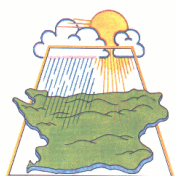


**Sjöfartens utsläpp till luft
runt Skåne
samt
haltberäkningar för
hamnstäderna
Helsingborg, Malmö,
Trelleborg och Ystad**

Lotten J. Johansson

Miljöförvaltningen, Malmö stad för
Skånes Luftvårdsförbund



Skånes Luftvårdsförbund

Ansvarig: Lotten Johansson
Förvaltning: Miljöförvaltningen
Avdelning: Avdelningen för miljö- och hälsoskydd



Förord

Denna kartläggning av sjöfartens utsläpp till luft är utförd av Miljöförvaltningen i Malmö stad på uppdrag av Skånes Luftvårdsförbund. Syftet med uppdraget är att uppdatera sjöfartens utsläpp i den gemensamma emissionsdatabasen för Skåne samt uppskatta sjöfartens påverkan på halterna av luftföroreningar i Skåne på regionalnivå samt i de stora tätorterna med hamnar; Helsingborg, Malmö, Trelleborg och Ystad.

Lotten J Johansson har varit projektansvarig. Rapporten är granskad av Susanna Gustafsson och Henric Nilsson båda anställda vid avdelningen för Miljö- och Hälsoskydd vid Miljöförvaltningen i Malmö stad.

Ett stort tack riktas åt Lars-Göran Hansson på TT-line, Johan Pettersson på miljöförvaltningen i Trelleborgs stad och Lars Jacobsson på Helsingborg stad som fungerat som hjälp och bollplank under arbetet. Utredningen hade inte varit möjlig utan välvillig inställning från verksamhetsutövarna vid respektive hamn som bidraget med värdefulla mätdata samt detaljerad information om verksamheterna. Slutligen vill jag tacka alla hamnkontor, kommuner och styrelsemedlemmar i Skånes luftvårdsförbund som lämnat givande synpunkter på rapporten.

Malmö maj 2015
Lotten J. Johansson

Sammanfattning

Sjöfartens påverkan på luftkvaliteten i de skånska kuststäderna är en högst aktuell fråga. Öresundsregionen är speciellt påverkad på grund av den omfattande förbipasserande fartygstrafik som bidrar till förhöjda regionala bakgrundshalter av luftföroreningar längs kusten. På uppdrag av Skånes luftvårdsförbund har sjöfartens utsläpp kartlagts med hjälp av systemet Shipair. Syftet var att utvärdera användningen av systemet Shipair för att uppskatta sjöfartens påverkan på halterna av luftföroreningar i Skåne på regionalnivå samt i hamnstäderna; Helsingborg, Malmö, Trelleborg och Ystad.

SMHI och Sjöfartsverket har utvecklat ett beräkningssystem som med hjälp av AIS (Automatic Identification System) identifierar fartygen och beräknar dess emissioner till luft. Utredningen har kartlagt utsläppen av kväveoxider (NO_x), svaveldioxid (SO₂) och partiklar (PM₁₀) från sjöfarten – dess storlek, geografiska utbredning i farlederna kring Skånes kuster och tidsvariation – under perioden 1 januari 2011 till 1 jan 2012. För beräkning av sjöfartens haltbidrag användes Skånes luftvårdsförbunds emissionsdatabas.

Under 2011 trafikerade ca 4250 unika fartyg Skånes farleder, varav ca 32 000 anlöp gjordes till Helsingborgs hamnar, ca 2200 anlöp till Malmös hamnar, ca 5550 anlöp till Trelleborgs hamn och ca 3500 anlöp till Ystad hamn. Fartygens gemensamma utsläpp beräknades till 46 200 ton kväveoxider (NO_x). Utredningen visar att sjöfartens utsläpp har en tydlig påverkan på luftkvaliteten i Skåne, främst i den västra delen och i hamnstäderna. I Skånes regionala bakgrundsmiljö, ute på landsbygden, bidrar sjöfartens utsläpp med ca 5 % kväveoxider, 15 % svaveldioxid och <1 % partiklar (PM₁₀). Observera att resultaten avser förhållanden år 2011. Sedan 1 januari 2015 har nya krav på svavelhalten i bränslet (max 0,1 procent) börjat gälla vilket sannolikt har minskat sjöfartens utsläpp av svaveldioxid.

I hamnstäderna är bidraget från sjöfarten desto större. Kartläggningen och haltberäkningarna visar att för de städer där hamnen ligger centralt, fram för allt i Trelleborg och Helsingborg, är haltbidraget från sjöfarten som störst – 50 % respektive 40 % avseende kväveoxider. I Ystad och Malmö är haltbidraget av kväveoxider lägre – 25 % respektive 5 %. På grund av att den förbipasserande sjöfarten sker nära Helsingborg utgör bidraget 15 % av kväveoxidhalten i Helsingborg. För övriga hamnstäder bidrar den förbipasserande sjöfarten med max 5 % av halten kväveoxider. Utsläppen och haltbidraget från stillastående fartyg vid kaj har länge varit önskvärt underlag vid diskussion om införande av land-el i hamnarna. Resultaten visar på en relativt stor potential för att minska utsläppen från stillastående fartyg i hamn för de hamnar som idag installerat land-elsuppkoppling – Helsingborg, Trelleborg och Ystad. I Malmö är avståndet mellan sjöfartens utsläpp och Malmö centrum större än för de andra hamnstäderna. Avståndet till utsläppen och tack vare gynnsamma vindförhållanden gör att sjöfartens haltbidrag blir lågt i Malmö.

Utvärderingen av modellerade luftföroreningshalter visar att storleken på utsläppen och den geografiska positionen för fartygens utsläpp, beräknade med hjälp av Shipair, är representativt, för Skåne och dess hamnar. Dock gör antaganden om användning av hjälpmotorer för fartyg vid kaj att resultaten kring haltbidraget från sjöfart vid kaj bör tolkas med försiktighet. Dessutom behöver kvaliteten på modellberäknade dygnsmedelvärden öka i hamnstäderna. Sjöfartens utsläpp i hamnområdena måste bättre återspegla verkliga tidsvariationer och utsläppshöjder. Slutligen krävs mer forskning för att säkerställa emissionsfaktorerna för partiklar och därmed sjöfartens påverkan på luftkvaliteten i Skåne avseende partiklar.

Begreppsförklaring

Emissioner

Utsläpp som beskriver flöden av gaser/partiklar till atmosfären, vilka mäts i g/sek eller ton/år.

Halter

Koncentrationer av luftföroreningar i en volym luft, vilka mäts i $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Vilka halter ett utsläpp ger upphov till beror på emissionens storlek, närheten till utsläppsplatsen samt det rådande vädret.

Haltbidrag

Haltbidrag avser den andel av halten (uttryckt i procent eller koncentration) vid en plats eller område som utgörs av en eller flera källors emissioner. T.ex. vid en gata bidrar vägtrafikens utsläpp till 80% av den totala halten kvävedioxid, dvs vägtrafikens haltbidrag är 80 %.

MKN (Miljökvalitetsnormen)

Miljökvalitetsnormen är ett gränsvärde för en förorening. I luftkvalitetsförordningen (2010:477) återfinns de svenska miljökvalitetsnormerna för föroreningar i utomhusluft. Normerna bidrar till att skydda människors hälsa och miljön samt att uppfylla krav i EU-direktiven 2008/50/EG och 2004/107/EG.

Gatumiljö

Gator i en tätort där människor sannolikt exponeras för de högsta halterna av luftföroreningar.

Regional bakgrund

Område på landsbygd eller liknande på långt avstånd från utsläppskällor som t.ex. trafik och industrier.

Urban bakgrund

De områden och platser i en tätort där föroreningsnivåerna är representativa för den exponering som befolkningen i allmänhet är utsatt för. Vid mätning i urban bakgrund placeras därför mätutrustningen i exempelvis parker, på torg eller på ett tak, dvs. inte direkt i anslutning till trafikintensiva gator eller vid en industri.

Innehållsförteckning

Förord	2
Sammanfattning	3
Begreppsförklaring	4
Innehållsförteckning	5
Inledning	6
Bakgrund.....	6
Omfattning.....	6
Metodik	7
Resultat	18
Diskussion och slutsatser	34
Referenser	38

Inledning

Syftet med denna utredning är att uppdatera Skånes emissionsdatabas med aktuell kunskap om utsläpp från sjöfarten rund Skånes kuster genom att använda och utvärdera kunskap från samarbetsprojektet och systemet Shipair (Sjöfartsverket, SMHI och Naturvårdsverket).

Utredningen syftar även till att granska sjöfartens påverkan på halterna av luftföroreningar i Skåne som helhet dvs. sjöfartens haltbidrag i till luftkvaliteten i den regionala bakgrundsmiljön samt dess lokala påverkan i hamnstäderna Helsingborg, Malmö, Trelleborg och Ystad.

Utredningen är utförd av miljöförvaltningen i Malmö stad på uppdrag av Skånes Luftvårdsförbund.

Bakgrund

Hur stor påverkan som sjöfarten har på luftkvaliteten i de skånska kuststäderna är en högst aktuell fråga. Luftkvaliteten i både Malmö och Helsingborg har under vissa år överskridit de lagstadgade normer som gäller för en god luftkvalitet avseende luftföroreningen kvävedioxid (NO_2). Vägtrafiken är dock den enskilt viktigaste källan, men signifikanta bidrag kommer även från industri, energiproduktion, arbetsmaskiner och sjöfart. Öresundsregionen är även speciellt påverkad på grund av den omfattande förbipasserande sjötrafik som bidrar till förhöjda regionala bakgrundshalter av luftföroreningar längs kusten.

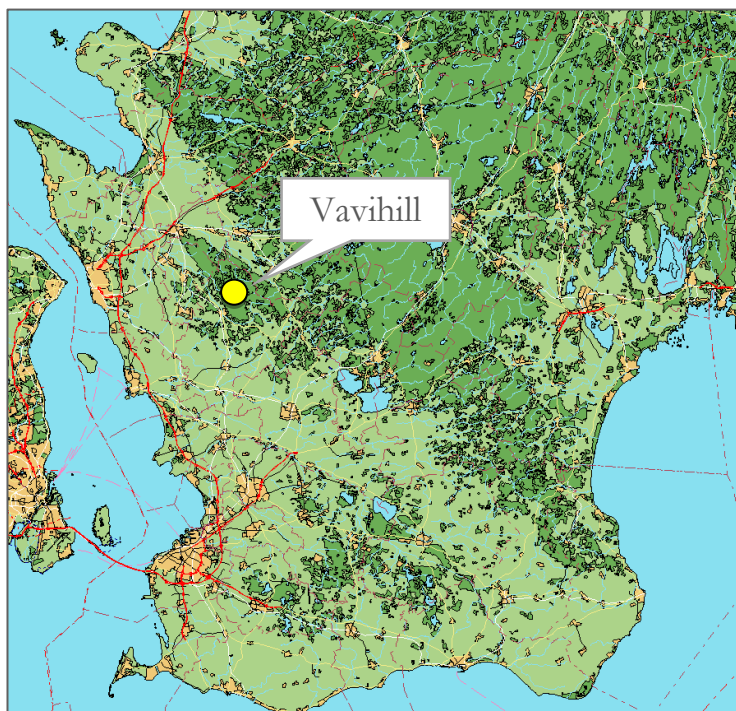
Det internationella organ som hanterar frågorna om föroreningar till sjöss är FN-organet IMO (International Maritime Organization). Under början av 2000-talet hade både EU och USA insett sjöfartens bidrag till luftföroreningshalterna av hälsoskadliga föroreningar, och diskussioner påbörjades inom IMO för att skärpa de regleringar som fanns. År 2008 antog IMO nya krav, vilka skärpte svavelkravet i två steg för internationell sjöfart, först till 3,5 procent fr.o.m. 2012 och sedan till 0,5 procent fr.o.m. 2020. Inom svavelkontrollområden (SECA), vilket både Östersjön och Nordsjön utgör, skärptes kravet till 1,0 procent fr.o.m. 2010 och sedan till 0,1 procent fr.o.m. 2015. Även kraven på kväveoxider skärptes så att fartyg som byggs efter 2011 måste släppa ut cirka 20 procent mindre kväveoxider. Inom särskilda NO_x -kontrollområden måste fartyg byggda fr.o.m. 2016 minska NO_x -utsläppen med cirka 80 procent. Ännu finns inga NO_x -kontrollområden runt Europa.

SMHI och Sjöfartsverket har utvecklat ett beräkningssystem som med hjälp av AIS (Automatic Identification System) beräknar sjöfartens emissioner till luft (Segersson, 2010 och 2011). Sjöfartsverket har tagit fram metoder för att bestämma emissionsfaktorer för enskilda fartyg som identifieras genom AIS. SMHI har i sin tur utvecklat en modul till luftövervakningssystemet Airviro för att löpande bestämma fartygs position, hastighet, effektuttag och emission utifrån AIS-data. Dessa system gör det möjligt att beskriva sjötrafiken på ett mer detaljerat sätt än vad som tidigare gjort. För fartyg i regelbunden trafik, såsom passagerarfärjor, har fartygens utsläpp preciserats både i tid och geografisk position med god noggrannhet även tidigare, men för oregelbundna rörelser, och för förbifarande internationell trafik, erbjuder användning av positioner från AIS stora fördelar (Jalkanen et al, 2011).

Omfattning

Aktuell utredning kartlägger hur emissionerna av NO_x , SO_2 och partiklar PM_{10} från sjöfarten varierar rumsligt i farlederna kring Skånes kuster och i tiden under perioden 1:a januari 2011 till 1:a jan 2012. Perioden är vald eftersom tillgängliga indata är begränsade samt för att halter under ett helt år eftersträvas.

Bidraget till halterna av olika luftföroreningar beräknas för både urban skala och regional skala. Den regionala skalan innefattar hela Skåne och haltbidraget utvärderas mot mätstationen i Vavihill på Söderåsen (figur 1), vilken mäter Skånes regionala bakgrundshalter av luftföroreningar. Anledningen till att beskriva halterna på regional skala är för att uppskatta hur stor påverkan sjöfarten har på luftkvaliteten även utanför storstäderna, dvs. den luftkvalitet vilken merparten av Skånes befolkning exponeras för.



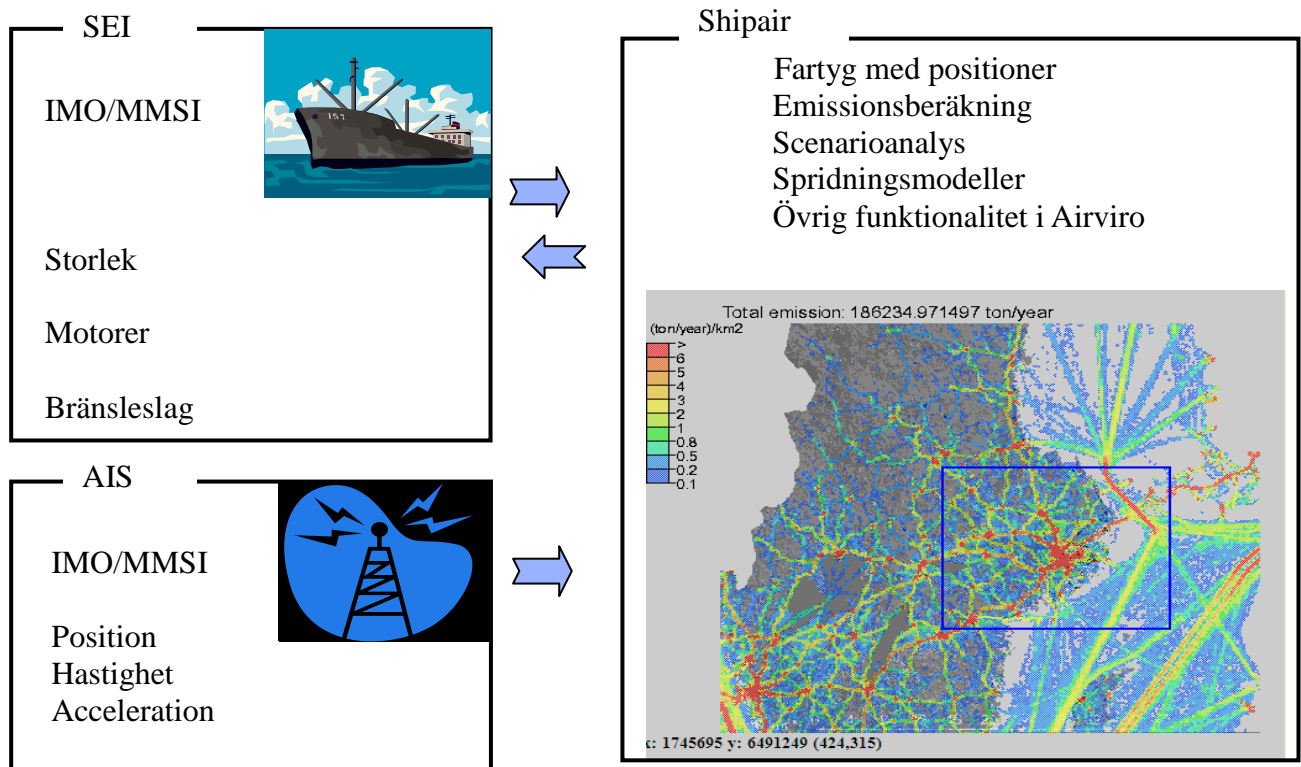
Figur 1. Placeringen av Skånes mätstation för mätningar av luftföroreningar i regional bakgrundsmiljö, d.v.s. luftkvalitet utan direkt påverkan av utsläpp i närområdet.

Den urbana skalan innefattar tätorterna (hamnstäderna) och för dessa beräknas sjöfartens haltbidrag mot uppmätta halter i urban bakgrund – oftast uppmätta halter av luftföroreningar i taknivå, vilket motsvarar den halt som merparten av medborgarna i hamnstäderna exponeras för. Halterna nere i gaturum eller i direkt närhet till utsläppskällor är högre än den urbana bakgrundshalten, som redovisas i denna studie.

Metodik

Utsläppsberäkningar för sjöfart

Emissioner från transporter med fartyg kan beräknas med hjälp av Shipair, en beräkningsmodul i SMHI:s luftövervakningssystem Airviro. I Shipair hämtas emissionsfaktorer från Sjöfartsverkets databas SEI (Ship Emission Information) för de fartyg som påträffas inom studerat område. I SEI görs beräkningar och antaganden för att ansätta emissionsfaktorer för varje fartygsindivid grundat på Sjöfartsverkets databaser med fartygsinformation. Identifikation av fartyg görs i första hand utifrån IMO-nummer, och i andra hand utifrån MMSI (id för fartygens AIS-transponder). I de fall ingen matchning hittas i SEI används fartygskategorin (enligt den kategorisering som används i AIS) för att välja schablonvärden på de parametrar som krävs för emissionsberäkning. Emissionsberäkningarna baseras på AIS-data om fartygens rörelser och på uppgifter om fartygens energibehov och bränsleåtgång vid olika hastigheter samt på fartygens utsläppsegenskaper (den s.k. emissionsfaktorn).



Figur 2. Schematisk bild över indata och funktioner i beräkningssystemet Shipair för att kunna beräkna bränsleförbrukning och emissioner av olika ämnen (ursprung David Segersson, SMHI).

Energibehovet och fartygets specifika bränsleförbrukning används för att beräkna fartygets totala bränsleanvändning.

För att beräkna bränsleanvändningen används relationen $P_{cal} = k * V_{obs}^3$ mellan fartygens hastighet och energianvändning. P_{cal} = energibehovet vid observerad hastighet, V_{obs} = fartygets observerade hastighet och k = relationen mellan den del av fartygets installerade effekt på huvudmaskineriet och hastigheten som fartyget har designats för. Faktorn $k = 0,8 * P_{inst} / (0,94 * V_{max})^3$ där P_{inst} = Installerad effekt varav 80 % antas vara effektuttaget vid designhastigheten och V_{max} = fartygets maximala hastighet varav designhastigheten antas vara 94 %. Om beräknad uttagen effekt (P_{cal}) är större än total installerad effekt (P_{inst}) används P_{inst} vid beräkningen av bränsleförbrukningen.

Fartygets hastighet beräknas från AIS-uppgifter om positioner vid respektive tidsangivelser. AIS-uppgifter används med 5 minuters intervall. I de fall AIS-signal har saknats längre än 5 minuter används intervall upp till 15 minuter. Har intervallet mellan AIS-signalerna varit längre än 15 minuter tas inte det intervallet med i beräkningen. När fartygen befinner sig inom hamnområde antas fartygen ha konstant bränsleförbrukning per tidsenhet under manöver och liggetid vid kaj.

Användningen av hjälpmotorer antas under gång vara 30 % av installerad effekt för de flesta fartygstyperna och 40 % för passagerarfartyg om inte fartygsspecifika uppgifter finns att tillgå. Under stillaliggande antas användningen av hjälpmotorer vara 40 % av installerad effekt. I de fall den installerade effekten i hjälpmotorer inte har varit känd antas den vara 30 % av huvudmaskinernas effekt.

Vissa fartyg har specifika emissionsfaktorer i systemet, vilka grundar sig på standardiserade mätningar direkt ombord på fartyget. Fartygsspecifika emissionsfaktorer för kväveoxider (NO_x)

hämtas från uppgifter hos Sjöfartsverket för de fartyg som har kväveoxidreduktionscertifikat. Ett certifikat som fartygen får utifall de renar sina utsläpp av kväveoxider och därmed blir berättigade till lägre farledsavgifter. T.ex. har samtliga passagerarfartyg i Helsingborg denna typ av certifikat eftersom de renar sina kväveoxidutsläpp. NO_x -emissionen beräknas från fartygets energibehov och den fartygsspecifika emissionsfaktorn. Om fartygsspecifik emissionsfaktor saknas används generella uppgifter om ett antal typfartyg som grund till beräkningarna. De generella faktorerna väljs utifrån ett antal egenskaper per fartygstyp. De egenskaper som ingår vid valet av emissionsfaktor är bland andra installerad maskineffekt, motorens varvtal och byggnadsår. Från fartygens byggnadsår väljs vilka regler för NO_x -emissioner som fartygen måste uppfylla.

Emissionsfaktorn för svaveloxider (SO_x) kommer från uppgifter om vilken svavelhalt fartygets bränsle innehåller. Bränslets innehåll av svavel antas bli oxiderade enbart till SO_2 . SO_2 -emissionerna beräknas från fartygens energibehov och därifrån beräknade bränsleåtgång samt bränslets svavelhalt. Om fartygen saknar intyg att de ska använda bränsle upp till en viss svavelhalt antas att svavelhalten är den som regleras. Det vill säga för 2011 1 % svavel (viktsprocent) i svavelkontrollområden och 0,1 % vid längre stillaliggande i hamn.

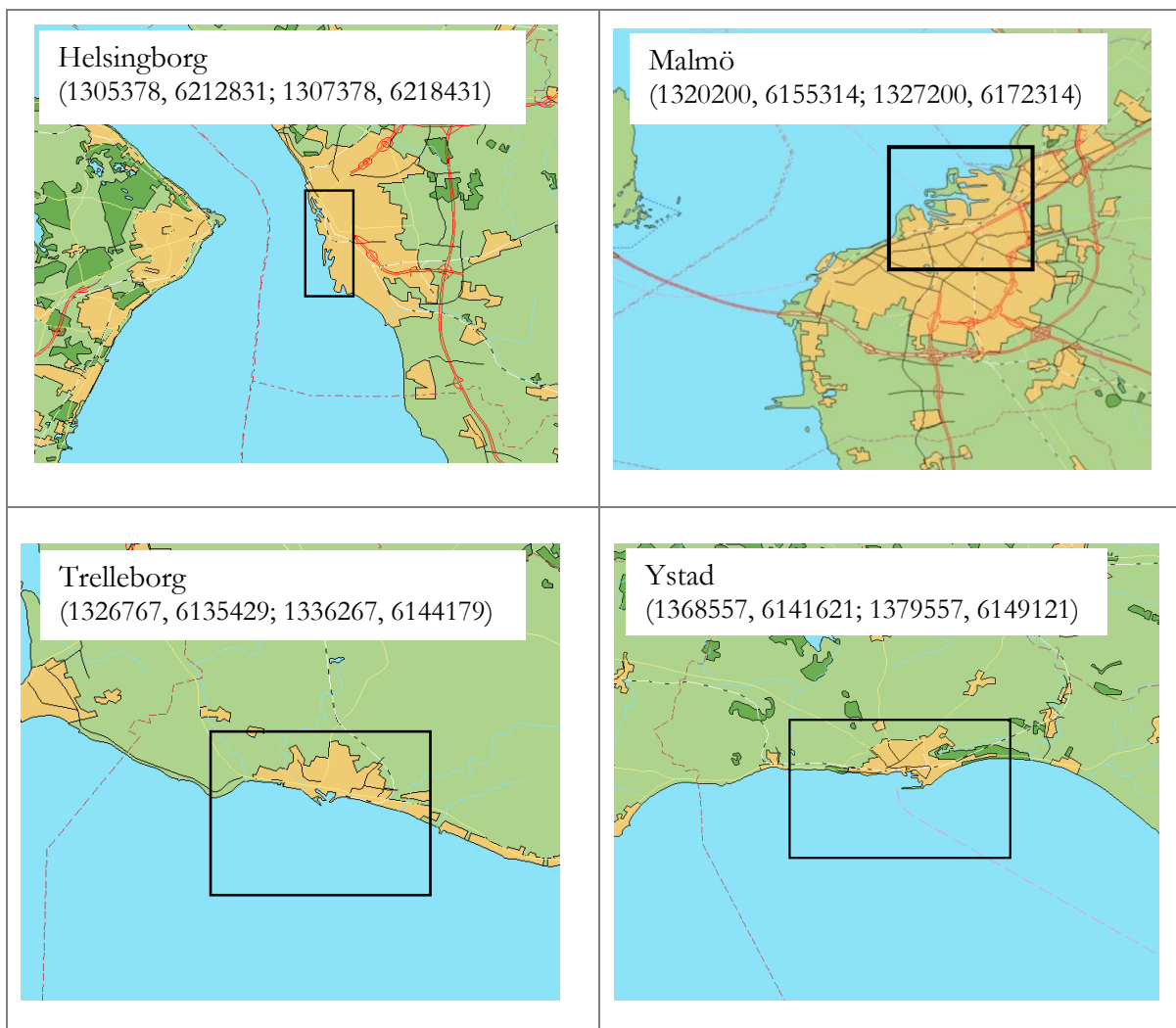
Spridningsberäkningar

För beräkning av sjöfartens haltbidrag används EnviMan-systemets tvådimensionella gaussiska spridningsmodell AERMOD och gaturumsmodell*. Sjöfartens utsläpp baseras på olika geografiskt baserade emissionsraster genererade från Shipair och överförda till emissionsdatabasen Skåne i EnviMan-systemet. Den anlöpande sjötrafiken till hamnarna i Helsingborg, Malmö, Trelleborg och Ystad beskrivs med en geografisk upplösning på 50x50 meter och sträcker sig över respektive hamnområde enligt figur 3.

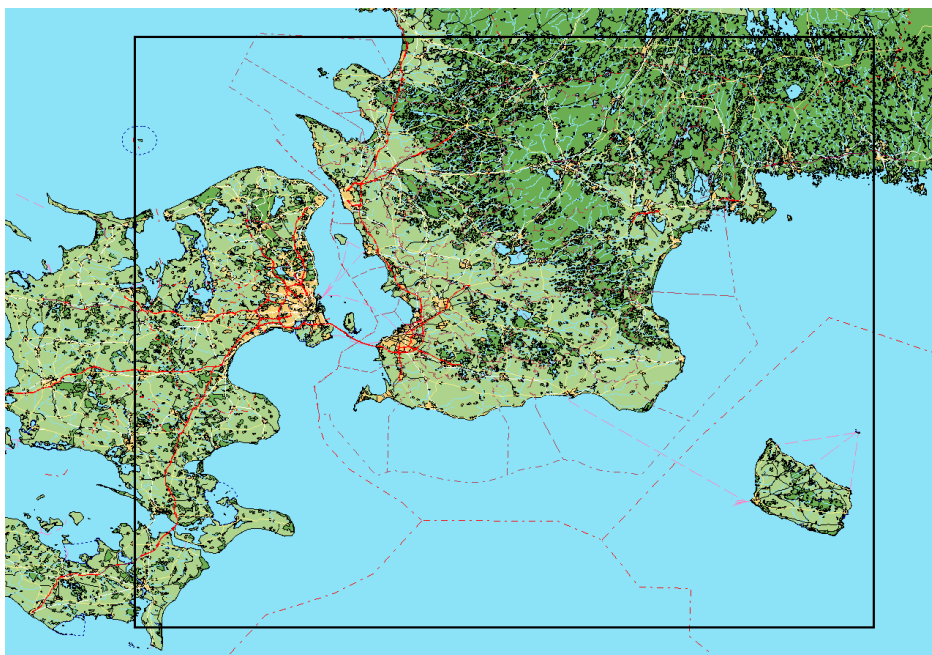
Den geografiska spridningen av anlöpande sjöfart, dvs. antal och geografiska läge för hamnområden för respektive kommun, samt kravet på att exkludera förbipasserandetrafik styr utbredningen och formen för emissionsrastret.

Den övriga sjöfarten som inte anlöper dessa hamnar men trafikerar Öresund samt farlederna i den södra delen av Östersjön (vilken ibland lite slarvigt kallas för den internationella sjöfarten) beskrivs med en geografisk upplösning på 200x200 meter och sträcker sig över stora delar av Öresund och Östersjöns södra del, se figur 4.

*För mer detaljerad beskrivning av de modeller som ingår i EnviMan-systemet se Appelqvist, 2005.



Figur 3. Den geografiska utbredningen av det lokala emissionsrastret som beskriver sjöfartens utsläpp lokalt kring hamnområden i Helsingborg, Malmö, Trelleborg och Ystad.



Figur 4. Den geografiska utbredningen av det regionala emissionsrastret (1245588, 6063210; 1475588, 6249210) som beskriver sjöfartens utsläpp i Östersjön och Östersjöns södra del.

Utsläppens tidvariation beskrivs med hjälp av tidsprofiler där variationen över året beskrivs i form av månadsvärden och inom månaden i form av timvärden för en genomsnittlig vecka.

Sjöfartens haltbidrag beräknas med hjälp av spridningsmodellering där sjöfartens utsläpp ingår som den enda utsläppskällan. Modellen som används är en gaussisk spridningsmodell och aktuell meteorologiska data för modelleringen har hämtats från Heleneholmsmasten i Malmö för perioden 1:a januari 2011 till 1:a jan 2012. Mätningarna sköts och granskas av miljöförvaltningen i Malmö stad och håller god kvalitet. Data bedöms vara representativa för samtliga beräkningsområden.

För haltberäkningar används ”nested grid” metoden med beräkningar i tre olika nivåer till förutbestämda beräkningspunkter (receptorpunkter) för att kartlägga sjöfartens faktiska haltbidrag samt till ett definierat grid (dvs. geografiskt område) för att kartlägga haltbidragets geografiska utbredning.

För haltberäkningar i urban skala, motsvarar beräkningspunkternas position respektive hamnstads mätplatser (se tabell 1). Tre beräkningsgrid används för att fånga detaljerna kring beräkningspunkterna och samtidigt inkludera utsläpp över hela regionen, Danmark, Öresund och stora delar av Södra Östersjön. För haltberäkningar i regional skala, motsvarar beräkningspunktens position mätplatsen som ligger i Vavihill på Söderåsen (Svalövs kommun, figur 1) vilken representerar regional bakgrundsmiljö i Skåne. I likhet med beräkningar för urban skala används tre beräkningsgrid.

Det faktiska haltbidraget under 2011 uppskattas genom en jämförelse mellan beräknad halt luftförorening utifrån sjöfartens utsläpp och den totala uppmätta halten av motsvarande luftförorening vid de urbana mätstationerna i respektive kommun och vid den regionala mätstationen i Vavihill (Söderåsen).

Eftersom halten kvävedioxid (NO_2) beror på den samlade halten kväveoxider, NO_x (d.v.s. $\text{NO} + \text{NO}_2$), som emitteras samt en rad andra faktorer (bland annat mängden UV-ljus) är det svårt att urskilja en enskild utsläppskällas påverkan på NO_2 . Därför presenteras sjöfartens haltbidrag i andel (%) kväveoxider NO_x .

Men eftersom inte alla hamnstäder i utredningen mätt den samlade halten av kväveoxider (NO_x) utan enbart kvävedioxid NO₂ har vi valt att räkna om den uppmätta NO₂-halten till NO_x-halt enligt formeln

$$NO_2 = NO_x^{(0,72 + (29 / (NO_x + 142)))}$$

Formeln är framtagen av miljöförvaltningen i Malmö stad efter noggrann utvärdering av förhållandet mellan NO₂ och NO_x i stadsmiljö. Dock ska det noteras att en uppmätt NO_x-halt hade varit att fördra eftersom förhållande mellan NO_x och NO₂ inte alltid följer omräkningsmodellen.

Tabell 1. Beräkningspunkter för respektive hamnstad; Helsingborg, Malmö, Trelleborg och Ystad.

Representativ miljö	Helsingborg	Malmö	Trelleborg	Ystad
Urban bakgrund	Mätsträcka P4 Järnvägs-gatan (taknivå)	Rådhuset (taknivå)	Rådhuset (10 m)	Ö Förstadsgatan (3 m)
Gaturum	Mätsträcka P6 Drottninggatan (3 m)	Dalaplan (3m)	-	-
Hamnområde	-	-	Trelleborgs hamn (5 m)	Bornholms- terminalen (3 m)

Validering

För att utvärdera Shipair och de utsläpp som beräknas för 2011 års sjöfart, jämförs modellerade data, dvs. haltberäkningar där samtliga kända utsläppskällor ingår av luftföroreningarna kväveoxider (NO_x och NO₂), svaveldioxid (SO₂) och partiklar (PM₁₀), med uppmätta halter för motsvarande period. Då tillgång på mätdata för att utvärdera sjöfartens påverkan på luftkvaliteten är begränsad så användas endast tre mätplatser i utvärderingen; ön Anholt i Nordsjön (figur 4) och Ystad färjeterminal (Bornholmsterminalen) och Ystad Östra Förstadsgatan. Mätstationen på Anholt drivs av Danmarks Center för Miljö och Energi – DCE (tidigare DMU) (data levererad av Thomas Ellermann) och mätdata från Ystad är utförd på uppdrag av Ystad hamn (data levererad av Cecilia Ejlertsson). Båda mätplatser är representativa för att mäta luftföroreningar med ursprung från utsläpp från sjöfart – men Anholt i större grad än Ystad hamn.

För att kunna utvärdera modellens noggrannhet, och därmed trovärdigheten i sjöfartens haltbidrag i respektive hamnstad, görs även modellberäkningar med samtliga utsläppskällor mot de urbana mätplatserna. I utvärderingen jämförs modellberäknat årmedelvärde med uppmätt årmedelvärde för luftföroreningen kvävedioxid (NO₂). Till de beräknade halterna av samtliga källor adderas halten uppmätt vid den regionala bakgrundsstationen på Vavihill för att inkludera den del av halten i urban bakgrundsmiljö som utgör in-transporterade luftföroreningar. Till viss del påverkas denna station av emissioner inom beräkningsområdet, vilket ger risk för dubbelräkning av utsläpp.



Figur 5. Ön Anholts och dess mätstation samt andra mätplatser i den danska luftövervakningen (röda rektanglar och blå trianglar).

Som kvalitetsmått för utvärdering av spridningsberäkningar används i den här studien RPE (Relative Percentile Error) och RDE (Relative Directive Error). RPE beräknas enligt $(O_p - M_p)/O_p$, där O_p avser observerad halt vid den percentil som används för normen, och M_p är motsvarande modellerat värde. RDE beräknas utifrån värden sorterade i storleksordning. RDE definieras enligt $(O_{nv} - M_{nv})/nv$, där O_{nv} avser den observerade halten närmast gränsvärdet, M_{nv} avser motsvarande modellerad halt och nv motsvarar normvärdet. Enligt EU-kommissionen krävs att RPE och RDE ligger under 30 % för årsmedelvärden (NO_2 och SO_2) respektive 50 % för dygnsmedelvärden. För partiklar (PM_{10}) krävs 50 % för årsmedelvärden, för dygnsmedelvärden finns inga fastställda kvalitetskrav.

Tabell 2a. Kvalitetsmått för modellberäkningar rekommenderade inom EU. Anholt och Ystad (Bornholmsterminalen och Östra Förstadsgatan) utgör valideringspunkter för sjöfartens utsläpp. Samtliga värden för uppmätta respektive modellerade föroreningshalter i enheten $\mu g/m^3$.

	Anholt NO_x	Ystad Bornholms- terminalen NO_2	Anholt SO_2	Ystad Bornholms- terminalen SO_2	Ystad Ö. Förstadsgatan SO_2	Ystad Ö. Förstadsgatan PM_{10}
Uppmätt årsmedelvärden	5	14	0,3	3,5	1,5	20
Modellerat årsmedelvärde	4	15	0,1	3,3	1,5	14
RPE						
dygnsmedelhalt	22 %	-	-	-	-	-
RPE årsmedelhalt	13 %	15 %		6 %	<1 %	27 %
RDE						
dygnsmedelhalt	2 %	-	-	-	-	-
RDE årsmedelhalt	<1 %	6 %		1 %	<1 %	14 %

Tabell 2b. Kvalitetsmått för modellberäkningar rekommenderade inom EU. Samtliga värden för uppmätta resp. modellerade NO₂-halter i enheten µg/m³. Hamnstädernas mätplatser för urban bakgrund (UB) används för att utvärdera spridningsmodellen och Skånes emissionsdatabas.

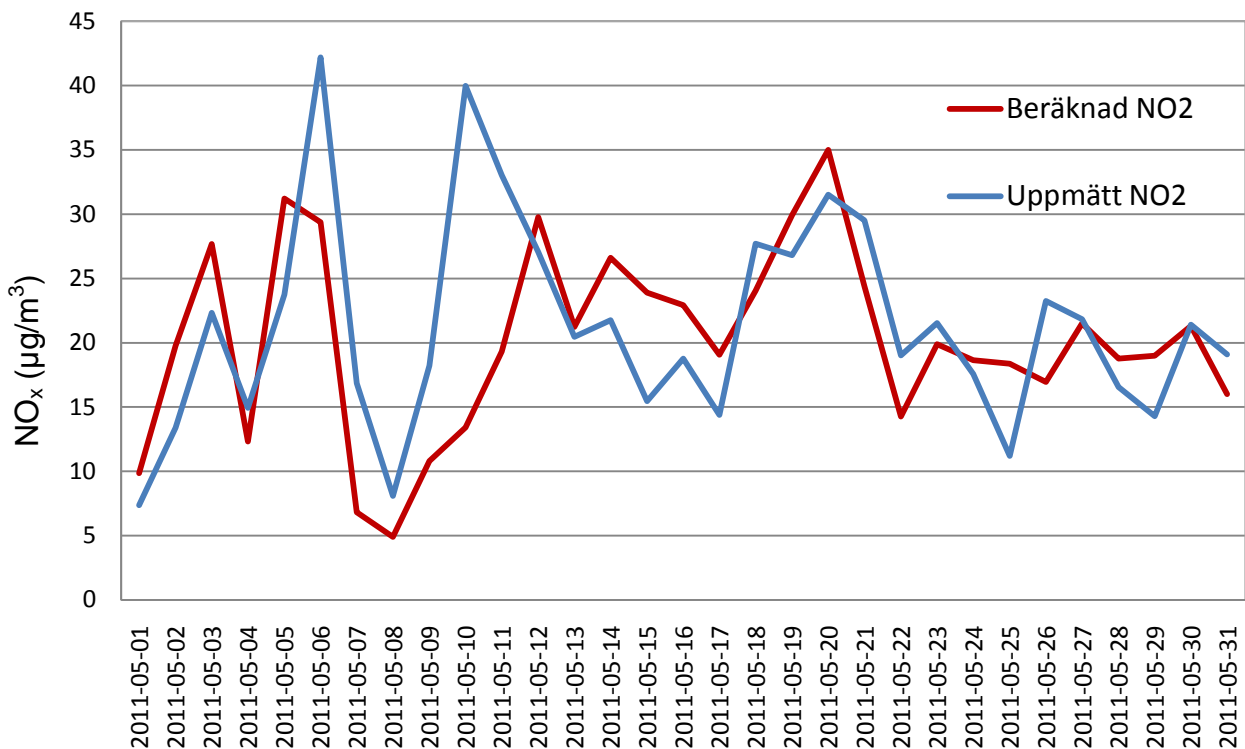
	Helsingborg (Urban bakgrund) NO ₂	Malmö (Urban bakgrund) NO ₂	Trelleborg (Urban bakgrund) NO ₂	Ystad (Urban bakgrund) NO ₂
Uppmätt årsmedelvärde	23	18	17	12
Modellerat årsmedelvärde	20	16	17	12
RPE				
dygnsmedelhalt	31 %	14 %	15 %	-
RPE årsmedelhalt	18%	15 %	0 %	3 %
RDE				
dygnsmedelhalt	34 %	45 %	<1 %	-
RDE årsmedelhalt	11 %	6 %	<1 %	1 %

Av tabellerna (tabell 2a och 2b) framgår att samtliga beräkningar ligger inom gränsen 30 % för årsmedelvärden respektive 50 % för dygnsmedelvärden och därmed anses som godkända och tillförlitliga.

Valideringen av sjöfartens utsläpp tyder på att utsläppsberäkningarna i Shipair återspeglar de faktiska utsläppsnivåerna. Haltberäkningarna för Anholt, vilken är den plats där utsläppen från sjöfarten bör dominera halten, överensstämmer modellerade halter med uppmätta halterna av kväveoxider och svaveldioxid. Även haltberäkningarna för Ystad hamn har god överensstämmelse med uppmätta halter. Däremot underskattas halten partiklar (PM10) för modellberäknade halter.

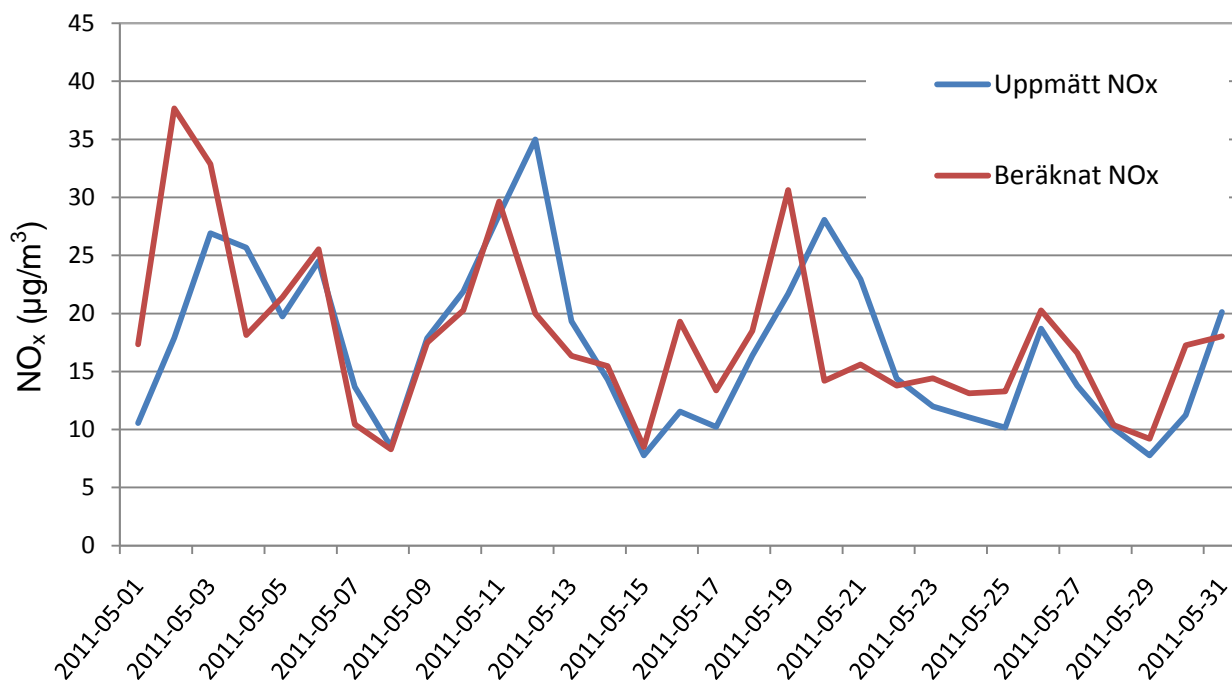
Utvärderingen av modellberäkningarna för respektive hamnstad avseende kvävedioxid (NO₂) visar på god överensstämmelse med undantag för Helsingborg där modellerad halt underskattar NO₂-halten i den urbana bakgrundsmiljön. Helsingborg är en stad med många utsläppskällor och med närhet till utsläppskällor i Danmark. Med många olika utsläppskällor och en något lägre kvalitet på data som beskriver utsläpp från Danmark är osäkerheten i modellen högre vilket kan förklara en något sämre noggrannhet för Helsingborg. Eftersom det fram för allt är dygnsmedelvärdena som har sämst överensstämmelse är det även troligt att tidsvariationerna för utsläpp i Helsingborgs närhet, inklusive sjöfarten, behöver förbättras i emissionsdatabasen för att få bättre överensstämmelse.

För att tydliggöra osäkerheterna i modellberäkningarna och beräknade haltbidraget presenteras även jämförelser mellan modellerad dygnsmedelvärden (baserat på alla kända utsläppskällor inkl. regional bakgrundshalt) och uppmätta dygnsmedel för respektive hamnstad och dess urbana bakgrundsmiljö (figur 6-9).



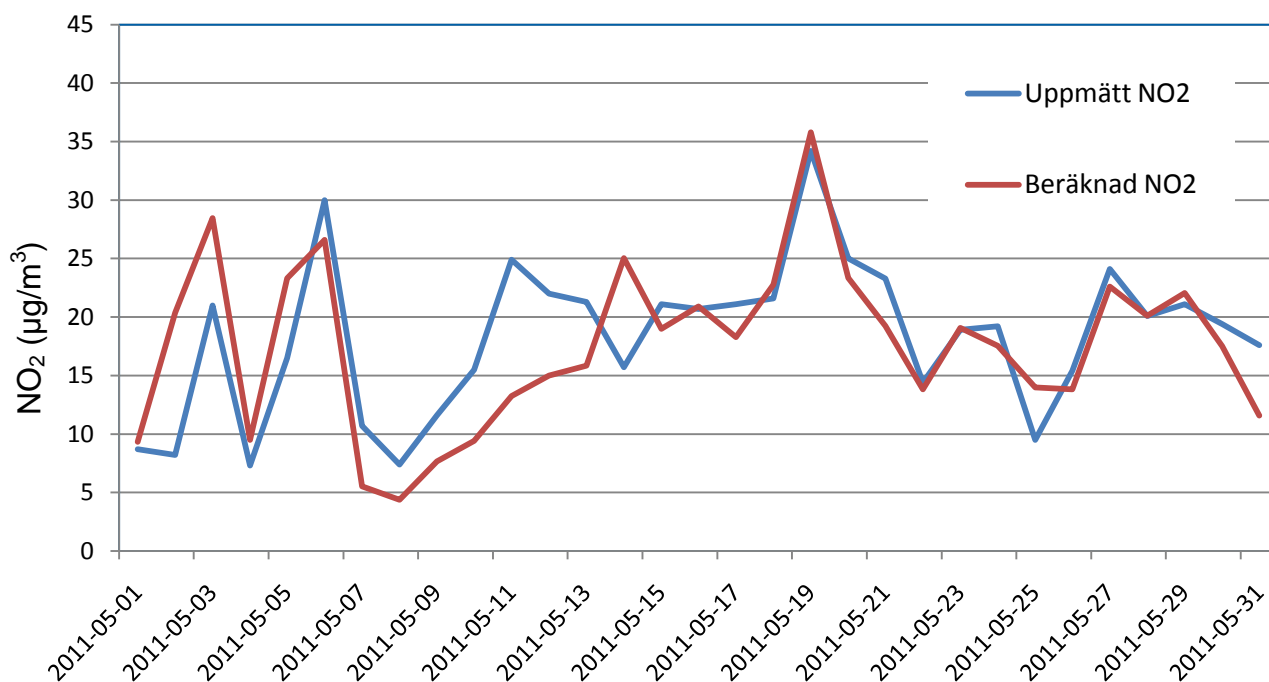
Figur 6. Jämförelse mellan modellerade dygnsmedelhalter (röd linje) och uppmätta halter av NO₂ (µg/m³) vid beräkningspunkten och mätplatsen P4 Järnvägsgatan (taknivå) i centrala Helsingborg, total halt baserat på alla källors gemensamma bidrag inkl. regional bakgrundshalt under maj 2011.

Jämförelsen mellan uppmätt kvävedioxid NO₂ och beräknad kvävedioxid NO₂ vid (Järnvägsgatan i taknivå, UB) i Helsingborg visar på en överlag god överensstämmelse. Skillnaderna mellan uppmätta värden och beräknade värden beror i många fall på skillnader i vindriktning mellan faktiska vindförhållanden i Helsingborg och de vindriktningar som mäts i Malmö och används i modelleringen. För ett antal dygn underskattas kvävedioxidhalten kraftigt vid beräkning (se 9 -13 maj). Skillnaden mellan uppmätt och beräknad halt över dessa dygn beror till stor sannolikhet på långväga in-transport av kväveoxider som inte fullt ut beskrivs av den regionala bakgrundshalten vid Vavihill (Söderåsen, Skåne), vilken är inkluderad i den beräknade halten.



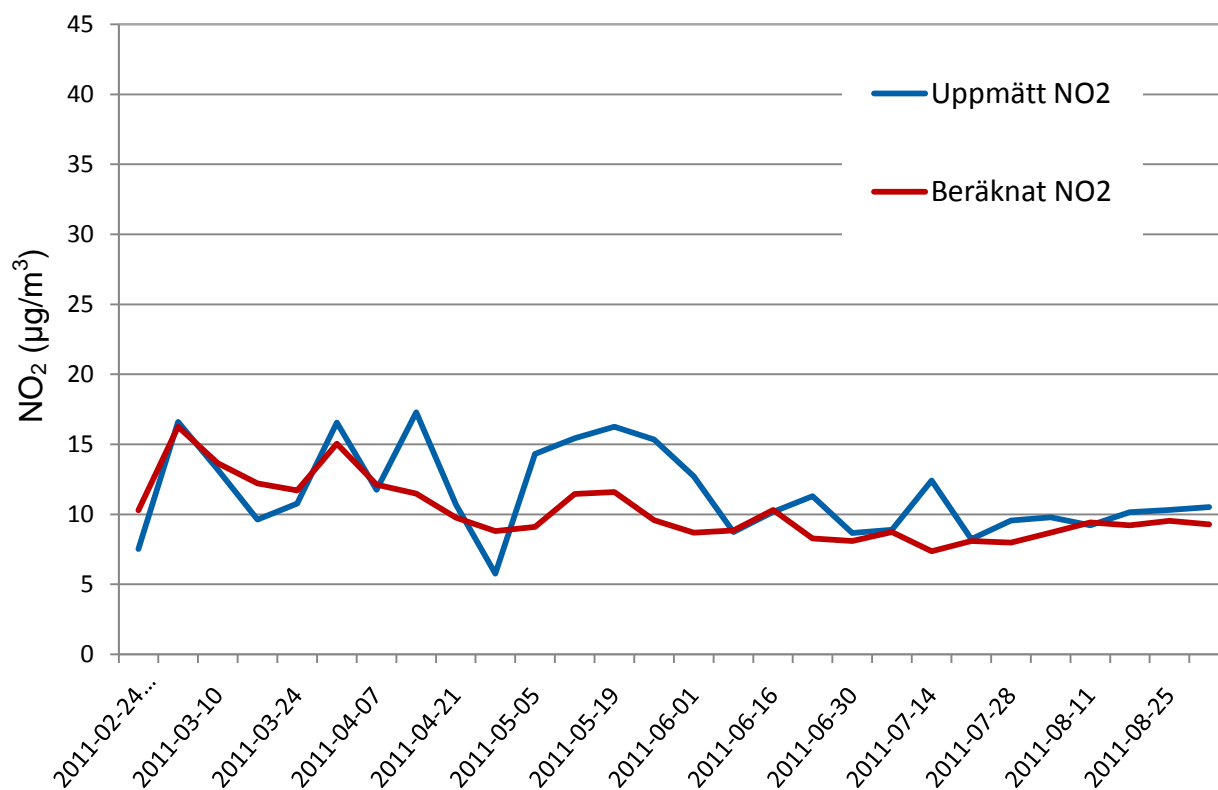
Figur 7. Jämförelse mellan modellerade dygnsmedelhalter (röd linje) och uppmätta halter av NO_x (µg/m³) vid beräkningspunkten och mätplatsen Rådhuset (taknivå) i centrala Malmö, total halt baserat på alla källors gemensamma bidrag inkl. regional bakgrundshalt under maj 2011.

Vid jämförelse mellan modellerad halt kväveoxid (NO_x) och uppmätt halt kväveoxid (NO_x) vid mätstationen Rådhuset (taknivå, UB) i Malmö visar resultatet på en mycket god haltöverensstämmelse och samvariation. Skillnaderna mellan uppmätta värden och beräknade värden, där den beräknade halten ibland överstiger den uppmätta halten eller tvärt om, beror troligen på skillnader i den internationella in-transporten och dess haltbidrag av kväveoxider vilket i Malmö inte alltid motsvarar den halt som uppmäts som den regionala bakgrundshalten vid Vavihill (Söderåsen).



Figur 8. Jämförelse mellan modellerade dygnsmedelhalter (röd linje) och uppmätta halter av NO₂ (blå linje) (µg/m³) vid beräkningspunkten och mätplatsen Rådhuset i Trelleborg, total halt baserat på alla källors gemensamma bidrag inkl. regional bakgrundshalt under maj 2011.

Vid jämförelse mellan modellerad halt kvävedioxid (NO₂) och uppmätt halt kvävedioxid (NO₂) vid mätstationen Rådhuset i Trelleborg visar resultatet på en mycket god halt-överensstämmelse och samvariation. De skillnader som förekommer mellan uppmätta värden och beräknade värden beror troligen främst på skillnader i vindriktning mellan faktiska vindförhållanden i Trelleborg och de vindriktningar som mäts i Malmö som används i modelleringen.



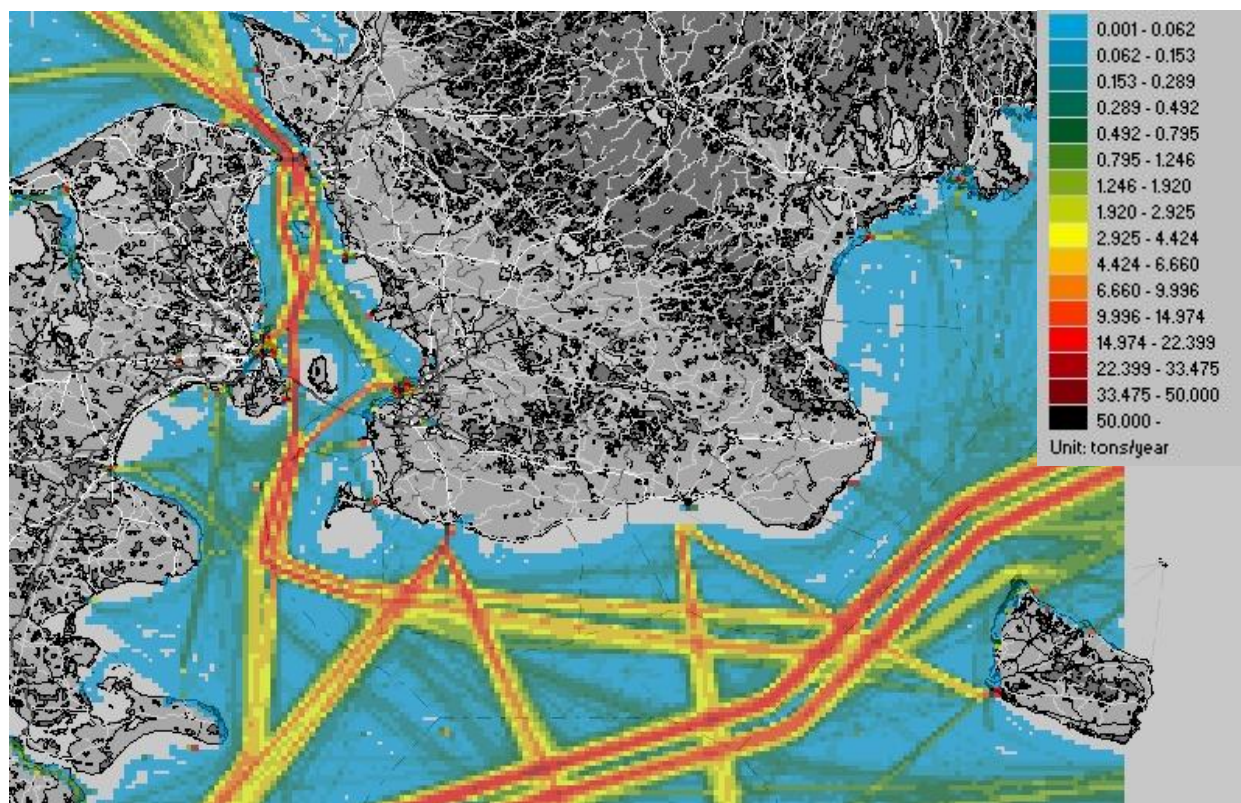
Figur 9. Jämförelse mellan modellerade dygnsmedelhalter (röd linje) och uppmätta halter av NO₂ (µg/m³) vid beräkningspunkten och mätplatsen Östra Förstaden i Ystad, total halt baserat på alla källors gemensamma bidrag inkl. regional bakgrundshalt under maj 2011.

Vid jämförelse mellan modellerad halt kvävedioxid (NO₂) och uppmätt halt kvävedioxid (NO₂) vid mätplatsen Östra Förstaden i Ystad visar resultatet på en överlag god överensstämmelse. För Ystad jämförs uppmätta veckomedelvärden med beräknade veckomedelvärden. De beräknade halterna underskattar till viss del uppmätt halt. Skillnaderna beror troligen främst på skillnader i vindriktning mellan faktiska vindförhållanden i Ystad och de vindriktningar som mäts i Malmö som används i modelleringen. I likhet med Helsingborg tyder skillnaderna på att den internationella in-transporten av kväveoxider inte fullt ut beskrivs av den regionala bakgrundshalten vid Vavihill (Söderåsen, Skåne).

Resultat

Sjöfartens utsläpp

Under 2011 trafikerade ca 4 250 fartyg av olika slag farlederna kring Skåne. Fartygen gemensamma utsläpp beräknas till ca 46 200 ton kväveoxider (NO_x) inom det studerade området (se figur 10), vilket är ungefär 6 gånger mer än vägtrafikens totala utsläpp i Skåne.

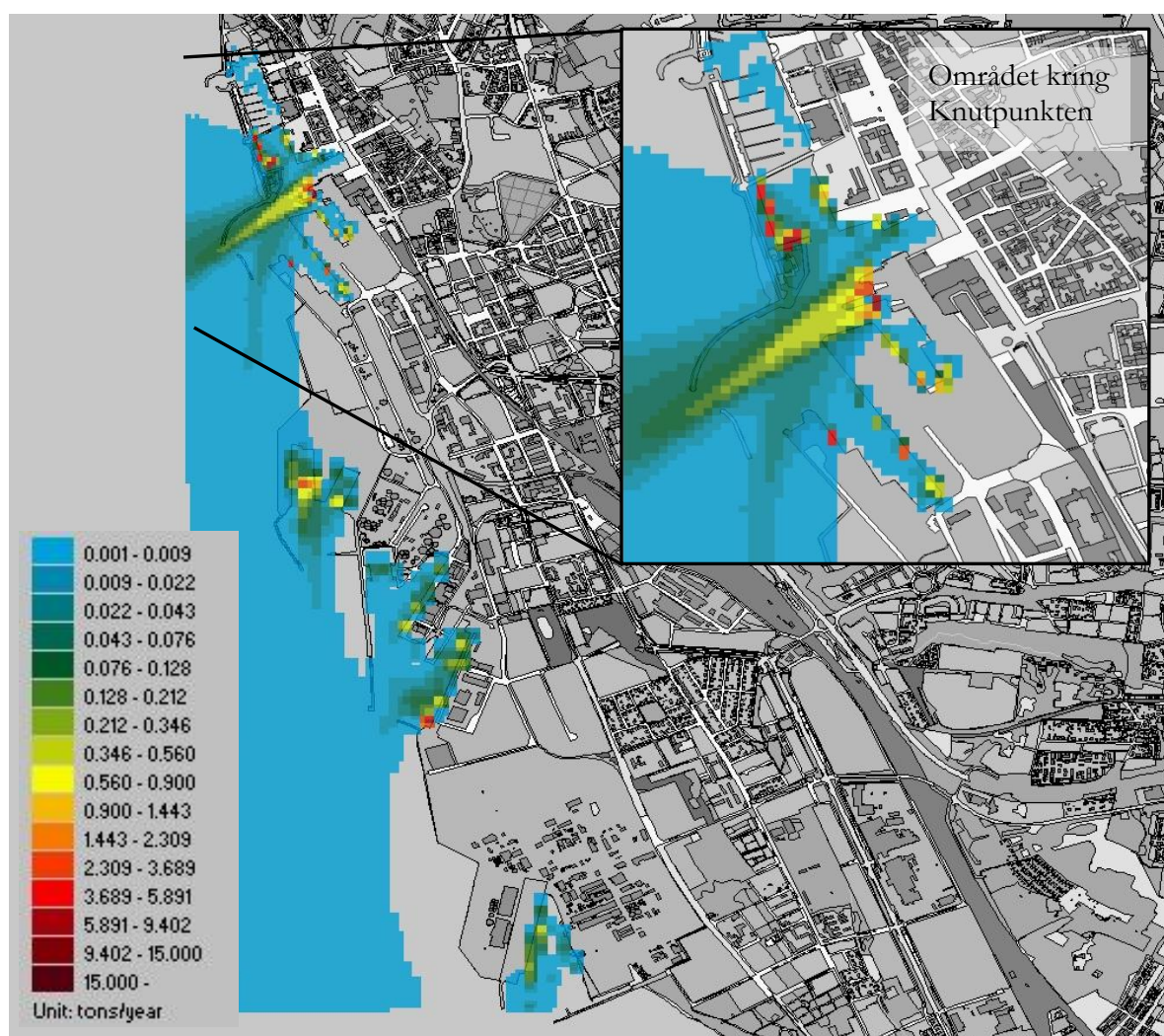


Figur 10. Den geografiska fördelningen av sjöfartens utsläpp runt Skåne under 2011 (NO_x i ton/år och km^2).

Sjöfartens utsläpp inom respektive hamnområde, Helsingborg, Malmö, Trelleborg och Ystad, skiljer sig både i storlek och i karaktär. Observera dock att storleken på utsläppet inte är jämförbart mellan hamnområdena eftersom studieområdenas utbredning är olika stora. I Helsingborg och Malmö står den reguljära passagerare trafiken för ca 30-50 % medan i Trelleborg och Ystad står den för 60-90 % av utsläppet (baserat på NO_x).

Helsingborg

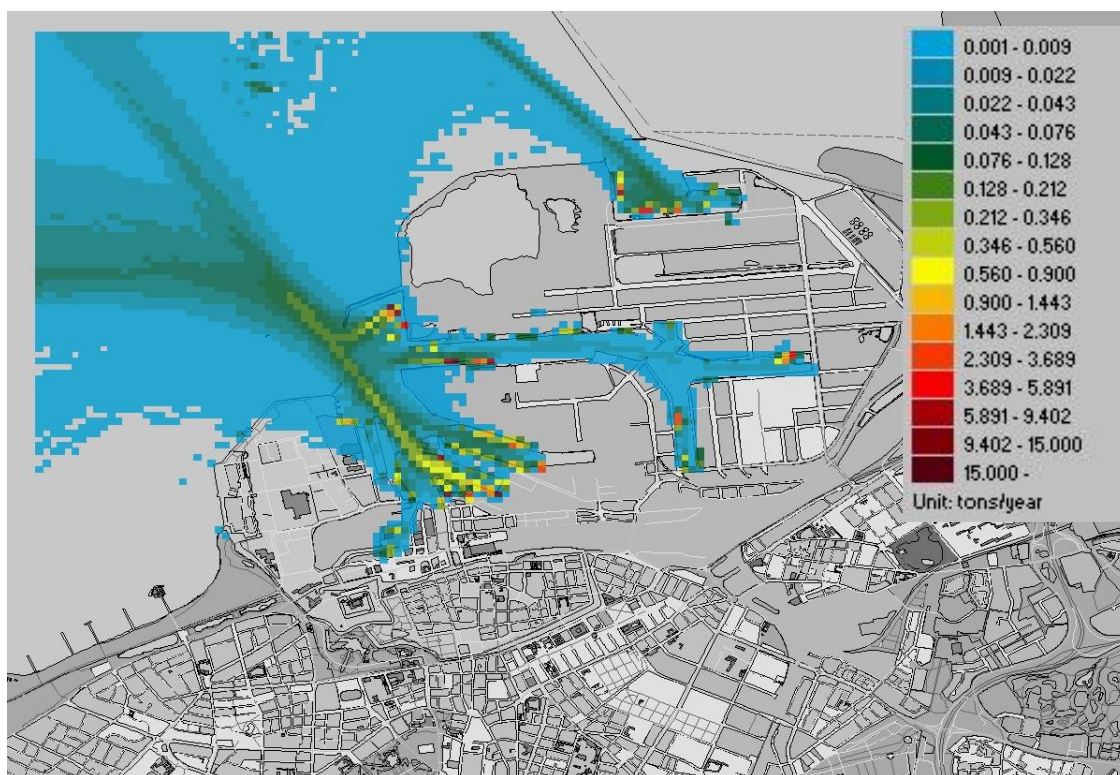
Under 2011 anlöpte 32 068 fartyg till Helsingborgs hamnar, tillsammans genererade dessa fartyg ett utsläpp på 325 ton kväveoxider (NO_x) inom definierat emissionsraster (se figur 2) varav 207 ton stillastående vid kaj (hotelling). Hamnarna trafikeras fram för allt av passagerarfärjor och godsfrartyg. Dessa fartygskategorier bidrar med 30 % respektive 37 % av NO_x utsläppet år 2011.



Figur 11. Beräknat utsläpp från sjöfart under 2011 inom Helsingborgs geografiskt avgränsade emission raster (se figur 3).

Malmö

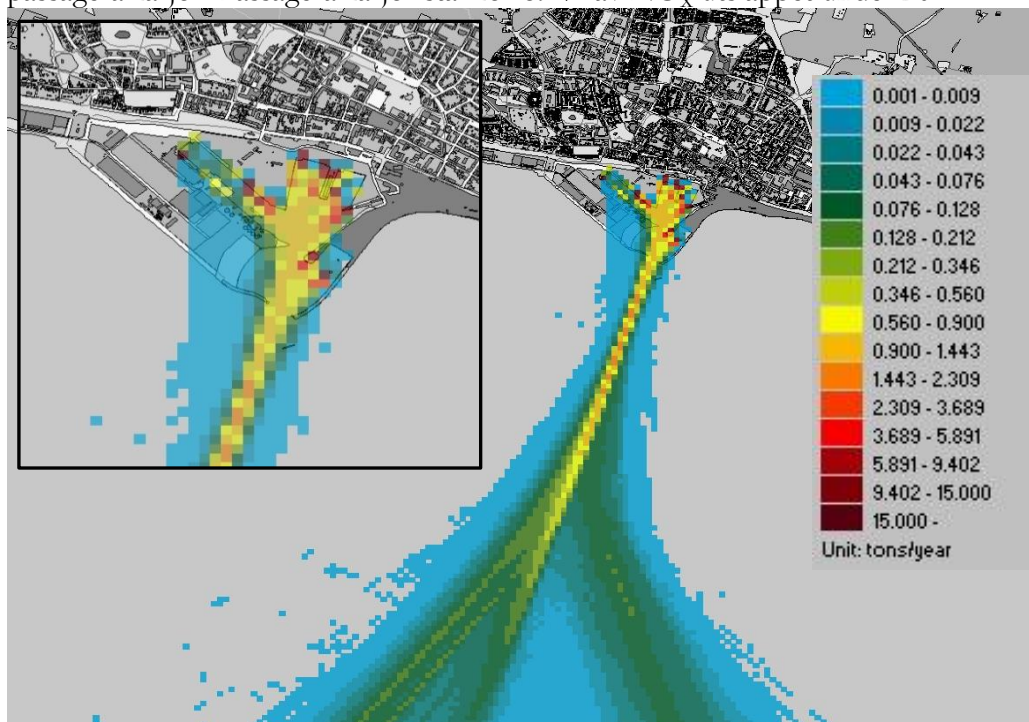
Under 2011 anlöpte 2 193 fartyg till Malmös hamnar, tillsammans genererade dessa fartyg ett utsläpp på 451 ton NO_x inom definierat emissionsraster (se figur 2) varav 230 ton stillastående vid kaj (hotelling). Hamnarna trafikeras av stor blandning av olika fartygskategorier. Men det är passagerarfärjor och godsfrartyg som bidrar i störst utsträckning, 44 % respektive 23 % av NO_x utsläppet 2011.



Figur 12. Beräknat utsläpp från sjöfart under 2011 inom Malmös geografiskt avgränsade emissionsraster (se figur 3).

Trelleborg

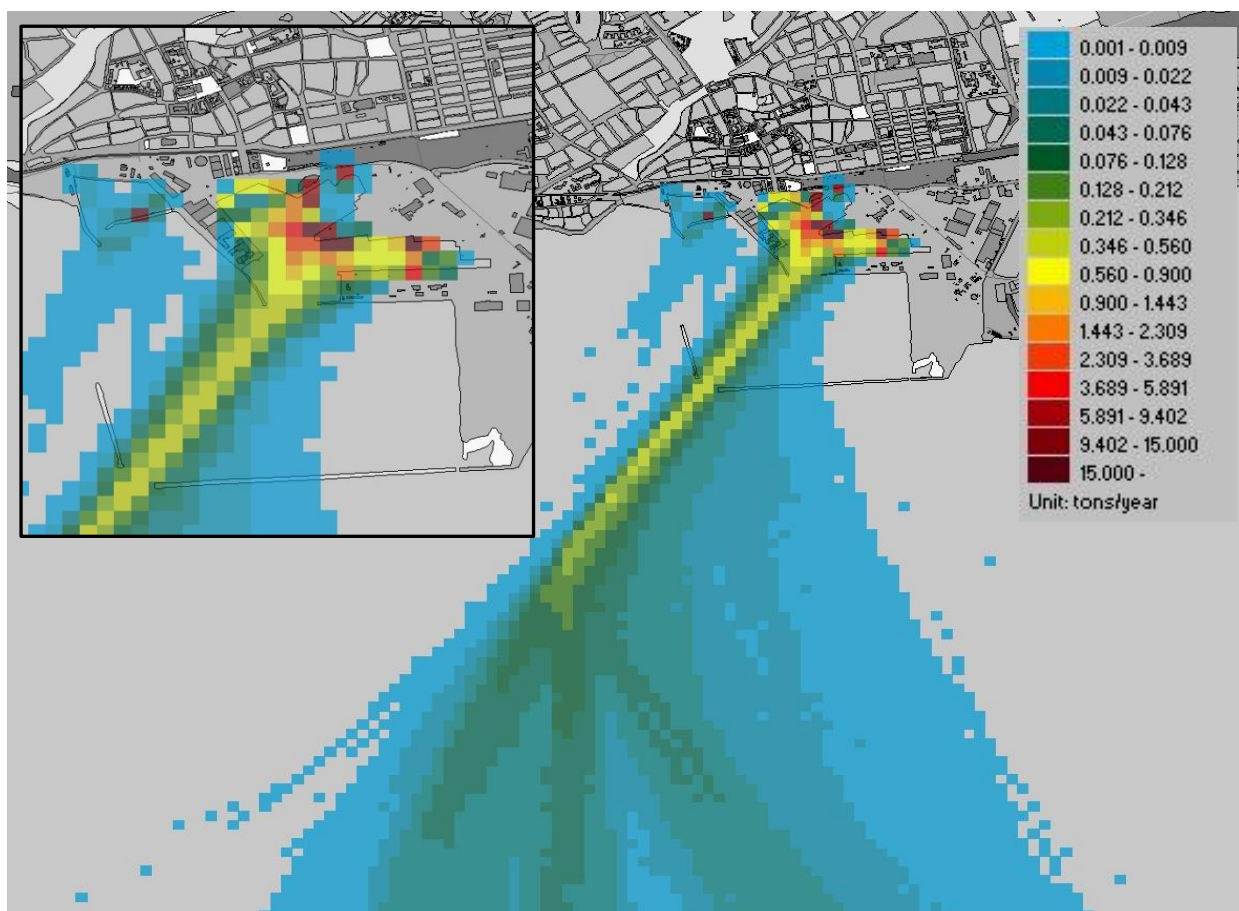
Under 2011 anlöpte 5 551 fartyg till Trelleborgs hamn, tillsammans genererade dessa fartyg ett utsläpp på 558 ton NO_x inom definierat emissionsraster (se figur 2) varav 191 ton stillastående vid kaj (hotelling). Hamnarna trafikeras av olika fartygskategorier men framförallt av passagerarfärjor. Passagerarfärjor står för 89 % av NO_x utsläppet under 2011.



Figur 13. Beräknat utsläpp från sjöfart under 2011 inom Trelleborgs geografiskt avgränsade emissionsraster (se figur 3).

Ystad

Under 2011 anlöpte 3507 fartyg till Ystads hamn, tillsammans genererade dessa fartyg ett utsläpp på 305 ton NO_x inom definierat emissionsraster (se figur 2) varav 145 ton stillastående vid kaj (hotelling). Hamnen trafikeras av olika fartygskategorier men framförallt av passagerarfärjor. Passagerarfärjorna står för 65 % av NO_x utsläppet under 2011. Övriga utsläpp utgörs av godsfrartyg och kryssningsfartyg.

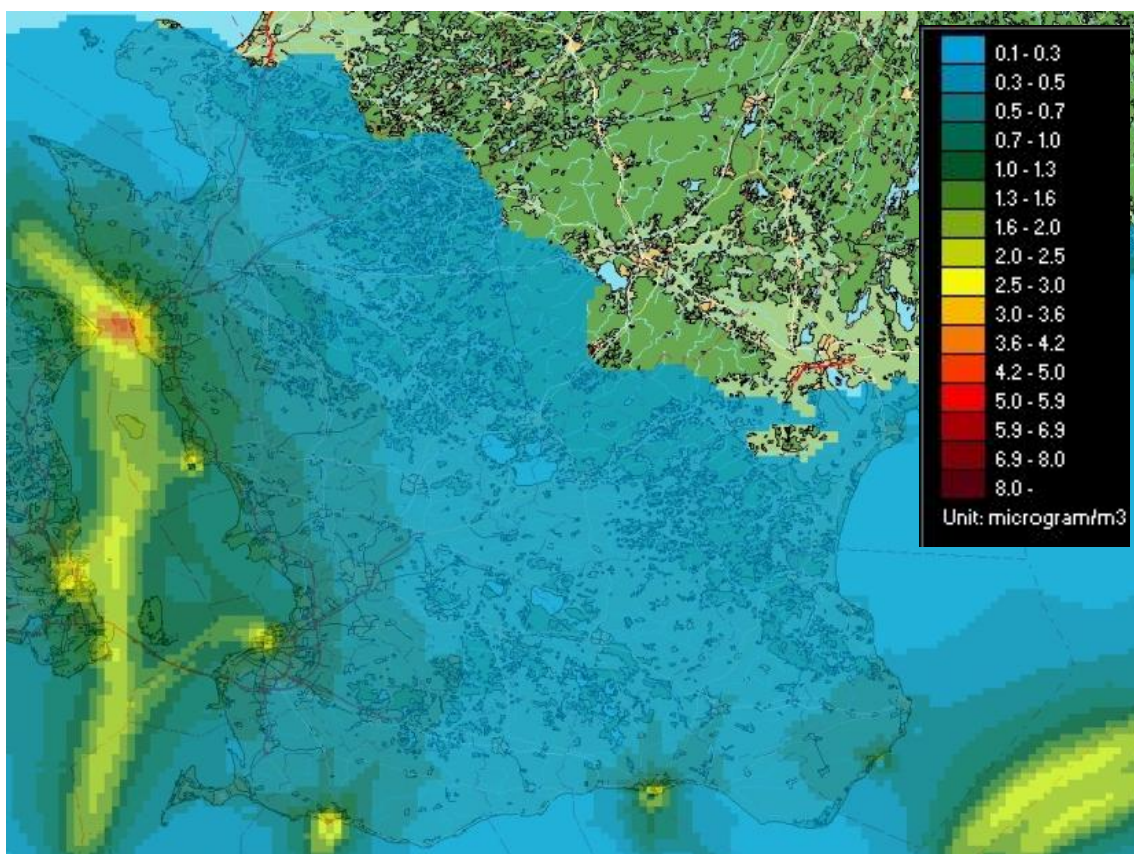


Figur 14. Beräknat utsläpp från sjöfart under 2011 inom Ystad geografiskt avgränsade emissionsraster (se figur 3).

Haltbidrag

Skåne – regional bakgrund

Sjöfartens utsläpp påverkar luftkvaliteten i Skåne med en avtagande nordostlig gradient (figur 15). Störst påverkan och störst haltbidrag råder i kommunerna utmed Öresund samt kommunerna med hamnverksamhet så som Trelleborg, Ystad, Simrishamn och till viss del Kristianstad (Åhus). Utmed Skånes västkust bidrar sjöfarten i genomsnitt med 1-2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ på årsmedelvärdet för kväveoxider (NO_x). Eftersom varje haltvärde (beräkningscell) representerar medelhalten inom ett område på 2 km* 2 km är haltbidraget från den regionala modelleringen inte jämförbar med urbana mätningar och därmed inte heller representativa för urbana tätorterna och de urbana bakgrundsmiljöerna. Resultaten från den regionala modelleringen bör därför inte användas direkt för att bedöma halter inom tätorterna eller i närhet av större källor så som industrier och motorvägar.



Figur 15. Den geografiska spridningen (utbredningen) av sjöfartens utsläpp och därmed dess regionala haltbidrag som årsmedelvärde ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) av kväveoxider (NO_x) över Skåne.

Det beräknade haltbidraget vid mätstationen i Vavihill (RB), på Söderåsen visar på ett litet bidrag från sjöfarten på rådande luftföreningshalter för år 2011. De beräknade bidragen från sjöfarten för respektive förorening är; 4 % av kväveoxiderna (NO_x) 15 % av svaveldioxidhalten och <1 % av partikelhalten (PM_{10}).

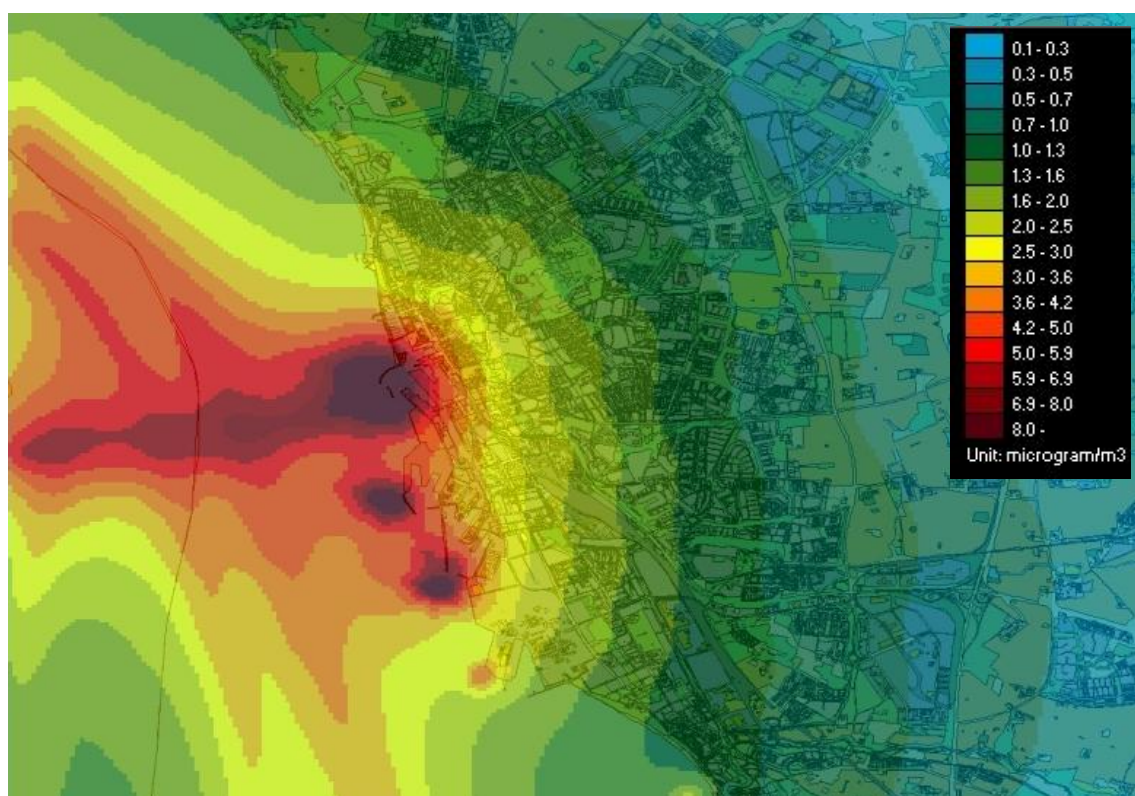
Tabell 3. Uppmätta årsmedelvärden för respektive luftförorening vid mätstationen i Vavihill (Söderåsen) samt beräknat haltbidrag (%) för sjöfartens utsläpp i regional bakgrund (RB). Miljökvalitetsnorm (MKN) och mätvärde presenteras i enheten $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

	MKN	Mätvärde 2011 (Regional bakgrund)	Haltbidrag 2011
NO ₂	40	6	-
NO _x		7	5 %
SO ₂	20	0,6	15 %
PM ₁₀	40	16	<1%

(RB) Regional bakgrundsmätning i Vavihill på Söderåsen, Svalövs kommun

Helsingborg

Helsingborg är den tätort i Skåne med störst närhet till sjöfarten och dess utsläpp, både via sjötrafiken till och från stadens hamnar men också från den sjöfart som passerar genom Öresund. Sjöfartens emissioner har en tydlig påverkan på luftkvalitet i Helsingborg. I de centrala delarna av Helsingborg bidrar sjöfarten i genomsnitt med 2-8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ på årsmedelvärdet för kväveoxider (NO_x) (figur 16), beroende på avstånd ifrån hamnarna.



Figur 16. Den geografiska spridningen av sjöfartens utsläpp och dess lokala haltbidrag av kväveoxider (ton NO_x/år) i Helsingborg under beräkningsperioden.

Tabell 4. Uppmätta årsmedelvärden för respektive luftförorening samt beräknat haltbidrag (%) för sjöfartens utsläpp; i urban bakgrund (UB) respektive gatumiljö (G). Miljökvalitetsnorm (MKN) och mätvärde presenteras i enheten $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

	MKN	Mätvärde (Urban bakgrund) 2011	Haltbidrag sjöfarten (Urban bakgrund) 2011	Mätvärde (Gatumiljö) 2011	Haltbidrag sjöfarten (Gatumiljö) 2011
NO ₂	40	23	-	31	-
NO _x		37**	40 %*	54**	20 %*
SO ₂	20	2	80 %	-	-
PM ₁₀	40	-	-	21	5 %

(Urban bakgrund) Drottninggatan, Helsingborg, i taknivå

(Gatumiljö) Drottninggatan, Helsingborg, i gatumiljö

* Haltbidrag beräknad genom jämförelse med uppmätt NO₂ omräknad till NO_x.

** Omräknad NO_x-halt utifrån uppmätt NO₂.

Det beräknade haltbidraget i urban bakgrundsmiljö, vid beräkningspunkt P4, och i gatumiljö, vid Drottninggatan, i centrala Helsingborg visar på ett relativt stort bidrag från sjöfarten (både anlöpande och förbipasserande sjöfart) på luftföreningshalterna, bortsett från partiklar (PM₁₀), år 2011. De beräknade haltbidraget från sjöfarten för respektive förorening och beräkningspunkt uppskattas till; 40 % av kvävedioxidhalten (NO₂) i urban bakgrundsmiljö respektive 20 % i gatumiljö, 80 % av svaveldioxidhalten i urban bakgrundsmiljö samt 5 % av partikelhalten i gatumiljö (se tabell 4).

Det är inte oväntat att sjöfartens emissioner har en påverkan på luftkvaliteten i de centrala delarna av Helsingborg, eftersom hamnarna är centralt placerade och har en intensiv sjötrafik. Dessutom är den dominerande vindriktningen över året syd- till nordvästlig, vilket innebär att sjöfartens emissioner till stor del transporteras in över staden. De centralt placerade passagerarfärjorna (Scandlines, Sundsbussarna och HH-Ferries) bidrar med ca 15 % av kvävedioxidhalten i luften över de centrala delarna i Helsingborg (urban bakgrund, dvs. taknivå). Detta trots att färjetrafiken mellan Helsingborg och Helsingör har installerad utrustning för reduktion av kväveoxider från sina emissioner och elanslutning vid nattförtöjning. I samma storleksordning (tabell 5) bidrar den förbipasserande sjöfartstrafiken genom Öresund till de urbana bakgrundshalterna, trots att dessa emissioner sker ca 1 km ut i Öresund.

Tabell 5. Uppmätta årsmedelvärden ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) för kvävedioxid respektive kväveoxider samt beräknat haltbidrag (%) för sjöfartens utsläpp; vid kaj (hotelling), passagerarfartyg och förbipasserande sjöfart ca 1km från Helsingborgs kust.

	Mätvärde 2011 (Urban bakgrund)	Haltbidrag sjöfart vid kaj (hotelling)	Haltbidrag passagerarfärjor	Haltbidrag förbipasserande sjöfart (> 1 km från kust)
NO ₂	23			
NO _x	37**	20%*	15%*	15%*

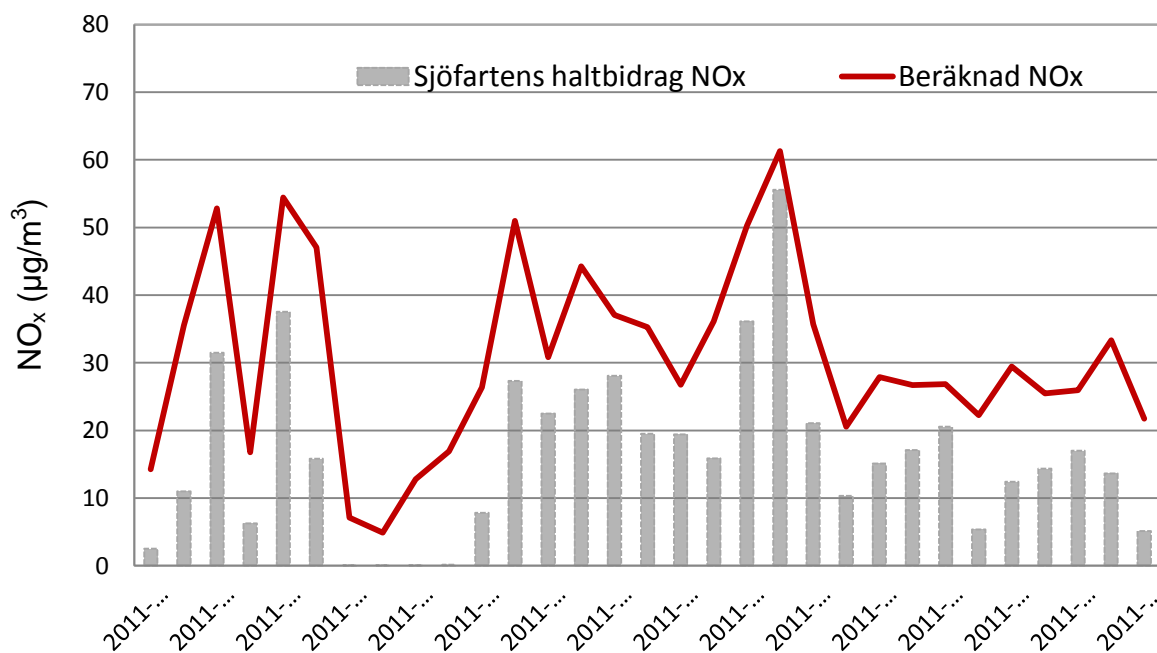
* Haltbidrag beräknad genom jämförelse med uppmätt NO₂ omräknad till NO_x.

** Omräknad NO_x-halt utifrån uppmätt NO₂.

De sjöfartsutsläpp som sker närmast land är de som sker från fartyg som ligger vid kaj. Dessa utsläpp sker även med en större varaktighet, vilket ger utsläpp vid kaj hög potential för att påverka luftkvaliteten på land. Men eftersom ett stillastående fartyg har lägre bränsleförbrukning än ett fartyg som kör blir utsläppet per tidsenhet mindre. Har fartyg dessutom tillgång till el-uppkoppling kan utsläppet reduceras så gott som helt och hållet. I Helsingborg har färjorna i

norra hamnen tillgång till el-uppkoppling vid kaj. Dock används el-uppkopplingen endast under natten då fartygen står stilla en lite längre tid.

Eftersom shipair inte kan hantera att fartyg använder el-uppkoppling vid valda delar av dygnet baseras haltbidraget från sjöfart vid kaj på att inga fartyg i Helsingborgs hamnar använder sig av el-uppkoppling vid stillastående. Utan el-uppkoppling bidrar emissioner från sjöfart vid kaj med ca 20 % av kväveoxidhalten i centrala Helsingborg (urban bakgrund). Genom att bortse från att färjorna i norra hamnen ansluter med el-uppkoppling vid kaj under delar av tiden på natten överskattas haltbidraget från sjöfart vid kaj något. Det ska dock noteras att färjetrafiken som har el-uppkoppling på natten inte är omfattande eftersom färjetrafiken går dygnet runt. För att utreda haltbidraget från fartyg vid kaj mer i detalj krävs ingående detaljer om användning av hjälpmotorer och dess installerade effekt. Även det beräknade haltbidraget från sjöfart som helhet blir troligtvis något överskattat på grund av detta tillvägagångssätt, vilket delvis förklarar varför haltbidraget från sjöfarten av kvävedioxid är högre i den aktuella studien jämfört med tidigare studier (Ramböll 2012, OPSIS 2011). Andra skillnader som kan påverka haltbidragets storlek, mellan den aktuella studien och tidigare studier (Ramböll 2012, OPSIS 2011) är den nya kunskapen om utsläpp från de fartyg som passerar förbi Helsingborg. Fram för allt var och när fartygens utsläpp sker, vilket är shipair-systemets stora styrka.

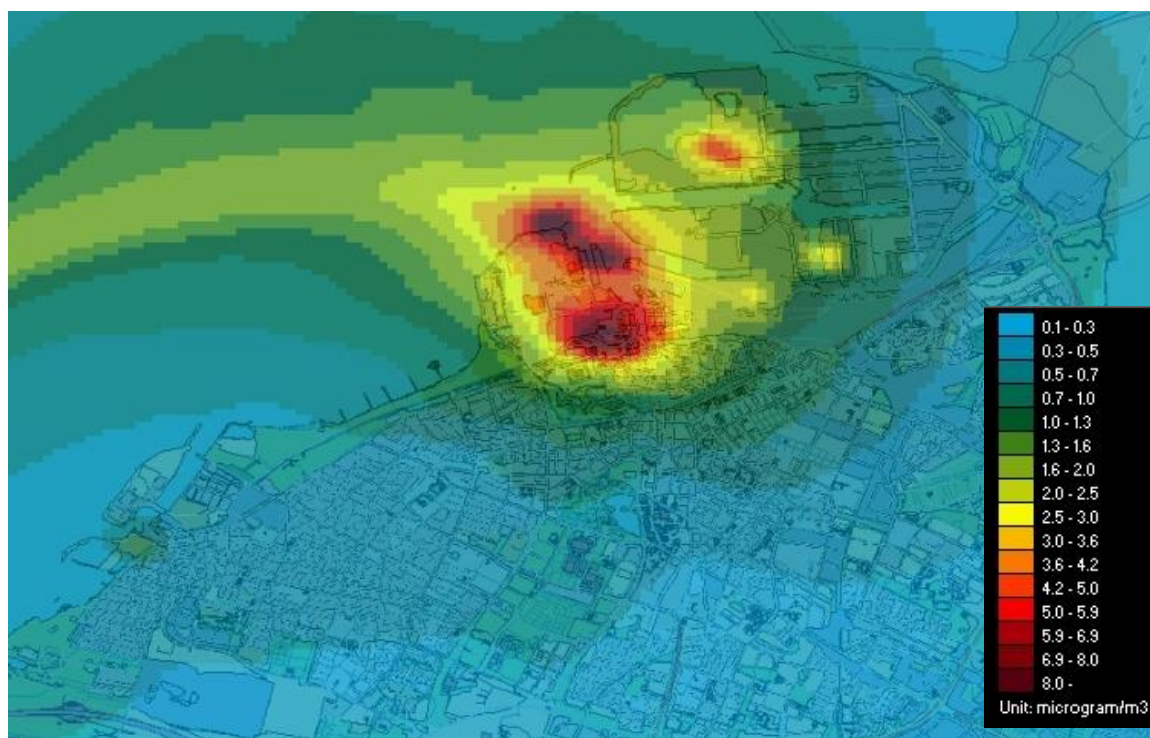


Figur 17. Modellerade dygnsmedelhalter (röd linje) av NO_x (µg/m³) vid beräkningspunkten P4 Järnvägsgatan (taknivå) i centrala Helsingborg, total halt baserat på alla källors gemensamma bidrag inkl. regional bakgrundshalt under majmånad 2011. Sjöfartens haltbidrag (staplar) beräknat i NO_x för respektive dygn.

Hur sjöfartens haltbidrag varierar i förhållande till den modellerade dygnsmedelvärden i Helsingborg (vid beräkningspunkt P4) exemplifieras i figur 17. Bidragets relativa storlek påverkas inte bara av sjöfartens egna utsläpp över de specifika dygnen utan även av vindförhållanden och storleken på den regionala bakgrundshalten, d.v.s. den andelen in-transporterade luftförorening.

Malmö

I Malmö ligger hamnen norr om de centrala delarna av Malmö och med merparten sydvästliga vindar över året påverkar sjöfartens utsläpp luftkvaliteten i Malmö relativt lite. I de centrala delarna av Malmö bidrar sjöfarten i genomsnitt med 0,5-2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ på årsmedelvärdet för kväveoxider (NO_x) (figur 18), beroende på närhet till hamnarna.



Figur 18. Den geografiska spridningen av sjöfartens utsläpp och dess lokala haltbidrag av kväveoxider (ton NO_x /år) i Malmö under beräkningsperioden.

Sjöfartens utsläpp av kväveoxider (NO_x) bidrar med ca 5 % av halten NO_x i Malmös urbana bakgrundsmiljö (beräkningspunkt Rådhuset) (tabell 5). Utav detta haltbidrag står sjöfart vid kaj för 3 % andelar (tabell 6). I gatumiljö (beräkningspunkt Dalaplan) bidrar sjöfarten med <1 %. Utsläppen av svaveloxider från sjöfarten bidrar relativt mer, 50 % av halterna svaveldioxid i den urbana bakgrundsmiljön kommer från sjöfarten. För partiklar (PM_{10}) beräknas sjöfartens utsläpp bidra med <1 % i både den urbana bakgrunden och i gatumiljö. Dock anses kunskapen om utsläpp av partiklar från sjöfarten vara allt för bristfällig för att resultaten ska vara säkra.

Tabell 5. Uppmätta årsmedelvärden för respektive luftförorening samt beräknat haltbidrag (%) för sjöfartens utsläpp; i urban bakgrund respektive gatumiljö. Miljökvalitetsnorm (MKN) och mätvärde presenteras i enheten $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

	MKN	Mätvärde (Urban bakgrund) 2011	Haltbidrag sjöfarten (Urban bakgrund) 2011	Mätvärde (Gatumiljö) 2011	Haltbidrag sjöfarten (Gatumiljö) 2011
NO_2	40	18	-	29	-
NO_x		23	5 %	56	<1%
SO_2	20	2	50 %	-	-
PM_{10}	40	21	<1%	25	<1%

(Urban bakgrund) Rådhuset, Malmö, i taknivå

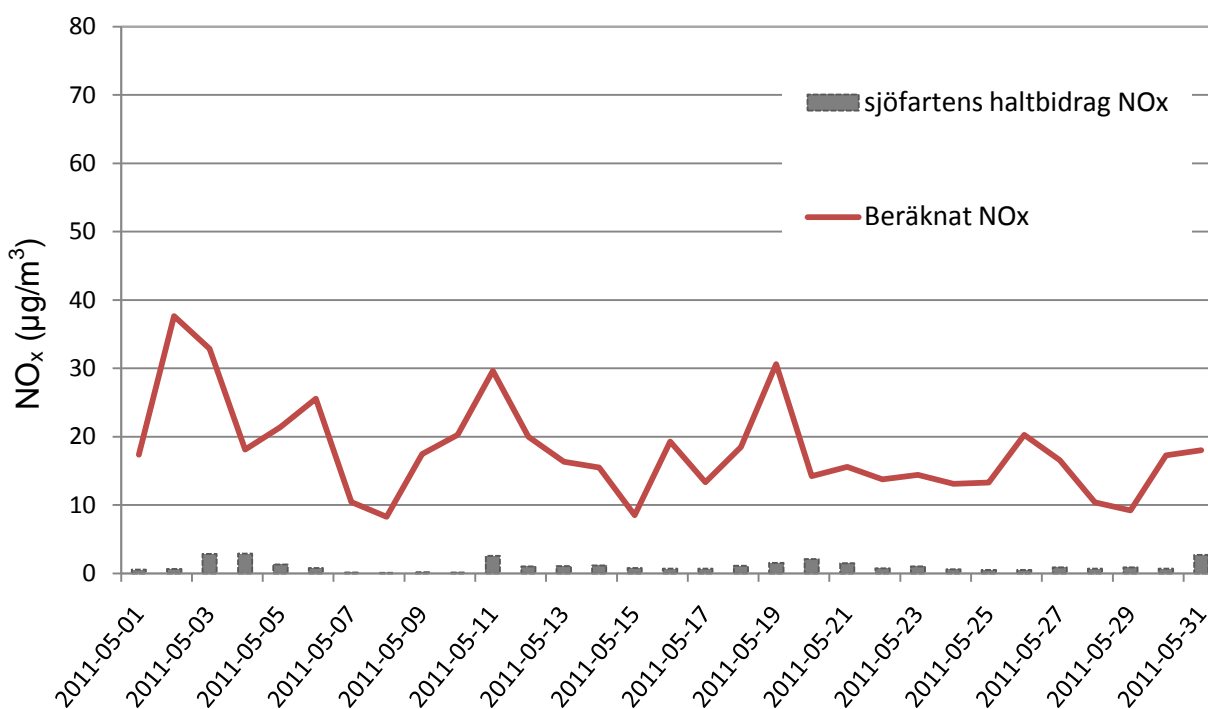
(Gatumiljö) Dalaplan, Malmö

Orsaken till att sjöfarten inte påverkar luftkvaliteten i någon större utsträckning i Malmö beror främst på hamnens nordliga placering och avståndet till förbipasserande sjöfart (internationell) i förhållande till centrala Malmö (se tabell 6), i kombination med gynnsamma vindförhållanden. Dessutom har sjöfartens påverkan på Malmös luftkvalitet minskat eftersom den reguljära färjetrafiken till och från Tyskland flyttat sin angöring längre ut i hamnområdet, dvs. längre bort från centrala Malmö. Passagerarfartygens haltbidrag utgör endast 2 % av den uppmätta kväveoxidhalten vid Rådhuset i Malmö (tabell 6).

Tabell 6. Uppmätta årsmedelvärden ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) för kvävedioxid respektive kväveoxider samt beräknat haltbidrag (%) för sjöfartens utsläpp; vid kaj (hotelling), passagerarfartyg och förbipasserande sjöfart >5km från Malmös kust.

	Mätvärde 2011 (Urban bakgrund)	Haltbidrag sjöfart vid kaj (hotelling)	Haltbidrag passagerarfartyg	Haltbidrag förbipasserande sjöfart (> 5 km från kust)
NO _x	23	3 %	2 %	3 %

(Urban bakgrund) Rådhuset i Malmö

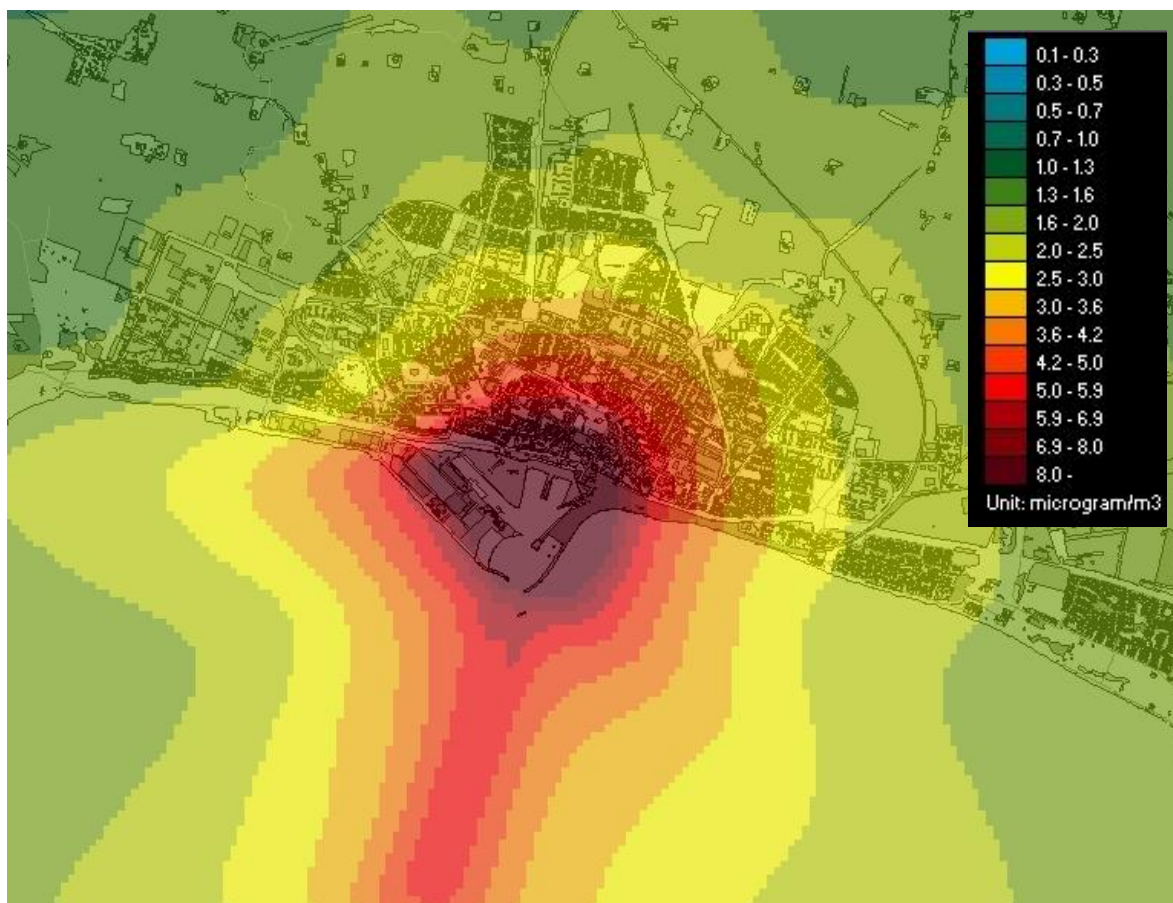


Figur 19. Modellerade dygnsmedelhalter (röd linje) av NO_x ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) vid beräkningspunkten Rådhuset i Malmö, total halt baserat på alla källors gemensamma bidrag inkl. regional bakgrundshalt under maj 2011. Sjöfartens haltbidrag (staplar) beräknat i NO_x för motsvarande dygn.

Hur sjöfartens haltbidrag varierar jämfört med uppmätta dygnsmedelvärden i Malmö exemplifieras för kväveoxider (NO_x) i figur 19. Bidragets storlek är vid Rådhuset i Malmö relativt konstant över tidsperioden (1-31 maj 2011) vilket tyder på att perioden inte innefattat tillfällen med nordliga vindar, då sjöfartens haltbidrag skulle varit större.

Trelleborg

I Trelleborg ligger hamnen centralt och nära de centrala delarna av Trelleborgs tätort. I de centrala delarna av staden bidrar sjöfarten i genomsnitt med 3-8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ på årsmedelvärdet för kväveoxider (NO_x) (figur 20), beroende på närhet till hamnen.



Figur 20. Den geografiska spridningen av sjöfartens utsläpp och dess lokala haltbidrag av kväveoxider (ton NO_x /år) i Trelleborg under beräkningsperioden.

Tabell 7. Uppmätta årsmedelvärden för respektive luftförorening samt beräknat haltbidrag (%) för sjöfartens utsläpp; i urban bakgrund respektive hamnmiljö. Miljökvalitetsnorm (MKN) och mätvärde presenteras i enheten $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

	MKN	Mätvärde (Urban bakgrund) 2011	Haltbidrag sjöfart (Urban bakgrund) 2011	Mätvärde (Hamn) 2011	Haltbidrag sjöfart (Hamn) 2011
NO_2	40	16	-	26	-
NO_x		23**	50 %*	41**	60 %*
SO_2	20	2	60 %	-	-
PM_{10}	40	21	5 %	-	-

(Urban bakgrund) Rådhuset, Trelleborg

(Hamn) Trelleborgs hamn

* Haltbidrag beräknad genom jämförelse med uppmätt NO_2 omräknad till NO_x .

** Omräknad NO_x -halt utifrån uppmätt NO_2 .

Det beräknade haltbidraget i urban bakgrundsmiljö (vid beräkningspunkt Rådhuset), i Trelleborg och i hamnen, visar på ett relativt stort bidrag från sjöfarten på luftföroreningshalterna, bortsett från partiklar (PM₁₀), år 2011. De beräknade haltbidraget från sjöfarten för respektive förorening och beräkningspunkt uppskattas till; 50 % av kväveoxidhalten (NO_x) i urban bakgrundsmiljö respektive 60 % i hamnen, 60 % av svaveldioxidhalten i urban bakgrundsmiljö samt 5 % av partikelhalten i urban bakgrundsmiljö (se tabell 7).

Att sjöfarten har stor påverkan på luftkvaliteten i Trelleborg är precis som i Helsingborg ingen nyhet utan en direkt följd av att utsläppen från sjöfarten sker nära de centrala delarna av Trelleborg. I Trelleborg blir sjöfartens relativa haltbidrag (se tabell 7) större för kväveoxiderna eftersom vägtrafiken i Trelleborg har ett mindre utsläpp jämför med vägtrafiken i Helsingborg. Det lägre haltbidraget för svaveldioxid, jämfört med Helsingborg, samt att valideringen av modellen visar på underskattade svaveldioxidhalter i Trelleborg, tyder på saknade utsläpp. En orsak till uppmätta svaveldioxidhalter överstiger de som beräknas genom shipair och kända utsläppskällor i Trelleborg kan vara fartyg som inte följer anvisad svavelhalt i bränslet och därmed släpper ut mer svaveldioxid än vad modellen beräknar då denna antar att alla fartyg följer anvisad svavelhalt i bränslet.

Den sjöfart som är dominerande i Trelleborg är passagerarfartygen, dessa färjor bidrar med ca 40 % av kväveoxidhalten i Trelleborg (urban bakgrund)(tabell 8). Fartyg som står stilla vid kaj bidrar med ca 30 % av kväveoxidhalten (urban bakgrund). Under 2011 var inga fartyg uppkopplade mot el vid kaj, men möjlighet till elanslutning var på gång i hamnen för den reguljära färjetrafiken. Numera finns sådan utrustning för elanslutning i hamnen och de färjor som önskar kan elanslutas vid kaj. Eftersom den förbipasserande sjöfartens utsläpp (s.k.internationell) sker en bra bit ut från Trelleborgs kust så bidrar den bara med 5 % till kvävedioxidhalten år 2011.

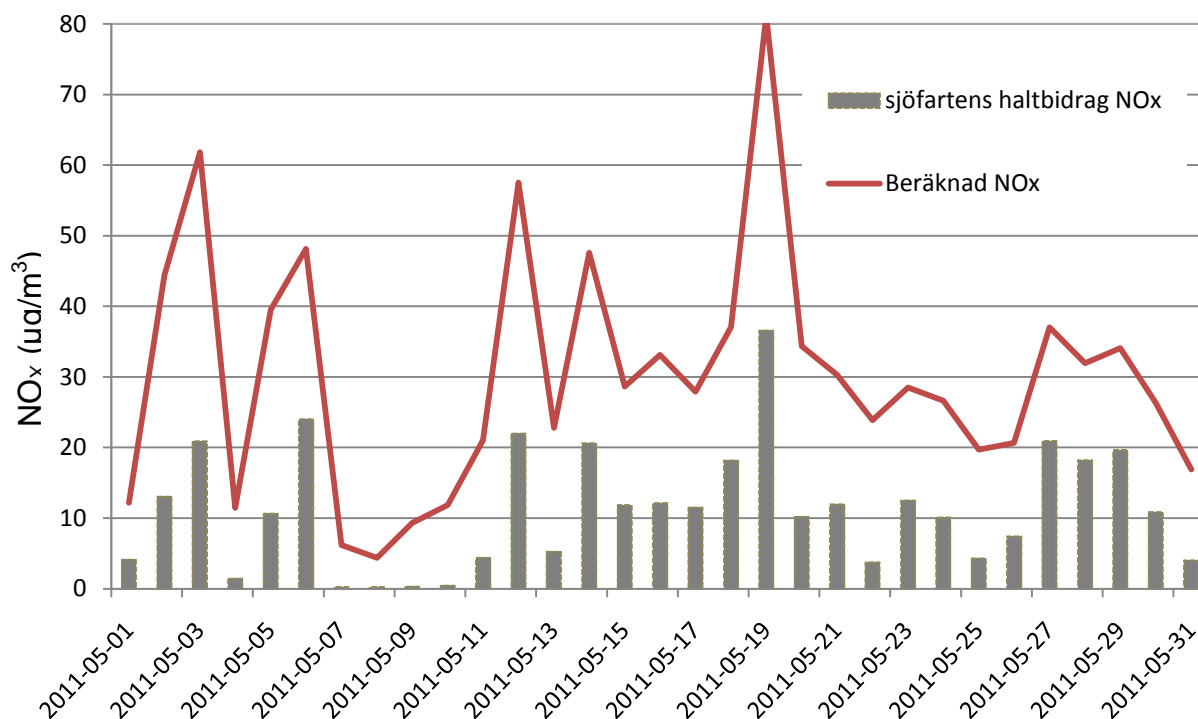
Tabell 8. Uppmätta årsmedelvärden (µg/m³) för kvävedioxid samt beräknat haltbidrag (%) för sjöfartens utsläpp; vid kaj (hotelling), passagerarfartyg och förbipasserande sjöfart >5km från Trelleborgs kust.

	Mätvärde 2011 (urban bakgrund)	Haltbidrag Sjöfart vid kaj (hotelling)	Haltbidrag Passagerarfartyg	Haltbidrag Förbipasserande sjöfart (> 5km från kust)
NO ₂	16			
NO _x	22**	30%*	40 %*	5 %*

(Urban bakgrund) Rådhuset, Trelleborg

* Haltbidrag beräknad genom jämförelse med uppmätt NO₂ omräknad till NO_x.

** Omräknad NO_x-halt utifrån uppmätt NO₂.

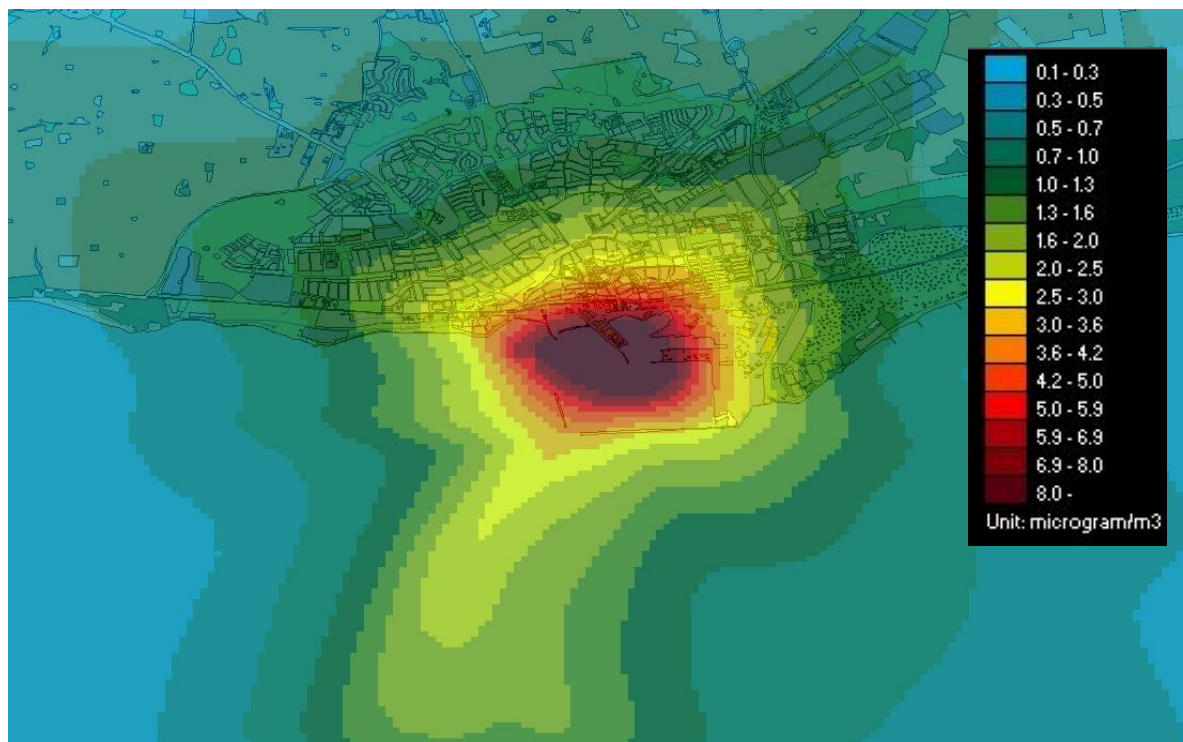


Figur 21. Modellerade dygnsmedelhalter (röd linje) av NO_x (µg/m³) vid beräkningspunkten Rådhuset i Trelleborg, total halt baserat på alla källors gemensamma bidrag inkl. regional bakgrundshalt under majmånad 2011. Sjöfartens haltbidrag (staplar) beräknat i NO_x för motsvarande dygn.

Hur sjöfartens haltbidrag varierar jämfört med uppmätta dygnsmedelvärden i Trelleborg (vid Rådhuset) exemplifieras för NO₂ i figur 21. Samvariationen mellan beräknat haltbidrag och uppmätt kvävedioxidhalt tyder på tydlig påverkan av sjöfartens utsläpp på luftkvaliteten.

Ystad

I likhet med Trelleborg och Helsingborg ligger hamnen i Ystad relativt centralt. I de centrala delarna av staden bidrar sjöfarten i genomsnitt med 1-6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ på årsmedelvärdet för kväveoxider (NO_x) (figur 22), beroende på närhet till hamnen.



Figur 22. Den geografiska spridningen av sjöfartens utsläpp och dess lokala haltbidrag av kväveoxider (ton $\text{NO}_x/\text{år}$) i Ystad under beräkningsperioden.

Tabell 9. Uppmätta årsmedelvärden för respektive luftförorening samt beräknat haltbidrag (%) för sjöfartens utsläpp; i urban bakgrund (UB) respektive hamnmiljö (G). Miljökvalitetsnorm (MKN) och mätvärde presenteras i enheten $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

	MKN	Mätvärde (Urban bakgrund) 2011	Haltbidrag (Urban bakgrund) 2011	Mätvärde (Hamn) 2011	Haltbidrag (Hamn) 2011
NO_2	40	12		14	
NO_x	-	16**	25 %*	19**	70 %*
SO_2	20	1,5	30 %	3,5	40 %
PM_{10}	40	20	<1%	-	-

(Urban bakgrund) Östra Förstaden, i bostadsområde

(Hamn) Ystad hamn vid Bornholmsterminalen

* Haltbidrag beräknad genom jämförelse med uppmätt NO_2 omräknad till NO_x .

** Omräknad NO_x -halt utifrån uppmätt NO_2 .

Det beräknade haltbidraget i urban bakgrundsmiljö (vid beräkningspunkt Östra Förstadsgatan) i Ystad och i hamnen (vid Bornholmsterminalen), visar på ett relativt stort bidrag från sjöfarten på luftföroreningshalterna, bortsett från partiklar (PM_{10}), år 2011. De beräknade haltbidraget från sjöfarten för respektive förorening och beräkningspunkt uppskattas till; 25 % av kväveoxidhalten (NO_x) i urban bakgrundsmiljö respektive 80 % i hamnen, 30 % av svaveldioxidhalten i urban bakgrundsmiljö respektive 40 % i hamnen, samt <1 % av partikelhalten i urban bakgrundsmiljö (se tabell 9).

Att sjöfarten har stor påverkan på luftkvaliteten i Ystad är precis som i Helsingborg och Trelleborg känt sedan tidigare. Återigen är närheten till fartygens utsläpp avgörande för hur stort haltbidraget blir, jämför haltbidrag vid Ö Förstadsgatan (urban bakgrund) och vid Bornholmsterminalen (tabell 9). Storleken på andra källors samlade utsläpp är också avgörande för hur stor sjöfartens relativa haltbidrag blir.

Även i Ystad är passagerarfartygen den dominerande sjöfartskategorin avseende både utsläpp och haltbidrag av kväveoxider. Haltbidraget från passagerarfartyg utgör 10 % av kvävedioxidhalten i Ystad. Fartyg som står stilla vid kaj bidrar med ca 15 % av kvävedioxidhalten. Under 2011 är inga fartyg uppkopplade mot el vid kaj men möjlighet till elanslutning är på gång i hamnen för den reguljära färjetrafiken. Eftersom den förbipasserande sjöfartens utsläpp (s.k. internationell) sker en bra bit ut från Ystads kust bidrar den bara med ca 5 % till kvävedioxidhalten år 2011.

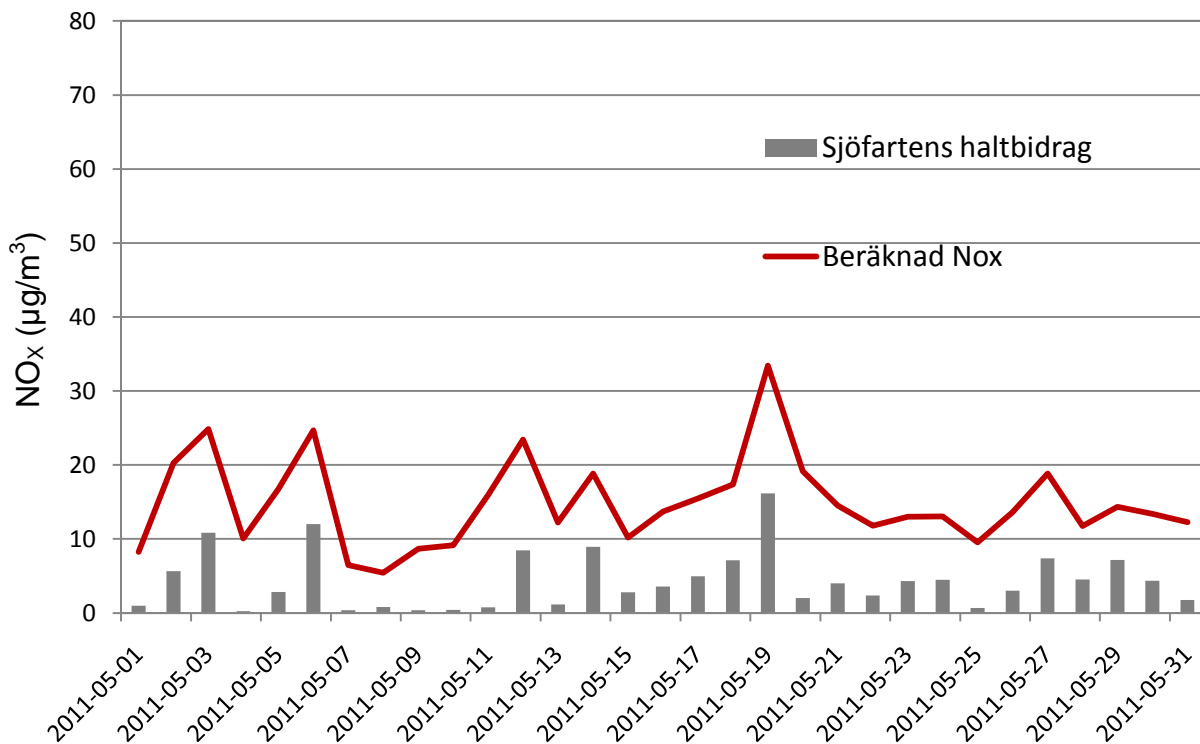
Tabell 10. Uppmätta årsmedelvärden ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) för kvävedioxid samt beräknat haltbidrag (%) för sjöfartens utsläpp; vid kaj (hotelling), passagerarfartyg och förbipasserande sjöfart >5km från kust.

	Mätvärde 2011 (Urban bakgrund)	Haltbidrag Sjöfart vid kaj (hotelling)	Haltbidrag Passagerarfartyg	Haltbidrag Förbipasserande sjöfart (>5 km från kust)
NO ₂	12			
NO _x	16**	15 %*	10 %*	5 %*

(Urban bakgrund) Östra Förstaden, i bostadsområde

* Haltbidrag beräknad genom jämförelse med uppmätt NO₂ omräknad till NO_x.

** Omräknad NO_x-halt utifrån uppmätt NO₂.



Figur 23. Modellerade dygnsmedelhalter (röd linje) av NO_x (µg/m³) vid beräkningspunkten Östra Förstaden i Ystad, total halt baserat på alla källors gemensamma bidrag inkl. regional bakgrundshalt under majmånad 2011. Sjöfartens haltbidrag (staplar) beräknat i NO_x för motsvarande dygn.

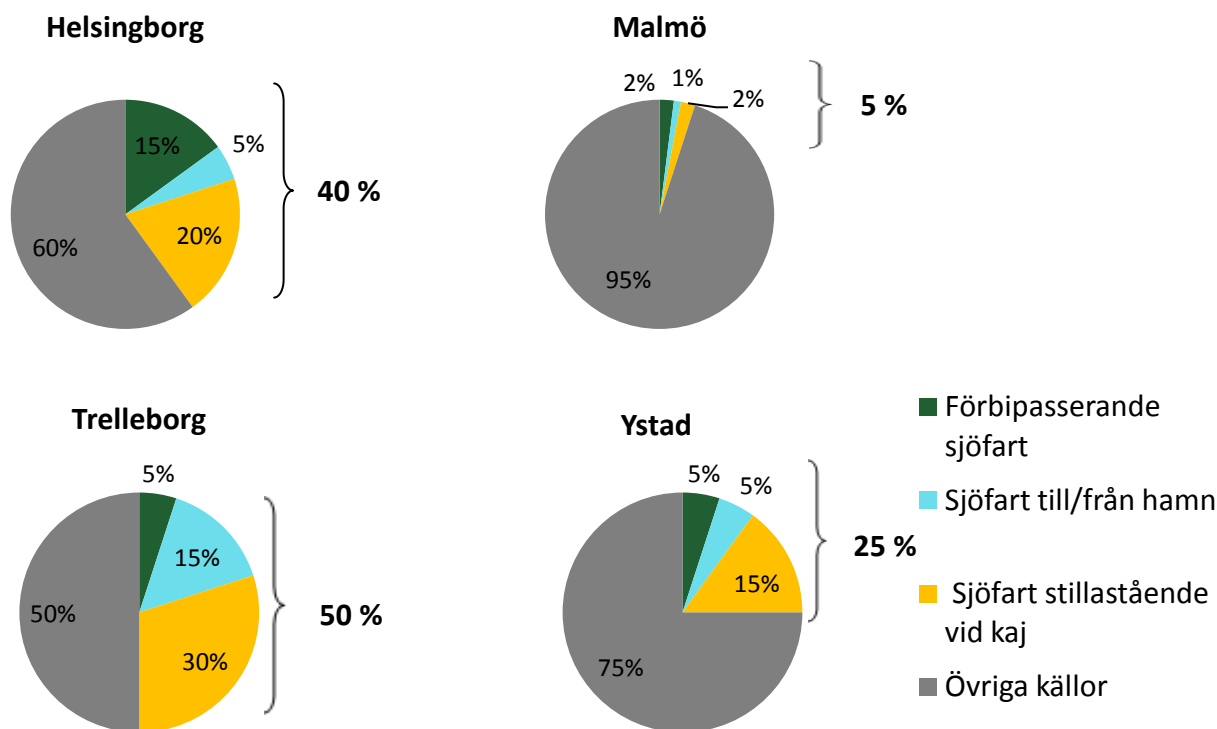
Hur sjöfartens haltbidrag varierar jämfört med modellerade totalhalter för kväveoxider (NO_x) i Ystad (vid Östra Förstadsgatan) exemplifieras för NO₂ i figur 23. Samvariationen mellan beräknat haltbidrag och uppmätt kvävedioxidhalt tyder på tydlig påverkan av sjöfartens utsläpp på luftkvaliteten och ett mer eller mindre konstant haltbidrag över tid.

Diskussion och slutsatser

Den aktuella utredningen visar att sjöfarten har en tydlig påverkan på luftkvaliteten i den västra delen av Skåne och i skånska hamnstäder. I Skåne som helhet bidrar sjöfartens utsläpp med ca 5 % kväveoxider, 15 % för svaveldioxid och <1 % partiklar (PM₁₀). Notera att resultaten avser förhållanden år 2011. Sedan 1 januari 2015 har nya krav på svavelhalten i bränslet (max 0,1 procent) börjat gälla vilket bör ha minskat sjöfartens utsläpp av svaveldioxid. Stora delar av resultaten, vilka visar på vilket haltbidrag sjöfarten har i respektive hamnstad, är mer eller mindre kända förhållanden sedan tidigare. Avvikelserna från tidigare studier beror på både ny kunskap om förbipasserande sjöfartstrafik och på skillnader i metodik (i jämförelse med t.ex. OPSIS utredning 2011 och Rambölls utredning 2012 för Helsingborg). Systemet Shipair använder sig av AIS, vilket ger kunskap om var sjöfarten är och därmed var utsläppet sker - även för den sjöfart som inte är reguljär och som vi delvis saknat kunskap om tidigare. Samtidigt utnyttjas identifieringen av fartygen och dess beskaftenheter via AIS och registrerade uppgifter i Sjöfartsverkets register, vilket ger ökad möjlighet att uppskatta utsläppets storlek.

Det som fram för allt är ny kunskap är haltbidraget från olika delar av sjöfartstrafiken och dess påverkan på luftkvaliteten i hamnstäderna. Med fokus på olika delar av sjöfartstrafiken och hur dessa individuellt bidrar till rådande luftkvalitet ger hamnstäderna bra underlag för diskussion om vilka åtgärder som är lämpliga att vidta i respektive hamnstad för att förbättra luftkvaliteten. Ofta har uppgifter om utsläppen och haltbidraget från den s.k. internationella sjöfarten, dvs. den sjöfart som passerar förbi, efterfrågats för att avgöra hur mycket denna del av sjöfarten påverkar halterna i Skånes tätorter.

Sjöfartens haltbidrag till kväveoxidhalterna i Skånska hamnstäder



Figur 24. Sjöfartstrafikens haltbidrag till kväveoxidhalterna (NO_x) i respektive hamnstad (urban bakgrundsmiljö). Övriga källor innefattar, bland annat vägtrafik, industrier och energiproduktion, arbetsmaskiner och småskalig uppvärmning.

Resultaten från utredningen visar att även den förbipasserande sjöfarten påverkar dock inte i någon större uträkning bortsett från Helsingborg där den förbipasserande sjöfarten bidrar med ca 15 % av årsmedelvärdet för kväveoxider i central Helsingborgs urbana bakgrundsluft (år 2011). I övriga hamnstäder bidrar sjöfarten med ca 5 % av halten kväveoxider. Den avgörande faktorn för Helsingborg är närheten till den förbipasserande sjöfarten. Det är viktigt att i sammanhanget notera att den förbipasserande sjöfarten även inkluderar fartyg som eventuellt angör någon av Skånes hamnar. I Shipair finns inte möjlighet, åtminstone inte i dagsläget, att kategorisera fartyg som angör en viss hamn eller ej. Även utsläppen och haltbidraget från stillastående fartyg vid kaj är intressant och har länge varit önskvärt underlag vid diskussion om införande av land-el i hamnarna. Idag har många av de skånska hamnarna infört tillgång till land-el för den reguljära sjöfartstrafiken. Och resultaten visar på en relativt stor potential för att minska utsläppen från stillastående fartyg i hamn för de hamnar som idag installerat landel-uppkoppling. I Helsingborg bidrar utsläppen av kväveoxider från fartyg vid kaj med ca 20 % av halten i urban bakgrund, i Trelleborg är haltbidraget 30 % och i Ystad är motsvarande bidrag 15 %. Dock bör resultaten avseende haltbidrag från stillastående fartyg vid kaj tolkas med försiktighet då fartygens utsläpp vid kaj baseras på ett antagande om att användningen av hjälpmotorer är 40 % av installerad effekt för alla fartyg - vilket inte alltid är fallet. För mer detaljerad kunskap avseende emissioner och haltbidrag från stillastående fartyg vid kaj krävs ingående utredningar för respektive hamn, där användningen av hjälpmotorerna vid stillastående definieras för respektive fartyg.

Den aktuella kartläggningen av sjöfartens utsläpp runt Skåne visar ett tydligt samband mellan avståndet till källan (sjöfartens utsläpp) och haltbidragets storlek. I Helsingborg sker utsläpp från den angörande samt den förbipasserande sjöfarten nära staden vilket ger det högsta faktiska haltbidraget för både kväveoxider och svaveldioxid bland de Skånska hamnstäderna. Det relativt högsta haltbidraget för kväveoxider står sjöfarten för i Trelleborg. I Trelleborg är halterna kvävedioxid inte lika höga som i Helsingborg så därför får utsläppen från sjöfarten ett procentuellt högre haltbidrag i Trelleborg. Men även det faktiska haltbidraget för kväveoxider och svaveldioxid är nästan lika stort i Trelleborg som i Helsingborg. Ystad och Trelleborg har på många sätt samma förutsättningar vad gäller dess miljöpåverkan av sjöfarten på grund av geografiska likheter. Men på grund av färre antal anlöpande fartyg och en placering av hamnen i förhållande till vindriktningen får Ystad ett lägre haltbidrag jämfört med Trelleborg från sjöfartstrafiken, både som faktiskt haltbidrag och relativt (procentuellt), både avseende kväveoxider och svaveldioxid. I Malmö är avståndet mellan sjöfartens utsläpp och Malmö centrum större än för de andra hamnstäderna. Avståndet till utsläppen och tack vare gynnsamma vindförhållanden gör att sjöfartens haltbidrag blir lågt fram för allt för kväveoxider och partiklar. För svaveldioxid är det relativa haltbidraget betydligt större, främst på grund av att det finns så pass få utsläppskällor för svaveldioxid.

Utvärdering av beräknade utsläpp från sjöfarten

Valideringen av sjöfartens utsläpp visar att halterna som beräknas för partiklar (PM_{10}) är låga - eventuellt för låga. Eftersom utredningen inte haft tillgång till några mätningar där sjöfartens utsläpp utgöra hela halten så blir utvärderingen svår. I den modellering som gjordes för Östra Förstadsgatan i Ystad underskattar modellberäkningen årsmedelvärdet vilket tyder på för låga utsläpp av kända källor, t.ex. sjöfarten, eller saknade utsläppskällor. Troligen är det så att den partikelhalt som mäts, t.ex. vid Östra förstadsgatan i Ystad, innehåller både primärt och sekundärt bildade partiklar, med ursprung från fartygens utsläpp. Och de emissioner Shipair beräknar utgör de primärt bildade partiklarna. Enligt den forskning som görs på bl.a. IVL (Svenska Miljöinstitutet) är emissionsfaktorerna för sjöfartens utsläpp av $PM_{2,5}$ och PM_{10} osäkra och de emissionsmätningar som gjorts visar på varierande resultat. Anledningen till detta är bl.a. att partikelmassan beror på många emissioner av olika partikelkomponenter (t.ex. sulfat, aska, organisk kol och sot), där emissionsfaktorn för vissa ämnen är som störst när förbränningen är

som mest effektiv medan den för andra ämnen tvärtom är högst vid dålig förbränning (Moldana 2012). En annan anledning kan vara att många emissionsmätningar mätt icke flyktiga ämnen i partiklarna, medan i atmosfären innehåller partiklarna en ansevärd del lättflyktiga organiska och oorganiska komponenter, vilka även måste inkluderas i partikelmassan (Kristensen A). Slutsatsen vi drar av detta är att mer forskning behövs för att säkerställa emissionsfaktorerna för partiklar och därmed sjöfartens påverkan på luftkvaliteten i Skåne avseende partiklar (PM_{2,5} och PM₁₀).

För föroreningarna kvävedioxid och svaveldioxid visar valideringen av utsläppsdata från Shipair och de modellberäkningar som gjorts med Skånes emissionsdatabas på god överensstämmelse med uppmätta årsmedelvärden i hamnstäderna men sämre överensstämmelse med dygnsmedelvärdena. Vi tolkar detta som att storleken och den geografiska positionen på utsläppet är representativt för året och för den sjöfart som trafikerar Skånes hamnar och farleder.

Den något sämre kvaliteten på modellberäknade dygnsmedelvärden visar på svårigheten av att kunna beräkna dygnsmedelhalter av luftföroreningar vars halt delvis utgörs av ett långväga intransporterat påslag. Utöver osäkerheter i haltpåslag vid intransporterade luftföroreningar finns det även andra orsaker till skillnader mellan beräknade dygnsmedelvärden och uppmätta värden. Till exempel påverkar även den generaliserade tidsvariation som lagts på emissionsrasterna. Eftersom ett av syftena med utredning var att uppdatera Skånes emissionsdatabas med utsläppsstatistik för sjöfarten runt Skåne gjordes inte modellberäkningarna i systemet Shipair vilket egentligen systemet är byggt för. Istället flyttades utsläppsdata, beräknade årsmedelvärden, från Shipair i form av rasterdata, vilket beskriver utsläppet för respektive förorening och specificerat geografiskt område. Emissionsrastret kompletterades sedan med tidsvariation, i form av tidsprofiler med en månadsvariation och en veckovariation. Denna generalisering gör att tidsprecisionen för individuella fartygs utsläpp i hamnområdena blir dålig, fram för allt för den oregelbundna trafiken. Liknande problematik med generalisering uppstår för höjden på utsläppet, fram för allt för utsläpp inom hamnområdena. Eftersom många fartygs utsläpp beskrivs av ett och samma raster för de fördefinierade områdena, t.ex. Trelleborgs hamn, krävs det att deras utsläpp definieras med samma höjd. I verkligheten är fartyg och dess skorstenar olika höga d.v.s. utsläppet från fartygen sker på olika höjder. I likhet med resonemanget om att avståndet från en plats till en utsläppskälla påverkar haltbidraget för platsen så utgör även höjden ett avstånd som därmed påverkar haltbidraget. Avståndet avgör hur fort utsläppet av en viss förorening hinner spädas ut vid spridning. Med en generaliserad höjd, vilket är för lågt för vissa fartyg och för högt för andra fartyg överskattas resp. underkattas haltbidraget i hamnområdena beroende på vilket fartyg som är inne. Då vindförhållanden i modellen hämtas från mätdata i Malmö är det även troligt att de specifika och verkliga vindförhållandena i respektive hamnstad skiljer sig och därmed skapar avvikelser mellan modellerade och uppmätta halter, beroende på olika hastighet och riktning för utsläppens spridning. De specifika vindförhållandena blir fram för allt avgörande för de hamnstäder där fartygens utsläpp sker relativt nära beräkningspunkten och mätplatsen.

Slutsatsen blir att för att kunna beräkna dygnsmedelvärden med högre kvalitet i hamnstäderna behöver utsläppen i hamnområdena beskrivas med annan metodik i Skånes emissionsdatabas för att återspegla individuell tidsvariation och höjd på fartygens utsläpp. Det vore önskvärt att systemet Shipair även blev kompatibelt med andra emissionsdatabaser och modellsystem än Airviro. Då skulle även andra emissionsdatabasen och modellsystem så som Skånes emissionsdatabas och EnviMansystemet kunna dra nytta av Shipair för emissionsberäkningar för fartygen med en högre tidsupplösning.

Osäkerheter i Shipair som kan påverka utsläppets storlek är de fartyg som inte kan identifieras korrekt via AIS. I modulen SEI (Ship Emission Information) i Shipair-systemet väljs emissionsfaktorer grundat på relevanta parametrar tillgängliga i Sjöfartsverkets register för respektive fartygsindivid. Om viktiga parametrar saknas för ett fartyg i Sjöfartsverkets register

används default-värden (schabloner) definierade för den specifika fartygskategorin. Under beräkningsperioden 2011 påträffades 4250 unika MMSI i farvattnen runt Skåne. För en del av dessa fartyg saknades uppgift om fartygskategori och kategorin "Other Type" valdes. Användningen av schabloner och dess påverkan på utsläppets storlek är mycket svårt att utvärdera men resultaten från valideringen tyder på att de inte är betydande.

Referenser

- Appelqvist, P. 2005. Åtgärdsstudie – Beräkningar av NO₂-halter i Helsingborg. OPSIS AB
- Gustafsson, S. 2012. Uppdatering av emissionsdatabas för Helsingborg. Ramböll Sverige AB på uppdrag av Helsingborgs stad.
- Jalkanen J-P. et al, 2011. Extension of an assessment model of ship traffic exhaust emissions for particulate matter and carbon monoxide. Atmospheric Chemistry and Physics Discussions. 11, pp. 22129-22172.
- Johansson, L., Gustafsson, S. och Häger A. 2010. Emissioner och luftkvalitet i Skånes kommuner 2009. Rapport Skånes luftvårdsförbund.
- Jana Moldanová, Erik Fridell, Andreas Petzold, Jukka-Pekka Jalkanen, Zissis Samaras. 2012. Deliverable D1.2.3, type R. - Transphorm, (Transport related Air Pollution and Health impacts — Integrated Methodologies for Assessing Particulate Matter) Emission factors for shipping – final data for use in Transphorm emission inventories.
- Segersson, D. et al, 2010. A dynamic emission database for shipping – phase 1. SMHI Rapport 37.
- Segersson, D, et al, 2011. Dynamic emission database for shipping – phase 2, status report. SMHI rapport nr 28.
- Trafikanalys, 2011. *Sjötrafik 2010*. Offentlig statistik från www.trafa.se/Statistik/Sjofart/Sjotrafik/
- Törnevik, H. 2011. Konsekvenser för emissioner och luftmiljö vid införande av landström vid Helsingborgs Hamn AB. OPSIS AB på uppdrag av Helsingborgs Hamn AB.

Data

IVLs databas för luftkvalitetsmätningar;
<http://www.ivl.se/tjanster/datavardskap/luftkvalitet.4.7df4c4e812d2da6a41680004804.html>

Muntlig kommunikation

David Segersson, SMHI

Reidar Grundström, Sjöfartsverket

Adam Kristensen, Lunds universitet