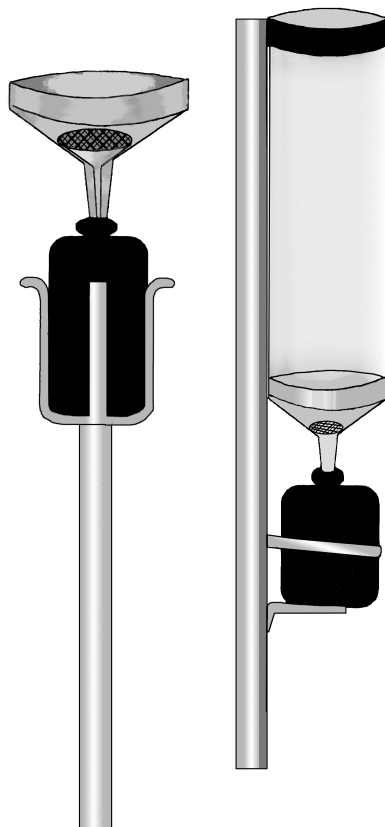


Nedfall av svavel och kväve

Mätningar under 90-talet



Delrapport 2 av 3

Stockholms och Uppsala läns luftvårdsförbund

I augusti 1992 bildades Stockholms läns luftvårdsförbund, som är en ideell förening. Förbundet bytte namn till Stockholms och Uppsala läns luftvårdsförbund, då det i januari 1997 utökades till att omfatta även Uppsala län. Medlemmar är cirka 31 kommuner och länens två landsting. Verksamheten drivs av medlemmarna i samarbete med länsstyrelserna i Stockholms och Uppsala län. Målet med verksamheten är att samordna luftmiljöövervakningen inom de två länen med hjälp av ett välutvecklat datasystem. Systemet består bland annat av en emissionsdatabas, mätningar och spridningsmodeller.



Nedfall av svavel och kväve

Mätningar under 90-talet

Delrapport nr 2 av 3 till Länsstyrelsen i Stockholms län

Rapporten är skriven av Christer Johansson
SLB-analys, miljöförvaltningen, Box 38 024, 100 64 Stockholm.

Förord

Denna rapport är den andra av tre delrapporter om nedfallet av försurande/övergödande ämnen i Stockholms län under år 1998. Rapporterna är en uppföljning av de nedfallsberäkningar och mätningar som Länsstyrelsen lät göra för året 1994/95¹⁾. Nedfallet av svavel och kväve har beräknats baserat på emissionsdatabasen som har utvecklats inom Stockholm och Uppsala läns Luftvårdsförbund och med användande av en regional Matchmodell utvecklad av SMHI. Resultat från de miljöövervakningsprogram som drivs av Länsstyrelsen och Luftvårdsförbundet har använts för att verifiera beräkningarna.

Den första delrapporten analyserar skillnader i emissionsdata för de olika beräkningsåren. I denna delrapport analyseras mätningarna av deposition och lufthalter med avseende på trender under 1990-talet. Rapporten är skriven av Christer Johansson vid Stockholms Luft- och Bulleranalys. Den har gjorts på uppdrag av Länsstyrelsen och är ett led i den regionala miljöövervakning i Stockholms län. Söderenergi AB och Vägverket Region Stockholm har stött arbetet ekonomiskt.

Länsstyrelsen ser nedfallsberäkningarna som ett viktigt instrument i den regionala miljöövervakningen. De gör det möjligt att beskriva och följa upp förändringar på ett enhetligt och jämförbart sätt.

Stockholm våren 2001



Lars Nyberg
Miljö- och planeringsdirektör

1)Se Länsstyrelsens rapport 1997:08 "Svavel- och kvävenedfallet över Stockholms län. Beräkning för året 1994/95."

Innehållsförteckning

1. Sammanfattning	8
2. Syfte med delrapporten	9
3. Tillgängliga mätningar	10
3.1 Länsstyrelsens nedfalls- och haltmätningar	10
3.2 Stockholms och Uppsala läns Luftvårdsförbunds mätningar	11
3.2.1 <i>Nedfall</i>	11
3.2.2 <i>Luftföroreningar</i>	12
4. Resultat	13
4.1 Svaveldepositionen sjunker — men endast i krondropp	13
4.3 Svaveldioxidhalterna fortsätter att minska	17
4.4 Kvävenedfallet	19
4.2 Halterna av kvävedioxid... ..	23
4.2.1 <i>...tycks inte minska i bakgrundsmiljö</i>	23
4.2.2 <i>...men i Stockholms innerstad sjunker halterna</i>	23
5. Jämförelse med andra studier — tillbakablick	25
5.1 I södra Sverige minskar nedfallet av svavel, men inte kväve	25
5.2 I Stockholm har depositionen sjunkit under 80- och 90-talet	25
6. Referenser	27
7. Bilaga 1	29
8. Bilaga 2	31
9. Bilaga 3	35
10. Bilaga 4	37

1. Sammanfattning

Sett i ett nationellt perspektiv syns en halvering av depositionen av svavel i södra Sverige under 90-talet. I övriga Sverige är förändringarna relativt små. För kväve däremot syns ingen tydlig trend. Både svavel och kvävedepositionen är fortfarande högre än vad känsliga marker i södra och mellersta Sverige tål.

Mätningarna i Stockholms län visar att svaveldepositionen minskat under 90-talet, men endast i de mest belastade (centrala) delarna av Stockholm samt i krondroppet¹ även i mer perifera områden i länet. När det gäller nedfallet på öppet fält utanför tätorter i länet syns ingen signifikant minskning av svavelnedfallet. Både när det gäller svavel- och kvävenedfallet spelar de meteorologiska förhållandena mycket stor roll. Exempelvis noterades förhållandevis hög deposition och höga halter av sulfat, nitrat och ammonium i nederbörden under våren 1996. Detta innebär att en sjunkande trend fram till 1995 bröts med ökade halter och deposition under 1996.

Halterna av svaveldioxid visar en sjunkande trend i hela länet, vilket skulle kunna förklara varför depositionen i krondropp minskar. En grov uppskattning visar att den minskade depositionen i krondropp helt beror på minskad torrdeposition av svaveldioxid.

När det gäller kvävenedfallet syns en signifikant trend endast för nitrat i krondroppet. För ammoniumkväve syns ingen trend vare sig i krondropp eller på öppet fält. De sjunkande nitralthalterna i krondropp tycks dock inte hänga samman med minskad torrdepositionen av NO₂, eftersom halterna av NO₂ utanför tätorter i länet inte visar någon tendens att minska. Hur halterna av andra luftburna kväveföreningar förändrats är osäkert eftersom det saknas sammanhängande mätdata (gasformig HNO₃ och partikelbunden nitrat).

Däremot visar mätningar av kvävedioxid att halterna i Stockholms innerstad minskat under 90-talet. Denna minskning har säkerligen lett till minskad torrdeposition av kväve i innerstaden. Minskningen i NO_x halter kan i stort sett förklaras med minskade lokala utsläpp från främst vägtrafiken i staden (se delrapport 1). Till viss del kan takten i minskningen av NO₂ varit lite långsammare p g a ökade ozonhalter i innerstaden (som lett till effektivare oxidation av NO till NO₂).

¹ Med krondropp menas den nederbörd som passerar genom trädkronorna och faller ned till marken.

2. Syfte med delrapporten

Länsstyrelsen i Stockholms län har gett Stockholm Luft- och Bulleranalys i uppdrag att genomföra nedfallsberäkningar av kväve och svavel över Stockholms län. Uppdragets syfte är att ge en beskrivning av

- nedfallet över länet av S och N
- fördelningen mellan torr och våt deposition
- länets egen andel
- vissa sektors andel

Vidare är syftet att jämföra nya beräkningar med tidigare beräkningar från 1994 för att se inverkan på den lokala depositionen p g a förändrade lokala emissioner.

Stockholm Luft- och Bulleranalys har beslutat genomföra ovanstående uppdrag i tre delar och varje del redovisas i separat rapport enligt följande:

- Delrapport 1. Emissioner av kväveoxider och svaveldioxid 1994 till och med 1998.
- Delrapport 2. Nedfall av svavel och kväve. Mätningar under 90-talet. (Sammanställningar och trendanalyser).
- Delrapport 3. Nedfallet av svavel och kväve i Stockholms län 1998 — bidrag från utsläpp inom och utanför länet

Senaste beräkningen av svavel- och kvävenedfallet över Stockholms län gällde för perioden oktober 1994 – september 1995. För spridningsberäkningarna användes Stockholms och Uppsala läns luftvårdsförbunds emissionsdatabas för 1994. Nu skall beräkningarna genomföras på nytt och i detta fall kommer luftvårdsförbundets emissionsdatabas för 1998 att användas.

Beräkningarna tar hänsyn till de lokala utsläppen och de aktuella meteorologiska förhållandena under 1994 respektive 1998. En stor del av nedfallet av svavel och kväve härrör dock från källor utanför regionen. För att beskriva bidraget till nedfallet från intransporten utnyttjas mätningarna i länet. Syftet med denna delrapport är att utifrån mätningarna som finns i länet beskriva hur nedfallet av svavel och kväve har förändrats under 90-talet (speciellt 1994 – 1998).

3. Tillgängliga mätningar

Mätningar av nedfallet av kväve och svavel har genomförts sedan flera år av Miljöförvaltningen i Stockholm (i olika kampanjer under början av 80-talet och sedan 1988 på fasta mätstationer delvis med medel från Landstingets Miljövårdsfond), Luftvårdsförbundet i Stockholms och Uppsala län och Länsstyrelsen i Stockholms län.

3.1 Länsstyrelsens nedfalls- och haltmätningar

Länsstyrelsen i Stockholms län driver sedan maj 1992 nedfalls- och haltmätningar av svavel- och kväveföreningar. Mätningarna har genomförts under lite olika tidsperioder på 15 olika platser i länet. På varje plats insamlas nederbörd i en skogsyta (krondropp) och på öppen mark (öppet fält) i dess närhet. Genom att mäta nederbördsmängd och kemisk sammansättning kan deposition per tidsperiod och ytenhet beräknas för varje analyserat ämne.



Figur 1. Mätstationer som används i Länsstyrelsens nedfallsmätningar. (Säbysjön bekostas av Sollentuna kommun och Laggatorp ingår i kontrollprogrammet för Arlanda).

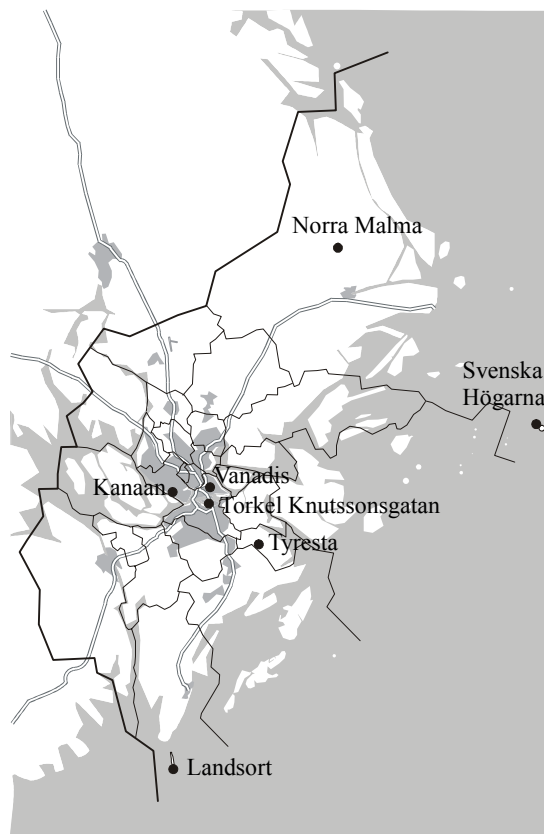
På den öppna ytan samlas nederbörden in med hjälp av en trattförsedd dunk (med känd trattarea), placerad på stolpe 1,5 m över marken. Under vintern ersätts tratten med en meterlång snösäck. Nedfallet på öppet fält består huvudsakligen av våtdeposition, d v s ämnen som är lösta i nederbörden. Mätningarna i skogsytorna (vanligen 30* 30 kvadratmeter) görs under trädkronorna, som fungerar som provtagare och filtrerar gaser och aerosoler från luften (torrdeposition). Föroreningarna sköljs sedan ner av nederbörden och samlas upp i trattförsedda dunkar. Krondroppsvärdena påverkas av upptag i träd-

kronorna (kväve) och interncirkulation mellan träd och mark (främst kalium och mangan). Under vintern ersätts dunkar och trattar av hinkar. För att minimera effekten av ljusinstrålning är samtliga dunkar försedda med aluminiumfolie som reflekterar solstrålarna och håller temperaturen i proverna nere. Parallellt med nedfallsmätningarna mäts även kvävedioxid och svaveldioxid med passiv metod.

3.2 Stockholms och Uppsala läns Luftvårdsförbunds mätningar

3.2.1 Nedfall

I syfte att övervaka nedfallet av luftföroreningar genomförs sedan 1988 regelbunden provtagning av nederbörd på fyra platser i länet - Torkel Knutssonsgatan (Stockholm), Kanaan (Stockholm), Svenska Högarna (Norrtälje) och Landsort (Nynäshamn). Stationerna har drivits av Miljöförvaltningen i Stockholm, delvis med medel från Landstingets Miljövårdsfond (se Johansson, 1995). Från och med juni 1994 ingick mätstationerna Landsort, Torkel Knutssonsgatan och Norra Malma (Norrtälje) i Stockholms läns luftvårdsförbunds miljöövervakningssystem. Från och med 1999 sker provtagning på två mätstationer i Stockholms stad med medel från Miljöförvaltningen i Stockholm.



Figur 2. Mätstationer för provtagning och kemisk analys av nederbörd. Tyresta ingår i den nationella miljöövervakningen, Vanadis drivs av Korrosionsinstitutet och övriga mätstationer hör till Luftvårdsförbundets och Miljöförvaltningens (Stockholm) mätprogram.

Dessutom finns ett antal mätstationer i eller alldeles utanför länets gränser som drivs inom ramen för andra miljöövervakningsprogram och som ger kompletterande information. I tabell 1 listas ett antal mätstationer som har genererat nederbördskemiska data

under flera år. På samtliga dessa platser sker månadsvis insamling av nederbörden. Placeringen av mätstationerna för provtagning och kemisk analys av nederbörd framgår av figur 2. Mätstationerna vid Tyresta och Ryda Kungsgård (i sydöstra Uppland) ingår i det nationella miljöövervakningsprogrammet som drivs av Naturvårdsverket.

Den längsta tidsserien finns från mätningarna i Vanadislunden i Stockholm. Denna mätstation drivs idag av Korrosionsinstitutet och utgör ett värdefullt komplement till mätningarna på Södermalm (Torkel Knutssongatan).

Tabell 1. Mätstationer för insamling av nederbörd och analys av nederbördens kemiska sammansättning.

Plats	Utrustning	Driftsperiod	Ansvarig organisation
Stockholm Södermalm (Torkel Knutssongatan)	Locksamlare	1988 - 1999 ⁴⁾	Slb-analys, MF ¹⁾ , SLF ²⁾
Stockholm, Kanaans friluftsbad	Locksamlare	1988	Slb-analys, MF ¹⁾
Norrtälje, Norra Malma	Locksamlare	1994 - 1999	Slb-analys, SLF ²⁾
Nynäshamn, Landsort	Locksamlare	1988 - 1997	Slb-analys, SLF ²⁾
Norrtälje, Svenska Högarna	Locksamlare	1988 - 1999	Slb-analys, MF ¹⁾
Stockholm, Vanadis	Öppen insamlare	1981 -	Korrosionsinstitutet
Tyresö, Tyresta	Locksamlare		IVL ³⁾
Ryda Kungsgård (Uppland)	Locksamlare		IVL ³⁾

¹⁾ MF=Miljöförvaltningen i Stockholm

²⁾ SLF=Stockholms Läns Luftvårdsförbund

³⁾ IVL=Institutet för vatten- och luftvårdsforskning, Göteborg

⁴⁾ Flyttad april 1999 till Sveavägen.

3.2.2 Luftföroreningar

Halterna av kvävedioxid och svaveldioxid vid ett antal mätstationer i Stockholms län ligger till grund för beräkningarna av torrdeposition. Mätstationernas placering framgår av figur 2. Mätningarna representerar dels tätortsområden (Stockholms innerstad), dels ytterområden (Kanaans friluftsbad) och landsbygd (Landsort, Svenska Högarna och Norra Malma). Kvävedioxid och svaveldioxid mäts kontinuerligt timme för timme under hela året.

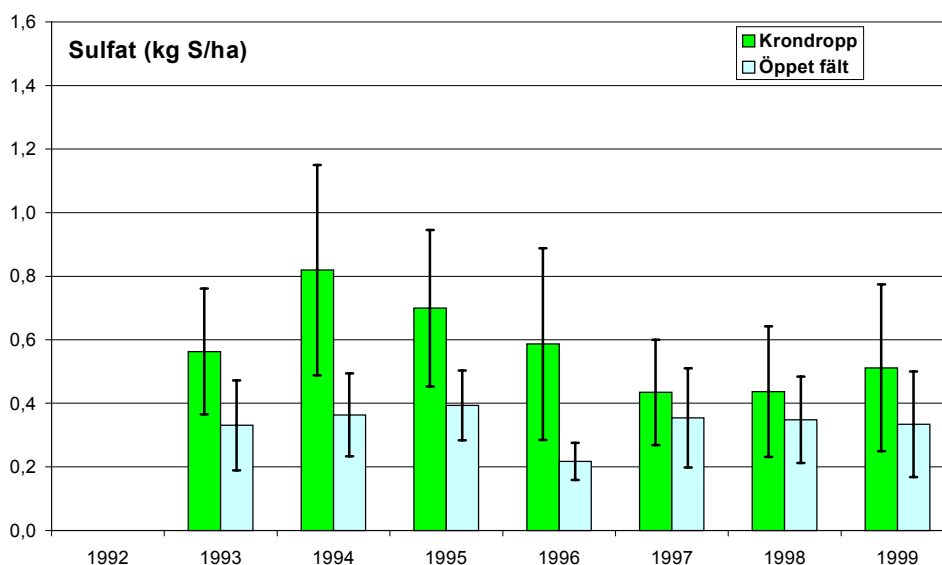
Från juli 1994 till om december 1999 finns dessutom månadsmedelvärden av HNO₃ och NH₃ samt partikelbundet sulfat, nitrat och ammonium, dels i Stockholms innerstad, dels vid Norra Malma i Norrtälje. Mätningarna görs med filter och sk denudrar (glasrör vars insida belagts med sur eller basisk förening som absorberar ammoniak respektive salpetersyra och svaveldioxid). Resultat från mätningarna finns presenterade i Luftvårdsförbundets rapporter.

Relationerna i halt mellan sulfat och svaveldioxid respektive salpetersyra/nitrat och kvävedioxid utnyttjas för att uppskatta bidraget från dessa ämnen till torrdepositionen. Hänsyn tas till respektive komponents torrdepositionshastighet. De partikelbundna komponenterna (sulfat, nitrat och ammonium) har väsentligt lägre depositions-hastigheter jämfört med motsvarande ämnen i gasfas (svaveldioxid, salpetersyra och ammoniak).

4. Resultat

4.1 Svaveldepositionen sjunker — men endast i krondropp

För att belysa om man kan utläsa någon trend i uppmätt nedfall av svavel under perioden 1993 till 1999 beräknades medelvärdet av depositionen varje månad för alla mätstationer i länet. Mätningarna på öppet fält tycks inte visa någon tendens till minskning av svavelnedfallet. Mätningarna av depositionen i krondroppet tycks däremot indikera en minskning. Nedfallet via krondroppet är i genomsnitt nästan 2 gånger större än på öppet fält.



Figur 3. Årsmedelvärden för 9 mätstationer i länet av nedfallet av sulfat i nederbörden på öppet fält respektive i krondropp (oktober 1993 till 1999). Vertikala linjer indikerar en standardavvikelsen av månadsmedelvärdena från mätstationerna.

I tabell 2 redovisas en statistisk trendanalys utifrån en anpassning av en linjär regressionskvation till data. Analysen baseras endast på de stationer som sträcker sig från minst 1996 till idag¹ (Fiskartorpet, Ulriksdal, Laggatorp, Järinge och Bergby ingår ej). Endast för krondropp noteras en minskning som är skild från noll i ett 95%igt konfidensintervall. Den genomsnittliga minskningen är knappt 50 ± 25 g S/ha per år, vilket motsvarar ca $8\% \pm 4\%$ per år (av medelvärdet för hela perioden).

¹ Sticklinge, Alby, Säbysjön, Farstanäs, Lämshaga, Gladö,, Mjölsta, Svulten, Bergboö

Tabell 2. Beräknade trender i sulfatnedfallet på öppet fält respektive i krondropp. Värdena är medelvärden för alla mätstationer i länet för perioden 1993 t om 1999.

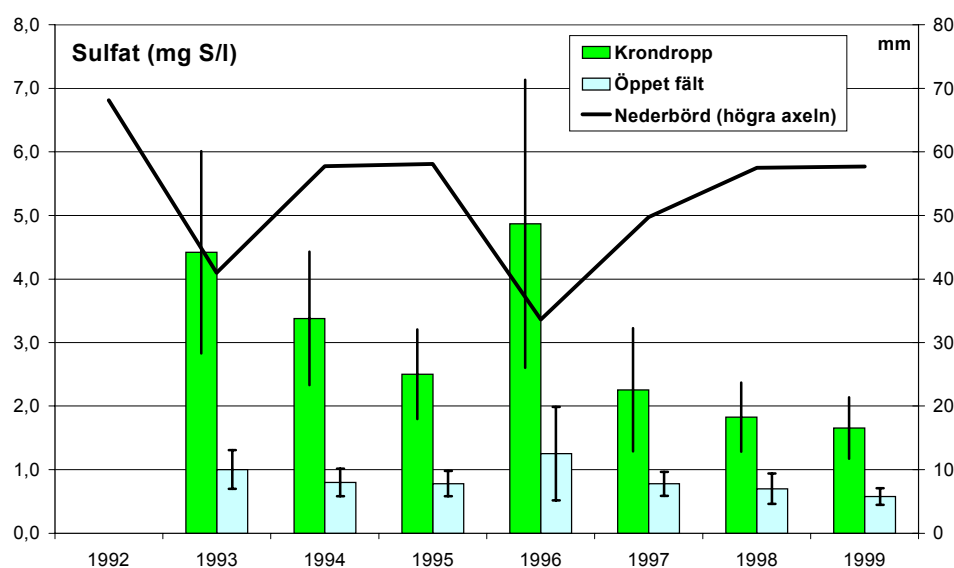
	Öppet fält	Krondropp
Genomsnittlig förändring, (g S/ha/månad per år)	$-0.068 \pm 12.5^{(1)}$ [-24.9, 24.8] ⁽²⁾	$-49.6 \pm 24.9^{(1)}$ [-99.1, -0.10] ⁽²⁾
Procentuell förändring per år (% av medelvärdet för hela perioden)	-0.020 ± 3.7	-8.4 ± 4.2

¹⁾ Medel \pm standardfel.

Om man granskar enskilda mätstationer mera i detalj, tycks minskningen i krondropp vara något större vid mätstationerna Fiskartorpet och Ulriksdal jämfört med genomsnittet för alla mätstationer, vilket kan avspegla större genomslag av minskningar i lokala utsläpp jämfört med på andra platser där regionala och andra källor har större inverkan. Tyvärr har dock inte mätningarna vid Fiskartorpet (november 1994 – september 1996) och Ulriksdal (från oktober 1997) pågått lika länge.

Eftersom mängden som deponerats är beroende av nederbörds mängden är det också intressant att se hur halterna i nederbörden varierat. I figur 4 presenteras årsmedelvärden av nederbördshalterna på öppet fält och i krondropp. I bilaga 1 presenteras även månadsmedelvärden, som visar en tydlig säsongsvariation med de högsta halterna under mars och april. I krondroppet återfinns ju en stor del torrdeponerat sulfat och svaveldioxid, vars koncentration ofta är högre under senvintern/våren, vilket skulle förklara denna säsongsvariation.

Både vad gäller krondropp och öppet fält inträffade de högsta värdena under våren 1996 och under de senaste åren har värdena under våren varit lägre än tidigare. De höga värdena 1996 hänger delvis samman med ovanligt låg nederbörds mängd. Relationen mellan nederbörds mängd och halterna i nederbörden illustreras tydligt i bilaga 4. Denna mycket markanta variation i nedfall, beroende på meteorologiska förhållanden, visar att det krävs väldigt långa tidsserier alternativt stora förändringar i utsläppen för att mätningarna skall kunna detektera förändringar som beror enbart på förändringar i utsläpp och inte på meteorologiska förhållanden.



Figur 4. Årsmedelvärden för alla mätstationer i länet av halterna av sulfat i nederbörden på öppet fält respektive i krondropp (1993 t om 1999).

I tabell 3 presenteras beräknade genomsnittliga trender för alla mätstationer i länet utifrån enbart halten sulfat i insamlad nederbörd på öppet fält och krondropp. När det gäller öppet fält är minskningen i sulfathalt drygt 5% av medelhalten för hela perioden, men ett 95%igt konfidensintervall inkluderar även en svag positiv trend. För krondroppet är minskningen $14\% \pm 4\%$ och det 95%iga konfidensintervallet visar på en signifikant sjunkande trend.

Tabell 3. Beräknade trender i sulfathalterna i insamlad nederbörd på öppet fält respektive i krondropp. Värdena är medelvärden för alla mätstationer i länet för perioden 1993 t om 1999.

	Öppet fält	Krondropp
Genomsnittlig förändring, (mg/liter per år)	$-0.047 \pm 0.029^{(1)}$ [-0.10, 0.010] ⁽²⁾	$-0.43 \pm 0.12^{(1)}$ [-0.68, -0.19] ⁽²⁾
Procentuell förändring per år (% av medelvärdet för hela perioden)	$-5.5\% \pm 3.4\%$	-14.4 ± 4.1

⁽¹⁾ Medel \pm standardavvikelse

⁽²⁾ 95% konfidensintervall

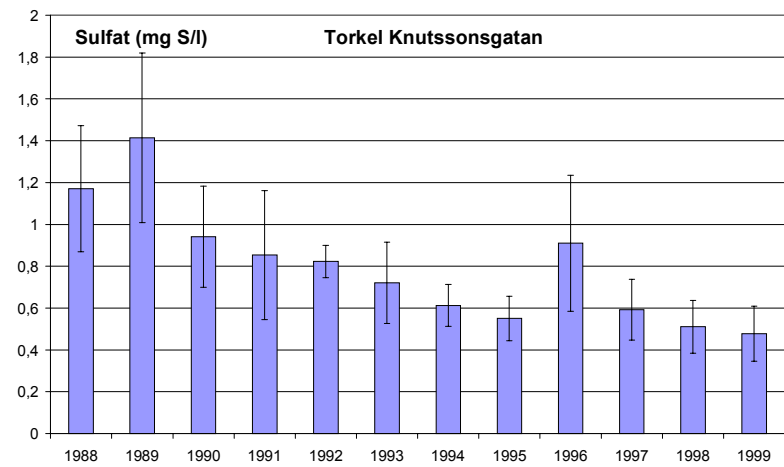
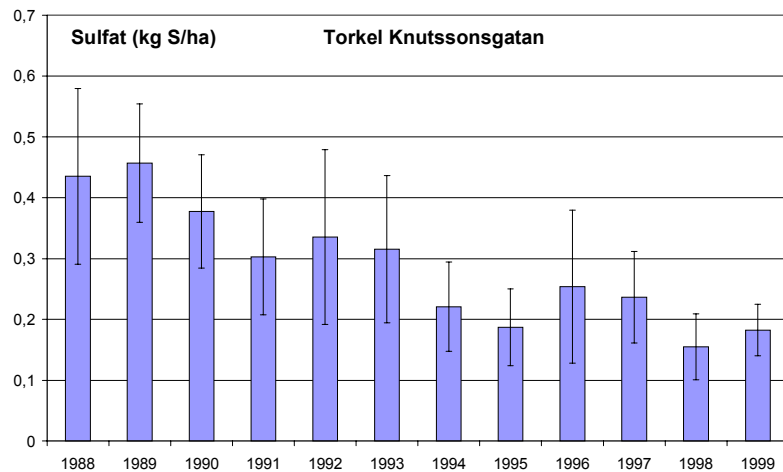
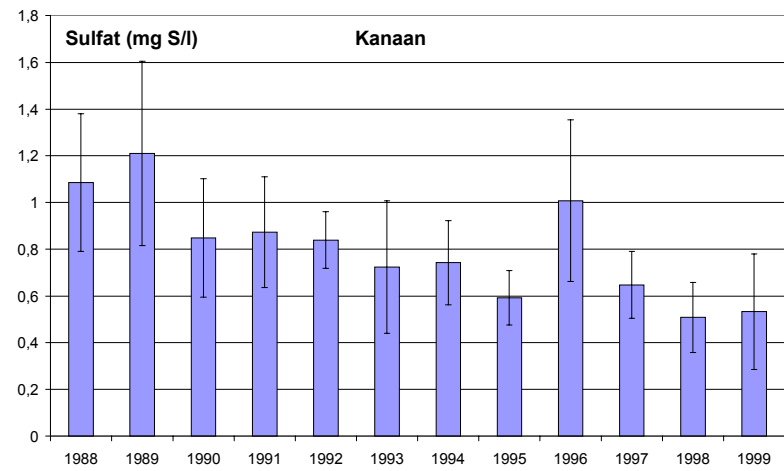
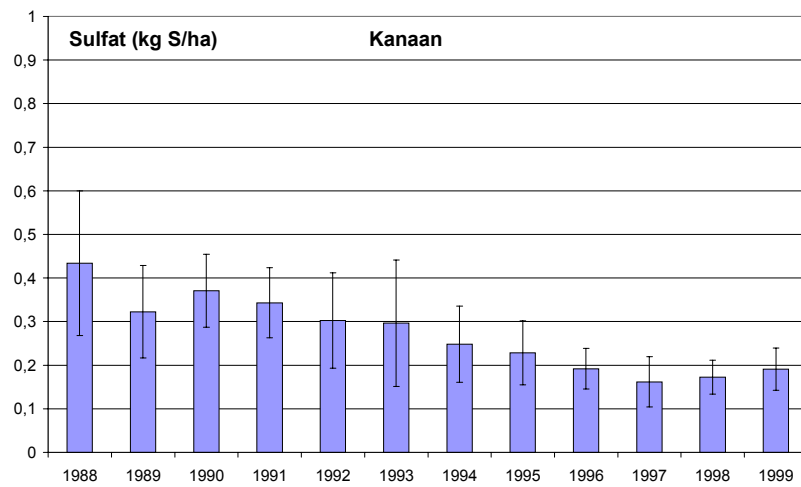
Att minskningen i krondropp är större hänger troligen samman med att lufthalterna av svaveldioxid (och därmed också torrdepositionen av svaveldioxid) minskat mera än halterna av sulfat i nederbörden. I bilaga 3 visas genomsnittliga halter av sulfat i nederbörden på öppet fält och i krondropp. Det är framförallt under vintern som halterna är förhöjda i krondroppet, vilket framgår tydligt av figur 4 i bilaga 3 som visar skillnaden i nedfallet på öppet fält och i krondropp för varje månad under året. Detta hänger samman med högre torrdeposition under vintern då halterna av svaveldioxid och partikelbundet sulfat är högst.

För samma meteorologiska förhållanden återspeglar förändringar i svaveldioxidhalterna ett direkt linjärt förhållande till svavelutsläppen, medan halter i nederbörden är mer komplext relaterade till utsläppen beroende på fotokemisk oxidation av SO₂ till sulfat (se även diskussion i Johansson, 1995). Eftersom de lokala utsläppen i Stockholms län inverkar betydligt mera på torrdepositionen än på våtdepositionen, kan minskningen i krondropp också bero på minskade (lokala) utsläpp inom regionen.

4.2 Luftvårdsförbundets mätningar indikerar sjunkande svaveldeposition endast i centrala mätpunkter

Figur 5 presenterar mätningar som genomförts inom ramen för Stockholms miljöförvaltning och Stockholms och Uppsala läns luftvårdsförbunds mätprogram 1988 t om 1999 (se även bilaga 1 och 2). Resultaten när det gäller svavel visar att nederbördshalterna och depositionen har sjunkit i Stockholms innerstad och vid Kanaans friluftsbad i nordvästra Stockholm. Däremot syns inte någon signifikant trend vid bakgrundsstationen Norr Malma i Norrtälje (se figur 3 och 4, bilaga 1). Även i dessa mätningar syns förhöjda halter i nederbörden under 1996 och samtidigt en viss ökning i våtdepositionen.

Till skillnad från mätningarna inom ramen för krondroppsnätet genomförs dessa mätningar med lockförsedda insamlare. Resultaten från dessa ger något bättre mått på våtdepositionen eftersom det kan ske en del torrdeposition på insamlare utan lock under perioder då ingen nederbörd förekommer.

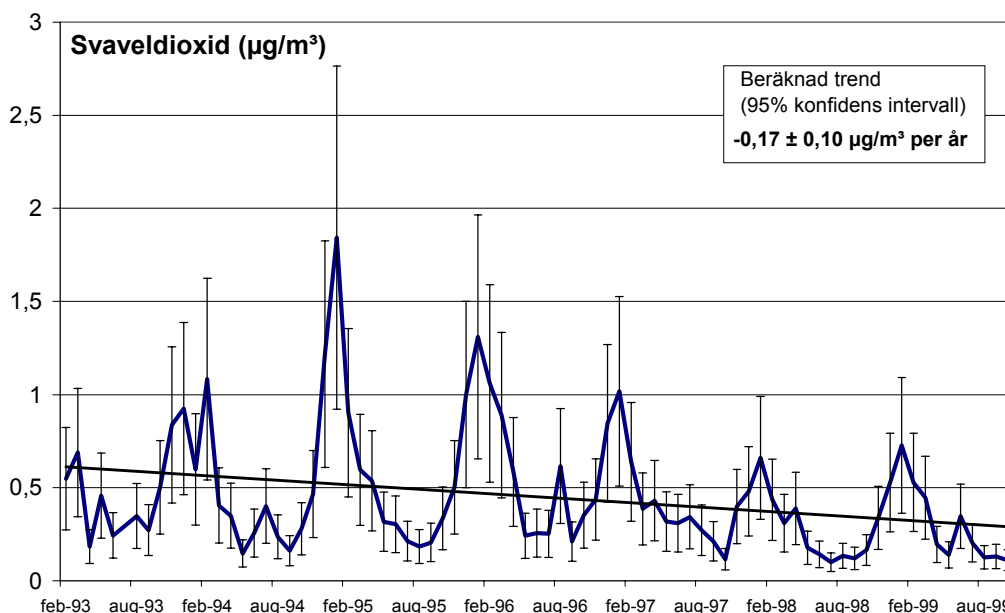


Figur 5. Årsmedelvärden av våtdeposition av svavel och halter av svavel i nederbörden i centrala Stockholm samt vid Kanaan i nordvästra Stockholm. Vertikala linjer anger en standardavvikelse.

4.3 Svaveldioxidhalterna fortsätter att minska

Svaveldioxid har mätts med passiva provtagare vid krondroppsstationerna sedan 1993. Diagrammet nedan visar genomsnittliga halter vid mätstationerna. Idag är halterna lägre än $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$. De varierar kraftigt under året med de högsta värdena under vinterhalvåret. En trendanalys visar att halterna har minskat med ca $0.17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per år, vilket är en signifikant minskning (95% konfidensintervall).

De minskade halterna av svaveldioxid är troligen huvudorsaken till den observerade minskningen i halterna av svavel i krondroppet. Om man antar en genomsnittlig torrdepositions hastighet för svaveldioxid på $2 \text{ cm}/\text{s}$ så motsvarar $0.17 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per år en minskad svaveldeposition på $46 \text{ g S}/\text{ha}/\text{månad}$ per år, vilket är i förvånansvärt god överensstämmelse med uppmätt genomsnittlig minskning av svaveldepositionen vid krondroppsstationerna som presenterats ovan ($50 \text{ g S}/\text{ha}/\text{månad}$ per år, se tabell 2).



Figur 6. Genomsnittliga halter av svaveldioxid vid krondroppsstationerna under 90-talet. Vertikala linjer anger standardavvikelsen för värdena beräknat på alla mätstationers månadsmedelvärden.

Förutom svaveldioxidmätningarna vid krondroppsstationerna finns mätningar inom ramen för luftmiljöövervakningen som drivs av Stockholms och Uppsala läns Luftvårdsförbund och Miljöförvaltningen i Stockholm. Dessa visar att svaveldioxidhalterna i Stockholms innerstad fortfarande är en faktor 2 till 5 högre jämfört med halterna utanför Stockholm. Halterna har fortsatt att minska under 1990-talet, även om de tre senaste årens mätningar med passiva provtagare och DOAS teknik inte visar någon tydlig tendens. För Kanaan (friluftsområde, NV Stockholm) har halterna ungefär halverats mellan 1994 och 1998. Ytterligare lite data från bakgrundsstationer i länen presenteras i tabell 4 och 5 nedan. Utifrån dessa mätningar är det dock inte möjligt att uttala sig om någon trend p g a luckor i data.

Tabell 4. Årsmedelvärden av svaveldioxid på fyra platser Stockholms stad. Mätresultat från miljöövervakningen i Stockholms stad och Stockholms och Uppsala läns Luftvårdsförbund. Endast år med mer än 75% tidstäckning är medtagna. Enhet: $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

	Södermalm			Sergels Torg	Vanadis	Kanaan	
	UV ³⁾	DOAS ⁴⁾	Passiv ⁵⁾	Passiv	Passiv	UV	Passiv
1990	6.9						
1991	6.2						
1992	5.6				4.5		
1993	5.7				4.5	2.3	
1994	4.2					2.0	
1995	(4.1)			3.6			
1996		3.8	3.7	4.1			1.7
1997		3.3	2.3				1.0
1998		2.8	2.4				1.1
1999		3.2	2.3				1.1

²⁾ Tidstäckning endast 63%.

³⁾ Instrument placerat på Torkel Knutssongatan (UV absorption).

⁴⁾ DOAS instrument på sträckan Rosenlundsgatan till Maria polikliniken.

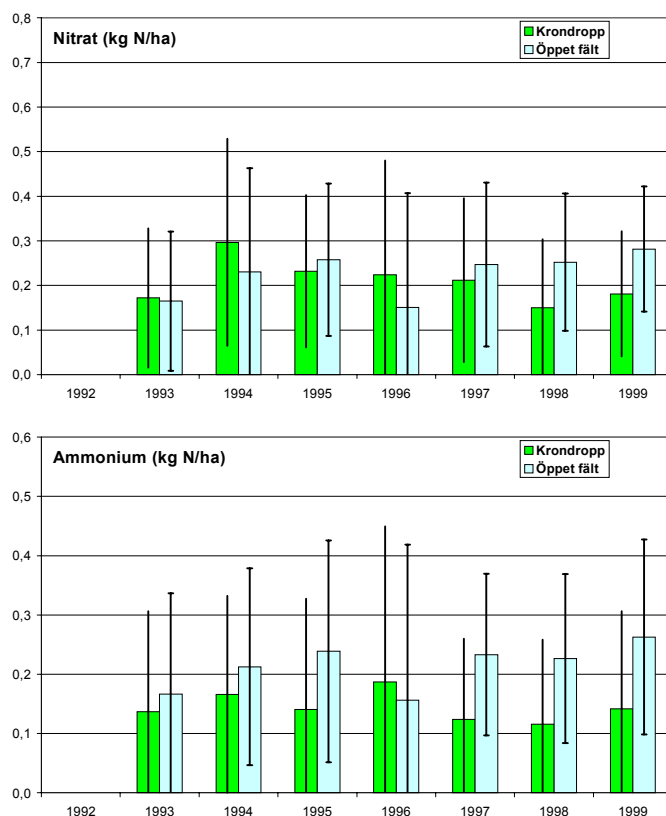
⁵⁾ Diffusionsprovtagning, veckomedelvärden enligt L.

Tabell 5. Årsmedelvärden av svaveldioxid på fem platser i bakgrundsmiljö i Stockholms län. Mätresultat från miljöövervakningen i Stockholms stad och Stockholms och Uppsala läns Luftvårdsförbund. Endast år med mer än 75% tidstäckning är medtagna. Enhet: $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

	Norr Malma	Landsort	Svenska Högarna	Skutskär	Ryda Kungsgård
1990					
1991					1.1
1992			2.2		1.5
1993			3.3		
1994			2.1		
1995	1.3	2.0	1.8		
1996	1.2	1.7			
1997	0.73	1.1			
1998	0.79				
1999	0.79			1.3	

4.4 Kvävenedfallet

I figur 7 redovisas årsmedelvärden av depositionen av kväve (nitrat och ammonium) för alla mätstationer i länet. I bilaga 2 redovisas månadsmedelvärden och i bilaga 3 samt i figur 2 återfinns genomsnittliga månadsmedelvärden för ett år. Varken för öppet fält eller krondropp syns någon tendens till minskning av nedfallet. Nedfallet av nitrat via krondropp och öppet fält är i genomsnitt ungefär lika stort. För ammonium är nedfallet via krondropp något högre på sommaren och lägre på vintern jämfört med nedfallet på öppet fält.



Figur 7. Årsmedelvärden av våtdepositionen av nitrat och ammonium. De vertikala linjerna anger en standardavvikelse.

I tabell 6 visas trendanalysen utifrån en anpassning av en linjär regressionsekvation till data. För öppet fält noteras snarast en svag ökning av nitrat och ammoniumnedfallet. Spridningen i värdena är dock mycket stor och trenden är inte signifikant med ett 95 procentigt konfidensintervall. För kronddropp noteras en svag minskning för nitrat, som inte heller den är signifikant.

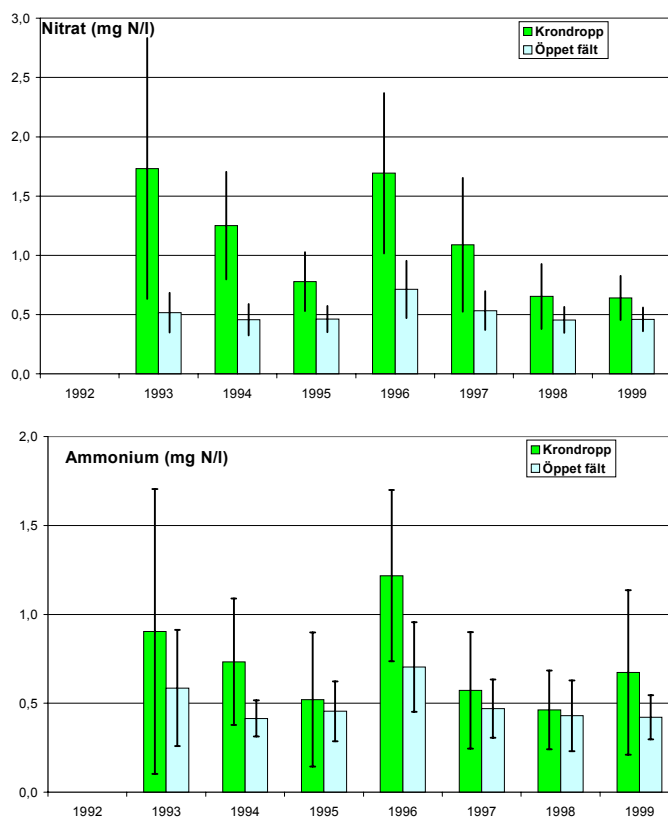
Tabell 6. Beräknade trender i nitrat- och ammoniumnedfallet på öppet fält respektive i kronddropp. Värdena är medelvärden för alla mätstationer i länet för perioden 1993 t om 1999.

	Öppet fält ¹⁾		Kronddropp ¹⁾	
	Nitrat	Ammonium	Nitrat	Ammonium
Genomsnittlig förändring, (g/ha/månad per år)	12.7 ± 8.7 [-4.7, 30.1]	11.0 ± 8.4 [-5.6, 27.7]	-11.3 ± 8.4 [-28.0, 5.5]	-0.90 ± 7.3 [-15.4, 13.6]
Procentuell förändring per år (% av medelvärdet för hela perioden)	5.6 ± 3.9	5.2 ± 3.9	-5.4 ± 4.0	-0.6 ± 5.1

¹⁾ Medel ± standardfel.

I figur 8 presenteras årsvärden av nederbördshalterna av nitrat och ammonium på öppet fält och i kronddropp. När det gäller öppet fält inträffade de högsta värdena under våren 1996 och under de senaste åren har värdena under våren varit lägre än tidigare. De höga värdena 1996 hänger delvis samman med ovanligt låg nederbördsmängd.

Månadsmedelvärden presenteras i Bilaga 2 och 3. På samma sätt som för svavel syns en tydlig säsongvariation i krondroppshalterna med de högsta halterna under mars och april till stor del beroende på torrdeposition.



Figur 8. Årsmedelvärden av halterna av nitrat och ammonium i nederbörden på öppet fält respektive i krondroppet. De vertikala linjerna anger en standardavvikelse.

I Tabell 7 presenteras beräknade genomsnittliga trender för alla mätstationer i länet utifrån enbart halten nitrat och ammonium i insamlad nederbörd på öppet fält och krondropp. När det gäller öppet fält syns ingen signifikant minskning. Endast nitrat i krondropp uppvisar en signifikant minskning — ca $14\% \pm 5\%$ per år i genomsnitt för perioden.

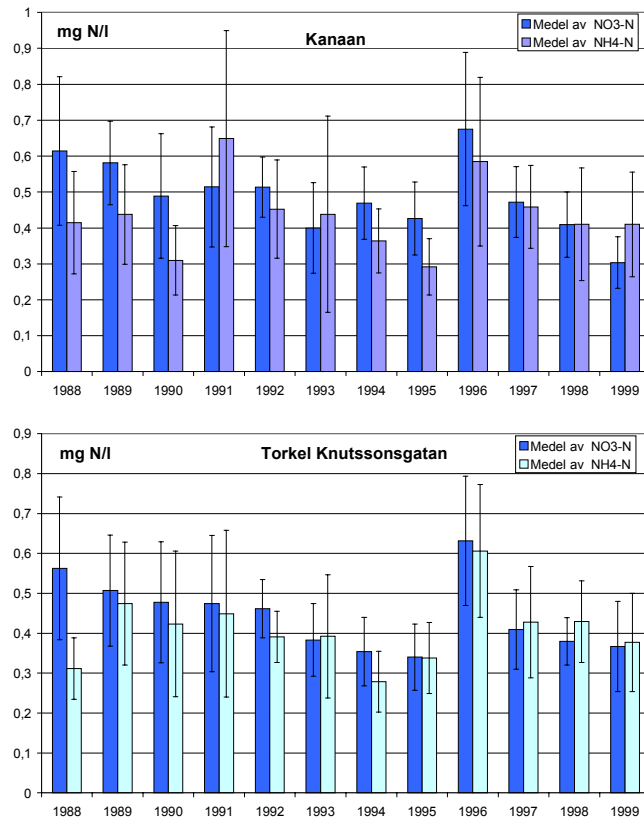
Tabell 7. Beräknade trender i nitrat och ammoniumhalterna i insamlad nederbörd på öppet fält respektive i krondropp. Värdena är medelvärden för alla mätstationer i länet för perioden 1993 t om 1999.

	Öppet fält ⁽¹⁾		Kronddropp ⁽¹⁾	
	Nitrat	Ammonium	Nitrat	Ammonium
Genomsnittlig förändring, (mg N/liter per år)	-0.0056 ± 0.014 [-0.034, 0.023]	-0.014 ± 0.017 [-0.048, 0.020]	$-0,15 \pm 0.055$ [-0.26, -0.042]	-0.035 ± 0.037 [-0.11, 0.039]
Procentuell förändring per år (% av medelvärdet för hela perioden)	-1.1 ± 2.8	-2.8 ± 3.4	-13.6 ± 4.9	-5.0 ± 5.3

¹⁾ Medel ± standardfel.

I figur 9 presenteras årsmedelvärden för perioden 1988 t om 1999 av nitrat och ammoniumhalterna i nederbörden i Stockholms innerstad (Torkel Knutssonsgatan) och vid Kanaan i nordvästra Stockholm. Fram till 1994/1995 förfaller halterna ha sjunkit. År 1996 noteras en kraftig ökning och därefter sjunker halterna återigen.

Variationerna är troligen huvudsakligen en avspeglning av påverkan från meteorologiska förhållanden snarare än variationer i utsläppen av kväveoxider respektive ammoniak.



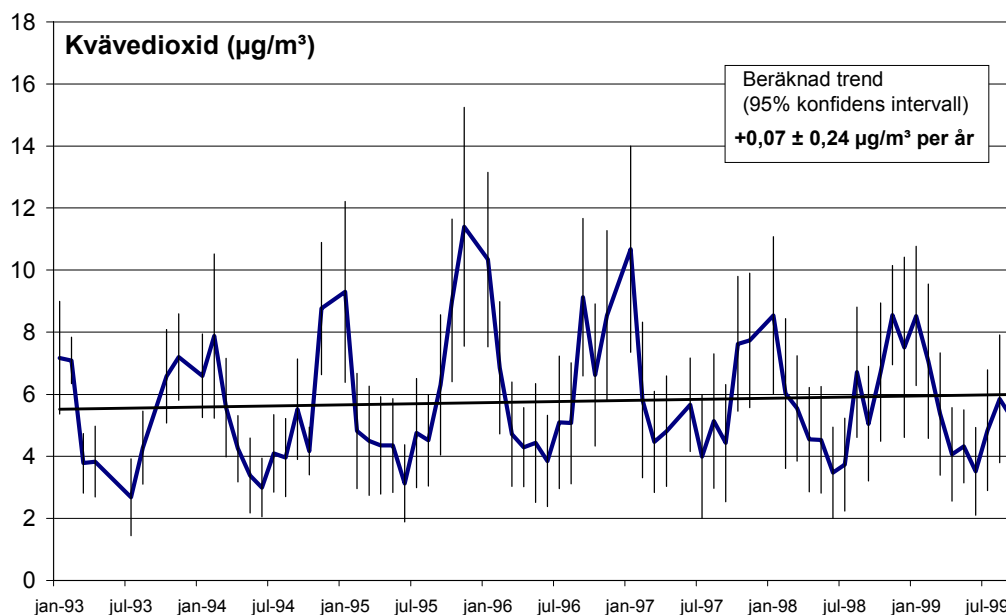
Figur 9. Årsmedelvärden av nitrat och ammoniumhalterna i nederbörden i Stockholms innerstad (Torkel Knutssonsgatan) och vid Kanaan i nordvästra Stockholm. De vertikala linjerna anger en standardavvikelse.

4.2 Halterna av kvävedioxid...

4.2.1 ...tycks inte minska i bakgrundsmiljö

Figur 10 visar genomsnittliga halterna för alla krondropsstationer. Precis som för svaveldioxid syns en tydlig säsongvariation med de högsta halterna under vinterhalvåret.

Men i motsats till svaveldioxid tycks kvävedioxidhalterna inte minska utan verkar ha legat på ungefär samma nivå under hela 90-talet. Detta ligger i linje med att halterna av nitrat i krondroppet inte heller förändras särskilt mycket, eftersom torrdepositionen av kvävedioxid inte har förändrats. För torrdepositionen kan dock även andra kväveföreningar ha viss betydelse, dvs. salpetersyra och partikelbundet nitrat.

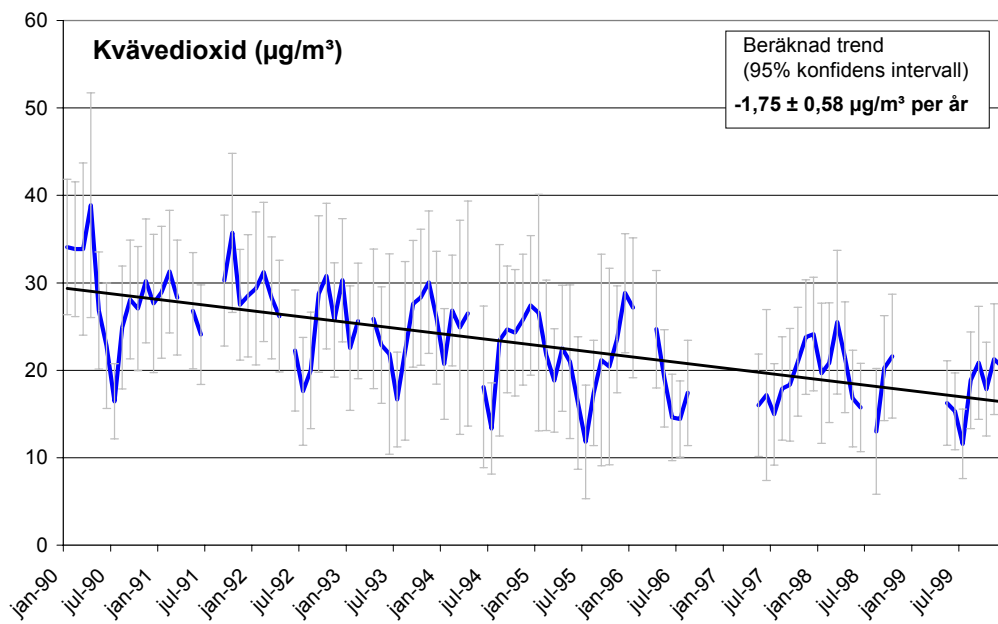


Figur 10. Genomsnittliga halter av kvävedioxid 1993 till och med 1999. Värdena är månadsmedelvärden för alla mätstationer för krondropp. De vertikala linjerna indikerar standardavvikelsen.

4.2.2 ...men i Stockholms innerstad sjunker halterna

I motsats till bakgrundshalterna vid krondropsstationerna visar figur 11 att månadsmedelvärdena av kvävedioxidhalterna i taknivå i Stockholms innerstad minskat under 90-talet. Den genomsnittliga minskningen är $1.75 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per år ($\pm 0.58 \mu\text{g}/\text{m}^3$ per år, 95% konfidensintervall). Eftersom ingen signifikant trend finns i bakgrundshalterna måste denna minskning bero på minskade utsläpp från vägtrafiken lokalt i regionen. Samtidigt observeras dock att ozonhalterna i innerstaden har ökat, beroende på att kväveoxidutsläppen minskat. Detta har troligen delvis motverkat minskningen i NO_2 halterna p g a effektivare oxidation av lokalt emitterad kväveoxid till kvävedioxid ($\text{NO} + \text{O}_3 \rightarrow \text{NO}_2 + \text{O}_2$).

Detta betyder att (torr)depositionen av kväve i områden där lokala utsläpp från vägtrafiken påverkar kväveoxidhalterna, bör ha minskat. Krondroppsmätningarna vid Fiskartorpet och Ulriksdal bekräftar också detta även om de inte varit i drift särskilt länge.

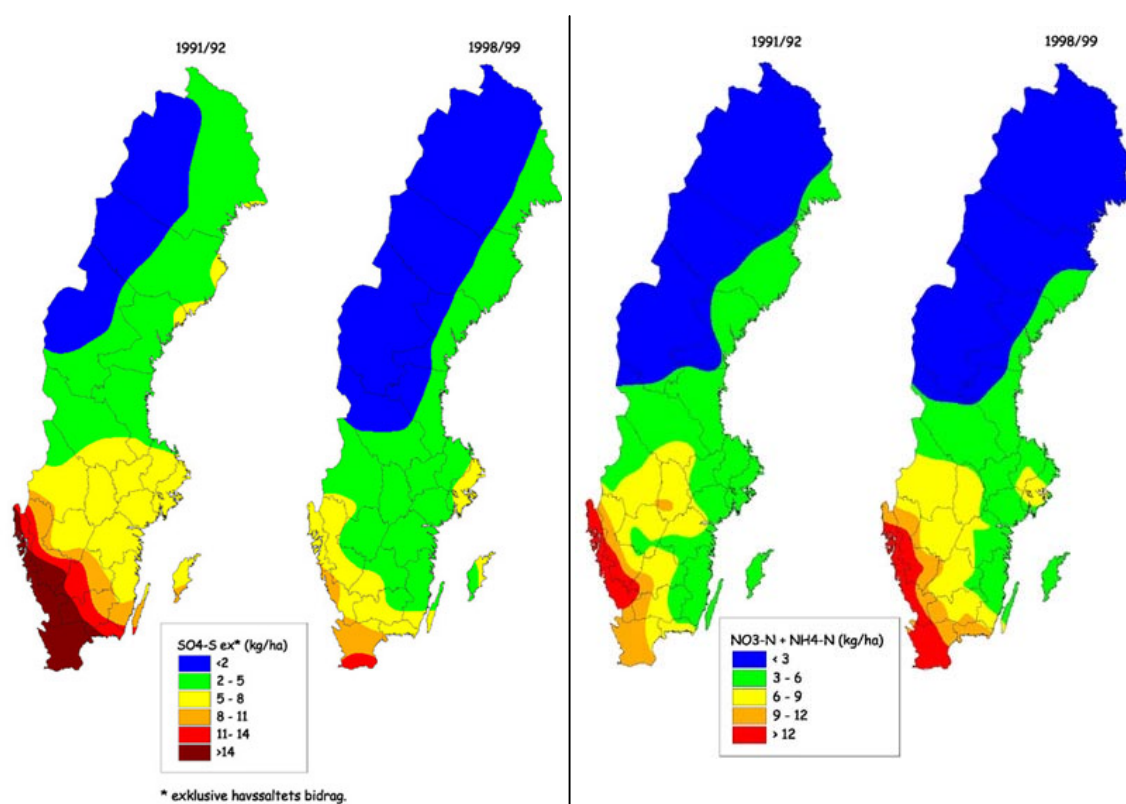


Figur 11. Kvävedioxidhalter i taknivå i Stockholms innerstad (Södermalm). Värdena är månadsmedelvärden och de vertikala linjerna anger standardavvikelser av dygnsmedelvärden under månaden. Endast månader med mer än 75% tidstäckning är med i digrammet (se <http://www.slb.mf.stockholm.se>).

5. Jämförelse med andra studier — tillbakablick

5.1 I södra Sverige minskar nedfallet av svavel, men inte kväve

I södra Sverige har svaveldepositionen i stort sett halverats under 1990-talet (<http://www.ivl.se/miljo/projekt/kron/trend.asp>). Ytterligare minskad svaveldeposition krävs för att undvika försurning av känsliga marker. För kväve går det inte att påvisa någon tydlig förändring av kvävedepositionen under 1990-talet. I sydvästra Sverige är depositionen >12 kg/ha och år, att jämföra med riktvärden för hur mycket kväve marken tål, utan att övergödningseffekter inträffar på 4-5 kg/ha och år i södra och mellersta Sverige.



Figur 12. Nedfallet av svavel och kväve baserat på krondroppsytor i hela landet. (Källa: www.IVL.se)

5.2 I Stockholm har nedfallet sjunkit under 80- och 90-talet

I jämförelse med typiska värden på landsbygden i Mellansverige var svaveldepositionen dubbelt så hög i Stockholms innerstad under 1994, medan kvävedepositionen var drygt en faktor 3 högre i innerstaden. Skillnaderna beror huvudsakligen på högre halter av svaveldioxid och kvävedioxid, som i sin tur leder till högre torrdeposition i innerstaden (Johansson, 1995). Under perioden 1988 till om 1994 minskade nedfallet av svavel till marken i innerstaden från drygt 20 kg/ha/år 1988 till knappt 10 kg per hektar och år 1994. Även i ytterområdena till Stockholm minskade svaveldepositionen. Förändringarna beror på både lägre luftföroreningshalter och lägre halter av sulfat i nederbörden. Både sulfathalterna i nederbörden och svaveldioxidhalterna i luften var drygt 50% lägre 1994

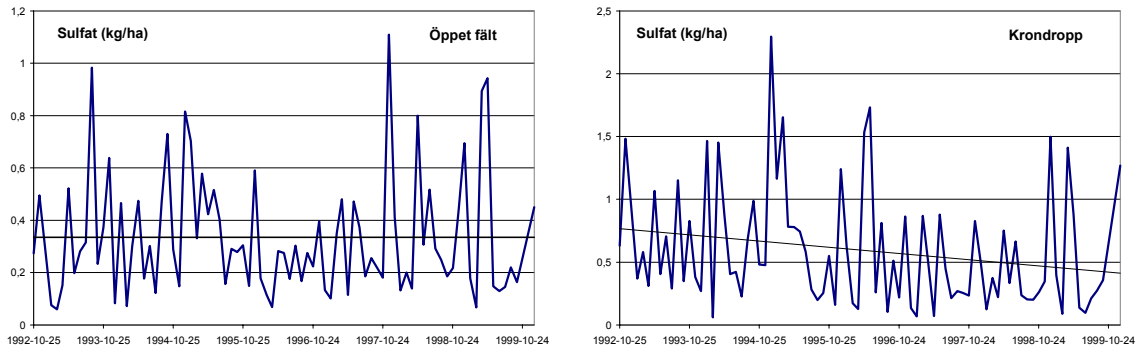
jämfört med 1988. I jämförelse med mätningar i början av 1980-talet har svaveldepositionen i innerstaden minskat med nästan 90%. Nedfallet av kväve till marken i innerstaden har minskat från ca 20 kg/ha/år 1988 till ca 16 kg/ha/år 1994. Minskningarna beror både på lägre NO_2^- halter och lägre halter av nitrat i nederbörden. I jämförelse med mätningar i början av 1980-talet har kvävedepositionen i innerstaden minskat med drygt 50%.

6. Referenser

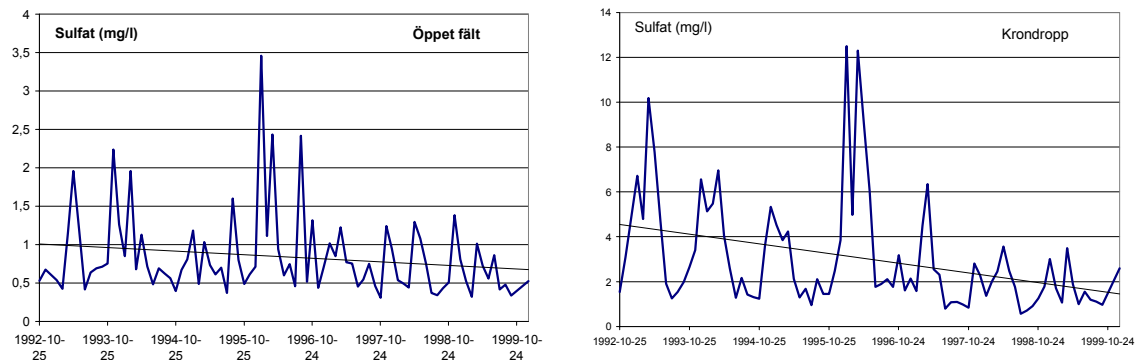
- Länsstyrelsen, 1994. Luftföroreningsituationen i Stockholms län. Länsstyrelsen i Stockholms län, Miljövårdsenheten, Rapport nr 1994:3.
- Länsstyrelsen, 1997. Svavel- och kvävenedfallet över Stockholms län. Beräkning för året 1994/95. Rapport 1997:08.
- Johansson, C., 1995. Deposition av svavel och kväve till marken i Stockholms län. Presentation av mätningar av våtdepositionen och beräkningar av torrdepositionen 1988 –1994. Stockholms luft och bulleranalys, Miljöförvaltningen, Box 38 024, 100 64 Stockholm, ISBN 91-88018-26-1, ISSN 1400-0806.
- IVL, 2000. Övervakning av luftföroreningar i Stockholms län. Resultat t o m september 1999. För Länsstyrelsen i Stockholms län och Luftfartsverket. IVL Rapport B 1377. IVL Svenska Miljöinstitutet AB, Box 47 088, 402 58 Göteborg.

7. Bilaga 1

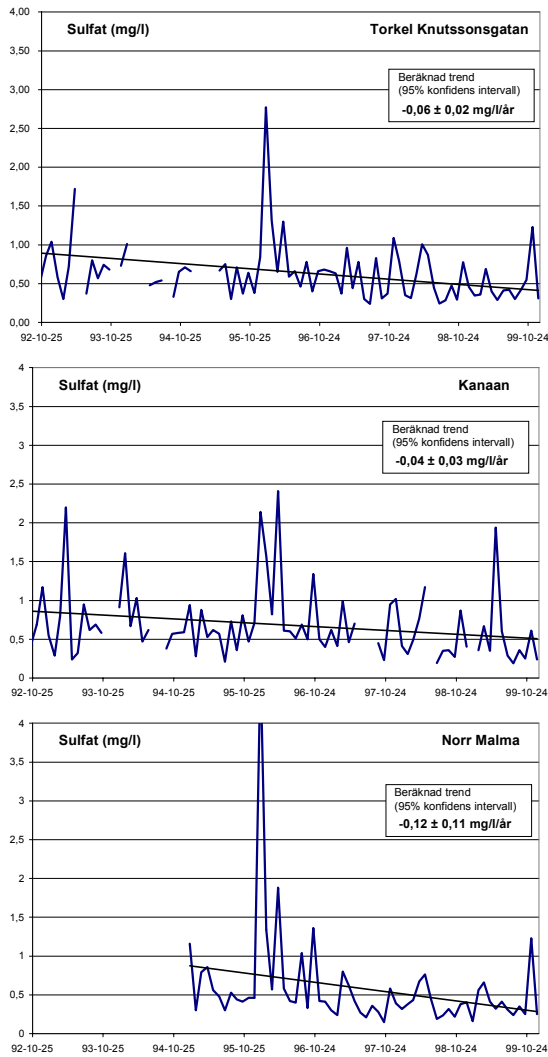
Månadsmedelvärden av svaveldeposition och halter i nederbörden.



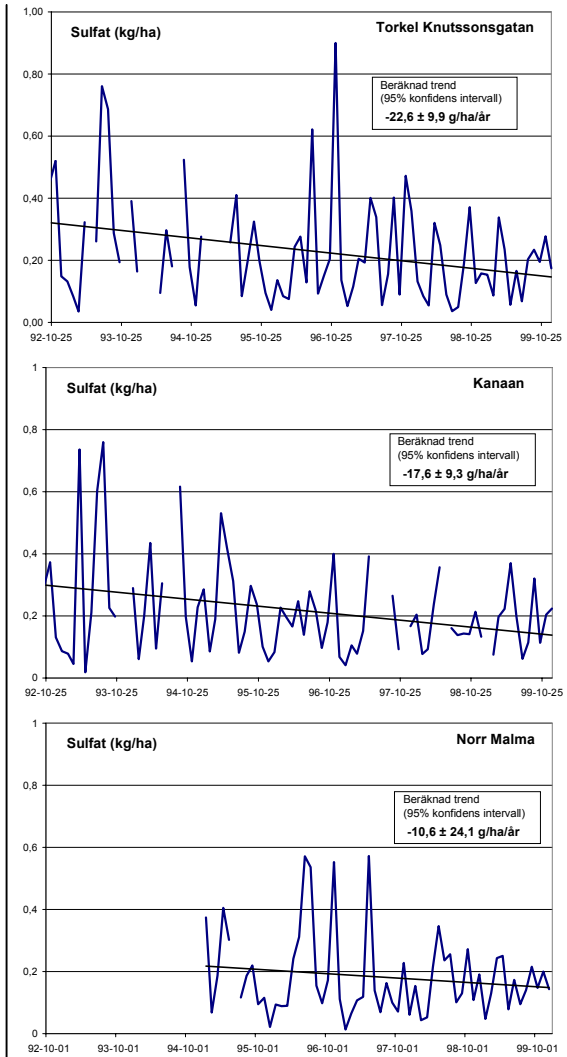
Figur 1. Månadsmedelvärden för 9 mätstationer i länet av nedfallet av sulfat i nederbörden på öppet fält respektive i kron dropp (oktober 1992 t om december 1999).



Figur 2. Månadsmedelvärden för alla mätstationer i länet av halterna av sulfat i nederbörden på öppet fält respektive i kron dropp (oktober 1992 t om december 1999).



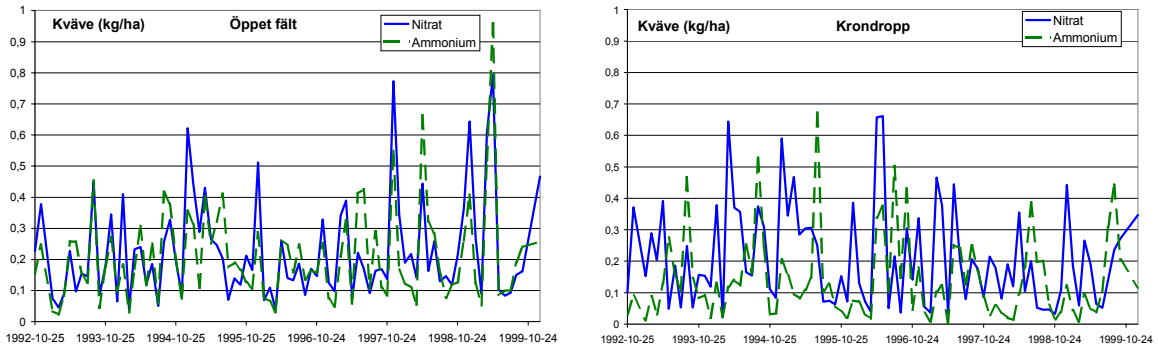
Figur 3. Uppmätta sulfathalter vid 3 mätstationer i Stockholms län. Provtagning med locksamlare inom ramen för Luftvårdsförbundets övervakning.



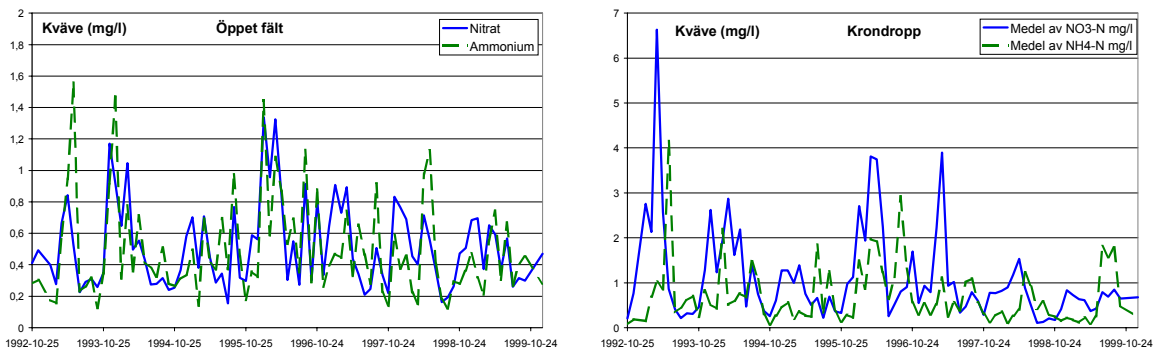
Figur 4. Uppmätt sulfatdeposition vid 3 mätstationer i Stockholms län. Provtagning med locksamlare inom ramen för Luftvårdsförbundets övervakning.

8. Bilaga 2

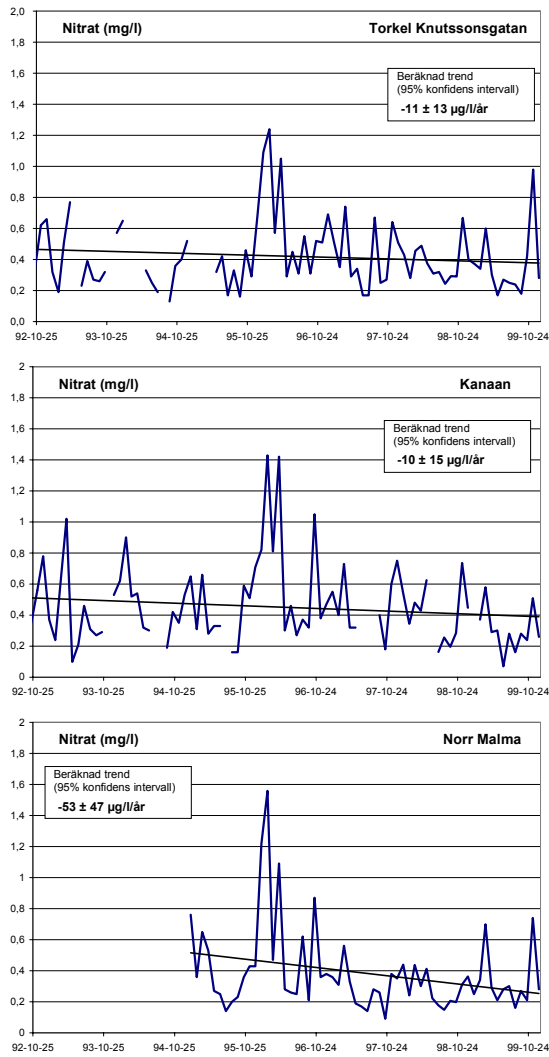
Månadsmedelvärden av kvävedeposition och halter i nederbörden.



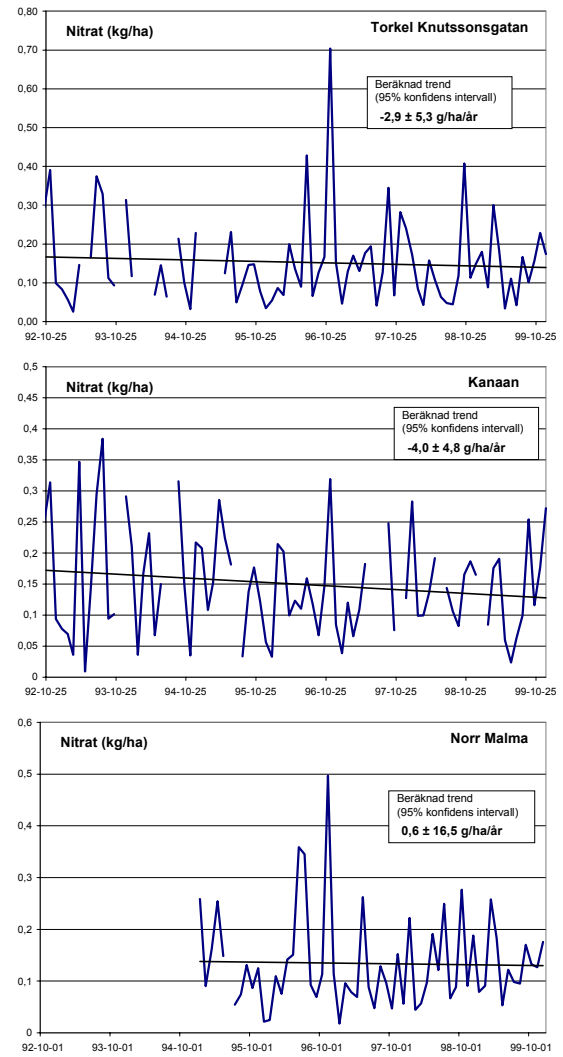
Figur 1. Månadsmedelvärden för alla mätstationer i länet av nedfallet av nitrat och ammonium i nederbörden på öppet fält respektive i kronddropp (oktober 1992 t om december 1999).



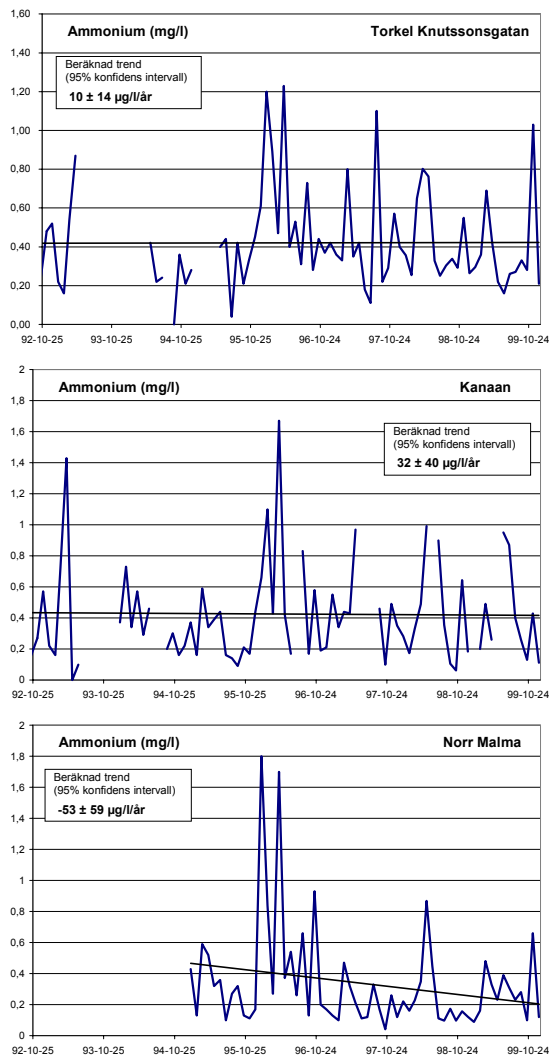
Figur 2. Månadsmedelvärden för alla mätstationer i länet av halterna av nitrat och ammonium i nederbörden på öppet fält respektive i kronddropp (oktober 1992 t om december 1999).



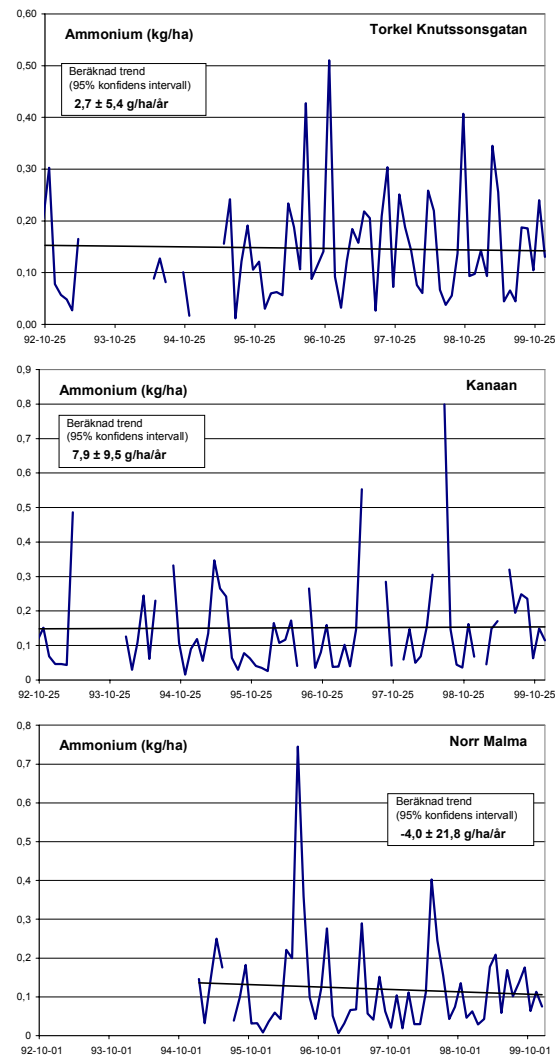
Figur 3. Uppmätta nitrathalter vid 3 mätstationer i Stockholms län. Provtagning med locksamlare inom ramen för Luftvårdsförbundets övervakning.



Figur 4. Uppmätt nitratdeposition vid 3 mätstationer i Stockholms län. Provtagning med locksamlare inom ramen för Luftvårdsförbundets övervakning.

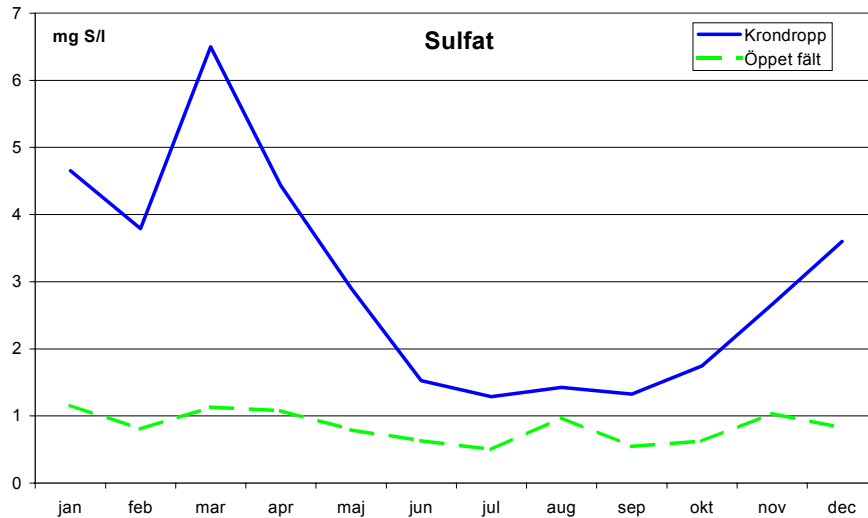


Figur 5. Uppmätta ammoniumhalter vid 3 mätstationer i Stockholms län. Provtagning med locksamlare inom ramen för Luftvårdsförbundets övervakning.

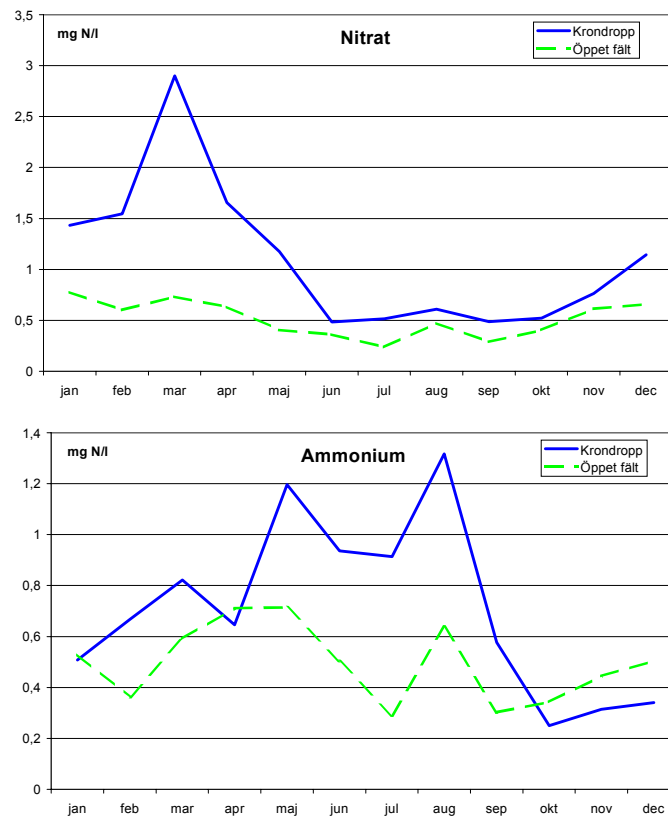


Figur 6. Uppmätt ammoniumdeposition vid 3 mätstationer i Stockholms län. Provtagning med locksamlare inom ramen för Luftvårdsförbundets övervakning.

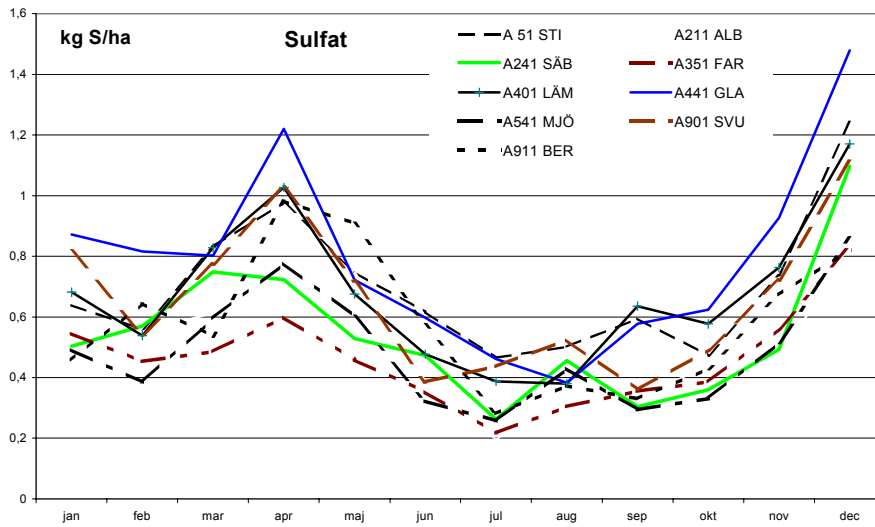
9. Bilaga 3



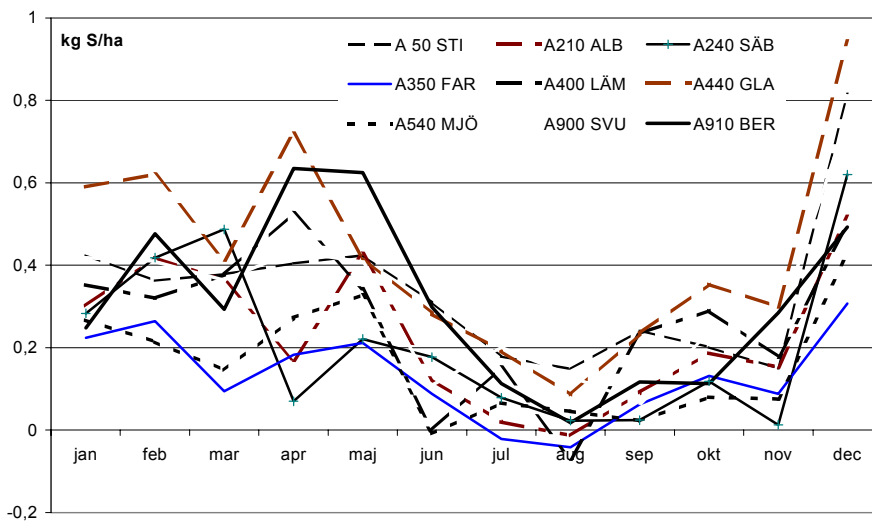
Figur 1. Genomsnittliga sulfathalter i nederbörden i krondropp respektive öppet fält (okt 1992 - 1999).



Figur 2. Genomsnittliga nitrat- och ammoniumhalter i nederbörden i krondropp respektive öppet fält (okt 1992- 1999).



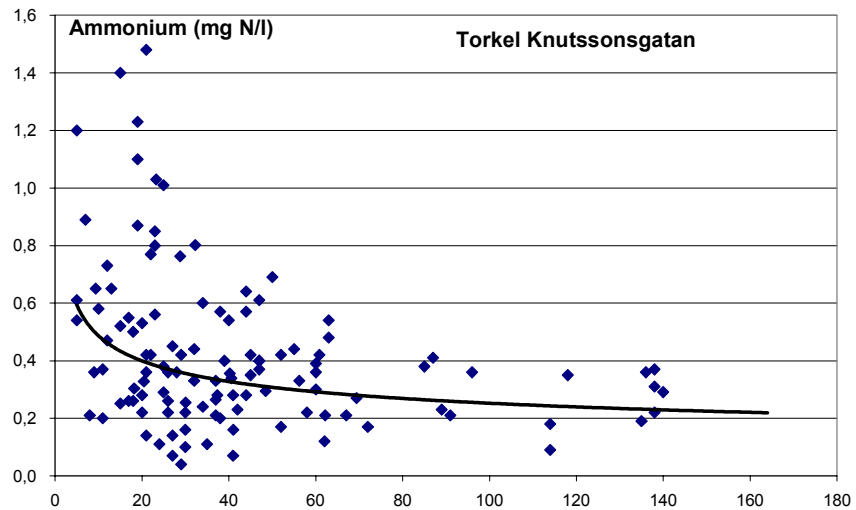
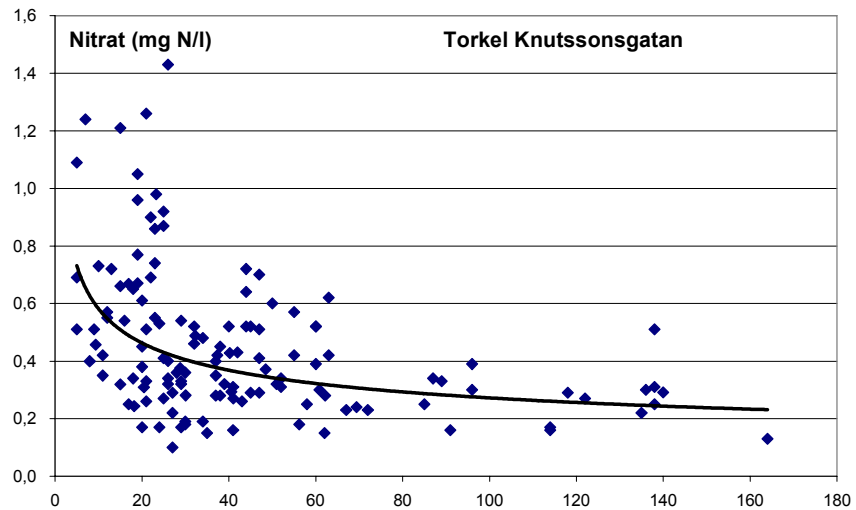
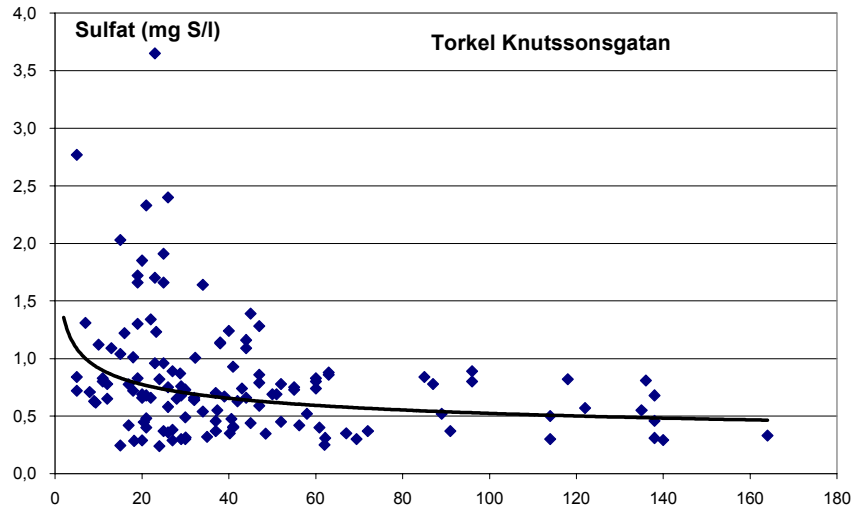
Figur 3. Genomsnittligt nedfall i kronddropp för alla månader under mätperioden (okt 1992 – 1999).



Figur 4. Genomsnittlig skillnad mellan uppmätt nedfall av sulfat på öppet fält och nedfallet i kronddropp för alla månader under mätperioden (okt 1992 – 1999).

10. Bilaga 4

Nederbördsmängdens betydelse för halterna av sulfat, nitrat och ammonium i nederbörden.



Länsstyrelsens A- och U-serie

A = Allmänt om Länsstyrelsen U = Underlagsmaterial

Tidigare utkomna under 2000 och 2001

2000

- U:01 100 miljoner kronor till utveckling, *avdelningen för regional utveckling*
- A:02 Verksamhetsplanen för år 2000, *länsledningen*
- U:03 Bottenfaunan i några skogsbäckar och kalkade sjöar i Stockholms län, *miljöövervakningsenheten*
- A:04 Årsredovisning, budgetåret 1999, *ekonomiavdelningen*
- U:05 Tillsyn över äldreomsorgen i sex av länets kommuner, *socialavdelningen*
- U:06 Socialavdelningen i rampljuset. Hur klarar vi kontakten med media? *socialavdelningen*
- U:07 6 år och 60 miljoner, utvecklingsmedel inom Stockholms län, *socialavdelningen*
- U:08 Tillsyn över enskild vårdverksamhet, som vänder sig till vuxna missbrukare, *socialavdelningen*
- U:09 Tillsyn över enskild vårdverksamhet för barn och unga, *socialavdelningen*
- U:10 Innerskärgårdens stränder, *miljö- och planeringsavdelningen*
- U:11 Test av båtbottnfärger på fritidsbåtar i Stockholms skärgård 1999, *enheten för hållbar samhällsutveckling*
- A:12 IT-plan 2000, *IT-enheten*
- U:13 Tillsyn över enskild vårdverksamhet, som vänder sig till personer med psykiska funktionshinder, *socialavdelningen*
- U:14 Länsstyrelsens referensregister över miljöundersökningar, *miljöövervakningsenheten*
- U:15 Bottenfauna i 12 mindre bäckar i Stockholms län 1998, *miljöövervakningsenheten*
- U:16 Konferensdokumentation 7 februari 2000, Jämställdhet i ledningssystem, *jämställdhetsenheten*
- U:17 Förorenade områden i Stockholms län, *mark- och vattenskydds-enheten*
- U:18 Karakterisering av skogsprovtytor i AB-D-och U-län, *miljöövervakningsenheten* (endast som pdf-fil)
- A:19 Delårsrapport 2000, 1 januari 2000-30 juni 2000, *ekonomiavdelningen*
- U:20 Samordnad övervakning av barrförluster i Stockholms län, *miljöövervakningsenheten*
- U:21 Om uthålligt fiske- och vattenbruk i skärgården, *enheten för hållbar samhällsutveckling*
- U:22 Kartläggning av handel i Stockholms län, *enheten för hållbar samhällsutveckling och planenheten*
- U:23 Transportsystemet i Stockholms län, Nulägesbeskrivning 1999, *miljö- och planeringsavdelningen*
- U:24 Emissioner av kväveoxider och svaveldioxid 1994-1998, Delrapport nr 1 av 3, *miljöövervakningsenheten* (endast som pdf-fil)
- U:25 Fysisk störning av stränder-prov av bedömningsgrunder för miljö kvalitet, *miljöövervakningsenheten*

2001

- A:01 Verksamhetsplanen för år 2001, *länsledningen*
- A:02 Årsredovisning budgetåret 2000, *ekonomiavdelningen*
- U:03 Inventering av vattenväxter, *miljöövervakningsenheten*
- U:04 Inventering av fladdermöss 2000, Regional fladdermusövervakning i Uppsala och Stockholms län, *miljöövervakningsenheten*
- U:05 Undervattensvegetation i grunda havsvikar, Stockholms läns norra skärgård, *miljöövervakningsenheten*
- U:06 Nedfall av svavel och kväve, Mätningar under 90-talet, *miljöövervakningsenheten*

Rapporten visar en sammanställning av resultat från mätningar i länet under 90-talet. Mätningarna gäller nedfall av svavel och kväve samt haltmätningar av svaveldioxid och kvävedioxid.

Mätprogrammen drivs av Stockholms och Uppsala läns luftvårdsförbund, Miljöförvaltningen i Stockholms län och Länsstyrelsen i Stockholms län.

Rapporten är den andra delen av tre och presenterar trender för nedfall och halter i de centrala delarna av länet och perifert i länet.