



L 02/02

För Luft i Väst
**Vidareutveckling av
ALARM-systemet**

Göteborg och Uppsala 2002-01-11

IVL Svenska Miljöinstitutet AB

Enger KM-konsult

Marie Haeger-Eugensson

Leif Enger

Gun Lövblad

Karin Sjöberg

Innehållsförteckning

1. INLEDNING OCH SYFTE	1
1.1 ÖVERVAKNING AV LUFTKVALITET MED MODELLER	1
1.2 LUFT I VÄSTS BERÄKNINGSSYSTEM ALARM.....	1
1.3 UPPDRAGETS OMFATTNING OCH SYFTE.....	2
2 UNDERLAG FÖR MODELLUTVECKLINGEN.....	2
2.1 MÄTDATA I BAKGRUNDSMILJÖ	2
2.2 MÄTDATA I TÄTORTSMILJÖ	4
2.3 METEOROLOGISKA FÖRHÅLLANDEN UNDER MÄTPERIODERNA	5
3 BAKGRUNDSHALTERNAS VARIATION.....	6
3.1 BAKGRUNDSHALTERNAS VARIATION	6
3.2 BIDRAG FRÅN GÖTEBORGSOMRÅDET	7
3.3 METOD FÖR ATT TA HÄNSYN TILL LÅNGDISTANSTRANSPORT OCH PÅVERKAN AV GÖTEBORGSPLYMEN	8
4 FÖRBÄTTRING AV SPRIDNINGSMODELLEN.....	8
4.1 BERÄKNINGAR OCH MÄTNINGAR I VÄNERSBORG OCH BORÅS	9
5 SLUTSATSER	12
6 REFERENSER	13
BILAGA 1 BESKRIVNING AV ALARM-SYSTEMET	14
BILAGA 2 DETALJERAD STUDIE AV METEOROLOGIN UNDER MÄTKAMPANJEN	18
BILAGA 3 DETALJERAD BESKRIVNING AV BAKGRUNDSHALTERNA	20
BILAGA 4 SPRIDNINGSBERÄKNINGAR FÖR GÖTEBORG UNDER FÖRSÖKSPERIODEN	25

1. Inledning och syfte

1.1 Övervakning av luftkvalitet med modeller

EUs ramdirektiv för luftkvalitet och de svenska miljökvalitetsnormerna kommer att ge upphov till ett ökat behov av luftkvalitetsövervakning. För att effektivisera övervakningen av aktuella haltnivåer i relation till fastställda gränsvärden och normer rekommenderas användning av mätningar i kombination med spridningsmodeller. Modeller kan användas som "indikativa" verktyg, dels för att identifiera de ur föroreningssynpunkt mest belastade områdena, dels som underlag för att beskriva föroreningssituationen i områden där haltnivåerna underskrider den så kallade nedre utvärderingströskeln.

Vid användning av modeller kommer det sannolikt framöver att ställas krav på kvalitetsredovisning av resultaten. Än så länge finns inga rekommendationer utfärdade vare sig inom EU eller i den svenska förordningen. I den "Guidance report" (Aalst m.fl. 1998) som utarbetats för att hjälpa medlemsländerna i det nationella övervakningsarbetet ges förslag till krav på modellernas prestanda. För att beskriva kvaliteten hos modellen och beräknade resultat kommer förmodligen att krävas såväl validering av modellresultat med mätdata som jämförelser mellan olika modeller.

Modellberäkningar kan göras på olika skalor och med olika geografisk upplösning. Storskaliga modeller som EMEP (Olendrzynski 1999) och MATCH (Persson m.fl. 1991) täcker in hela eller stora delar av Europa respektive Sverige. Modeller har vidare utvecklats för både den regionala skalan (ett eller flera län), för tätorter samt för gaturum. Det är viktigt att skalan är anpassad till det syfte modellberäkningen har.

En modell som ska användas för miljöövervakning måste kunna beräkna den totala halten. Generellt täcker inte modeller in hela det källområde som ger föroreningsbidrag i beräkningsområdet. Detta kan kompenseras genom att sätta upp randvillkor och/eller att addera en regional bakgrundshalt till de halter beräknade inom området.

1.2 Luft i Västs beräkningssystem ALARM

Luft i Väst har sedan 1990 ett system för spridningsmodellering, ALARM-systemet, utvecklad av Enger KM-konsult AB. Systemet består av en avancerad spridningsmodell, emissionsberäkningsmetodik samt GIS-applikerad presentationsteknik av resultaten. ALARM-systemet har implementerats för hela Västra Götalands län.

Modellsystemet baseras på ett stort antal "förberäknade" vädersituationer vad gäller vind, temperatur, specifik fuktighet och turbulens. Dessa förberäknade situationer har samlats i en meteorologisk databas. Den aktuella situationen i området beskrivs av mätningar av vind med ett sodarinstrument och av vindhastighet, vindriktning på en nivå samt temperatur i profil i en mast. Genom att jämföra mätdata med data för de "förberäknade" situationerna i databasen, kan den situation som ger bäst överensstämmelse identifieras och användas som underlag för spridningsberäkningen.

Vid spridningsberäkningen beräknas punktkällor och små areakällor med hjälp av en semi-Gaussisk trajektoriemodell. Linjekällor och stora areakällor beräknas med hjälp av en s.k. 'higher-order closure' spridningsmodell. En detaljerad beskrivning av ALARM-systemet återfinns av bilaga 1.

Vid spridningberäkningar med ALARM-systemet används idag endast de utsläpp som sker inom beräkningsområdet medan tillskott via utifrån kommande luftföroreningar inte inkluderas. Även om lokala utsläpp ger de dominerande bidragen till halterna, ger såväl långdistanstransport av luftföroreningar som föroreningstransport från Göteborgsområdet ett visst tillskott till haltnivåerna inom Västra Götaland.

Modellens upplösning (250x250 gridrutor) beror av beräkningsområdets storlek. Om ett stort område skall beräknas blir upplösningen sämre eftersom ett maximalt antal gridrutor kan behandlas samtidigt. För att kunna använda modellen för övervakningsändamål är det viktigt att den täcker in de lokala haltvariationer som förekommer både i tid och rum. Det är därför av stor betydelse att modellen på så fin skala som möjligt kan ge en indikation på huruvida det föreligger risker för att halterna överskrider gränsvärden och miljö kvalitetsnormer.

1.3 Uppdragets omfattning och syfte

För att vidareutveckla ALARM-modellen har IVL Svenska Miljöinstitutet AB och Enger KM-konsult haft ett uppdrag av Luft i Väst

- att studera bakgrundshalternas variation i Västra Götaland och ta fram en metod för hur dessa ska kunna inkluderas direkt i modellberäkningarna.
- att anpassa ALARM-systemet till beräkningar på mer detaljerad skala för att kunna ta hänsyn till finskaliga geografiska haltvariationer.

Syftet är att modellen ska kunna användas för alla luftföroreningar av intresse; NO₂, SO₂, partiklar, m.fl. Inom ramen för detta projekt har vi valt att arbeta med kväveoxider eftersom NO₂ är en av de mest kritiska luftföroreningarna i dagens läge vad gäller befintliga haltnivåer i relation till miljö kvalitetsnormen och därigenom risker för överskridanden. Den andra kritiska parametern är partiklar i form av PM₁₀, men här är osäkerheten stor med avseende på emissionerna samt att det saknas mätdata för validering.

2 Underlag för modellutvecklingen

För att ge underlag till modellutvecklingen och till validering av beräkningarna har använts mätdata för luftföroreningshalter i bakgrundsmiljö och i två tätorter inom regionen, samt meteorologiska data.

2.1 Mätdata i bakgrundsmiljö

Genom mätningar inom både den nationella och den regionala miljöövervakningen samt genom andra mätningar av luftföroreningar lokalt är kunskapen om de bakgrundshalter som förekommer i Västra Götaland god. Mätningar genomförs vid Rörvik (norra Halland), vid Gårdsjön öster om Stenungsund, i Hensbacka i mellersta Bohuslän samt vid Granan

(Dalsland). Generellt föreligger en minskande gradient av föroreningshalter mot norr i regionen. Flerårsmedelvärden för dessa stationer presenteras i tabell 1.

Tabell 1. Årsmedelhalter av NO₂ (µg/m³) i regionen.

Plats	År	NO ₂
Rörvik, Halland	97-00	5.8
Gårdsjön, Bohuslän	97-99	4.2
Hensbacka, Bohuslän	97-00	3.3
Granan, Dalsland	97-99	3.1

Vid Rörvik, 4 mil söder om Göteborg, mäts halter av bl.a. NO₂ på dygnsbas. Eftersom Rörvik ligger relativt nära Göteborg kan halterna vid vindar norrifrån påverkas av Göteborgsplymen (se vidare bilaga 4).

För att undersöka om bakgrundshalterna vid Rörvik är representativa även för områdena kring Vänersborg och Borås genomfördes mätningar av bakgrundshalter av NO₂ med diffusionsprovtagare utanför respektive stad. Mätpunkterna valdes så att föroreningar från respektive stad inte skulle ge någon påverkan. Mätningar gjordes på månadsbas utanför Vänersborg (Ekenäs, ca 9 km norr om Vänersborg) och för 14-dagarsperioder utanför Borås (Vänga kyrka, ca 15 km norr om Borås centrum). Resultaten redovisas i tabell 2.

Tabell 2. Periodmedelvärden av bakgrundshalter av NO₂ vid Rörvik (baserat på dygnsmätningar), samt vid Vänga, Borås (tvåveckorsprover) och Ekenäs, Vänersborg (månadsprover) under år 2000

NO ₂ -halter (µg/m ³)	Rörvik	Borås, Vänga kyrka	Vänersborg, Ekenäs
14/2-14/3	5.2	6.2	4.2
14/3-10/4	5.2	5.5	2.9
18/9-16/10	4.7	3.6	3.2
mv	5.0	5.1	3.4

Överensstämmelsen mellan Vänga kyrka och Rörvik är god som medelvärde under försöksperioden, medan Ekenäs, som förväntat, visar på lägre halter än vid Rörvik.

Mätplatsen utanför Borås, vid Vänga kyrka, ligger vid vägen mellan Fristad och Vårgårda. Här mättes både NO₂ och NO. I tabell 3 presenteras dessa resultat samt summa NO_x (räknat som NO₂).

Tabell 3. Uppmätta koncentrationer (µg/m³) av NO₂ och NO vid Vänga kyrka, Borås.

Datum	NO ₂	NO	NO _x (som NO ₂)	NO ₂ /NO _x
14/2 – 28/2	5.7	6.5	15.7	0.36
28/2 – 13/3	6.7	4.7	13.9	0.48
13/3 – 27/3	7.2	7.6	18.9	0.38
27/3 – 10/4	3.8	6.8	14.2	0.27
18/9 – 2/10	3.1	6.3	12.8	0.24
2/10 – 16/10	4.1	6.1	13.5	0.30
Medelvärde	5.1	6.3	14.8	0.35

Genom att beräkna kvoten mellan NO₂ och NO_x kan eventuella bidrag från lokala källor påvisas. Om andelen NO₂ är liten i förhållande till den totala NO_x-halten, indikerar detta lokala haltbidrag. Kvoten mellan NO₂ och NO_x vid Vänga kyrka är av samma storleksordning

som i *urbant gaturum* (tabell 5) och tyder alltså på visst bidrag från lokal trafik. Mätpunkten är därför inte helt representativ för bakgrundsmiljön och resultaten härifrån har därför inte använts i den fortsatta modellenpassningen.

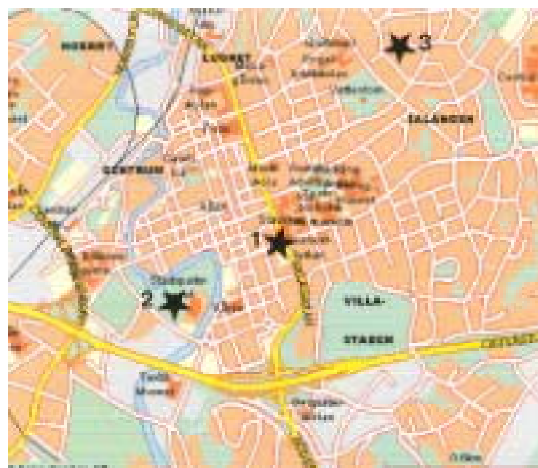
2.2 Mätdata i tätortsmiljö

För att erhålla valideringsunderlag avseende lufthalter i tätortsmiljö utfördes mätningar av NO och NO₂ med diffusionsprovtagare i olika typmiljöer, utvalda för att jämföras med modellsimuleringar. Mätplatserna presenteras i figur 1 för Vänersborg och figur 2 för Borås. Mätningarna utfördes under 7 tvåveckorsperioder från 14 februari till 24 april 2000 och 18 september till 16 oktober 2000. Resultaten redovisas i tabell 4.



Figur 1.

Mätpunkter i Vänersborg. Punkt 1 Edsgatan 1 representerar *trafikerat gaturum*, punkt 2 Edsgatan 19 representerar *urban bakgrund* (gågata).



Figur 2.

Mätpunkter i Borås. Punkt 1 Åsbogatan/Kungsgatan/ Arlagatan representerar *trafikerat gaturum*, punkt 2 i Stadsparken *urban bakgrund* och punkt 3 Björkängsgatan *urban bakgrund* (villabebyggelse).

Tabell 4. Uppmätta halter av NO_x (som NO₂) (µg/m³) i Vänersborg under försöksperioderna år 2000. (Mätpunkterna vid Kungsgatan/Åsbogatan och Edsgatan 1 är *urbant gaturum* medan de övriga är *urban bakgrund*)

	Borås			Vänersborg	
	Kungsg. – Åsbog	Stadsparken	Björkängsgatan	Edsgat. 1	Edsgat.19
14/2 – 28/2	146	54	32	-	35
29/2 – 14/3				57	30
14/3 – 28/3	116	38	28	76	35
28/3 – 10/4	104	44	28	58	-
10/4 – 24/4	102	42	27	82	23
18/9 – 2/10	99	29	20	94	34
2/10 – 16/10	104	36	23		
Medelvärde	112	41	26	73	31

Halten vid den trafikerade Edsgatan 1 i Vänersborg är i medeltal ca 2.3 gånger högre än Edsgatan 19 som antas representera urban bakgrund. Halten vid den trafikerade Kungsgatan–Åsbogatan i Borås är 2.7 gånger högre än vid den urbana bakgrunden i stadsparken.

Haltförhållandet mellan NO₂ och NO_x har beräknats och presenteras i tabell 5. Detta förhållande visar närheten till lokala utsläppskällor, dvs om NO₂-andelen är liten i förhållande till NO_x befinner sig mätpunkten nära källan.

Tabell 5. Förhållandet mellan NO₂ och NO_x i Vänersborg under försöksperioderna år 2000. (Mätpunkterna vid Kungsgatan/Åsbogatan och Edsgatan 1 är urbant gaturum medan de övriga är urban bakgrund)

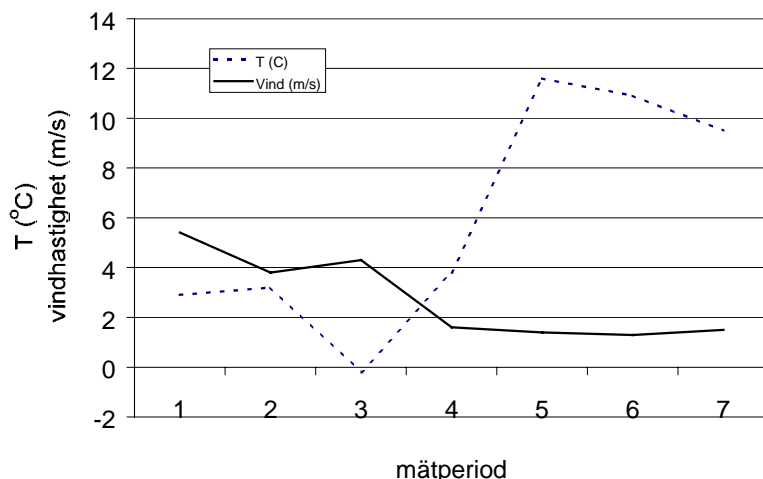
	Borås			Vänersborg	
	Kungsg. – Åsbog	Stadsparken	Björkängsgatan	Edsgat. 1	Edsgat.19
Datum	NO ₂ /NO _x	NO ₂ /NO _x	NO ₂ /NO _x	NO ₂ /NO _x	NO ₂ /NO _x
14/2 – 28/2	0.2	0.4	0.5	-	0.5
29/2 – 14/3	0.4	0.6	0.6	0.2	-
14/3 – 28/3	0.5	0.7	0.6	0.5	0.7
28/3 – 10/4	0.3	0.4	0.3	0.3	0.4
10/4 – 24/4				0.3	-
18/9 – 2/10	0.3	0.6	0.3	0.3	0.5
2/10 – 16/10	0.3	0.5	0.4	0.3	0.5
Medelvärde	0.3	0.5	0.5	0.3	0.5

Den lägre kvoten NO₂/NO_x vid Edsgatan 1 är representativt för ett trafikerat gaturum. Vid Edsgatan 19 indikerar den högre kvoten urban bakgrund. Kvoterna i både det trafikerade gaturummet och den urbana bakgrunden i Borås är motsvarande typmiljö som i Vänersborg.

2.3 Meteorologiska förhållanden under mätperioderna

Meteorologiska markbaserade data har inhämtats från en mast placerad strax utanför Borås. Under de sju mätperioderna förekom relativt stora variationer i klimatet vilket också är normalt för årstiden på våra breddgrader. De medelvärden som redovisar i figur 3 ger dock en översikt om hur klimatet har varit under perioden. En detaljerad studie av meteorologin under mätkampanjen återfinns i bilaga 2.

Medeltemperaturen var inledningsvis omkring 3°C för att under period 3 minska till ca 0°C. Under vårvinterns (februari-april), samt höstens mätningar (september-oktober) var medeltemperaturen ca 10-12°C. Medelvindhastigheten var omkring 4 m/s under de tre första mätperioderna. Under de senare mätperioderna var medelvindhastigheten lägre, strax under 2 m/s.



Figur 3. Tvåveckorsmedelvärden av vindhastighet och temperatur i Borås under mätperioden. Period 1:14/2-28/2, 2:28/2-14/3, 3:14/3-28/3, 4:28/3-10/4, 5:10/4-24/4, 6:18/9-2/10 samt period 7:2/10-16/10. Period 1-4 är under våren medan 5-7 är under hösten.

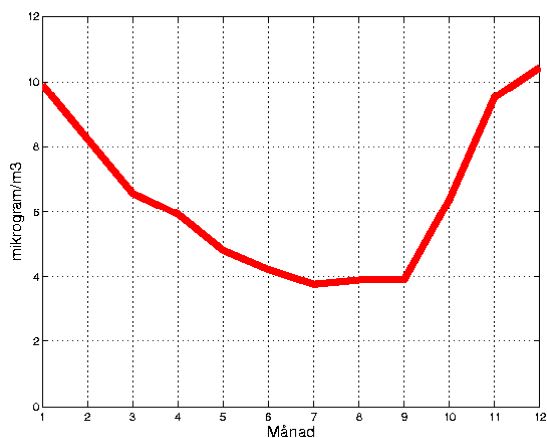
3 Bakgrundshalternas variation

För en korrekt simulering av föroreningshalter i ett område bör även den i området förekommande bakgrundshalten (från källor utanför beräkningsområdet) läggas till vid beräkningarna. Detta kan göras på ett flertal olika, mer eller mindre komplicerade sätt.

Vid realtidsberäkningar hämtas ofta mätdata direkt timme för timme från aktuella mätstationer. Detta stupar dock på att mätdata timme för timme i bakgrundsmiljö inte är tillgängliga för Västra Götaland. Andra alternativ är att lägga till ett säsongrelaterat värde. För att göra detta behöver bakgrundshalternas variation i det aktuella området studeras i mer detalj.

3.1 Bakgrundshalternas variation

Bakgrundshalten av NO₂ varierar beroende på årstid. En analys har därför gjorts avseende NO₂-halternas fördelning vid Rörvik uppdelat som medelvärde månadsvis för åren 1990-1998, se figur 4. Månadsmedelvärdena varierar från ca 4 µg/m³ i oktober till ca 10.5 µg/m³ i december.



Figur 4. NO₂-koncentrationen vid Rörvik som månadsmedelvärde 1990-98 uttryckt i µg/m³.

Av figur 4 ses att det förekommer stora skillnader i medelhalterna av NO₂ mellan säsongerna. Under oktober och november sker den snabbaste ökningen medan det är en gradvis avklingning under våren. Skillnaden mellan sommarmånaderna (maj-september) och vintermånaderna (november-januari) är ca 7 µg/m³ i medeltal. Skälet till att halterna varierar under året är fluktuationerna dels i klimatet (bl.a. spridningsförutsättningarna), dels i emissioner.

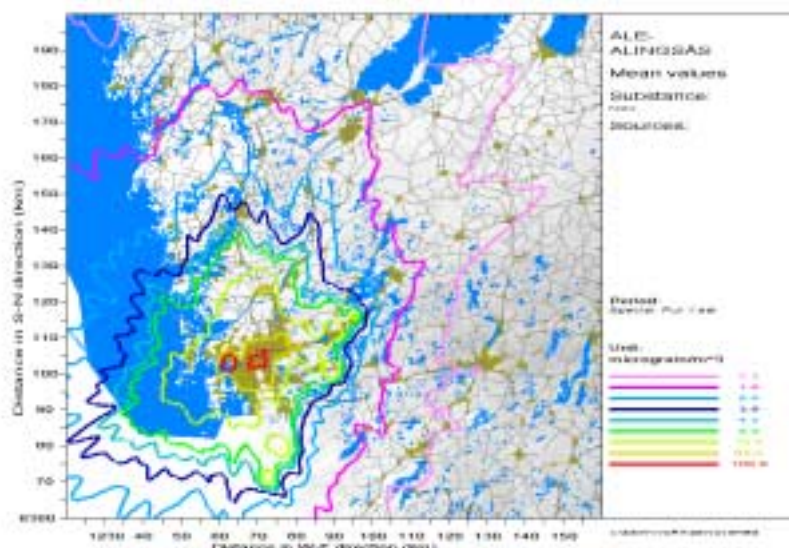
3.2 Bidrag från Göteborgsområdet

Eftersom misstanke fanns att bakgrundshalterna vid Rörvik skulle vara påverkade av ett visst bidrag från Göteborg, gjordes modellsimuleringar med ALARM-systemet för NO_x utsläppen i Göteborg med omnejd. Dessa beräkningar baserades på utsläppsdata från 1996 via EDB Väst (tabell 6).

Tabell 6. Emissioner av NO_x i Göteborgsregionen för år 1996 (EDB Väst).

Plats	NO _x (ton/år)
Göteborg (utan sjöfart)	12591
Göteborgs hamn (sjöfart)	6155
Härryda	1077
Kungsbacka	4243
Kungälv	1310
Lerum	691
Mölnadal	1916
Partille	656
Öckerö (mestadels sjöfart)	1138

Utsläppen har fördelats som areakällor i 2 x 2 km:s rutor i de aktuella områdena, jämnt fördelade över respektive kommun. Simuleringarna är gjorda som årsmedelvärden för en 10-årsperiod. Resultaten presenteras i form av bidrag till årsmedelmedelhalten av NO_x i figur 5. Även om utsläppen har geografiskt schabloniserade visar beräkningarna vilka halttillskott av NO_x som erhålles i Västra Götalands från Göteborgsregionens utsläpp.



Figur 5. Haltbidrag av NO_x (årsmedelvärde) för 1996 från emissioner i Göteborg med omnejd.

Haltbidraget från Göteborgsplymen i Vänersborg respektive Borås extraherade från spridningberäkningarna för respektive försöksperiod presenteras i tabell 7 medan spridningberäkningarna återfinns i bilaga 5. Beräkningarna visar på relativt små bidrag.

Tabell 7. Beräknat haltbidrag från Göteborg till Vänersborgs- resp. Boråsområdet.

Halter i ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Halt från Göteborg i Vänersborg	Halt från Göteborg i Borås
14/2-28/2	1.5	0.4
14/3-28/3	0.0	2.0
28/3-10/4	0.3	0.3
10/4-24/4	2.0	0.5
18/9-2/10	0.0	0.2
2/10-16/10	0.8	0.4
mv	0.8	0.6

Det simulerade haltbidraget ifrån Göteborg används senare för beräkning av halttillskottet dels regionalt, dels från långtransporterat från utlandet.

3.3 Metod för att ta hänsyn till långdistanstransport och påverkan av Göteborgsplymen

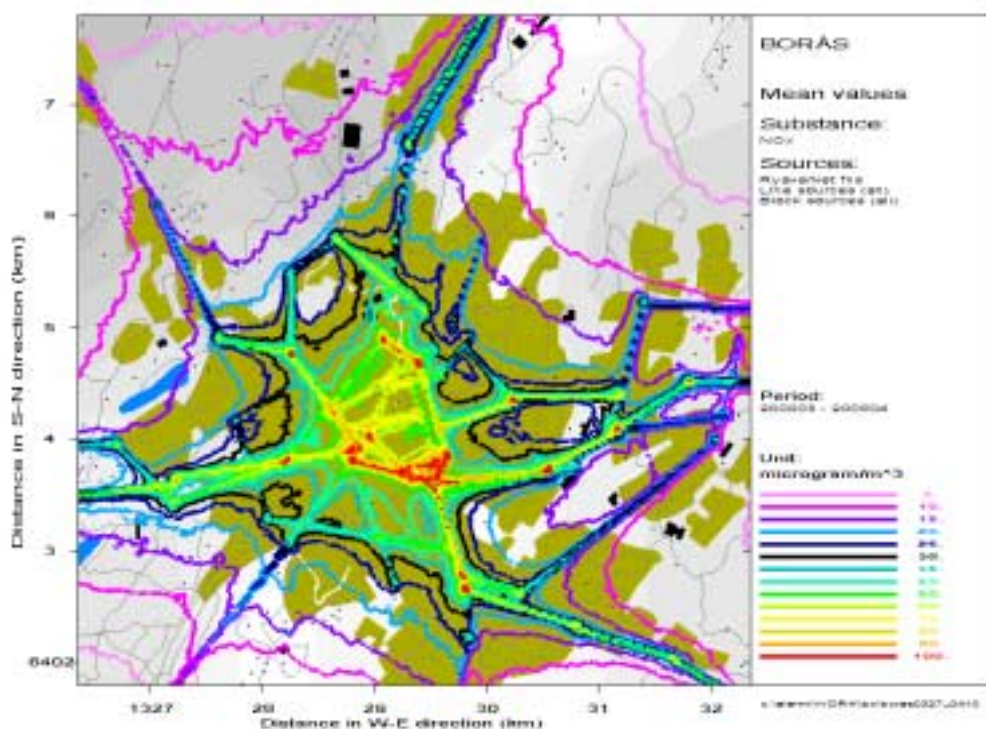
De relativt stora haltvariationer av NO_2 som kan förekomma i regionen torde till största delen bero på närtransporten från Göteborg, som i många fall ger lika stor eller större andel av den långtransporterade NO_2 -halt som transporteras in till Vänersborg respektive Borås. För att på bästa sätt inkludera detta bidrag till spridningsberäkningarna i respektive stad kommer Göteborgsplymens olika bidrag i Ekenäs, Vänersborg och Borås att användas i de fortsatta beräkningarna.

Den halt som kallas långtransporterad är den uppmätta halten vid Ekenäs minus det beräknade haltbidraget från Göteborg i Ekenäs. För de finskaliga haltberäkningarna i de olika stadsmiljöerna adderas dels det beräknade långtransporterade bidraget (vid Ekenäs), dels det simulerade haltbidraget från Göteborg i Vänersborg respektive Borås. Det är dessa skattade halter som används som bakgrundshalt in i modellen för respektive tätort.

4 Förbättring av spridningsmodellen

För att kunna göra mer finskaliga beräkningar med ALARM-systemet har en nedskalning av modellen gjorts varför halterna kan beskrivas med bättre upplösning. Förfiningen består i huvudsak av hur turbulens och omblandning lägre än taknivå hanteras i modellen. I den nya versionen har bland annat trafikgenererad turbulens inkluderats där omblandningen antas vara likartad upp till 2 meters höjd. Denna sk. gaturumsturbulens är beräknad som en faktor av turbulensen ovan tak.

Gaturumshalten beräknas dock inte endast med utgångspunkt från emissioner från trafiken på den aktuella gatan vilket ofta är fallet i vanliga gaturumsberäkningar, utan även en urban bakgrundshalt adderas.



Figur 7. Koncentrationer av NO_x i Borås för perioden 27/3 – 10/4 2000.

I tabellerna nedan jämförs beräknade med uppmätta halter. De beräknade halterna redovisas utan bidrag från vare sig Göteborg eller intransport från utlandet. Som jämförelse redovisas även de skattade bakgrundshalterna för respektive tätort under respektive mätperiod (se kap. 3.3).

Överensstämmelsen mellan mätning och beräkning är relativt bra. Ännu bättre blir överensstämmelsen om de uppskattade bakgrundshalterna läggs till de beräknade lokala halterna. I dedanstående bakgrundshalt har dock inte Trollhättans inflytande medräknats vilken har beräknats till ca $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Tabell 8a. Simulerade och uppmätta NO_x -halter ($\mu\text{g}/\text{m}^3$ uttryckt som NO_2) i Vänersborg.

Vänersborg Datum	Edsgatan 1		Edsgatan19			Bakgr. halt	
	Mätt	Beräk. utan bakgr.	Beräk. med bakgr	Mätt	Beräk. utan bakgr		Beräk. med bakgr
14/2–28/2	-	(55)	(60)	35	25	30	5
14/3–28/3	57	45	48	30	24	27	3
28/3–10/4	76	63	66	35	27	30	3
10/4–24/4	58	57	62	-	(25)	(30)	5
18/9–2/10	82	53	56	23	20	23	3
2/10–16/10	94	63	66	34	24	27	3
Medelvärde	73	56	59	31	24	27	3

Halterna vid Edsgatan 19 uppvisar bättre överensstämmelse mellan simulerad och uppmätt halt än NO_2 -halterna vid Edsgatan 1. Detta beror sannolikt på osäkerheter i trafikflödena vid

Edsgatan 1 i relation till det årsmedelvärde över trafikflödet som använts. Denna effekt har mindre betydelse vid urbana bakgrundsstationer eftersom de befinner sig längre ifrån källan.

Tabell 8b. Simulerade och uppmätta NO_x -halter ($\mu g/m^3$ uttryckt som NO_2) i Borås.

Borås	Kungsg. – Åsbog			Stadsparken			Björkängsgatan			Bakgr. halt	
	Datum	Mätt	Beräk. utan bakgr	Beräk. med bakgr	Mätt	Beräk. utan bakgr	Beräk. med bakgr	Mätt	Beräk. utan bakgr		Beräk. med bakgr
	14/2–28/2	146	100	104	54	35	39	32	25	29	4
	13/3–27/3	104	125	130	44	60	65	28	30	35	5
	27/3–10/4	102	90	93	42	45	48	27	20	23	3
	18/9–2/10	99	95	98	29	47	50	20	17	20	3
	2/10–6/10	104	90	93	36	30	33	23	22	25	3
	Medelvärde	112	100	103	41	43	46	26	23	26	3

I Borås är överensstämmelsen mycket god mellan beräknade och uppmätta halter på den hårt trafikerade Kungsgatan/Åsbogatan. Även den urbana bakgrunden mätt i Stadsparken och på Björkängsgatan överensstämmer mycket bra.

Vid jämförelser mellan uppmätta och simulerade halter måste även en viss osäkerheten i mätningarna tas med i beaktan där osäkerheten för NO_2 är $\pm 5\%$ och för NO är $\pm 15\%$.

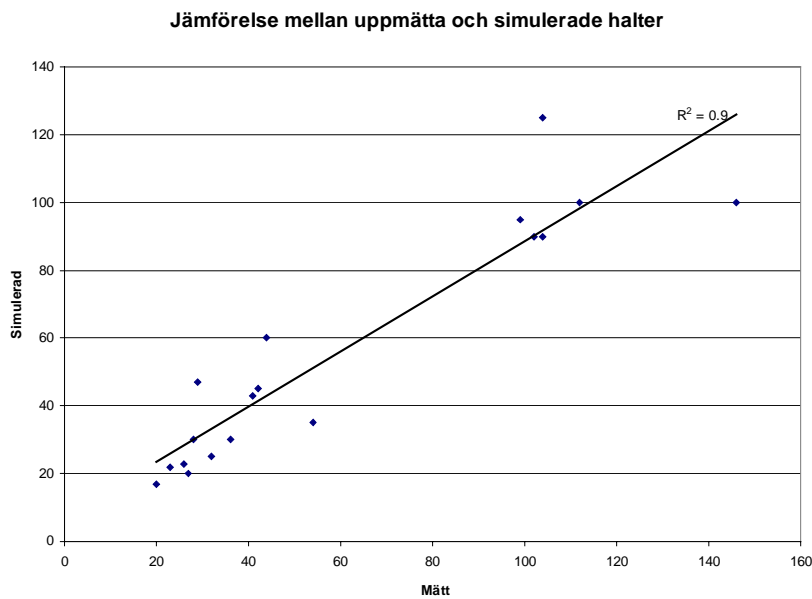
Tabell 9. Jämförelse mellan simulerade och uppmätta NO_x -halter dels utan, dels med bakgrundshalt.

Plats	Utan påslag av bakgrundshalt	Med påslag av bakgrundshalt
Edsgatan 1	-23%	-18%
Edsgatan 19	-23%	-13%
Vänerns borg medelvärde	-23%	-15%
Kungsg/Åsbog	-11%	-7%
Stadsparken	+5%	+13%
Björkängsg.	-12%	± 0
Borås medelvärde	-6%	-2%
Medelvärde tot	-13%	-5%

Tabell 9 visar att beräknade halter generellt är lägre än uppmätta. Det verkar dock föreligga en viss skillnad mellan de båda orterna, med en mindre underskattning för Borås. En skillnad i emissionsbilden mellan de bägge städerna vid mätpunkterna, är att det i Borås förekommer mer personbilstrafik medan det i Vänerns borg är mer lastbilstrafik. Detta har dock inte tagits hänsyn till i emissionsberäkningarna. Överensstämmelsen mellan simulerade och uppmätta halter blir, som väntat, bättre om bakgrundspåslag läggs till de simulerade halterna.

I Vänerns borg observerades de största skillnaderna för den trafikerade punkten. Resultaten tyder vidare på att ju bättre trafikinformation som inkluderas i modellen desto bättre kan de lokala halterna beräknas.

En beräkning av R^2 mellan uppmätta och simulerade halterna är 0.9 vilket visar på mycket bra överrenstämmelse (figur 8).



Figur 8. Jämförelse mellan uppmätta och simulerade halter samt beräkning av R^2 .

5 Slutsatser

ALARM-modellen har utvecklats genom att förbättra simuleringen av turbulensen i fin skala i relation till den storskaliga turbulensen utanför tätorten. Syftet med att förbättra modellen har varit att den ska kunna användas för att ge en indikation om risker för överskridande av miljö kvalitetsnormer. Modellen ska kunna peka ut områden där det föreligger risker för överskridanden av miljö kvalitetsnormer och där mer detaljerade studier av luftkvaliteten behöver ske.

Vidare har en metod utvecklats för att även inkludera bidrag från källor utanför beräkningsområdet. Den utvecklade modellen har testats för fem punkter i Borås och Vänersborg, där då hänsyn tas till dels långdistanstransporten, dels påverkan från Göteborgsplymen.

Den jämförelse gentemot mätdata som hittills gjorts är begränsad till sju tvåveckors jämförelseperioder i två tätorter, men resultaten av dessa jämförelser förefaller lovande vad gäller långtidsdata. Korttidsvärden har ännu inte kunnat testas beroende på att det inte görs sådana kontinuerliga mätningar inom det aktuella beräkningsområdet.

Beräkningsresultaten erhållna med den förbättrade modellen har kunnat jämföras med mätdata avseende NO och NO₂ i olika typmiljöer i de bägge tätorterna. Jämförelsen visar på en god överensstämmelse.

Jämförelserna mellan uppmätta och beräknade värden visar på bättre överensstämmelse för det område där lokala data över trafikflöden finns tillgängliga. För att kunna göra en korrekt simulering av finskaliga halter inne i tätorterna är det därför viktigt att ha tillgång till bättre emissionsdata främst för trafiken, som lokala trafikflöden och andel tung trafik.

Enligt "Guidance report on preliminary assessment under EC air quality directives" (Aalst, 1998) uppvisar en jämförelsen mellan mätdata och simulerad data för urbana diffusionsmodeller (dvs jämförbara med ALARM) en korrelationen på mellan 0.6 till 0.8. Om en korrelation beräknas mellan uppmätta och simulerade NO_x-halter vid alla punkter i Borås och Vänersborg erhålles 0.9 (figur 8).

6 Referenser

Aalst van, Roel (1998); Guidance report on preliminary assesment under EC air quality directives. technical report No 11. European Environmental Agency.

Olendrzynski, Krzysztof (1999); Operational EMEP Eularian Acid deposition Model. Meteorologica Synthesizing Center – West, Norwegian meteorological Institute.

Persson, Christer mfl (1991); Regional Spridningsmodell för Sverige. Naturvårdsverket rapport 4386.

Bilaga 1 Beskrivning av ALARM-systemet

Dynamiken i atmosfärens gränsskikt beror på komplex växelverkan av olika inflytande: lokal topografi, vegetation, moln, storskaliga synoptiska krafter (t.ex låg och högtryck), olika uppvärmning av jordytan och andra processer. Turbulenta flödet i atmosfären är extremt komplext och övergriper så många storlekar av virvlar att det i praktiken är helt omöjligt att i detalj simulera all virvlar. Studiet av det turbulenta flödet fokuseras därför på att beskriva dess statistiska egenskaper.

Modellen som används i Älvsborgs län löser ekvationerna för medelflödena, dvs för vinden, temperaturen och fuktigheten, men också ekvationer för turbulensen i atmosfären. Modellen har utvecklats vid Meteorologiska institutionen, Uppsala universitet, Uppsala under de senaste 20 åren. Den datamaskinstid som fordras för den här typen av modell är ofta av samma storleksordning som den simulerade tiden, och är alltså alltför data-maskinskrävande för att utnyttjas vid säsong eller årsberäkningar. Istället för att förenkla modellstrukturen, som skulle kunna introducera felaktiga resultat i komplex terräng, initierade Enger KM-konsult ett annorlunda tillvägagångssätt.

Ett stort bibliotek med simulerade vind-, temperatur-, specifik fuktighets-, och turbulensfält skapades genom att göra simuleringar med den meteorologiska modellen för ett stort antal vädersituationer – en så kallad meteorologisk databas. Denna databas innehåller meteorologiska data för flera tusen vädersituationer för det aktuella området.

Ett atmosfäriskt modellsystem (ALARM-systemet) har implementerats i hela Västra Götalands län. Det har redan använts operationellt i ca 10 år för delar av området – före detta Älvsborgs län -- såväl för beräkning av föroreningsituationen vid enskilt tillfälle som för beräkning av medelvärden av koncentrationerna. Alla beräkningar utförs med hjälp av meteorologiska databasen samt genom att använda lokala meteorologiska mätningar. När man använder den meteorologiska databasen för spridningsberäkningar måste man veta vilket av dessa flera tusen vind- och turbulensfält som skall användas för en viss tidpunkt.

Genom att använda mätningar av vind från ett sodarinstrument på någon plats i området och mätningar av en temperaturprofil och vind från en mast i området, kan modellen jämföra mätdata med simulerade data och leta fram den situation i databasen som ger den bästa överensstämmelsen mellan mätningar och simuleringar på de aktuella mätplatserna. Den situation som ger bästa överensstämmelse används för spridningsberäkningarna.

I sydvästra Sverige är terrängskillnaderna av storleksordningen 100 m, men samma meteorologiska modell har använts i syd-västra USA (Colorado River Valley) och Grekland (Aten-området) där terrängskillnaderna är mycket större (1000 m). Modellresultaten har presenterats i ett flertal vetenskapliga tidskrifter, se Referenser.

Applikationer inkluderar:

- Operationell luftförorenings beräkning
- Medelvärdesberäkning av föroreningar för regleringsändamål, bestämning av källparametrar och som hjälp vid stadsplanering.

- Vindenergiplanering (vindkartor)

Data från mätningarna samlas automatiskt in av datamaskinen en gång per timme. Dessa data sparas i en databas för att användas vid medelvärdesberäkningar. För att beräkna koncentrationerna under en viss tidsperiod, t.ex. en vecka, en månad eller ett år, utför man statistik på hur många gånger var och en av de tusentals vind- och turbulensfälten har uppträtt. Denna statistik tillsammans med databasen av vind och turbulensfält används sedan för beräkning av medelkoncentration och percentiler, samt vid vind energikartering.

Modellsystemet har utformats så att en person utan någon meteorologisk bakgrund skall kunna arbeta med systemet. I Västra Götalands län har databasen och programmet installerats i en dator och på endast en plats och alla kommuner och industrier i området kan ringa upp datorn över ett telefonmodem eller över internet. Systemet kan användas för att beräkna spridningen i såväl små områden (t.ex. en stad) som för hela länet.

Spridningsberäkningar kan utföras för:

- Punktkällor (skorstenar)
- Linjekällor (vägar)
- Areakällor
- Volymkällor (diffust utsläpp från byggnader)

Vid spridningsberäkningar för ett avgränsat område, beräknas punkt- och små areakällor med hjälp av en semi-Gaussisk trajektoriemodell, linje- och stora areakällor beräknas med hjälp av en s.k. 'higher-order closure' spridningsmodell.

Sammanfattning:

ALARM (Advanced Local And Regional Modelling system)

Kännetecken:

- Spridningsmodell som tar hänsyn till den lokala terrängens inverkan på vind- och turbulensfält.
- Spridningsberäkningar kan utföras för punkt-, linje- och ytkällor samt diffust utsläpp från byggnader för lätta gaser och partiklar.
- Spridningsberäkningar kan utföras vid enskilt tillfälle, t.ex. vid olyckor, så väl som för beräkning av medelvärden och percentiler.
- Modellen kan användas för prognosberäkningar
- Modellen kan användas för depositionsberäkningar
- Modellen användas för beräkning av vindenergi.
- Modellen kan köras av icke-specialister över modem eller internet.

Indata:

- Meteorologisk databas för vindar, temperaturer och turbulens.
- Mastmätningar av vind- och temperatur upp till ca 15 m, samt

- Sodar-mätningar eller höga mastmätningar för att erhålla vindar upp till några hundra meters höjd.

Utdata:

- Koncentrationer från källa/källor vid enskilt tillfälle, t.ex. för beräkning av spridning vid olycka.
- Prognos av spridningen från enskilda eller alla källor.
- Medelvärdeskoncentrationer och percentiler för eget val av period.
- Emmisioner och emmisionskartor för de olika typerna av källor.
- Meteorologiska data och statistik, så väl vid befintliga mätplatser som i andra delar av området som saknar mätningar genom att utnyttja vind- och turbulensdatabasen.
- Potentiell vindenergi samt vindenergi från specifika vindkraftverk.

Tillämpningsområde.

- Spridningsberäkningar vid olycka med prognos.
- Medelvärdes- och percentilberäkningar från enstaka eller flera källor - vägar, industrier, uppvärmning mm.
- Prognoser av föroreningshalter
- Vind- och temperaturstatistik.
- Vindenergikartering.

Validering:

- Den meteorologiska modellen är validerad mot mätningar i ett stort antal experiment.
- Den s.k. semi-Gaussiska trajektorie modellen är validerad mot mätningar i bl.a. Vänersborg-Trollhättan området.
- Den s.k. 'higher-order closure' modellen är validerad mot mätningar i Vänersborg-Trollhättan området samt i Nevada, USA. Dessutom har modellen validerats mot mätningar i Aten, Grekland.

Beräkningsplattform och användargränssnitt:

- PC, Microsoft Windows98 eller senare.
- Meny-program med hjälpinstruktioner.
- Beräkningarna kan göras på en central dator (en kraftfull PC), varvid den egna datorn då används endast som terminal.
- Uppkoppling till systemtet görs via Internet eller modem.

Referenser Alarm-modellen

Enger L. (1986) A higher order closure model applied to dispersion in a convective PBL. *Atmospheric Environment* **20**, 879-894.

Tjernström M., Enger L. and Andrén A. (1988) A three-dimensional numerical model for studies of atmospheric flows on the meso- γ -scale. *Journal of Theoretical and Applied Mechanics*, 1988 special issue supp no 2 to vol. 7.

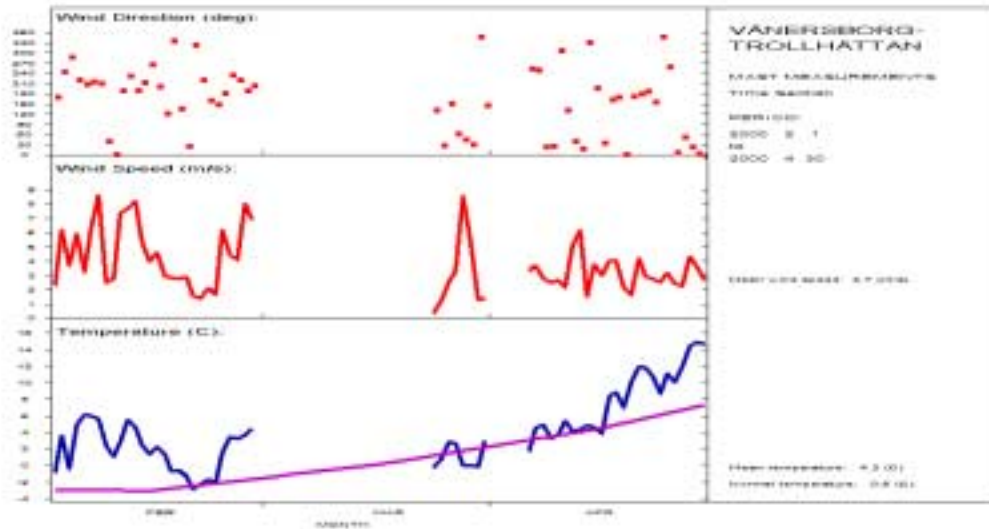
Enger L. (1990a) Simulation of dispersion in moderately complex terrain - Part A. The fluid dynamic model. *Atmospheric Environment* **24A**, 2431--2446.

Enger L. (1990b) Simulation of dispersion in moderately complex terrain - Part B. The higher-order closure dispersion model. *Atmospheric Environment* **24A**, 2447--2455.

- Enger L. (1990c) Simulation of dispersion in moderately complex terrain - Part C. A dispersion model for operational use. *Atmospheric Environment* **24A**, 2457--2471.
- Enger L. and Tjernström M. (1991) Estimating the effects on the regional precipitation climate in a semiarid region caused by an artificial lake using a mesoscale model. *J. of Appl. Met.* **30** No 2, 227--250.
- Melas D. and Enger L. (1993) A numerical study of flow in Athens area using the MIUU model. *Environment Software* **8**, 55-63.
- Enger L., Koracin D., Yang X. (1993) A numerical study of the boundary layer dynamics in a mountain valley --- Part 1. Model validation and sensitivity experiments. *Boundary-Layer Met.* **66**, 357-394.
- Koracin D. and Enger L. (1994): A numerical study of the boundary layer dynamics in a mountain valley - Part 2. Observed and simulated characteristics of the atmospheric stability and the local flows. *Boundary-Layer Met.* **69**, 249-283.
- Enger L. and Koracin D. (1995) Simulations of dispersion in complex terrain using a higher-order closure model. *Atmospheric Environment* **29**, 2449-2465.
- Grisogono B. (1995): Wave drag effects in a mesoscale model with a higher order closure turbulence scheme. *J. Appl. Meteorol.*, **34**, 941-954.
- Switzer P., Enger L., Hoffer T.E., Koracin D. and White W.H. (1996): Ambient sulfate concentrations near Grand Canyon as a function of fluctuating loads at the Mohave Power Project: An exploratory analysis of an atmospheric experiment. *Atmospheric Environment* **30**, 2551-2564.
- Svensson G. (1996): A numerical model for chemical and meteorological processes in the atmospheric boundary layer – Part I. A model description and a one-dimensional parameter study. *J. of Applied Meteorology*.
- Svensson G. (1996): A numerical model for chemical and meteorological processes in the atmospheric boundary layer – Part II. A case study of the air-quality in Athens, Greece. *J. of Applied Meteorology*.
- Enger L. and Grisogono B. (1998) The response of bora-type flow to sea surface temperature. *Quart. J. R. Meteorol. Soc.* **124**, 1227-1244.
- Samuelsson P. and Tjernström M. (2000): Mesoscale flow modification induced by land-lake surface temperature and roughness differences. Submitted to *J. Geophys. Res.*
- Tjernström M. and Grisogono B. (2000): Simulations of supercritical flow around points and capes in a coastal atmosphere. *J. Atmos. Sci.*, **57**, 108-135.
- Abiodun B. and Enger L. (2001): The role of advection of fluxes on modelling dispersion in convective boundary layer. Accepted to be published in *Quart. J. R. Meteorol.*

Bilaga 2 Detaljerad studie av meteorologin under mätkampanjen

Mätningar av meteorologiska data har erhållits från Vänersborg - Malöga flygplats och Borås. Figurerna 1-4 visar dygnsmedelvärden av vind och temperatur under delar av mätperioden. Observera att skalorna är olika i de olika figurerna.



Figur 2:1. Vindriktning, vindhastighet och temperatur som funktion av tiden, 1 februari-30 april 2000 vid masten vid Malöga i Vänersborg.

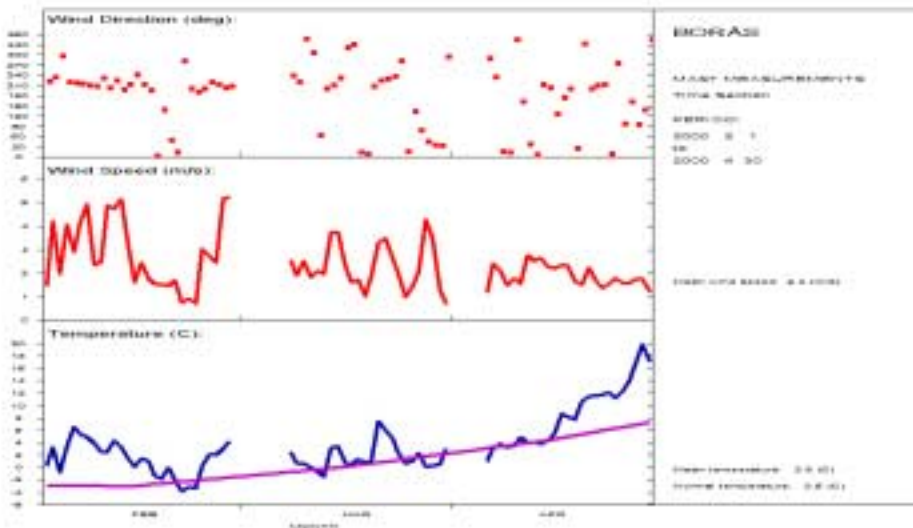


Fig 2:2. Vindriktning, vindhastighet och temperatur som funktion av tiden, 1 februari-30 april 2000 vid masten utanför Borås.

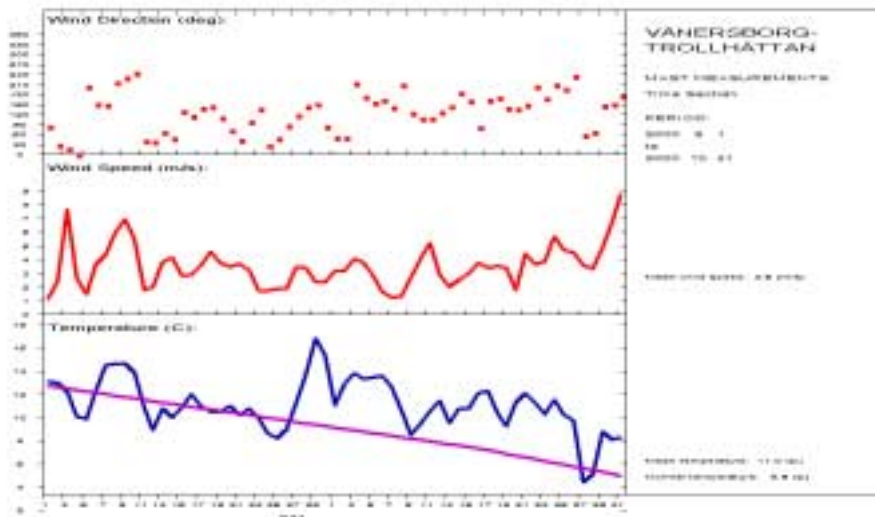


Figure 2:3. Vindriktning, vindhastighet och temperatur som funktion av tiden, 1 september-31 oktober 2000 vid masten vid Malöga i Vänersborg.

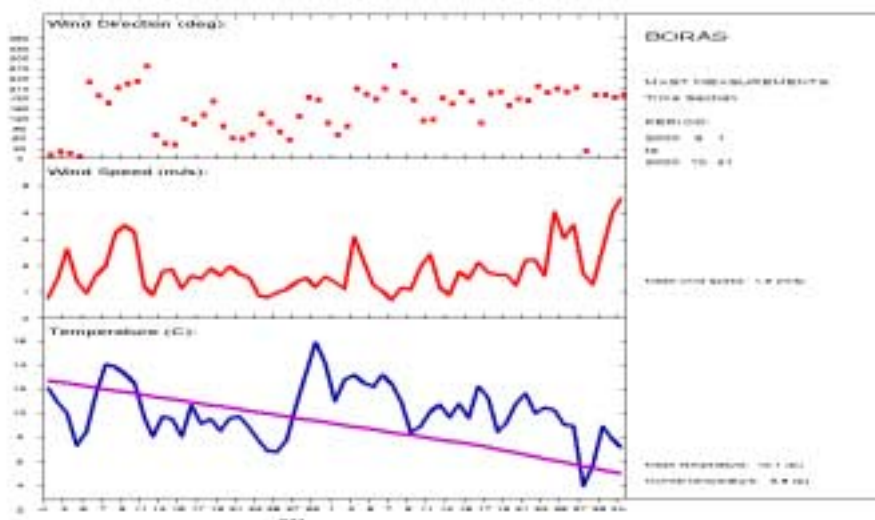


Figure 2:4. Vindriktning, vindhastighet och temperatur som funktion av tiden, 1 september - 31 oktober 2000 vid masten starx utanför Borås.

Under perioden 29/2 till 14/3 saknas stor del av mätdata både i Vänersborg och Borås varför denna period inte har använts vid utvärderingen.

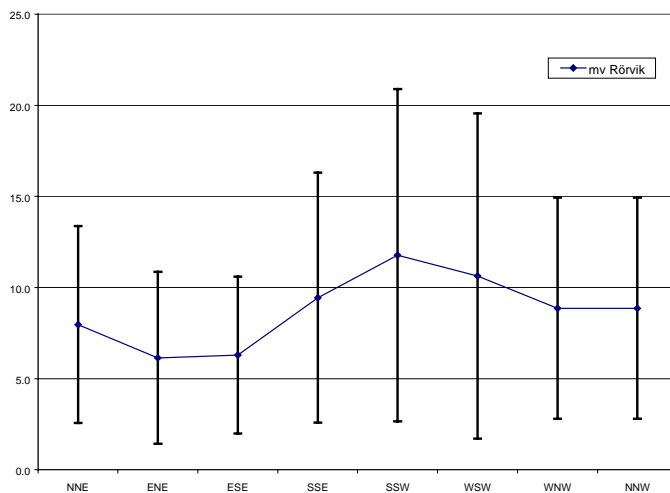
Det blåste mycket kraftigare vid Malöga flygplats än i Borås. Detta beror på de olika terrängförhållandena vid platserna. Skillnaderna i medeltemperatur beror huvudsakligen på platsernas höjd över havet. Malöga ligger ca 40 m över havet medan Borås ligger ca 130 m över havet. Vindriktningen varierar kraftigt under mätperioderna och eftersom den är lokalt påverkad av terrängen kan ingen direkt slutsats om den förhärskade höjdvinden dras från dessa figurer.

Bilaga 3 Detaljerad beskrivning av bakgrundshalterna

Halterna i luft styrs primärt av luftmassornas ursprung. Luftmassor från Mellan- eller Centraleuropa innehåller ofta mer föroreningar än då luftmassan härrör ifrån Ishavet. Långtransporten av luftföroreningar sker på hög nivå (ca 1000 m). Eftersom vindriktningen i markplan ofta inte är samma som vindriktningen på så hög höjd kan inte alltid sk episoder (höghaltstillfällena av luftföroreningar orsakade av långtransport) förutsägas genom att undersöka markbaserade vindmätningar. I syfte att beskriva en luftmassas transportväg genomförs trajektoriesimulering (d.v.s. ett luftpakets förflyttning kan följas bakåt i tiden), där bl.a. höjdvinden används för beräkningarna.

En annan viktig process som påverkar bakgrundshalterna i marknivå är möjligheten till nedblandning av luftföroreningarna från de högre luftlagren. För att uppskatta bakgrundshalterna under en viss period måste därför såväl transportriktningar på hög höjd som nedblandningsmöjligheten analyseras.

För att utreda bakgrundshalternas vindriktningsberoende har vindriktningen från 1000 m (Borås) jämförts med bakgrundshalterna vid Rörvik (figur 3:1).



Figur 3:1. Medelvärde samt standardavvikelsen av NO₂ halterna vid Rörvik beräknat från vinterhalvåret 1990-98 fördelade i 8 vindriktningsklasser baserade på vinddata från Borås.

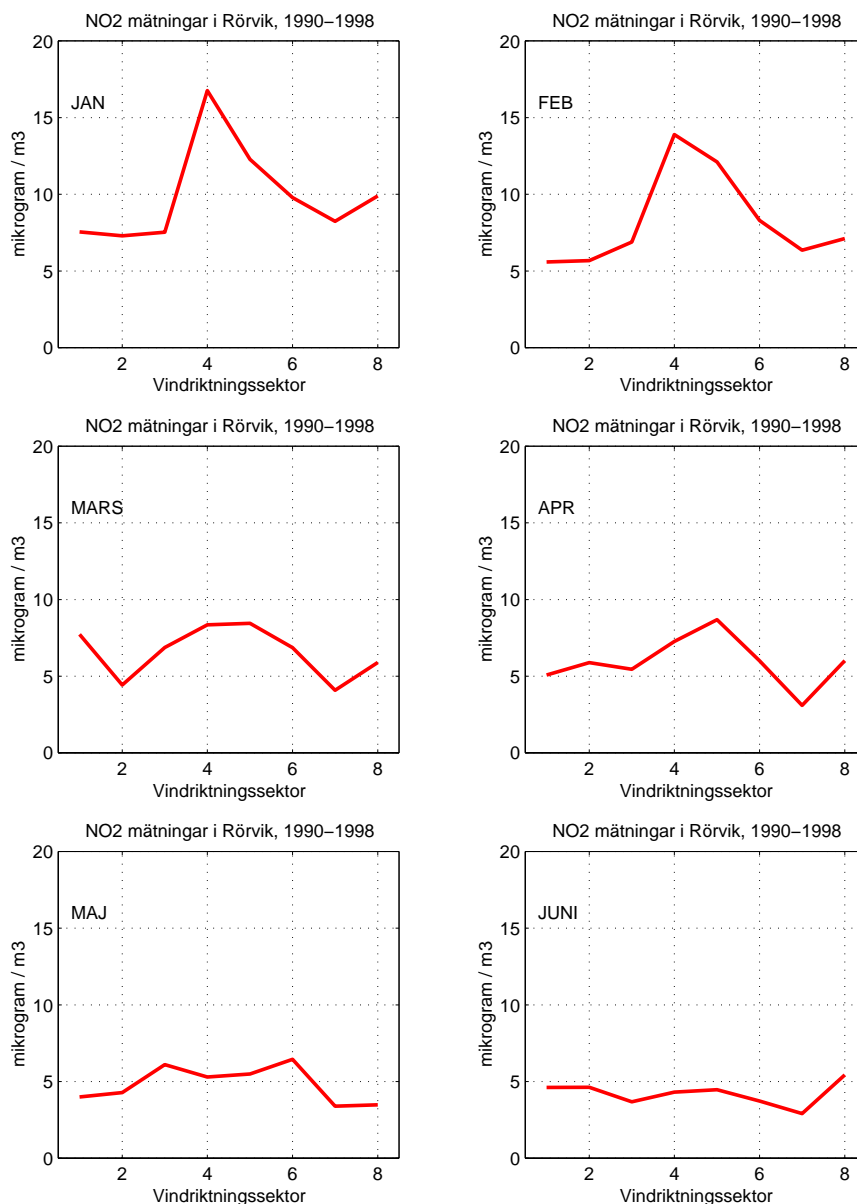
Det förekommer en tydlig skillnad mellan de olika riktningarna, både vad gäller medelvärde och variationernas storlek. De maximala halterna erhålles då höjdvinden är från den sydliga till västliga sektorn S till SW, S till SE och SW till W. Medelhöga halter erhålles vid transporter från västliga till nordliga sektorn. Källområden i denna riktning är främst Storbritannien. Det finns även en viss förhöjning i sektorn N till NE vilket skulle kunna vara bidrag från Göteborg.

Längden på staplarna som visar standardavvikelsen vid medelvärdesberäkningen, antyder att det förekommer stor spridning av värdena speciellt i sektorerna med de högre halterna. Låga halter förekommer i alla vindriktningsklasser och skulle kunna representeras av tillfällena då

det blåser ifrån mer förorenad sektor men då ingen nedblandning till markplan sker m.fl förklaringar. En jämförelse av bakgrundshalter vid Rörvik och höghöjds vinden (1000 m) baserad på *helår*.

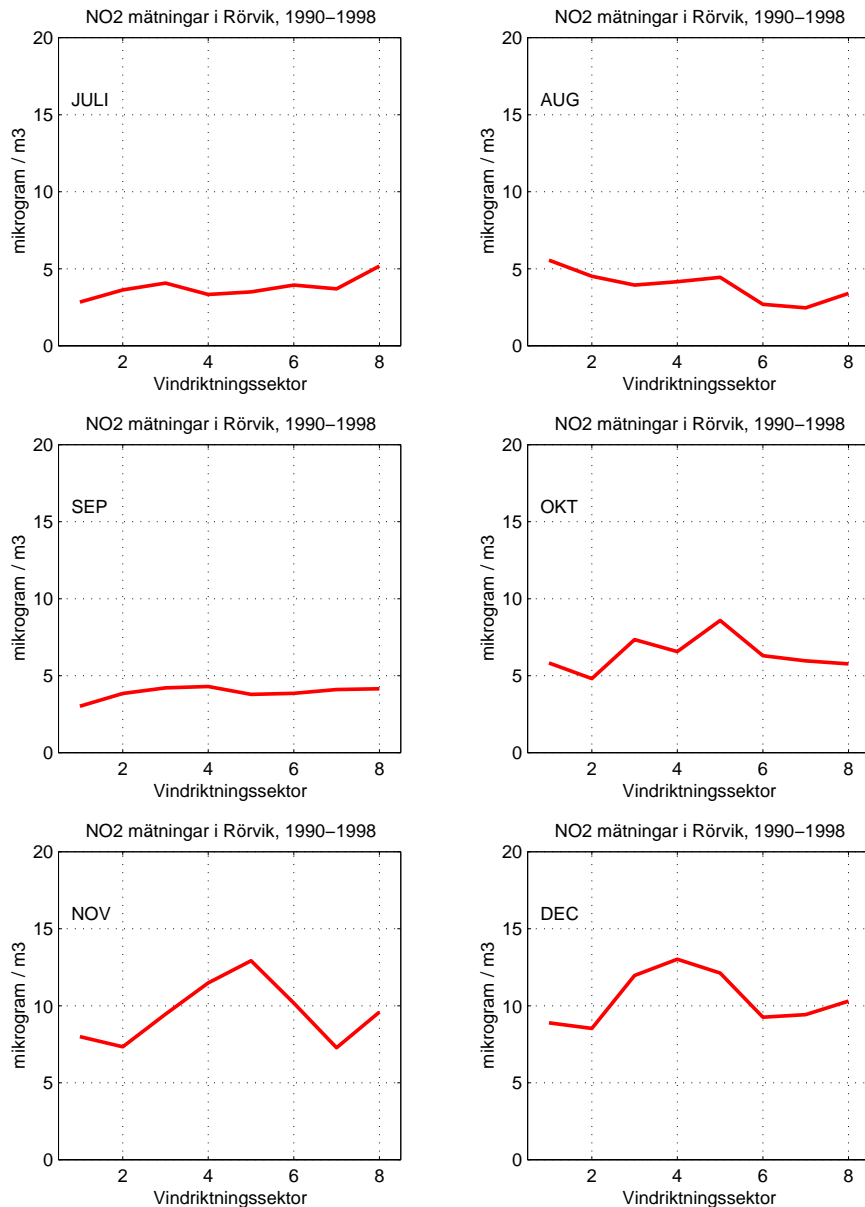
Eftersom variationerna är så stora gjordes även en noggrannare undersökning av bakgrundshalternas fluktuationer dels i tid dels i respektive vindriktning under hela året. Detta för att på ett så korrekt sätt som möjligt kunna ange den för vädret rådande bakgrundshalten.

En differentiering har därför gjorts genom att statistisk beräkna NO₂-halter uppmätta i Rörvik i kombination med höjdvinddata från SODAR-mätningar i Vänersborg och Borås. Figureorna 3:2 och 3:3 visar koncentrations fördelningen för de olika månaderna samt för åtta vindsektorer.



Figur 3:2. Medelvärde av NO₂ koncentrationer i Rörvik januari (överst), t.o.m. juni (nederst) för åren 1990-1998 där halterna från varje månad är uppdelade på åtta vindsektorer. 1=NE, 2=E, 3=SE, 4=S, 5=SW, 6=W, 7=NW och 8=N.

Mönstret som framträdde i figur 3:1 med höga halter på vintern ses över från november-februari (figur 2:2 och 3:3) men här lokaliserat till vindsektor 4 och 5. Under sommaren maj-augusti samt även under september är halterna i stort sett lika oavsett vilken vindsektor de kommer ifrån. I mars och april samt oktober återfinns vinterns mönster med högst halter från vindsektorerna 4 och 5, men inte med lika stora skillnader.



Figur 3:3. Medelvärde av NO₂ koncentrationer i Rörvik (överst) juli t.o.m. december (nederst) för åren 1990-1998 uppdelade på åtta vindsektorer. 1=NE, 2=E, 3=SE, 4=S, 5=SW, 6=W, 7=NW och 8=N.

För att få en uppfattning av medelkoncentrationernas variationer för olika år och vindsektorer har månadsmedelvärden för varje enskilt år beräknats. Detta är även här uppdelat i de åtta vindsektorerna, se Figurna 3:4 och 3:5.

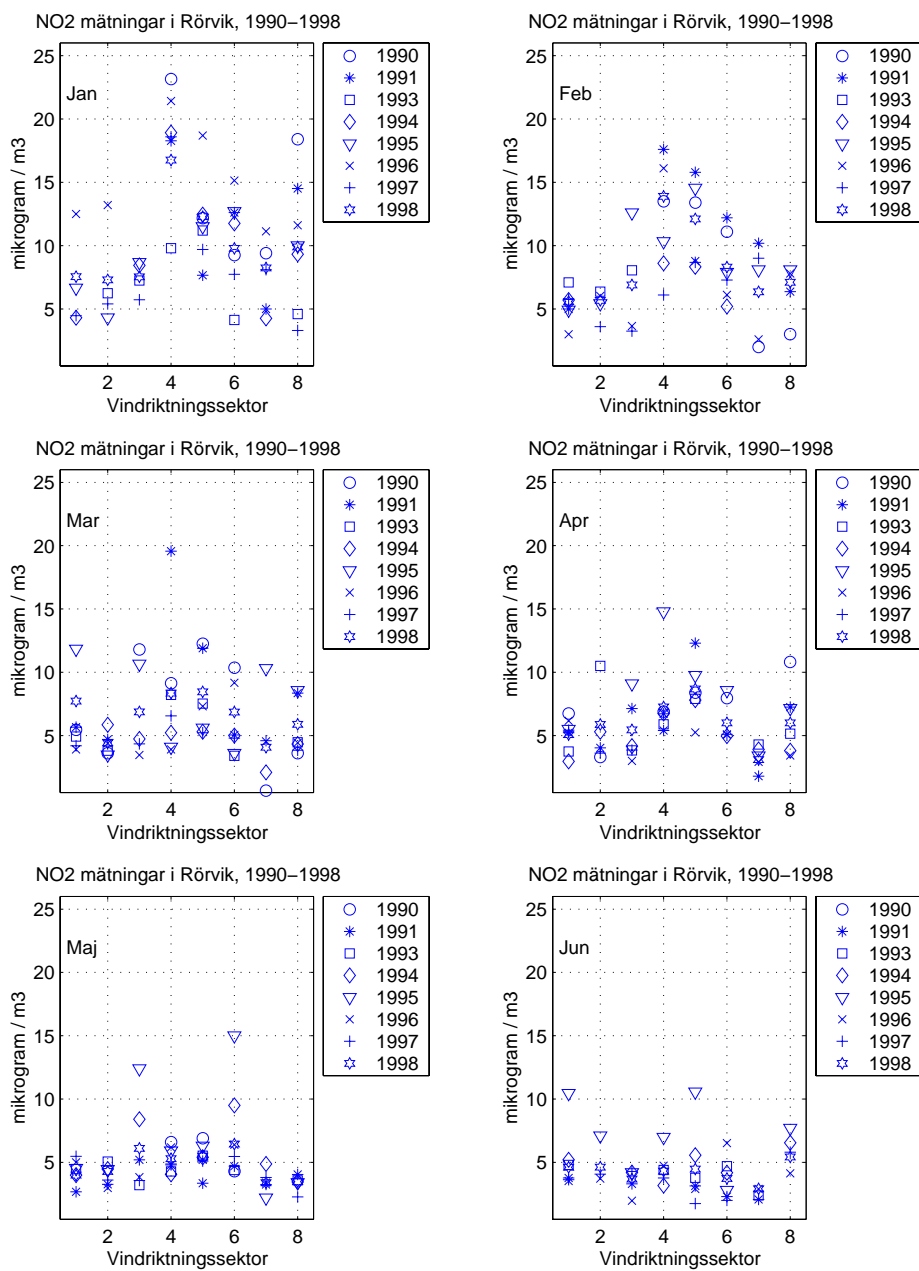


Figure 3:4. Medelkoncentrationer för enskilda år och månader under perioden 1990-1998. Figuren visar koncentrationen för månaderna januari t.o.m. juni. 1=NE, 2=E, 3=SE, 4=S, 5=SW, 6=W, 7=NW och 8=N.

Under november-februari är spridningen mellan de olika åren stor medan det under sommarmånaderna är liten spridning. Medelhalterna under vår och höst uppvisar också en spridning dock inte lika stor som under vintern.

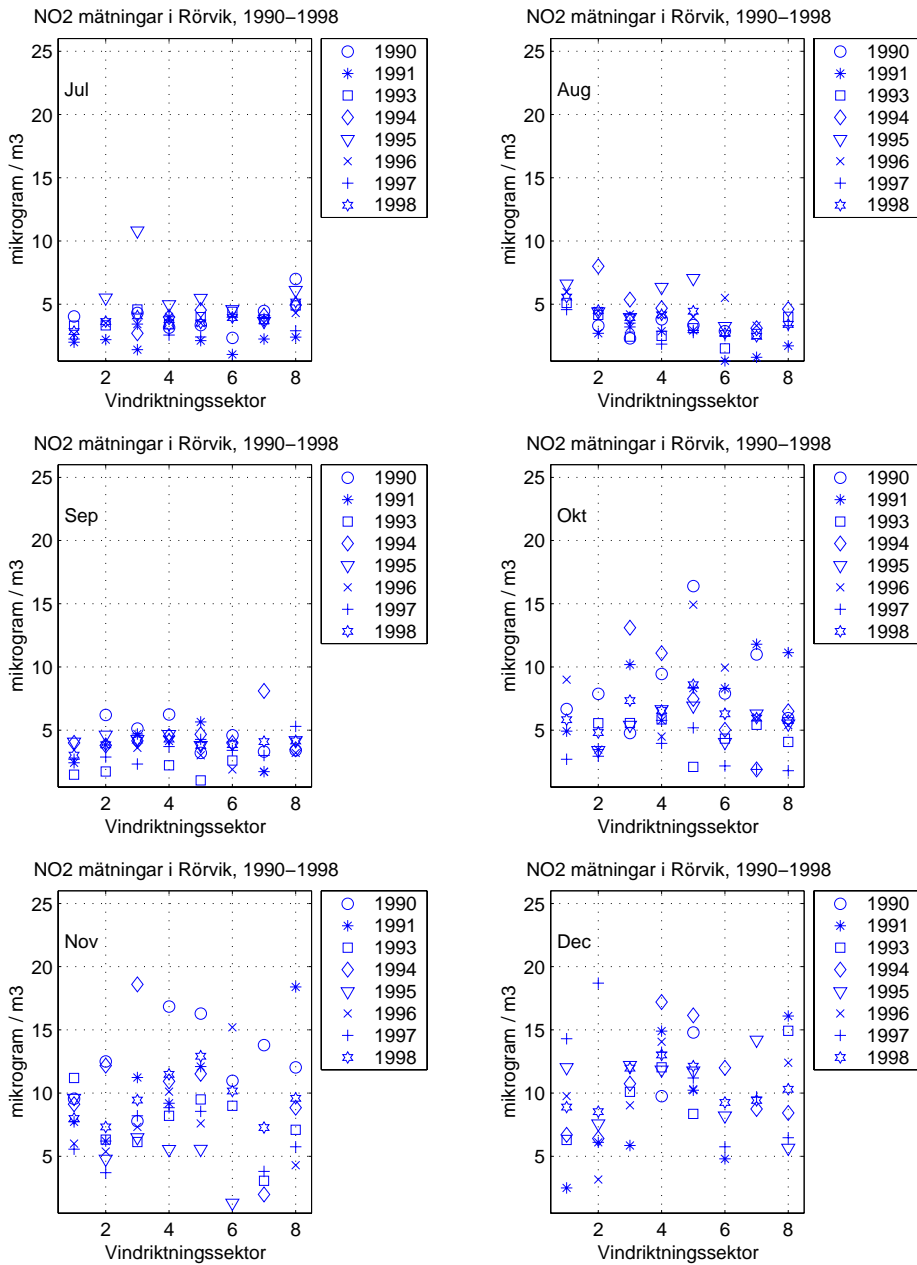
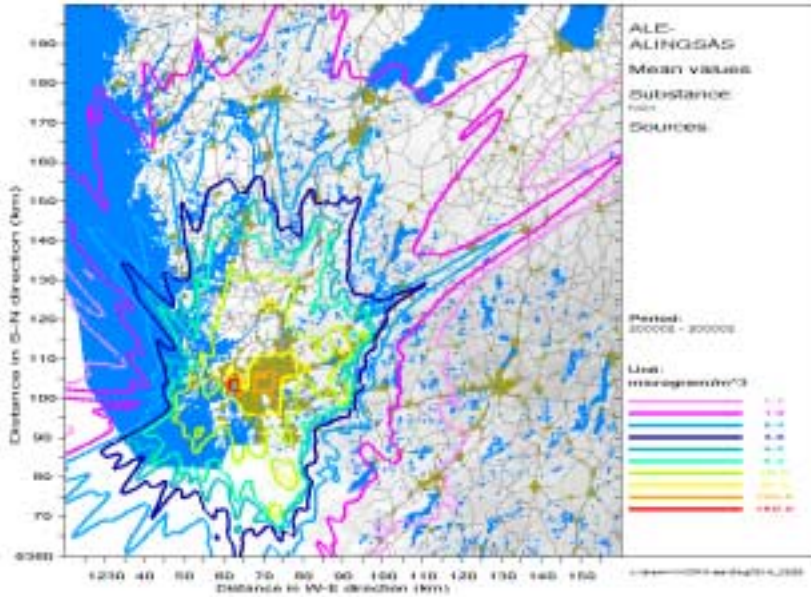


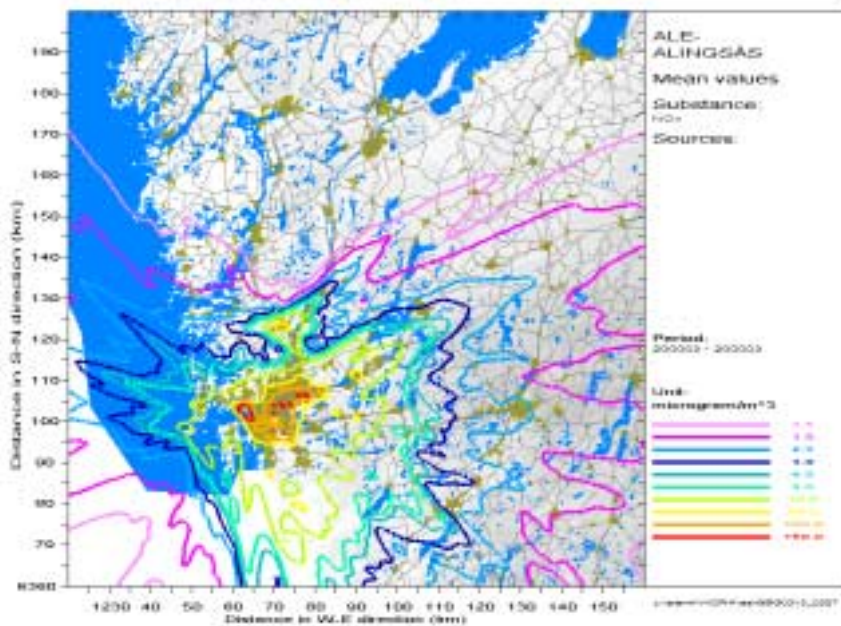
Figure 3:5. Medelkoncentrationer för enskilda år och månader under perioden 1990-1998. Figuren visar koncentrationen för månaderna juli t.o.m. december. 1=NE, 2=E, 3=SE, 4=S, 5=SW, 6=W, 7=NW och 8=N.

Bilaga 4 Spridningsberäkningar för Göteborg under försöksperioden

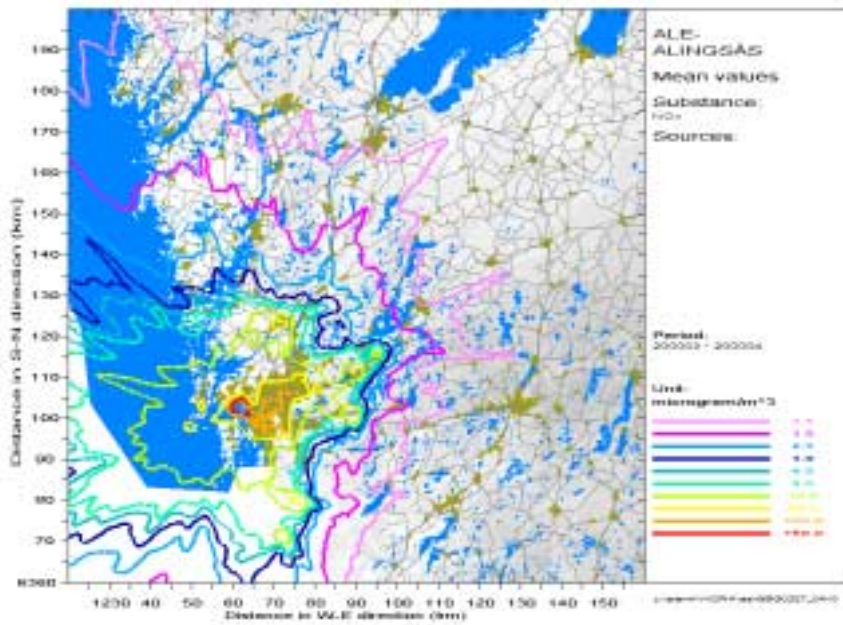
Spridningsberäkningar (fig 1-6) över emissionerna i Göteborg för försöksperioden.



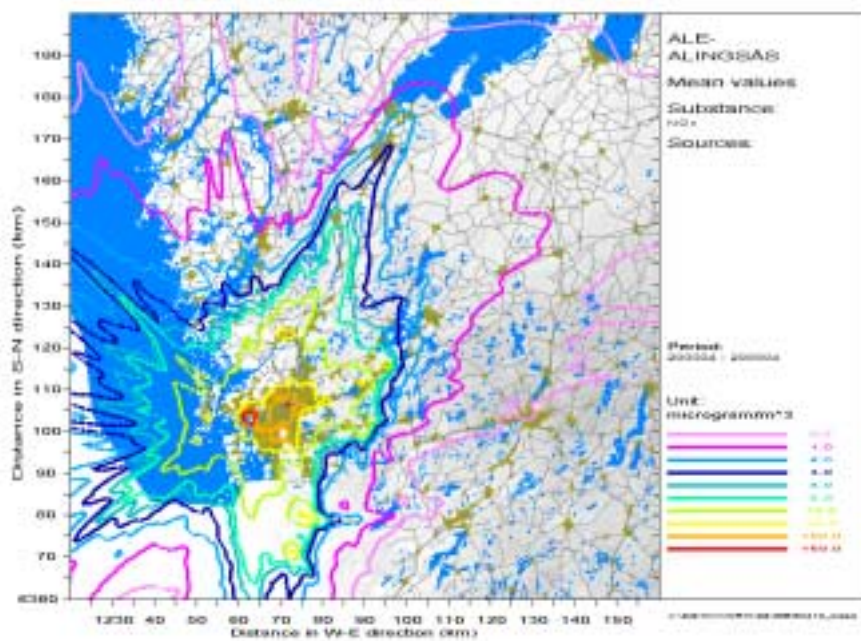
Figur 4:1. Koncentration av NO_x från emissioner i Göteborg med omnejd för perioden 14/2 till 28/2.



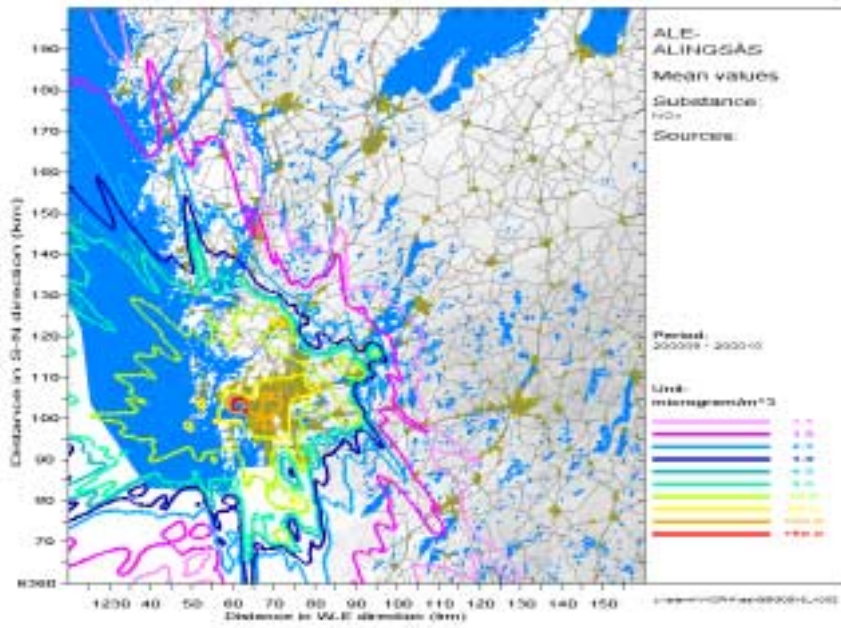
Figur 4:2. Koncentration av NO_x från emissioner i Göteborg med omnejd för perioden 13/3 till 27/3.



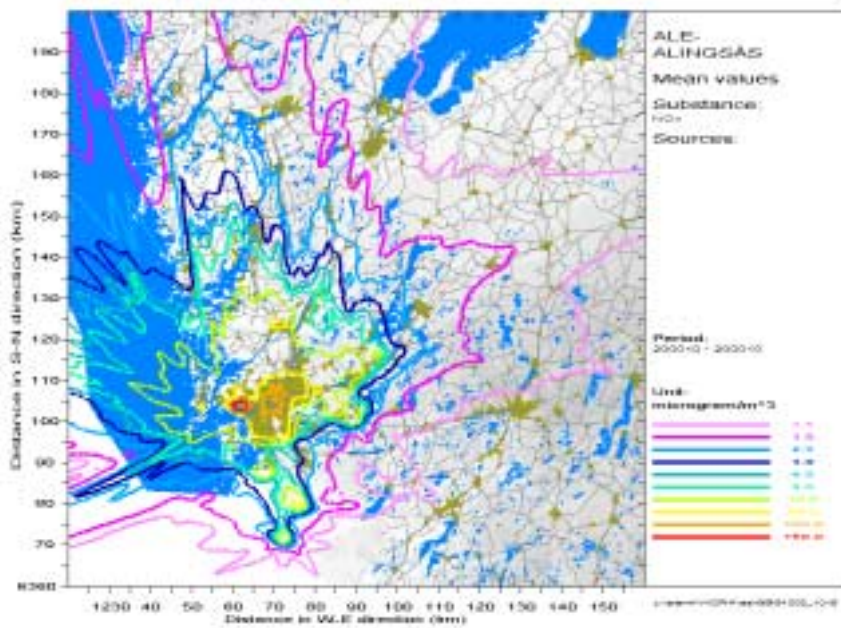
Figur 4:3. Koncentration av NO_x från emissioner i Göteborg med omnejd för perioden 27/3 till 10/4.



Figur 4:4. Koncentration av NO_x från emissioner i Göteborg med omnejd för perioden 10/4 till 24/4.



Figur 4:5. Koncentration av NO_x från emissioner i Göteborg med omnejd för perioden 18/9 till 2/10.



Figur 4:6. Koncentration av NO_x från emissioner i Göteborg med omnejd för perioden 2/10 till 16/10.