



Nedfall av kväve och svavel

Beräkningar för 1998



Delrapport 3 av 3

Nedfall av kväve och svavel

Beräkningar för 1998

Delrapport nr 3 av 3

Rapporten är sammanställd av Christer Johansson
SLB-analys, Miljöförvaltningen, Box 38 024, 100 64 Stockholm

Förord

Den här rapporten är den sista av tre delrapporter om nedfallet av försurande och övergödande ämnen i Stockholms län under 90-talet. Rapporterna är en uppföljning av de nedfallsberäkningar och mätningar som Länsstyrelsen lät göra för året 1994/95¹⁾. Nedfallet av svavel och kväve har beräknats för år 1998 baserat på emissionsdatabasen som har utvecklats inom Stockholms och Uppsala läns Luftvårdsförbund och med användande av en regional spridningsmodell, MATCH, utvecklad av SMHI. Resultat från de miljöövervakningsprogram som drivs av Länsstyrelsen och Luftvårdsförbundet har använts för att verifiera beräkningarna. I den första delrapporten analyseras skillnader i emissionsdata för de olika beräkningsåren. I den andra delrapporten analyseras mätningarna av deposition och lufthalter med avseende på trender under 1990-talet.

Denna rapport är framtagen av Christer Johansson vid Stockholms Luft- och Bulleranalys på uppdrag av Länsstyrelsen och är ett led i den regionala miljöövervakningen i Stockholms län. Per-Åke Johansson och Boel Lövenheim vid Stockholms Luft- och Bulleranalys har bidragit med framställningen av kartor och beräkningarna av nedfallet på olika marktyper. Söderenergi AB och Vägverket Region Stockholm har stött arbetet ekonomiskt. Lennart Ljungqvist och Anna Nordin vid Länsstyrelsen har bidragit med synpunkter på rapporterna.

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 april 2002



Lars Nyberg
Miljö- och planeringsdirektör
Länsstyrelsen Stockholms län

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

Innehållsförteckning

1. SAMMANFATTNING	1
2. SYFTE MED DELRAPPORTEN	3
3. BERÄKNINGSFÖRUTSÄTTNINGAR	4
3.1 Emissionsdata.....	4
3.1.1 Utsläpp av kväveoxider.....	4
3.1.2 Utsläpp av ammoniak.....	4
3.1.3 Utsläpp av svavel.....	6
3.2 Sektorer i beräkningarna	6
3.3 Beräkningsmodeller	7
3.3.1 Spridningsmodell och meteorologiska indata.....	7
3.3.2 Bidrag från långdistanstransport och övriga Sverige	7
3.4 Nederbördens storlek och fördelning och inverkan på nedfallet.....	9
3.4.1 Nederbörden under 1998 var ungefär densamma som 1994.....	11
4. DET TOTALA NEDFALLET 1994 OCH 1998	13
4.1 Totala kvävenedfallet 1994 och 1998	13
4.2 Torr och våtdeposition samt jämförelse med nedfallsmätningar	15
4.3 Halter av kvävedioxid	16
4.4 Det totala svavelnedfallet 1994 och 1998	18
4.5 Jämförelse med krondroppsmätningarna.....	19
4.6 Halter av svaveldioxid.....	20
4.7 Torrdeposition på olika marktyper	20
4.8 De lokala källornas bidrag till nedfallet	21
4.9 Endast en liten del av utsläppen faller ner i länet.....	23
4.10 Olika sektorers bidrag till nedfallet 1994 till 1998.....	24
4.10.1 Kväve	24
4.10.2 Svavel.....	26
5. OSÄKERHETER OCH KUNSKAPSLUCKOR I NEDFALLSÖVERVAKNINGEN ...	27
5.1 Bra koll på kväveoxid utsläppen men sämre med ammoniak	27
5.2 Bra koll på halterna men sämre med nedfallet	27
5.3 Nationella beräkningar kan utnyttjas bättre om nationella utsläppsdata förbättras.....	28
REFERENSER	29
BILAGA 1: MATCH-modellen	31
BILAGA 2: Kartor	39

1. Sammanfattning

Det nationella miljökvalitetsmålet ”Bara naturlig försurning” innebär bland annat att nedfallet av försurande ämnen inte överskrider den kritiska belastningsgränsen för mark och vatten. I Miljövårdsprogram 2000 för Stockholms län har gränserna fyra kilo kväve och 2,5 kilo svavel per hektar och år antagits som regionala mål. Enligt beräkningarna för 1998 överskred nedfallet av svavel och kväve respektive belastningsgräns i hela länet.

Beräkningen för 1998 ger som resultat ett totalt nedfall av kväve i länet i intervallet fem till nio kilo kväve per hektar och år. Motsvarande beräkning för 1994 gav ett totalt nedfall i intervallet fem till 12 kg N/ha/år. Den minskning som skett av det totala nedfallet berör främst de centrala, tätbefolkade delarna av länet, och i mindre grad de perifera. Minskningen i nedfallet ligger i linje med att utsläppen av kväveoxider i länet har sjunkit med cirka 30 procent mellan åren 1994 och 1998. De minskade utsläppen från vägtrafiken är den största orsaken till att det totala utsläppen av NO_x sjunkit i länet. I den första delrapporten visades att de minskade utsläppen av kväveoxider stämmer relativt väl överens med den minskning i halterna av kväveoxider som uppmätts längs trafikerade gator i Stockholms innerstad.

Nedfallet av kväve består dels av kväve som släppts ut i form av kväveoxider och dels av kväve som släppts ut i form av ammoniak. De totala kväveutsläppen har minskat i länet, men inom den totala minskning inryms en ökning av vägtrafikens utsläpp av ammoniak. Men vägtrafikens ammoniakutsläpp utgör dock mindre än tre procent av de totala kväveutsläppen i länet. Den största källan till ammoniak är jordbrukssektorn, vars utsläpp dock är mycket osäkra och huruvida utsläppen i länet förändrats under 90-talet är svårt att bedöma.

Det alltför höga nedfallet av kväve härrör till största delen från källor utanför länet, medan länet exporterar större delen av sina utsläpp till andra regioner. Endast cirka tio procent av de egna utsläppen inom länet faller ner innanför länets gränser. När det gäller vägtrafikens utsläpp av kväveoxider deponeras cirka tio procent inom länet. För ammoniak är motsvarande siffra drygt 30 procent. Av kväveoxidutsläppen från energianläggningar beräknas mindre än 0,2 procent deponeras inom länet. Av det nedfall som härstammar från källor i länet kommer 88 procent av kväveoxidnedfallet från vägtrafikens utsläpp som också står för 23 procent av ammoniaknedfallet. Resten av ammoniaknedfallet kommer från jordbruk och djurhållning. Av det totala kvävenedfallet på grund av lokala utsläpp står ammoniak för lite mer än 40 procent, detta trots att endast 12 procent av totala kväveutsläppen utgörs av ammoniak.

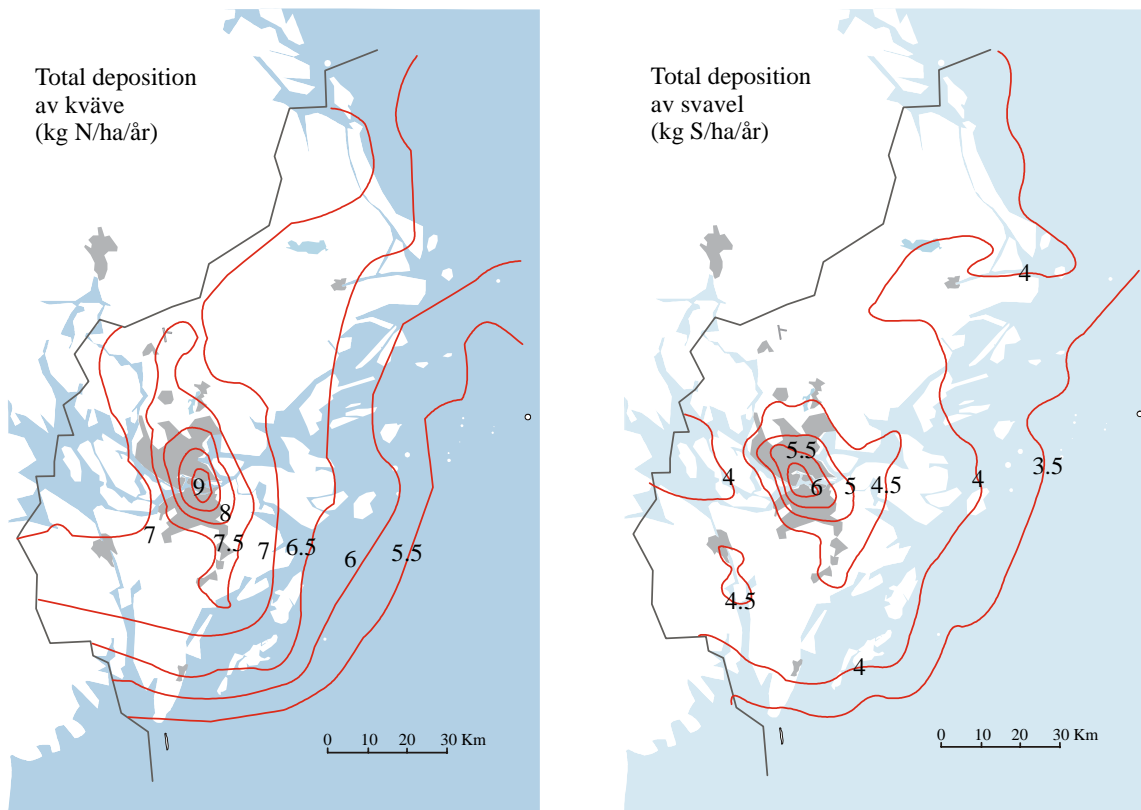
Det totala nedfallet av kväve på mark och vatten är cirka 9 100 ton kväve per år, om ytan beräknas inklusive Saltsjön och den del av Östersjön som ligger innanför länsgränsen. Det är nästan lika mycket som de totala kväveutsläppen i länet på 10 600 ton N/år. Drygt en tredjedel av nedfallet sker i form av reducerat kväve, som torrdeponerad ammoniak och ammonium i nederbörden, och resten som oxiderat kväve i form av främst torrdeponerad kvävedioxid och som nitrat i nederbörden. Ungefär 80 procent av nedfallet sker som våtdeposition med nederbörden och 20 procent av nedfallet sker som torrdeposition. Av det torrdeponerade kvävet hamnar cirka 50 procent på skogsmark och cirka 30 procent på havs- och vattenytor och cirka tio procent på öppen mark.

Enligt beräkningen för 1998 varierade det totala svavelnedfallet i länet mellan tre och sex kilo svavel per hektar och år. Vid de motsvarande beräkningarna för år 1994 varierade nedfallet mellan fem och nio kg S/ha/år. En avsevärd minskning av nedfallet har skett enligt dessa

beräkningar. Resultaten från mätningarna med krondroppsmetodiken pekar på en minskning av svavelnedfallet med cirka åtta procent per år som medelvärde vid mätstationerna i länet (se delrapport 2) under samma period. Minskningen är störst vid de mätstationer som ligger närmast lokala källor. Motsvarande minskning syns inte i resultaten från nedfallsmätningarna på öppet fält.

Under perioden 1994 till 1998 har de totala svavelutsläppen i länet minskat främst beroende på minskade utsläpp från energisektorn. Nedfallsberäkningen visar dock att energisektorns minskade utsläpp inte påverkar nedfallet i länet. Av energisektorns utsläpp av svavel hamnar endast cirka 0.3 procent inom länets gränser, vilket är så litet att det inte påverkar trenden i nedfallet. Av utsläppen från sjöfarten och den individuella uppvärmningen hamnar omkring tio procent innanför länets gränser; dessa sektorer ger det största bidraget till depositionen på grund av lokala källor i länet. Utsläppen från dessa sektorer har dock inte förändrats nämnvärt under perioden. Av de totala svavelutsläppen i länet beräknas endast cirka sex procent falla ner inom länet, resten exporteras till andra regioner. Vägtrafiken står för cirka tre procent av de totala svavelutsläppen i länet, men dessa utsläpp står ändå för cirka 12 procent av totala svavelnedfallet orsakat av lokala källor i länet. Sjöfarten och den individuella uppvärmningen står för mer än 80 procent av nedfallet orsakat av lokala källor.

Det totala svavelnedfallet på mark och vatten i länet beräknas vara cirka 5 700 ton svavel per år 1998. Detta är nästan tre gånger så mycket som länets totala utsläpp av svavel på 2 100 ton. Huvuddelen av nedfallet sker med nederbörden som våtdeposition. Av det svavel som torrdeponeras i länet fördelas cirka 40 procent på skogsmark och cirka 40 procent på havsområden och vattenytor samt cirka tio procent på öppen mark. Den höga andelen som faller ner över havsområden beror till stor del på utsläppen från sjöfarten.



Totalt nedfall av kväve och svavel i Stockholms län 1998

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 svavel (S) och kväve (N)
- fördelningen mellan torr och våt deposition
- länets egen andel
- vissa sektorers andel.

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

Uppdraget redovisas i tre delrapporter:

- Delrapport 1. Emissioner av kväveoxider och svaveldioxid 1994 till och med 1998.
- Delrapport 2: Sammanställningar och trendanalyser av mätningar av deposition under 90-talet.
- 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 ska beräkningarna genomföras på nytt och i detta fall användes luftvårdsförbundets emissionsdatabas för 1998. Depositionsberäkningarna har genomförts med en lokal version av MATCH modellen; samma modell som används för att beräkna depositionen av svavel och kväve över hela landet ("Sverige-modellen").

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.

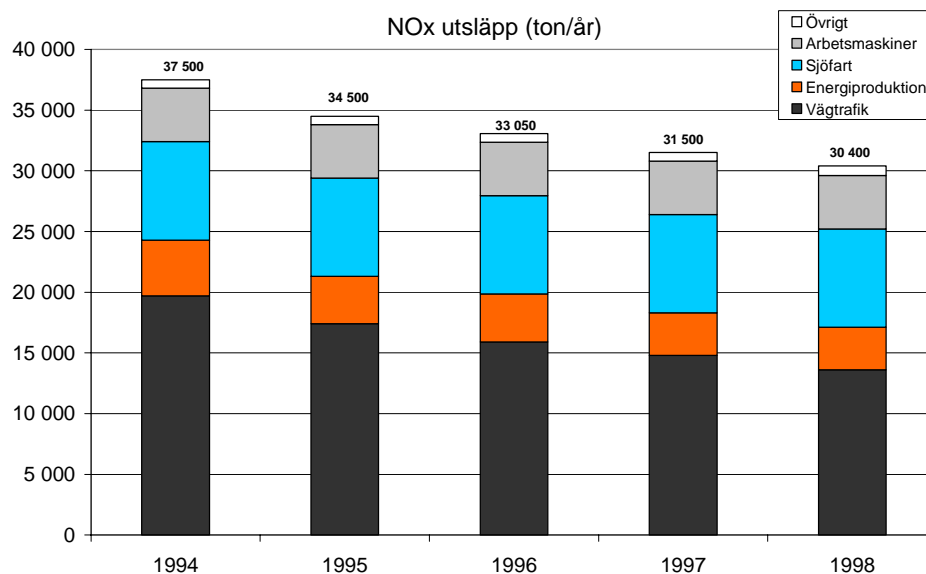
3. Beräkningsförutsättningar

3.1 Emissionsdata

För beräkningarna används en kompletterad version av Luftvårdsförbundets i Stockholms och Uppsala län emissionsdatabas för 1998. En detaljerad beskrivning av utsläppen och utsläppstrenderna för kväve och svavel ges dels delrapport 1 ([Pettersson och Johansson, 2000](#)), dels i [Pettersson mfl., \(1999\)](#).

3.1.1 Utsläpp av kväveoxider

Figur 1 visar den korrigerade utsläppstrenden för utsläppen av kväveoxider (NO_x) i länet. Det är främst vägtrafikens utsläpp som medfört att utsläppen har sjunkit från 37 500 ton/år 1994 till 30 400 ton/år 1998 (utsläppen räknas som kvävedioxid, NO₂). År 1994 stod vägtrafiken för 53 procent av de totala NO_x-utsläppen medan motsvarande värde för 1998 är 42 procent. Energiproduktionens andel av utsläppen har varit ungefär densamma under hela perioden, drygt tio procent. Utsläppen från sjöfarten och arbetsmaskinerna har enligt uppgifterna i emissionsdatabasen varit desamma under perioden (8 100 respektive 4 400 ton/år), vilket medför att deras andel av totalutsläppen ökat något.



Figur 1. Utsläpp av kväveoxider i Stockholms län (Pettersson och Johansson, 2000).

3.1.2 Utsläpp av ammoniak

Utsläppen av ammoniak (NH₃) bidrar endast väldigt lite till de totala kväveutsläppen jämfört med kväveoxidutsläppen, men det kan ändå vara på sin plats att nämna de viktigaste källorna. I [Pettersson m fl. \(1999\)](#) beskrivs hur utsläppen av ammoniak har lagts in i databasen. Djurhållningen är i EDB inlagd antingen som areakällor på enskilda gårdar eller i vissa kommuner (nio stycken), som en enda areakälla mitt i kommunen, det vill säga man har inte specificerat vilka gårdar som ger upphov till utsläppen. I emissionsdatabasen finns uppgifter om 470 enskilda gårdar i länet. Totalt släppte alla gårdar i länet ut 720 ton ammoniak per år 1998, vilket motsvarar drygt 40 procent av de totala ammoniakutsläppen. Siffran är mycket osäker och bygger på uppskattningar av utsläppen per djurenhet och år.

Förutom djurhållningen i länet så bidrar även användning av handelsgödsel till ökade utsläpp av ammoniak – när marken gödslats avgår en del av kvävet till luften i form av ammoniak. Enligt uppgifter från Jordbruksstatistisk årsbok (1995) ger handelsgödselanvändningen upphov till cirka 200 ton/år. Detta utsläpp ingår dock inte i beräkningarna.

Emissionerna av ammoniak från vägtrafiken har lagts in i enlighet med EEA's (European Topic Center on Air emissions) beräkningsmodell ([COPERT version 3; Ntziachristos, 1999](#)). Utsläppen via avgaserna från personbilar utan katalysator är två milligram per fordonskilometer medan utsläppen från personbilar med katalysator är väsentligt högre; i COPERT anges 70 mg/fkm. För dieselfordon ligger emissionsfaktorerna mellan ett och tre mg/fkm. Om man tar hänsyn till trafikarbetet för de olika fordonstyperna så domineras vägtrafikens utsläpp av ammoniak av utsläppen från personbilar med katalysator; dessa står för mer än 90 procent av vägtrafikens utsläpp. Totalt för hela länet blir utsläppen från vägtrafiken cirka 380 ton per år eller drygt 20 procent av de totala utsläppen.

Tabell 1. Utsläpp av ammoniak i Stockholms län 1998.

Sektor	Ton NH ₃ /år
Vägtrafik	380 (23 %)
Djurhållning	720 (43 %)
Handelsgödsel	200 ¹⁾ (12 %)
Individuell uppvärmning och panncentraler	350 (21 %)
Energianläggningar	30 (2 %)
Totalt för länet	1 680

¹⁾ Ingår ej i beräkningarna av deposition.

När det gäller energisektorn sker utsläpp av ammoniak vid förbränning av olika bränslen och vid rökgasrening med urea. Med en emissionsfaktor på 20 mg NH₃/MJ erhålls ett totalt utsläpp från förbränning av eldningsolja i mindre panncentraler och villapannor på 350 ton/år. I emissionsdatabasen finns några större energianläggningar inlagda med ett totalt utsläpp av drygt 20 ton/år.

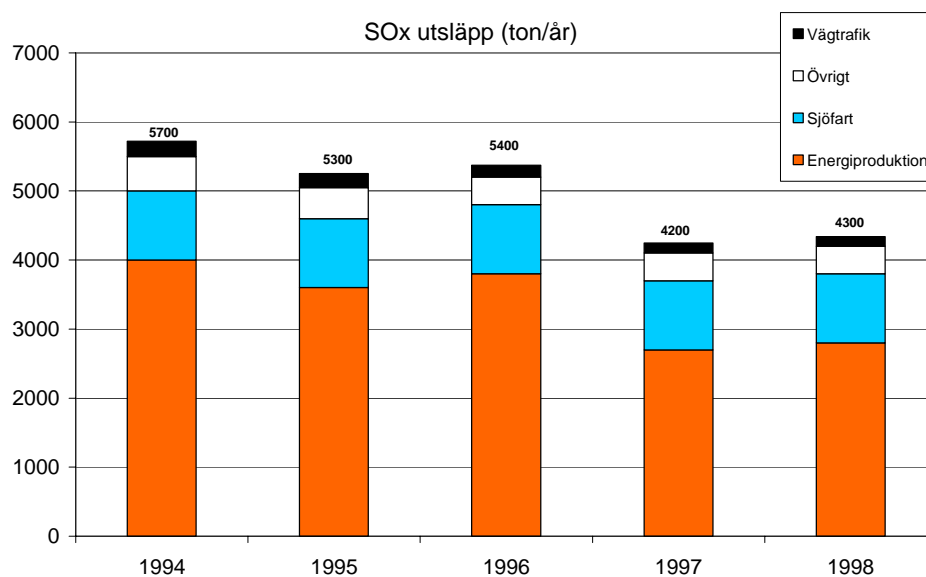
Det är svårt att uttala sig om någon trend i ammoniakutsläppen under perioden 1994 till 1998. När det gäller vägtrafiken har andelen fordon med katalysator ökat markant under senare år vilket lett till att utsläppen ökat. År 1994 var utsläppen från vägtrafiken i länet 250 ton per år; drygt 30 procent lägre jämfört med 1998. Men eftersom ammoniakutsläppen är så små i förhållande till NO_x-utsläppen, har de totala kväveutsläppen minskat under perioden. Ammoniak står endast för 12 procent av de totala kväveutsläppen. Å andra sidan visar det sig i beräkningarna av depositionen som presenteras längre fram i rapporten att när det gäller depositionen är ammoniak mer betydelsefull än man skulle tro om man enbart tittar på emissionerna.

En viktig skillnad mellan beräkningarna av det totala nedfallet som gjordes 1994 och de som görs nu för 1998, är att för 1994 var de lokala utsläppen av ammoniak mycket dåligt kvantifierade och inte heller fördelade geografiskt på enskilda gårdar. Men tyvärr är ammoniakutsläppen osäkra även i 1998 års emissionsdatabas som ligger till grund för dessa beräkningar.

3.1.3 Utsläpp av svavel

Av Figur 2 framgår utvecklingen av svavelutsläppen¹ i länet under perioden 1994 till och med 1998. Utsläppen har minskat något från 5 500 ton SO₂/år 1994 till 4 200 ton SO₂/år 1998, detta beroende på minskade utsläpp från energiproduktionen. År 1994 stod energiproduktionen för 73 procent av de totala utsläppen och 1998 var siffran 67 procent.

Sjöfartens utsläpp har varit ungefär desamma under perioden och 1998 utgjorde sjöfarten 24 procent av de totala utsläppen. Vägtrafikens utsläpp av svavel var endast 140 ton/år 1998, vilket motsvarar tre procent av de totala utsläppen. Utsläppen från vägtrafiken har sjunkit under perioden tack vare minskad svavelhalt i bränslena och 1994 var utsläppen cirka 220 ton/år. Trots de jämförelsevis små utsläppen från vägtrafiken är de viktigare för den lokala depositionen av svavel än energiproduktionen. Mer om detta längre fram i rapporten.



Figur 2. Utsläpp av svaveloxider i Stockholms län (Pettersson och Johansson, 2000).

3.2 Sektorer i beräkningarna

Tre separata beräkningar har genomförts med samma meteorologiska data men med olika utsläppsdata som grund:

1. Totala utsläppen (exklusive arbetsmaskiner).
2. Vägtrafikens utsläpp.
3. Energisektorn (individuell uppvärmning ingår ej).
4. Övriga sektorer.

Vi har valt att inte ta med arbetsmaskinernas utsläpp i beräkningarna eftersom utsläppen inte specificerats geografiskt och dessutom är ganska osäkra. I energisektorn ingår endast punktkällor såsom energianläggningar, panncentraler och några industriella energianläggningar.

¹ Utsläppen sker till största delen (90 %) i form av svaveldioxid (SO₂) och endast till liten del som sulfat. I texten anges ibland SO_x som avser summan av SO₂ och sulfatutsläppen. Totala utsläppen av svavel räknas om som om allt vore SO₂.

Däremot ingår inte den individuella uppvärmningen. Med individuell uppvärmning avses uppvärmning av enskilda småhus och mindre panncentraler där fjärrvärmeanslutning saknas. Posten är uppdelad på olje- och vedeldning. Utsläppen för oljeeldning respektive vedeldning är beskrivna genom två gridkällor (ekvivalent med areakällor). Utsläppen från oljeeldning är fördelad på hög- och låghusbebyggelse. Utsläppen från vedeldning är endast fördelad på låghusbebyggelse. Utsläppen bygger på levererad mängd olja. Till största delen utgörs den av utsläpp från enskilda hushåll, men vissa mindre panncentraler kan också ingå (se vidare i [Pettersson mfl., 1999](#)).

Bidragen till nedfallet från övriga sektorer har beräknats som skillnaden mellan beräkningarna med alla utsläpp och summan av vägtrafiken och energisektorns utsläppsbidrag.

3.3 Beräkningsmodeller

3.3.1 Spridningsmodell och meteorologiska indata

Beräkningarna av spridningen och depositionen görs med den regionala spridningsmodellen MATCH, i den så kallade EMEP-versionen (se Bilaga 1). Modellen beräknar spridning, kemisk transformering och deposition av svavel samt oxiderat och reducerat kväve som svar på lokala emissioner.

Beräkningsområdet omfattar samma område som i tidigare utredning (det vill säga *Stockholms län*). Den horisontella upplösningen är 5 x 5 km och den vertikala upplösningen sex nivåer enligt nedan:

Nivå	höjd (m)	Beräkningsskiktets tjocklek (m)
1	35	70
2	155	170
3	395	310
4	790	480
5	1360	660
6	2105	830

I tidigare beräkning var den horisontella upplösningen 4 x 4 km och den vertikala indelningen var något annorlunda (se [Johansson, 1997](#)).

De meteorologiska data som använts har bearbetats av SMHI, anpassade för beräkningsområdet och beräkningsmodellerna. I detta fall används data från 1998; ett års data avseende vindfält, nederbörd millimeter var tredje timme. I beräkningarna för 1994 gjordes en statistisk bearbetning av nederbörds mätningar i länet för att erhålla den geografiska fördelningen av nederbörden. Den momentana nederbördsintensiteten erhöles från mätningar med timsupplösning på ett fåtal platser.

3.3.2 Bidrag från långdistanstransport och övriga Sverige

Modellberäkningarna som genomförts tar enbart hänsyn till utsläppen från källor som ligger innanför länsgränsen. Två olika angreppssätt har använts för att beräkna nedfallet i länet på grund av utsläppen utanför länets gräns. Huvudalternativet var att använda SMHI's beräkningar med MATCH Sverige på nationell skala, med en upplösning på 20 x 20 km. Dessa beräkningar presenteras på SMHI's hemsida (www.smhi.se) och de är uppdelade på Sveriges bidrag, bidrag från källor utanför Sverige samt beräknat totalt nedfall. För att beräkna det

totala nedfallet utnyttjas mätningar av halter och nedfall, främst data från den nationella miljöövervakningen samt EMEP.

Tyvär bygger Sverigeberäkningarna på helt andra utsläppssiffror än de som använts i beräkningarna för Stockholms län i denna utredning. Emissionsdata för Sverigemodellen bygger inte på någon detaljerad inventering, vare sig av emissionernas storlek eller skorstenshöjder, utan ganska grova uppskattningar. Syftet med Sverigemodellens beräkningar är att få en rimlig uppskattning av Sveriges bidrag sett på nationell skala. I Sverigemodellen har Sveriges totala utsläpp anpassats till att stämma överens med officiell statistik från SCB och Naturvårdsverket.

I Tabell 2 redovisas en jämförelse mellan de utsläpp som använts i Sverigeberäkningarna och de utsläpp som gäller enligt luftvårdsförbundets emissionsdatabas (det vill säga de siffror som alltså legat till grund för beräkningarna av bidragen till nedfallet från länets källor i denna utredning). När det gäller svavelutsläppen var de totala utsläppen mer än dubbelt så stora vid beräkningarna med Sverigemodellen (Tabell 2). Både vägtrafikens och sjöfartens utsläpp var nästan tre gånger högre vid Sverigeberäkningarna.

Tabell 2. Jämförelse av svavelutsläppen i Stockholms län 1998 som använts vid beräkningarna med Sverigemodellen respektive beräkningarna för Stockholms län som presenteras i denna rapport.

Emission ton SO ₂ per år	SMHI	EDB-98	EDB-98/SMHI
Trafik	400	140 ¹⁾	35 %
Sjöfart	2 300	820 ²⁾	36 %
Fasta källor	7 800	3 200	41 %
Summa	10 500	4 160	40 %

¹⁾ Arbetsmaskinernas utsläpp ingår inte.

²⁾ Utsläpp från arbetsfartyg ingår inte.

När det gäller utsläppen av NO_x är skillnaderna inte riktigt lika stora (Tabell 3). För vägtrafik var utsläppen i Sverigeberäkningarna ungefär dubbelt så stora jämfört med beräkningarna för Stockholms län som presenteras i denna rapport. Delvis kan skillnaden förklaras av att utsläppen från arbetsmaskiner inte ingår i spridningsberäkningarna för länet på grund av osäkerheter både i absoluta utsläpp och den geografiska fördelningen av dessa utsläpp. Enligt länets emissionsdatabas för 1998 släpps cirka 4 400 ton/år ut från arbetsmaskiner, men denna siffra är betydligt mindre än den siffra som skulle erhållas om man skalar ner de nationella utsläppen till länet (det vill säga utsläppen från arbetsmaskiner är troligen betydligt högre i Sverigeberäkningarna). Sjöfartens utsläpp stämmer betydligt bättre överens (Tabell 3). Däremot bygger Sverigeberäkningarna på för höga utsläpp när det gäller fasta källor (energianläggningar och större panncentraler). Skillnaden är ungefär en faktor 3.

Tabell 3. Jämförelse av kväveoxidutsläppen i Stockholms län 1998 som använts vid beräkningarna med Sverigemodellen respektive beräkningarna för Stockholms län som presenteras i denna rapport.

Emission ton NO ₂ per år	SMHI	EDB-98	EDB-98/SMHI
Trafik	27 400	13 400 ¹⁾	50 %
Sjöfart	7 300	7 000 ²⁾	96 %
Fasta källor	12 900	4 100	32 %
Summa	47 600	24 500	51 %

¹⁾ Arbetsmaskiner släpper ut 4 400 ton/år enligt EDB-98, men dessa ingår inte i nedfallsberäkningarna för länet.

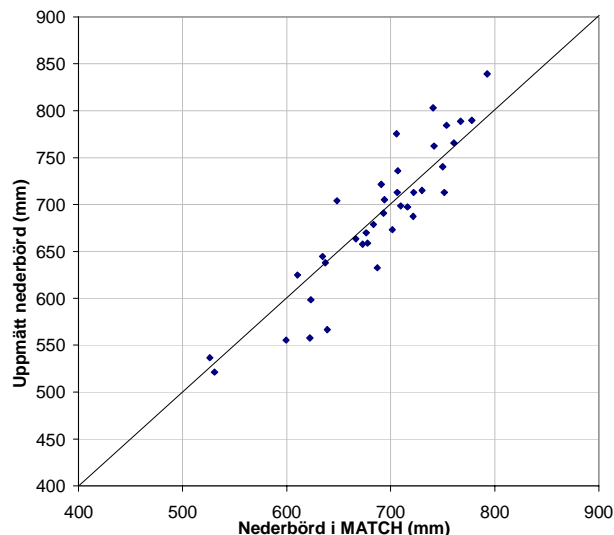
²⁾ Arbetsfartyg och fritidsbåtar släpper ut ca 1 500 ton/år, men dessa ingår inte i nedfallsberäkningarna för länet.

Det andra alternativet att beräkna bidragen till nedfallet från utsläpp utanför länsgränsen bygger på de lokala mätningarna i länet. Den totala våtdepositionen beräknas genom att multiplicera den totala nederbörden för året med de **uppmätta** nederbördshalterna. Nederbörden har erhållits från ett nederbördsfält för Stockholms län som SMHI tagit fram utifrån en kartläggning av nederbörden i Sverige. Det är samma nederbördsfält som används i beräkningarna av de lokala utsläppens bidrag till nedfallet. Nederbördshalterna av nitrat, ammonium och sulfat har erhållits från mätningar med lockförsedd insamlare i Stockholm. Nederbördsviktade medelvärden för hela året 1998 har använts.

Den totala torrdepositionen beräknas i detta fall genom att multiplicera en de totala halterna (NO₂, SO₂, NH₃) med antagna depositionshastigheter. Lufthalterna erhålls från beräkningarna med MATCH Stockholm för de lokala källornas bidrag plus tillägg för bakgrundshalterna. Depositionshastigheterna antas i detta fall vara konstanta för hela länet och hela året, det vill säga de tar inte hänsyn till markanvändningens variation. För SO₂ och NH₃ användes 0.8 cm/s och för NO₂ 0.2 cm/s.

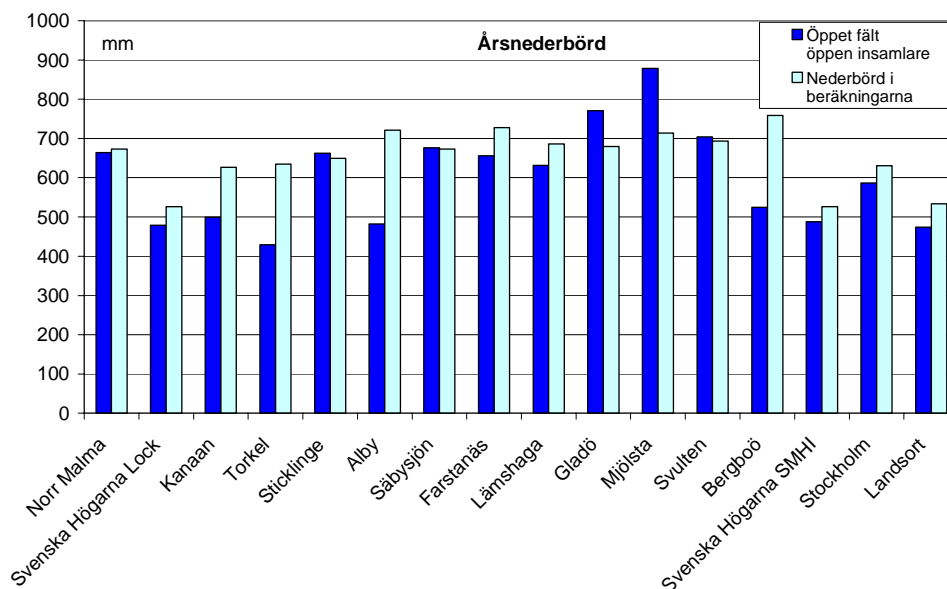
3.4 Nederbördens storlek och fördelning och inverkan på nedfallet

I Figur 3 presenteras en jämförelse mellan den kartläggning av nederbörden som används i beräkningarna med MATCH och den som mätts upp vid SMHI's nederbördsstationer. Uppmätta (rapporterade) värden har justerats upp med tio procent för att ta hänsyn till avdunsnings- och insamlingsförluster. Överensstämmelsen är som synes mycket god.



Figur 3. Jämförelse mellan uppmätt nederbörd på 37 platser i Stockholms län som ligger till grund för nedfallsberäkningarna. Uppmätta värden kommer från SMHI's nederbördsstationer. Samtliga uppmätta värden har korrigerats för insamlingsförluster och avdunstning genom multiplikation med 1.1.

För fullständighetens skull jämförs även uppmätt nederbörd vid krondroppsstationerna med nederbörden som ligger till grund för depositionsberäkningarna i Figur 4. I detta fall har inte värdena korrigerats för eventuella förluster. I genomsnitt är de beräknade värdena 12 procent högre än de uppmätta. Om avdunstningsförlusterna är tio procent så blir avvikelserna endast två procent.

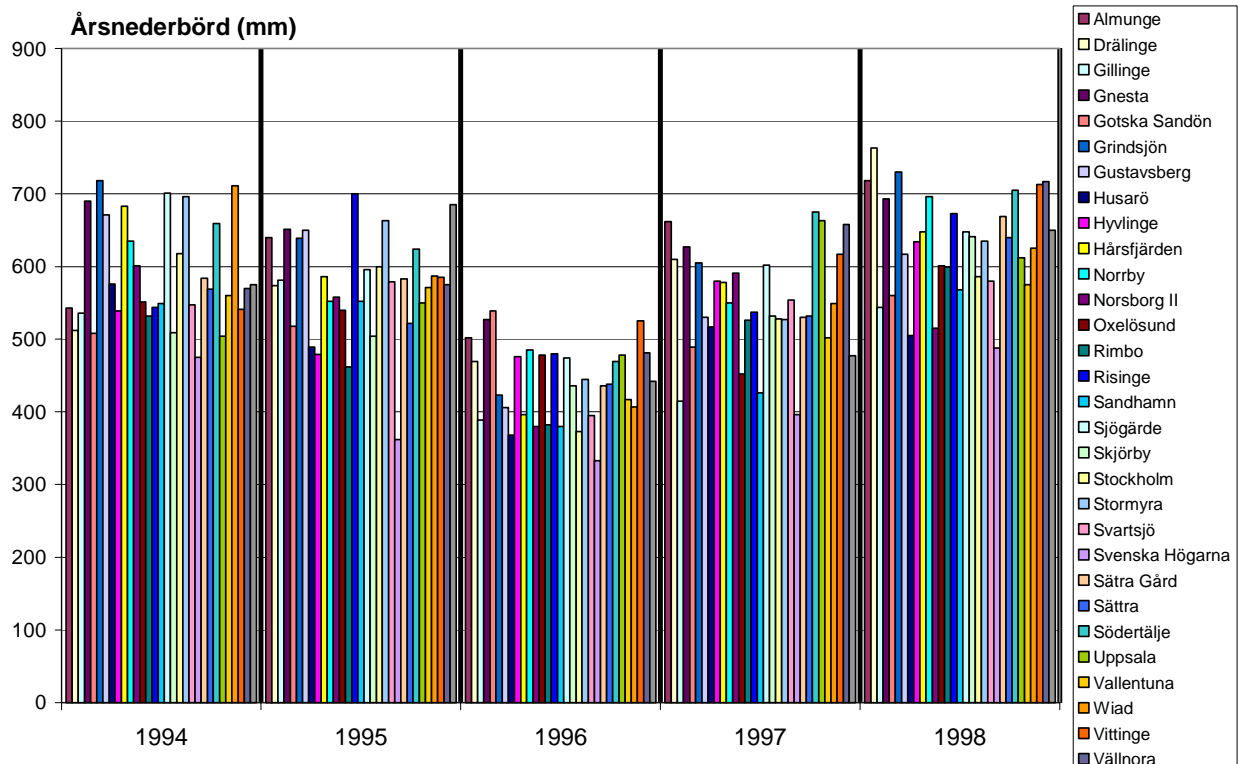


Figur 4. Jämförelse mellan årlig nederbörd som använts i MATCH beräkningarna och den uppmätta nederbörden på öppet fält vid krondroppsstationerna.

3.4.1 Nederbörden under 1998 var ungefär densamma som 1994

I Figur 5 presenteras uppmätt årsnederbörd för 1994 till och med 1998 på 31 platser i Stockholms län med omnejd. Data är hämtade från SMHI's nederbördsinsamling. (Värdena har inte korrigerats för dålig insamlingseffektivitet eller avdunstningsförluster).

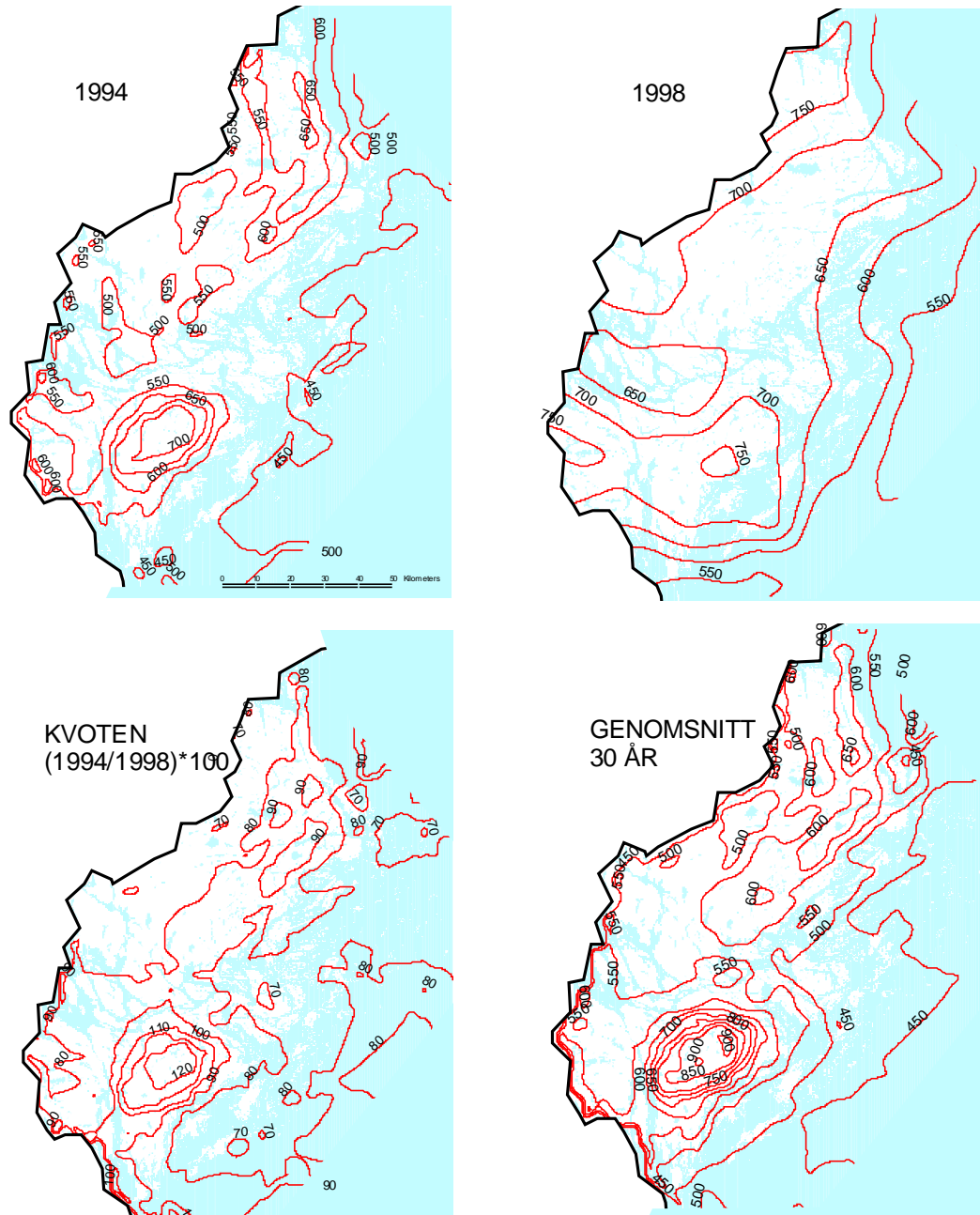
Medelvärdet för 1994 för alla dessa mätstationer var 587 mm och för 1998 var medelvärdet 631 mm. Men skillnaden är inte signifikant (95-procentigt konfidensintervall). Däremot var 1996 ett nederbördsfattigt år; medelvärdet för de 31 stationerna är 440 mm, vilket är signifikant lägre än de andra åren. Detta år bröts också en stadigt sjunkande trend i de uppmätta halterna av svavel och kväve i nederbörden; halterna var väsentligt högre än man skulle förväntat sig om nederbördsmängden varit mer normal (se [Johansson, 2001](#); delrapport nr 2).



Figur 5. Årsnederbörd 1994 – 1998 på 31 platser i Stockholms län med omnejd. (Okorrigerade data från SMHI's nederbördsmätningar).

Figur 6 visar den geografiska variationen av nederbörden. Kartan avseende 1994 är hämtad från den tidigare utredningen och nederbördsfördelningen för 1998 bygger på Match modellen och analysen av uppmätt nederbörd som beskrivits tidigare. Genomsnittet för en 30 års period bygger på en analys av [Modén och Nyberg \(1965\)](#). I stort sett samma geografiska nederbörds-mönster kan urskiljas för alla perioderna. Det karakteriseras av två områden med förhöjd nederbörd in över land, minskande nederbörd ut mot Östersjön och lägre nederbörd över Mälardalen. Detta relativt komplexa nederbördsmönster är ett resultatet av inverkan på det lokala klimatet av kustlinjen samt fördelningen mellan landområden och havsområden. För 94/95 noteras som mest 850 till 900 mm över Södertörn, vilket är högre än under 1998. Till en del kan denna skillnad bero på att olika metoder använts för att få fram den geografiska fördelningen. De inre norra delarna av Norrtälje fick mellan 650 och 750 mm nederbörd 1998 vilket är mer normalt och mer 1994. Nederbördsmängden avtar kraftigt från land ut mot Östersjön. I yttre skärgården är mängderna halverade i jämförelse med de högsta mängderna

över fastlandet. För enskilda månader under året kan variationerna vara betydligt större. De största geografiska variationerna uppmäts under sommaren, då mycket lokala skurar kan förekomma. Vissa månader kan någon enstaka nederbördsstation registrera tiotals mm medan andra platser är helt torra.

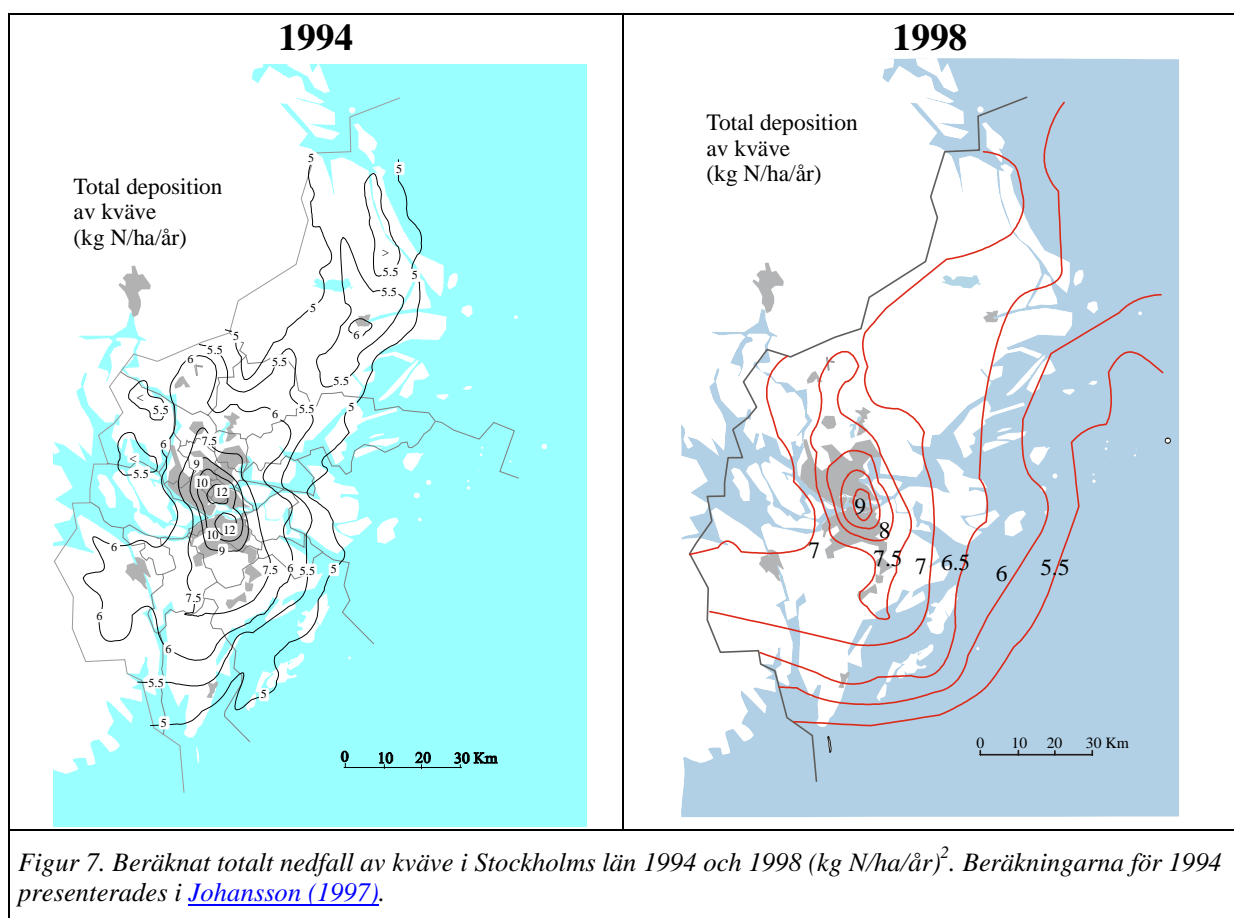


Figur 6. Geografisk fördelning av nederbörden 1994, 1998 samt den genomsnittliga nederbörden under 30 år (se texten för förklaringar).

4. Det totala nedfallet 1994 och 1998

4.1 Totala kvävenedfallet 1994 och 1998

Figur 7 visar det beräknade totala nedfallet av kväve i Stockholms län 1994 och 1998. Den geografiska variationen är stort sett densamma. Högst nedfall inträffar över de centrala delarna av Stockholm. År 1994 låg kvävenedfallet mellan fem och 12 kg N/ha/år och för 1998 beräknas nedfallet till mellan fem och nio kg N/ha/år. Beräkningarna tyder alltså på att det totala kvävenedfallet sjunkit främst i de centrala delarna av Storstockholmsområdet men det var ungefär detsamma i resten av länet. Minskningen torde till största delen bero på minskad torrdeposition av kväveoxider framförallt tack vare minskade utsläpp från vägtrafiken. Detta styrks också av att de uppmätta halterna av kvävedioxid i centrala Stockholm sjunkit under 90-talet (se delrapport 2; [Johansson m fl., 2001](#)).



Figur 7. Beräknat totalt nedfall av kväve i Stockholms län 1994 och 1998 (kg N/ha/år)². Beräkningarna för 1994 presenterades i [Johansson \(1997\)](#).

Såsom påpekas i delrapport nr. 2 ([Johansson, 2001](#)) så syns ingen minskning i uppmätt nedfall vid länsstyrelsens mätstationer av varken nitrat eller ammonium. Mätningarna 1993 till och med 1999 på öppet fält tyder snarast på en svag ökning av nitrat och ammoniumnedfallet. Variationen i de uppmätta värdena är dock mycket stor och trenden är inte signifikant med ett 95 procentigt konfidensintervall. Däremot noterades något sjunkande halter av nitrat i krondropp, vilket antyder att torrdepositionen faktiskt minskat under perioden. Tyvärr finns inte så mycket data på krondropp i centrala Stockholm där halterna sjunkit kraftigast. Utanför de

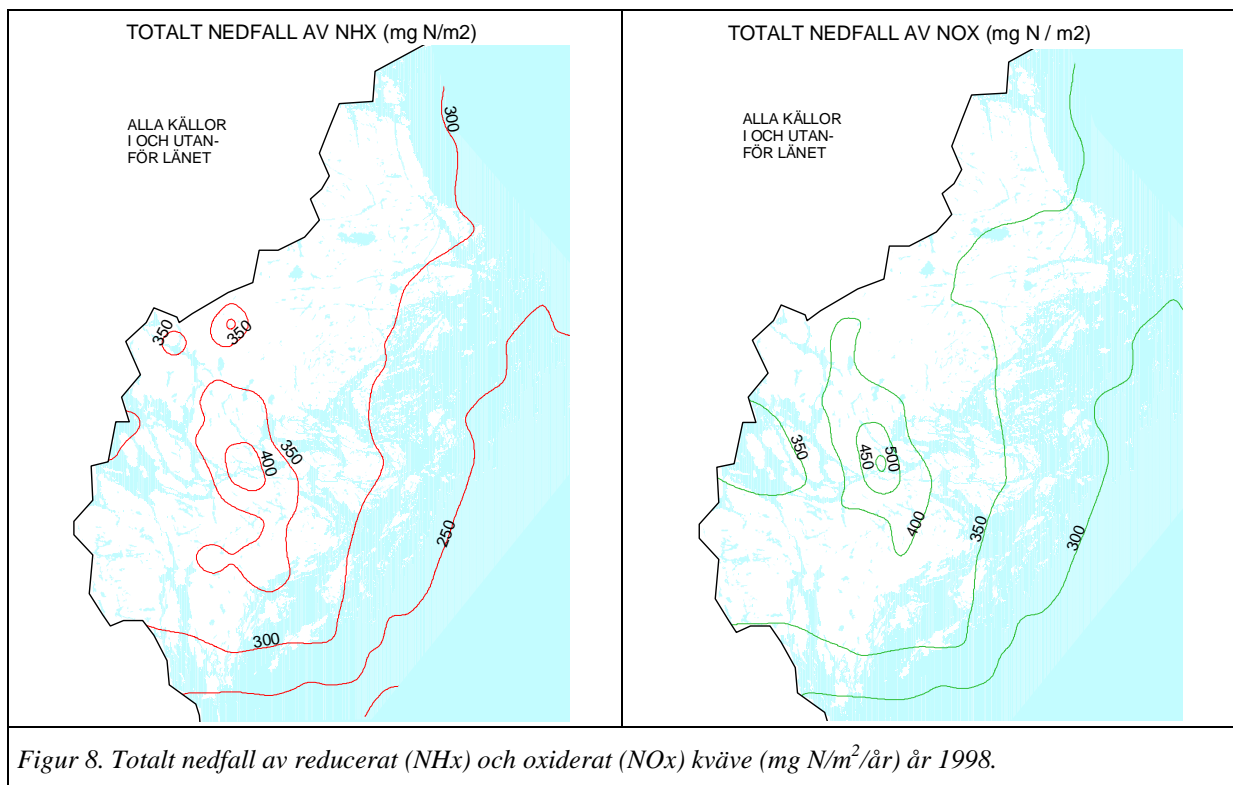
² 1 kg N/ha/år är samma som 100 mg N/m²/år.

mest trafikerade tätorterna i länet visar däremot Länsstyrelsens mätningar av kvävedioxidhalterna att dessa varit ungefär desamma under 90-talet.

Det nationella miljö kvalitetsmålet ”Bara naturlig försurning” innebär bland annat att depositionen av försurande ämnen inte överskrider den kritiska belastningen för mark och vatten (se <http://www.environ.se>). Nedfallet av kväve överskred i hela länet den så kallade kritiska belastningsgränsen på fyra kg N per hektar och år, som antagits som regionalt mål i Miljövårdsprogrammet för Stockholms län.

I Figur 8 presenteras det totala nedfallet av oxiderat (NO_x)³ och reducerat (NH_x)⁴ kväve enligt beräkningarna för år 1998 (OBS att enheterna skiljer sig från Figur 7; $100 \text{ mg N/m}^2/\text{år}$ motsvarar ett kg N/ha/år). Notera att reducerat och oxiderat kväve bidrar med ungefär lika mycket till nedfallet av kväve. För båda formerna beräknas det högsta nedfallet ske i de centrala delarna av Stockholm. I båda fallen kommer detta från vägtrafikens utsläpp. De olika sektorernas bidrag till nedfallet framgår av Bilaga 2 och diskuteras även i avsnittet ”Olika sektorers bidrag till nedfallet”. Det något förhöjda nedfallet av reducerat kväve som syns i Sigtuna och Upplands Bro avspeglar inte verkliga förhållanden utan beror på att utsläppen av ammoniak har placerats i emissionsdatabasen som en liten areakälla centralt i kommunen istället för att fördelas ut på enskilda gårdar (se Figur 8).

Det totala nedfallet av kväve på mark och vatten (inklusive saltsjön och den del av Östersjön som ligger innanför länsgränsen) är cirka 9 100 ton kväve. Detta är ungefär lika mycket som de totala kväveutsläppen i länet; 10 600 ton N/år.



Figur 8. Totalt nedfall av reducerat (NH_x) och oxiderat (NO_x) kväve ($\text{mg N/m}^2/\text{år}$) år 1998.

³ Torrdeposition av främst NO_2 och HNO_3 samt våtdeposition av främst nitrat.

⁴ Torrdeposition av NH_3 och NH_4^+ samt våtdeposition av ammonium.

4.2 Torr och våtdeposition samt jämförelse med nedfallsmätningar

Av Tabell 4 framgår att genomsnittlig uppmätt och beräknad våtdeposition av nitrat stämmer väl överens. Avvikelserna på vissa platser kan delvis bero på att öppna nederbördsinsamlare används (det vill säga våtdepositionen blir lite för hög i dessa mätningar eftersom den kan inkludera en del torrdeponerat kväve). Modellberäkningarna visar att torrdepositionen av NO_x utgör mellan sju procent och 56 procent av det totala nedfallet vid de nio mätplatserna. I genomsnitt utgör torrdepositionen ungefär en fjärdedel av det totala nedfallet. I mer belastade områden, det vill säga närmare lokala källor blir torrdepositionens andel betydligt större.

Eftersom nedfallet är lägre i krondropp går det inte att uppskatta torrdepositionen utifrån mätningarna. Både för NO_x och ammonium är det uppmätta nedfallet betydligt lägre jämfört med den beräknade. Detta beror till stor del på att kväve tas upp eller omvandlas vid deposition på träden. En annan faktor som gör det problematiskt att använda krondropsmätningarna för skattning av torrdeposition är att kväve och svavelföreningar torrdeponeras på de öppna insamlarna på öppet fält (se även [Johansson, 1997](#)). Beräkningarna av torrdepositionen avser en 5 x 5 km gridruta med en mix av markanvändning.

Tabell 4. Beräknad och uppmätt våtdeposition av nitrat samt beräknad torrdeposition av oxiderat kväve 1998. Enhet: kg N/ha/år.

	Våtdeposition			Torrdeposition	
	Beräknad	Uppmätt på öppet fält	Kvot	Beräknad	Andel Torrdeposition av totala (Beräknat)
Sticklinge	2.60	3.12	0.83	1.17	27 %
Alby	2.88	1.92	1.50	1.83	49 %
Säbysjön	2.69	3.23	0.83	1.00	24 %
Farstanäs	2.91	2.99	0.97	0.89	23 %
Lämshaga	2.74	3.31	0.83	0.41	11 %
Gladö	2.72	3.46	0.79	0.38	10 %
Mjölsta	2.86	3.39	0.84	0.26	7 %
Svulten	2.77	2.88	0.96	0.76	21 %
Bergboö	3.03	1.63	1.86	2.12	56 %
Medel	2.80	2.88	0.97	0.98	25 %

När det gäller nedfallet av ammonium är överensstämmelsen mellan beräknad och uppmätt våtdeposition mycket god för de nio krondropsstationerna. På vissa platser avviker dock värdena; vid Bergboö är kvoten mellan beräknad våtdeposition och uppmätt 1.86 och likaså vid Alby där den är 1.5.

Torrdepositionen av ammonium utgör enligt modellberäkningarna mellan nio procent och 28 procent av det totala nedfallet av ammonium vid de nio ytorna.

Tabell 5. Beräknad och uppmätt deposition av ammonium vid nio krondropsstationer i Stockholms län 1998. Enhet: kg N/ha/år.

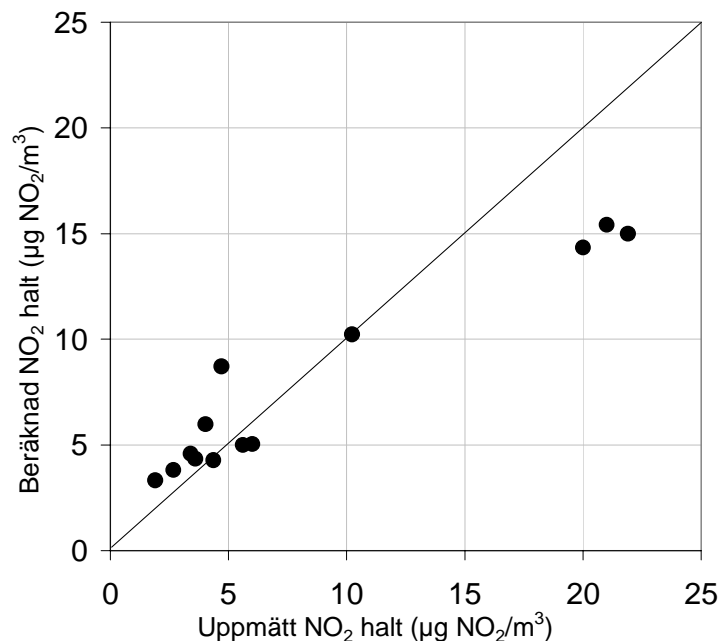
	Våtdeposition			Torrdeposition	
	Beräknad	Uppmätt på öppet fält	Kvot	Beräknad	Andel Torrdeposition av totala (Beräknat)
Sticklinge	2.60	3.08	0.69	1.03	28 %
Alby	2.88	1.51	1.49	0.39	12 %
Säbysjön	2.69	4.53	0.46	0.88	25 %
Farstanäs	2.91	2.60	0.86	0.50	15 %
Lämshaga	2.74	2.57	0.83	0.48	15 %
Gladö	2.72	3.46	0.65	0.63	19 %
Mjölsta	2.86	2.80	0.79	0.51	15 %
Svulten	2.77	2.32	0.91	0.42	13 %
Bergboö	3.03	1.12	1.92	0.32	9 %
Medel	2.80	2.67	0.82	0.57	17 %

4.3 Halter av kvävedioxid

I Figur 9 jämförs uppmätta halter av NO₂ med beräknade halter baserade på MATCH Stockholm och lokala emissionsdata i Stockholms län. För de lokala halterna har uppmätta halter vid bakgrundsstationer adderats till de lokala utsläppens haltbidrag. Värdena för de uppmätta halterna i figuren är hämtade från mätningar vid mätstationer i centrala Stockholm (taknivå; data finns i rapporter på <http://www.slb.stockholm.se>) samt mätstationer i Länsstyrelsens krondropsnät.

Överensstämmelsen är som synes god. De högsta värdena med uppmätta halter något över 20 µg/m³ kommer från mätningarna i centrala Stockholm. Här tycks modellberäkningarna underskatta halterna med omkring 20 procent. Detta kan bero på att modellens värden representerar ett volymsmedelvärde över en yta på 5 x 5 km medan mätningarna är punktmätningar. Skillnaden kan även bero på något för låga utsläpp i beräkningarna eller att modellberäkningen för NO₂ inte är helt korrekt. I MATCH modellen beräknas NO₂ halten i en fotokemisk modell utifrån utsläppen av NO_x och antagna konstanta värden på ozonhalterna (se MATCH-modellen). En underskattning av NO₂ halten medför att torrdepositionen underskattas.

Beräknade totala NO_x halter och haltbidrag från olika källor i länet framgår av Bilaga 2.



Figur 9. Jämförelse mellan uppmätta halter av kvävedioxid (årsmedelvärden för 1998) med beräknade halter. Beräkningarna är genomförda med MATCH Stockholm baserade på emissionsdatabasen i Stockholms län. Bakgrundshalten baseras på mätningar från mätstationer som i mycket liten utsträckning påverkas av de lokala källorna i länet.

Tabell 6 visar beräknade bidraget till NO₂ halterna från summan av alla utsläpp i länet 1998. Dessa beräkningar baseras på emissionsdata från Stockholms län. Vägrafikens utsläpp ger det absolut största bidraget till halten. Högsta lokala bidragen erhålls vid Gladö och Sticklinge med drygt 70 procent. Både Sticklinge och Gladö är påverkade av utsläppen från vägrafiken i Storstockholmsområdet. Vid Bergboö i norra delen av länet, långt från inflytande av lokala utsläppskällor, är de lokala källornas bidrag till den totala NO₂ halten mindre än 20 procent.

Tabell 6. Jämförelse mellan beräknade totala NO₂ halter och uppmätta halter samt beräknade halter på grund av lokala källor. Enhet: µg/m³.

	Uppmätta halter	Beräknade halter på grund av lokala källor i länet	Andel av halten som beror på lokala källor enligt beräkningarna
Sticklinge	10.2	7.2	71 %
Alby	4.4	1.3	29 %
Säbysjön		6.1	
Farstanäs	5.6	2.0	36 %
Lämshaga	6.0	2.0	34 %
Gladö	4.0	3.0	74 %
Mjölsta	2.7	0.81	30 %
Svulten	3.6	1.3	38 %
Bergboö	1.9	0.32	17 %
Medel	4.8	2.68	56 %

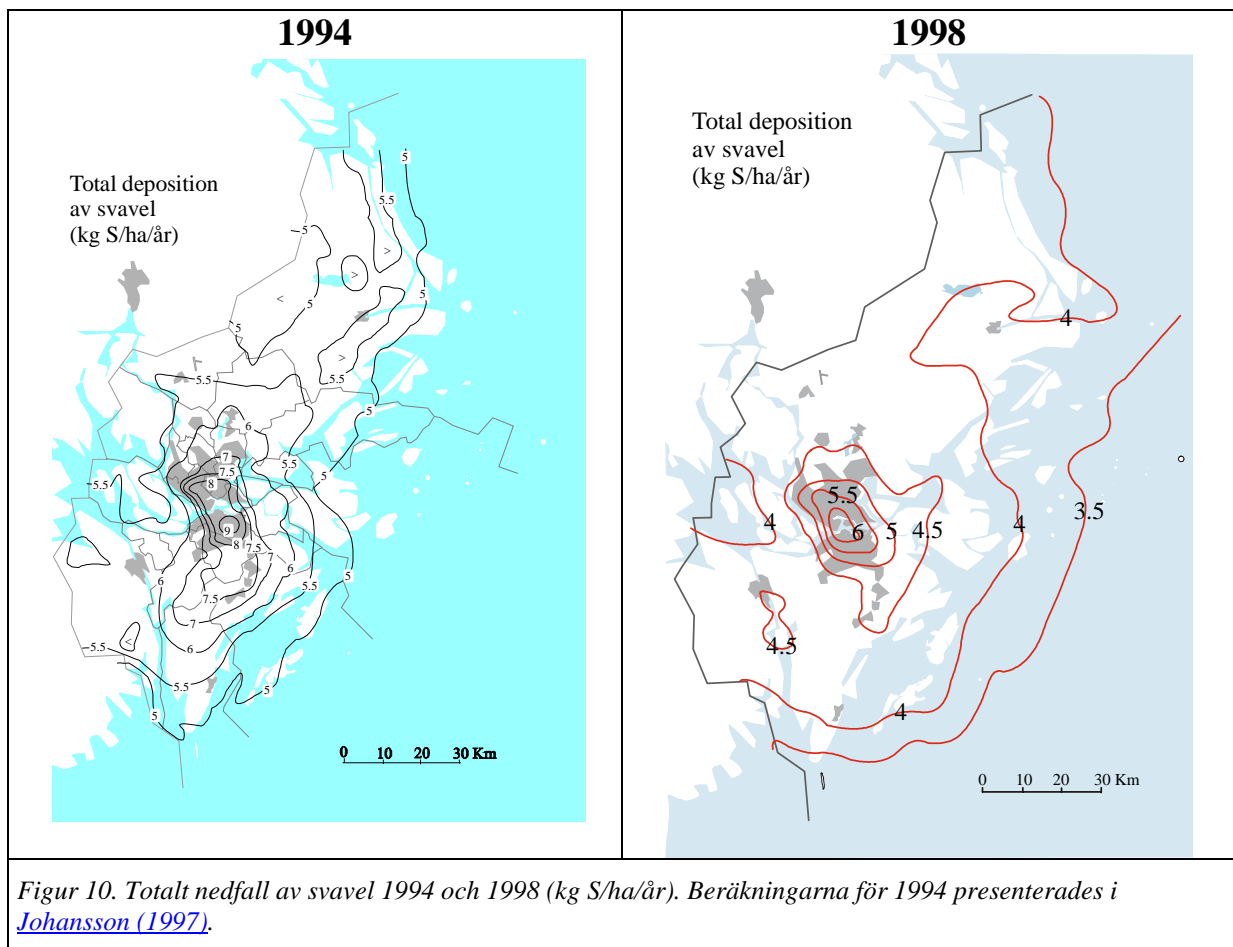
4.4 Det totala svavelnedfallet 1994 och 1998

I Figur 10 presenteras det totala nedfallet av svavel enligt beräkningarna för 1994 och 1998. Enligt dessa beräkningar har nedfallet sjunkit kraftigt. År 1994 låg nedfallet i intervallet fem till nio kg S/ha/år och år 1998 beräknas nedfallet vara mellan 3.5 och sex kg S/ha/år. Den kritiska belastningsgränsen som antagits som regionalt mål i Miljövårdsprogrammet för Stockholms Län för svavel är 2.5 kg S/ha/år. Den överskreds i hela länet både 1994 och 1998.

Den beräknade minskningen av nedfallet ligger väl i linje med mätningarna av svavelnedfallet i länet under 90-talet. Mätningarna i krondroppet indikerar en genomsnittligt nedfall på nio till tio kg S/ha/år 1994 och omkring fem kg S/ha/år 1998, det vill säga nästan en halvering av nedfallet (se delrapport nr. 2; [Johansson m fl., 2001](#)). Att denna minskning hänger ihop med både sjunkande våtdeposition och sjunkande torrdeposition framgår tydligt av mätningarna i länet. Både halterna av svaveldioxid i luften och halterna av sulfat i nederbörden har sjunkit.

Av Figur 10 framgår dock att man fortfarande kan se ett förhöjt nedfall på grund av utsläppen från lokala källor i de centrala delarna av Stockholm. De olika sektorernas bidrag till nedfallet 1998 framgår av Bilaga 2 och diskuteras i avsnittet Olika sektorer bidrag till nedfallet.

Det totala svavelnedfallet på mark och vatten innanför länets gränser var cirka 5 700 ton (S) per år 1998. Detta är nästan tre gånger så mycket som länets totala utsläppen av svavel (2 100 ton S/år).



Figur 10. Totalt nedfall av svavel 1994 och 1998 (kg S/ha/år). Beräkningarna för 1994 presenterades i [Johansson \(1997\)](#).

4.5 Jämförelse med krondroppsmätningarna

Beräkningarna kan jämföras med data från Länsstyrelsens krondroppsnet. Som påpekats tidigare avser beräkningarna en 5 x 5 km gridruta med en mix av markanvändning, medan krondroppsdepositionen avser endast skogsytor.

I genomsnitt för nio krondroppsstationer i länet är överensstämmelsen mellan beräknad total svaveldeposition och den uppmätta mycket god — beräknade värden ligger inom 15 procent av uppmätta värden. Även våtdepositionen stämmer bra.

De mest belastade punkterna Sticklinge och Gladö avviker mest från mätningarna. Beräkningarna ger i dessa punkter cirka 30 procent lägre värden jämfört med uppmätt totalt nedfall i krondropp (Tabell 7). ”Uppmätt torrdeposition” har i Tabell 7 beräknats som skillnaden mellan uppmätt nedfall i krondropp och uppmätt nedfall på öppet fält. Om man jämför dessa värden med den beräknade torrdepositionen är överensstämmelsen betydligt sämre än vad som erhöles för totaldepositionen och våtdepositionen. Den ”uppmätta” torrdepositionen varierar på ett något oregelbundet sätt, och för Mjölsta är det uppmätta nedfallet på öppet fält högre än depositionen i krondropp. Avvikelsen mellan uppmätt torrdeposition och beräknad är speciellt stor vid Farstanäs. Här ger modellberäkningarna mer än fem gånger högre värden jämfört med skillnaden mellan öppet fält och krondropp.

Som också påpekats tidigare är skattningen av torrdeposition som skillnaden mellan nedfallet i krondropp och på öppet fält osäker på grund av torrt nedfall i trattarna på öppet fält under torra perioder. Det är därför lite svårt att dra några slutsatser angående modellberäkningarnas tillförlitlighet när det gäller torrdeposition av svavel. Men enligt beräkningarna för de nio platserna i Tabell 7 utgör torrdepositionen i genomsnitt knappt 30 procent (0.9 kg S/ha) av det totala nedfallet (4.4 kg S/ha).

Tabell 7. Jämförelse mellan beräknad deposition av svavel och uppmätt deposition. Uppmätt totaldeposition Enhet: kg S/ha/år.

Mätstation	Total deposition			Våtdeposition			Torrdeposition		
	Beräknat	Uppmätt i krondropp	Kvot B/U	Beräknat	Uppmätt på öppet fält	Kvot B/U	Beräknat	Uppmätt	Kvot B/U
Sticklinge	4.99	7.29	0.68	2.99	4.93	0.61	2.00	2.36	0.85
Alby	4.22	3.79	1.11	3.32	2.59	1.28	0.90	1.20	0.75
Säbysjön	4.79	5.27	0.91	3.09	4.76	0.65	1.70	0.51	3.33
Farstanäs	4.45	4.25	1.05	3.35	4.04	0.83	1.10	0.21	5.24
Lämshaga	4.36	5.75	0.76	3.16	4.35	0.73	1.20	1.40	0.86
Gladö	4.43	6.33	0.70	3.13	4.49	0.70	1.30	1.84	0.71
Mjölsta	4.18	4.15	1.01	3.28	4.73	0.69	0.90		
Svulten	4.19	5.86	0.71	3.19	4.21	0.76	1.00	1.65	0.61
Bergboö	4.29	4.71	0.91	3.49	2.53	1.38	0.80	2.18	0.37
Medel	4.43	5.27	0.84	3.22	4.07	0.79	0.89	1.42	0.63

4.6 Halter av svaveldioxid

De beräknade halterna av svaveldioxid stämmer väl med de som mätts upp vid krandropsstationerna i länet (Tabell 8). Förutom Gladö ligger de beräknade halterna inom 20 procent av de uppmätta värdena. Årsmedelvärdet av SO₂ halten är mellan 0.5 och 1.5 µg/m³ (se även karta i Bilaga 2).

Av Tabell 8 framgår också att utsläppen i länet står för mellan 6 procent upp till knappt 70 procent av de totala halterna vid krandropsstationerna. Det högsta lokala bidraget erhålls för Sticklinge på Lidingö. Bergboö i norra delen av länet har minst lokal påverkan. Av de utsläppen i länet är det vägtrafiken, den enskilda uppvärmningen och sjöfarten som står för de största bidragen till halterna i länet (se Bilaga 2).

Tabell 8. Jämförelse mellan beräknade halter av svaveldioxid och uppmätta halter vid krandropsstationerna. Årsmedelvärden (µg SO₂/m³).

	Beräknat	Uppmätta Värden	B/U	Beräknat Lokalt halt- bidrag	Andel På grund av Lokala källor
Sticklinge	1.37	1.29	1.06	0.89	69 %
Alby	0.69	0.73	0.94	0.10	14 %
Säbysjön	1.20			0.66	
Farstanäs	0.86	0.82	1.05	0.25	31 %
Lämshaga	0.86	1.04	0.82	0.32	31 %
Gladö	0.94	0.69	1.37	0.38	54 %
Mjölsta	0.69	0.59	1.16	0.07	13 %
Svulten	0.69	0.68	1.01	0.13	19 %
Bergboö	0.60	0.55	1.09	0.03	6 %
Medel	0.88	0.80	1.06	0.31	39 %

4.7 Torrdeposition på olika marktyper

I detta avsnitt presenteras andelen av torrdepositionen som sker på olika typer av mark i länet. Beräkningarna avser den totala torrdepositionen på grund av alla källor i och utanför länet (inklusive långdistanstransporten) och bygger på beräkningar genomförda av SMHI med Sverigemodellen. För varje 20 km gridruta beräknades nedfallet på olika marktyper genom att andelen av respektive marktyp multiplicerades med torrdepositionen på marktypen. Därefter summerades alla gridrutor i länet. Resultaten av beräkningarna presenteras i tabell 12. Siffrorna för tätorter är uppskattningar baserade på skillnaden mellan den totala torrdepositionen i länet minus summan av nedfallet på övriga marktyper.

Cirka 60 procent av länet utgörs av vattenytor och därefter täcks länet av skog (25 procent). Skogen är betydligt effektivare att ”fånga upp” föroreningarna jämfört med en slät vattenyta. För svavel torrdeponeras det mesta över skog och vatten, totalt cirka 85 procent. Huvuddelen (>95 procent) av nedfallet på vattenytor sker på havet, vilket till stor del hänger samman med sjöfartens utsläpp.

När det gäller kväve sker ungefär hälften av torrdepositionen på skog och en tredjedel på vattenytor, främst hav. Knappt tio procent av torrdepositionen av NO_x sker över tätortsområden. Att denna andel är lite större än tätorternas andel av totala arean beror på att halterna är högre i tätorterna.

Tabell 9. Torrdeposition på olika typer av mark i Stockholms län 1998.

Marktyp	Area Andel av totala	SO _x		NO _x		NH _x	
		Deposition (ton S)	Procent av total torr- deposition	Deposition (ton N)	Procent av total torr- deposition	Deposition (ton N)	Procent av total torr- deposition
Vatten	61 %	1 293	43 %	491	29 %	425	33 %
Öppen mark	9 %	252	8 %	256	15 %	158	12 %
Skog	25 %	1 263	42 %	779	46 %	664	51 %
Tätort	5 %	186	6 %	155	9 %	78	6 %

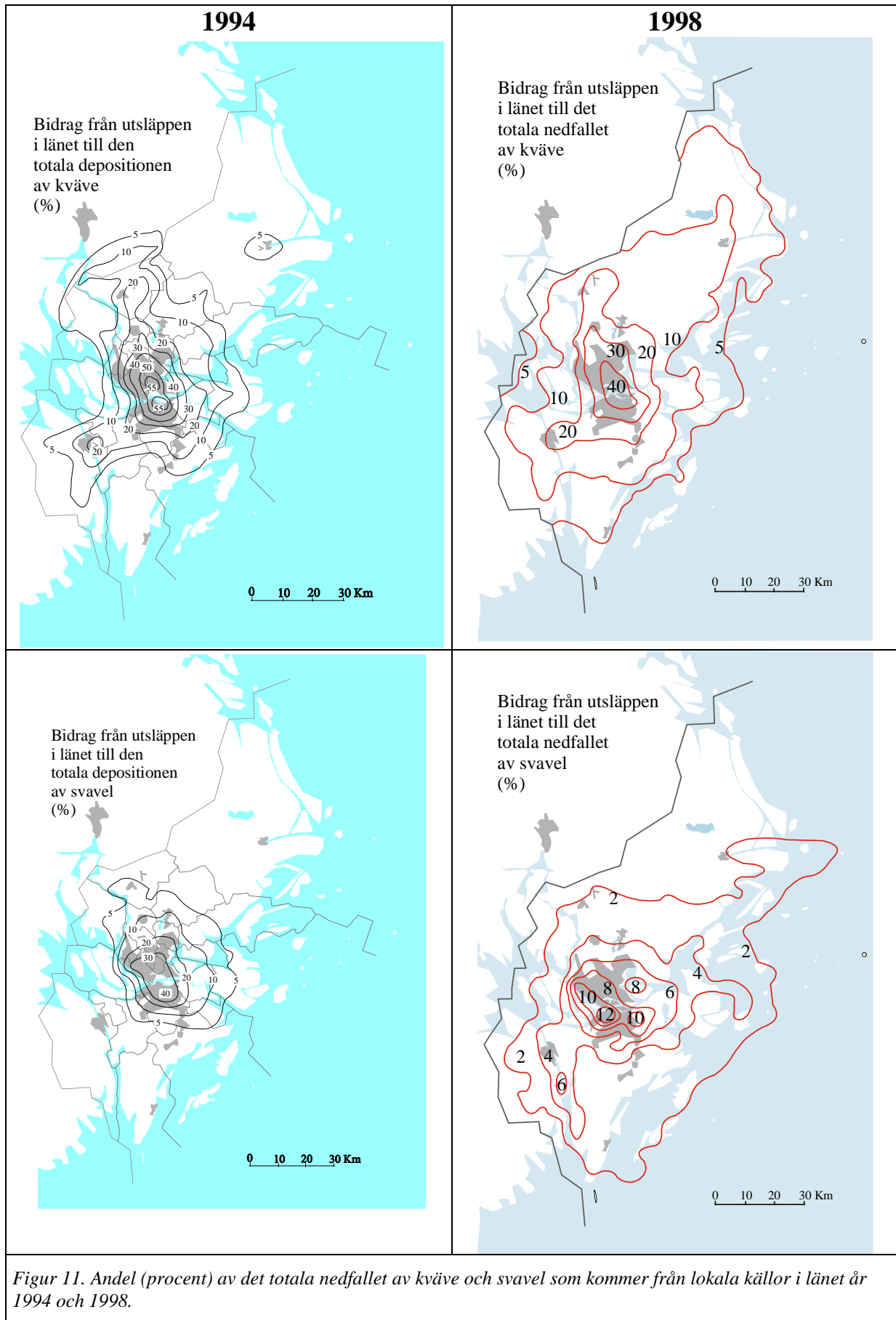
De absoluta mängderna som deponeras är troligen överskattade på grund av för höga utsläpp i SMHI's beräkningar, men de relativa andelarna på olika marktyper är förmodligen rättvisande. Den totala torrdepositionen av svavel är nästan en faktor 2 högre i Sverigeberäkningarna jämfört med den som bygger på MATCH Stockholm och mätningarna. För kväve räknat som summan av NO_x och NH_x kväve ger Sverigeberäkningarna en faktor 1.7 gånger högre värden.

4.8 De lokala källornas bidrag till nedfallet

För år 1994 beräknades de lokala utsläppens bidrag till det totala nedfallet av kväve uppgå till 55 procent som mest i de centrala delarna Stockholm (Figur 11). På landsbygden utanför tätorter var bidraget mellan fem procent och tio procent.

År 1998 beräknas de lokala källorna stå för omkring 40 procent som mest i centrala Stockholm och utanför tätorterna bidrar de med ungefär lika mycket som 1994; fem till tio procent. Minskningen av de lokala källornas bidrag hänger samman med minskade utsläpp från vägtrafiken (se diskussion nedan).

För svavel var år 1994 de lokala källornas bidrag upp emot 40 procent i de mest belastade områdena i centrala Storstockholm. År 1998 beräknas de lokala källorna bidra med mindre än 20 procent till det totala nedfallet.



Figur 11. Andel (procent) av det totala nedfallet av kväve och svavel som kommer från lokala källor i länet år 1994 och 1998.

4.9 Endast en liten del av utsläppen faller ner i länet

Av de totala svavelutsläppen i länet beräknas endast cirka sex procent deponeras innanför länets gränser, resten exporteras (se Tabell 10). För NO_x och NH₃ är motsvarande siffror sex procent respektive 30 procent. Av de totala kväveutsläppen (summan av NH₃ och NO_x) faller cirka tio procent ned innanför länets gränser. Andelen som exporteras beror på var utsläppen sker i länet, på vilken höjd och även på hur effektivt ämnet fastnar på marken samt tvättas ur av nederbörden. När det gäller NO_x släpps det mesta ut i form av NO, som har låg depositionshastighet och låg uttvättningskoefficient. Det är först när NO omvandlats till NO₂ som mer effektiv deposition och uttvättning sker.

Tabell 10. Andel av de totala NO_x, SO₂ och ammoniumutsläppen som deponeras innanför länets gränser. Observera att massan räknats på hela molekylen (ton SO₂ respektive ton NO₂ och ton NH₃).

Ämne	Totalutsläpp i länet som ingår i beräkningarna Ton/år	Total deposition i länet* Ton/år	Andel av utsläppen i länet som deponeras i länet Procent av utsläppen
NO _x	23 000 ¹⁾	1 460	6 %
SO _x	4 120	250	6 %
NH ₃	1 520	450	30 %

* Täcker inte exakt kommungränserna ut över Östersjön.

¹⁾ Arbetsmaskiner (4 400 ton/år) ingår inte i beräkningarna

I Tabell 11 redovisas uppskattade bidrag till totala nedfallet i länet från olika sektorer år 1998. Observera dock att de totala utsläppen som ligger till grund för värdena är de som redovisas i avsnittet 3.1 Emissionsdata. Då till exempel även arbetsmaskinernas utsläpp ingår så är de totala utsläppen är lite högre i Tabell 11 än de som redovisas i Tabell 10.

Av Tabell 11 framgår att en mycket liten del av utsläppen från energisektorn deponeras inom länets gränser. För alla ämnen är andelen mindre än fyra procent. I energisektorn ingår inte den individuella uppvärmningen utan endast stora punktkällor (panncentraler och energianläggningar) där utsläppen sker högt över marken vilket minskar den lokala depositionen. När det gäller vägtrafikens utsläpp däremot deponeras tio procent av NO_x utsläppen inom länet och drygt 30 procent av NH₃ och 20 procent av SO₂ utsläppen.

Det är också intressant att konstatera att av den totala depositionen som beror på lokala källor kommer cirka 80 procent av NO_x depositionen från vägtrafikens utsläpp i länet. När det gäller NH₃ står vägtrafiken för drygt 20 procent och när det gäller SO₂ står vägtrafiken för 12 procent av den totala depositionen på grund av lokala källor. Det betyder att trots att vägtrafiken står för endast cirka tre procent av svavelutsläppen i länet står den för 12 procent av depositionen på grund av lokala källor. För SO₂ är det sjöfarten och den individuella uppvärmningen som ger det största bidraget till depositionen på grund av lokala utsläpp (drygt 80 procent).

Största delen (cirka 80 procent) av NH₃ depositionen kommer från jordbrukssektorn (djurhållningen), som också är den viktigaste källan. Observera att trots att ammoniakutsläppen utgör endast 12 procent av de totala kväveutsläppen i länet, är andelen av den totala kvävedepositionen 44 procent. Detta hänger troligen samman med att ammoniak är mera reaktivt och därmed tvättas ur och torrdeponeras mera effektivt jämfört med NO_x. Men det är också

viktigt att notera att osäkerheten i uppskattade ammoniakutsläpp är stor, betydligt större än osäkerheten i NO_x utsläppen.

Tabell 11. Andel av utsläppen av NO_x, SO₂ och NH₃ från energi respektive trafiksektorn som deponeras innanför länets gränser. Beräkningarna avser 1998 och bygger på alla utsläpp i länet enligt de uppgifter som redovisas i avsnittet Emissionsdata i denna rapport. Observera att enheten är ton kväve respektive ton svavel per år.

Ämne	Sektor	Totalt nedfall på grund av utsläpp i länet		Andel av utsläppen i länet som deponeras inom länets gränser
NO _x (ton N/år)	Vägtrafik	400	81 %	10 %
	Energi	1.2	0.2 %	0.1 %
	Övriga	94	19 %	2.3 %
NH ₃ (ton N/år)	Vägtrafik	91	23 %	31 %
	Energi	0.7	0.2 %	3.8 %
	Övriga	300	77 %	30 %
SO ₂ (ton S/år)	Vägtrafik	30	12 %	21 %
	Energi	7	2 %	<0.3 %
	Övriga	160	86 %	11 %

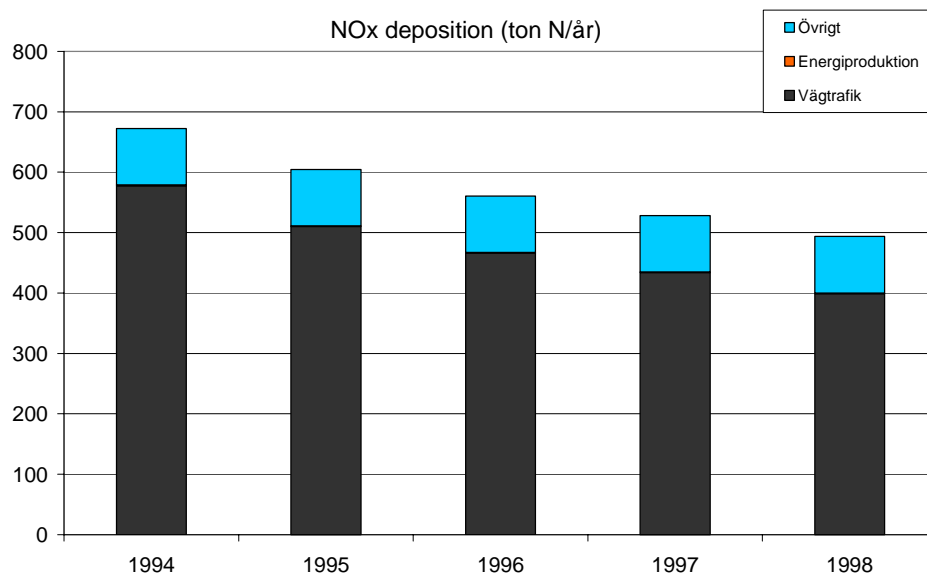
4.10 Olika sektorers bidrag till nedfallet 1994 till 1998

I detta avsnitt diskuteras endast trenden i nedfallet på grund av bidraget från de lokala källorna i länet. Om man antar att andelen av de lokala utsläppen från olika sektorer som deponeras lokalt i länet (som redovisas i avsnitt 4.9) varit densamma under perioden, går det att beräkna hur förändringarna i de lokala utsläppen påverkat nedfallet, eftersom vi i de flesta fall har ganska bra uppfattning om trenden i utsläppen för olika sektorer.

4.10.1 Kväve

I Figur 12 presenteras trenden i NO_x nedfallet som beror på utsläppen i länet. Värdena baseras på antagandet att andelen av de lokala NO_x utsläppen som deponeras lokalt i länet varit densamma under perioden.

Totalt sett har nedfallet på grund av lokala källor sjunkit med 27 procent, vilket är något mer än de totala utsläppen minskat (cirka 20 procent). Anledningen till att nedfallet sjunkit snabbare är att vägtrafikens utsläpp, som står för huvuddelen av nedfallet på grund av lokala källor (80 procent), har sjunkit kraftigast och var cirka 30 procent lägre 1998 jämfört med 1994. För energiproduktionen (ej inräknat individuell uppvärmning) var utsläppen 24 procent lägre 1998 jämfört med 1994, men eftersom endast cirka 0.1 procent av utsläppen deponeras i länet, bidrar inte detta till trenden. Utsläppen från övriga källor, som står för 20 procent av nedfallet, har varit praktiskt taget oförändrade.

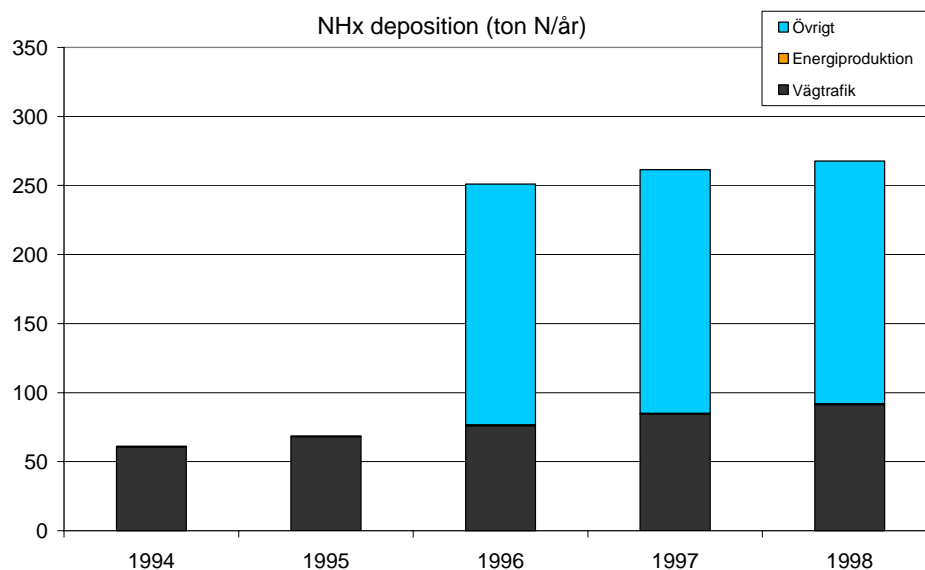


Figur 12. Beräknat nedfall av NOx (ton N/år) i länet på grund av utsläpp från källor i länet. Energiproduktionens bidrag syns inte på grund av att det är så litet.

När det gäller ammoniaknedfallet blir en trenduppskattning väldigt osäker främst på grund av osäkerheter i utsläppen från djurhållning och andra verksamheter inom jordbrukssektorn. Uppgifterna i emissionsdatabasen när det gäller jordbrukssektorns utsläpp av ammoniak för Stockholms län kan inte användas som grund för en trendanalys. Metodiken för beräkning av utsläppen förändrades från och med 1996 års databas.

Vägtrafikens utsläpp av ammoniak har ökat på grund av högre utsläpp från fordon med katalysator, men de utgör endast en liten del av de totala utsläppen. Det totala kvävenedfallet (summan av NOx och NHx) från vägtrafiken har minskat med omkring 25 procent tack vare minskade NOx utsläpp.

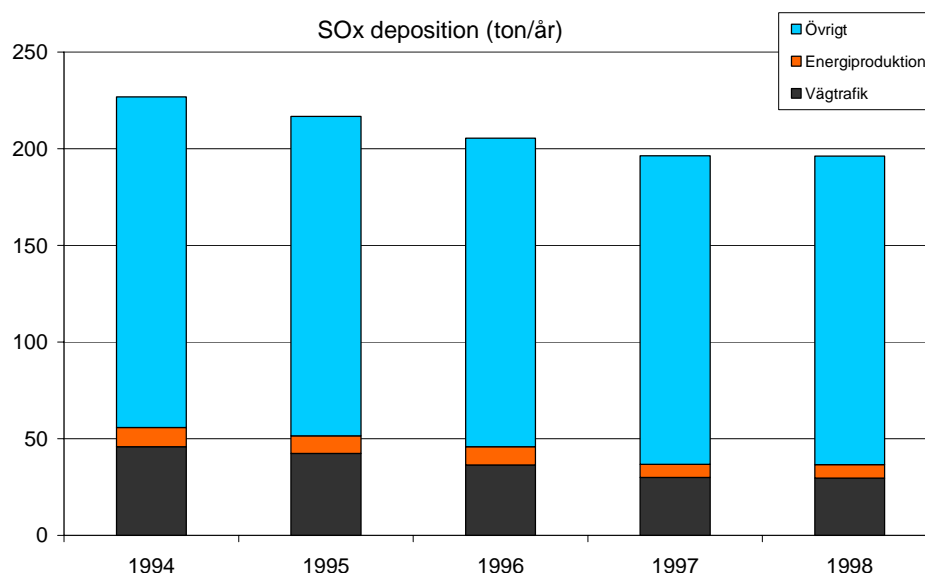
Som påpekats tidigare utgör nedfallet av ammoniak lite mer än 40 procent av det totala kvävenedfallet på grund av lokala källor. Detta föranleder att kunskapen om ammoniakutsläppen behöver förbättras och även att resultaten från nedfallsberäkningarna behöver valideras mot mätningar på ett bättre sätt än som varit möjligt i denna utredning.



Figur 13. Ungefärligt nedfall av ammonium (ton N/år) i länet på grund av utsläpp från källor i länet (utsläpp från individuell uppvärmning ingår ej). Energiproduktionens bidrag syns inte på grund av att det är så litet.

4.10.2 Svavel

Det totala nedfallet av svavel på grund av utsläpp i Stockholms län var cirka 13 procent lägre 1998 jämfört med 1994. Detta är mindre än minskningen av de totala utsläppen; dessa var 24 procent lägre 1998 jämfört med 1994. Detta beror på att utsläppen från energiproduktionen står för huvuddelen av utsläppsminskningen men för en mycket liten del av nedfallet (Figur 14). Utsläppen från sjöfarten och den individuella uppvärmningen (förbränning av eldningsolja) dominerar det lokala bidraget till nedfallet. Dessa sektorer ingår i övrigt i Figur 14.



Figur 14. Beräknad deposition av svavel i länet på grund av utsläpp från källor i länet.

5. Osäkerheter och kunskapsluckor i nedfallsövervakningen

I detta avsnitt diskuteras några brister och kunskapsluckor i nedfallsövervakningen samt hur övervakningen eventuellt kan förbättras i framtiden.

5.1 Bra koll på kväveoxid utsläppen men sämre med ammoniak

De totala kväveutsläppen i länet har sjunkit under 90-talet, framförallt tack vare minskade utsläpp från vägtrafiken. Den sjunkande utsläppstrenden för NO_x stämmer väl med uppmätta NO_x halter. Kväveoxidutsläppen är tack vare detaljerad information om trafikflöden och fordonssammansättning relativt noggrant kvantifierade både tidsmässigt och geografiskt. Till största delen släpps kväve ut i form av kväveoxider och till liten del (knappt tio procent) som reducerat kväve (ammoniumkväve). Trots detta utgör ammonium en betydande del (drygt 40 procent) av nedfallet på grund av källor i länet. Ammoniakutsläppen härrör främst från jordbrukssektorn inklusive djurhållningen. Men ammoniakutsläppen är mycket osäkra och uppskattas utifrån generella schablonvärden. Utsläppen ligger inte fördelade geografiskt på korrekt sätt vilket gör att spridnings- och nedfallsberäkningarna av ammonium är behäftade med stora osäkerheter. Mätningar för att validera beräknade halter saknas för 1998. Från 2002 mäts nu NH₃ med passiva provtagare vid Farstanäs och Bergby.

5.2 Bra koll på halterna men sämre med nedfallet

Halterna av kvävedioxid och svaveldioxid är ganska väl kontrollerade genom mätningarna som drivs av Länsstyrelsen och Luftvårdsförbundet. Däremot saknas idag bra metodik för att mäta det totala nedfallet av kväve och svavel. Speciellt svårt är det att mäta torrdepositionen. Krondroppsmätningarna har i detta avseende flera brister:

- Mätningarna kan endast ske på vissa specifika skogsytor och extrapolering till andra marktyper låter sig inte göras.
- Kvävenedfallet går inte att beräkna eftersom kväve tas upp av träden.

Någon alternativ metod finns dock inte. Även när det gäller nedfallet med nederbörden finns vissa problem. Nuvarande mätstationer är utrustade med öppna nederbördsinsamlare. Jämförelser mellan mätningar av våtdepositionen med öppna insamlare och insamlare med lock, tyder på att de öppna insamlarna systematiskt överskattar våtdepositionen av både svavel och kväve. Detta torde bero på torrdeposition av gasformiga och partikelbundna svavel och kväveföreningar under torra perioder mellan nederbördstillfällena. Nederbördshalterna som mäts upp vid nederbördsprovtagning med lockförsedda insamlare ger också mindre variabelt nedfall jämfört med resultaten från provtagningen med insamlare utan lock. Den större variabiliteten i resultaten från insamlarna utan lock kan bero på variabel torrdeposition på grund av varierande halter av gaser och partiklar. För att få bättre kunskap om betydelsen av den artificiella torrdepositionen av gaser och partiklar i de öppna insamlarna föreslås att våtdepositionen mäts med båda typerna av insamlare på åtminstone ett par platser i länet under något år.

Beräkningarna av nedfallet som presenteras i denna rapport visar att utsläppen inom länets gränser bidrar väldigt lite till det totala nedfallet. De största lokala tillskotten till nedfallet sker

i Storstockholmsområdet. Om övervakningen skall kunna detektera de lokala utsläppens inverkan på nedfallet bör mätningarna lokaliseras både i de mest belastade områdena i de centrala delarna av länet och i perifera delar som inte påverkas av lokala utsläpp så att den geografiska variationen i nedfall och halter kan identifieras. Hittills har de största mätinsatserna gällt platser i mer perifera områden i länet. Självklart måste också andra aspekter på valet av provplatser vägas in i bedömningen (till exempel representativitet och känslighet hos olika marktyper).

Osäkerheterna är också stora när det gäller beräkningarna av bidraget till torrdepositionen av salpetersyra. Uppskattningar utifrån mätningar av flödet av salpetersyra till skog tyder på att en väsentlig del av torrdepositionen utgörs av salpetersyra. Någon enkel metod att mäta salpetersyra finns inte. Luftvårdsförbundet har tidigare genomfört mätningar i Stockholm och vid Norr Malma, men metoden är arbetskrävande och mätningarna har fått låg prioritet. Som påpekats ovan saknas även mätningar av ammoniakhalter.

Ytterligare en osäkerhet i nedfallsberäkningarna rör de olika lokala källornas bidrag till det totala nedfallet. De atmosfärkemiska transformationerna av svavel- och kväveföreningarna som sker efter att ämnena släppts ut gör att sambandet mellan nedfallet och utsläppen inte är linjärt utan olinjärt. Till exempel är kvävedioxidhalterna beroende av ozonhalterna som i sin tur beror på den totala halten av kväveoxider, NO_x (NO plus NO₂). Om kväveoxidutsläppen sker i en miljö där halterna av NO_x är höga blir ökningen av NO₂ halt betydligt mindre än om utsläppen sker i en miljö där NO_x halterna är låga. Summan av bidragen från enskilda källor tenderar då att bli större än om alla källor inkluderas i beräkningarna från början. Hur mycket detta betyder för resultaten som presenteras i denna rapport har inte utretts.

5.3 Nationella beräkningar kan utnyttjas bättre om nationella utsläppsdata förbättras

Inom ramen för den nationella miljöövervakningen genomför SMHI nedfallsberäkningar av svavel och kväve med den så kallade MATCH modellen som beskrivs i Bilaga 1. Beräkningarna omfattar dels utsläppen i Sveriges bidrag till nedfallet, dels bidraget från källor utanför Sverige (långdistanstransport). Tanken är att dessa beräkningar skall kunna utnyttjas i den regionala miljöövervakningen. Beräknade halter och beräknat nedfall finns tillgängligt på SMHI's hemsida, dels i form av kartor, dels i form av data som kan bearbetas i geografiska informationsprogram.

Skillnaden mellan bidraget till nedfallet från alla utsläpp i hela Sverige och Stockholms läns källors bidrag blir bidraget till nedfallet från övriga Sverige. Men för att beräkningarna skall stämma krävs att SMHI's Sverigeberäkningar bygger på betydligt noggrannare utsläppsdata. Utsläppen från källorna i Stockholms län måste vara jämförbara med de utsläppsdata som ligger till grund för beräkningarna i Stockholms län. Denna utredning har dock visat på mycket stora skillnader i utsläppen; SMHI's beräkningar bygger på mer än dubbelt så höga svavelutsläpp och nästan dubbelt så höga kväveutsläpp jämfört med utsläppen beräknade enligt Stockholms och Uppsala läns Luftvårdsförbunds emissionsdatabas.

För att den regionala miljöövervakningen (Länsstyrelsen och Luftvårdsförbundet) skall kunna utnyttja den information som kommer fram i de nationella beräkningarna krävs därför samordning mellan regionala och nationella emissionsdatabaser. Förhoppningsvis kommer utsläppen i Sverige beräkningarna att bli betydligt bättre i framtiden tack vare pågående samordning av utsläppsstatistiken i det så kallade SMED konsortiet.

Referenser

- Pettersson, M., Johansson, C. och Jonsson, T., 1999. Emissionsdatabas 1997 — Struktur, innehåll, kvalitet. Stockholms och Uppsala läns Luftvårdsförbund, Stockholms Luft- och buller analys, Box 38 024, 100 64 Stockholm (<http://go.to.lvf>).
- Pettersson, M. och Johansson, C., 2000. Emissioner av kväveoxider och svaveldioxid 1994 – 1998. Delrapport 1 av 3. Länsstyrelsen i Stockholms län. Rapport U24, 2000. Rapporten kan hämtas på Länsstyrelsens hemsida www.ab.lst.se.
- Johansson, C., 2001. Nedfall av svavel och kväve. Mätningar under 90-talet. Delrapport 2 av 3. Länsstyrelsen i Stockholms län. Rapport U06, 2001. Rapporten kan hämtas på Länsstyrelsens hemsida www.ab.lst.se.
- Ntziachristos, L. och Samaras, Z., 1999. COPERT III. Methodology and emission factors. European Topic centre on Air emissions, EEA, <http://vergina.eng.auth.gr/mech/lat/copert/copert.htm>.
- Johansson, 1997. Svavel- och kvävenedfallet över Stockholms län. Beräkning för året 1994/95. Länsstyrelsen i Stockholms län. Rapport 1997:08.
- Modén, H. och Nyberg, A., 1965. Stockholmsområdets klimat. Del 1. Nederbörden. SMHI, meddelanden, Serie B, Nr. 19.

