



HELBREDSEFFEKTER AF GRÆNSEOVERSKRIDENDE LUFTFORURENING TIL OG FRA DANMARK

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 141

2015



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

[Tom side]

HELBREDSEFFEKTER AF GRÆNSEOVERSKRIDENDE LUFTFORURENING TIL OG FRA DANMARK

Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi

nr. 141

2015

Jørgen Brandt
Jesper H. Christensen
Steen Solvang Jensen

Aarhus Universitet, Institut for Miljøvidenskab



AARHUS
UNIVERSITET

DCE – NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Datablad

Serietitel og nummer:	Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 141
Titel:	Helbredseffekter af grænseoverskridende luftforurening til og fra Danmark
Forfattere:	Jørgen Brandt, Jesper H. Christensen & Steen Solvang Jensen
Institution:	Aarhus Universitet, Institut for Miljøvidenskab
Udgiver:	Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi ©
URL:	http://dce.au.dk
Udgivelsesår:	Februar 2015
Redaktion afsluttet:	2015.02.04
Faglig kommentering:	Ole Hertel
Kvalitetssikring, DCE:	Vibeke Vestergaard Nielsen
Finansiel støtte:	Miljøstyrelsen
Bedes citeret:	Brandt, J., Christensen, J. H. & Jensen, S.S. 2015. Helbredseffekter af grænseoverskridende luftforurening til og fra Danmark. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 46 s. - Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 141 http://dce2.au.dk/pub/SR141.pdf
	Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse
Sammenfatning:	Rapport beskriver bidraget til helbredseffekter og tilhørende velfærdsøkonomiske omkostninger af grænseoverskridende luftforurening til Danmark fra udlandet, og til udlandet fra Danmark. Endvidere beskrives emissionskilderne til luftforurening i Europa og i Danmark, og hvor meget de enkelte lande bidrager til luftforureningen i Danmark, og Danmarks bidrag til andre lande.
Emneord:	Luftforurening, helbredseffekter, samfundsøkonomiske omkostninger.
Layout:	Grafisk Værksted, AU-Silkeborg
Foto forside:	ESRI Imagery World Map
ISBN:	978-87-7156-121-0
ISSN (elektronisk):	2244-9981
Sideantal:	46
Internetversion:	Rapporten er tilgængelig i elektronisk format (pdf) som http://dce2.au.dk/pub/SR141.pdf

Indhold

1	Dansk sammenfatning	5
2	English Summary	11
3	Grænseoverskridende luftforurening	16
4	Modellsystem for beregning af helbreds-effekter og samfundsøkonomiske omkostninger	18
4.1	Det integrerede modellsystem EVA	18
4.2	Emissioner	21
5	Helbredseffekter af luftforurening i Danmark og Europa	23
5.1	Helbredseffekter i Europa fra luftforurening og Danmarks bidrag	23
5.2	Helbredseffekter fra luftforurening i Danmark – og bidrag fra Danmark og udlandet	25
6	Samfundsøkonomiske omkostninger af luftforurening i Danmark og Europa	29
6.1	Eksterne omkostninger af luftforurening i Europa og Danmark	29
6.2	Eksterne omkostninger af luftforurening i Danmark – og bidrag fra Danmark og udlandet	31
7	Europæiske og danske emissionskilders bidrag til eksterne omkostninger i Danmark	33
7.1	Europæiske emissionskilders bidrag til eksterne omkostninger i Danmark	33
7.2	Danske emissionskilders bidrag til eksterne omkostninger i Danmark	34
8	Andre landes bidrag til luftforurening i Danmark og Danmarks bidrag til dem	35
8.1	Kilde-modtager tabeller	35
8.2	Andre landes bidrag til luftforurening i Danmark	35
8.3	Danmarks bidrag til luftforurening i andre lande	37
9	Referencer	39
	Bilag 1 Danmarks bidrag til andre lande og omvendt for PM_{2.5} koncentrationer	42
	Bilag 2 Danmarks bidrag til ozonkoncentrationer i andre lande og omvendt	44

[Tom side]

1 Dansk sammenfatning

1.1 Baggrund og formål

Formålet med denne rapport er, at beskrive bidraget til helbredseffekter og tilhørende samfundsøkonomiske omkostninger af grænseoverskridende luftforurening til Danmark fra udlandet, og til udlandet fra Danmark. Rapporten beskriver et basisscenarie i 2008/2010 og et fremtidsscenarie i 2020. Reduktionsmål for emissioner i 2020 er som fastlagt i forbindelse med revisionen af Göteborg protokollen i 2012, som del af regulering af de enkelte landes nationale emissioner i EU via nationale emissionslofter (NEC direktivet).

1.2 Undersøgelsen

Beregningerne af helbredseffekter relateret til luftforurening samt de tilhørende samfundsøkonomiske omkostninger er gennemført med det integrerede modelsystem EVA (Economic Valuation of Air pollution) udviklet ved Institut for Miljøvidenskab, Aarhus Universitet. Beregninger med EVA systemet er foretaget for 17 forskellige kendte helbredseffekter af luftforurening, som bl.a. omfatter øget dødelighed og sygelighed, hospitalsindlæggelser, sygedage, mv. Resultaterne er opgjort på nationalt niveau for Danmark, og samlet for udlandet (dvs. effekten af den samlede grænseoverskridende luftforurening i lande uden for Danmark). I tillæg til helbredseffekterne opgøres de samfundsøkonomiske omkostninger (såkaldte eksterne omkostninger) ved luftforureningens helbredseffekter.

Beregninger af helbredseffekter og relaterede eksterne omkostninger er gennemført for tre forskellige emissions år. Der er taget udgangspunkt i beregninger af luftforurening i de forskellige år foretaget i forbindelse med partikelforskningsprojektet (Nøjgaard et al., 2014). I partikelforskningsprojektet er anvendt resultater for et basisår med emissioner for Europa for år 2008 og for Danmark for år 2010. Kombinationen af to forskellige år skyldes, at det er de nyeste tilgængelige endeligt rapporterede emissioner for de forskellige områder. Dette basisscenarie betegnes derfor 2008/2010. Emissioner for år 2020 er baseret på reduktionsmål for emissioner i 2020, som man har fastlagt i forbindelse revisionen af Göteborg protokollen i 2012.

I denne undersøgelse er der foretaget to forskellige opgørelser af effekter. Den første opgørelse viser hvor meget emissionerne i Europa og Danmark bidrager til helbredseffekter og eksterne omkostninger i Danmark. Den anden opgørelse viser hvor meget emissionerne i Danmark bidrager til helbredseffekter og eksterne omkostninger i udlandet.

Endvidere redegøres der for, hvor meget de enkelte lande omkring Danmark bidrager til luftforureningen i Danmark, og hvor meget Danmark bidrager til luftforureningen i de enkelte lande omkring Danmark. Denne opgørelse foretages på baggrund af beregninger udført af EMEP (European Monitoring and Evaluation Program), som er et videnskabeligt og politikorienteret program under en international konvention for grænseoverskridende luftforurening under FN (Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (CLRTAP)).

1.3 Hovedkonklusioner

Antal for tidlige dødsfald

I det følgende overblik bruges antallet af for tidlige dødsfald som overordnet helbredsindikator. Antallet af for tidlige dødsfald inkluderer både for tidlige dødsfald som følge af korttidseksposering af ozon (akutte dødsfald) og som følge af langtidseksposering af partikelforurening (kroniske dødsfald). I resultaterne i rapporten indgår imidlertid beregninger fortaget med EVA modelsystemet for 17 forskellige helbredseffekter relateret til både dødelighed og sygelighed.

Danske menneskeskabte emissioner af luftforurening bidrager til omkring 2.500 for tidlige dødsfald i Europa (inkl. Danmark) i basisscenariet 2008/2010. Dette udgør omkring 0,5% af alle for tidlige dødsfald relateret til luftforurening i hele Europa (inkl. Danmark). Bidraget vil falde til ca. 1.420 for tidlige dødsfald frem mod år 2020 pga. reduktion i emissionerne i Danmark.

Danske menneskeskabte emissioners bidrag til helbredseffekter i Europa uden for Danmark er opgjort til omkring 2.030 for tidlige dødsfald i 2008/2010. Danmarks bidrag vil falde til ca. 1.090 for tidlige dødsfald frem mod år 2020 pga. reduktion i emissionerne i Danmark.

For basisscenariet er der beregnet omkring 2.750 for tidlige dødsfald som følge af den totale luftforurening i Danmark i 2008/2010. Dette tal er noget lavere end tidligere vurderinger, som har peget på omkring 3.400 for tidlige dødsfald (Ellermann et al. 2014). Forskellen skyldes, at de nye beregninger er baseret på emissioner fra 2008/2010. Disse emissioner er lavere end emissionerne for år 2006, som blev anvendt ved de tidligere beregninger. Antallet af for tidlige dødsfald relateret til luftforurening vil falde til ca. 2.200 frem mod år 2020. I tallene er effekten af sekundære organiske aerosoler ikke inkluderet.

Udlandets emissioner af luftforurening bidrager i basisscenariet med omkring 2.270 for tidlige dødsfald i Danmark i 2008/2010. Som følge af reduktioner i emissionerne falder udlandets bidrag til antallet af for tidlige dødsfald i Danmark frem mod år 2020 til ca. 1.870.

Danske menneskeskabte emissioner bidrager således til ca. 480 for tidlige dødsfald i Danmark i basisscenariet for 2008/2010. Danmarks bidrag falder frem mod år 2020 til ca. 330 for tidlige dødsfald pga. faldende emissioner i Danmark.

Danske menneskeskabte emissioner bidrager med omkring 15-17% af de totale antal for tidlige dødsfald relateret til luftforurening i Danmark, og udlandets emissioner (inkl. naturlige emissioner) bidrager således med de resterende 83-85%.

Eksterne omkostninger af helbredseffekter fra luftforurening

De samlede eksterne omkostninger relateret til helbredseffekter af luftforurening i Europa er i basisscenariet for 2008/2010 estimeret til ca. 4.200 mia. kr. faldende til ca. 3.500 mia. kr. i 2020. Emissionen af kvælstofoxider udgør det største bidrag til eksterne omkostninger efterfulgt af emissionen af svovlforbindelser og primære partikler. Kulilte bidrager forsvindende lidt i forhold til øvrige stoffer. Samlet set er det de primære og sekundære partikler, som bidrager mest til de eksterne omkostninger, mens gasserne *som gas* bidrager mindre (ozon, svovldioxid og kulilte) (se tabel 6.1 for et overblik over stofferne).

Danske menneskeskabte emissioners bidrag til de eksterne omkostninger relateret til helbredseffekter af luftforurening i Europa (inkl. helbredseffekter i Danmark) er for basissceneriet 2008/2010 estimeret til omkring 20 mia. kr. faldende til ca. 10 mia. kr. i år 2020. Danske emissioners bidrag til de samlede eksterne omkostninger i Europa er således omkring 0,5%.

Emissioner af kvælstofoxider i Danmark udgør det største bidrag til eksterne omkostninger. Det næststørste bidrag til eksterne omkostninger kommer fra emissioner af primære partikler. Grunden til at bidraget er stort for kvælstofforbindelser, som fører til dannelsen af nitratpartikler, skyldes relative høje emissioner af kvælstofoxider fra forbrændingsprocesser. Desuden er der relativt høje emissioner af ammoniak fra landbruget, som danner ammoniumnitrat og ammoniumsulfat (som begge er sekundære partikler) i atmosfæren. Svovldioxidemissionerne er derimod relativt lave, som følge af betragtelige emissionsreduktioner i 1980'erne og 1990'erne, og svovl bidrager derfor relativt lidt til de eksterne omkostninger.

Danske menneskeskabte emissioners bidrag til eksterne omkostninger relateret til helbredseffekter af luftforurening i Europa (ekskl. helbredseffekterne i Danmark) er i 2008/2010 omkring 16 mia. kr. faldende til ca. 8 mia. kr. i år 2020.

De eksterne omkostninger i Danmark relateret til den totale luftforurening er i basissceneriet 2008/2010 estimeret til omkring 23 mia. kr. faldende til ca. 18 mia. kr. i år 2020.

I basissceneriet 2008/2010 giver udlandets emissioner af luftforurening et bidrag til eksterne omkostninger i Danmark på omkring 19 mia. kr. faldende til ca. 16 mia. kr. i år 2020 pga. generelt lavere emissioner i Europa.

Danske menneskeskabte emissioners bidrag til helbredsrelaterede eksterne omkostninger i Danmark er for basissceneriet 2008/2010 estimeret til omkring 3,6 mia. kr. faldende til ca. 2,5 mia. kr. i år 2020.

Udenlandske kilders bidrag (inkl. naturlige kilder) til de totale helbredsrelaterede eksterne omkostninger i Danmark udgør ca. 85% i emissionsårene 2008/2010 og 2020. Det danske bidrag er 15%.

Europæiske og danske emissionskilders bidrag til eksterne omkostninger i Danmark

En opgørelse af de forskellige europæiske emissionskilders bidrag til de eksterne omkostninger relateret til luftforureningen i Danmark er baseret på tidligere beregninger gennemført for 2000. Den internationale skibstrafik bidrager med ca. 24 %, vejtrafik med ca. 17 %, kraftværker med ca. 14 %, landbrugssektoren med ca. 20 % og ikke-industriell forbrænding inkl. boligopvarmning med ca. 7 % (Ellermann et al., 2014).

Danske menneskeskabte emissionskilders bidrag til eksterne omkostninger relateret til luftforureningen i Danmark er også baseret på tidligere beregninger dog for 2008. Bidraget fra danske emissionskilder fordeler sig med ca. 33 % fra landbrugssektoren, ca. 16 % fra vejtrafik, og ca. 30% fra ikke-industriell forbrænding inkl. boligopvarmning, som i Danmark næsten udelukkende er relateret til brændeovne og -kedler (Ellermann et al., 2014). Danske kilder har således en høj procentdel for landbrugssektoren og boligopvarmning sammenlignet med europæiske kilder. For landbrugssektoren

er det især ammoniak som bidrager til de eksterne omkostninger pga. bidraget til dannelse af sekundære uorganiske partikler, som indeholder ammonium. For boligopvarmning er det de direkte emitterede partikler fra brændevne, som tegner sig for hovedparten af emissionerne.

Andre landes bidrag til luftforurening i Danmark og Danmarks bidrag til dem

Bidraget fra menneskeskabte emissioner i andre lande til luftforureningen i Danmark samt danske emissioners bidrag til udlandets luftforurening er undersøgt for PM_{2,5} og SOMO35 på baggrund af beregninger udført af EMEP for året 2011. PM_{2,5} er partikler under 2,5 mikrometer og SOMO35 er en indikator for helbredseffekter beregnet ud fra summen af de højeste ozonkoncentrationer. For ozon er bidragene underopdelt på emissioner af flygtige organiske kulbrinter (VOC) og kvælstofoxider (NO_x), da disse stofgrupper er medvirkende til dannelse af ozon i atmosfæren. Ozonkemi er ikke-lineær og bidraget fra NO_x emissioner kan være både positivt og negativt afhængigt af kemisk regime og således giver summen heller ikke 100%. Fx bidrager NO_x emissioner i Danmark til en reduktion af ozonkoncentrationer i Danmark, mens det bidrager til en stigning i ozonen længere væk fra Danmark.

Tyskland bidrager mest til de totale PM_{2,5} koncentrationen i Danmark med 22% efterfulgt af Danmark selv med 20%. Øvrige lande/områder, som bidrager en del, er Storbritannien med 9%, skibe med 9% fra Nordsøen og 4% fra Østersøen, og Polen med 8%. Grunden til at disse lande bidrager mest er dels at de er tæt på Danmark og har relativ høj emissionstæthed på store arealer, men også de dominerende vindretninger fra sydvest, som bringer forureningen til Danmark.

Tyskland og Storbritannien bidrager mest til summen af de højeste ozonkoncentrationer i Danmark for VOC emissioner. For emissioner af NO_x er billedet mere komplekst. Lande og områder (skibe) som ligger tæt på Danmark og Danmark selv bidrager til en reduktion af de højeste ozonkoncentrationer i Danmark. Det skyldes at NO som del af NO_x reagerer med ozon under dannelse af NO₂ og dermed reducerer ozon. Lande og områder (skibe) som ligger længere væk bidrager relativt meget til ozonkoncentrationer i Danmark, da ozondannelse er et regional skala fænomen, og dannes ud fra VOC og NO_x emissioner under indflydelse af sollys og høje temperaturer.

For Danmarks bidrag til PM_{2,5} koncentrationer i andre lande, er det største bidrag i Sverige med omkring 6% af middelkoncentrationen i Sverige. Dette skyldes den dominerende sydvestlige vindretning, som blæser dele af den danske partikelforurening til Sverige. Danmark bidrager selv med 20% til middel PM_{2,5} koncentrationer i Danmark.

Danske VOC emissioner bidrager mest til ozonkoncentrationerne i Danmark, og dernæst til koncentrationerne i Sverige og Norge.

For NO_x emissioner er billedet mere komplekst. Danske emissioner bidrager til en reduktion af de højeste ozonkoncentrationer i Danmark på omkring 11%. Dette skyldes, at NO som udgør den dominerende andel af NO_x emissionerne, reagerer med ozon under dannelse af NO₂ og dermed reducerer ozon. Danske emissioners bidrag til ozon i de andre lande er procentvis små, og der er ikke et entydigt billede af, hvordan NO_x emissioner fra Danmark påvirker de andre lande, da vi er tæt på nul.

1.4 Projektresultater

Opsummering af for tidlige dødsfald

Antallet af for tidlige dødsfald (totalt) relateret til luftforurening er opsummeret for de forskellige forudsætninger og år i **Tabel 1.1**.

Antal for tidligere dødsfald relateret til luftforurening i Europa vil falde fra basisscenariet for 2008/2010 frem til år 2020 pga. en generel reduktion i emissionerne. Bidraget fra emissioner i udlandet til antallet af for tidlige dødsfald i Danmark vil også falde frem mod 2020, ifølge emissionsscenerierne.

Bidraget fra danske menneskeskabte emissioner til antal for tidlige dødsfald relateret til luftforurening i Europa vil reduceres frem til år 2020 pga. lavere emission i Danmark. Danske emissioners bidrag til antal for tidlige dødsfald relateret til luftforurening i Danmark vil følge samme mønster.

Tabel 1.1. Antal luftforureningsrelaterede for tidlige dødsfald for de tre scenarier ved forskellige år

Emissionsår	2008/2010	2020
I Europa inkl. Danmark	504.000	409.000
Danmarks bidrag til de totale helbredseffekter i Europa (inkl. i Danmark)	2.510	1.420
Danmarks bidrag til de totale helbredseffekter i Europa (ekskl. i Danmark)	2.030	1.090
I Danmark som skyldes den totale luftforurening	2.750	2.200
Udlandets bidrag til de totale antal tilfælde i Danmark	2.270	1.870
Danmarks bidrag til Danmark	478	326

Opsummering af total eksterne omkostninger

De totale eksterne omkostninger relateret til helbredseffekter af luftforurening er opsummeret i **Tabel 1.2**.

De eksterne omkostninger i Europa vil falde fra basisscenariet 2008/2010 frem til år 2020 pga. reduktion i emissioner. Bidraget fra emissioner i udlandet til luftforureningsrelaterede eksterne omkostninger i Danmark vil også falde frem mod år 2020.

Danske menneskeskabte emissioners bidrag til eksterne omkostninger i Europa vil reduceres frem til år 2020 pga. lavere emission i Danmark. Danske emissioners bidrag til luftforureningsrelaterede eksterne omkostninger i Danmark følger samme mønster.

Udenlandske kilders bidrag til de totale helbredsrelaterede eksterne omkostninger i Danmark udgør ca. 85%. Bidraget fra danske emissioner er således 15%.

Tabel 1.2. Eksterne omkostninger relateret til helbredseffekter af luftforurening for scenarierne ved de forskellige år (Mia. DKK)

Emissionsår	2008/2010	2020
I hele Europa inkl. Danmark	4.217	3.451
Danmarks bidrag til Europa (inkl. Danmark)	20	10
Danmarks bidrag til Europa (ekskl. Danmark)	16	8
I Danmark som skyldes den totale luftforurening	22	18
Udlandets bidrag til Danmark	19	16
Danmarks bidrag til Danmark	3,6	2,5

1.5 Usikkerheder

Modelberegningerne af helbredseffekter og eksterne omkostninger er forbundet med usikkerheder i alle led fra emission, koncentration, befolknings-eksponering, eksponerings-respons sammenhænge for bestemmelse af helbredseffekter, til prissætning af helbredseffekter. Usikkerheden på en beregnet koncentration af luftforurening kan vurderes på baggrund af en sammenligning med luftkvalitetsmålinger, mens det generelt er vanskeligt at kvantificere usikkerheden på de øvrige led.

En væsentlig antagelse i forbindelse med beregningerne er, at alle typer af partikler er forudsat værende lige skadelige. Disse beregninger omfatter både primært emitterede partikler og sekundært uorganisk dannede partikler fra emitterede gasser i atmosfæren. Det er ikke muligt på nuværende tidspunkt at medtage effekten fra sekundære organiske partikler. Der er imidlertid fortsat væsentlig usikkerhed omkring hvilke partikler i forhold til kemisk sammensætning og fysiske karakteristika, som giver anledning til de helbredseffekter man finder i forbindelse med diverse sundhedsrelaterede befolkningsundersøgelser. I befolkningsundersøgelser er vist en klar statistisk sammenhæng mellem befolkningseksponering for luftforurening og konstaterede helbredseffekter. I Ellermann et al. (2014) konkluderes det på baggrund af den bedste viden vi har pt., at man ikke kan adskille helbredseffekter af de forskellige typer af partikler (dvs. deres kemiske sammensætning) og derfor forudsættes partiklerne at være lige skadelige i beregningerne.

2 English Summary

2.1 Background and objectives

The purpose of this report is to describe the contribution to health effects and related social costs of transboundary air pollution to Denmark from abroad, and from Denmark to foreign countries. Social costs are in this context also termed external costs.

The background is that the countries within the European Union regulate national emissions of member states through national emission ceilings (NEC Directive).

2.2 The study

Estimates of health effects and associated external costs of air pollution have been calculated with the EVA system (Economic Valuation of Air pollution) developed by Aarhus University. The EVA system estimates 17 different health effects incl. mortality and morbidity, hospitalization, restricted activity days, etc. In addition to the health effects the external costs are also calculated. The results are given for Denmark and abroad to calculate the contribution of transboundary air pollution.

Calculations are performed for the base emission year 2008/2010 and for 2020. The year 2008/2010 is based on calculations from the particle research project (Nøjgaard et al. 2014). This project used a base year of 2008 for emissions for Europe and 2010 for Denmark, hence termed 2008/2010. This is the most recent available emission data. Emissions for year 2020 are based on the emission reductions in the revised Gothenburg Protocol from 2012.

Also based on the air pollution model results from the particle research project, the contribution of emissions in Europe and Denmark to health effects and external costs in Denmark is presented as well as Denmark's contribution to health effects and external costs abroad.

How much each country contributes to air pollution in Denmark and how much Denmark contributes to other countries is based on calculations performed by EMEP (European Monitoring and Evaluation Program). EMEP is a scientific and policy-oriented program under the international convention on transboundary air pollution under the UN (Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (CLRTAP)).

2.3 Main conclusions

Number of premature deaths

In the following the number of premature deaths is used as a health indicator although the EVA system includes 17 health effects on mortality and morbidity.

Anthropogenic emissions in Denmark contribute with about 2,500 premature deaths in Europe (including Denmark) in 2008/2010. This represents about 0.5% of all premature deaths in Europe (including Denmark). The contribution will decrease to about 1,420 premature deaths by year 2020 due to a reduction in emissions in Denmark.

The contribution from Denmark to health effects in Europe outside Denmark is around 2,030 premature deaths in 2008/2010. Denmark's contribution will decrease to about 1,090 premature deaths by year 2020 due to a reduction in emissions in Denmark.

Calculations show about 2,750 premature deaths from air pollution in Denmark in 2008/2010 due to emissions in Denmark and abroad. This is somewhat lower than previous assessments that have estimated about 3,400 premature deaths (Ellermann et al. 2014). The difference is due to the fact that the new calculations are based on emissions from 2008/2010 which are lower than previous emission assumptions for year 2006. Furthermore, the impacts on human health from secondary organic aerosols are not included. Number of premature deaths will decrease towards year 2020 to about 2,200 premature deaths.

Foreign countries contribute to about 2,270 premature deaths in Denmark in 2008/2010. The foreign contribution to Denmark will decrease towards year 2020 to 1,870 premature deaths due to a reduction in emissions.

Denmark thus contributes to about 480 premature deaths in Denmark in 2008/2010. The contribution of Denmark will decrease forwards year 2020 to about 330 premature deaths because of decreasing emissions in Denmark.

Anthropogenic emissions in Denmark contribute about 15-17% of the total number of premature deaths in Denmark as a result of total regional air pollution over the three years studied, and thus foreign countries (including natural sources) contributes 83-85% of the total number of premature deaths in Denmark due to air pollution.

External costs of health effects from air pollution

Total external costs related to the health effects of air pollution in Europe in 2008/2010 are about DKK 4,200 billion decreasing to about DKK 3,500 billion in 2020. One DDK is about 0.13 Euro. Emissions of nitrogen oxide compounds constitute the largest contributor to external costs, followed by emissions of sulphur compounds and primary particles. Emissions of carbon monoxide contribute insignificantly compared to the other substances. Overall, it is the primary and secondary particles that contribute most to the external costs while the gases *as gasses* contribute less (ozone, sulphur dioxide and carbon monoxide).

The contribution from Denmark to external costs related to health effects of air pollution in Europe (including Denmark) in 2008/2010 is about DKK 20 billion declining to about DKK 10 billion in year 2020. Denmark's contribution to the total external costs in Europe is around 0.5%. Emissions of nitrogen compounds constitute the largest contributor to external costs, and nitrogen compounds play an even larger role than was seen for Europe as a whole. The second largest contributor to external costs is the primary particles. The reason that the Danish contribution is large for nitrogen compounds that lead to nitrate particles is due to the relatively high emissions of nitrogen oxides from combustion processes. Furthermore, there are relatively high ammonia emissions from agriculture which form ammonium nitrate and ammonium sulphate in the atmosphere (both secondary particles). In contrast, sulphur dioxide emissions are relatively low, and sulphur contributes relatively little to the external costs.

Denmark's contribution to external costs related to the health effects of air pollution in Europe (excluding Denmark) in 2008/2010 is about DKK 16 billion decreasing to about DKK 8 billion in year 2020.

The external costs in Denmark of the total air pollution in 2008/2010 is about DKK 23 billion declining to about DKK 18 billion in year 2020.

The foreign contribution to external costs in Denmark in 2008/2010 is about DKK 19 billion declining to about DKK 16 billion in year 2020 due to lower emissions.

Denmark's contribution to health-related external costs within Denmark in 2008/2010 is around DKK 3.6 billion declining to DKK 2.5 billion in 2020.

The contribution of foreign emission sources to the total health-related external costs in Denmark is approx. 84-86% depending on the year (2008/2010, 2020). The Danish contribution is 14-16%.

European and Danish emission sources contribution to the external costs in Denmark

The contribution of European emission sources to the external costs related to air pollution in Denmark is based on previous calculations carried out for year 2000 (Ellermann et al., 2014). International shipping contributes about 24%, road traffic about 17%, electricity and heat production about 14%, agriculture about 20% and non-industrial combustion incl. domestic heating about 7%.

The contribution of Danish emission sources to the external costs related to air pollution in Denmark is also based on previous calculations, however, for year 2008 (Ellermann et al., 2014). The contribution of the Danish emission sources is distributed in the following way: 33% from the agricultural sector, 16% from road traffic, and about 30% from non-industrial combustion incl. domestic heating, which in Denmark is almost exclusively related to wood stoves and boilers. Danish sources have a high percentage of agricultural and domestic heating compared to European sources. For the agricultural sector it is particularly ammonia which contributes to the external costs due to the contribution to the formation of secondary particles containing ammonium. For domestic heating it is primarily directly emitted particles from wood stoves.

Contribution of foreign countries to air pollution in Denmark and Denmark's contribution to foreign countries

The contribution of foreign countries to air pollution in Denmark and Denmark's contribution to them is examined for health-related indicators PM_{2.5} and SOMO35 based on calculations performed by EMEP for the year 2011. PM_{2.5} is particles less than 2.5 micro meters in diameter, and SOMO35 is an indicator of the sum of the highest ozone concentrations. The ozone contribution is subdivided into the contribution from emissions of volatile organic hydrocarbons (VOCs) and nitrogen oxides (NO_x) as these groups of substances contribute to the formation of ozone in the atmosphere. Ozone chemistry is non-linear and the contribution of NO_x emissions can be both positive and negative depending on the chemical regime. For example, NO_x emission in Denmark contributes to reduction of ozone concentrations in Denmark, while it contributes to an increase in ozone farther from Denmark.

Germany contributes the most to the total PM_{2.5} concentrations in Denmark with 22%, followed by Denmark itself by 20%. Other countries / regions contributing are United Kingdom with 9%, ships in the North Sea with 9% and 4% from ships in the Baltic Sea, and Poland with 8%. The reason why these countries contribute the most is partly because they are close to Denmark and have relatively high emission density covering large areas, but also the dominant wind direction from southwest, bringing pollution to Denmark.

Germany and the United Kingdom contribute the most to the sum of the highest ozone concentrations in Denmark for VOC emissions. For NO_x emissions the picture is more complex. Countries and regions (ships) which are close to Denmark and Denmark by itself contribute to a reduction in the sum of the highest concentrations in Denmark (contribution has negative sign). This is because NO (part of NO_x) reacts with ozone to form NO₂ and thereby reduces ozone. Countries and regions (ships) which are further away contribute to the sum of the highest ozone concentrations in Denmark (contribution has positive sign) as ozone formation is a large-scale phenomenon, which is formed from VOC and NO_x emissions under the influence of sunlight and temperatures.

Denmark's contribution to foreign countries

Denmark is the biggest contributor to PM_{2.5} concentrations in Denmark, which accounts for 20%. Denmark's largest contribution to PM_{2.5} concentrations in other countries is to Sweden with about 6% of PM_{2.5} concentrations in Sweden, reflecting the dominant southwest wind direction blowing part of Danish particle pollution to Sweden.

Denmark contributes the most to the sum of the highest ozone concentrations in Denmark for VOC emissions, and then to Sweden and Norway.

For NO_x emissions, the picture is more complex. Denmark contributes to a reduction in the sum of the highest ozone concentrations in Denmark by about 11% (contribution has a negative sign). This is because NO reacts with ozone to form NO₂ and thereby reduces ozone. Denmark's contribution to other countries is very small and there is not a clear picture of how NO_x emissions from Denmark affect the other countries, as we are close to zero.

2.4 Project results

Summary of premature deaths

As an overview, the number of premature deaths (total) is summarized for different assumptions and years; see Table 2.1.

Number of premature deaths in Europe will fall from year 2008/2010 to year 2020 due to a general reduction in emissions. Foreign contributions to premature deaths in Denmark will also decrease until year 2020 according to the emission scenarios.

Denmark's contribution to the number of premature deaths in Europe will be reduced in year 2020 due to lower emissions in Denmark. Denmark's contribution to the number of premature deaths in Denmark will follow the same pattern.

Table 2.1. Number of premature death for different years

	2008/2010	2020
In Europe incl. Denmark	504,000	409,000
Denmark's contribution to Europa (incl. Denmark)	2,510	1,420
Denmark's contribution to Europa (excl. Denmark)	2,030	1,090
In Denmark	2,750	2,200
Contribution of foreign countries to Denmark	2,270	1,870
Denmark's contribution to Denmark	478	326

Summary of total external costs

The total external costs related to the health effects of air pollution are summarized in Table 2.2.

The external costs in Europe will fall from year 2008/2010 to year 2020 due to a reduction in emissions. Foreign contributions to external costs in Denmark will also decrease until year 2020.

Denmark's contribution to external costs in Europe will be reduced until year 2020 due to lower emissions in Denmark. Denmark's contribution to external costs in Denmark follows the same pattern.

The contribution of foreign emission sources to the total health-related external costs in Denmark is approx. 85%. The Danish contribution is 15%.

Table 2.2. External costs related to health effects of air pollution for different years (Billion DKK).

	2008/2010	2020
In Europe incl. Denmark	4,217	3,451
Denmark's contribution to Europa (incl. Denmark)	20	10
Denmark's contribution to Europa (excl. Denmark)	16	8
In Denmark	22	18
Contribution of foreign countries to Denmark	19	16
Denmark's contribution to Denmark	3.6	2.5

2.5 Uncertainties

There is uncertainty in the modelling of health effects and external costs, as there is uncertainty related to all parts from emissions, concentration, population exposure, exposure-response relationship for estimation of health effects, and the economic valuation of health effects. The uncertainty of the calculated concentration can be determined by comparison with air quality measurements, while it is difficult to quantify the uncertainty of the other part.

In the calculations it is assumed that all types of particles are equally harmful. These calculations include both primary emitted particles and secondary inorganic particles formed from gases emitted into the atmosphere. The impacts from secondary organic aerosols are not included in the present study. However, there is still uncertainty as to which particles and which chemical composition gives rise to the health effects observed in health studies. In a recent health effect review study for Danish conditions (Ellermann et al. 2014), it is concluded based on state-of-the-art knowledge that it is not possible at the moment to separate the different health effects of different types of particles and chemical composition, and therefore, all particles are assumed to be equally harmful in these calculations.

3 Grænseoverskridende luftforurening

Fokus i denne rapport er på grænseoverskridende luftforurening til og fra Danmark; dvs. i hvilket omfang emissioner i andre lande bidrager til luftforureningen i Danmark, og hvordan danske emissioner bidrager til luftforureningen i andre lande. Endvidere belyses luftforureningens helbredseffekter i form af for tidlige dødsfald og sygelighed, og de samfundsøkonomiske omkostninger (eksterne omkostninger) forbundet hermed.

Transport, omdannelse og deposition

Luftforurening kan transporteres over flere tusinde km, og er dermed grænseoverskridende. Det betyder at emissioner i et land kan påvirke luftforureningen andre lande. Under den atmosfæriske transport sker der en kraftig fortynding af de oprindelige emissioner, men mange bække små betyder, at bidraget fra emissioner i udlandet til Danmark er meget stort.

Under transporten i atmosfæren med vinden undergår mange stoffer kemisk omdannelse, således at stoffer som oprindeligt blev emitteret som gasser ender med at blive partikler. Sådanne partikler kaldes sekundære partikler, og fx er ammoniumsulfat dannet ud fra emissioner af svovldioxid og ammoniak. Partikler kan også være direkte emitteret og kaldes primære partikler. Endvidere kan der dannes helt nye stoffer, som ikke emitteres direkte, fx dannes ozon ud fra emissioner af flygtige kulbrinter og kvælstofoxider.

Der er også processer i atmosfæren, som fjerner stofferne fra luften. Det sker i form af nedbør (vådafsætning) eller tørafsætning, hvor gasser eller partikler fx udvaskes af nedbøren, optages af vegetationen eller afsættes direkte på overfladen.

Den grænseoverskridende luftforurening i Danmark omfatter den luftforurening, som transporteres til Danmark fra udlandet. Den er et resultat af både naturlige og menneskeskabte emissioner på hele den nordlige halvkugle, men hvor emissioner tæt på har størst betydning.

De danske emissioner bidrager også til luftforureningen i Danmark, så koncentrationerne bliver alt andet lige højere i Danmark end bidraget fra den grænseoverskridende luftforurening alene.

Koncentrationerne af luftforurening ved jordoverfladen varierer betydeligt geografisk. De højeste koncentrationer forekommer i gaderum med meget trafik, hvor bygningerne bidrager til at luftforureningen ikke slipper så hurtigt væk. Alle emissioner i en by vil også bidrage til den generelle bybaggrundsforurening i byen, som vil afhænge af byens størrelse og emissions-tætheden. Bybaggrundskoncentrationer findes i tagniveau eller i en park eller baggård. Koncentrationer på landet betegnes regionale koncentrationer. Regionale koncentrationer er også baggrundskoncentrationer for byer, hvor der i tillæg til den regionale baggrund også er et bidrag fra byen selv. De resultater, som præsenteres i denne rapport er baseret på beregninger af de regionale koncentrationer i Danmark og i udlandet, og repræsenterer således baggrundskoncentrationerne i landene.

Kilder til luftforurening og regulering heraf

Der er mange både menneskeskabte og naturlige kilder til luftforurening. Det gælder fx emissioner af stoffer fra kraftværker, industri, brændeovne, trafik, skibe mv. Emissioner fra naturlige kilder er fx partikler fra vulkanudbrud, havsalt fra havet, flygtige kulbrinter fra vegetation, mv.

Der pågår et internationalt samarbejde omkring kortlægning af emissioner og regulering af dem. Det sker fx i den internationale konvention for grænseoverskridende luftforurening under FN (Convention on Long-range Transboundary Air Pollution (CLRTAP), hvor mange lande deltager, og i EU er landene reguleret af nationale emissionslofter (NEC direktivet).

Landene gennemfører emissionsopgørelser, som afrapporteres til forskellige internationale konventioner, således at emissionsdata er tilgængeligt for alle lande. I Europa samles de nationale emissionsopgørelser i EMEP (European Monitoring and Evaluation Program).

Modellering af luftforurening, helbredseffekter og samfundsøkonomiske omkostninger

Landenes emissionsopgørelser muliggør sammen med andre data, bl.a. meteorologien, modellering af luftforureningen med kemiske-transport modeller. Modellerne kan bruges til at beregne de regionale koncentrationer. De kan desuden bruges til at beregne, hvor meget de enkelte landes emissioner bidrager til luftforureningen i Danmark, og hvor meget emissioner i Danmark bidrager til andre landes luftforurening.

Luftforurening fører til for tidlige dødsfald og sygelighed, som kan vises i befolkningsundersøgelser. Disse undersøgelser sammenstiller befolkningens eksponering for luftforurening med konstaterede helbredseffekter, og på den måde kan man beregne en sammenhæng mellem eksponering og helbredseffekter, som kan udnyttes i modelberegninger. Hvis man samtidig prissætter for tidlige dødsfald og sygelighed kan man beregne de samfundsøkonomiske omkostninger ved helbredseffekterne. De kaldes også eksterne omkostninger.

I nærværende rapport er der gennemført sådanne beregninger af helbredseffekter og tilhørende samfundsøkonomiske omkostninger med det integrerede modelsystem EVA (Economic Valuation of Air pollution). Beregninger med EVA systemet resulterer i 17 forskellige helbredseffekter inkl. øget dødelighed og sygelighed, hospitalsindlæggelser, sygedage, mv. Resultaterne er opgjort på nationalt niveau for Danmark og samlet for udlandet og giver derved en opgørelse over helbredseffekter af den grænseoverskridende luftforurening til og fra Danmark. Ud over helbredseffekterne opgøres også de eksterne omkostninger. Beregninger er gennemført for følgende emissionsår: basisåret 2008/2010 samt for år 2020. Alle beregninger er udført med meteorologi for året 2012 (meteorologisk år).

4 Modelsystem for beregning af helbreds-effekter og samfundsøkonomiske omkostninger

På grundlag af helbredsundersøgelser har det fælleseuropæiske ExternE-projekt udviklet en metode til at opgøre helbredseffekter og relaterede samfundsøkonomiske omkostninger ved luftforureningen. Heri indgår både samfundsøkonomiske omkostninger ved sygelighed og ved tab af leveår. En samfundsøkonomisk omkostning kaldes også en ekstern omkostning, og er defineret som en omkostning, der påføres andre, og som der ikke betales for direkte. De eksterne omkostninger ved luftforurening er relateret til luftforureningens helbredseffekter, som opgøres efter den såkaldte "impact pathway" metode. I denne metode opgøres de eksterne omkostninger ved luftforurening ud fra forureningskilden, spredningen heraf, befolkningseksposeringen, eksponerings-respons sammenhænge for at kvantificere helbredsbelastningen af både for tidlig død og sygelighed, samt en prissætning af helbredseffekterne for at kunne opgøre de samlede eksterne omkostninger.

Impact pathway metoden tager hensyn til at luftforureningen kan variere ganske meget på grund af langtransport, lokale kilder og kemisk omdannelse. Den tager også hensyn til, at eksponeringen af mennesker afhænger af emissionskildernes placering, udslipshøjde og spredningsveje m.v. Metoden er stedsspecifik og bygger direkte på atmosfæriske modelleringer, der kan gøre rede for, hvordan helbredseffekter og de eksterne omkostninger varierer med emissionskilders geografiske placering og styrke. Dermed er det muligt at give en vurdering af helbredseffekterne og de samfundsøkonomiske omkostninger, afhængigt af, hvor emissionen sker og hvor stor den er, i forhold til eksponeringen af mennesker. Dette kan bruges til at beskrive bidraget til helbredseffekter og tilhørende samfundsøkonomiske omkostninger af grænseoverskridende luftforurening til Danmark fra udlandet, og til udlandet fra Danmark.

4.1 Det integrerede modelsystem EVA

Aarhus Universitet, Institut for Miljøvidenskab, har på grundlag af metoden i ExternE udviklet sit eget modelsystem EVA (Economic Valuation of Air pollution), der med udgangspunkt i danske værdisætninger af helbredseffekterne, kan beregne de eksterne omkostninger relateret til de enkelte emissioner under hensyntagen til hvor den geografiske placering af emissionerne i forhold til hvor befolkningen befinder sig (Brandt et al. 2010b; 2011a;b; 2013a;b). Dette system er baseret på en atmosfærisk kemisk-transportmodel for beregning af luftkvalitet (den Danske Eulerske Hemisfæriske Model - DEHM) (Christensen 1997; Brandt et al. 2012) og eksponering af befolkningen, dosis-respons sammenhænge for beregning af helbredseffekter, samt værdisætning af helbredseffekterne. Værdisætningen er baseret på betalingsvillighed for at undgå fx for tidlige dødsfald og markedspriser for fx hospitalsindlæggelser og øget medicinforbrug.

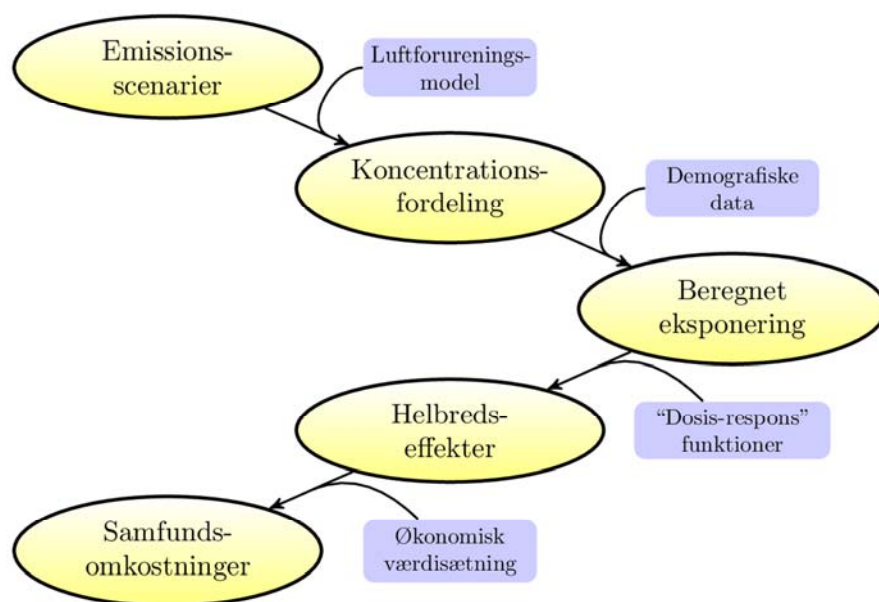
Med EVA-systemet kan beregnes helbredseffekter og samfundsøkonomiske omkostninger relateret til emissioner af bl.a. NH₃ (ammoniak), NMVOC (flygtige organiske kulbrinter), NO_x (kvælstofoxider), CH₄ (metan), PM_{2,5} (direkte emitteret), SO₂ (svovldioxid) og CO (kulilte). Helbredseffekterne af

NO_x -, SO₂ - og NH₃ emission er især relateret til, at disse stoffer i atmosfæren omdannes til sekundære uorganiske partikler. Bidraget fra dannelsen af sekundære organiske partikler er ikke medtaget i de nuværende beregninger, da beskrivelsen af disse partikler i modellen ikke er tiltrækkelig på nuværende tidspunkt. Helbredseffekterne optræder derfor både lokalt og langt fra kilden pga. lang-transport af luftforureningen. Det er i beregningerne antaget at alle partikler er lige sundhedsskadelige. Et nyere review af helbredseffekter af luftforurening tyder dog på, at kulstofholdige partikler er mere sundhedsskadelige end ikke-kulstofholdige partikler (Rohr & Wyzga 2012), men der er endnu ikke konsensus omkring, hvordan dette i givet fald skal kvantificeres i beregninger af denne type (Ellermann et al.,2014).

EVA-systemet har været anvendt i undersøgelser af enkelt kilder (Andersen et al. 2007; 2008), til beregning af enhedsomkostninger for emissioner (Brandt et al. 2010a), beregning af helbredseffekter og eksterne omkostninger i Danmark for forskellige emissionssektorer (Brandt et al. 2010b; 2011a; 2013a;b), for afgrænsede områder som Københavnsområdet (Brandt et al. 2013c) samt vurdering af road pricing i Danmark (Jensen et al. 2010) og trængselsring i København (Jensen et al. 2012).

Impact-pathway metoden

Det grundlæggende princip bag EVA-systemet er at bruge de bedst mulige videnskabelige metoder i alle leddene af "impact-pathway" kæden (se Figur 4.1) baseret på den bedst tilgængelige viden.

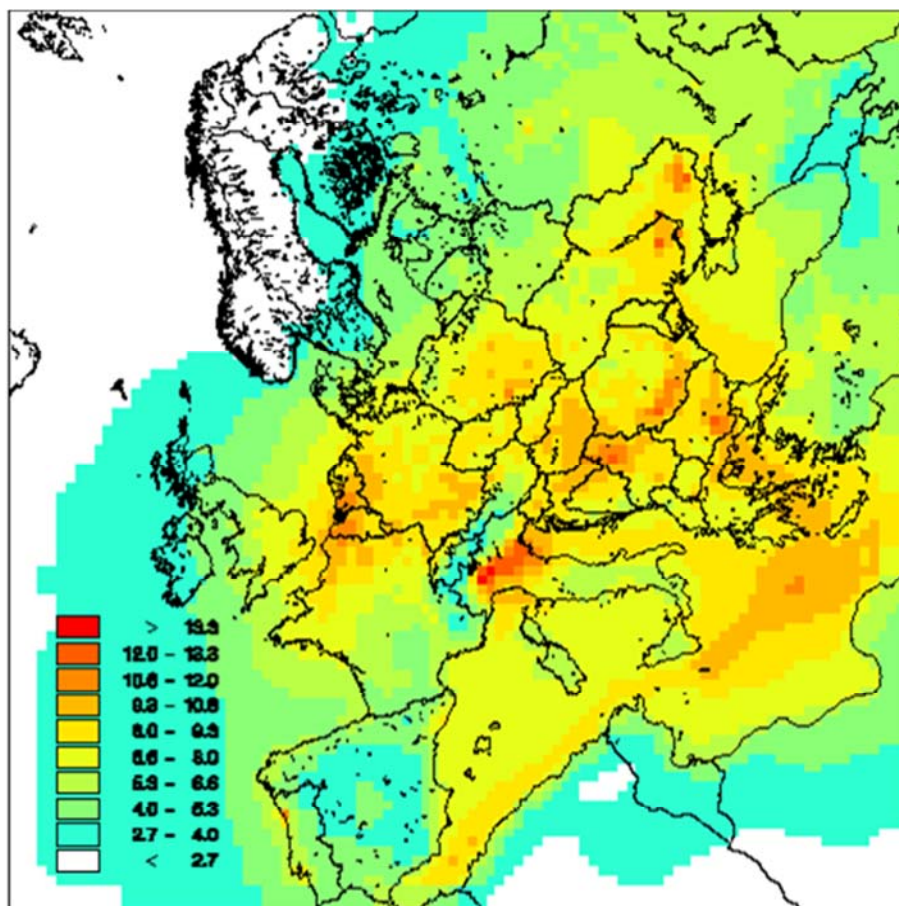


Figur 4.1. Et skematisk diagram over "impact-pathway" metoden. En emission fra en forurenende kilde et bestemt sted resulterer (via atmosfærisk transport og kemiske omdannelser) i en fordeling af koncentrationen i luften, som sammen med detaljerede befolkningsdata kan bruges til at beregne eksponeringen af befolkningen. Effekter på menneskers helbred findes ved brug af eksponering-respons funktioner og til sidst værdisættes de individuelle effekter for at finde de totale eksterne omkostninger.

Modelområdet i Europa

Modelområdet, der danner udgangspunkt for beregninger af helbredseffekter og eksterne omkostninger i denne rapport er vist i Figur 4.2. Der er flere modeldomæner inkluderet i DEHM; dels et domæne, der dækker den nordlige halvkugle (hemisfære) for at tage hensyn til den interkontinentale

transport af luftforurening, dels et domæne der dækker Nordeuropa inkl. Danmark, med højere opløsning, for at kunne beregne luftforureningen og effekterne mere præcist i området omkring Danmark.



Figur 4.2. Eksempel på koncentrationsberegninger med DEHM modellen inden for modelområdet i Europa for PM_{2,5} i 2012. Modelområdet for Europa dækker det geografiske Europa dvs. Vest- og Østeuropa og afgrænset mod øst ved Uralbjergene. I det følgende refererer Europa derfor til modelområdet. Udover emissioner fra Europa inddrager DEHM også øvrige emissioner fra den nordlige halvkugle.

Helbredseffekter

Følgende helbredseffekter indgår bl.a. i EVA-systemet:

- Kronisk bronchitis
- Dage med nedsat aktivitet (sygedage)
- Hospitalsindlæggelser for luftvejslidelser
- Hospitalsindlæggelser for cerebro-vaskulære lidelser
- Tilfælde af hjertesvigt
- Lungecancer
- Brug af bronkodilatorer blandt børn og voksne
- Episoder med hoste blandt børn og voksne
- Episoder med nedre luftvejsymptomer blandt børn og voksne
- Akutte dødsfald, som følge af korttidseksponering
- Kroniske tabte leveår (YOLL), som følge af langtidseksponering
- Dødsfald blandt spædbørn.

Et for tidligt dødsfald svarer i gennemsnit til omkring 10,6 tabte leveår (YOLL) i Europa.

Eksterne omkostninger

Den økonomiske værdisætning af effekter kaldes også for indirekte omkostninger, eksterne omkostninger, eksternaliteter eller samfundsøkonomiske omkostninger. Der er direkte omkostninger forbundet med produktionen af elektricitet i form af opførelse af kraftværker og forbrug af kul, hvorimod de helbredsrelaterede omkostninger fra luftforureningen, der kommer fra kraftværket, ikke er relateret direkte til produktion og forbrug, og derfor betegnes som indirekte eller eksterne omkostninger. De eksterne omkostninger er knyttet til f.eks. sygdom, for tidlige dødsfald eller sygedage med deraf tabt arbejdsfortjeneste eller omkostninger for samfundet i form af tabt omsætning eller øgede hospitalsomkostninger.

Luftforureninger

Helbredseffekter for de kemiske stoffer, som er medtaget i EVA-systemet er: De primært emitterede partikler $PPM_{2,5}$, de sekundært dannede uorganiske partikler SO_4^{2-} (sulfatpartikler), NO_3^- (nitratpartikler) og NH_4^+ (ammoniumpartikler), samt gasserne SO_2 (svovldioxid), CO (kulilte) og O_3 (ozon). For nuværende er det kun helbredseffekter, der er medtaget i EVA-systemet. Miljøeffekter og effekter på klimaet vil blive implementeret på et senere tidspunkt.

For O_3 er både de positive og negative helbredseffekter medtaget i beregningerne. O_3 er direkte sundhedsskadeligt, og har derfor negative helbredseffekter. Men lokale emissioner af kvælstofoxider ($NO_x=NO+NO_2$) kan bidrage til en reduktion af O_3 niveauerne (NO går sammen med O_3 og danner NO_2), og derfor er der også en "positiv" effekt af NO_x , da O_3 reduceres. Beregninger for CO er også inkluderet, men effekten fra dette stof er minimal.

De sekundært dannede uorganiske partikler SO_4^{2-} , NO_3^- og NH_4^+ dannes via kemiske reaktioner i atmosfæren ud fra de primære emitterede gasser (SO_2 , NO_x , NH_3) i løbet af timer til dage, og derfor vil disse partikler for en stor del vedkommende være blæst væk fra Danmark, og bidrager derfor primært til partikelforurening uden for Danmark. På den anden side er der derfor også et relativt stort bidrag fra udlandet på disse partikler.

I DEHM modellen indgår bl.a. emissioner af stofferne CO, SO_x , NO_x , NH_3 , $PM_{2,5}$, NMVOC og CH_4 . Det bemærkes at DEHM (ligesom mange andre tilsvarende modeller i verden) ikke inkluderer alle typer af atmosfæriske partikler. Specielt er de sekundære organiske partikler (SOA), som dels dannes af naturlige emissioner fra vegetation (mono-terpener) ikke med i beregningerne pt.

4.2 Emissioner

Udenlandske emissioner

Emissionsdata til DEHM er baseret på en række europæiske og globale emissionsopgørelser, da modellen dækker den nordlige halvkugle.

Der indgår en del naturlige emissioner i DEHM, bl.a. isopren fra vegetation, som spiller en rolle for beregninger af ozon, samt NO_x emissioner fra lyn og jord i relation til nitrifikation og denitrifikation, partikler fra skovbrande, mv. En beskrivelse af de naturlige emissioner i DEHM er givet i Brandt et al. (2012).

Danske emissioner

For Danmark er DEHM beregninger baseret på 1 x 1 km² emissionsdata for Danmark for alle emissionsklasser for 2010 baseret på SPREAD emissionsmodellen (Plejdrup & Gyldenkerne, 2011).

Emissionsscenarioer i denne rapport

EVA-beregninger er gennemført for tre emissionsscenarioår: 2008/2010 og 2020.

Scenarieår 2008/2010 er baseret på beregninger fra partikelforskningsprojektet (Nøjgaard et al., 2014). I dette projekt er benyttet et basisår med emissioner for Europa for 2008 (www.emep.int) og for Danmark for 2010. Dette scenarie betegnes derfor 2008/2010.

Emissioner for år 2020 er baseret på den i 2012 reviderede og vedtagne Göteborg protokol med , hvor der er fastsat nye reduktionsmål for emissionen af luftforurening i 2020 (UNECE, 2012) under Geneve konventionen for langtransporteret og grænseoverskridende luftforurening (CLRTAP).

Det meteorologiske år, som modelsystemet er kørt med er 2012 for alle scenarieår.

Forudsætninger i emissionsscenarioerne for 2008/2010 og 2020 er opsummeret i **Tabel 4.1**.

Det ses, at Danmark har faldende emissioner for alle stoffer.

Emissionerne i hele EU har faldende emissioner for alle stoffer.

Øvrige lande uden for EU har faldende emissioner fra 2008/2010 til 2020.

Skibsemissioner fra havområder har faldende emissioner fra 2008/2010 til 2020.

Tabel 4.1. Emissionsopgørelser for beregning af helbreds- og samfundsøkonomiske effekter af luftforurening (alle emissioner i ktons).

	SO ₂		NO _x		PM _{2,5}		NH ₃		VOC	
	2008/10	2020	2008/10	2020	2008/10	2020	2008/10	2020	2008/10	2020
Danmark	20	15	183	80	29	17	76	63	130	72
EU 28 (inkl. Danmark)	7874	3280	11359	6628	1708	1249	3942	3626	9312	6446
Øvrige lande	5383	2322	5437	1546	1737	424	1488	598	4788	1577
Havområder (skibe)	1669	321	2821	2608	195	136				

Der er ingen oplysninger om emissioner af NH₃ og VOC fra skibe i havområder, men der vil være emissioner fra forbrændingsprocesser

5 Helbredseffekter af luftforurening i Danmark og Europa

5.1 Helbredseffekter i Europa fra luftforurening og Danmarks bidrag

Dette kapitel beskriver antal tilfælde af de forskellige helbredseffekter i Europa fra den totale luftforurening, Danmarks bidrag til de totale antal tilfælde i Europa (inkl. Danmark) og Danmarks bidrag til de totale antal tilfælde i Europa (ekskl. Danmark).

Helbredseffekter i Europa som skyldes den totale luftforurening

Tabel 5.1 viser antal tilfælde af de forskellige helbredseffekter i Europa fra den totale luftforurening.

Det totale antal for tidlige dødsfald er for basisscenariet 2008/2010 omkring 504.000 og reduceres frem mod 2020 som følge af reduktion i emissionerne.

Tabel 5.1. Antal tilfælde af de forskellige helbredseffekter i Europa, som skyldes totale emissioner (både naturlige og menneskeskabte) i den nordlige hemisfære for tre forskellige emissionsscenarioer – dvs. helbredseffekter som skyldes den totale luftforurening.

Helbredseffekt	Antal tilfælde i Europa fra total luftforurening	
	2008/2010	2020
År/emissionsscenarie		
Kronisk bronkitis	428.000	345.000
Dage med nedsat aktivitet (sygedage)	437 mio.	352 mio.
Hospitalsindlæggelser for luftvejslidelser	25.200	20.100
Hospitalsindlæggelser for cerebro-vaskulære lidelser	55.000	44.300
Tilfælde af hjertesvigt	35.800	30.300
Lungecancer	65.600	52.900
Brug af bronkodilatorer blandt børn	12,7 mio.	10,3 mio.
Brug af bronkodilatorer blandt voksne	83,7 mio.	67,5 mio.
Episoder med hoste blandt børn	44,2 mio.	35,6 mio.
Episoder med hoste blandt voksne	86,2 mio.	69,5 mio.
Episoder med nedre luftvejssymptomer blandt børn	17,0 mio.	13,7 mio.
Episoder med nedre luftvejssymptomer blandt voksne	31,1 mio.	25,1 mio.
Antal for tidlige dødsfald (akutte)	42.800	37.800
Kroniske tabte leveår (YOLL)	4,88 mio.	3,94 mio.
Antal for tidlige dødsfald (kroniske)	461.000	372.000
Antal for tidlige dødsfald (totalt)	504.000	409.000
Dødsfald blandt spædbørn	480	387

Danmarks bidrag til helbredseffekter i Europa (inkl. Danmark)

Danmarks menneskeskabte emissionsbidrag til de totale antal tilfælde af helbredseffekter i Europa (inkl. Danmark) er vist i **Tabel 5.2**.

Det ses, at danske emissioner bidrager med omkring 2.510 for tidlige dødsfald i Europa (inkl. Danmark) i basisscenariet 2008/2010. Dette bidrag udgør omkring 0,5% af alle for tidlige dødsfald relateret til luftforurening i Europa

(inkl. Danmark). Bidraget vil falde til ca. 1.420 for tidlige dødsfald frem mod år 2020 pga. reduktion i emissionerne i Danmark.

Bemærk at antal tilfælde af for tidlige akutte dødsfald for O₃ kan blive negativ som fx i år 2020. Det skyldes, at NO_x (NO+NO₂) emissioner i Danmark bidrager til at reducere O₃ i Danmark, da NO reagerer med O₃ under dannelse af NO₂. En reduktion i NO_x emissioner kan derfor føre til en stigning i ozonkoncentrationerne. På Europæisk skala bidrager NO_x emissioner samt danske VOC emissioner derimod til dannelse af O₃ under indflydelse af sollys og høje temperaturer, hvilket ikke favoriserer dannelse af O₃ fra danske emissioner lokalt. Summen af dette kan blive negativ, hvilket betyder at danske emissioner af NO_x og VOC under visse forhold ikke giver flere for tidlige dødsfald for O₃ men færre.

Tabel 5.2. Antal tilfælde af de forskellige helbredseffekter i Europa (inkl. Danmark), som skyldes danske menneskeskabte emissioner for tre forskellige emissionsscenerier – dvs. Danmarks bidrag til de totale helbredseffekter i Europa (inkl. Danmark).

Helbredseffekt	Danmarks bidrag til de totale antal tilfælde i Europa (inkl. Danmark)	
	2008/2010	2020
Kronisk bronkitis	2.310	1.420
Dage med nedsat aktivitet (sygedage)	2,36 mio.	1,45 mio.
Hospitalsindlæggelser for luftvejslidelser	123	78
Hospitalsindlæggelser for cerebro-vaskulære lidelser	295	181
Tilfælde af hjertesvigt	180	117
Lungecancer	353	217
Brug af bronkodilatatorer blandt børn	67.300	41.200
Brug af bronkodilatatorer blandt voksne	452.000	277.000
Episoder med hoste blandt børn	232.000	142.000
Episoder med hoste blandt voksne	465.000	286.000
Episoder med nedre luftvejssymptomer blandt børn	89.600	54.900
Episoder med nedre luftvejssymptomer blandt voksne	168.000	103.000
Antal for tidlige dødsfald (akutte)	66	-87
Kroniske tabte leveår (YOLL)	25.900	15.900
Antal for tidlige dødsfald (kroniske)	2.450	1.500
Antal for tidlige dødsfald (totalt)	2.510	1.420
Dødsfald blandt spædbørn	3	2

Danske emissioners bidrag til helbredseffekter i Europa uden for Danmark

Danmarksmenneskeskabte emissionsbidrag til helbredseffekter i Europa uden for Danmark er vist i **Tabel 5.3**.

Det ses, at danske emissioner bidrager med omkring 2.030 for tidlige dødsfald i Europa uden for Danmark i basissceneriet for 2008/2010.

Danske emissioners bidrag vil falde til ca. 1.090 for tidlige dødsfald frem mod år 2020 pga. reduktion i danske emissioner.

Tabel 5.3. Antal tilfælde af de forskellige helbredseffekter i Europa (ekskl. Danmark), som skyldes danske menneskeskabte emissioner for tre forskellige emissionsscenerier – dvs. Danmarks bidrag til de totale helbredseffekter udenfor Danmark. Bemærk at antal tilfælde akutte for tidlige dødsfald relateret til for O₃ kan blive negativt pga. ikke-lineær atmosfærekemi.

Helbredseffekt	Danmarks bidrag til de totale antal tilfælde i Europa (ekskl. Danmark)	
	2008/2010	2020
År/emissionsscenario		
Kronisk bronkitis	1820	1.090
Dage med nedsat aktivitet (sygedage)	1,86 mio.	1,11 mio.
Hospitalsindlæggelser for luftvejslidelser	97	60
Hospitalsindlæggelser for cerebro-vaskulære lidelser	233	139
Tilfælde af hjertesvigt	136	84
Lungecancer	278	167
Brug af bronkodilatorer blandt børn	54.400	32.400
Brug af bronkodilatorer blandt voksne	356.000	212.000
Episoder med hoste blandt børn	188.000	112.000
Episoder med hoste blandt voksne	366.000	219.000
Episoder med nedre luftvejssymptomer blandt børn	61.600	36.000
Episoder med nedre luftvejssymptomer blandt voksne	132.000	79.100
Antal for tidlige dødsfald (akutte)	77	-84
Kroniske tabte leveår (YOLL)	20.700	12.400
Antal for tidlige dødsfald (kroniske)	1.960	1.170
Antal for tidlige dødsfald (totalt)	2.030	1.090
Dødsfald blandt spædbørn	2	1

5.2 Helbredseffekter fra luftforurening i Danmark – og bidrag fra Danmark og udlandet

I det følgende vises antal tilfælde af de forskellige helbredseffekter i Danmark som følge af den totale luftforurening i Danmark, udlandets emissioners bidrag til de totale antal tilfælde i Danmark, og danske emissioners bidrag til de totale antal tilfælde i Danmark.

Helbredseffekter i Danmark fra total luftforurening

Tabel 5.4 viser antal tilfælde af de forskellige helbredseffekter i Danmark fra den totale luftforurening.

Det ses, at der er omkring 2.750 for tidlige dødsfald som følge af luftforurening i Danmark i basissceneriet for 2008/2010. Det er noget lavere end tidligere vurderinger, som har peget på omkring 3.400 for tidlige dødsfald (Eltermann et al., 2014). Forskellen skyldes, at de nye beregninger er baseret på senest tilgængelige officielle emissioner fra 2008/2010, som er lavere end emissionsopgørelserne for 2006, som ligger til grund for det tidligere tal. Desuden er effekten af sekundære organiske aerosoler ikke medtaget på nuværende tidspunkt. Antal for tidlige dødsfald vil falde frem mod år 2020 til ca. 2.200 for tidlige dødsfald.

Tabel 5.4. Antal tilfælde af de forskellige helbredseffekter i Danmark, som skyldes totale emissioner (både naturlige og menneskeskabte) i den nordlige hemisfære for tre forskellige emissionsscenarioer – dvs. helbredseffekter i Danmark som skyldes den totale luftforurening.

Helbredseffekt	Antal tilfælde i Danmark fra total luftforurening	
	2008/2010	2020
År/emissionsscenario		
Kronisk bronkitis	2.600	2.050
Dage med nedsat aktivitet (sygedage)	2,65 mio.	2,10 mio.
Hospitalsindlæggelser for luftvejslidelser	142	112
Hospitalsindlæggelser for cerebro-vaskulære lidelser	326	258
Tilfælde af hjertesvigt	238	201
Lungecancer	398	314
Brug af bronkodilatatorer blandt børn	69.800	55.200
Brug af bronkodilatatorer blandt voksne	508.000	401.000
Episoder med hoste blandt børn	241.000	191.000
Episoder med hoste blandt voksne	523.000	413.000
Episoder med nedre luftvejssymptomer blandt børn	166.000	130.000
Episoder med nedre luftvejssymptomer blandt voksne	189.000	149.000
Antal for tidlige dødsfald (akutte)	138	135
Kroniske tabte leveår (YOLL)	27.700	21.900
Antal for tidlige dødsfald (kroniske)	2.610	2.070
Antal for tidlige dødsfald (totalt)	2.750	2.200
Dødsfald blandt spædbørn	3	3

Udlandets bidrag til helbredseffekter i Danmark

Tabel 5.5 viser udlandets emissions bidrag til helbredseffekter i Danmark.

Udlandets emissioner bidrager således til omkring 2.270 for tidlige dødsfald i Danmark i 2008/2010. Udlandets emissioners bidrag falder frem mod år 2020 til ca. 1.870 for tidlige dødsfald pga. reduktion i emissioner.

Tabel 5.5. Antal tilfælde af de forskellige helbredseffekter i Danmark, som skyldes totale udenlandske emissioner for tre forskellige emissionsscenarioer – dvs. udlandets bidrag til de totale antal tilfælde i Danmark.

Helbredseffekt	Udlandets bidrag til de totale antal tilfælde i Danmark	
	2008/2010	2020
År/emissionsscenario		
Kronisk bronkitis	2.110	1.720
Dage med nedsat aktivitet (sygedage)	2,15 mio.	1,76 mio.
Hospitalsindlæggelser for luftvejslidelser	115	94
Hospitalsindlæggelser for cerebro-vaskulære lidelser	265	217
Tilfælde af hjertesvigt	194	168
Lungecancer	322	263
Brug af bronkodilatatorer blandt børn	56.900	46.500
Brug af bronkodilatatorer blandt voksne	412.000	337.000
Episoder med hoste blandt børn	197.000	161.000
Episoder med hoste blandt voksne	424.000	347.000
Episoder med nedre luftvejssymptomer blandt børn	138.000	111.000
Episoder med nedre luftvejssymptomer blandt voksne	153.000	125.000
Antal for tidlige dødsfald (akutte)	149	137
Kroniske tabte leveår (YOLL)	22.500	18.400
Antal for tidlige dødsfald (kroniske)	2.120	1.740
Antal for tidlige dødsfald (totalt)	2.270	1.870
Dødsfald blandt spædbørn	3	2

Danmarks bidrag til helbredseffekter i Danmark

Danmarks menneskabte emissionsbidrag til helbredseffekter i Danmark er vist i **Tabel 5.6**.

Danske emissioner bidrager således til omkring 480 for tidlige dødsfald i Danmark i 2008/2010. Danske emissioners bidrag falder frem mod år 2020 til ca. 330 for tidlige dødsfald pga. faldende emissioner i Danmark.

Danske emissioner bidrager med omkring 15-17% af de totale for tidlige dødsfald i Danmark som følge af total regionale luftforurening for de to år, og udlandet bidrager således med 83-85%.

Tabel 5.6. Antal tilfælde af de forskellige helbredseffekter i Danmark, som skyldes danske menneskeskabte emissioner for tre forskellige emissionsscenarioer – dvs. Danmarks bidrag til Danmark.

Helbredseffekt	Danmarks bidrag til de totale antal tilfælde i Danmark	
	2008/2010	2020
År/emissionsscenario		
Kronisk bronkitis	489	329
Dage med nedsat aktivitet (sygedage)	500.000	337.000
Hospitalsindlæggelser for luftvejslidelser	27	18
Hospitalsindlæggelser for cerebro-vaskulære lidelser	61	41
Tilfælde af hjertesvigt	44	33
Lungecancer	75	51
Brug af bronkodilatatorer blandt børn	12.940	8.710
Brug af bronkodilatatorer blandt voksne	95.800	64.500
Episoder med hoste blandt børn	44.700	30.100
Episoder med hoste blandt voksne	98.600	66.400
Episoder med nedre luftvejssymptomer blandt børn	28.100	18.900
Episoder med nedre luftvejssymptomer blandt voksne	35.600	23.900
Antal for tidlige dødsfald (akutte)	-11	-3
Kroniske tabte leveår (YOLL)	5.180	3.490
Antal for tidlige dødsfald (kroniske)	488	329
Antal for tidlige dødsfald (totalt)	478	326
Dødsfald blandt spædbørn	1	1

Opsummering af for tidlige dødsfald

Antallet af for tidlige dødsfald kan bruges som indikator for den samlede helbredsbelastning i form af dødelighed og sygelighed. Som overblik er antallet af for tidlige dødsfald (totalt) opsummeret for de forskellige forudsætninger og år, se **Tabel 5.7**.

Antal for tidligere dødsfald i Europa vil falde fra basisscenariet for 2008/2010 frem til år 2020 pga. reduktion i emissioner. Udlandets emissioners bidrag til for tidlige dødsfald i Danmark vil også falde frem mod 2020.

Danske emissioners bidrag til antal for tidlige dødsfald i Europa vil reduceres frem til år 2020 pga. lavere danske emissioner. Danske emissioners bidrag til antal for tidlige dødsfald i Danmark vil følge samme mønster.

Tabel 5.7. Antal for tidlige dødsfald for forskellige år.

	2008/2010	2020
I Europa inkl. Danmark pga. den totale luftforurening	504.000	409.000
Danmarks bidrag til de totale helbredseffekter i Europa (inkl. Danmark)	2.510	1.420
Danmarks bidrag til de totale helbredseffekter i Europa (ekskl. Danmark)	2.030	1.090
I Danmark som skyldes den totale luftforurening	2.750	2.200
Udlandets bidrag til de totale antal tilfælde i Danmark	2.270	1.870
Danmarks bidrag til Danmark	478	326

6 Samfundsøkonomiske omkostninger af luftforurening i Danmark og Europa

I det følgende er beregnet de helbredsrelaterede samfundsøkonomiske omkostninger (eksterne omkostninger) fra luftforurening i Europa og Danmark for de forskellige år. De eksterne omkostninger er underopdelt for en række forskellige kemiske stoffer, som beskrevet i **Tabel 6.1**.

Tabel 6.1. Beskrivelse af kemiske stoffer som de eksterne omkostninger er underopdelt på

Navn anvendt	Forkortelse	Beskrivelse
Kulilte	CO	Kulmonoxid eller kulilte er en gas, som har helbredseffekter som gas. Kulilte bidrager endvidere til dannelse af ozon (O ₃)
Svovldioxid	SO ₂	Svovldioxid er en gas, som har helbredseffekter som gas. I atmosfæren omdannes den til sulfat (SO ₄ ²⁻) som fx kan reagere med ammonium (NH ₄ ⁺) som stammer fra ammoniak (NH ₃) og danner partikler (ammoniumsulfat og ammoniumsulfat). Disse sekundært dannede partikler har helbredseffekter. De kaldes derfor også sekundære partikler.
Sulfater	totSO ₄	Alle kemiske forbindelser, hvor sulfat indgår.
Delsum for svovl	totSO _x	Alle svovlforbindelser dvs. summen af SO ₂ og totSO ₄
Ozon	O ₃	Ozon er en gas, som dannes i atmosfæren ud fra emission af kulbrinter og kvælstofoxider og under indflydelse af sollys og temperatur.
Nitrater	totNO ₃	Alle kemiske forbindelser, hvor nitrat indgår. Nitrat (NO ₃ ⁻) dannes i atmosfæren ud fra emissioner af kvælstofforbindelser (NO _x mv.) som fx kan reagere med ammonium (NH ₄ ⁺) som stammer fra ammoniak (NH ₃) og danner partikler (ammoniumnitrat). Disse sekundært dannede partikler har helbredseffekter. De kaldes derfor også sekundære partikler.
Delsum for kvælstof	totNO _x	Delsum for kvælstofoxider dvs. summen af O ₃ + totNO ₃ . Kvælstofforbindelser bidrager til ozondannelse og nitratpartikler.
Primære partikler	PPM _{2,5}	Alle primære partikelemissioner dvs. direkte emitterede partikler. De omfatter bl.a. elementært kulstof/sod (EC), organisk kulstof (OC), mineralsk støv (fra forbrænding - typisk fra kraftværker) og havsalt. De omfatter partikelstørrelser under 2,5 mikrometer i diameter.
Sum	Sum	Summen af alle eksterne omkostninger for alle ovenstående stoffer

6.1 Eksterne omkostninger af luftforurening i Europa og Danmark

Eksterne omkostninger i Europa som skyldes total luftforurening

Tabel 6.2 viser de samlede eksterne omkostninger relateret til helbredseffekter af luftforurening i Europa. I 2008/2010 er det ca. 4.200 mia. kr. faldende til ca. 3.500 mia. kr. i år 2020.

Kvælstofoxider udgør det største bidrag til eksterne omkostninger efterfulgt af svovlforbindelser og primære partikler. Kulilte bidrager forsvindende lidt i forhold til øvrige stoffer. Samlet set er det de primære og sekundære partikler som bidrager mest til de eksterne omkostninger, mens gasserne *som gas* (ozon, svovldioxid og kulilte) bidrager mindre i de totale eksterne omkostninger.

Tabel 6.2. Totale helbredsrelaterede eksterne omkostninger i Europa som skyldes totale emissioner (både naturlige og menneskeskabte) i den nordlige hemisfære for tre forskellige emissionsscenarioer – dvs. eksterne omkostninger som skyldes den totale luftforurening. Dvs. – eksterne omkostninger af helbredseffekter i **Tabel 5.1** (Mia. kr.).

År/emissionsscenario	Kulilte	Svovl-dioxid	Sulfater	Delsum for svovl	Ozon	Nitrater	Delsum for kvælstof	Primære partikler	Sum
2008/2010	0,933	162	1064	1226	516	1539	2056	935	4217
2020	0,932	113	772	886	485	1206	1692	874	3451

Danmarks bidrag til helbredseffekter i Europa (inkl. Danmark)

Tabel 6.3 viser Danmarks bidrag til eksterne omkostninger relateret til helbredseffekter af luftforurening i Europa (inkl. Danmark). I 2008/2010 er det omkring 20 mia. kr. faldende til ca. 10 mia. kr. i år 2020. Den relative lave eksterne omkostning i år 2020 skyldes til dels et mindre bidrag fra ozon.

Emissionen af kvælstofoxider udgør det største bidrag til eksterne omkostninger, men er endnu mere dominerende end tilfældet var for eksterne omkostninger af luftforurening i hele Europa. Det næststørste bidrag til eksterne omkostninger er primære partikler. Grunden til at bidraget er stort for kvælstofoxider, som hovedsageligt stammer fra nitratpartikler skyldes relative høje emissioner af kvælstofoxider fra forbrændingsprocesser og ammoniak fra landbruget, som danner ammoniumnitrat i atmosfæren. Svovldioxid emissionerne er derimod relativt lave, og svovl bidrager mindre til de eksterne omkostninger.

Tabel 6.3. Danmarks totale bidrag til de helbredsrelaterede eksterne omkostninger i Europa inkl. Danmark. Dvs. eksterne omkostninger af helbredseffekter i **Tabel 5.2** (Mia. kr.). Bemærk at eksterne omkostninger for O₃ kan blive negativ pga. ikke-lineær atmosfærekemi.

År/emissionsscenario	Kulilte	Svovl-dioxid	Sulfater	Delsum for svovl	Ozon	Nitrater	Delsum for kvælstof	Primære partikler	Sum
2008/2010	0,003	0,15	0,85	1,01	0,89	12,4	13,2	5,64	19,9
2020	0,003	0,20	0,38	0,58	-1,57	7,57	6,00	3,63	10,2

Danmarks bidrag til helbredseffekter i Europa uden for Danmark

Tabel 6.4 viser Danmarks bidrag til eksterne omkostninger relateret til helbredseffekter af luftforurening i Europa (ekskl. Danmark). I 2008/2010 er det omkring 16 mia. kr. faldende til ca. 8 mia. kr. i år 2020.

Tabel 6.4. Danmarks bidrag til helbredsrelaterede eksterne omkostninger i Europa ekskl. Danmark. Dvs. eksterne omkostninger af helbredseffekter i **Tabel 5.3** (Mia. kr.).

År/emissionsscenario	Kulilte	Svovl-dioxid	Sulfater	Delsum for svovl	Ozon	Nitrater	Delsum for kvælstof	Primære partikler	Sum
2008/2010	0,002	0,07	0,74	0,81	1,15	10,9	12,0	3,41	16,3
2020	0,001	0,11	0,25	0,36	-1,43	6,58	5,15	2,17	7,7

6.2 Eksterne omkostninger af luftforurening i Danmark – og bidrag fra Danmark og udlandet

Eksterne omkostninger i Danmark fra total luftforurening

Tabel 6.5 viser eksterne omkostninger i Danmark af den totale luftforurening. I 2008/2010 er det omkring 23 mia. kr. faldende til ca. 18 mia. kr. i år 2020.

Tabel 6.5. Totale helbredsrelaterede eksterne omkostninger i Danmark fra den totale luftforurening. Dvs. eksterne omkostninger af helbredseffekter i Tabel 5.4 (Mia. kr.)

År/emissionsscenario	Kulilte	Svovl-dioxid	Sulfater	Delsum for svovl	Ozon	Nitrater	Delsum for kvælstof	Primære partikler	Sum
2008/2010	0,008	0,459	3,8	4,3	1,7	10,0	11,7	6,5	22,5
2020	0,007	0,379	2,8	3,2	1,8	7,7	9,5	5,5	18,2

Udlandets bidrag til eksterne omkostninger i Danmark

Tabel 6.6 viser udlandets bidrag til eksterne omkostninger i Danmark. I 2008/2010 er det omkring 19 mia. kr. faldende til ca. 16 mia. kr. i år 2020.

Sammenlignes med forrige tabel ses at udlandet bidrager med hovedparten af de eksterne omkostninger relateret til helbredseffekter af luftforurening i Danmark.

Tabel 6.6. Udlandets bidrag til de totale helbredsrelaterede eksterne omkostninger i Danmark. Dvs. eksterne omkostninger af helbredseffekter i Tabel 5.5 (Mia. kr.)

År/emissionsscenario	Kulilte	Svovl-dioxid	Sulfater	Delsum for svovl	Ozon	Nitrater	Delsum for kvælstof	Primære partikler	Sum
2008/2010	0,006	0,38	3,72	4,10	1,98	8,55	10,5	4,26	18,9
2020	0,006	0,29	2,71	3,00	1,89	6,72	8,61	4,07	15,7

Danmarks bidrag til eksterne omkostninger i Danmark

Tabel 6.7 viser Danmarks bidrag til eksterne omkostninger i Danmark. I 2008/2010 er det omkring 3,6 mia. kr. faldende til ca. 2,5 mia. kr. i år 2020.

Bemærk at eksterne omkostninger for O₃ er negativ, hvilket skyldes ikke-lineær atmosfærekemi. Det skyldes at NO_x (NO+NO₂) emissioner i Danmark bidrager til at reducere O₃ i Danmark, da NO reagerer med O₃ under dannelse af NO₂. Hermed reduceres O₃. På Europæisk skala bidrager NO_x emissioner og også VOC emissioner fra Danmark derimod til dannelse af O₃. Summen af dette kan blive negativ, hvilket betyder, at emissioner af NO_x og VOC fra Danmark under visse forhold ikke giver flere tidlige akutte dødsfald for O₃ men færre.

Tabel 6.7. Danmarks totale bidrag til helbredsrelaterede eksterne omkostninger i Danmark. Dvs. eksterne omkostninger af helbredseffekter i Tabel 5.6 (Mia. kr.). Bemærk at eksterne omkostninger for O₃ kan blive negativ pga. ikke-lineær atmosfærekemi.

År/emissionsscenario	Kulilte	Svovl-dioxid	Sulfater	Delsum for svovl	Ozon	Nitrater	Delsum for kvælstof	Primære partikler	Sum
2008/2010	0,001	0,08	0,12	0,20	-0,26	1,47	1,21	2,22	3,63
2020	0,001	0,09	0,13	0,21	-0,13	0,99	0,85	1,45	2,52

Opsummering af total eksterne omkostninger

De totale eksterne omkostninger relateret til helbredseffekter af luftforurening er opsummeret i **Tabel 6.8**.

De eksterne omkostninger i Europa vil falde fra basisscenariet 2008/2010 frem til år 2020 pga. reduktion i emissioner. Udlandets bidrag til eksterne omkostninger i Danmark vil også falde frem mod år 2020.

Danmarks bidrag til eksterne omkostninger i Europa vil reduceres frem til år 2020 pga. lavere emission i Danmark. Danmarks bidrag til eksterne omkostninger i Danmark følger samme mønster.

Udenlandske kilders bidrag til de totale helbredsrelaterede eksterne omkostninger i Danmark udgør ca. 84-86% afhængigt af år. Det danske bidrag er 14-16%.

Tabel 6.8. Eksterne omkostninger relateret til helbredseffekter af luftforurening for forskellige år (Mia. kr.)

	2008/2010	2020
I Europa inkl. Danmark	4.217	3.451
Danmarks bidrag til Europa (inkl. Danmark)	20	10
Danmarks bidrag til Europa (ekskl. Danmark)	16	8
I Danmark som skyldes den totale luftforurening	22	18
Udlandets bidrag til Danmark	19	16
Danmarks bidrag til Danmark	3,6	2,5

7 Europæiske og danske emissionskilders bidrag til eksterne omkostninger i Danmark

Dette kapitel beskriver europæiske emissionskilders relative bidrag til eksterne omkostninger i Danmark, og danske emissionskilders bidrag til samme. Kapitlet belyser således, hvilke og hvor meget emissionssektorer i Europa og Danmark bidrager til de eksterne omkostninger relateret til helbreds-effekter af luftforurening i Danmark.

7.1 Europæiske emissionskilders bidrag til eksterne omkostninger i Danmark

I forrige kapital viste vi, at udenlandske kilders bidrag til de totale helbredsrelaterede eksterne omkostninger i Danmark udgør ca. 84-86% afhængigt af år. Dette er også i overensstemmelse med nyere beregninger for Københavnsområdet (Jensen et al. 2013). Tidligere beregninger har vist, at de europæiske kilders bidrag til de totale helbredsrelaterede eksterne omkostninger i Danmark udgør ca. 75-85% afhængigt af kemisk stof og år (Ellermann et al., 2014).

I **Figur 7.1** er vist de europæiske emissionskilder andel af de eksterne omkostninger relateret til luftforureningen i Danmark på baggrund af tidligere beregninger gennemført for år 2000. Det ses, at den internationale skibstrafik bidrager med ca. 24 %, vejtrafik med ca. 17 %, kraftværker med ca. 14 %, landbrugssektoren med ca. 20 % og ikke-industriel forbrænding inkl. boligopvarmning med ca. 7 % (Ellermann et al., 2014).



Figur 7.1. Fordelingen af europæiske kilders bidrag (%) til de helbredsrelaterede eksterne omkostninger i Danmark for år 2000, under antagelse af at alle typer af partikler er lige skadelige. De europæiske kilders bidrag til de totale helbredsrelaterede eksterne omkostninger i Danmark udgør ca. 75-85% afhængigt af kemisk stof og år (figur fra Ellermann et al., 2014).

7.2 Danske emissionskilders bidrag til eksterne omkostninger i Danmark

I forrige kapital viste vi, at danske kilders bidrag til de totale helbredsrelaterede eksterne omkostninger i Danmark udgør ca. 14-16% afhængigt af år. Dette er også i overensstemmelse med nyere beregninger (Jensen et al. 2013). Tidligere beregninger har vist at danske kilders bidrag til de totale helbredsrelaterede eksterne omkostninger i Danmark udgør ca. 15-25 % afhængigt af kemisk stof og år (Ellermann et al., 2014).

Danske emissionskilders bidrag til eksterne omkostninger relateret til luftforureningen i Danmark er vist i **Figur 7.2** baseret på tidligere beregninger for år 2008. Bidraget fra danske emissionskilder fordeler det sig med ca. 33 % fra landbrugssektoren, ca. 16 % fra vejtrafik, og ca. 30% fra ikke-industriell forbrænding inkl. boligopvarmning, som i Danmark næsten udelukkende er relateret til brændeovne og -kedler (Ellermann et al., 2014). Danske kilder har således en høj procentdel for landbrugssektoren og boligopvarmning sammenlignet med europæiske kilder. For landbrugssektoren er det især ammoniak, som bidrager til de eksterne omkostninger pga. bidraget til dannelse af sekundære partikler, som indeholder ammonium. For boligopvarmning er det primært direkte emitterede partikler fra brændeovne.

Disse beregninger indbefatter både primært emitterede partikler og sekundært dannede partikler fra emitterede gasser i atmosfæren. I beregningerne er det forudsat, at alle typer af partikler er lige skadelige. Der er imidlertid fortsat usikkerhed med hensyn til hvilke af partiklerne, som giver anledning til helbredseffekterne.



Figur 7.2. Fordelingen af danske kilders bidrag (%) til de helbredsrelaterede eksterne omkostninger i Danmark for år 2008, under antagelse af at alle typer af partikler er lige skadelige. De danske kilders bidrag til de totale helbredsrelaterede eksterne omkostninger i Danmark udgør ca. 15-25 % afhængigt af kemisk stof og år (figur fra Ellermann et al., 2014).

8 Andre landes bidrag til luftforurening i Danmark og Danmarks bidrag til dem

Dette kapitel beskriver hvilke lande og hvor meget de bidrager til luftforureningen i Danmark, og hvor meget Danmark bidrager til luftforureningen i andre lande.

8.1 Kilde-modtager tabeller

EMEP (European Monitoring and Evaluation Program) gennemfører beregninger med EMEP luftkvalitetsmodellen, hvor bidraget til og fra landene i Europa opgøres. Det sker i form af såkaldte kilde-modtager tabeller, som forsøger at besvare følgende spørgsmål om grænseoverskridende luftforurening:

1. Hvor forurenende stoffer fra et land ender i andre lande?
2. Hvor de forurenende stoffer i et bestemt land kommer fra?

Det betegnes også som "skyld" tabeller, forbi man opgør, hvor meget de enkelte lande bidrager til luftforureningen hos hinanden. På engelsk er det "source-receptor" matricer (eller "blame" matricer).

I det følgende afrapporteres resultater fra EMEP koncentrationsberegninger gennemført for år 2011 dvs. med emissioner og meteorologi, som afspejler år 2011 (EMEP 2013). For hvert land er reduktioner i fem forskellige forurenende stoffer beregnet separat med en emissionsreduktion på 15% for SO_x (svovloxider), NO_x (kvælstofoxider), NH₃ (ammoniak), NMVOC (ikke-metan flygtige organiske kulbrinter) eller PPM. PPM betyder primære partikler, og den fine og grove fraktion heraf er reduceret i samme simulering. Således bør tabellerne fortolkes som estimater for dette reduktionsscenario og for de kemiske forhold i år 2011.

8.2 Andre landes bidrag til luftforurening i Danmark

I de følgende tabeller vises en oversigt over de lande/områder, der bidrager mest til luftforureningen i Danmark for totale PM_{2,5} koncentrationer og for SOMO35, som begge giver anledning til helbredseffekter. PM_{2,5} er partikler under 2,5 mikrometer i diameter og stammer både fra primært emitterede partikler og sekundært atmosfærisk dannede partikler. SOMO35 er summen af gennemsnitlige ozonkoncentrationer over 35 ppb (ud fra daglig 8-timer maksimum), og er således en indikator for summen af de højeste ozonkoncentrationer.

Andre landes bidrag til PM_{2,5} koncentrationer i Danmark

Tabel 8.1 viser hvilke lande og hvor meget de bidrager til PM_{2,5} koncentrationen i Danmark. Det ses, at Tyskland bidrager mest til PM_{2,5} koncentrationen i Danmark med 22% efterfulgt af Danmark selv med 20%. Øvrige lande/områder som bidrager en del er Storbritannien med 9%, skibe med 9% fra Nordsøen og 4% fra Østersøen, Polen med 8% mv. Grunden til at disse lande bidrager mest er dels at de er tæt på Danmark og har relativ høj emissionstæthed på et stort areal, men også at dominerende vindretninger fra sydvest bringer forurening til Danmark.

Tabel 8.1. Oversigt over de største bidragydere (bidrag > 1%) til de totale PM_{2,5} koncentrationer i Danmark for år 2011 beregnet med EMEP modellen. Se Bilag 1 for en tabel over alle lande

Land/område	Landenes bidrag til Danmark i % af middel PM _{2,5} koncentrationer i Danmark
Tyskland	21,9
Danmark	19,5
Storbritannien	9,2
Nordsøen(skibe)	8,1
Polen	7,8
Frankrig	4,7
Holland	4,4
Østersøen (skibe)	3,9
Belgien	2,3
Tjekkiet	2,3
Sverige	1,5
Norge	1,0
Øvrige	13,4
Total	100

Andre landes bidrag til de højeste ozonkoncentrationer i Danmark

Tabel 8.2 viser bidraget fra emissioner i de enkelte lande til SOMO35 i Danmark. SOMO35 er summen af gennemsnitlige ozonkoncentrationer over 35 ppb (ud fra daglig 8-timer maksimum), og dermed et udtryk for summen af de højeste ozonkoncentrationer. Bidragene fra emissioner i de forskellige lande er underopdelt på flygtige organiske kulbrinter (VOC) og kvælstofoxider (NO_x), da disse stofgrupper er medvirkende til dannelse af ozon i atmosfæren.

Ozonkemi er ikke-lineær og bidraget fra NO_x emissioner kan være både positivt og negativt afhængigt af kemisk regime og således giver summen heller ikke 100%. Fx bidrager danske NO_x emissioner typisk til en reduktion af ozonkoncentrationer i Danmark, mens de bidrager til en stigning i ozonen længere væk fra Danmark pga. forskellige kemiske regimer i de forskellige områder, samt forskellige typiske omdannelseshastigheder for VOC og NO_x kemi.

Det ses, at VOC emissioner i Tyskland og Storbritannien bidrager mest til de højeste ozonkoncentrationer i Danmark. For NO_x emissioner er billedet mere komplekst. Emissioner i Danmark samt i lande og områder (skibe) som ligger tæt på Danmark bidrager til en reduktion af de højeste ozonkoncentrationer (bidragene har negativ fortegn). Det skyldes, at NO, som del af NO_x, reagerer med ozon under dannelse af NO₂, og dermed reducerer ozon. Emissioner i lande og områder (skibe), som ligger længere væk bidrager til de højeste ozonkoncentrationer i Danmark (bidrag har positive fortegn), da ozondannelse er et storskala fænomen. Den kemiske dannelse på baggrund af VOC og NO_x emissioner under indflydelse af sollys og høje temperaturer er en proces som tager tid (fra timer til dage).

Tabel 8.2. Oversigt over de største bidragydere til SOMO35 (sum af højeste ozon-koncentrationer) i Danmark for år 2011 beregnet med EMEP modellen. Se Bilag 2 for en tabel over alle lande

Land/område	Landenes bidrag i form af VOC emissioner til Danmark i % af SOMO35 i Danmark	Landenes bidrag i form af NO _x emissioner til Danmark i % af SOMO35 i Danmark
Belgien	2,03	-1,86
Tjekkiet	1,3	-0,35
Tyskland	18,03	-6,05
Danmark	5,35	-10,54
Finland	0,5	1,25
Frankrig	5,11	3,4
Storbritannien	17,37	0,41
Irland	0,64	1,86
Holland	4,33	-4,11
Norge	1,51	4,65
Polen	6,02	-0,6
Sverige	2,3	1,54
Atlantehavet (skibe)	0,14	13,17
Østersøen (skibe)	0,67	-14,18
Nordsøen (skibe)	1,36	-13,97

8.3 Danmarks bidrag til luftforurening i andre lande

I de følgende tabeller vises en oversigt over de lande/områder, hvor danske emissioner bidrager mest til de totale PM_{2.5} koncentrationer og SOMO35.

Danmarks bidrag til PM_{2.5} koncentrationer i andre lande

Tabel 8.3 viser Danmarks bidrag til PM_{2.5} koncentrationer i andre lande. Danmark er den største bidragsyder til PM_{2.5} koncentrationer i Danmark, som står for 20%. Danmarks største bidrag er til Sverige med omkring 6% af deres PM_{2.5} koncentrationer, hvilket skyldes den dominerende sydvestlige vindretning, som blæser dele af dansk partikelforurening til Sverige.

Tabel 8.3. Danske emissioners bidrag i % til andre lande for PM_{2.5} koncentrationer for år 2011 beregnet med EMEP modellen. Bidraget i % er beregnet som danske emissioners bidrag til de totale PM_{2.5} koncentrationer i de pågældende lande. Se Bilag 1 for en tabel over alle lande

Land/område	Danske emissioners bidrag til PM _{2.5} i andre lande i % af middelkoncentrationen i det pågældende land
Tyskland	0,5
Danmark	19,6
Storbritannien	0,4
Polen	0,9
Frankrig	0,1
Holland	0,4
Belgien	0,2
Tjekkiet	0,2
Sverige	6,4
Norge	3,1

Danmarks bidrag til de højeste ozonkoncentrationer i andre lande

Tabel 8.4 viser danske emissioners bidrag til SOMO35 i andre lande underopdelt på emissioner af VOC og NO_x i Danmark.

Ozonkemi er ikke-lineær og bidraget fra NO_x emissioner kan være både positivt og negativt afhængigt af kemisk regime. Således giver summen heller ikke 100%. Fx bidrager danske NO_x emissioner til en reduktion af ozonkoncentrationerne i Danmark, mens det bidrager til en stigning i ozonen længe væk fra Danmark.

Det ses, at danske VOC emissioner bidrager mest til de højeste ozonkoncentrationer i Danmark, og dernæst Sverige og Norge som de næste lande i forhold til effekten af danske VOC emissioner.

For NO_x emissioner er billedet mere komplekst. Danske emissioner bidrager til en reduktion af de højeste ozonkoncentrationer Danmark med omkring 11% (bidraget har negativ fortegn). Det skyldes, at NO som del af NO_x reagerer med ozon under dannelse af NO₂, og dermed reducerer ozon. Danske emissioners bidrag til de andre lande er procentvis små, og der er ikke et entydigt billede af hvordan NO_x emissioner fra Danmark påvirker SOMO35 i de andre lande, da vi er tæt på nul.

Tabel 8.4. Danske emissioners bidrag i % til andre lande mht. til SOMO35 (sum af højeste ozonkoncentrationer) værdier for år 2011. Beregninger er foretaget med EMEP modellen. Se Bilag 2 for en tabel der viser alle lande.

Land	Danske VOC emissioners bidrag til ozonforurening i andre lande i % af SOMO35 i det pågældende land	Danske NO _x emissioners bidrag til ozonforurening i andre lande i % af SOMO35 i det pågældende land
Belgien	0,36	0,04
Tjekkiet	0,53	-0,19
Tyskland	0,67	-0,10
Danmark	5,35	-10,54
Finland	1,45	1,00
Frankrig	0,30	0,03
Storbritannien	0,57	-0,04
Irland	0,57	0,07
Holland	0,84	0,05
Norge	2,45	0,87
Polen	1,07	0,16
Sverige	2,53	0,39

9 Referencer

Andersen, M.S., Frohn, L.M., Brandt, J. & Jensen, S.S. (2007): External effects from power production and the treatment of wind energy (and other renewables) in the Danish energy taxation system. In: Deketelaere, K. et. al., eds.,: *Critical Issues in Environmental Taxation: International and Comparative Perspectives*, Volume IV. Oxford University Press, pp 319-337.

Andersen, M. S., L. M. Frohn, J. S. Nielsen, M. J. B. Jensen, S. S. Jensen, J. H. Christensen, and J. Brandt (2008). A Non-linear Eulerian Approach for Assessment of Health-cost Externalities of Air Pollution. Proceedings from the European Association of Environmental and Resource Economists 16th Annual Conference, Gothenburg, Sverige, 25. juni 2008 - 28. juni 2008. pp 23.

Brandt, J., Silver, J. D., Gross, A. and Christensen, J. H. (2010a): Marginal damage cost per unit of air pollution emissions, Roskilde: National Environmental Research Institute. 23 p. Specific agreement 3555/B2010/EEA.54131 implementing framework contract ref. no. EEA/IEA/09/002. (The results in the report was used in "Road user charges for heavy goods vehicles (HGV) Tables with external costs of air pollution", EEA Technical report No 1/2013, ISSN 1725-2237, pp. 88.)

Brandt, J., D. D. Silver, L. M. Frohn, J. H. Christensen, M. S. Andersen, C. Geels, A. Gross, K. M. Hansen, A. B. Hansen, G. B. Hedegaard, and C. A. Skjøth (2010b): Assessment of Health-Cost Externalities of Air Pollution at the National Level using the EVA Model System. Proceedings of the International Conference on Energy, Environment and Health – Optimisation of Future Energy Systems. May 31-June 2, Carlsberg Academy, Copenhagen, Denmark. pp. 89-94.

Brandt, J., J. D. Silver, J. H. Christensen, M. S. Andersen, J. Bønløkke, T. Sigsgaard, C. Geels, A. Gross, A. B. Hansen, K. M. Hansen, G. B. Hedegaard, E. Kaas and L. M. Frohn (2011a): Assessment of Health-Cost Externalities of Air Pollution at the National Level using the EVA Model System. CEEH Scientific Report No 3, Centre for Energy, Environment and Health Report series, March 2011, p. 98 (www.ceeh.dk).

Brandt, J., J. D. Silver, J. H. Christensen, M. S. Andersen, J. H. Bønløkke, T. Sigsgaard, C. Geels, A. Gross, A. B. Hansen, K. M. Hansen, G. B. Hedegaard, E. Kaas and L. M. Frohn (2011b): EVA– en metode til kvantificering af sundhedseffekter og eksterne omkostninger. Temanummer om helbredseffekter af vedvarende energi. Sundhedsstyrelsens Rådgivende Videnskabelige Udvalg for Miljø og Sundhed. Formidlingsblad 17. årgang, suppl. 1, okt. 2011, pp 3-10.

Brandt, J., J. D. Silver, L. M. Frohn, C. Geels, A. Gross, A. B. Hansen, K. M. Hansen, G. B. Hedegaard, C. A. Skjøth, H. Villadsen, A. Zare, and J. H. Christensen (2012): An integrated model study for Europe and North America using the Danish Eulerian Hemispheric Model with focus on intercontinental transport. *Atmospheric Environment*, Volume 53, June 2012, pp. 156-176, doi:10.1016/j.atmosenv.2012.01.011.

Brandt, J., J. D. Silver, J. H. Christensen, M. S. Andersen, J. Bønløkke, T. Sigsgaard, C. Geels, A. Gross, A. B. Hansen, K. M. Hansen, G. B. Hedegaard, E. Kaas and L. M. Frohn (2013a): Contribution from the ten major emission sectors in Europe to the Health-Cost Externalities of Air Pollution using the EVA Model System – an integrated modelling approach. *Atmospheric Chemistry and Physics*, Vol. 13, pp. 7725-7746, 2013. www.atmos-chem-phys.net/13/7725/2013/, doi:10.5194/acp-13-7725-2013.

Brandt, J., J. D. Silver, J. H. Christensen, M. S. Andersen, J. Bønløkke, T. Sigsgaard, C. Geels, A. Gross, A. B. Hansen, K. M. Hansen, G. B. Hedegaard, E. Kaas and L. M. Frohn (2013b): Assessment of Past, Present and Future Health-Cost Externalities of Air Pollution in Europe and the contribution from international ship traffic using the EVA Model System. *Atmospheric Chemistry and Physics*. Vol. 13, pp. 7747-7764, 2013. www.atmos-chem-phys.net/13/7747/2013/. doi:10.5194/acp-13-7747-2013.

Brandt, J., S. S. Jensen and M. S. Plejdrup, (2013c): Beregning af sundhedseffekter relateret til luftforurening i København og Frederiksberg ved brug af modelsystemet EVA. Aarhus Universitet, DCE–Nationalt Center for Miljø og Energi, pp. 46. Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 64. <http://dce2.au.dk/pub/SR64.pdf>.

Christensen, J.H., 1997. The Danish Eulerian Hemispheric Model e a three-dimensional air pollution model used for the Arctic. *Atmospheric Environment* 31, 4169-4191 pp.

Ellermann, T., J. Brandt, O. Hertel, S. Loft, Z. J. Andersen, O. Raaschou-Nielsen, J. Bønløkke og T. Sigsgaard (2014a): "Luftforureningens indvirkning på sundheden i Danmark - Sammenfatning og status for nuværende viden". Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi. Videnskabelig rapport fra DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 96, 154 pp.. <http://dce2.au.dk/pub/SR96.pdf>.

EMEP (2013): Transboundary Acidification, Eutrophication and Ground Level Ozone in Europe in 2011. EMEP Report 1/2013.

Jensen, S.S., Ketznel, M., & Andersen, M.S. (2010): Road pricing, luftforurening og eksternalitetsomkostninger. Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet. 48 s. Faglig rapport fra DMU Nr. 770. <http://www.dmu.dk/pub/FR770.pdf>.

Jensen, S.S., Ketznel, M., Winther, M. (2012). Luftkvalitetsvurdering af trængselsafgifter i København. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 48 s. Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 16. <http://www.dmu.dk/Pub/SR16.pdf>.

Jensen, S.S., Brandt, J., Ketznel, M., Plejdrup, M. (2013): Kildebidrag til sundhedsskadelig luftforurening i København. Aarhus Universitet, DCE – Nationalt Center for Miljø og Energi, 85 s. Videnskabelig rapport fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi nr. 57. <http://www2.dmu.dk/Pub/SR57.pdf>.

Nøjgaard, J. K., Massling, A., Christensen, J. H., Nordstrøm, C., & Ellermann, T. (2014): The Particle Project 2011-2013. Aarhus University, DCE – Danish Centre for Environment and Energy, 47 pp. Scientific Report from DCE – Danish Centre for Environment and Energy No. xxx
<http://dce2.au.dk/pub/SRxxx.pdf> (to appear).

Rohr, A.C. & Wyzga, R.E, (2012): Attributing health effects to individual particulate matter constituents. *Atmospheric Environment*. Volume 62, December 2012, Pages 130–152.

UNECE 2012: Decision 2012/2. Amendment of the text of and annexes II to IX to the 1999 Gothenburg Protocol to Abate Acidification, Eutrophication and Ground-level Ozone and the addition of new annexes X and XI.
http://www.unece.org/fileadmin/DAM/env/lrtap/full%20text/ECE_EB_AIR_111_Add1_2_E.pdf.

Bilag 1 Danmarks bidrag til andre lande og omvendt for PM_{2,5} koncentrationer

Tabel B1. Danske emissioners bidrag til PM_{2,5} koncentrationer i andre lande som % af de totale koncentrationer i de pågældende lande og landenes bidrag til Danmark i % af middel PM_{2,5} koncentrationer i Danmark.

Landekode	Navn	Danske emissioners bidrag til andre lande i % af middel PM _{2,5} koncentrationen i det pågældende land	Landenes bidrag til Danmark i % af middel PM _{2,5} koncentrationer i Danmark
AL	Albania	0,04	0,03
AM	Armenia	0,01	0,00
AT	Austria	0,15	0,43
AZ	Azerbaijan	0,02	0,01
BA	Bosnia and Herzegovina	0,07	0,42
BE	Belgium	0,18	2,32
BG	Bulgaria	0,06	0,25
BY	Belarus	0,74	0,57
CH	Switzerland	0,06	0,25
CY	Cyprus	0,01	0,00
CZ	Czech Republic	0,21	2,29
DE	Germany	0,54	21,9
DK	Denmark	19,6	19,6
EE	Estonia	1,73	0,10
ES	Spain	0,04	0,30
FI	Finland	1,02	0,23
FR	France	0,12	4,66
GB	United Kingdom	0,37	9,16
GE	Georgia	0,02	0,01
GL	Greenland	0,01	0,00
GR	Greece	0,04	0,08
HR	Croatia	0,10	0,18
HU	Hungary	0,11	0,36
IE	Ireland	0,22	0,51
IS	Iceland	0,29	0,06
IT	Italy	0,04	0,50
KG	Kyrgyzstan	0,00	0,00
KZT	Kazakhstan	0,03	0,15
LT	Lithuania	1,65	0,31
LU	Luxembourg	0,12	0,15
LV	Latvia	1,80	0,16
MD	Republic of Moldova	0,16	0,04
ME	Montenegro	0,07	0,03
MK	The former Yugoslav Republic of Macedonia	0,05	0,08
MT	Malta	0,03	0,00
NL	Netherlands	0,42	4,36
NO	Norway	3,10	0,99
PL	Poland	0,89	7,8

PT	Portugal	0,02	0,04
RO	Romania	0,10	0,74
RS	Serbia	0,08	0,45
RUE	Russian Federation in the extended EMEP domain	0,14	0,69
SE	Sweden	6,43	1,5
SI	Slovenia	0,10	0,09
SK	Slovakia	0,16	0,39
TJ	Tajikistan	0,00	0,00
TM	Turkmenistan	0,03	0,00
TR	Turkey	0,02	0,03
UA	Ukraine	0,27	0,81
UZ	Uzbekistan	0,02	0,01
ATL	Remaining North-East Atlantic Ocean	0,38	1,41
BAS	Baltic Sea	7,44	3,93
BLS	Black Sea	0,09	0,01
MED	Mediterranean Sea	0,02	0,15
NOS	North Sea	2,57	8,13
AST	Asian areas in the extended EMEP domain	0,02	0,00
NOA	North Africa	0,02	0,01
I alt		52	97

Bilag 2 Danmarks bidrag til ozonkoncentrationer i andre lande og omvendt

Tabel B2. Danske emissioners bidrag til SOMO35 i andre lande som % af de totale koncentrationer i de pågældende lande og landenes bidrag til Danmark i % af middel SOMO35 i Danmark

Landekode	Name	Danmarks bidrag		Landenes bidrag	
		i form af VOC emissioner til andre lande i % af SOMO35 i det pågældende land	i form af NO _x emissioner til andre lande i % af SOMO35 i det pågældende land	i form af VOC emissioner til Danmark i % af SOMO35 i Danmark	i form af NO _x emissioner til Danmark i % af SOMO35 i Danmark
AL	Albania	0,31	0,09	0,01	0,01
AM	Armenia	0,18	0,07	0,00	0,02
AT	Austria	0,31	-0,07	0,29	0,14
AZ	Azerbaijan	0,24	0,11	0,05	0,10
BA	Bosnia and Herzegovina	0,41	0,08	0,02	0,03
BE	Belgium	0,36	0,04	2,03	-1,86
BG	Bulgaria	0,51	0,19	0,03	0,06
BY	Belarus	0,90	0,64	1,89	-0,24
CH	Switzerland	0,14	0,00	0,18	0,05
CY	Cyprus	0,21	0,05	0,00	0,00
CZ	Czech Republic	0,53	-0,19	1,30	-0,35
DE	Germany	0,67	-0,10	18,03	-6,05
DK	Denmark	5,35	-10,54	5,35	-10,54
EE	Estonia	1,64	1,34	0,16	0,14
ES	Spain	0,22	0,01	0,41	0,81
FI	Finland	1,45	1,00	0,50	1,25
FR	France	0,30	0,03	5,11	3,40
GB	United Kingdom	0,57	-0,04	17,37	0,41
GE	Georgia	0,19	0,10	0,05	0,05
GL	Greenland	30,59	-0,12	0,00	0,00
GR	Greece	0,34	0,10	0,03	0,04
HR	Croatia	0,36	0,01	0,05	0,05
HU	Hungary	0,52	-0,02	0,18	0,15
IE	Ireland	0,57	0,07	0,64	1,86
IS	Iceland	2,04	0,89	0,02	0,60
IT	Italy	0,14	-0,01	0,58	0,33
KG	Kyrgyzstan	0,24	0,05	0,00	0,00
KZT	Kazakhstan	0,57	0,27	0,14	0,29
LT	Lithuania	1,65	0,65	0,42	0,52
LU	Luxembourg	0,36	0,03	0,09	-0,05
LV	Latvia	1,69	1,13	0,47	0,23
MD	Republic of Moldova	0,71	0,34	0,04	0,06
ME	Montenegro	0,42	0,09	0,00	0,01

MK	The former Yugoslav Republic of Macedonia	0,38	0,10	0,01	0,01
MT	Malta	0,20	0,03	0,00	0,00
NL	Netherlands	0,84	0,05	4,33	-4,11
NO	Norway	2,45	0,87	1,51	4,65
PL	Poland	1,07	0,16	6,02	-0,60
PT	Portugal	0,21	0,01	0,11	0,13
RO	Romania	0,54	0,23	0,38	0,29
RS	Serbia	0,51	0,07	0,11	0,16
RUE	Russian Federation in the extended EMEP domain	0,63	0,36	4,50	0,99
SE	Sweden	2,53	0,39	2,30	1,54
SI	Slovenia	0,27	-0,11	0,04	0,04
SK	Slovakia	0,54	-0,06	0,21	0,09
TJ	Tajikistan	0,28	0,04	0,00	0,00
TM	Turkmenistan	0,47	0,20	0,00	0,03
TR	Turkey	0,29	0,09	0,08	0,20
UA	Ukraine	0,67	0,37	1,16	0,11
UZ	Uzbekistan	0,46	0,19	0,01	0,05
ATL	Remaining North-East Atlantic Ocean	1,18	0,06	0,14	13,17
BAS	Baltic Sea	2,97	-1,88	0,67	-14,18
BLS	Black Sea	0,46	0,19	0,00	0,05
MED	Mediterranean Sea	0,21	0,04	0,01	0,29
NOS	North Sea	1,57	-0,65	1,36	-13,97
AST	Asian areas in the extended EMEP domain	0,36	0,10	0,01	0,05
NOA	North Africa	0,24	0,05	0,00	0,01
I alt		74	-2.8	78	-19.5

HELBREDSEFFEKTER AF GRÆNSEOVERSKRIDENDE LUFTFORURENING TIL OG FRA DANMARK

Rapport beskriver bidraget til helbredseffekter og tilhørende velfærdsøkonomiske omkostninger af grænseoverskridende luftforurening til Danmark fra udlandet, og til udlandet fra Danmark. Endvidere beskrives emissionskilderne til luftforurening i Europa og i Danmark, og hvor meget de enkelte lande bidrager til luftforureningen i Danmark, og Danmarks bidrag til andre lande.