., Herzke, D., Hung, H., Letcher, R., Rigét, F., Roos, A., (2019). Levels and trends of poly- and perfluoroalkyl substances in the Arctic environment – An update. *Emerging contaminants* 5, 240-271.
- Naturvårdsverket (2017). PCB i miljön (online). <https://www.naturvardsverket.se/Sa-mar-miljon/Manniska/Miljogifter/Organiska-miljogifter/PCB/> [2018-09-20]
- Palm Cousins A., Hansson K. och Brorström-Lundén, IVL, Schlabach M., NILU (2006). "Dioxins in the Swedish atmosphere - Results from monitoring activities in 2004 and 2005", IVL Rapport U1969.
- Remberger, M, Kaj, L., Hansson, K., Bibi, M., Brorström-Lundén, E., Haglund, P., Liljelind, P., Bergek, S., Andersson, R., Kitti-Sjöström, A., (2014). Screening of Emerging Brominated Flame Retardants (BFRs) and Polybrominated dibenzofurans (PBDFs). IVL rapport B2110
- Rühling, A., & Tyler, G. (1968). An ecological approach to lead problem. *Botaniska Notiser*, 121(3), 21.
- SMHI (2020). SMHI:s analys av förändringar av årsnederbörden i relation till normalperioden 1961-1990 (<https://www.smhi.se/klimat/framtidens-klimat/klimatscenarioer/sweden/district/syddavstragotaland/rcp85/year/precipitation>)
- Sprovieri, F., Pirrone, N., Bencardino, M., D'Amore, F., Carbone, F., Cinnirella, S., Mannarino, V., Landis, M., Ebinghaus, R., Weigelt, A., Brunke, E-G., Labuschagne, C., Martin, L., Munthe, J., Wängberg, I., Artaxo, P., Morais, F., Cairns, W., Barbante, C., Diéguez, C., Garcia, P.E., Dommergue, A., Angot, H., Magand, O., Skov, H., Horvat, M., Kotnik, J., Read, K.A., Neves, M., Gawlik, B, M., Sena, F., Mashyanov, N., Obolkin, V.A., Wip, D., Feng, X.B., Zhang, H., Fu, X., Ramachandran, R., Cossa, D., Knoey, J., Marussczak, N., Nerentorp Mastromonaco, M., Norstrom, C. (2016). Atmospheric mercury concentrations observed at ground-based monitoring sites globally distributed in the framework of the GMOS network. *Atmos. Chem. Phys. Discuss*, doi:10.5194/acp-2016-466,
- Stockholm Convention (2008). "All POPs listed in the Stockholm Convention" (<http://chm.pops.int/TheConvention/ThePOPs/AllPOPs/tabid/2509/Default.aspx>).
- Tyler, G. (1971). Moss analysis-a method for surveying heavy metal deposition. In *International Clean Air Congress. Proceedings*.
- Wild, M. (2012), Enlightening Global Dimming and Brightening, *Bull. Amer. Meteor. Soc.*, 93, pp. 27–37.
- WMO (2019). WMO expert meeting on Global atmospheric Deposition. Feb 25, 2019. <https://public.wmo.int/en/resources/bulletin/measurement-model-fusion-global-total-atmospheric-deposition-wmo-initiative>
- WMO (2018). (World Meteorological Organization), *Scientific Assessment of Ozone Depletion: 2018*, Global Ozone Research and Monitoring Project – Report No. 58, 588 pp., Geneva, Switzerland, 2018.
- WMO (2017). Global Atmospheric Watch Workshop on Measurement-Model Fusion for Global Total Atmospheric Deposition (MMF-GTAD). GAW Report, available online in May 2017 on the web page: <http://www.wmo.int/pages/prog/arep/gaw/WorkshoponMeasurementModelFusion.html>
- Wängberg, I., Nerentorp Mastromonaco, M.G., Munthe, J., Gårdfeldt, K. (2016). Airborne mercury species at the Råö background monitoring site in Sweden: distribution of mercury as an effect of long-range transport. *Atmos. Chem. Phys.* 16, 13379-13387.

Bilaga I Metoder och kvalitetssäkring

Mätningar

Metodik

För beskrivning av mätmetoder hänvisas till de beskrivningar av undersökningstyper som finns på Naturvårdsverkets hemsida (www.naturvardsverket.se). Inom den nationella luftkvalitetsövervakningen används de i mätföreskrifterna (NFS 2019:9) angivna referensmetoderna för ozon (timbasis), PM_{2.5}-mätningar i urban bakgrund och analys av tungmetaller.

För beskrivning av mätmetoder hänvisas till de beskrivningar av undersökningstyper som finns på Naturvårdsverkets hemsida (www.naturvardsverket.se). Inom den nationella luftkvalitetsövervakningen används de i mätföreskrifterna (NFS 2019:9) angivna referensmetoderna för ozon (timbasis), PM_{2.5}-mätningar i urban bakgrund och analys av tungmetaller.

Kvalitetssäkringsrutiner

IVL har ackreditering hos SWEDAC enligt SS-EN ISO/IEC 17025:2005. Ackrediteringen omfattade från början, 1991, merparten av analysverksamheten inom luftövervakningen, men har successivt utvidgats och inkluderar idag fler analyser samt stora delar av provtagningsverksamheten. IVL har en årlig revision av SWEDAC där kvaliteten följs upp. Intern revision genomförs en gång per år. Tillämpliga rutiner för kvalitetskontroll (QC) och kvalitetssäkring (QA) inom den ackrediterade verksamheten används även för övriga metoder.

IVL deltar årligen i provningsjämförelser som anordnas av EMEP och andra internationella organ där luft- och nederbördsprover ingår som provmatriser, samt följer upp bland annat ny analysmetodik genom att delta vid internationella konferenser.

Miljökemiska laboratoriet vid Kemiska institutionen vid Umeå universitet anlitas för analys av dioxiner och klorparaffiner. Dioxinanalyserna utförs inom ramen för laboratoriets ackreditering (registeringsnummer 1808) och klorerade paraffiner kvalitetssäkras på liknande sätt.

SLU:s pesticidlaboratorium är ackrediterat av SWEDAC enligt SE-EN ISO/IEC 17025:2005 och deltar regelbundet i internationella interkalibreringar för relevanta matriser. Laboratoriet har analyserat växtskyddsmedel (pesticider) i miljömatriser sedan början av 1980-talet och inom ramen för ackreditering sedan 1994. Vid laboratoriet analyseras även övriga prover från den nationella miljöövervakningen av växtskyddsmedel (ytvatten, grundvatten och sediment) med samma metodik som för regnvattenproverna.

Alla mätningar av marknära ozon som görs inom den nationella miljöövervakningen är kvalitetssäkrade genom årliga spårbara kalibreringar mot det referensinstrument som finns Institutionen för miljövetenskap (ACES) vid SU.

För bestämning av halter av partiklar i luft mätt som PM₁₀ och PM_{2.5} (partiklar mindre än 10 resp. 2.5 µm) skall enligt EU-direktivet (2008/50/EG) endast referensmetoderna eller metoder som har visats vara likvärdiga med referensmetoden användas.

Mätningarna av PM_{2.5} i den urbana bakgrunden görs med referensmetoden. På de övriga stationerna används likvärdiga metoder. Likvärdigheten har visats efter test enligt de principer som fastslagits inom EU eller har visats ge likvärdiga resultat men inte testats så rigoröst som krävs i EU:s testprogram.

De partikelmått som bestäms inom ACTRIS (OC/EC, sot, ljusspridning och partikelstorleksfördelning) kvalitetssäkras genom kalibreringar och interkalibreringar mellan olika forskningsgrupper runt om i Europa samt standardisering av mätmetoderna.

Instrumenten för mätning av stratosfäriskt ozon kalibreras mot internationella referenser enligt de metoder som utvecklats, underhålls och regleras av WMO (Världsmeteorologiska organisationen) inom GAW (Global Atmosphere Watch). Kalibreringar och service utförs med tre till fem års mellanrum. Däremellan kontrolleras stabiliteten genom regelbundna mätningar mot lampor, samt jämförelser mot satellitdata vilket kan indikera problem om stora systematiska avvikelser visar sig.

Modellberäkningar

Metodik

Årlig kartläggning med MATCH-Sverigesystemet

MATCH-Sverigesystemet är ett modellsystem som består av den atmosfärskemiska spridningsmodellen MATCH, en modell för variationell analys (där uppmätta atmosfärskemiska data integreras med modellerade resultat) och en modell för beräkning av depositionsflöden till olika marktyper (Alpfjord och Andersson, 2017).

I MATCH-modellen (Robertson m.fl., 1999; Andersson m.fl., 2007; Andersson m.fl., 2015) beskrivs utsläpp, spridning, luftkemi och nedfall av luftföroreningar såsom marknära ozon, partiklar och kväve- och svavelhaltiga föroreningar. I modellen ingår ett 70-tal kemiska komponenter vars fotokemi och termiska kemi beskrivs genom ca 130 kemiska reaktioner. Utsläpp av volatila organiska föreningar (VOC) från naturen beskrivs av modellen, baserat på olika meteorologiska förhållanden och markanvändning.

MATCH används i två steg inom modellsystemet, på Europaskala och nationell nivå. Över Europa används en grövre modellskala (22 km), och de antropogena utsläppen kommer från EMEP med 11 km upplösning (EMEP). För beräkning av det svenska bidraget till lufthalter används en version av MATCH som är speciellt anpassad för beräkningar baserade på svenska högupplösta emissioner från SMED (www.smed.se). Denna version av MATCH körs med en upplösning på 11 km.

Inom MATCH-Sverigesystemet används tvådimensionell variationell analys för att beskriva halter i luft och koncentration i nederbörd. I variationell analys beräknas de optimala analyserade luft- och nederbördshalterna på basis av såväl modell- och mätvärden som osäkerhet hos mätningar och modellberäkningar. De observerade data som används i

dataassimilationen tillhandahålls av IVL och NILU. De stationsnät som utnyttjas är svenska och norska EMEP, IM samt LNKN.

MATCH-Sverigesystemets metodik lyfts fram som världsledande och unik i internationella forskningssammanhang (två möten och en styrgrupp inom Global Atmospheric Watch, GAW^{III}, på WMO i mars 2016; WMO, 2017 samt på WMO i februari 2019; WMO, 2019).

STRÅNG UV-indikator

STRÅNG är ett system som beräknar ett antal solstrålningsvariabler timme för timme över norra Europa (Landelius et al., 2001). Systemet bygger på strålningsberäkningar med hjälp av en modell (LibRadtran (Emde et al., 2016) sedan april 2017, tidigare Smarts2 (Gueymard, 1995)), och indata med information om atmosfärens tillstånd som kommer från en kombination av observationer och modellerade värden. Beräkningarna görs med en dags eftersläpning för att indata ska finnas tillgänglig.

Eftersom modellkörningarna är datorkrävande har beräkningarna gjorts i förväg för olika värden på indata, och sparats i så kallade "look-up-tables" (LUT), vilket minimerar beräkningstiden. I ett första steg beräknas solstrålning för molnfria förhållanden via LUT, och därefter appliceras en molneffektsfunktion. Utöver molnslag och molnmängd används mängden vattenånga, ozon och aerosoler samt markytans egenskaper som indata. Det senare inkluderar även i vilken grad marken är snötäckt eller havet istäckt.

Den UV-strålning som beräknas är densamma som används internationellt för att beräkna UV-index. En för många intressant variabel utöver UV är den fotosyntetiskt aktiva strålningen och att den finns beräknad över till exempel Östersjön.

Under tiden som STRÅNG varit i drift har ett antal uppdateringar införts, vilket gjort att t.ex. den rumsliga upplösningen för modellen ändrats. Upplösningen är sedan april 2017 2,5 km, tidigare cirka 11 km och ännu längre tillbaka 22 km. Uppdateringen som lanserades 2017 var av mer omfattande karaktär, för att anpassa modellen till ett skifte av SMHI:s väderprognosmodell, som nu utgörs av skriptsystemet Harmonie med Arome-fysik och markmodellen SURFEX. Uppdateringen av modellen har lett till att:

- Upplösningen har ökat från ca 11 till 2,5 km.
- Beskrivningen av markens reflektans (albedo) har reviderats och bygger nu på spektrala mätningar från satellit.
- Aerosolernas effekt på strålningen gavs tidigare av en månatlig klimatologi. Nu tas information om aerosolernas mängd och egenskaper från Copernicus-modellen CAMS.
- Strålningsmodellen som utgör kärnan i STRÅNG har bytts ut mot libRadtran som möjliggör direkt modellering av molniga radianser. Information om molnmängd tas idag som tidigare från SMHI:s analyssystem MESAN, men förhoppningen är att kunna använda data som kombinerar satellitobservationer med numeriska modeller så småningom. Det skulle troligt förbättra prestandan märkbart, eftersom molnen är den avsevärt viktigaste faktorn men dessvärre svår att beskriva.

Kvalitetssäkringsrutiner

MATCH-Sverigesystemet

MATCH-modellen har utvärderats såväl i specifika modelljämförelsestudier (t.ex. Ciarelli et al., 2019; Colette et al., 2017; Vivanco et al., 2018; Otero et al., 2018; Theobald et al., 2019) som kontinuerligt i uppdrag (t. ex. Windmark m.fl. 2016; Andersson m.fl. 2017; Leung et al. 2018) och forskningsprojekt (t.ex. Langner et al., 2020; Markakis m.fl., 2016; Simpson m.fl., 2014; Langner m.fl., 2012). Utvärderingen är utförd för såväl gasfaskkomponenter som våtdeposition och halter i nederbörd. Slutsatsen är att MATCH har en kvalitet som är i toppen av de allra bästa internationella modellerna inom forskning och kartläggning (bl.a. Colette et al., 2017; Vivanco et al., 2018; Otero et al., 2018). De exakta utvärderingsresultaten beror på modelluppsättning (modellversion), indata, skala och meteorologiskt år. Exempel på (typisk) modellavvikelse över Europa för våtdeposition av oxiderat svavel och oxiderat och reducerat kväve är -17 procent, -32 procent respektive -15 procent i Andersson m.fl. (2011), och -1 procent, -16 procent respektive -17 procent i Andersson m.fl. (2007). Marknära ozon utvärderades bl.a. i ett återanalysprojekt (Andersson m.fl., 2015; Andersson m.fl. 2017), vilket visade en mycket god överensstämmelse med mätningar i Sverige (medelavvikelse på 1 procent resp. 0 procent för årsmedel).

I den variationella analysen (2dvar-modellen) i MATCH-Sverigesystemet används alla tillgängliga mätdata för halt i luft på rätt tidsupplösning i Sverige och Norge, vilket innebär att det inte finns oberoende mätningar att jämföra mot. Dock kvalitetsgranskas och kontrolleras 2dvar-resultaten inom MATCH-Sverigesystemets kartläggning genom överensstämmelse med mätdata. 2dvar-modellen har dessutom kvalitetssäkrats för marknära ozon (Andersson m.fl., 2014; 2015; 2017) samt luft- och nederbördshalter av svavel och kvävekomponenter (Andersson m.fl., 2014; 2018).

Inom ett utvecklingsprojekt för MATCH-Sverigesystemet kvalitetsgranskades systemet med korsvalidering för luft- och nederbördshalter. Resultatet av denna utvärdering står att finna i Andersson m.fl. (2014). Utvärderingen visar att variationell analys är ett kraftfullt verktyg för att beskriva geografisk och temporal variation hos föroreningar, där en fysikalisk modells resultat kan förbättras med hjälp av tillgängliga observationsnätverk.

Inom projektet föreslogs en förbättrad metodik för MATCH-Sverige-systemet, där även 2dvar-analyserat marknära ozon har inkluderats bland fälten som tillgängliggörs för 2013 och framåt. Tio olika mått presenteras för marknära ozon årligen. Baserat på denna metodik har vi tagit fram en återanalys av svenskt marknära ozon för tidsperioden 1990-2013 (Andersson m.fl., 2015), vilken kan användas för att relatera den årliga kartläggningen till trender och extremer över en lång tidsperiod. Även metodiken för beräkning av totalhalter/totaldeposition och långtransportbidrag har delvis ändrats från 2013 och framåt, då 2dvar-analysen numera görs på totalfälten och inte på det långtransporterade bidraget. År 2016 utvecklades metoder för att inkludera sex ytterligare ozonmått för deposition (PODY) från år 2013.

Det finns förbättringspotential för metodiken i den variationella analysen. En övergång till variationell analys i tre dimensioner skulle troligen förbättra slutresultaten. En annan förbättring skulle vara framtagande av optimala spridningslängder över hela Sverige, där avståndet som varje observation sprids från sin mätplats skulle optimeras beroende på plats, säsong och kemiskt ämne. I nuläget används konstanta spridningslängder.

STRÅNG UV-indikator

De av STRÅNG beräknade värdena jämförs regelbundet med mätningar från SMHI:s stationsnät för solstrålningsobservationer och presenteras på webbsidan (<http://strang.smhi.se/validation/validation.html>). Felet (RMSE) för globalstrålning från STRÅNG ligger på ca 30 procent för timvärden, 16 procent för dygnsvärden och 9 procent för månadsvärden. Sedan STRÅNG startade för nästan 20 år sedan har flera ändringar införts i modellen och underliggande datakällor. Detta har medfört att data inte är helt konsistenta över tiden när de jämförs med uppmätta värden.

Datalagring

Resultaten från den nationella miljöövervakningen rapporteras till aktuell datavärd, som i sin tur ansvarar för det långsiktiga hållandet av databasen, inkluderande säkerhetskopiering, behörighetskontroll, skydd mot oriktig användning (dataintegritet), uppdatering av datamodeller och uppdatering till nya programversioner och ny maskinvara. Data framtagna av IVL respektive SU levereras till Datavärdskap Luft (www.smhi.se/datavardluft), medan data som genereras av SLU ingår i Datavärdskap Jordbruksmark (<https://www.slu.se/institutioner/vatten-miljo/miljoanalys/bekampningsmedel/>) där även övriga data för växtskyddsmedel samlas i en gemensam databas.

Data för de mätningar som genomförs i krondropp, strängprovtagning och markvattenkemi kan för närvarande inte lagras hos datavärd utan dessa data, tillsammans med övriga data från Krondroppsnätet, kan erhållas via Krondroppsnätets webbplats via IVL, www.krondroppsnatet.ivl.se.

Mätningarna av totalozon finns tillgängliga dels via datavärden SMHI:s hemsida (www.smhi.se/klimatdata/miljo/atmosfarskemi) men även från det internationella datacentrumet WOUDC (woudc.org). Uppdatering av dessa databaser sker ungefär en gång per månad.

Data för de Ozonnedbrytande ämnen hittas via, Kolumn (Ascii) <ftp://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/ndacc/station/harestua/ames/ftir/>, och Vertikalprofiler HDF format: <ftp://ftp.cpc.ncep.noaa.gov/ndacc/station/harestua/hdf/ftir/>

Modellresultat för miljöövervakning finns tillgängliga i form av kartor och för nedladdning via SMHI:s karttjänst (se www.smhi.se/klimatdata/miljo/atmosfarskemi).

Data från STRÅNG kan laddas ner via <http://strang.smhi.se/>. Dessa data uppdateras dagligen med föregående dygns data.

Data från mätningarna på Svalbard finns tillgängligt via <http://ebas.nilu.no/default.aspx>

Referenser

- Andersson, C., Bergström, R., Bennet, C., Robertson, L., Thomas, M., Korhonen, H., Lehtinen, K. and Kokkola, H. (2015). MATCH-SALSA – Multi-scale Atmospheric Transport and Chemistry model coupled to the SALSA aerosol micropysics model. Part 1 – model description and evaluation. *Geosci. Model Dev.* 8, 171-189.
- Andersson, C., m.fl. (2011). Halter och deposition av luftföroreningar – Förändring över Sverige från 2010 till 2020 i bidrag från Sverige, Europa och Internationell sjöfart. *SMHI report, Meteorologi Nr 147*.
- Andersson, C., Langner, J. and Bergström, R. (2007). Interannual variation and trends in air pollution over Europe due to climate variability during 1958-2001 simulated with a regional CTM coupled to the ERA40 reanalysis. *Tellus 59B*, 77-98.
- Andersson, C., Södergren, H. och Torstensson, M. (2014). Metodförändring och utvärdering av MATCH-Sverigesystemet. *SMHI rapport nr 2014-16*.
- Ciarelli, G., Theobald, M., Vivanco, M., Beekmann, M., Aas, W., Andersson C. et al. (2019). Trends of inorganic and organic aerosols and precursor gases in Europe: insights from the EURODELTA multi-model experiment over the 1990–2010 period. *Geosci. Model Dev.* 12, 4923-4954.
- Colette, A., Andersson, C., et al., (2017). EURODELTA-Trends, a multi-model experiment of air quality hindcast in Europe over 1990-2010. *Geosci. Model Dev.* 10, 3255-3276, doi.org/10.5194/gmd-10-3255-2017.
- Langner, J., Engardt, M. and Andersson, C. (2012). European summer surface ozone 1990-2100. *Atmos. Chem. Phys* 12, 10097-10105.
- Langner, J., Gidhagen, L., Bergström, R., Gramsch, E., Oyola, P., Reyes, F., Segersson, D. and Aguilera, C. (2020). Model Simulated Source Contributions to PM_{2.5} in Santiago and in the Central Region of Chile. *Aerosol Air Qual. Res.* 20: 1111-1126. <https://doi.org/10.4209/aaqr.2019.08.0374>
- Leung, W., Windmark, F., Brodl, L. and Langner, J. (2018). A basis to estimate marginal cost for air traffic in Sweden.: Modelling of ozone, primary and secondary particles and deposition of sulfur and nitrogen. *SMHI rapport in meteorology* 162, 64pp.
- Markakis, K., Valari, M., Engardt, M., Lacrosonniere, G., Vautard, R. and Andersson, C. (2016). Mid-21st century air quality at the urban scale under the influence of changed climate and emissions. Case studies for Paris and Stockholm. *Atmos. Chem. Phys.* 18, 1877-1894. [doi:10.5194/acp-16-1877-2016](https://doi.org/10.5194/acp-16-1877-2016).
- Naturvårdsverkets föreskrifter om kontroll av luftkvalitet (NFS 2019:9).
- Otero, N., Sillman, J., Mar., K.A., Rust, H.W., Solberg, S., Andersson, C., et al. (2018). A multi-model comparison of meteorological drivers of surface ozone over Europe. *Atmos. Chem. and Phys.*, 18, 12269-12288. <https://doi.org/10.5194/acp-18-12269-2018>
- Robertson, L., Langner, J. and Engardt, M. (1999). An Eulerian Limited-Area Atmospheric Transport model. *J. Appl. Meteorol.* 38, 190-210.

Simpson, D., Andersson, C., Christensen, J.H., Engardt, M., Geels, C., Nyiri, A., Posch, M., Soares, J., Sofiev, M., Wind, P. and Langner, J. (2014). Impacts of climate and emission changes on nitrogen deposition in Europe: a multi-model study. *Atmos. Chem. Phys.* **14**, 6995-7017. doi:10.5194/acp-14-6995-2014

Theobald, M., Vivanco, M.G., Aas, W., Andersson, C., et al. (2019). An evaluation of European nitrogen and sulfur wet deposition and their trends estimated by six chemistry transport models for the period 1990-2010. *Atmos. Chem. Phys.*, **19**, 379-405, doi: 105194/acp-19-379-2019.

Vivanco, M.G., Theobald, M.R., Garcia-Gomez, H., Garrido, J.L., Prank, M., Aas, W., Adani, M., Alyuz, U., Andersson, C., et al. (2018). Modelled deposition of nitrogen and sulfur in Europe estimated by 14 air quality model-systems: Evaluation, effects of changes in emissions and implications for habitat protection. *Atmos. Chem. Phys.*, **18**, 10199-10218, <https://doi.org/10.5194/acp-18-10199-2018>.

Windmark, F., Jakobsson, M., Segersson D. och Andersson, C. (2016). Underlag till uppskattning av marginalkostnader för svensk sjöfart. Modellering av ozon, sekundära partiklar och deposition av svavel och kväve. *SMHI rapport nr 2016-30*.

Bilaga II Beskrivning av mätprogram för metaller, organiska miljögifter och pesticider

Metaller inom EMEP

Med start januari 2009 genomförs övervakning av tungmetaller enligt Tabell II:1 nedan. Tungmetaller mäts med filterprovtagare (PM₁₀) på månadsbasis med 50 procent tidstäckning. Tidigare mättes Pb, Cd, Ni och As endast på Råö-stationen. Filterprov på månadsbasis samlades då in med "open face"-provtagare med en tidstäckning av 25 procent.

Totalt gasformigt kvicksilver i luft (TGM) mättes tidigare endast vid Råö och Pallas. Vid Råö och Pallas tas två dygnsprov per vecka med manuell guldfälla. Mätningar vid Hallahus och Breckälven sker på samma sätt men med en frekvens av ett dygnsprov per vecka. Partikulärt kvicksilver (TPM) mäts vid Råö (två dygnsprov per vecka) samt vid Pallas (kontinuerliga veckoprov) med hjälp av TPM-minifälla.

För provtagning av tungmetaller (exkl. Hg) i nederbörd samlas månadsvisa trippelprov in med bulkprovtagare. Totalkvicksilver (Hgtot) i nederbörd mäts enkelprov med bulkprovtagare på 14-dagarsbasis. Nederbörds-mätningarna görs med samma frekvens vid alla stationer. Samtliga analyser av kvicksilver och övriga metaller genomförs av IVL.

Tabell II:1 Aktuellt mätprogram avseende tungmetaller inom EMEP.

Delområde	Parameter	Frekvens	Stationer
<i>Metaller</i>			
Luft	As, Cd, Ni, Pb, Co, Cr, Cu, Zn, Mn, V	Månadsvis (på PM ₁₀ -filter), 50 % -ig tidstäckning	Hallahus; Råö; Norunda; Breckälven
	Gasformigt totalkvicksilver (TGM)	1-2 dygn per vecka	Hallahus; Råö; Breckälven; Pallas
	Partikulärt kvicksilver (TPM)	2 dygn per vecka, veckoprov	Råö; Pallas
Nederbörd	As, Cd, Ni, Pb, Co, Cr, Cu, Zn, Mn, V	Månadsvis trippelprov	Hallahus; Råö; Norunda; Breckälven
	Totalkvicksilver (tot-Hg)	14-dagarsprov, enkelprov	Hallahus; Råö; Breckälven; Pallas

Organiska miljögifter

IVL Svenska Miljöinstitutet genomför på uppdrag av Naturvårdsverket mätningar inom den nationella miljöövervakningen av organiska ämnen i luft och nederbörd vid totalt fyra mätstationer. I Tabell II:2 visas stationsnätet, startår för mätningarna, mätfrekvensen (fr. 2009) och ämnen som ingår i delprogrammet. Fram till 2001 (Råö) och 2008 (Aspvreten och Pallas) genomfördes mätningarna med en frekvens på en vecka per månad för att därefter övergå till kontinuerliga månatliga mätningar. Sedan starten av mätningarna har tre stationer flyttats:

- 2002 - Mätningar vid Rörvik flyttades till Råö
- 2015 - Mätningar vid Vavihill flyttades till Hallahus
- 2018 - Mätningar vid Aspvreten flyttades till Norunda

Tabell II:2 Mätprogram – organiska miljögifter i luft och nederbörd.

Grupp	Parameter	Frekvens	Stationer				
			Vavihill/ Hallahus	Rörvik/ Råö	Pallas	Aspvreten	Norunda
1	Summa (12) PAH: Fenantren, antracen, flouranten, pyren, benso(a)antracen, krysen, benso(b)fluoranten, benso(k)fluoranten, benso(a)pyren, dibenso(ah)antracen, benso(ghi)perylen, indeno(cd)pyren	Månad	2009	1994	1996	1995-2017	2018
2	Summa (7) PCB: PCB 28, 52, 101, 118, 138, 153, 180	Månad		1994	1996	1995-2017	2018
2	Hexaklorbensen (HCB)	Månad		2009	2009	2009-2017	2018
3	Pesticider: α -, γ -HCH, p,p-DDD, p,p-DDT, p,p-DDE, - α - klordan, γ - klordan, trans-nonaklordan	Månad		1996	1996	1995* 2009-2017 (klordaner , DDD, DDT)	2018
3b	Endosulfan (α , β), endosulfan-sulfat	Månad		2009	2009		
3d	Aldrin, heptaklor, atrazin, diuron, isoproturon**	Månad		2009			
	Dieldrin	Månad		2016			
4	Polybromerade flamskyddsmedel, PBDE: (BDE 47, 99, 100)	Månad		2001	2003	2009-2017	2018
4	BDE 85, 153, 154	Månad		2013	2013	2013-2017	2018
4	BDE 209, HBCD	Månad		2009	2009		
4	Nya BFR (HBB, PBT, PBEB, TBECH, BEH- TEBP, BTBPT, EH-TBB,	6 månader/år (luft)		2017	2017	2017	2018

Grupp	Parameter	Frekvens	Stationer				
			Vavihill/ Hallahus	Rörvik/ Råö	Pallas	Aspvreten	Norunda
	Syn/anti-dechlorane Plus, DBDPE, TBP, PBP)						
5	PFAS: (PFOS, PFOA)	Månad		2009			
5	PFAS (PFOS, PFOA, PFBA, PFPeA, PFHxA, PFHpA, PFNA, PFDA, PFUnDA, PFBS, PFHxS, PFDS, 6:2-FTS, PFOSA)	Månad		2017	2017		2017 (juli) endast nederbörd
	Dioxiner/furaner: 2378-TCDD, 12378- PeCDD, 123478-HxCDD, 123678-HxCDD, 123789- HxCDD, 1234678- HpCDD, OCDD, 2378- TCDF, 12378-PeCDF, 23478-PeCDF, 123478- HxCDF, 123678-HxCDF, 123789-HxCDF, 234678- HxCDF, 1234678- HpCDF, 1234789- HpCDF, OCDF	4 månader/år		2009		2009-2017	2018
	Kortkedjiga klorparaffiner (SCCP)	4 månader/år		2009		2009-2017	2018
	Mediumkedjiga klorparaffiner (MCCP)	4 månader/år		2012		2012-2017	2018

* ej klordaner

** Atrazin, diuron, isoproturon utgick från programmet 2016

Växtskyddsmedel (pesticider) i luft och nederbörd

Miljöövervakning av pesticider i luft och nederbörd genomförs av SLU på uppdrag av Naturvårdsverket. Mätningarna av nederbörd inleddes 2002 vid en station på Söderåsen i Skåne (Vavihill). 2009 utökades mätningarna till att omfatta även luft vid Vavihill och en ny station för nederbörd etablerades vid Aspvreten i Södermanland. En flytt av de bägge stationerna skedde 2016/2017, med en ny station på Söderåsen i Skåne (Hallahus), nära den gamla, och stationen vid Aspvreten flyttades till Norunda i Uppland. Bägge de nya stationerna är fortsatt samlokaliserade med IVL:s stationer. I samband med flytten genomfördes parallella provtagningar vid både den gamla och den nya stationen under en hel säsong. Från 2017 rapporteras luft och nederbördsdata från de två nya stationerna Hallahus och Norunda.

Provtagningen omfattar insamling av nederbörd (bulkdeposition) och är händelsestyrd (d.v.s. är avhängig på hur mycket det regnar) med som mest 14 dagar mellan start av nederbördsinsamling och uttag av prov för analys. Proverna samlas i ett kylskåp (+4 °C) under insamlingsperioden. Insamlingen har huvudsakligen skett under två perioder, maj-juni och september-oktober, med 10-13 prover per år, men sedan 2008 har provtagningssäsongen förlängts vid Vavihill och omfattar numera hela perioden april-oktober. Vinterprovtagning har genomförts vid tre tillfällen (2008/2009, 2017/2018 samt 2018/2019). Vid Aspvreten pågick insamlingen under perioden maj-september.

Sedan 2009 ingår även insamling av luftprover vid Vavihill under perioden maj-oktober. Luftprover samlas in med hjälp av en luftpump som pumpar luften genom en kassett med ett glasfiberfilter och en absorbent bestående av polyuretanskum (PUF), samt en mätare som kontinuerligt mäter luftflödet under drift. PUF-adsorbenten har analyserats under hela perioden 2009-2019. Inom ett specialprojekt har även glasfiberfiltret analyserats (2010-2015, ej 2013) för att även undersöka partikelbunden transport av pesticider. Filteranalyser ingår numera i den ordinarie provtagningen efter detta försök.

Strategin var inledningsvis att samla in prov under den mest besprutningsintensiva perioden i Sverige, d.v.s. under försommar och höst. Provperioden utökades dock 2008 till hela sommarhalvåret (april-oktober), dels med tanke på att besprutningssäsongen på kontinenten både börjar tidigare och slutar senare än i Sverige och dels då många grödor (både i Sverige och i våra grannländer) behandlas under hela sommarsäsongen (främst med fungicider och insekticider).

Variabler som analyserats är aktiva substanser av bekämpningsmedel (växtskyddsmedel) som främst används inom jordbruket och trädgårdsnäringen. De utvalda substanserna framgår av Tabell II:3 och inkluderar tre grupper av pesticider: A) pesticider som är förbjudna inom EU; B) pesticider som är förbjudna i Sverige men används inom andra EU-länder; C) pesticider som är tillåtna i Sverige. Listan inkluderar samtliga prioriterade pesticider inom EU:s ramdirektiv för vatten (2013/39/EU), även om alla utom tre är förbjudna i Sverige. Sammanlagt ingår för närvarande 157 substanser i nederbördsanalyserna och över 119 substanser i luftanalyserna (PUF, filter), varav flertalet också ingår i den nationella miljöövervakningen av pesticider i yt- och grundvatten.

Tabell II:3

Substans [^]	Typ #	Grupp *	Kandidat substitution	Analyserad i regn	Analyserad i luft
acetamiprid ^b	I	C		2010-2019	2016-2019
aklonifen ^P	H	C	PBT	2002-2019	2009-2019
alaktor ^P	H	A		2002-2019	2009-2019
aldrin	I	A		2002-2019	2009-2019
alfacypermetrin	I	C	Low	2002-2019	2009-2019
amidosulfuron	H	C		2010-2019	2016-2019
amisulbrom	F	C		2015-2019	2018-2019
atrazin ^P	H	A		2002-2019	2009-2019
DEA	N			2002-2019	2009-2019
DIPA	N			2002-2019	2016-2019
azoxystrobin	F	C		2002-2019	2009-2019
benazolin	H	A		2003-2014	
bensovindiflupyr	F	C	PBT	2018-2019	
bentazon	H	C		2002-2019	
betacyflutrin	I	C		2005-2019	2009-2019
bifenox ^P	H	C		2011-2019	2013-2019
bifenox-syra	N			2011-2019	
bitertanol	F	A		2002-2019	2009-2019
bixafen	F	C		2017-2019	2017-2019
boskalid	F	C		2013-2019	2016-2019
cinidonetyl	H	A		2004-2004	
cyanazin	H	A		2002-2017	2009-2017
cyazofamid	F	C		2010-2019	2016-2019
cybutryn ^P	B	A		2012-2017	2016-2017
cyflufenamid	F	C		2011-2019	2017-2019
cyflutrin	I	A		2002-2019	2009-2019
cykloxidim	H	C		2010-2019	
cymoxanil	F	C		2018-2019	
cypermetrin ^P	I	C		2002-2019	2009-2019
cyprodinil	F	C	PBT	2005-2019	2009-2019
2,4-D	H	C		2002-2019	
DDT-p,p	I	A		2002-2005	2009-2019
DDD-p,p	N			2002-2005	2011-2019
DDE-p,p	N			2002-2005	2009-2019
DDT-o,p	N			2002-2005	2010-2019
deltametrin	I	C		2002-2019	2009-2019
difenokonazol	F	C	PBT	2011-2019	2016-2019
diflufenikan	H	C	PBT	2002-2019	2009-2019
dikamba	H	B		2002-2010	
diklobenil	H	A		2002-2019	2009-2017

Substans [^]	Typ #	Grupp *	Kandidat substitution	Analyserad i regn	Analyserad i luft
BAM	N			2002-2019	2016-2019
diklorprop	H	A		2002-2019	
diklorvos ^P	I	A		2012-2017	
dikofol ^P	I	A		2003-2005	
dimetoat	I	B	Low	2002-2019	2009-2019
dimetomorf	F	C		2017-2019	2017-2019
diuron ^P	H	B		2002-2019	2009-2019
endosulfan-alfa ^P	I	A		2002-2019	2009-2019
endosulfan-beta	I	A		2002-2019	2009-2019
endosulfansulfat	N			2002-2019	2009-2019
epoxikonazol	F	B	PBT, Repro, Endoc	2008-2019	2009-2019
esfenvalerat	I	C	PBT	2002-2019	2009-2019
etofumesat	H	C		2002-2019	2009-2019
fenarimol	F	A		2008-2012	2009-2009
fenitrothion	I	A		2005-2017	2009-2019
fenmedifam	H	C		2002-2019	2012-2019
fenoxaprop-P	H	C		2002-2011	
fenpropidin	F	C		2011-2019	2017-2019
fenpropimorf	F	C		2002-2019	2009-2019
flamprop	H	A		2002-2010	
florasulam	H	C		2010-2019	2018-2019
fluazinam	F	C		2010-2019	
fludioxonil	F	C	PBT	2008-2019	2009-2017
flufenacet	H	B	PBT	2015-2019	2016-2019
fluopikolid	F	C	PBT	2015-2019	2016-2019
fluopyram	F	C		2017-2019	2017-2019
fluoxastrobin	F	C		2019-2019	
flupyrsulfuronmetyl-Na	H	A		2010-2019	
fluroxipyr	H	C		2002-2019	
flurprimidol	TV	A		2010-2014	
flurtamon	H	A		2004-2019	2009-2019
flusilazol	F	A		2008-2017	2009-2017
flutriafol	F	B		2008-2017	2009-2017
fluxapyroxad	F	C		2018-2019	
foramsulfuron	H	C		2011-2019	
fuberidazol	F	A		2005-2016	2009-2016
glyfosat	H	C		2019-2019	2019-2019
AMPA	N			2019-2019	2019-2019
heptaklor ^P	I	A		2002-2019	2009-2016
heptaklorepoxyd ^P	N			2002-2019	2012-2019

Substans ^a	Typ #	Grupp *	Kandidat substitution	Analyserad i regn	Analyserad i luft
hexaklorbensen ^p	F	A		2002-2019	2009-2019
hexazinon	H	A		2002-2019	2016-2019
hexytiazox	I	C		2010-2019	2016-2019
imazalil	F	C		2002-2019	2017-2019
imazamox	H	C	PBT	2018-2018	
imidakloprid ^b	I	C		2005-2019	2017-2019
indoxakarb	I	C		2015-2019	2017-2019
ipkonazol	F	C		2018-2019	
iprodition	F	B		2002-2014	2009-2014
isoproturon ^p	H	B		2002-2019	2009-2019
isopyrazam	F	C	PBT	2019-2019	
jodsulfuronmetyl-Na	H	C		2010-2019	
karbendazim	F	A		2011-2019	2016-2019
karbofuran	I	A		2002-2014	2009-2015
karbosulfan	I	A		2002-2004	
karfentrazonetyl	H	C		2010-2019	2016-2018
karfentrazonsyra	N			2004-2019	
kizalofop	H	A		2018-2019	
kletodim	H	C		2017-2019	
klomazon	H	C		2010-2019	2016-2019
klopyralid	H	C		2002-2019	
klordan-alfa	I	A		2010-2019	2009-2019
klordan-gamma	I	A		2002-2019	2009-2019
klorfenvinfos ^p	I	A		2002-2017	2009-2017
kloridazon	H	B		2002-2019	2016-2019
klorpyrifos	I	A		2002-2019	2009-2019
klotianidin ^b	I	B		2012-2019	2017-2019
kvinmerak	H	C		2002-2019	
lambda-cyhalotrin	I	B	PBT, Low	2002-2019	2009-2019
lindan	I	A		2002-2019	2009-2019
HCH-alfa	N			2002-2019	2009-2019
HCH-beta	N			2002-2019	2009-2019
HCH-delta	N			2002-2019	2009-2019
linuron	H	B		2008-2019	2009-2019
mandipropamid	F	C		2011-2019	2016-2019
MCPA	H	C		2002-2019	
mekoprop	H	B		2002-2019	
mesosulfuronmetyl	H	C		2010-2019	
mesotrion	H	C		2017-2019	
metabentiazuron	H	A		2002-2019	2016-2019
metalaxyl	F	C		2002-2019	2009-2019

Substans ^a	Typ #	Grupp *	Kandidat substitution	Analyserad i regn	Analyserad i luft
metamitron	H	C		2002-2019	2009-2019
metazaklor	H	B		2002-2019	2009-2019
metiokarb ^b	I	B		2012-2019	2016-2019
metkonazol	F	C	PBT	2019-2019	2019-2019
metobromuron	H	C		2018-2019	2019-2019
metolaklor	H	B		2010-2019	2016-2019
metrafenon	F	C		2011-2019	2016-2019
metribuzin	H	C	PBT	2002-2019	2009-2019
metsulfuronmetyl	H	C	PBT	2010-2019	
napropamid	H	C		2017-2019	2017-2019
oxadiazon ^b	H	B	PBT	2015-2017	2016-2017
oxatiapiprolin	F	C		2019-2019	
pendimetalin	H	B	PBT	2002-2019	2009-2019
penkonazol	F	C		2005-2019	2009-2019
permetrin	I	A		2002-2019	2009-2019
pikloram	H	C		2012-2019	
pikolinafen	H	C		2017-2019	2017-2019
pikoxystrobin	F	A		2008-2019	2009-2019
pirimikarb	I	C	PBT	2002-2019	2009-2019
procymidon	F	A		2008-2010	2009-2009
prokinazid	F	C		2018-2019	
prokloraz	F	B	PBT	2002-2019	2009-2019
propakizafop	H	C		2017-2019	2017-2019
propamokarb	F	C		2010-2019	
propikonazol	F	C	PBT	2002-2019	2009-2019
propoxikarbazon-Na	H	C		2010-2019	
propyzamid	H	C	PBT	2002-2019	2009-2019
prosulfokarb	H	C		2002-2019	2009-2019
protiokonazol-destio	F	C		2010-2019	2016-2019
pymetrozin	I	C		2014-2019	
pyraklostrobin	F	C		2004-2019	2016-2019
pyriofenon	F	C		2018-2019	2019-2019
pyroxsulam	H	C		2011-2019	2017-2019
quinoxifen ^P	F	B	PBT	2003-2019	2009-2019
rimsulfuron	H	C		2010-2019	
sedaxan	F	C		2018-2019	2019-2019
siltiofam	F	C		2010-2019	2016-2019
simazin ^P	H	A		2002-2019	2009-2019
spiroxamin	F	B		2010-2019	2017-2019
sulfosulfuron	H	B		2010-2019	2017-2019
tau-fluvalinat	I	C		2008-2019	2009-2019

Substans [^]	Typ #	Grupp *	Kandidat substitution	Analyserad i regn	Analyserad i luft
tebukonazol	F	C	PBT	2018-2019	2019-2019
teflutrin	I	C		2018-2019	2018-2019
terbutryn ^P	H	A		2002-2019	2009-2019
terbutylazin	H	B		2002-2019	2009-2019
DETA	N			2002-2019	2009-2019
tiakloprid ^b	I	C	Endoc	2010-2019	2017-2019
tiametoxam ^b	I	B		2010-2019	2017-2019
tienkarbazon-metyl	H	C		2017-2019	
tifensulfuronmetyl	H	C		2010-2019	
tiofanatmetyl	F	C		2011-2019	
tolklofosmetyl	F	C		2002-2019	2009-2019
tolyfluanid	F	A		2002-2014	
triallat	H	B	PBT	2015-2019	2016-2019
tribenuronmetyl	H	C		2010-2019	2018-2019
trifloxystrobin	F	C		2010-2019	2016-2019
trifloxystrobin-syra	N			2017-2019	
trifluralin ^P	H	A		2002-2018	2009-2019
triflusulfuronmetyl	H	C		2010-2019	2017-2019
trinexapak-etyl	TV	C		2011-2019	
trinexapak-syra	TV			2011-2019	
tritikonazol	F	C		2010-2019	2016-2019
tritosulfuron	H	C		2018-2019	
vinklozolin	F	A		2002-2019	2009-2019

[^] = p – prioämne inom ramdirektivet för vatten (2013/39/EU); ^b – upptagen på bevakningslistan inom ramdirektivet för vatten (2018/840).

= H – herbicid; F – fungicid; I – insekticid; N – nedbrytningsprodukt (alt. biprodukt); TV – tillväxtreglerare; B – biocid.

¶ = Godkännandet gäller den aktiva isomeren: diklorprop-P, mekoprop-P, metalaxyl-M and S-metolaklor.

* = A – förbjuden inom EU; B – godkänd inom EU, men ej registrerad i Sverige; C – godkänd i Sverige. Anger läget 2018.

§ = Kandidat för substitution inom EU:s godkännandeprocess för växtskyddsmedel (EC/2009/117).

PBT – Två PBT kriterier; Low – Låga ADI/ARfD/AOEL-värden; Repro – Toxisk för reproduktion 1A/1B; Endoc – Endokrinstörande egenskaper. Data från https://ec.europa.eu/food/plant/pesticides/approval_active_substances_en

Aktuella direktiv, konventioner, miljömål mm

Ramdirektivet för vatten (2000/60/EU), med tillhörande lista över prioriterade substanser (2013/39/EU). I ramdirektivet anges även att substanser som ”släpps ut i betydande mängd” ska kontrolleras.

Miljökvalitetsmålet Giftfri miljö.

EG:s förordning 1107/2009 som reglerar villkoren för godkännande av växtskyddsmedel inom EU (i godkännandeprocessen ingår även att bedöma risken för spridning via luften).

Tematisk strategi för en uthållig användning av växtskyddsmedel - EU direktiv 2009/128.

Prioriterad ämnesgrupp inom HELCOM, OSPAR och FNs miljögiftskonvention (Stockholmskonventionen).

Nationell handlingsplan för hållbar användning av växtskyddsmedel för perioden 2013-2017 (Landsbyggsdepartementet beslut 2013-06-19 bilaga nr 8).

Bilaga III Beskrivning av modellberäkningar

Årlig kartläggning med MATCH-Sverigesystemet

Syftet med MATCH-Sverigesystemet är att geografiskt kartlägga halter i luft samt deposition av försurande och övergödande ämnen över Sverige. I systemet ingår fysikaliska modeller och kvalitetsgranskad mätdata, vars resultat integreras för att erhålla en så bra kartläggning som möjligt.

Tillgänglig data är sammanställd i Tabell III:1. I rapporteringen ingår lufthalter av svaveldioxid (SO₂), kvävedioxid (NO₂), ammoniak (NH₃) och marknära ozon (O₃) samt våt- och torrdeposition av oxiderat och reducerat kväve (NO_x och NH_x) samt oxiderat svavel (SO_x) med och utan havssaltsbidrag. För dessa ämnen beräknas förutom torrdepositionens geografiska variation även torrdeposition till olika marktyper. Även våtdeposition av baskatjoner, med och utan havssaltsbidrag, beräknas. Deposition av marknära ozon kartläggs med antal PODY mått. Simulerad lufthalt och deposition presenteras som griddad data med en geografisk upplösning på 20x20 km. För deposition redovisas för de flesta ämnen den totala depositionen orsakad av alla utsläpp i Europa (benämns i tabellen Sverige+LRT). Dessutom redovisas för torrdepositionen bidraget av Sveriges utsläpp (benämns Sveriges bidrag till total deposition i tabellen). Till lufthalter redovisas Sveriges bidrag, långdistansbidraget samt de totala halterna (Sveriges bidrag + långdistansbidraget).

Tabell III:1 Förteckning över parametrar som finns tillgängliga via SMHI:s karttjänst, för de försurande och övergödande ämnena.

MATCH-Sverige	Svavel inkl. havssalt	Svavel exkl. havssalt	Oxiderat kväve NO _y	Reducerat kväve NH _x	Baskatjoner (Ca, Mg, K, Na) inkl. havssalt	Baskatjoner (Ca, Mg, K) exkl. havssalt
Deposition						
Total deposition (våt + torr)	X	X	X	X		
Sveriges bidrag, total deposition (våt + torr)		X	X	X		
Total våtdeposition	X	X	X	X	X	X

Total torrdeposition		X	X	X		
Torrdeposition åker		X	X	X		
Torrdeposition lövskog		X	X	X		
Torrdeposition granskog		X	X	X		
Torrdeposition vatten		X	X	X		
MATCH-Sverige	SO₂	NO₂	NH_x			
Halter i luft						
Sveriges bidrag	X	X	X			
Långtransport-bidrag	X	X	X			
Totalt	X	X	X			

För marknära ozon presenteras kartläggningar för de 16 olika statistiska mått som listas nedan.

- Årsmedelvärde
- Somarmedelvärde (juni till augusti)
- Årsmaximum av dygnets maximala flytande 8h-medelhalt, samt antal dygn med överskridande av 70 mg/m³ för utvärdering av miljömålet frisk lufts mål och antal dygn med överskridande av 120 mg/m³ för utvärdering av direktivets mål.
- Årets maximala 1h-medelhalt samt antalet timmar under året med överskridande av halten 80 mg/m³.
- För utvärdering av påverkan på grödor och skog beräknas AOT40 under maj-juli respektive april-september. AOT40 är den ackumulerade ozonhalten överskridande 40 ppbv (80 mg/m³) under denna period, enbart under timmarna 8-20 varje dygn.
- Ett mer detaljerat mått på påverkan på grödor och skog är PODY, vilket beskriver växters ozonupptag baserat både på ozonhalt och fysikaliska förutsättningar. PODY-mått redovisas för björk, gran, vete och potatis, samt generiska grödor och lövskog.
- SOMO35 är en indikator för ozons hälsopåverkan som rekommenderas av WHO. I denna indikator summeras halter hos dygnets maximala flytande 8h-medelvärde som överskrider 35 ppbv (70 mg/m³) under hela året.

