



Danmarks Miljøundersøgelser
Miljøministeriet

Vurdering af de samfunds- økonomiske konsekvenser af Kommissionens tema- strategi for luftforurening

Faglig rapport fra DMU, nr. 586

(Tom side)



Danmarks Miljøundersøgelser
Miljøministeriet

Vurdering af de samfunds- økonomiske konsekvenser af Kommissionens tema- strategi for luftforurening

*Faglig rapport fra DMU, nr. 586
2006*

*Hanne Bach
Mikael Skou Andersen
Jytte Boll Illerup
Flemming Møller
Katja Birr-Pedersen
Jørgen Brandt
Thomas Ellermann
Lise M. Frohn
Kaj M. Hansen
Finn Palmgren
Jytte Seested Nielsen
Morten Winther*

Datablad

Titel:	Vurdering af de samfundsøkonomiske konsekvenser af Kommissionens temastrategi for luftforurening
Forfattere:	Hanne Bach ¹ , Mikael Skou Andersen ¹ , Jytte Boll Illerup ¹ , Flemming Møller ¹ , Katja Birr-Pedersen ¹ , Jørgen Brandt ² , Thomas Ellermann ² , Lise M. Frohn ² , Kaj M. Hansen ² , Finn Palmgren ² , Jytte Seested Nielsen ¹ , Morten Winther ¹
Afdelinger:	¹ Afdeling for Systemanalyse ² Afdeling for Atmosfærisk Miljø
Serietitel og nummer:	Faglig rapport fra DMU nr. 586
Udgiver:	Danmarks Miljøundersøgelser© Miljøministeriet
URL:	http://www.dmu.dk
Udgivelsestidspunkt: Redaktionen afsluttet:	Juni 2006 Maj 2006
Faglig kommentering:	Claus Torp, Ulrik Torp, Jørgen Skou og Lisbeth Strandmark Miljøstyrelsen; Mette Larsen Energistyrelsen; Peter Henneberg, Finansministeriet; Lise Bjergbakke og Peter Skrumsager, Trafik- og Energiministeriet; Ulrik Pram Gad, Udenrigsministeriet; Lars Bak Jensen, Fødevareministeriet.
Finansiel støtte:	Miljøministeriet
Bedes citeret:	Bach, H., Andersen, M.S., Illerup, J.B., Møller, F., Birr-Pedersen, K., Brandt, J., Ellermann, T., Frohn, L.M., Hansen, K.M., Palmgren, F., Nielsen, J.S. & Winther, M. 2006: Vurdering af de samfundsøkonomiske konsekvenser af Kommissionens temastrategi for luftforurening. 90 s. – Faglig rapport fra DMU nr. 586. http://faglige-rapporter.dmu.dk Gengivelse tilladt med tydelig kildeangivelse.
Sammenfatning:	EU fremsatte i 2005 en temastrategi for luftforurening og et direktivforslag om luftkvalitet. EU har udarbejdet en konsekvensvurdering af strategien, som viser en årlig gevinst for Danmark som langt overstigninger omkostningerne ved implementering. En nærmere analyse for Danmark viste, at EU Kommissionens vurdering var behæftet med en del unøjagtigheder. Analysen viste at Danmark med stor sandsynlighed vil kunne opfylde kravene til udslip af ammoniak og kravene vedr. koncentration af partikler i luften. For udslip af svovl, opløsningsmidler og partikler er det ikke muligt at sige, om Danmark vil kunne opfylde de foreslåede udslipslofter, medens det for kvælstofoxider er klart nødvendigt at foretage yderligere indgreb. Overslag over Danmarks omkostninger og gevinster ved at opfylde strategien er i samme størrelsesorden, som EU Kommissionens estimat. Analysen bekræfter at omkostningerne ved forslaget er væsentligt mindre end gevinsterne.
Frie emneord:	Luftforurening, luftemissioner, miljøøkonomi, konsekvensvurdering, samfundsøkonomi, EU politik
Layout:	Ann-Katrine Holme Christoffersen
ISBN: ISSN: (elektronisk)	978-87-7772-938-6 1600-0048
Sideantal:	90
Internetversion:	Rapporten findes kun som PDF-fil på DMU's hjemmeside http://www2.dmu.dk/1_viden/2_Publikationer/3_fagrapporter/rapporter/FR586.pdf
Købes hos:	Miljøministeriet Frontlinien Rentemestervej 8 DK-2400 København NV Tlf. 70 12 02 11 frontlinien@frontlinien.dk www.frontlinien.dk

Indholdsfortegnelse

Forord 5

Sammenfatning 6

- Indledning 6
- Temastrategiens målsætninger om emissionsreduktioner for Danmark – udfordringer frem til 2020 8
- Temastrategiens målsætninger vedrørende partikel-koncentration 9
- Temastrategiens omkostninger 11
- Gevinsterne ved strategien 14
- Konklusion 15

Summary 18

- Introduction 18
- Targets concerning emission reductions for Denmark 20
- Targets concerning particle concentration 21
- Costs associated with the thematic strategy 23
- Benefits of the strategy 26
- Conclusion 27

1 Resumé af temastrategien for luftforurening generelt og specielt for Danmark 30

- 1.1 Luftkvalitetsdirektiv 30
- 1.2 NEC (National Emission Ceilings)-direktivet 31
- 1.3 Scenarieberegninger med RAINS-modellen 31
- 1.4 Kommissionens strategi 35

2 Vurdering af forudsætninger i IIASA's beregninger af emissioner 37

- 2.1 Beregningsmetoder 37
- 2.2 Emissioner 38
- 2.3 Energifremskrivning 41
- 2.4 Konklusion 42

3 Vurdering af metoden og forudsætningerne for IIASA's beregninger af scenarier 44

- 3.1 RAINS-metoden 44
- 3.2 Vurdering af IIASAs beregninger 45
- 3.3 Validering af PM_{2,5} koncentrationer fra RAINS med danske data 48
- 3.4 Konklusion 49
- 3.5 anbefalinger 50

4 Vurdering af status og reduktions-krav for PM_{2,5} i Danmark 51

- 4.1 Nuværende partikelniveau i Danmark 51
- 4.2 Vurdering af Danmarks muligheder for at overholde koncentrationsloft for PM_{2,5} på 25 µg/m³ i år 2010 54
- 4.3 20% reduktionsmål for PM_{2,5} i bybaggrund 54

5 Vurdering af omkostnings-beregningerne 57

- 5.1 Temastrategiens teknologiske tiltag 59
- 5.2 EU's omkostningsberegninger i forhold til tilsvarende danske 74
- 5.3 Omkostninger ved teknologiskift 78

6 Vurdering af fordelsberegninger 80

- 6.1 Oversigt over de centrale skøn 80
- 6.2 Sundhedsgevinsterne 81
- 6.3 Samfundsøkonomisk opgørelse af sundheds-gevinsterne 82
- 6.4 Revideret skøn for økonomiske fordele 84

Referencer 86

Forord

Nærværende rapport er udarbejdet på opfordring af en tværministeriel arbejdsgruppe med deltagelse af Miljøministeriet, Økonomi- og Erhvervsministeriet, Fødevareministeriet samt Finansministeriet. Formålet med arbejdet har været at skabe grundlag for etablering af en dansk holdning til EU-kommissionens forslag til temastrategi for luftforurening. Aftale om opgavens indhold blev indgået med arbejdsgruppen som desuden deltog i diskussioner af resultaterne. Arbejdsgruppen har på den måde medvirket til at øge fremstillingens klarhed. Vi vil gerne takke arbejdsgruppen for indsatsen.

En stor tak skal rettes til Lisbeth Strandmark (Miljøstyrelsen), der har ydet væsentlig faglig bistand til gennemførelsen af rapportens vurderinger af temastrategiens omkostninger. Også tak til Janusz Copala, Markus Amann og Zbigniew Klimont (IIASA) der beredvilligt har besvaret spørgsmål vedrørende RAINS-modellen og IIASA's beregninger.

Sammenfatning

Indledning

Kommissionen har fremlagt en tematisk strategi for luftforurening og udarbejdet en Impact Assessment, som bl.a. beskriver temastrategiens omkostninger og fordele for medlemsstaterne, såfremt den implementeres.

Temastrategien skal, når den er vedtaget, udmøntes dels i form af et revideret luftkvalitetsdirektiv, som sætter grænseværdier for luftforurening, og dels i form af et revideret NEC-direktiv, som fastlægger maksimale udslip af en række luftforureningskomponenter de såkaldte emissionslofter. Luftforureningskomponenterne omfatter svovldioxid (SO_2), kvælstofoxider (NO_x), flygtige organiske forbindelser (NMVOC), ammoniak (NH_3) og små partikler ($\text{PM}_{2,5}$).

Forslaget til temastrategi opstiller målsætninger for reduktion af de danske emissioner for disse komponenter, som skal være opfyldt i 2020. Disse reduktioner vil bidrage til sænkning af $\text{PM}_{2,5}$ koncentrationen både i Danmark og i nabolandene. Koncentrationen af $\text{PM}_{2,5}$ i luften er såvel primære partikler, som kommer fra udslip af partikler ved fx forbrændingsprocesser, som såkaldte sekundære partikler, der dannes ud fra emission af NO_x , SO_2 og NH_3 og fra frigivelse fra bl.a. vegetation (organiske partikler). En meget væsentlig forudsætning for reduktion i koncentrationen af $\text{PM}_{2,5}$ i luften er således, at der sker en reduktion i udslip af alle disse stoffer.

En foreløbig målsætning for $\text{PM}_{2,5}$ i luftkvalitetsdirektivet er, at der skal ske en reduktion af koncentrationen i bybaggrund med 20% fra 2010 til 2020. Samtidig foreslås i direktivforslaget at koncentrationen af $\text{PM}_{2,5}$ i 2010 ingen steder i landet må være over $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Temastrategien er udformet således, at gevinsten ved emissionsreduktionerne i form af **antal vundne leveår inden for hele EU opnås til de mindst mulige omkostninger**. Det har altså været styrende for udformningen af den endelige temastrategi, at antallet af mistede leveår som følge af luftforureningsrelaterede sygdomme skal reduceres mest muligt til færrest mulig omkostninger. Emissionsreduktionerne har ganske vist positive konsekvenser for såvel sundheden som økosystemernes kvalitet - udtrykt ved andelen af naturarealer, der belastes mere end deres tålegrænser - men det vurderes, at værdien af sundhedseffekterne langt overgår værdien af konsekvenserne for økosystemerne.

Det skitserede optimeringsproblem løses med den såkaldte RAINS-model, som er udviklet af IIASA. I modellens omkostningsmodul er der oplysninger om omkostningerne ved gennem en lang række tiltag at reducere emissionerne for hver af de betragtede luftforureningskomponenter i det enkelte EU-land. Omkostningerne er relateret til et teknologisk tiltag i relation til hver luftforureningskomponent inden for hvert EU-land.

Ved brug af RAINS-modellens luftspredningsmodul beskrives herefter, hvorledes ændringer i emissionerne af de enkelte luftforureningskomponenter fra de enkelte landområder (såkaldte gitterceller af 50x50 km) påvirker luftkvaliteten - herunder koncentrationen af $PM_{2,5}$ - i de enkelte gitterceller inden for hele EU-området. Ved hjælp af en såkaldt "dosis respons funktion", der angiver sammenhængen mellem koncentrationen af $PM_{2,5}$ og antallet af mistede leveår pr. person, beskrives den endelige konsekvens af emissionsændringen som en ændring i antallet af forventede leveår i det enkelte landområde inden for EU.

Ændringen i antal forventede leveår kan prissættes, hvorved værdien af gevinsten kan sammenholdes med omkostningerne ved at gennemføre de emissionsreducerende tiltag. Gennem en sådan cost benefit analyse har det været muligt at fastlægge et niveau for antallet af vundne leveår, hvis værdi med en vis margin overstiger de mindst mulige omkostninger ved at opnå gevinsten. Denne løsning er karakteriseret ved, at der skal gennemføres en række emissionsreduktioner, hvis størrelse varierer mellem såvel luftforureningskomponenter som lande - alt afhængigt af de enkelte landes udgangssituation, muligheder for emissionsreduktioner, og omkostningerne herved. Det er disse reduktioner, som ligger til grund for temastrategiens emissionslofter for luftforureningskomponenter og lande.

Antallet af vundne leveår og dermed værdien af gevinsten ved temastrategien vil tilsvarende variere mellem lande. Det er som fremhævet antallet af vundne leveår inden for **hele** EU-området, der er styrende for strategiens udformning, og som skal opnås så omkostningseffektivt som muligt.

Temastrategien indeholder fire scenarier for mulig udvikling i luftkvalitet, emissionsniveau, omkostninger og gevinster. Det mest ambitiøse scenarie beskriver den teknisk mulige forbedring af luftkvaliteten. De tre øvrige mellem 55 og 90 % af dette niveau. Kommissionen har desuden udvalgt et såkaldt policyscenarie.

Det er væsentligt at gøre sig klart, at de beregnede reduktionsbehov for Danmark er fastsat ud fra en basisfremskrivning for emissionerne, hvori der ikke indgår emissionsreduktioner, som vil blive gennemført for at opfylde NEC-direktivets emissionslofter i 2010. De tiltag, som IASA foreslår gennemført med henblik på at opfylde temastrategien, er således som udgangspunkt både relevante i relation til opfyldelse af NEC-direktivet og temastrategien. De omkostninger ved temastrategien, som IASA har beregnet, dækker altså reelt også over omkostninger ved at opfylde NEC-direktivet - jf. nedenfor. Dette indebærer, at man for at fastlægge hvilke initiativer der i henhold til temastrategien skal gennemføres i Danmark i perioden 2011 - 2020, først må fastlægge, hvilke tiltag, der skal gennemføres i perioden indtil 2010 for at opfylde NEC-direktivets emissionslofter. Kendskabet til omkostningerne ved at opfylde NEC-direktivet er forudsætningen for at opgøre meromkostningerne ved temastrategien.

Temastrategiens målsætninger om emissionsreduktioner for Danmark – udfordringer frem til 2020

DMU's vurdering af behovene for emissionsreduktioner frem til 2020 som følge af temastrategien er forskellig fra mankoerne i IIASA's opgørelse af reduktionskravene til Danmark i 2020. Forskellene skyldes i særdeleshed at IIASA benytter en anden energifremskrivning end den Energistyrelsen senest har udarbejdet for det fremtidige energiforbrug og dets sammensætning. Tabel A sammenstiller vurderingerne fra DMU i forhold til IIASA, hvor DMU's tal er baseret på den seneste energifremskrivning.

For NO_x vurderer DMU at udledningerne, især på grund af udviklingen i forsyningssektoren, vil være væsentligt højere i 2020 end beregnet af IIASA. Den seneste fremskrivning viser, at udledningen i 2020 vil være 117.000 tons og ikke 105.000 tons, som IIASA anfører. Siden udarbejdelsen af fremskrivningen er der imidlertid vedtaget nye tiltag i Folketinget, ligesom ændrede energipriser og CO₂-kvotepriser forventes at føre til lavere NO_x-udledning. Med et foreslået emissionsloft på 84.000 tons i 2020 betyder det, at reduktionskravet til Danmark er i størrelsesordenen 22-33.000 tons NO_x.

For ammoniak vurderer DMU, at udledningerne som resultat af allerede vedtagne tiltag og af den teknologiske udvikling i landbruget vil blive reduceret til 60.000 tons i 2020, således at det foreslåede emissionsloft for 2020 vil kunne overholdes uden yderligere tiltag.

For SO₂, NMVOC og PM_{2,5} har DMU ikke egne fremskrivninger for 2020. På basis af sammenligninger af fremskrivningerne til 2010 skønnes det imidlertid, at SO₂-mankoen på ca. 1.600 tons for 2020 er undervurderet af IIASA. Foruden forsyningssektoren bidrager forskelle i datagrundlaget for industrianlæg til denne difference.

For NMVOC udarbejdede DMU i 2002 en fremskrivning. Beregningerne er ikke ajourført, men adskiller sig ikke væsentligt fra IIASA's fremskrivning for 2010.

Det er nyt at foretage fremskrivninger af primære partikler, så det kan ikke vurderes om mankoen på 1.000 tons i 2020, som IIASA har beregnet, holder stik. DMU vil i samarbejde med Miljøstyrelsen senere i 2006 offentliggøre en fremskrivning til 2020 for alle de ovenfor nævnte luftforureningskomponenter.

Tabel A Fremskrevne emissioner (1000 tons) for 2010 og 2020.

År	SO ₂		NO _x		NH ₃ ¹	
	2010	2020	2010	2020	2010	2020
Totale emissioner, DMU	22 ²		148	117	68	60
Emissionsloft 2010	55		127		69	
IIASA's basisfremskrivning	19	13	151	105	69	78
Tematisk strategi 2020		12		84		62

¹Ammoniakemissionerne er udelukkende fra kilder, der er omfattet af NEC-direktivet (heri indgår ikke emissioner fra afgrøder). Landbruget er ansvarlig for 97% af den samlede ammoniakemission.

²Foreløbig

Fremskrivningerne hviler på en række nøgleforudsætninger angående den økonomiske udvikling, olieprisen og CO₂-kvotepriisen, samt udskiftningsstakten for køretøjer og anvendte energiteknologier i perioden frem til 2020. Det er derfor i sagens natur vanskeligt at fremkomme med helt præcise tal for de reelle reduktionskrav i forhold til temastrategiens emissionslofter. Ændringer i selve vidensgrundlaget vedrørende de tekniske emissionskoefficienter kan også ændre skønnet for emissionerne. I det følgende tages der imidlertid udgangspunkt i vurderingen i tabel A.

Temastrategiens målsætninger vedrørende partikel-koncentration

Med hensyn til effekten af luftkvalitetsdirektivets forslag til reduktion i PM_{2,5}-koncentrationen, er spørgsmålet dels hvad der skal til for at opnå en 20% reduktion i bybaggrund i 2020 i forhold til 2010-niveauet, dels om det generelle koncentrationsloft på 25 µg/m³ PM_{2,5} i årsmiddelværdi med virkning fra 2010 kan overholdes.

Bybaggrundskoncentrationen er domineret af fjerntransporterede partikler. Reduktion i Danmark på et så generelt niveau er derfor især bestemt af europæiske tiltag. Reduktionskravenes størrelse for de danske emissioner har begrænset betydning for bybaggrundskoncentrationen.

IIASA beregner i temastrategien, at det mindst vidtgående scenarie vil give en PM_{2,5} reduktion på 15% i bybaggrund i Danmark, mens et andet scenarie, som stiller større krav til emissionreduktioner, vil give en PM_{2,5} reduktion på 19%. Da det foreslåede policy-scenarie befinder sig imellem disse to scenarier indikerer det, at der kan være vanskeligheder med at nå 20% reduktion i medfør af policy-scenariet. Der er imidlertid tale om en forenklet beregningsprocedure, der kun giver et førstehånds-estimat.

DMU vurderer bl.a. på basis af beregninger efter EEA's (Det Europæiske Miljøagentur) semi-empiriske metode, at det vil være muligt at opnå en større reduktion i PM_{2,5} koncentrationen i Danmark, hvis EU's temastrategi udmøntes i et kommende revideret NEC-direktiv med de foreslåede emissionsreduktioner ifølge policyscenariet. Det

betyder, at de 20% vurderes at være indenfor rækkevidde. Vidensgrundlaget vedrørende kilderne og de atmosfærekemiske processer, som fører til dannelse af sekundære organiske partikler, er til stadighed under udvikling, hvilket også er baggrunden for, at 20% målsætningen først forudses omsat til retligt bindende krav, når data- og monitoringsgrundlaget i EU-25 er bedre udviklet.

Sekundære organiske partikler udgør skønsmæssigt ca. 20-40% af $PM_{2,5}$. Disse partikler er ikke medtaget i IIASAs beregninger med RAINS eller i andre atmosfæriske modeller. De vurderes af IIASA til at give et bidrag til årsmiddelværdien på ca. $5\mu\text{g}/\text{m}^3$ $PM_{2,5}$, men DMU vurderer, at bidraget kan være op til $8-9\mu\text{g}/\text{m}^3$. De kommer til at indgå i det mål for $PM_{2,5}$, hvorfra 20% reduktionen beregnes, idet de bliver målt sammen med de øvrige partikler. NEC-direktivet forventes også at have implikationer for denne fraktion på grund af reduktionerne af NMVOC.

RAINS-modellen er en anerkendt model, men det er en yderst krævende opgave at modellere effekterne af foreslåede tiltag og at give vurderinger af effekterne på baggrundskoncentrationen af $PM_{2,5}$. RAINS anvender på visse punkter forsimplede beregningsprocedurer. Dette kan være en mulig fejlkilde ved vurderingen af hvilken effekt emissions-reducerende tiltag i andre EU-lande vil have for $PM_{2,5}$ koncentrationen i Danmark.

Bidragene fra NO_x , ammoniak og NMVOC til $PM_{2,5}$ -koncentrationen i Danmark præges af ikke-lineære relationer på grund af de atmosfærekemiske processer. RAINS beskriver disse ikke-lineære processer ved ret simple lineære matematiske funktioner, som er forbundet med en ikke uvæsentlig usikkerhed. For SO_2 og primære partikler er det dog acceptabelt at antage linearitet mellem emission og receptor. På grund af de komplicerede processer, der er involveret i dannelsen af $PM_{2,5}$, er det ikke muligt at vurdere om RAINS giver en over- eller undervurdering af $PM_{2,5}$ koncentrationen.

Det bør derfor overvejes at lade det færdige forhandlingsresultat med hensyn til emissionsreduktioner for de enkelte lande genberegne med en state-of-the-art atmosfærisk kemi-transportmodel for at kontrollere validiteten af scenarierne. Beregningen har betydning for de emissionsreduktionskrav, som stilles til de enkelte medlemslande, og dermed for byrdefordelingen. Afvigelserne mellem den danske fremskrivning og RAINS-modellens basisfremskrivning vedrørende danske emissioner i 2020, taler ligeledes for en genberegning.

Svaghederne ved RAINS-modellen har både betydning for reduktionskrav og målsætninger for Danmark, og for om man tror på udformningen af den differentierede byrdefordeling.

Koncentrationsloftet på $25\mu\text{g}/\text{m}^3$ $PM_{2,5}$ i årsmiddelværdi er en ændring af det allerede vedtagne koncentrationsloft for PM_{10} til et tilsvarende loft baseret på $PM_{2,5}$ og med en længere tidsfrist. Koncentrationsloftet for PM_{10} har været overskredet de senere år på trafikerede gader i hovedstaden, men det vurderes at opfyldelse af dette krav er indenfor rækkevidde, såfremt emissionslofterne i NEC-direktivet overholdes.

Temastrategiens omkostninger

IIASA har anslået omkostningerne ved temastrategien på grundlag af de før nævnte mankoer, der som nævnt undervurderer reduktionsbehovet for NO_x og formentlig SO_2 , mens der overvurderes for ammoniak. Reduktionskravene for NMVOC og $\text{PM}_{2,5}$ er små og vægter ikke meget i analysen. Implikationen er imidlertid, at de tiltag som vil være nødvendige for at opfylde emissionslofterne for Danmark skal sammensættes på en anden måde end forudsat i IIASA's omkostningsberegning.

IIASA har anvendt en metode til opgørelse af omkostningerne som adskiller sig en hel del fra de metoder der sædvanligvis anvendes i Danmark. For det første vurderes der kun tekniske tiltag, som ændrer på emissionskoefficienterne på de kendte teknologier – mere strukturelle ændringer eller teknologiskift vurderes ikke trods temastrategiens langsigtede tidshorisont. For det andet svarer omkostningsberegningerne i nogen grad til det der i Danmark forstås som "budgetøkonomiske" omkostninger, hvor den metode der i de senere år er blevet almindelig i Danmark er en velfærdsøkonomisk omkostningsopgørelse. Den velfærdsøkonomiske beregning gennemføres i køberprisniveau (borgernes relative betalingsvillighed for varer og tjenester benyttes som indikator på deres relative marginale nytte heraf) og er bredere end den snævre budgetøkonomiske opgørelse, idet de afledte velfærdsrelaterede effekter såsom afledte miljøeffekter inddrages. IIASA inddrager ikke afledte miljøeffekter. Det er især iøjnefaldende at ledsage-emissionerne af CO_2 til den konventionelle luftforurening lades ude af beregningen. I de velfærdsøkonomiske beregninger i Danmark inddrages drivhusgasemissioner. Alt i alt betyder dette at IIASA's omkostningsopgørelse må vurderes som noget snæver, idet både visse typer af tiltag samt en række afledte omkostninger og afledte gevinster lades ude af betragtning.

Da mankoen i forhold til målsætningen for Danmark især er udpræget for NO_x er der en vis parallel mellem de tiltag, der er indregnet i temastrategien og de tiltag, der er studeret i forbindelse med Miljøstyrelsens foreløbige samfundsøkonomiske analyse af NO_x -tiltag til opfyldelse af NEC-direktivet. Disse foreløbige analyser er inddraget i arbejdet som det bedst mulige skøn på nuværende tidspunkt. Det er dog nødvendigt at være opmærksom på, at NO_x -rapportens tiltag er udformet med henblik på gennemførelse inden for den væsentligt kortere tidshorisont frem til 2010.

I kapitel 5 gives en oversigt over tiltag der vurderes at kunne bidrage til den påtænkte NO_x -reduktion. Da IIASA-analysen indeholder visse tiltag, som enten er medtaget i basisfremskrivningen eller ikke ved nærmere eftersyn er teknologisk relevante for Danmark, er det ikke alle de skitserede tiltag, der tæller i forhold til mankoen, men kun dem som er relevante i forhold til at lukke gabet mellem basisfremskrivningen og temastrategien. Det kan ikke udelukkes, at der kan identificeres andre tiltag, som er teknisk og økonomisk mere fordelagtige end de nævnte.

Gennemgangen af tiltagene i kapitel 5 viser en del afvigelser mellem IIASA's og NO_x-rapporten's skøn for såvel miljøeffekten af tiltagene som for de budgetøkonomiske omkostninger.

IIASA gennemgår tiltag, der for faste anlæg i forsynings- og industri-anlæg giver en samlet reduktion på 16.800 tons. Modsvarende identificerer NO_x-rapporten tiltag, der i denne sektor giver mulighed for en samlet reduktion på 5.400 tons.

For transportsektoren finder IIASA emissionsreduktioner til 4.600 tons NO_x, mens NO_x-rapporten har emissionsreduktioner til 11.500 tons.

IIASA's og NO_x-rapportens omkostningsangivelser kan ikke sammenlignes direkte. Der er dog valgt de budgetøkonomiske omkostninger fra Miljøstyrelsens samfundsøkonomiske analyse (og ikke de velfærdsøkonomiske), fordi de er mere sammenlignelige med IIASA's beregninger. Forskellen på de budgetøkonomiske omkostninger i henholdsvis IIASA's analyse og NO_x-rapporten afspejler mange forskellige forhold. IIASA anvender EU-priser, som kan adskille sig fra danske priser. Tidshorisonten i IIASA's analyse er længere, hvilket giver bedre mulighed for en levetidsbetinget udskiftning af kapitalgoder end i NO_x-analysen. IIASA anvender også en lavere diskonteringsrate end Finansministeriet anbefaler, nemlig 4% i stedet for 6%, hvilket trækker i retning af et lavere omkostningsskøn.

For at nå frem til et mere retvisende omkostningsbillede for temastrategien vil det være nødvendigt at gennemføre en velfærdsøkonomisk vurdering af tiltagene udover implementeringen af NEC-direktivet. Analysen skal gennemføres i forbrugerpriser, hvilket bl.a. indebærer at der tages højde for nettoafgiftsfaktoren. Der er også en række andre metodiske krav til den velfærdsøkonomiske analyse som kort er gennemgået i kapitel 5, og som mere detaljeret er forklaret bl.a. i Miljøministeriets samfundsøkonomiske vejledning. For at beregne de meromkostninger strategien påfører Danmark vil det være nødvendigt at gennemføre følgende analysetrin:

- Basisfremskrivning af emissioner for perioden 2006-2020 inden initiativer til opfyldelse af NEC-direktivet er gennemført
- Fastlæggelse af omkostningseffektive tiltag der skal gennemføres i perioden 2006-10 for at NEC-direktivet bliver opfyldt i 2010,
- Ny basisfremskrivning af emissioner hvori tiltagene til opfyldelse af NEC-direktivet er indarbejdet
- Fastsættelse af behovet for emissionsreduktioner i perioden frem til 2020 for at opfylde temastrategiens emissionslofter i dette år,
- Fastlæggelse af omkostningseffektive tiltag der fører til at temastrategiens emissionslofter i 2020 bliver opfyldt

På baggrund af den igangværende revision af fremskrivningen af NO_x-emissionerne og det forhold, at der ikke er taget stilling til hvilke tiltag, der gennemføres for at implementere NEC-direktivet, er der ikke aktuelt det fornødne grundlag for mere præcist at beregne meromkostningerne ved temastrategien.

På baggrund af IIASA's analyse og Miljøstyrelsens udkast til samfundsøkonomisk analyse af NO_x-reduktion skitserer tabel B hvilke tiltag, der kunne komme i betragtning til at opfylde de foreslåede reduktionslofter i 2020, efter at NEC-direktivets mål er nået.

Tabel B NO_x-reduktionstiltag det vil være muligt at anvende til at reducere de danske emissioner i 2010 og 2020 i forhold til den seneste danske basisfremskrivning

	Emission 2010 Ktons	Emission 2020 Ktons
Dansk basisfremskrivning	147.600	116.500
Nedjustering af emissioner	- 8.000	- 11.000
Tiltag NEC-direktiv		
Lav NO _x -brænder gas og gasolie (industri) ^{NO_x-rap}	-1.400	-1.400
Advanced reburning (kraftværker) ^{NO_x-rap}	- 600	- 600
Bedre styring på kraftværker ^{NO_x-rap}	-2.300	-2.300
Delvis boosting (kraftværker) ^{NO_x-rap}	- 900	- 900
Havvindmøller ^{NO_x-rap}	- 200	- 200
SCR (fiskefartøjer) ^{NO_x-rap}	- 4.800	- 4.800
Eftermontering SCR på tunge køretøjer ^{NO_x-rap}	- 2.200	
Basisfremskrivning efter NEC-tiltag	127.200	95.300
Tiltag temastrategi		
Heavy fuel, kul, biomasse, affald (industri) ^{IIASA}		- 1.100
Gas (bolig og handel) ^{IIASA}		- 500
SCR (industri) ^{IIASA}		- 2.000
Kontrol af procesemissioner ^{IIASA}		- 3.200
Stramning af euro-normer ^{IIASA}		- 4.600
Emission efter temastrategi		83.900

Note: De af IIASA beregnede omkostninger i EUR er omregnet til DKK med en valutakurs på 7,4. Omkostningerne er af IIASA opgjort i 2000-prisniveau, mens NO_x-rapportens omkostningsberegninger er i 2004-prisniveau. Oplysningerne fra Miljøstyrelsens endnu ikke offentliggjorte NO_x-rapport er anvendt som det bedst mulige skøn på nuværende tidspunkt. Miljøstyrelsen vil revidere NO_x-rapportens beregninger, når den nye energifremskrivning foreligger og den endelige rapport forventes at foreligge maj 2006.

Kilde: IIASA (2006) og Miljøstyrelsen (2006)

Kapitel 5 indeholder endvidere oversigter over de tiltag som IIASA har beregnet anvendt ved reduktion af SO₂ og NO_x.

De tiltag, som er angivet i tabel B frem til 2010 skønnes i den foreløbige analyse i NO_x-rapporten tilstrækkelige til at opfylde NEC-direktivet. Tiltagene skønnes i rapporten årligt at koste godt 300 mio. DKK opgjort efter budgetøkonomiske principper. Under forudsætning af at den nedjustering af emissionen af NO_x i 2020, som er angivet i tabel B, er korrekt, vil temastrategien kunne opfyldes ved yderligere at reducere emissionerne med 11.400 tons. Dette vil ifølge IIASA med de i tabellen angivne tiltag årligt koste ca. 240 mio. DKK opgjort efter budgetøkonomiske principper.

En mere kvalitativ opgørelse af omkostningerne i forhold til sektorer og stoffer giver mulighed for nogle indsigter. For det første ser det ud til, at omkostningerne ved strategien vil blive nogenlunde ligeligt fordelt på transport-sektoren og faste anlæg (forsyningsanlæg og indu-

stri), mens landbruget forventes at kunne indfri reduktionsloftet uden yderligere omkostningskrævende tiltag.

For det andet ser det ud til, at det især er NO_x -emissionerne, der vil kræve tiltag og i mindre omfang SO_2 . Der vil ikke være omkostninger knyttet til ammoniak. Endeligt er der NMVOC og primær- $\text{PM}_{2,5}$ for hvilke IIASA forudsætter en meget beskednen reduktionsindsats.

Omkostningerne skal overvejende afholdes af den private sektor, idet den offentlige sektor dog skal afholde merudgifter til køretøjer med nye euro-normer og evt. tilskud til vindenergi.

Gevinsterne ved strategien

Sundhedsgevinsterne ved strategien kan opgøres efter en tilnærmet velfærdsøkonomisk metode, hvor især den forventede effekt på undgåede for tidlige dødsfald men også på reduceret sygelighed giver mulighed for samfundsøkonomiske gevinster.

Opgørelsen af gevinsterne hviler på forventningerne om reduktion i $\text{PM}_{2,5}$ koncentrationen som følge af emissionsreduktionerne i Danmark og resten af EU, så derfor er opgørelsen afhængig af at det lykkes at reducere især $\text{PM}_{2,5}$ belastningen i bybaggrund. IIASA's tal viser, at der i Danmark som følge af temastrategien statistisk set forventes en reduktion i antallet af årlige for tidlige dødsfald på ca. 500 samt en reduktion i antallet af sygedage og dage med nedsat aktivitet på årligt 250.000. Samlet reduceres antallet af for tidlige dødsfald årligt fra 3200 til 2200 som følge af allerede vedtagne tiltag, NEC-direktivet samt strategiens tiltag. I opgørelsen er det antaget at alle partikeleksponeringer fra udledningerne bidrager.

Da temastrategien medfører reelle reduktionskrav til de nye medlemslande, som under NEC-direktivet har fået tildelt lofter, der stort set allerede er opfyldt, skønnes det at mere end halvdelen af de opgjorte gevinster kan tilskrives selve temastrategien.

Den samfundsøkonomiske opgørelse af gevinsterne kan ske efter forskellige metoder, alt efter om man værdisætter tabte leveår eller tabte statistiske liv, og hvor man kan anvende forskellige beregningspriser baseret på henholdsvis gennemsnits- og medianværdier fra betalingsviljeundersøgelserne. Herudover er der en række meget vigtige metodiske spørgsmål og overvejelser som er behandlet i kapitel 6.

IIASA's højeste skøn for sundhedsgevinsterne er baseret på værdier, der ikke anvendes af danske institutioner. Det mellemste skøn på 4,2-4,4 mia. DKK i årlige gevinster for Danmark i år 2020 er omtrentligt baseret på de beregningsværdier, som DMU hidtil har anvendt. Det mest forsigtige skøn på årligt 2,3 mia. DKK i sundhedsgevinster er omtrentligt baseret på de beregningsværdier, som COWI hidtil har anvendt for Transport- og Energiministeriet.

Gevinsterne omfatter tiltag - udover allerede planlagte og vedtagne tiltag - til opfyldelse af hele temastrategien. Det vil sige såvel opfyl-

delse af NEC-direktivet i 2010 som opfyldelse af strategiens målsætninger i 2020.

Som nævnt kan disse skøn for de samfundsøkonomiske gevinster ikke sammenlignes med de budgetøkonomiske omkostninger, idet en egentlig cost-benefit analyse forudsætter, at de velfærdsøkonomiske omkostninger beregnes.

Herudover er der gevinster for det naturlige miljø, habitater og vådområder, idet belastningen nedsættes markant. Disse gevinster har IIASA ikke forsøgt at værdisætte og DMU er derfor ikke gået nærmere ind i vurderingen.

Tabel C Benefit-cost ratioer for at gå fra basisfremskrivningen for 2020 til Kommissionens mindst vidtgående scenarie (scenarie A) for 2020. Tabellen viser hvor store gevinster et medlemsland opnår i forhold til sine omkostninger ved at implementere dette scenarie baseret på IIASAs opgørelse af omkostninger og gevinster.

Land i Europa	Benefit-cost ratio (VSL median)	Benefit-cost ratio (VOLY median)
Belgien	9.7	5.7
Danmark	5.3	2.9
Finland	1.0	0.6
Portugal	4.9	2.7
Sverige	3.8	2.3
Tjekkiet	15.1	8.5
Tyskland	17.7	9.6
UK	11.4	7.4
Østrig	8.8	5.2
EU-25	10.8	6.3

Konklusion

Vurdering af temastrategiens emissionsmålsætninger

For NO_x vurderer DMU, at reduktionskravet for at overholde det foreslåede emissionsloft vil være væsentligt højere i 2020 end beregnet af IIASA. Reduktionskravet til Danmark forventes at være i størrelsesorden 22-33.000 tons NO_x .

For ammoniak vurderer DMU, at udledningerne som resultat af allerede vedtagne tiltag og af den teknologiske udvikling i landbruget vil blive reduceret til 60.000 tons, således at det foreslåede emissionsloft for 2020 vil kunne overholdes uden yderligere tiltag.

For SO_2 , NMVOC og $\text{PM}_{2.5}$ har DMU ikke egne fremskrivninger for 2020. Det skønnes imidlertid, at SO_2 -mankoen, som IIASA ansætter til ca. 1.600 tons for 2020, er undervurderet. DMU udarbejdede i 2002 en fremskrivning for NMVOC. Beregningerne er ikke ajourført, men adskiller sig ikke væsentligt fra IIASA's fremskrivning for 2010. DMU har således ikke noget grundlag for at sige, at IIASA's fremskrivning for NMVOC ikke er korrekt. Det er nyt at foretage fremskrivninger af

primære partikler, så det kan ikke vurderes om den af IIASA opgjorte manko på 1.000 tons i 2020 er korrekt. DMU vil senere i 2006 offentliggøre en fremskrivning for alle de ovenfor nævnte luftforureningskomponenter.

Vurdering af temastrategiens luftkvalitetsmålsætninger

DMU vurderer, at opnåelse af en 20% reduktion i $PM_{2,5}$ koncentrationen i bybaggrund er indenfor rækkevidde i Danmark, hvis EU's temastrategi udmøntes i et kommende revideret NEC-direktiv med de foreslåede emissionslofter. Vidensgrundlaget for at vurdere dette er imidlertid under stadig udvikling, hvilket også er baggrunden for at 20% målsætningen først forudses omsat til retligt bindende krav når data- og monitoringsgrundlaget i EU-25 er bedre udviklet.

Koncentrationsloftet for $PM_{2,5}$ på $25\mu\text{g}/\text{m}^3$ i årsmiddelværdi er en ændring af det allerede vedtagne koncentrationsloft for PM_{10} til et tilsvarende loft baseret på $PM_{2,5}$ og med en længere tidsfrist. Det vurderes, at opfyldelse af dette krav er indenfor rækkevidde, såfremt emissionslofterne i NEC-direktivet overholdes.

Vurdering af IIASAs omkostningsskøn ved opfyldelse af temastrategien

En kvalitativ vurdering af omkostningerne i forhold til sektorer og luftforureningskomponenter giver mulighed for nogle indsigter. For det første ser det ud til, at omkostningerne ved strategien vil blive nogenlunde ligeligt fordelt på transport-sektoren og faste anlæg (forsyningsanlæg og industri), mens landbruget forventes at kunne indfri reduktionsloftet uden yderligere omkostningskrævende tiltag.

For det andet ser det ud til, at det især er NO_x -emissionerne, der vil kræve tiltag og i mindre omfang SO_2 . Der vil ikke være omkostninger knyttet til ammoniak. Endeligt er der NMVOC og primær- $PM_{2,5}$ for hvilke IIASA forudsætter en meget beskednen reduktionsindsats.

Omkostningerne skal overvejende afholdes af den private sektor, idet den offentlige sektor dog skal afholde merudgifter til køretøjer med nye euro-normer og evt. tilskud til vindenergi.

Skønnene for omkostninger og gevinster i temastrategiens Impact Assessment indeholder både opfyldelse af det allerede vedtagne NEC-direktiv og af de nye målsætninger i medfør af temastrategien.

De største omkostninger forventes, at knytte sig til reduktion af NO_x -emissionen, i overensstemmelse med at det er her den største manko optræder. De tiltag, som skønnes tilstrækkelige til at opfylde NEC-direktivet frem til 2010 skønnes i en foreløbig analyse udarbejdet af Miljøstyrelsen, som er det bedste grundlag på nuværende tidspunkt, årligt at koste godt 300 mio. DKK opgjort efter budgetøkonomiske principper.

Under forudsætning af at den nedjustering af emissionen af NO_x i 2020, som er angivet i tabel B, er korrekt, vil temastrategien kunne opfyldes ved yderligere at reducere emissionerne med 11.400 tons. Dette vil ifølge IIASA med de i tabellen angivne tiltag årligt koste ca. 240 mio DKK opgjort efter budgetøkonomiske principper.

Den samlede årlige udgift, som fremkommer delvist baseret på IIASA's omkostningsskøn, adskiller sig ikke afgørende fra IIASA's samlede omkostningsskøn for Danmark på ca. 600 mio. DKK.

Et mere retvisende omkostningsskøn bør imidlertid udarbejdes ved at foretage vurderingerne og beregningerne efter velfærdsøkonomiske principper.

Vurdering af IIASAs skøn over gevinster

IIASA's højeste skøn for sundhedsgevinsterne er baseret på værdier, der ikke anvendes af danske institutioner. Det mellemste skøn på 4,2-4,4 mia. DKK i årlige gevinster for Danmark i år 2020 er omtrentligt baseret på de beregningsværdier, som DMU hidtil har anvendt. Det mest forsigtige skøn på årligt 2,3 mia. DKK i sundhedsgevinster er omtrentligt baseret på de beregningsværdier, som COWI har anvendt for Transport- og Energiministeriet.

Ovennævnte skøn for gevinsterne omfatter såvel de gevinster man opnår ved fuld implementering af det allerede vedtagne NEC-direktiv, som de ekstra tiltag der skal til, for at opfylde de nye målsætninger som er foreslået i medfør af temastrategien. Det er ikke muligt på det foreliggende grundlag, at adskille gevinsten ved implementering af NEC-direktivet fra den samlede gevinst.

Disse skøn for de samfundsøkonomiske gevinster er ikke direkte sammenlignelige med de budgetøkonomiske omkostninger. En egentlig cost-benefit analyse forudsætter, at de velfærdsøkonomiske omkostninger beregnes.

Usikkerheder på forudsætningerne for temastrategien

Usikkerhederne på fremskrivningerne og den atmosfæriske modellering tilsiger, at IIASA's beregninger efterprøves med henblik på at undersøge om de af Kommissionen foreslåede emissionsløfter og den tilhørende byrdefordeling mellem landene giver den forventede fordeling af omkostninger og gevinster. Her bør det desuden sikres, at der udføres sammenlignelige beregninger af omkostninger og gevinster.

Summary

Introduction

The Commission has presented a thematic strategy on air pollution and has completed an Impact Assessment, which describes the costs and benefits for the member states.

The thematic strategy is to result in a revised air quality directive as well as a revised NEC-directive that determines maximum emissions for a number of air pollution components, the so-called emission ceilings. The air pollution components include sulphur dioxide (SO₂), nitrogen oxide (NO_x), volatile organic compounds (NMVOC), ammonia (NH₃) and particulate matters (PM_{2.5}).

The thematic strategy draws up targets for reductions of the Danish emissions for these components, which have to be met by 2020. These reductions will contribute to a lowering of PM_{2.5} concentrations both in Denmark and in neighbouring countries. The concentration of PM_{2.5} in the air includes both primary particles that come from emission of particles from e.g. incineration processes, and so-called secondary particles that are generated from emissions of NO_x, SO₂ and NH₃, and from releases from e.g. vegetation. A very large part of the secondary particles in the air in Denmark stems from emissions of these components in the rest of Europe. A very important condition for a reduction in the concentration of PM_{2.5} in the air is thus a reduction of the emissions of these components in all of Europe.

A preliminary target for PM_{2.5} in the air quality directive is a 20% reduction of the concentration in urban background from 2010 to 2020. At the same time the directive suggests that the concentration of PM_{2.5} must not exceed 25 µg/m³ in 2010.

The thematic strategy is framed in such a way that the benefit of emission reductions expressed by **number of gained years within all of EU is obtained at the least possible costs**. It has thus been a governing factor for the elaboration of the final thematic strategy that the number of lost years - as a consequence of air pollution related diseases - must be reduced as much as possible at the least possible costs. The emission reductions will, true enough, have positive consequences regarding health as well as the quality of the eco-systems - expressed by the share of natural areas where critical loads are exceeded - but it is estimated that the value of the health effects by far surpasses the value of the consequences on the eco-systems.

The outlined optimization problem is solved with the RAINS-model developed by IIASA. The cost module of the model contains information about the costs of a range of measures to reduce the emissions for each of the contemplated air pollution components in the individual EU country. The costs are linked to a technological approach in relation to each air pollution component within the individual EU country.

It is subsequently described, using the air dispersion module of the RAINS model, how changes in the emissions of each air pollution component from each area (the so-called 50x50 km grids) impact the air quality - including the concentration of PM_{2.5} - in the individual grid cells within the entire EU. By means of a dose-response function that indicates the relationship between the concentration of PM_{2.5} and the number of life years lost per person, the final consequence of the emission change is described as a change in the number of expected life years in the individual areas within the EU.

The change in the number of expected life years can be valued so that the benefit can be compared with the costs of implementing the emission reducing measures. Such a cost-benefit analysis made it possible to determine a level for the number of gained life years whose value, with a certain margin, exceeds the minimal costs of achieving the benefit. This solution is characterised by the fact that a certain amount of emission reductions should be implemented. The actual amount varies between air pollution components and countries, depending on the initial position of the individual countries, the possibilities for emission reductions, and the costs of these. These reductions are the basis for determination of the emission ceilings for air pollution components for each country as presented in the thematic strategy.

The number of gained life years and from that, the value of the benefits of the thematic strategy will also vary between countries. As emphasized it is the number of gained life years within the **entire** EU that governs the framing of the strategy and which has to be obtained as cost-effectively as possible.

The thematic strategy includes four scenarios for possible development of air quality, emission level, costs and benefits. The most ambitious scenario describes the technical improvement of air quality. The other three scenarios are placed between 55 and 90 percent of this level. Moreover, the Commission has selected a so-called policy scenario.

It is impotent to realise that the calculated reduction requirements for Denmark are determined from a basic projection for the emissions in which emission reductions that will be carried out to meet the emission ceiling of the NEC-directive in 2010 are not included. The measures that IIASA suggests accomplished regarding fulfilment of the thematic strategy are thus, as a starting point relevant both in relation to the fulfilment of the NEC-directive and in relation to the thematic strategy itself. The costs assessed by IIASA regarding the thematic strategy actually also cover the costs of fulfilling the NEC-directive, c.f. below. This implies that in order to determine which initiatives to carry out in Denmark during the period 2011 – 2020 (according to the thematic strategy) it is necessary to determine which measures to carry out before 2010 to fulfil the emission ceilings of the NEC-directive. Knowledge about the costs of fulfilling the NEC directive is a prerequisite for determining the additional costs of the thematic strategy.

Targets concerning emission reductions for Denmark

NERI's estimation of the required emission reductions up until 2020 as a consequence of the thematic strategy differs from the deficiencies in the IIASA statement of the reduction demands for Denmark in 2020. The differences are in particular due to IIASA using a different energy projection for the future energy consumption and its composition. Table A compares the NERI estimates with those of IIASA, with the NERI figures being based on the most recent energy projection.

NERI estimates that due to the development in the supply sector the emissions of NO_x will be considerably higher in 2020 than estimated by IIASA. The latest projection from NERI shows that the emission in 2020 will be 117,000 tonnes and not the 105,000 tonnes stated by IIASA. However, since the elaboration of the projection new measures reducing NO_x emission have been passed in the Danish Parliament and changes in prices on energy and CO_2 quotas are expected to lead to a lower NO_x emission. This means that with an emission ceiling at 84,000 tonnes the reduction requirement for Denmark is in the order of 22-33,000 tonnes of NO_x .

For ammonia NERI estimates that the emission as a result of already agreed measures and the technological development in agriculture will be reduced by 60,000 tonnes, which means that Denmark is able to comply with the suggested emission ceiling for 2020 without further initiatives.

NERI has not made its own projections for SO_2 , NMVOC and $\text{PM}_{2.5}$ for 2020. On the basis of comparisons with projections up until 2010 it is, however, estimated that the SO_2 deficiency of approx. 1,600 tonnes for 2020 is underestimated by IIASA. Besides the supply sector differences in the data basis for industrial plants contribute to this discrepancy.

For NMVOC NERI worked out a projection in 2002. The calculations have not been up-dated, but do not differ substantially from IIASA's projections for 2010.

As it is new to perform projections of primary particles it cannot be assessed whether the shortfall of 1,000 tonnes in 2020 estimated by IIASA will prove to be correct. Later this year (2006) NERI will in collaboration with the Danish EPA publish a projection for all of the above mentioned air pollution components.

Table A Projected emissions (1,000 tonnes) for 2010 and 2020

Year	SO ₂		NO _x		NH ₃ ¹	
	2010	2020	2010	2020	2010	2020
Total emissions, NERI	222		148	117	68	60
Emission ceiling 2010	55		127		69	
Basic projection IIASA	19	13	151	105	69	78
Thematic strategy 2020		12		84		62

¹The ammonia emissions cover exclusively sources included in the NEC-directive (not including emissions from crops). Agriculture is responsible for 97% of the total ammonia emission.

²Preliminary

The projections are based on a number of key assumptions regarding the economic development, oil prices and the CO₂ quota price as well as the rate of replacement of the vehicle fleet and applied energy technologies in the period up until 2020. Thus it is naturally difficult to produce exact numbers on the actual reduction demands in relation to the emission ceilings of the thematic strategy. The changes in the basic knowledge regarding the technical emission coefficients could also change emission estimates. However, in the following the assessment in Table A is a starting point.

Targets concerning particle concentration

Regarding the effect of the reduction in the PM_{2.5} concentration (air quality) in the air quality directive the question is partly what it will take to achieve a 20% reduction in urban background in 2020 in relation to the 2010-level, and partly whether the general concentration ceiling at 25µg/m³ PM_{2.5} as annual mean value and taking effect as from 2010, can be complied with.

The urban background concentrations are dominated by long-range transboundary air pollution. Reduction in Denmark at such a general level is therefore in particular governed by European initiatives. The size of the reduction requirements for the Danish emissions has a limited effect on the urban background concentration in Denmark.

In the thematic strategy IIASA estimates that the least extensive scenario will result in a PM_{2.5} reduction of 15% in urban background in Denmark, while another scenario with higher demands on the emission reductions results in a 19% PM_{2.5} reduction. Being between these two scenarios the suggested policy scenario indicates that it may be difficult to reach a 20% reduction by virtue of the policy scenario. However, the applied method is a simplified assessment procedure, which only offers a first-hand estimate.

On the basis of among others estimates from EEA's (European Environmental Agency) semi-empirical method NERI estimates that a larger relative reduction in the PM_{2.5} concentration will be achievable in Denmark provided that the EU thematic strategy results in a future

revised NEC-directive with the suggested emission reductions of the policy scenario. This means that the assessment concludes that the 20% reduction is within reach. The basic knowledge regarding the sources and the atmospheric chemical processes that leads to formation of secondary organic particles is still under development, which is also the reason why the 20% target is not expected to be realized into legally binding requirements until the data and monitoring basis of EU-25 is improved.

As a rough estimate secondary organic particles constitute approx. 20-40% of $PM_{2.5}$. These particles are not included in IIASA's RAINS estimates or in other atmospheric models. The particles are estimated to contribute with an annual mean value of approx. $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ $PM_{2.5}$ by IIASA; however, NERI estimates that the contribution could be up to $8-9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ $PM_{2.5}$. They will be included in the $PM_{2.5}$ target from which the 20% reduction is being calculated since these particles will be measured together with the other types of particles. The NEC-directive is also expected to have implications for this fraction because of the NMVOC reductions.

The RAINS model is an acknowledge model but it is an extremely demanding task to model the effects of the suggested measures and to arrive at assessments of the effects on the background concentration of $PM_{2.5}$. In certain respects RAINS uses simplified calculation procedures. This may be a possible source of error when estimating which effect emission reducing measures in other EU countries would have on the $PM_{2.5}$ concentration in Denmark.

The contributions from NO_x , ammonia and NMVOC to the $PM_{2.5}$ concentrations in Denmark are characterized by non-linear relations due to the atmospheric chemical processes. RAINS describes these non-linear processes by rather simple linear mathematical functions that are associated with non-negligible uncertainty. For SO_2 and primary particles it is acceptable to presume linearity between emission and receptor. Because of the complicated processes involved in the formation of $PM_{2.5}$ it is not possible to estimate whether the simplified methodology of RAINS provides an overestimation or an underestimation of the $PM_{2.5}$ concentration.

Therefore, it should be considered to re-calculate the finally negotiated result regarding the emission reductions for the individual countries with a state-of-the-art atmospheric chemistry transport model simulation to control the validity of the scenarios. The calculations are of importance to the emission reduction requirements posed at the individual member countries and thus for the burden sharing. The deviations between the Danish projection and the basic projection of the RAINS model regarding Danish emissions in 2020 also suggest a re-calculation.

The weaknesses of the RAINS model are of importance to both the reduction requirements and the targets for Denmark and to whether the framing of the differentiated burden sharing is credible.

The concentration ceiling of $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ for $PM_{2.5}$ in annual mean value is a change of the already approved concentration ceiling for PM_{10} to a corresponding ceiling based on $PM_{2.5}$ and with a longer time-limit.

In recent years the existing concentration ceiling for PM₁₀ has been exceeded in crowded streets in the capital, but it is estimated that the fulfilment of this requirement is within reach provided that the emission ceilings in the existing NEC-directive are being met.

Costs associated with the thematic strategy

IIASA has estimated the costs of the thematic strategy on the basis of the previously mentioned gaps, which underestimates the reduction demand of NO_x and presumably SO₂, while ammonia is over estimated. The reduction requirements for NMVOC and PM_{2.5} are small and do not count much in the analysis. The implication is, however, that the measures that would be necessary to meet the emission ceilings for Denmark must be composed differently than predicted in the IIASA calculation of costs.

IIASA has used a method to assess the costs, which is quite different from the usually used methods in Denmark. Firstly, only technical measures that change the emission coefficients of the known technologies are included; more structural changes or technological shifts are not assessed despite the long-termed time horizon of the thematic strategy. Secondly, to some extent the calculation of costs corresponds to what is known as financial economic costs where the method, which has become common in Denmark, is a welfare economic cost analysis. The welfare economic analysis is carried out at consumer price level and is broader than the more narrow financial economic analysis as the derived welfare related effects such as derived environmental effects are included. IIASA does not include derived effects. It is particularly conspicuous that the accompanying emissions of CO₂ to the conventional air pollution are left out of the calculation. The effects on greenhouse gas emissions are included in the welfare economic analyses in Denmark. All in all this means that the IIASA cost analysis must be assessed as being somewhat narrow as certain types of measures as well as a number of derived costs and benefits are being disregarded.

As the gap in relation to the target for Denmark is especially pronounced for NO_x a certain parallel exists between the measures included in the thematic strategy and the measures examined in connection with the preliminary socio-economic analysis of NO_x measures to meet the NEC-directive, performed by the Danish Environmental Protection Agency (Danish EPA – the NO_x report). These preliminary analyses are included in the work as the best possible estimate at present. It is, however, necessary to keep in mind that the measures of the NO_x report are elaborated with the intention of being carried out within the substantially shorter time horizon up until 2010.

Chapter 5 offers an overview of measures that are evaluated as able to contribute to the intended NO_x reduction. As the IIASA analysis contains certain measures that are either included in the basic projection or that are not - on a closer view - technologically relevant to Denmark, it is not all of the outlined measures that count in relation to the gap, but only those that are relevant with respect to closing the

gap between the basic projection and the thematic strategy. It cannot be excluded that other measures that are technically and economically more advantageous than the mentioned may be identified.

The examination of the measures reveals a number of deviations between the IIASA report and the NO_x report concerning the estimates of both the environmental effect of the measures and the financial economic costs.

IIASA examines measures that for stationary plants in supply and industrial plants result in a total reduction of 16,800 tonnes. Correspondingly the NO_x report identifies the measures that in this sector produce the possibility of a total reduction of 5,400 tonnes.

The IIASA report has emission reductions of 4,600 tonnes NO_x for the transport sector while the NO_x report has emission reductions of 11,500 tonnes.

The cost statements of the IIASA and the NO_x report cannot be compared directly. However, the financial economic costs from the analysis from Danish EPA are more comparable with the IIASA calculations than the welfare economic costs and are therefore chosen for further analysis. The difference in the financial economic costs in the IIASA analysis and the NO_x report, respectively, reflects many different aspects. IIASA uses EU prices, which may be different from Danish prices. The time horizon in the IIASA analysis is longer, which results in better possibilities for a life conditional change of capital goods than in the NO_x analysis. IIASA also uses a lower discount rate than the recommendations of Ministry of Finance in Denmark, namely 4% instead of 6%, which tends towards a lower estimate of costs.

In order to reach a more correct picture of the costs it would be necessary to carry out a welfare economic estimation of the measures beyond the NEC-directive. The estimation must be carried out in consumer prices, which will include taking the net tax factor into account. A number of other methodological demands to the welfare economic analysis, which was shortly analysed in Chapter 5 and which is explained more detailed in (among other) the socio-economic guide lines of the Ministry of Environment. In order to calculate the additional costs the strategy inflicts upon Denmark it will be necessary to carry out the following analysing steps:

- Basic projection of emissions from 2006 to 2020 before the initiatives to the fulfilment of the NEC-directive is being carried out.
- Determination of cost effective measures to be carried out during the period 2006-2010 in order for the NEC-directive to be fulfilled by 2010.
- New basic projection of emissions in which the measures to the fulfilment of the NEC-directive have been incorporated.
- Determination of the need for emission reductions up until 2020 in order to meet the emission ceilings of the thematic strategy.
- Determination of cost effective measures that lead to the fulfilment of the 2020 emission ceiling of the thematic strategy.

On the basis of the present revision of the projection of the NO_x emissions and the fact that no decision has been made as to which measures to use to implement the NEC-directive, there is not at present the necessary basis for a more precise calculation of the additional costs of the thematic strategy.

On the basis of the IIASA analysis and the Danish EPA draft of the socio-economic analysis of the NO_x reduction Table B outlines which measures to be considered to meet of the suggested emission ceilings in 2020 after the target of the existing NEC-directive has been meet.

Table B NO_x reduction measures, which will be possible to use in order to reduce the Danish emissions in 2010 and 2020 in relation to the most recent Danish basic projection.

	Emission 2010 Ktonnes	Emission 2020 Ktonnes
Danish basic projection	147.600	116.500
Adjustment of emissions	- 8.000	- 11.000
NEC-directive measures		
Low NO _x burner gas and gas oil (industry) ^{NOx-rep}	-1.400	-1.400
Advance reburning (power plants) ^{NOx-rep}	- 600	- 600
Better management of power plants ^{NOx-rep}	-2.300	-2.300
Partial boosting (power plants) ^{NOx-rep}	- 900	- 900
Sea wind mills ^{NOx-rep}	- 200	- 200
SCR (fishings vessels) ^{NOx-rep}	- 4.800	- 4.800
Retrofitting SCR on heavy vehicles ^{NOx-rep}	- 2.200	
Basic projection incl. NEC measures	127.200	95.300
Measures thematic strategy		
Heavy fuel, coal, bio mass, waste (industry) ^{IIASA}		- 1.100
Gas (dwelling and trade) ^{IIASA}		- 500
SCR (industry) ^{IIASA}		- 2.000
Control of process emissions ^{IIASA}		- 3.200
Tightening of Euro standards ^{IIASA}		- 4.600
Emission incl. thematic strategy		83.900

Note: The costs estimated in EUR by IIASA are re-calculated to DKK with an ex-change rate of 7.4. IIASA states the costs in 2000 price level while cost calculations of the NO_x report are stated in 2004 price level. Information from the not published NO_x report from the Danish EPA is used as the best possible estimate at present. The calculations of the NO_x report will be revised by the Danish EPA as soon as the next energy projection is available. The final report is expected in May 2006. Source: IIASA (2006) and Miljøstyrelsen (Danish EPA) (2006).

Furthermore, Chapter 5 contains overviews of the applied measures calculated by IIASA when reducing SO₂ and NO_x.

The measures stated in Table B up until 2010 is in the preliminary analysis in the NO_x report estimated to be sufficient to meet the NEC-directive. In the report the measures – computed from financial economic principles - are estimated to cost well above 300 million DKK annually. Assuming that the downward adjustment of the NO_x emission in 2020 stated in Table B is correct the thematic strategy will be fulfilled by further reducing the emissions by 11,400 tonnes. With the measures stated in the table this will according to IIASA cost approx. 240 million DKK calculated using financial economic principles.

A more qualitative inventory of the costs in relation to sectors and pollutants offers the possibility of some insights. First of all it seems like the costs of the strategy will be evenly distributed between the transport sector and the stationary plants (supply plants and industry) while agriculture is expected to meet the reduction ceiling without further cost demanding measures.

Secondly, it looks as if especially the NO_x emissions will request measures and to a lesser degree SO₂. No costs are connected with ammonia. Finally, IIASA implies a very modest reduction effort for the NMVOC and primary PM_{2,5}.

The costs are primarily to be accounted for by the private sector; however, the public sector is to bear the additional expenses for vehicles with new EU norms and possible subsidies for wind energy.

Benefits of the strategy

The health benefits from the strategy can be assessed after an approached welfare economic method, by which especially the expected effect on avoided premature deaths but also on reduced infirmity provides the opportunity for socio-economic benefits.

The assessment of the benefits rest on the expectations of a reduction in the PM_{2,5} concentration as a consequence of the emission reductions in Denmark and in the rest of EU, consequently the assessment depends on a successful reduction of especially the PM_{2,5} concentration in urban background. The IIASA figures show that Denmark, as a result of the thematic strategy, statistically expects a reduction in the number of annual premature deaths of about 500 as well as a reduction in the number of days lost due to sickness and days with reduced working effort of 250,000 annually. In total the number of premature deaths is reduced annually from 3,200 to 2,200 as a result of already passed measures, the NEC-directive as well as the initiatives of the strategy. The assessments assume that all particle exposures from the emissions contribute.

The socio-economic inventory of the benefits can be achieved by different methods according to whether lost life years or lost statistical life are valued. Further, different externality estimates will be obtained based on average and median values, respectively, from the willingness-to-pay-studies. A number of very important methodological issues and considerations are further discussed in Chapter 6.

The highest IIASA estimate of health benefits is based on values that are not used by Danish institutions. The medium estimate of 4.2 – 4.4 billion DKK in annual benefits for Denmark in 2020 is obtained by using externality estimates comparable with the figures used by NERI hitherto. The most precautious estimate at 2.3 billion annually in health benefits is obtained using the externality estimates comparable with the figures used by COWI for the Danish Ministry of Transport and Energy.

The benefits include measures – besides already planned and agreed measures – for the fulfilment of the entire thematic strategy. That is to

say fulfilment of the NEC-directive in 2010 as well as fulfilment of the targets of the strategy in 2020. As mentioned, these estimates of the socio-economic benefits cannot be compared with the financial economic costs, since a cost-benefit analysis presupposes that the welfare economic costs are calculated.

In addition to this there are benefits for the natural environment, habitats and wetlands as the pollution load is reduced markedly. These benefits have not been attempted valued by IIASA and therefore NERI has not gone further into the estimation of the benefits in this report.

Table C Benefit-cost ratios going from the basic projection for 2020 to the least extensive scenario (scenario A) for 2020. The table shows the size of the benefits a member country can achieve in relation to its costs of implementing this scenario based on the IIASA assessment of costs and benefits.

European Country	Benefit-cost ratio (VSL median)	Benefit-cost ratio (VOLY median)
Belgium	9.7	5.7
Denmark	5.3	2.9
Finland	1.0	0.6
Portugal	4.9	2.7
Sweden	3.8	2.3
Czech Republic	15.1	8.5
Germany	17.7	9.6
United Kingdom	11.4	7.4
Austria	8.8	5.2
EU-25	10.8	6.3

Conclusion

Evaluation of the emission targets of the thematic strategy

NERI estimates that the reduction requirement for NO_x to meet the suggested emission ceiling will be substantially higher in 2020 than calculated by IIASA. The reduction requirement for Denmark is expected to be in the order of 22-33,000 tonnes of NO_x.

NERI estimates that for ammonia - as a result of already agreed measures and the technological development within agriculture, the emissions will be reduced to 60,000 tonnes, thus complying with the suggested emission ceiling for 2020 without any further steps.

For SO₂, NMVOC and primary PM_{2.5} NERI has no projections for 2020. It is, however, estimated that the SO₂ gap, which for 2020 is valued by IIASA to approx. 1,600 tonnes is underestimated. NERI worked out a projection in 2002 for NMVOC. The calculations have not been updated but do not differ very much from the IIASA projection for 2010. Thus NERI cannot claim that the IIASA projection for NMVOC is not correct. It is new to make projections of primary particles, therefore it cannot be estimated whether IIASA's assessed

shortfall of 1,000 tonnes in 2020 is correct. NERI will publish a projection for all of the above mentioned air pollution components later this year (2006).

Evaluation of the air quality targets of the thematic strategy

NERI estimates that the achievement of a 20% PM_{2.5} reduction of the concentration in urban background is within reach for Denmark should the EU thematic strategy result in a future revised NEC-directive with the suggested emission ceilings for the member countries included. The knowledge foundation to estimate this is, however, still under development, which is also the reason why the 20% target will not be converted into legally binding demands until the EU-25 data and monitoring basis has been improved.

The concentration ceiling of 25µg/m³ for PM_{2.5} in annual mean value is a change of the already agreed concentration ceiling for PM₁₀ to a corresponding ceiling based on PM_{2.5} and with a longer respite. It is estimated that the fulfilment of this demand is within reach provided that the emission ceilings in the NEC-directive are met.

Assessment of the IIASA cost estimate for Denmark's fulfilment of the thematic strategy

A qualitative estimation of the costs in relation to sectors and air pollution components presents the opportunity for some insights. First of all it seems that the cost of the strategy will be somewhat equally distributed between the transport sector and stationary plants (supply plants and industry) while agriculture is expected to meet the emission ceiling without further cost demanding initiatives.

Secondly, it seems that especially the NO_x emissions will require measures and to a lesser extend SO₂. No costs are connected with ammonia. Finally, IIASA assumes a very modest reduction effort for NMVOC and primary PM_{2.5}.

The costs are primarily to be accounted for by the private sector; however, the public sector is to bear the additional expenses for vehicles with new EU norms and possible subsidies for wind energy.

The estimates of the costs and benefits in the Impact Assessment of the thematic strategy include the fulfilment of the already agreed NEC-directive as well as the new targets following from the thematic strategy.

The highest costs are expected to be those connected with the reduction of the NO_x emission, in accordance with the fact that it is here the largest gap is found. The measures that are assumed sufficient to fulfil the NEC-directive up until 2010 are estimated based on a preliminary analysis elaborated by Danish EPA. It is regarded as the best possible knowledge at present. The preliminary report that assesses the measures by financial economic principles estimates the measures to cost well over 300 million DKK.

Presuming that the adjustment of the NO_x emission in 2020 (see Table B) is correct the thematic strategy will be met with a further reduction of the emissions by 11,400 tonnes. This will, according to IIASA, and

with the measures outlined in the table, amount to approx. 240 million DKK calculated by financial economic principles.

The total annual costs, which are partly based on the IIASA cost estimate do not differ decisively from the total IIASA cost estimate of 600 million DKK for Denmark.

However, a more true cost estimate ought to be worked out by performing the estimates and the calculations using welfare economic principles.

Evaluation of the IIASA benefit assessment for Denmark

The highest IIASA estimate of health benefits is based on values not used by Danish institutions. The medium estimate of 4.2 – 4.4 billion DKK in annual benefits for Denmark in 2020 is obtained by using externality estimates comparable with the figures used by NERI hitherto. The most precautionous estimate on 2.3 billion annually in health benefits is approximately based on the externality estimates used by COWI for the Danish Ministry of Transport and Energy.

The above mentioned assessment of the benefits includes the benefits achieved from a full implementation of the already agreed NEC-directive with the extra measures needed to fulfil the new targets suggested in pursuance of the thematic strategy. It is not possible on the existing basis to separate the benefit by implementing the NEC-directive from the total benefit.

These socio-economic benefit estimates are not directly comparable with the financial economic costs. An actual cost-benefit analysis assumes that the welfare economic costs are calculated.

Uncertainties regarding the assumptions of the thematic strategy

The uncertainties of the projections and the atmospheric modelling suggests a re-examination of the IIASA calculations in order to test whether the emission ceilings suggested by the Commission and the associated burden sharing between the countries result in the expected sharing of costs and benefits. Furthermore it should be secured that comparable calculations of the costs and benefits are carried out.

1 Resumé af temastrategien for luftforurening generelt og specielt for Danmark

EU-Kommissionens tematiske strategi for luftforurening foreligger i en meddelelse af 21. september 2005 fra Kommissionen til Rådet og Europaparlamentet. Temastrategien bygger videre på allerede vedtagne direktiver og anden lovgivning, som forudsættes gennemført som vedtaget og strategien indeholder målsætninger for yderligere beskyttelse af den menneskelige sundhed og miljøet (Commission of the European Communities, 2005 – 466).

Et væsentligt element i strategien er strømlining af fire eksisterende direktiver og en beslutning om udveksling af luftkvalitetsdata. Et andet element er et nyt direktiv om nationale emissionslofter (NEC) for fem stoffer: svovldioxid (SO_2), kvælstofoxider (NO_x), flygtige organiske forbindelser (VOC), ammoniak (NH_3) og $\text{PM}_{2,5}$ ¹. Hertil kommer forslag om bl.a. skærpelse af emissionsnormerne for køretøjer, regulering af fyringsanlæg mindre end 50 MWth, samt integrering af miljøhensyn inden for transport, energi og landbrugsområdet.

1.1 Luftkvalitetsdirektiv

Strategien indebærer således en strømlining af luftkvalitetsdirektiverne, idet man kombinerer rammedirektivet, 1., 2. og 3. datterdirektiv, samt rådsbeslutningen om udveksling af information. Det 4. datterdirektiv vil senere blive indarbejdet. Forslaget tydeliggør og forenkler direktiverne, samt ophæver uaktuelle bestemmelser. Der vil ske en modernisering af dataindsamling og rapportering, og dermed en reducere af bureaukrati og rapportering, en strømlining af informationsstrømmene og en forbedring af offentlighedens adgang til oplysningerne.

Grænseværdier m.v. i datterdirektiverne vil fortsat være gældende men der indføres nye bestemmelser om partikler. Den tidligere foreslåede grænseværdi for PM_{10} , som skulle opfyldes i 2010 bortfalder og erstattes af en grænseværdi for luftens indhold af $\text{PM}_{2,5}$.

Der vil blive indført et koncentrationsloft for $\text{PM}_{2,5}$ på $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, som skal overholdes alle steder i medlemslandene i 2010, dvs. også i stærkt trafikerede gader, som fx H.C. Andersens Boulevard i København. Undtagelser omfatter lukkede rum som fx parkeringskældre eller S-togsstationer.

Som et første skridt til at reducere de gennemsnitlige koncentrationer i bybaggrunden foreslås endvidere et foreløbigt reduktionsmål på

¹ Emission af $\text{PM}_{2,5}$ omfatter de såkaldte primærpartikler. Koncentration af $\text{PM}_{2,5}$ i luften omfatter såvel primære partikler som såkaldte sekundære partikler, der dannes ud fra emission af NO_x , SO_2 og NH_3 og fra frigivelse fra bl.a. vegetation.

20%, der skal nås mellem 2010 og 2020 for alle medlemsstater. Denne målsætning er ikke bindende, men forventes at blive afløst af individuelle bindende reduktionsmål når der foreligger flere luftkvalitetsovervågningsdata. Reduktionen skal ske i forhold til gennemsnitsniveauet 2008-2010. Medlemsstaterne skal derfor foretage en mere omfattende overvågning af luftens indhold af $PM_{2.5}$ i byområder.

1.2 NEC (National Emission Ceilings)-direktivet

NEC-direktivet af 23. oktober 2001 indeholder emissionsgrænser for hvert medlemsland for stofferne SO_2 , NO_x , VOC'er og NH_3 , som skal opfyldes fra og med 2010. Det overordnede formål med NEC-direktivet er at begrænse emissionen af forsurende og eutrofierende stoffer og ozon-prekursorer for at forbedre beskyttelsen af miljøet og menneskers sundhed. Endvidere refereres til Göteborg-protokollen under UNECE, som omfatter emissionsgrænser for de samme stoffer, og som er underskrevet af medlemslandene og en række andre europæiske lande, i alt 34 europæiske lande. Emissionsgrænserne i NEC-direktivet er lidt lavere for nogle lande, men er for Danmark identiske med Göteborg-protokollens emissionsgrænser. NEC-direktivet omfatter ikke international skibsfart og flytrafik.

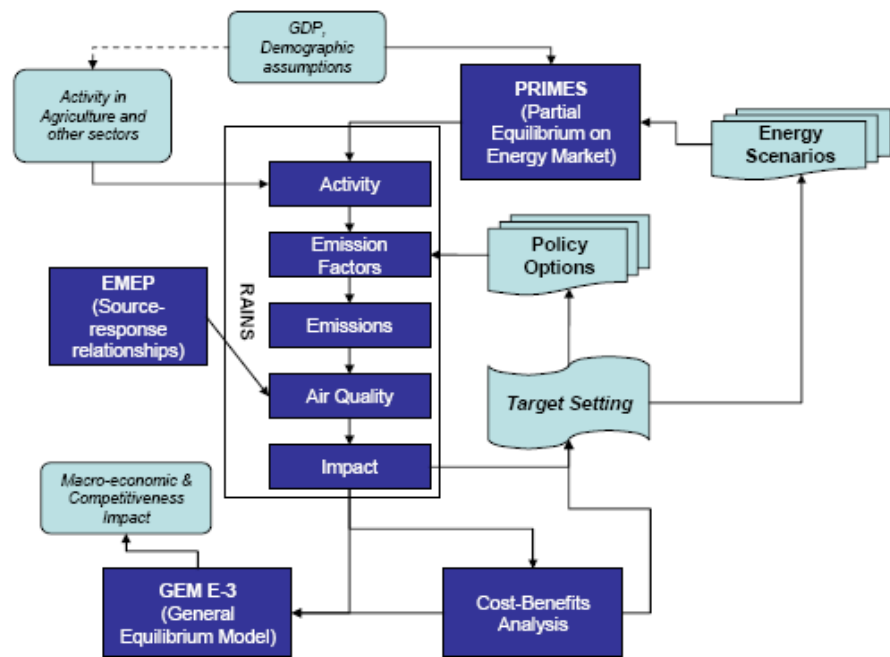
NEC-direktivet er baseret på princippet om lukning af kløften ("gap closure") mellem status for emissionerne i 1990 og en nul-effekt emission. Som interim mål valgte man 50% lukning af kløften i 2010 i alle medlemslande.

Implementering af temastrategien vil betyde, at der udarbejdes et nyt NEC-direktiv, med nationale emissionslofter for 2020. Det vil indeholde emissionslofter for 5 stoffer: svovldioxid, kvælstofoxider, flygtige organiske forbindelser, ammoniak og $PM_{2.5}$. Sidstnævnte er ikke inkluderet i det nuværende direktiv

1.3 Scenarieberegninger med RAINS-modellen

Den af IIASA udviklede RAINS-model er blevet anvendt til at udforme temastrategien og til at gennemføre en impact assessment af såvel denne som direktivforslaget. Modellen omfatter flere delelementer - se figur 1.1.

Modelling framework used in the impact assessment



Figur 1.1 Modelsystemet som blev anvendt til scenarieberegninger
Kilde: Commission of the European Communities (2005) s. 153.

For at gennemføre analyser i RAINS-modellen kræves der som udgangspunkt at der defineres et basisscenario. Temastrategiens analyser er baseret på scenario CP_CLE_Aug04 (Nov04), hvor

- CP står for "activity pathway with climate policies",
- CLE betyder "current legislation control", dvs. baseret på den nuværende lovgivning,
- Aug04 er betegnelsen for den version af aktiviteter og reduktions tiltag som var kendt i august 2004, og
- Nov04 er betegnelsen for den emissionsvektor (dvs. emissionsfaktorer og omkostningskoefficienter som forelå i november 2004).

Basisscenariet er baseret på baseline emissioner i 2000 som medlemslandene har indrapporteret. Derfor er der en god overensstemmelse med de danske emissionsopgørelser i år 2000 - jf. kapitel 2. Selve fremskrivningen af emissionerne i scenariet er derimod baseret på energifremskrivninger udviklet gennem anvendelse af PRIMES-modellen². PRIMES-modellen er kalibreret efter generelle antagelser om udvikling i BNP og demografiske forandringer i Europa. I dette specifikke scenario antages en CO₂ pris på 20 /t CO₂ i 2020, hvilket skulle stabilisere EU-25 CO₂-emissioner i 2020 på 2000-niveau. Aktiviteter i landbruget fremskrives separat dog uden hensyntagen til evt. effekter af CAP-reformen.

² <http://www.e3mlab.ntua.gr>

Hele formålet med at anvende PRIMES til modelleringen af energifremskrivninger frem for at inkludere individuelle landespecifikke oplysninger om emissionsfremskrivninger er at sørge for konsistente antagelser indenfor EU-25 angående energipriser, el-eksport og el-import.

Dette er en stor styrke, fordi det herved bliver muligt at udforme temastrategien på grundlag af en sammenhængende og økonomisk konsistent basisfremskrivning af den økonomiske udvikling og dermed energiforbruget inden for EU. Svagheden ved at basere temastrategien på økonomiske fremskrivninger med PRIMES-modellen er, at basisfremskrivningens energiforbrug og emissioner ikke kommer til at svare til de nationale fremskrivninger, jf. kapitel 2. Selvom PRIMES-modellen opdateres i overensstemmelse med de seneste danske forudsætninger om teknologianvendelse, er det fortsat muligt at RAINS-modelsystemets basisfremskrivning vil afvige fra den danske. Det skyldes forskelle i beskrivelsen af de økonomiske sammenhænge.

Udformningen af temastrategien tager udgangspunkt i det angivne modelsystems basisfremskrivning af emissionerne i alle EU-lande frem til 2020. Fremskrivningen er udelukkende baseret på nugældende lovgivning samt allerede planlagte og vedtagne tiltag til reduktion af emissionerne. De reduktionstiltag, som de enkelte lande må forventes at gennemføre for at leve op til NEC-direktivet, er ikke indarbejdet i basisfremskrivningen. Dette er særdeles vigtigt for fortolkningen af de i strategien foreslåede reduktionstiltag og omkostningerne herved. En række af tiltagene og de hertil knyttede omkostninger kan nemlig herved siges at vedrøre opfyldelsen af NEC-direktivet i 2010, selvom de selvsagt også har konsekvenser for emissionerne i 2020. Det er kun den resterende del af reduktionstiltagene og den hermed forbundne meromkostning, der kan siges direkte at vedrøre temastrategiens yderligere reduktion af emissionerne i 2020 - jf. i øvrigt kapitel 5.

Ud fra basisfremskrivningen af emissionerne er det muligt at bestemme, hvilken miljøkvalitet, dvs. hvilken sundhedstilstand og andel af naturarealer, som belastes med mere end deres tålegrænse herfor, der vil være gældende i EU i 2020.

Over for basisfremskrivningen stilles en emissionsfremskrivning, hvor emissionerne reduceres så meget, det ifølge RAINS-modellen er teknisk muligt (MTFR, "Maximum Technically Feasible Reduction"). Det teknisk mulige omfatter alene teknologiske tiltag, der reducerer emissionen af en given luftforureningskomponent i forbindelse med en given produktionsproces. Skift mellem teknologier er ikke omfattet af de betragtede reduktionsmuligheder. Svarende til MTRF-fremskrivningen af emissionerne kan man bestemme den maksimalt teknisk mulige miljøkvalitetsforbedring.

Det er imidlertid erkendt, at det vil blive meget dyrt at opnå de til MTFR-fremskrivningen knyttede miljøkvalitetsforbedringer. Derfor har man opstillet tre scenarier, A, B, C, som ligger i området 55-90% af den maksimalt mulige miljøkvalitetsforbedring - jf. tabel 1.1.

Tabel 1.1 Beregnede konsekvenser af den nuværende situation, eksisterende lovgivning (basis 2020), de tre ambitionsniveauer og det maksimalt teknisk mulige, baseret på IIASA's metoder (RAINS). I parentes er angivet den procentvise del af den maksimalt mulige miljøkvalitetsforbedring, som opnås ved de nævnte scenarier.

	2000	Basis 2020	Ambitionsniveau			Teknisk muligt
			Scenario A	Scenario B	Scenario C	
EU samlet tab af leveår (YOLL, million)	203	137 (0%)	110 (65%)	104 (80%)	101 (87%)	96 (100%)
Forsuring, overskridelse af kritisk belastning Ækvivalenter/ha	120	30 (0%)	15 (55%)	11 (75%)	10 (85%)	2 (100%)
Eutrofiering, overskridelse af kritisk belastning Ækvivalenter/ha	422	266 (0%)	173 (55%)	138 (75%)	120 (85%)	87 (100%)
Ozon SOMO35 ppb*dage	4081	2435 (0%)	2111 (60%)	2003 (80%)	1949 (90%)	1985 (100%)

Man har fokuseret meget på $PM_{2,5}$, fordi effekten på menneskers sundhed slår meget igennem for denne forureningskomponent. Endvidere er der en meget stærk sammenhæng mellem reduktion af stofferne SO_2 , NO_x , og NH_3 og reduktionen af $PM_{2,5}$ -koncentrationen. Det skyldes først og fremmest at $PM_{2,5}$ for en meget stor del består af sekundære partikler, som dannes i atmosfæren af de nævnte stoffer, og som viser sig som fjerntransporterede partikler i bl.a. Danmark. Derudover forekommer primære partikler, fx fra bilers udstødning. Det diskuteres om de forskellige partikler er lige skadelige, men da man ikke har videnskabelige beviser for dette, har Kommissionen besluttet at behandle alle partikler ens.

De tre scenarier er udformet således, at gevinsten ved emissionsreduktionerne i form af antal vundne leveår inden for hele EU i hvert scenarie opnås til de mindst mulige omkostninger. Det har altså været styrende for udformningen af den endelige temastrategi - jf. kapitel 1.4 - at antallet af mistede leveår som følge af luftforureningsrelaterede sygdomme skal reduceres mest muligt til færrest mulig omkostninger.

Det skitserede programmeringsproblem løses inden for RAINS-modellen. I modellens omkostningsmodul er der oplysninger om omkostningerne ved gennem en lang række tiltag at reducere emissionerne af hvert af de betragtede stoffer i det enkelte EU-land. Omkostningerne er altså knyttet til et teknologisk tiltag i relation til hver luftforureningskomponent inden for hvert EU-land.

Ved brug af RAINS-modellens luftspredningsmodul beskrives herefter, hvorledes ændringer i emissionerne af de enkelte stoffer fra de enkelte landområder (såkaldte "gitterceller" af 50×50 km) påvirker luftkvaliteten - dvs. koncentrationen af $PM_{2,5}$ - i de enkelte gitterceller inden for hele EU-området. Ved hjælp af en såkaldt "dosis respons funktion", der angiver sammenhængen mellem koncentrationen af $PM_{2,5}$ og antallet af mistede leveår pr. person, er det muligt at beskrive den endelige konsekvens af emissionsændringen som en ændring i antallet af forventede leveår i det enkelte landområde inden for EU.

RAINS-modellen kan håndtere afvejningsproblemet, hvor man på den ene side ønsker at vinde så mange ekstra leveår inden for EU

som muligt, og på den anden side ønsker at minimere omkostningerne herved. Ved emissionsreduktioner fra områder, der har konsekvenser for luftkvaliteten i tætbefolkede områder vindes flere leveår end ved reduktioner fra områder, der kun påvirker få personer. Mulighederne og omkostningerne for at reducere emissionerne af de enkelte stoffer varierer til gengæld meget mellem EU-landene.

Løsningen af afvejningsproblemet resulterer i, at størrelsen af emissionsreduktionerne varierer mellem såvel stoffer som lande. Antallet af vundne leveår vil tilsvarende variere mellem lande - alt afhængigt af de enkelte landes udgangssituation, muligheder for emissionsreduktioner, omkostningerne herved og befolkningstæthed. Det er som fremhævet antallet af vundne leveår inden for **hele** EU-området der er styrende og skal opnås så omkostningseffektivt som muligt.

1.4 Kommissionens strategi

De tre scenarier har været genstand for en cost-benefit analyse, hvor gevinsten i form af antal vundne leveår er blevet værdisat og derefter sammenholdt med omkostningerne ved at gennemføre scenariet. Det viser sig i IIASA's beregninger, at værdien af miljøforbedringerne er helt domineret af sundhedseffekter. Derfor er effekten på økosystemerne af emissionsreduktionerne ikke blevet værdisat. Supplerende er der foretaget analyser af scenariernes virkning på konkurrenceevne, beskæftigelse og andre generelle ligevægtseffekter for EU.

De gennemførte beregninger viser, at omkostningerne vil stige kraftigt fra scenario A til C, mens miljøforbedringerne vil stige mere moderat. Kommissionen foreslår derfor, at man vælger et scenario der ligger ret tæt på A mellem A og B, svarende til reduktionerne angivet i tabel 1.2.

Tabel 1.2 De nødvendige emissionsreduktioner inden for hele EU-området (%) i forhold til år 2000, som følge af temastrategien sammenlignet med kravene i den eksisterende lovgivning.

Stof	Eksisterende lovgivning	Temastrategien
SO ₂	67	82
NO _x	49	60
VOC	45	51
NH ₃	4	27
PM _{2.5}	45	59

Målsætningen søges primært opnået i et nyt NEC-direktiv, der skal opfyldes i 2020. Endvidere er det foreslået, at der indarbejdes krav vedr. emissioner fra de forskellige sektorer, fx landbrug og transport.

Ifølge IIASA's beregninger betyder temastrategien følgende emissionsreduktioner og omkostninger for Danmark frem til år 2020 (tabel 1.3).

Tabel 1.3 Krav om danske reduktioner af emissioner (kt/år) fra stationære kilder udtrykt som emissionslofter, samt omkostninger ved temastrategien. Hertil kommer omkostningerne vedr. vejtrafik som følge af temastrategien på 20 mio. /år.

Stof	Udslip i 2000	NEC 2010	Baseline 2020, Eksisterende lovgivning	Temastrategien 2020	Reduktionsbehov frem til 2020	Temastrategiens omkostninger mio. €/år
SO ₂	28	55	13	12	1	1
NO _x	207	127	105	84	21	18
VOC	128	85	58	54	4	1
NH ₃	91	69	78	62	16	45
PM _{2.5}	22	-	13	12	1	1
Uford. vejtrafik						20

Det ses heraf, at de væsentligste krav ifølge IIASA's beregninger, og dermed omkostninger, til emissionsreduktioner gælder for NO_x og NH₃. Forudsætningerne for IIASA's beregninger og resultaterne heraf vil blive analyseret i de følgende kapitler.

2 Vurdering af forudsætninger i IIASA's beregninger af emissioner

I dette kapitel vurderes, om RAINS-modellens emissionsmodul afspejler danske forhold, herunder om de forudsætninger og baggrundsdata (aktivitetsdata, emissionsfaktorer og emissioner) der indgår i IIASA's basisfremskrivning af emissioner, stemmer overens med de baggrundsdata der er anvendt i de nationale emissionsmodeller.

I RAINS-modellens emissionsmodul beregnes emissioner for SO₂, NO_x, NMVOC, NH₃, TSP, PM₁₀ og PM_{2.5}. De historiske opgørelser dækker årene 1990, 1995, 2000 og basisfremskrivningen årene 2005, 2010, 2015 og 2020. Basisfremskrivningen og dennes forudsætninger har stor betydning for, hvilke emissionsreduktionstiltag der er mulige, og dermed hvilke tiltag IIASA har valgt at regne på for at opfylde temastrategien. De estimerede omkostninger for at opfylde temastrategien og de emissionslofter der foreslås i 2020 for de enkelte lande afhænger altså i høj grad af de forudsætninger og baggrundsdata, der findes i basisfremskrivningen.

2.1 Beregningsmetoder

Stationær forbrænding

Både IIASA's model og DMU's model beregner emissionerne på basis af aktivitetsdata og emissionsfaktorer. Derudover indeholder DMU's model også specifikke emissioner for kraftværker, affaldsforbrændingsanlæg, raffinaderier og store industrier. DMU's fremskrivningsmodel bygger på generel og specifik viden om forskellige sektorer og kilders emissioner, samt den vedtagne lovgivning. I IIASA's emissionsfremskrivningsmodel er angivet en basisemissionsfaktor samt en rensningsprocent (% abatement) for hver sektor og stof. Rensningsprocenten kan varieres fra år til år. Det er ikke vurderet om disse rensningsprocenter er korrekte for Danmark.

Vejtrafik

IIASA bruger som udgangspunkt en samlet basisemissionsfaktor pr. emissionskomponent for henholdsvis tunge køretøjer, lette køretøjer (benzin og diesel), 2-takt køretøjer (biler og 2-hjulere) og motorcykler. De vedtagne euro-normer er implementeret ved brug af reduktionsfaktorer. Basisemissionsfaktorer er afledt af danske faktorer for året 1990, og reduktionsfaktorer er beregnet af IIASA. RAINS-modellen er i relation til emissionsfaktorer mindre detaljeret end den model DMU anvender, og den tager ikke hensyn til effekten af by/land/motorvejskørsel, forskelle i vægtklasser og motorstørrelser. For katalysatorbiler simuleres effekten af katalysatorlid heller ikke eksplicit.

Aktivitetsdata i RAINS-modellen er baseret på generelle modelkørsler med en europæisk model (PRIMES-modellen). Resultaterne er meget anderledes end Danmarks egne transportforventninger som beregnes af Trafikministeriet.

Andre mobile kilder

IIASA har ikke inkluderet emissioner fra militærkøretøjer samt 4-takts benzin-arbejdsredskaber, og det er med dette forbehold at emissionsresultaterne sammenlignes. Ganske som for vejtrafik har RAINS-modellen EU-lovgivningens emissionskrav implementeret som overordnede reduktionsfaktorer koblet til basisfaktorer for konventionel teknologi.

DMU's emissionsopgørelser er dokumenteret i en række rapporter for de enkelte sektorer, samt i rapporter sendt til ECE-konventionen om langtransporteret luftforurening (LRTAP-konventionen) (Illerup et al. (2005a), Nielsen og Illerup (2006), Winther (2004), Mikkelsen et al. (2005)).

2.2 Emissioner

Emissioner i år 2000

En vigtig forudsætning når emissioner fremskrives i RAINS-modellen er, at den indeholder de samme antagelser vedrørende kilder og emissionsfaktorer, som de danske emissionsopgørelser. Tabel 2.1 sammenligner emissionerne af SO₂, NO_x, NMVOC og PM_{2,5} beregnet med DMU's emissionsmodel og IIASA's model for år 2000 (basisår). Afvigelserne mellem de totale emissioner er små for SO₂, NO_x og NMVOC (0,4% - 4%), mens afvigelsen er 30% for PM_{2,5}. Grunden til at afvigelserne er små for de historiske opgørelser er, at IIASA tilpasser RAINS-modellen så emissionerne kommer til stemme med de emissioner, som Danmark har rapporteret til ECE-konventionen om langtransporteret luftforurening. Denne tilpasning opnås fx i at ændre på rensningsgraden for de enkelte kilder.

Hvis man betragter emissionerne på et mere detaljeret niveau, vil man dog finde betydelige forskelle mellem emissionerne. I flere tilfælde er der forskel på DMU's og IIASA's grupperinger, dvs., hvilke undersektorer de enkelte sektorer omfatter. Desuden er der for visse undersektorer betydelige forskelle på de estimerede emissioner. I det følgende er kun nævnt de største forskelle og de forskelle, som det har været muligt at identificere.

NO_x

Produktion af cement er en af de store kilder til NO_x-emission, og Ålborg Portland udledte i 2000 ca. 10.000 tons NO_x. I RAINS-modellen er emissionerne kun beregnet til knap 3.000 tons. En anden stor forskel ses for emissionen af NO_x fra offshore-industrien. DMU har beregnet emissionerne fra gasturbiner og flaring til hhv. 6.000 og ca. 3.000 tons, mens RAINS-modellen har meget lavere værdier for de tilsvarende kilder. Også emissionerne fra vejtrafik, husholdninger og institutioner afviger væsentlig i de to modeller. For vejtrafik optræder de største absolutte emissionsforskelle for tunge køretøjer, hvor IIASA's aggregerede emissionsfaktor er ca. 20% højere end DMU's. De største emissionsforskelle for andre mobile kilder ses for dieselmaskiner i landbrug/skovbrug samt industri. For den første sektor er IIASA's emissioner 7.300 tons højere end DMU's. Dette skyldes højere energiforbrug (36%) og højere aggregerede emissionsfaktorer (14%). For industri er IIASA's emissioner 4.900 tons lavere end DMU's. Det-

te skyldes en kombination af lavere energiforbrug og en højere aggregeret emissionsfaktor.

NMVOC

Nogle af de største forskelle i NMVOC-emissionerne ses for fugitive emissioner fra produktion af olie og gas. RAINS-modellen medregner ikke emissioner fra råolietanke og lastning af skibe. For vejtrafikken og andre mobile kilder ses også betydelige forskelle. For vejtrafik er den største absolutte emissionsforskel på 7.100 tons for benzinbiler. Det skyldes at RAINS-modellens aggregerede emissionsfaktor er 28% højere. Hvis IIASA havde inkluderet 4-takts benzinmotorer i arbejdsredskaber, ville man se en væsentlig større NMVOC-forskel, end de 31% der samlet er angivet for andre mobile kilder. I de direkte sammenlignelige kategorier ses de største emissionsforskelle for 2-takts benzinmotorer (arbejdsredskaber og fritidsfartøjer) og dieselmaskiner i landbrug/skovbrug. Umiddelbart er emissionerne af opløsningsmidler ens, men fordelingen på undersektorer (brug af maling og andre) er meget forskellige.

PM_{2,5}

For PM_{2,5} ses den største afvigelse for mobile kilder. Emissionerne fra vejtrafikken opgøres både for udstødning, dæk, bremse og vejslid. De største emissionsforskelle ses for udstødning. Her er IIASAs emissioner hhv. 400 og 500 tons lavere for lette og tunge dieseldrevne køretøjer, hovedsagelig pga. lavere aggregerede emissionsfaktorer. Det er ret sikkert, at de store kilder til emission af PM_{2,5} er brændefyring i husholdninger og transport, men bestemmelsen af emissionsniveauet er usikkert.

Tabel 2.1 Sammenligning af emissioner (1000 tons) for år 2000 (basisår).

Sektor	SO ₂		NO _x		NMVOC		PM _{2,5}	
	DMU ¹	IIASA	DMU ¹	IIASA	DMU ¹	IIASA	DMU ¹	IIASA
Kraft- og fjernvarmeværker	13,7	13,5	50,8	55,6	4,0	3,6	0,8	1,1
Ikke-industrielle anlæg	3,8	3,1	7,1	7,0	12,9	11,3	11,5	8,4
Industrielle anlæg	7,4	8,0	14,9	12,8	0,7	0,4	0,5	0,8
Produktionsprocesser	1,0	1,6	0,4	2,5	6,1	2,4	0,3	1,2
Fugitive emissioner					11,9	5,5	0,04	0,1
Opløsningsmidler					38,4	39,0		
Vejtrafik	0,4	0,4	72,5	77,9	39,0	44,2	6,2	3,6
Andre mobile kilder	3,2	3,0	49,8	50,9	12,9	16,8	11,2	4,5
Flaring	0,1	0,1	3,1	0,4	0,1	0,5		
Landbrug					1,7	0,5	1,6	1,3
Totale emissioner	28,5	28,4	198,7	207,0	127,6	124,3	32,1	22,4

¹ Illerup et al., 2005a

NH₃

Ammoniakemissionen fra landbruget er i 2000 opgjort til 86.136 tons eksklusiv emission fra afgrøder, der ikke medregnes under NEC-direktivet. Dette er meget tæt på de 85.307 tons som beregnes i RAINS-modellen. RAINS-modellens antagelser er meget simplificerede og kan ikke direkte omsættes til dansk landbrugspraksis. Blandt

andet indregner modellen ikke reduktioner i udskilt kvælstof som følge af øget fodereffektivitet.

Basisfremskrivning

Der findes danske basisfremskrivninger frem til 2020 for NO_x (Illerup et al., 2005b) og NH₃ (Gyldenkerne og Mikkelsen, 2005). For SO₂ er der en foreløbig fremskrivning frem til 2010 (Illerup og Bruun, 2003) og for NMVOC er den seneste fremskrivning udarbejdet i 2002 (Illerup et al., 2002). Ifølge denne fremskrivning kan Danmark netop overholde NEC's emissionsloft i 2010. Beregningerne må dog anses for at være forældede, da opgørelserne siden er revideret for en række vigtige kilder herunder olie-/gasproduktion og opløsningsmidler. Der er ikke udarbejdet nationale fremskrivninger for PM_{2,5}-emissioner.

Af tabel 2.2 ses at de fremskrevne NO_x-emissioner i 2020 er betydeligt lavere i RAINS-modellen end i den nationale basisfremskrivning. For NH₃-emissionen i 2020 ligger DMU's basisfremskrivning meget under IIASA's basisfremskrivning og lige under hvad der er foreslået som loft i temastrategien.

Tabel 2.2 Fremskrevne emissioner (1000 tons) for 2010 og 2020.

År	SO ₂		NO _x		NH ₃ ¹	
	2010	2020	2010	2020	2010	2020
Totale emissioner, DMU	22 ²		148	117	68	60
Emissionsloft 2010	55		127		69	
IIASA's basisfremskrivning	19	13	151	105	69	78
Temastrategi 2020		12		84		62

¹Ammoniakemissionerne er udelukkende fra kilder der er omfattet NEC-direktivet (heri indgår ikke emissioner fra afgrøder). Landbruget er ansvarlig for 97% af den samlede ammoniakemission.

²Foreløbig

Generelt ses de samme forskelle i NO_x-emissionerne fremskrevet med DMU's model og IIASA's model, som ovenfor beskrevet for basisåret. De største forskelle ses for kraft- og fjernvarmeværker, industrielle forbrændingsprocesser, tunge køretøjer, dieselmaskiner i landbrug/skovbrug samt industri (tabel 2.3).

I basisfremskrivningen for landbruget er den samlede ammoniakemission estimeret til ca. 60.000 tons NH₃ per år i 2020 for de kilder som er inkluderet i NEC-direktivet (Gyldenkerne og Mikkelsen, 2005). Samlet set vurderes det, at målsætningen i temastrategien for 2020 vil kunne nås uden at der kræves yderligere tiltag i landbrugssektoren. Den forventede reduktion i følge DMU's beregninger skyldes primært effektiviseringer i landbruget, gennemførelsen af Vandmiljøplan III, ammoniakhandlingsplanen samt kravene i habitatdirektivet om depositionen til naturfølsomme områder ikke må stige. Emissionen i basisfremskrivningerne i RAINS-modellen uden tiltag og effektiviseringer i landbruget er anslået til 78.000 tons NH₃ om året i 2020, hvilket er en stigning i emissionerne på 9.000 tons. Ved im-

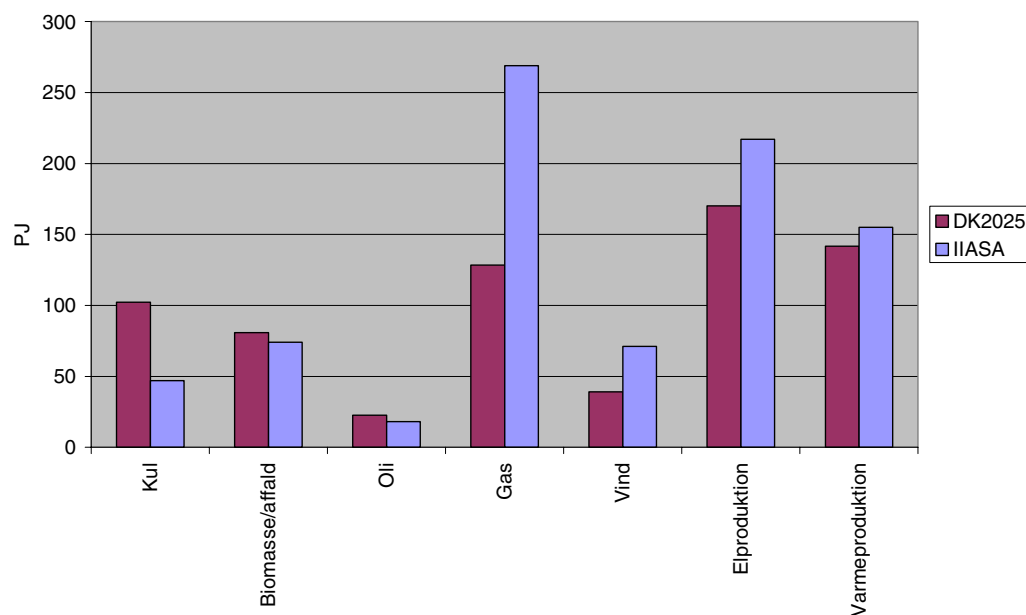
plementeringen af temastrategien forventes en reduktion på 16.000 tons NH₃ fra 2010 til 2020.

Tabel 2.3 Sammenligning af NO_x-basisfremskrivninger (1000 tons) fra IIASA og DMU.

Sector	NO _x			
	DMU 2010	IIASA 2010	DMU 2020	IIASA 2020
Kraft- og fjernvarmeværker	47,3	47,7	45,1	28,9
Ikke-industrielle anlæg	8,2	6,3	8,4	6,0
Industrielle anlæg	12,2	10,4	12,5	11,2
Produktionsprocesser	0,3	1,9	0,3	1,9
Fugitive missioners				
Opløsningsmidler				
Vejtrafik	38,2	38,7	17,4	20,5
Andre mobile kilder	38,8	45,3	31,0	36,5
Flaring	2,7	0,3	1,8	0,1
Totale emissioner	147,7	150,6	116,5	105,1

2.3 Energifremskrivning

Generelt er der ikke stor forskel på den energistatistik IIASA har anvendt for år 2000 og den officielle danske energistatistik (Jensen, 2005a). Afvigelserne mellem de danske energifremskrivninger (DK2025) og de fremskrivninger IIASA anvender, bliver dog stor for 2010 og endnu større for 2020 (Energistyrelsen, 2005; Pedersen, 2005). Der er specielt store afvigelser mellem det fremskrevne energiforbrug for kraft- og fjernvarmesektoren. Så en del af de forskelle mellem de nationale basisfremskrivninger og RAINS-modellens fremskrivninger af SO₂ og NO_x kan skyldes at RAINS-modellen anvender en energifremskrivning, hvor naturgasforbruget er meget højt og kulforbruget meget lavt sammenlignet med Energistyrelsens seneste officielle energifremskrivning (figur 2.1). Da naturgas har et meget lavere indhold af svovl end kul, vil det få stor betydning for beregningen af SO₂-emissionen i 2020. For NO_x vil det også betyde en underestimering af emissionerne, da gasturbiner i henhold til direktivet om store forbrændingsanlæg vil have lavere emissionsfaktorer end kulfyrede kedler.



Figur 2.1 Energistyrelsens seneste officielle energifremskrivning (DK2025) for kraft og varme sammenlignet med RAINS-modellens energifremskrivning for år 2020 (Pedersen, 2005).

I en ny foreløbig energifremskrivning fra Energistyrelsen (Jensen, 2005b) er bruttoenergiforbruget nedskrevet i forhold til DK2025. De vigtigste ændringer i forudsætningerne er nye højere priser på brændsler og CO₂-kvoter, nye besparelser og lavere forventninger til energiforbruget i Nordsøen. Som følger af disse ændringer - og alt andet antages uændret - forventes de estimerede NO_x-emissioner at falde i 2010 og stige i 2020 i forhold til de seneste officielle fremskrivninger som angivet i tabel 2.2 og 2.3. Faldet i emissionerne i 2010 skyldes at gasforbruget er antaget at stige og kulforbruget at falde i forhold til DK2025, og at der regnes med et betydeligt lavere energiforbrug i offshore sektoren. Den forventede stigning i emissionerne i 2020 skyldes at kulforbruget fra ca. 2015 antages at være større end i DK2025 og naturgasforbruget at være lavere. Dette samtidig med at energiforbruget i offshore-sektoren er over niveauet i DK2025.

2.4 Konklusion

De totale NO_x-emissioner i 2010 er næsten ens i IIASA's og DMU's basisfremskrivninger, men der er store afvigelser på en række undersektorer og kilder. I 2020 er afvigelsen på de totale emissioner 10%. Denne afvigelse dækker over meget store afvigelser på emissionerne fra kraft- og fjernvarmeværker, offshore-industrien, vejtrafik og andre mobile kilder. Afvigelse skyldes forskelle i de anvendte emissionsfaktorer, men også forskelle i de anvendte energifremskrivninger. I RAINS-modellen er naturgasforbruget meget større og kulforbruget meget lavere end i den seneste officielle energifremskrivning (DK2025). I en ny foreløbig energifremskrivning fra Energistyrelsen vil denne forskel øges yderligere i 2020. Grundet det høje naturgasforbrug, der anvendes i RAINS-modellen vurderes såvel SO₂- som NO_x-emissionerne at være underestimeret i IIASA's basisfremskrivning for 2020.

I den nationale basisfremskrivning for landbruget er den samlede ammoniakemission estimeret til ca. 60.000 tons NH_3 per år i 2020 for de kilder som er inkluderet i NEC-direktivet (Gyldenkerne og Mikelsen, 2005). Samlet set vurderes det, at målsætningen i temastrategien for 2020 vil kunne nås. Basisfremskrivningerne i RAINS-modellen uden tiltag og effektiviseringer i landbruget er anslået til 78.000 tons NH_3 pr. år i 2020.

Der er ikke udarbejdet nationale fremskrivninger for NMVOC og $\text{PM}_{2,5}$ frem til 2020, men sammenligninger af basisårets emissioner viser, at der er betydelige forskelle mellem IIASA's og DMU's beregninger af en række kilders emissionsniveauer. DMU kan ikke på nuværende tidspunkt vurdere, om det bliver muligt at overholde emissionslofterne uden yderligere tiltag.

Udover at en revideret energifremskrivning kan betyde ændringer i emissionsfremskrivningerne, kan en revurdering af emissionsfaktorerne også betyde at emissionsopgørelser og -fremskrivninger ændres. For NO_x -emissionerne er der specielt stor usikkerhed på emissionsfaktoren for flaring af naturgas i offshore-industrien, og i løbet af 2006 er det planlagt at forbedre og eventuelt revidere opgørelsesmetoderne for søfart og fiskeri.

Så selvom DMU for nuværende anvender de bedst tilgængelige data og metoder, må der af forskellige grunde, som nævnt ovenfor, forventes, at de nationale emissionsfremskrivninger ændres fremover.

Generelt er usikkerheden på beregnede emissioner størst på emissionsniveauet og mindre på udviklingstendensen. Det kan derfor være problematisk – i forhold til at emissionsopgørelser og fremskrivninger løbende forbedres, når ny eller bedre viden bliver tilgængelig – at forpligtigelsen omfatter præcise emissionslofter i stedet for reduktionskrav. Det kan også være problematisk, hvis emissionslofter eller reduktionskrav kommer til at omfatte kilder, der er meget usikkert bestemte, eller kilder der ikke lovgivningsmæssigt kan reguleres.

DMU og Miljøstyrelsen har i løbet af 2006 planlagt at udarbejde opdaterede emissionsfremskrivninger for SO_2 , NO_x og NMVOC samt at udarbejde den første fremskrivning for $\text{PM}_{2,5}$.

3 Vurdering af metoden og forudsætningerne for IIASA's beregninger af scenarier

3.1 RAINS-metoden

IIASAs beregninger er udført med RAINS-systemet som består af en række moduler der bl.a. behandler emissioner, "source-receptor" (kilde-modtager) relationer, koncentrationer/depositioner og effekter.

Med udgangspunkt i valgte emissionsscenerier, beregnes koncentrationer og depositioner af luftforurening i RAINS ud fra en række source-receptor relationer, der giver en sammenhæng mellem emissionsreduktioner i et land og tilhørende ændringer i koncentrationer og depositioner i gitterceller fordelt over Europa. Disse source-receptor relationer danner grundlaget for den efterfølgende optimeringsprocedure der udføres med RAINS, hvor de optimale emissionsreduktioner findes for hvert land, ud fra en given cost-benefit betragtning.

Source-receptor relationer

For de fleste luftforureningskomponenter (fx ozon og PM) er der en klar ikke-lineær sammenhæng mellem emissioner og koncentrationer pga. atmosfærisk kemi, og denne sammenhæng beskrives bedst ved en state-of-the-art atmosfærisk kemi-transportmodel, som er baseret på den bedste viden om fysiske og kemiske processer i atmosfæren. Det optimale vil derfor være, at vurderinger af emissionsreduktions-scenerier foretages med fx EMEP-modellen, som er en state-of-the-art 3-D-Eulersk-atmosfærisk-kemi-transportmodel, samt at den efterfølgende optimeringsprocedure udføres med samme model. Dette kræver dog mange modelkørsler og er p.t. umuligt med de nuværende tilgængelige computerressourcer. Derfor har man udviklet brugen af simplificerede matematiske funktioner (source-receptor relationer) i RAINS til denne procedure.

Source-receptor relationerne beregnes ved brug af EMEP-modellen. Beregningerne foregår ved at der foretages en lang række kørsler med EMEP-modellen, hvor emissionerne reduceres i ét land ad gangen og for ét stof (NO_x , SO_2 , NH_3 eller VOC) ad gangen med 15%. Ud fra resultaterne af disse modelberegninger kan man antage en simplificeret matematisk beskrivelse af sammenhængen mellem ændringer af emissioner i et land og de deraf følgende ændringer i koncentrationer i hver gittercelle i Europa (source-receptor relationerne). Disse relationer kan beskrives enten ved en lineær sammenhæng eller ved en ikke-lineær sammenhæng.

Hvis der antages en lineær sammenhæng mellem emissionsreduktioner og koncentrationsændringer i RAINS er det nemt at beregne konsekvenserne af at reducere fx emissionerne i Tyskland med 20%, da

man i hele Europa får den samme reduktion i de koncentrationer og depositioner som stammer fra Tyskland for det pågældende stof i alle gittercellerne i modelområdet.

Hvis der antages en ikke-lineær sammenhæng (fx ved en simpel kvadratisk metode som x^2) fås ikke den samme reduktion i koncentrationer som i emissionerne.

IIASA har traditionelt benyttet en lineær source-receptor relation for fx SO_2 . På det seneste har IIASA dog benyttet ikke-lineære relationer for O_3 . For $\text{PM}_{2.5}$ har der indtil 2004 været antaget en lineær sammenhæng mellem emissioner og koncentrationer i RAINS (Amann et al., 2004). I 2005 er relationerne for $\text{PM}_{2.5}$ udvidet til at skelne mellem sommer og vinter situationer for at tage højde for de forskellige (ammoniak eller NO_x begrænset) kemiske regimer (Amann et al., 2005a, 2005b), men relationerne er grundlæggende set stadigvæk lineære.

PM_{2.5} definition

Overordnet kan $\text{PM}_{2.5}$ opdeles i primære og sekundære partikler, sidstnævnte kan også opdeles i organiske og uorganiske partikler. De primære partikler stammer typisk fra punktkilder, jordstøv og havsalt. De sekundære organiske partikler stammer typisk fra menneskeskabte kilder (trafik, industri, husholdning m.v.) og vegetationen. De sekundære uorganiske partikler dannes ud fra emissioner af NO_x , SO_2 og NH_3 . Dannelsesmekanismen for de sekundære uorganiske partikler er dog også – gennem atmosfærekemiske processer – stærkt afhængige af emissionen af VOC.

3.2 Vurdering af IIASAs beregninger

Der er flere forhold ved IIASAs fremgangsmåde der kan give anledning til unøjagtige estimater af $\text{PM}_{2.5}$ koncentrationer i beregning af scenarier:

Organiske partikler: De sekundære organiske partikler samt naturlige aerosoler er ikke medtaget i beregninger med EMEP-modellen, hvilket bevirker at koncentrationer af $\text{PM}_{2.5}$ konsekvent er underestimeret med ca. en faktor to (van Loon et al., 2004). Det samme gælder dog for alle atmosfæriske kemi-transportmodeller i Europa p.t. Dette kan umiddelbart udgøre et problem overfor målet om en fast grænseværdi for $\text{PM}_{2.5}$ i temastrategien, idet overholdelse af grænseværdien er bestemt ud fra målinger, hvor den organiske partikelfraktion indgår.

Koncentrationer i bybaggrunden: IIASAs beregninger for $\text{PM}_{2.5}$ har fokus på koncentrationer i bybaggrunden mens EMEP-modellen er en langtransportmodel der beskriver baggrundskoncentrationer på regional skala med 50 km x 50 km opløsning. IIASA har taget resultater fra City-Delta projektet for typiske forskelle mellem regionale koncentrationer og koncentrationer i bybaggrunden og lagt disse til EMEP-modellens resultater. Denne metode kan bruges som et første-hånds estimat, men giver ikke præcise resultater for forskellige byer eller byområder.

Anvendt meteorologi: Til beregningerne der ligger til grund for temastrategien har IIASA udelukkende benyttet meteorologiske data fra 1997, som ved sammenligning med tilsvarende beregninger fra andre år, blev anset for at være typisk. Data for dette år repræsenterer ikke nødvendigvis et klimatisk middel for Europa eller Danmark. For at opnå resultater der er robuste i forhold til variabiliteten i eksterne parametre (her meteorologien) bør man benytte middelværdier fra mindst fem års beregninger som grundlag for scenarier.

Dokumentation: IIASAs dokumentation af fremgangsmåden i RAINS i forbindelse med emissionsscenerierne i temastrategien, samt af de estimerede partikkelkoncentrationer er generelt meget overfladisk og mangelfuld. Det er derfor meget svært at reproducere de resultater som fremkommer ved brug af RAINS.

I forbindelse med reviewet af RAINS i 2004 argumenterer IIASA for at man kan benytte lineære source-receptor sammenhænge mht. $PM_{2.5}$ (Amann et al., 2004). Ved direkte forespørgsel ved EMEP og IIASA forklares det, at der er benyttet nyudviklede ikke-lineære source-receptor relationer, men ved nærmere eftersyn viser det sig at relationerne grundlæggende er lineære, men bare delt op i vinter og sommer situationer. Da valget af metode er af afgørende betydning for troværdigheden af resultaterne er det vigtigt at der foreligger tilstrækkelig dokumentation når resultaterne bruges fx i EU's temastrategi (se herunder).

Linearitet vs. ikke-linearitet i RAINS beregningsmetode: Forudsætningen for IIASAs beregninger for $PM_{2.5}$ er, at den - i realiteten - ikke-lineære sammenhæng mellem kilder og receptorer kan beskrives ved relativt simple lineære matematiske funktioner. For emissionerne af de primære partikler og SO_2 er source-receptor relationerne tilnærmelsesvist lineære og en simplificeret lineær matematisk beskrivelse er her relativt uproblematisk. Bidragene fra NO_x , NH_3 og VOC emissioner til koncentrationen af de sekundære uorganiske partikler i de enkelte gitterceller er derimod stærkt ikke-lineære på grund af de atmosfærekemiske processer. En forudsætning om lineær sammenhæng må for de fleste stoffer siges at være en for simplificeret antagelse, der kan give store usikkerheder i resultatet.

Ikke-lineariteten for de forskellige emitterede stoffer der har indflydelse på koncentrationen af $PM_{2.5}$, er dokumenteret i rapporten der ligger til grund for reviewet af RAINS (Amann et al., 2004). Som eksempel er der i rapporten lavet beregninger for emissionsreduktioner i Tyskland og sammenhængen med koncentrationsændringer i alle gitterceller i Europa. Der er særligt store ikke-lineariteter i source-receptor relationerne for $PM_{2.5}$ som funktion af VOC (op til en faktor 10), NO_x (op til en faktor 5) og NH_3 (op til en faktor 5). Faktorerne er et mål for afvigelsen i forhold til en lineær antagelse. I rapporten findes der også dokumentation for den samlede effekt af en antagelse om linearitet for $PM_{2.5}$ (i Tyskland) og her kan fejlen være op til en faktor 2. Det er dog fejlen for de enkelte stoffer der er vigtig i denne sammenhæng, dels fordi bl.a. effekterne er kædet sammen med de enkelte komponenter af $PM_{2.5}$, dels fordi emissionerne af de forskellige stoffer ikke reduceres lige meget i de efterfølgende tilpasninger af scenarierne.

IIASA har lavet tilsvarende undersøgelser for Holland, Italien og England med samme konklusion, men disse er ikke præsenteret i review-rapporten.

IIASA laver selv følgende konklusioner: "The response of ambient $PM_{2.5}$ concentrations to changes in emissions, however, shows clear non-linearities. It has been concluded from an extended analysis of EMEP model calculations that linear formulations appear suitable also for the dispersion of the non-reactive primary PM emissions as well as the formation and transport of secondary sulphate aerosols. However, at an aggregated level there are clear non-linearities in the response of secondary nitrate aerosols towards changes in NO_x and NH_3 emissions, depending on the relative abundances of these pollutants. For the RAINS model a formulation has been developed that decomposes the influence of the various precursor emissions into linear relationships" (Amann et al., 2005b).

På grund af de komplicerede processer, der er involveret i dannelsen af $PM_{2.5}$ er det ikke muligt at vurdere om antagelsen af en simplificeret matematiske beskrivelse af de ikke-lineære source-receptor relationer giver en over- eller en undervurdering af $PM_{2.5}$ koncentrationen.

RAINS review: RAINS-modellen har gennemgået en review-proces i 2004 hvor et internationalt panel af eksperter gennemgik de enkelte processer i modellen samt modellen i sin helhed (Review, 2004). Review-panelet konstaterer at dokumentationen af modelsystemets enkeltdele er mangelfuld. De er også kritiske overfor de ovennævnte fremgangsmåder angående den anvendte meteorologi, der ikke gør rede for variationen mellem forskellige år, antagelsen af linearitet for source-receptor relationerne, der ikke er realistisk samt manglen på sekundære organiske partikler og naturlige aerosoler.

Validering: Resultaterne fra RAINS-systemet er endnu ikke blevet udsat for en grundig videnskabelig validering. Der er desuden ikke gennemført en usikkerhedsanalyse af scenarieresultaterne. Der er grundlæggende to måder RAINS kan valideres på:

- 1) at sammenligne koncentrationerne af fx $PM_{2.5}$ fra RAINS med tilsvarende målinger eller tilsvarende modelresultater over hele Europa, og
- 2) at sammenligne resultaterne fra udvalgte scenarieresultater fra RAINS med tilsvarende scenarieresultater fra en atmosfærisk kemi-transportmodel (som fx EMEP-modellen eller DEHM-modellen).

Især 2) er vigtigt, da scenarieberegningerne er baseret på lineære antagelser og kemien i en kemi-transportmodel er stærkt ikke-lineær. En sådan sammenligning vil give et estimat for usikkerheden ved den lineære antagelse.

Vi har i forbindelse med denne rapport lavet en første validering af RAINS i forhold til 1) ved brug af tilgængelige danske data (afsnit 3.3).

3.3 Validering af PM_{2,5} koncentrationer fra RAINS med danske data

IIASA har udtrykket koncentrationer af PM_{2,5} fra en basiskørsel med RAINS med emissioner for år 2000. En basiskørsel med RAINS, betyder at der ikke er foretaget emissionsreduktioner og data må derfor formodes at være lig med resultaterne fra EMEP-modellen, der benyttes som grundlag for RAINS. Disse data er sendt til DMU efter forespørgsel. Vi har herunder sammenlignet disse resultater med danske målinger samt med tilsvarende resultater fra den Danske Eulerske Hemisfæriske Model (DEHM), for at undersøge om der er generelle systematiske fejl i RAINS resultater. Det skal understreges at de følgende resultater ikke omhandler validiteten af scenarieberegningerne, men at en sådan sammenligning af PM_{2,5} koncentrationer fra RAINS med danske målinger og modelresultater indikerer om udgangspunktet for IIASA's modelberegninger vedrørende temastrategien er rimeligt.

RAINS-beregningerne er beregnet på baggrund af meteorologiske data fra 1997, hvilket der må tages forbehold for når man sammenligner de estimerede PM_{2,5} koncentrationer med danske målinger og modelresultater.

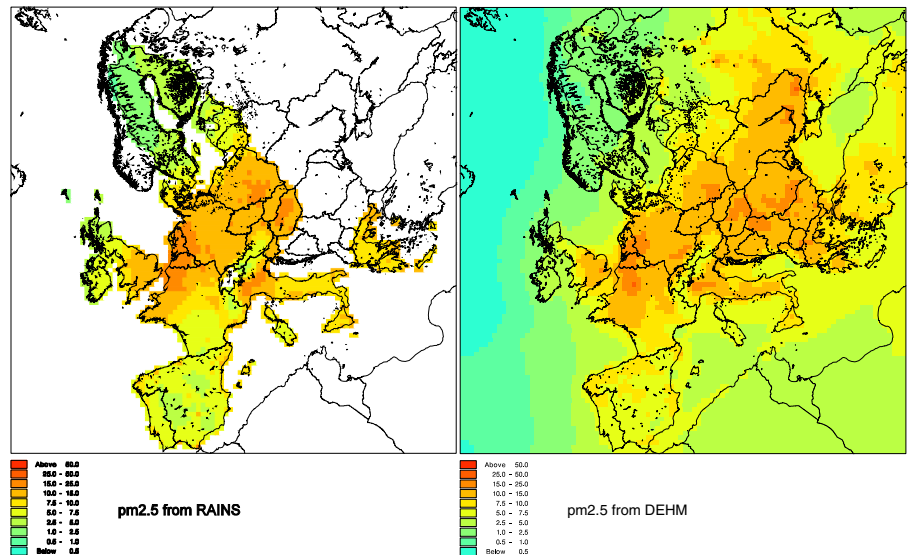
I tabel 3.1 er vist en sammenligning af beregnede koncentrationer som årsmiddelværdier af sekundære uorganiske partikler (ammonium, nitrat og sulfat) fra RAINS med tilsvarende målinger for seks danske stationer fra NOVANA 2000. Der er generelt en god overensstemmelse mellem målinger og modelresultater for disse stationer, specielt mellem middelværdierne over alle seks stationer.

Tabel 3.1 Sammenligning af beregnede koncentrationer af sekundære uorganiske partikler (ammonium, nitrat og sulfat) fra RAINS med tilsvarende målinger i år 2000 for seks danske stationer fra NOVA 2003.

	Målinger	RAINS
	µg/m³	µg/m³
Anholt	7,6	6,4
Frederiksborg	7,6	7,1
Keldsnor	10,2	8,8
Lindet	9,2	8,3
Ulborg	6,4	6,4
Tange	8,0	6,8
Middel	8,2	7,3

IIASA's modelresultater fra år 2000 er desuden sammenlignet med resultater fra DEHM-modellen, se figur 3.1. DEHM-resultaterne er beregnet med emissioner for år 2002 og meteorologi for år 2004. Der må derfor her tages forbehold for, at resultaterne fra RAINS og DEHM dækker forskellige år.

Resultaterne i figur 3.1 inkluderer de sekundære uorganiske partikler samt de primære emissioner af PM_{2,5}. Det ses at de estimerede PM_{2,5}-koncentrationer fra de to modeller generelt er på samme niveau og generelt har samme fordelingsmønster.



Figur 3.1 Estimerede primære og sekundære uorganiske $PM_{2.5}$ koncentrationer fra RAINS for år 2000 (venstre) og fra DEHM for år 2004 (højre).

Det må derfor konkluderes, at udgangspunktet for IIASA's modelberegninger, svarende til resultaterne fra EMEP-modellen, vedrørende temastrategien er rimeligt.

3.4 Konklusion

Der er ingen tvivl om at de foreslåede emissionsreduktioner i temastrategien vil resultere i et generelt fald i $PM_{2.5}$ -koncentrationerne i Europa. Dette resultat fremkommer også ved brug af RAINS-metoden.

Det er ikke muligt at kvantificere eventuelle unøjagtigheder eller systematiske bias i de estimerede scenarier af $PM_{2.5}$ -koncentrationer på grundlag af de rapporter og beregninger som IIASA har udgivet.

For at kunne give et kvantitativt bud på hvad de forskellige punkter der er beskrevet ovenfor betyder for Danmark, er det nødvendigt at genberegne scenarierne med en dynamisk state-of-the-art 3D-atmosfærisk-kemi-transportmodel som fx DEHM-modellen, der er udviklet på DMU (og ligner EMEP-modellen i vid udstrækning). Disse beregninger vil kunne kvantificere unøjagtigheder med udgangspunkt i de enkelte kritikpunkter. Specielt forudsætningen om den simplificerede lineære matematiske beskrivelse af ikke-lineariteten i source-receptor relationerne, samt betydningen af brugen af kun ét meteorologisk år, vil kunne testes og kvantificeres. Implementering af emissionsscenerier samt beregninger med DEHM tager ca. fire uger for et enkelt år og det har derfor ikke været muligt at gennemføre nye beregninger i forbindelse med nærværende udredning.

Ud fra de ovenfor beskrevne usikkerheder må det påregnes at de beregnede fald i $PM_{2.5}$ -koncentrationer som udspringer af scenarieberegningerne foretaget med RAINS er forbundet med en væsentlig usikkerhed. Usikkerheden kan dog være større for de enkelte stoffer der tilsammen udgør $PM_{2.5}$, end for den samlede $PM_{2.5}$ -koncentration.

Det skal endnu en gang understreges, at det ikke er muligt at vurdere om scenarierne er over- eller undervurderet.

3.5 Anbefalinger

Optimering af source-receptor relationer med effekter og cost-benefit er en meget computerkrævende proces, som på nuværende tidspunkt ikke lader sig gøre med state-of-the-art atmosfæriske kemi-transportmodeller (som fx EMEP-modellen eller den danske DEHM-model). Dette er en af grundene til at man har udviklet RAINS til dette formål. Scenarieberegningerne med RAINS er dog højst usikre, da de atmosfære-kemiske processer er stærkt simplificeret.

Det anbefales derfor at fortsætte med at benytte RAINS til dette formål (optimering af omkostninger), men samtidig at sørge for at det færdige forhandlingsresultat (i form af specifikke emissionsreduktioner for de enkelte lande) genberegnes med en eller flere state-of-the-art atmosfæriske kemi-transportmodeller for at kontrollere validiteten af scenarierne (fx om de ønskede koncentrationslofter faktisk opnås ved givne emissionsreduktioner). Dette kunne ske enten ved at lade EMEP genberegne de færdigforhandlede scenarier, eller ved at de respektive deltagerlande får validiteten kontrolleret af deres egne forskningsinstitutioner, der har tilsvarende modeller.

4 Vurdering af status og reduktionskrav for PM_{2,5} i Danmark

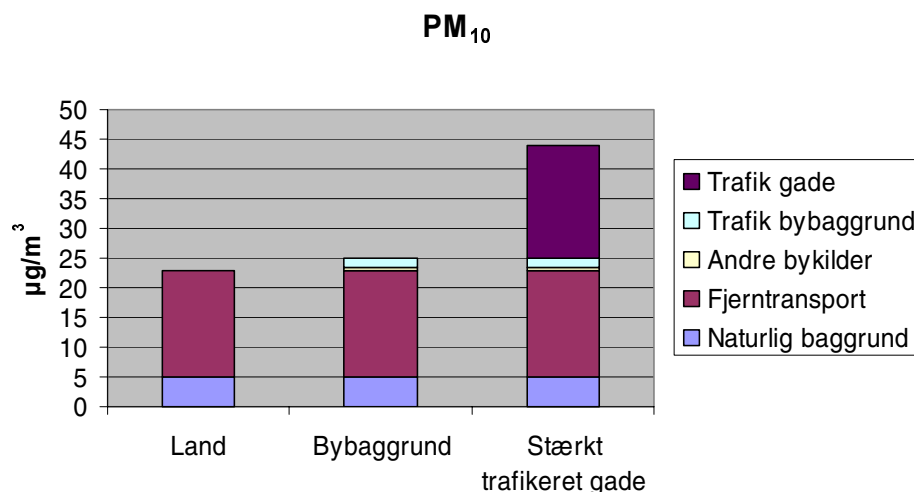
I dette kapitel gives en kort redegørelse for status for luftforurening med partikler i Danmark samt en vurdering af muligheder for, at Danmark kan overholde de to krav til PM_{2,5}, som foreslås i udkast til det nye Luftkvalitetsdirektiv:

- I 2010 skal PM_{2,5} alle steder i medlemsstaterne ligge under 25 µg/m³. Undtaget herfra er lukkede rum som fx parkeringskældre og S-togstationer.
- PM_{2,5} i bybaggrund skal være reduceret med 20% fra 2010 til 2020.

Vurdering af muligheder for overholdelse af disse krav baseres primært på de i NEC-direktivet vedtagne nationale emissionslofter for år 2010 og temastrategiens foreslåede nationale emissionslofter for år 2020.

4.1 Nuværende partikelniveau i Danmark

Partikelforureningen i en gade i Danmark er et resultat af partikler fra naturlige kilder, fra andre lande (fjerntransport), dansk baggrund, byen som sådan og fra den lokale trafik i en gade. Dette er vist skematisk for PM₁₀ i nedenstående figur 4.1.



Figur 4.1 Typisk relative kildebidrag PM₁₀ på landet, i bybaggrund og i stærkt trafikeret gade.

PM_{2,5} består ligeledes af partikler fra disse kilder, men da partiklerne er mindre, er der en anden vægtning mellem bidrag fra de forskellige kilder end for PM₁₀. PM_{2,5} er såkaldt fine partikler (diameter mindre end 2,5 µm) som transporteres længere gennem luften end de grovere partikler (mellem 2,5 og 10 µm), som udgør en betydelig del af PM₁₀. De grovere partikler afsættes simpelthen hurtigere på overflader pga. gravitation og transporteres derfor ikke særlig langt. De fjerntransporterede partikler udgør derfor en stor del af PM_{2,5}.

Fjerntransportbidraget kan opdeles i tre kategorier:

- Sekundære uorganiske partikler, som hovedsagelig består af ammoniumsulfat og ammoniumnitrat. Disse partikler dannes via kemiske reaktioner i luften ud fra emission af hovedsageligt kvælstofilter, ammoniak og svovldioxid.
- Sekundære organiske partikler. Disse partikler dannes via de kemiske reaktioner i luften ud fra emission af letfordampelige organiske stoffer (VOC). Kilderne til VOC er både antropogene og biogene fx fordampning fra vegetation.
- Primære partikler, som er de direkte emitterede partikler fx sod fra udstødning.

Fjerntransportbidraget bestemmes især af emissionerne i Europa og de sekundære uorganiske partikler reguleres dermed af NEC-direktivet og andre europæiske tiltag. Den danske emission af specielt NH_3 spiller dog også en rolle for niveauet af sekundære organiske partikler i Danmark.

Betydning af de nationale og internationale kilders indflydelse på fjerntransport af sekundære uorganiske partikler kan illustreres med beregninger udført af EMEP. Under EMEP beregnes hvor store mængder af NO_x , SO_2 og NH_3 , som emitteres i et land, der afsættes i eget land og øvrige lande. En oversigt er vist i tabel 4.1. Stofferne omdannes undervejs og afsætningen sker i Danmark via nedbør og direkte fra luften. Effekterne i Danmark er således påvirket af emissioner i Europa og tilgrænsende områder. Kun emissionen af ammoniak spiller en vigtig rolle for afsætningen i Danmark selv. Emissioner i Danmark påvirker så til gengæld luftforureningen i vore nabolande.

Tabel 4.1 Emission og afsætning af NO_x , SO_2 og NH_3 i Europa (og tilgrænsende områder) i 2010 (kt/år). Beregnet med EMEP's model (Ellerman et al., 2005).

	Emission total	Emission fra DK	Afsætning i DK fra andre områder	Afsætning i DK fra DK
SO_2	18644	18	31	1,8
NO_x	18980	147	59	1,3
NH_3	6976	81	16	18

Figur 4.2 viser de p.t. typiske bidrag til $\text{PM}_{2,5}$ i fx H.C. Andersens Boulevard i København, som må anses for at være et af de værst forurenede steder i Danmark mht. $\text{PM}_{2,5}$.

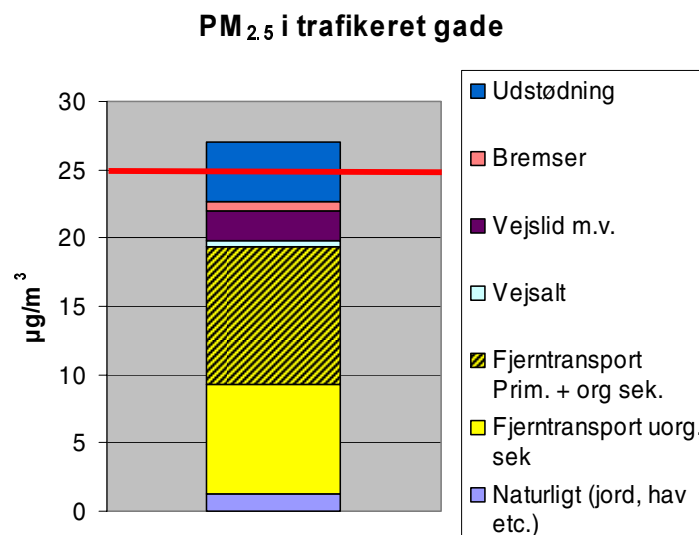
De væsentligste trafikbidrag er udstødning, bremses, vejstøv og vejsalt. Heraf bliver kun den del der stammer fra udstødning reguleret af Euro-normerne. De øvrige bidrag fra trafikken er ikke reguleret.

De fjerntransporterede partikler udgør i alt lidt under $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ som årgennemsnit. Heraf udgør de sekundære uorganiske partikler, som dannes ud fra europæiske emissioner af SO_2 , NO_x og NH_3 , i alt ca. $8 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Desuden er der et bidrag på ca. $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i form af primære partikler og sekundære organiske partikler, herunder et "naturligt" bidrag fra bl.a. vegetationen. Når disse to kildetyper er slået sammen i figur 4.2 skyldes det, at de rent måleteknisk ikke har kunnet adskilles. Ifølge

data fra de europæiske opgørelser vides, at de primære partikler svarer til ca. 10% af de sekundære uorganiske partikler og dermed ca. $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ under danske forhold.

De naturlige kilder, fx jordstøv og salt fra havet, er især relativt store partikler og udgør derfor kun en beskedent del af den samlede $\text{PM}_{2,5}$ (ca. $1-2 \mu\text{g}/\text{m}^3$).



Figur 4.2 Bidrag til $\text{PM}_{2,5}$ baseret på måledata fra Lille Valby, H.C. Ørsted Institutet og H.C. Andersens Boulevard i 2004. Fjerntransportbidraget er vist i gule farver. Koncentrationsloftet på $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ er angivet med den røde linie (Kemp et al., 2004).

Udover målingerne i byerne er der også foretaget målinger af forekomsten af sekundære uorganiske partikler i baggrundsområder i forbindelse med luftovervågningen i NOVA 2003. Disse partikler er hovedsageligt $\text{PM}_{2,5}$ -partikler. I tabel 4.2 er vist data fra 2003 fra en række baggrundsmålestationer.

Tabel 4.2 Årsmiddelkoncentrationer i 2003 af ammonium, nitrat og sulfat baseret på målinger i NOVA 2003. Summen er et mål for bidraget til $\text{PM}_{2,5}$.

	NH_4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	NO_3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	SO_4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	SUM $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Anholt	1,6	3,6	2,7	7,9
Frederiksborg	1,7	3,4	2,5	7,6
Keldsnor	2,8	5,6	2,4	10,8
Lindet	2,7	5,6	2,3	10,5
Ulborg	1,8	3,5	1,5	6,8
Tange	2,3	4,1	2,0	8,3
Middel	2,2	4,4	2,3	8,8

Det fremgår heraf, at niveauet af disse partikler er ret jævnt fordelt henover landet, men med en klar gradient fra syd mod nord (Keldsnor på sydspidsen af Langeland og Lindet i Sønderjylland viser en højere sum end de øvrige stationer). Der er desuden et lidt højere niveau midt i Jylland (Tange). Ud fra modelberegninger vides, at om-

kring 50% af den partikulært bundne ammonium i Midtjylland kommer fra danske kilder. Det skønnes derfor at omkring $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ partikulært ammonium stammer fra danske kilder.

Udover de tidligere nævnte kilder er der bidrag fra afbrænding af biomasse/vilde brande, specielt i Østeuropa, samt støv fra fx Sahara, som af og til påvirker $\text{PM}_{2.5}$ -niveauet i Danmark. I 2003 havde vi en episode med skov-/sumpbrande ca. 200 km øst for Moskva, som gav anledning til de højeste PM -niveauer vi har målt i Danmark.

4.2 Vurdering af Danmarks muligheder for at overholde koncentrationsloft for $\text{PM}_{2.5}$ på $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ i år 2010

Koncentrationsloftet for $\text{PM}_{2.5}$ på $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ har, som det fremgår af ovenstående afsnit, været overskredet i de senere år. Efter bedste skøn forventes det imidlertid, at dette ikke sker fra 2010 og fremefter, på basis af følgende vurderinger:

- Fjerntransportbidraget vil falde i forhold til nuværende emissioner som følge af NEC-direktivet og anden eksisterende lovgivning (se kapitel 4.3).
- Udslip fra udstødning vil reduceres som følge af Euro-normerne.
- Der forventes ikke stigende udstødningsbidrag fra trafikken i de mest trafikerede gader på grund af stigende trafik, fordi disse gader i forvejen stort set er mættet med trafik.
- En stigning i den samlede trafik i fx hele hovedstadsområdet vil give en stigning i bybaggrunds niveauet, men da dette bidrag kun er ca. $1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ skal stigningen være meget stor, før det får betydning.

Derimod kan der ske stigning i udslip fra trafik, hvis antallet af dieslbiler uden partikelfiltre stiger væsentligt. En regulering af dette bidrag via krav om partikelfiltre kan derfor blive en nødvendighed for overholdelse af koncentrationsloftet.

Da en overholdelse af krav til $\text{PM}_{2.5}$ i år 2010 bl.a. er baseret på et fald i emissionerne af SO_2 , NO_x og NH_3 er det en forudsætning for ovenstående vurdering, at de enkelte medlemsstater i EU overholder deres forpligtelser i NEC-direktivet.

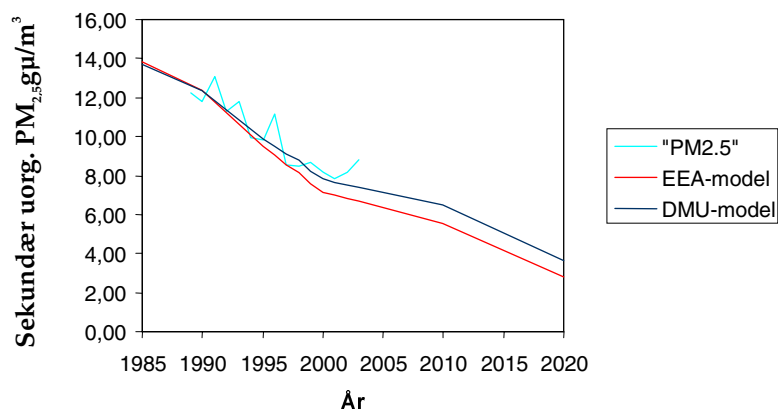
Konklusionen om, at Danmark efter det mest kvalificerede skøn kan overholde koncentrationsloft i 2010 skal endvidere tages med det forbehold, at der er en ikke uvæsentlig usikkerhed på fremskrivning af partikelforureningen.

4.3 20% reduktionsmål for $\text{PM}_{2.5}$ i bybaggrund

Bybaggrunds niveauet for $\text{PM}_{2.5}$ er domineret af fjerntransport, idet kun nogle få procent skyldes lokale kilder. Her må dog undtages visse boligområder med mange brændeovne, som bidrager væsentligt til $\text{PM}_{2.5}$. Generelle reduktioner i $\text{PM}_{2.5}$ i bybaggrund i Danmark er derfor især bestemt af de europæiske tiltag.

De foreslåede tiltag i EU's temastrategi for luftforureningen vil give væsentlige reduktioner af emissionerne af NO_x , SO_2 , NH_3 , VOC og primære partikler (se tabel 4.2).

Reduktion af emissionerne af stofferne NO_x , SO_2 og NH_3 vil føre til dannelse af færre sekundære uorganiske partikler. EEA har anvendt en semi-empirisk omregningsmetode for at vurdere ændringer i sekundære uorganiske partikler, som følge af reduktionerne i emissionen af disse gasser.³ Denne metode bygger på antagelse om en lineær sammenhæng mellem emissioner og resulterende koncentration af $\text{PM}_{2,5}$ og er derfor, som påpeget i kapitel 4, behæftet med en ikke uvæsentlig usikkerhed. Grundet den begrænsede tid har det imidlertid ikke været muligt, at udføre egentlige modelberegninger specifikt for Danmark og det er derfor valgt at basere en foreløbig vurdering på denne semi-empiriske metode. En sammenligning mellem metoden og de hidtidige målinger af sekundær uorganisk $\text{PM}_{2,5}$ kan ses i figur 4.3, hvor der også kan ses resultater af en tilsvarende semi-empirisk omregningsmetode udviklet på DMU.



Figur 4.3 Empirisk sammenhæng mellem koncentrationen af uorganiske sekundære partikler (" $\text{PM}_{2,5}$ ") beregnet på grundlag af målinger under NOVANA af emissionerne i de pågældende år 1989 – 2003. Resultatet er sammenlignet med EEA simple model, som er anvendt i denne rapport.

Den semi-empiriske omregningsmetode er anvendt i tabel 4.3 til at vurdere, hvor meget sekundær uorganisk $\text{PM}_{2,5}$ i Danmark vil reduceres, som følge af de foreslåede emissionsændringer i EU-25. Der er lavet tilsvarende beregninger, hvor kun de væsentligste lande omkring Danmark er medtaget, dvs. Tyskland, Holland, Frankrig, England, Polen, Tjekkiske Republik og Litauen, for at give et bedre skøn over ændringer i $\text{PM}_{2,5}$ -koncentrationen i Danmark, men det ændrer ikke væsentligt på konklusionerne.

³ Metoden er udviklet under EEA/TOPIC Center for klimaforandringer og luftforurening af RIVM i Holland og er baseret på europæiske målinger. Man regner med at $\text{PM}_{2,5} = 0,54 \cdot \text{SO}_2 + 0,88 \cdot \text{NO}_x + 0,64 \cdot \text{NH}_3$

Tabel 4.3 Emissioner og beregnede sekundære partikler i 2000, samt de tilsvarende for NEC 2010, CLE 2020 og tematisk strategi 2020 for EU-25 (kt/år)

	2000	NEC 2010	CLE 2020	TS 2020
SO ₂	8735	6543	2805	1602
NO _x	11581	8319	5888	4657
VOC	10661	8150	5916	5252
NH ₃	3824	3976	3686	2774
prim.PM _{2.5}	1749	-	964	714
PM _{2.5} sec	17355	13398	9055	6738

Det fremgår af tabellen, at der efter det bedste nuværende skøn kan forventes en reduktion på ca. 50% i sekundær uorganisk PM_{2.5} fra NEC-direktivets samlede emissioner i 2010 til temastrategiens emissioner i 2020. Det vurderes derfor, at reduktionen i den samlede PM_{2.5} fra NEC-direktivets krav i 2010 til temastrategiens emissioner i 2020 vil være ca. 25%.

Det er ikke muligt her at medtage de sekundære organiske partikler, som i Danmark skønsmæssigt udgør 20-40% af PM_{2.5}, fordi man ikke kender deres kilder og dannelsesprocesserne. Disse partikler er heller ikke medtaget i RAINS-beregningerne, som derfor generelt underestimerer PM_{2.5}. Det forventes dog at reduktionerne i emission af VOC på 40% i EU (se tabel 4.3) vil føre til reduktioner i PM_{2.5}.

Det er ikke p.t. muligt at vurdere effekten af NO_x og SO₂ fra international skibstrafik, men af data fra EMEP fremgår det at NO_x fra skibstrafikken vil stige med 13% fra 2010 til 2020. Endvidere angiver EMEP, at ca. 6% af kvælstofafsætningen på danske landområder stammer fra skibstrafikken.

Heller ikke effekten af fx CAP (Common Agriculture Policy) reformen på NH₃ emissionen er medtaget i overvejelserne, hverken i IIA-SA's beregninger eller i dette projekt.

På basis af ovenstående betragtninger er det DMU's mest kvalificerede vurdering, at det må forventes, at Danmark vil kunne overholde kravet om en 20% reduktion af PM_{2.5} i bybaggrund. Dette er under forudsætning af, at de foreslåede nationale emissionslofter for år 2020 i EU's temastrategi udmøntes i de kommende forhandlinger om et nyt NEC-direktiv. Denne konklusion er med forbehold for ovenstående begrænsninger i den viden, som i dag foreligger om navnlig primære og organisk PM_{2.5}, samt at den semi-empiriske metode er behæftet med en ikke uvæsentlig usikkerhed. Usikkerheden vil kunne reduceres ved egentlige modelberegninger.

Endelig skal det bemærkes at de foreslåede reduktioner af NH₃ og NO_x vil have en stor betydning for kvælstoftilførslen til natur og vandmiljø, hvilket skal ses i relation til bl.a. habitat-direktivet og vandrammedirektivet.

5 Vurdering af omkostningsberegningerne

Som omtalt i kapitel 1 repræsenterer temastrategien en skærpelse af det gældende NEC-direktiv. Dette direktiv indebærer, at der i Danmark i perioden 2006 - 2010 skal gennemføres en række foranstaltninger, som bl.a. sikrer, at NO_x -emissionerne i 2010 ikke overstiger 127.000 tons. Disse foranstaltninger vil også i de fleste tilfælde have konsekvenser for emissionerne af en række stoffer i 2020, der er tidshorisonten for temastrategien. For at beregne de meromkostninger, temastrategien påfører Danmark, er det derfor nødvendigt at gennemføre følgende analysetrin:

1. Basisfremskrivning af emissioner for perioden 2006 - 2020 inden initiativer til opfyldelse af NEC-direktivet er gennemført
2. Fastlæggelse af omkostningseffektive tiltag, der skal gennemføres i perioden 2006 - 2010 for at NEC-direktivet bliver opfyldt i 2010
3. Ny basisfremskrivning af emissioner, hvori tiltagene til opfyldelse af NEC-direktivet er indarbejdet
4. Fastsættelse af behovet for emissionsreduktioner i perioden frem til 2020 for at opfylde temastrategiens emissionslofter i dette år
5. Fastlæggelse af omkostningseffektive tiltag, der fører til, at temastrategiens emissionslofter i 2020 bliver opfyldt

Omkostningerne ved at gennemføre de under pkt. 5 angivne tiltag repræsenterer herefter meromkostningerne ved at opfylde temastrategiens emissionsmålsætninger.

Det har imidlertid ikke inden for den udstukne tidsramme været muligt at gennemføre den skitserede analyse. Dette skyldes følgende forhold:

- Den seneste danske fremskrivning af NO_x -emissionerne er under revision, og der foreligger ikke en officiel fremskrivning af SO_2 -emissionerne til 2020.
- Der er endnu ikke taget endelig stilling til, hvilke danske initiativer, der skal gennemføres for at opfylde NEC-direktivet.

I dette kapitel gennemføres i stedet en vurdering af de omkostninger, som Danmark i følge IIASA's beregninger vil blive påført for at kunne opfylde temastrategiens målsætninger.

IIASA's omkostningsberegninger for Danmark er sammenfattet i tabel 5.1. Det ses, at de samlede omkostninger ved at gennemføre temastrategien er opgjort til godt 630 mio. DKK om året i år 2020 (år 2000 prisniveau). De årlige omkostninger fordeler sig på sektorer med 329 mio. DKK, 157 mio. DKK og 145 mio. DKK for hhv. landbrug, faste anlæg i industri og forsyningsvirksomhed samt trafik. IIASA har også fordelt omkostningerne på emissionstyper med hhv. 10 mio. DKK, 329 mio. DKK, 133 mio. DKK, 7 mio. DKK og 7 mio. DKK på hhv. $\text{PM}_{2,5}$, NH_3 , NO_x , SO_2 og VOC samt 145 mio. DKK i tra-

fiksektoren, der omfatter PM_{2,5} og NO_x, men ikke er fordelt på emissions-typer.

Tabel 5.1 IIASA's skøn for årlige omkostninger i år 2020 for Danmark ved at gennemføre temastrategien for luftforurening – mio. DKK (2000 prisniveau)

			Landbrug		Faste anlæg (industri og forsynings- virksomheder)		Trafik	
	Reduktion i alt (kt)	Omkostning i alt	Reduktion (kt)	Omkostning	Reduktion (kt)	Omkostning	Reduktion (kt)	Omkostning
PM _{2,5}	1	10			1	10	0	
NH ₃	16	329	16	329				
NO _x	21	133			16	133	5	
SO ₂	1	7			1	7		
VOC	4	7			4	7		
Ufordelt		145						145
I alt		631		329		157		145

Note: Beløbene i DKK er omregnet fra EUR med en valutakurs på 7,4 og derefter afrundet til hele mio. DKK.

Kilde: EU Commission (2005) og Amann et al. (2005a)

Omkostningerne er beregnet ud fra de i tabellens første søjle angivne reduktionsbehov i forhold til den af IIASA forudsatte basisfremskrivning. Omkostningerne dækker altså de yderligere initiativer ud over allerede planlagt og vedtagne, der ifølge EU er nødvendige for, at Danmark kan opfylde temastrategiens målsætninger i 2020.

Ved vurderingen af disse omkostningsberegninger er det vigtigt at være opmærksom på følgende forhold:

1. Den basisfremskrivning IIASA benytter for emissionerne vedrører de forventede emissioner før initiativerne til opfyldelse af NEC-direktivet er gennemført. De beregnede omkostninger omfatter altså både omkostningerne ved at opfylde dette direktiv og temastrategiens målsætninger.
2. Den basisfremskrivning IIASA benytter adskiller sig væsentligt fra den tilsvarende danske fremskrivning - jf. kapitel 3. Dette indebærer, at IIASA's valg af reduktionstiltag og omkostningerne herved vil være forskellige fra tilsvarende danske vurderinger. De beregnede omkostninger vil blive påvirket på to måder:
 - Reduktionsbehovet adskiller sig fra det IIASA forudsætter
 - Relevansen af de af IIASA forudsatte reduktionstiltag

Et større reduktionsbehov påvirker omkostningerne i opadgående retning og omvendt. Basisfremskrivningens emissioner afspejler en bestemt energifremskrivning og de i denne forudsatte teknologi. Forskelle mellem IIASA's og de danske basisfremskrivninger kan bero på forskelle i anvendt teknologi, hvilket kan have konsekvenser for, hvilke reduktionstiltag der er relevante, og dermed også for omkostningerne.

3. IIASA's omkostningsberegninger vedrører alene tekniske reduktionstiltag, der påvirker de givne økonomiske aktiviteters emissionskoefficienter. IIASA analyserer derved alene teknologiske tiltag, der retter sig mod reduktion af emissionskoefficienten for ét

bestemt stof ad gangen, knyttet til ét bestemt brændsel og én bestemt forbrændingsteknologi. Man ser herved bort fra tiltag, der repræsenterer udskiftningen af én produktionsteknologi med en anden - fx erstatning af kraftværksbaseret elproduktion med vindmøllebaseret produktion. Der ses også bort fra tiltag, som påvirker emissionerne gennem regulering af den økonomiske adfærd. En sådan afgrænsning af de analyserede tiltag begrænser selvsagt de samlede reduktionsmuligheder. Når temastrategien forudsættes gennemført med sådanne tiltag, indebærer det formentlig også, at strategien giver anledning til højere omkostninger end nødvendigt.

4. IASA beregner tiltagenes omkostninger i faktorpriser svarende til danske budgetøkonomiske beregninger. Valget af en budgetøkonomisk tilgang indebærer endvidere, at værdien af tiltagenes afledte miljøeffekter er udeladt af IASA's omkostningsberegninger. Sådanne afledte effekter inddrages typisk i forbindelse med danske velfærdsøkonomiske analyser.

I det følgende gøres nærmere rede for IASA's omkostningsberegninger. I afsnit 5.1 omtales, hvilke tiltag der forudsættes gennemført i Danmark, og hvor meget IASA har beregnet dem til at koste. Det vurderes for det første, om der er behov for tiltagene. For det andet vurderes om tiltagene repræsenterer en relevant ændring i forhold til den forventede teknologianvendelse i Danmark. Endelig vurderes det, om de af IASA opgjorte omkostninger forekommer rimelige i forhold til de i tilsvarende danske studier opgjorte omkostninger. I afsnit 5.2 omtales en række forhold, som kan begrunde de observerede forskelle mellem IASA's omkostningsberegninger og tilsvarende danske.

5.1 Temastrategiens teknologiske tiltag

Ifølge temastrategiens målsætninger skal der i Danmark gennemføres en række reduktionstiltag, der retter sig mod hhv. NH_3 -, NO_x -, SO_2 -, $PM_{2,5}$ - og VOC-emissionerne - jf. kapitel 1, hvor det forklares, hvorledes emissionslofterne for de enkelte stoffer og lande er fastsat. Tiltagene skal gennemføres i hhv. landbrugssektoren, industri- og forsyningssektoren samt trafiksektoren. I det følgende omtales tiltagene, systematiseret efter hvilken emissionstype de retter sig mod. Der ses dog bort fra en præsentation og diskussion af tiltag rettet mod reduktion af VOC-emissionerne givet at eksisterende danske fremskrivninger er forældet og at der ikke på nuværende tidspunkt findes opdaterede emissionsfremskrivninger til år 2020.

Omkostningerne i år 2020 er udtryk for de årlige omkostninger ved at anvende den pågældende teknologi. De årlige omkostninger er beregnet ved at annuisere omkostningerne over tiltagets levetid. Det er ikke specificeret, hvornår tiltaget gennemføres, og den årlige omkostning er derfor også upåvirket af, om tiltaget gennemføres tidligt eller sent i perioden frem til 2020. Der er således heller ikke taget stilling til, hvornår det vil være optimalt at gennemføre tiltaget - herunder udskifte eventuel gammel teknologi med den nye. Det enkelte tiltag forudsættes blot at være i fuld drift i år 2020.

Vurderingen af omkostningsberegningerne koncentrerer sig i første omgang om to forhold:

- Er de konkrete teknologiske tiltag relevante for Danmark, eller er de måske allerede i en vis udstrækning gennemført?
- Forekommer de beregnede omkostninger rimelige i forhold til tilsvarende danske omkostningsberegninger?

Det første forhold hænger i høj grad sammen med specifikationen af basisscenariet. Dette bør afspejle den økonomiske og teknologiske udvikling i samfundet, som må forventes at finde sted, hvis man undlader at gennemføre luftforureningsstrategien. Temastrategien skal altså omfatte foranstaltninger over for luftforureningen ud over allerede planlagte og vedtagne tiltag.

Omkostningerne er beregnet under en lang række mere eller mindre fælles EU-forudsætninger om tiltagenes reduktionspotentiale, priser på forskellige ressourcer samt diskonteringsraten. Der er derfor grund til for de få tiltag, hvor det er muligt, at undersøge, om de beregnede omkostninger forekommer rimelige i forhold til konkrete danske omkostningsberegninger. Nogle af de mulige årsager til forskelle mellem EU's og de danske beregninger omtales i afsnit 5.2.

5.1.1 NH₃-tiltag i landbrugssektoren

I kapitel 2 blev det omtalt, at de danske emissioner af NH₃ i 2020 i følge den seneste danske emissionsfremskrivning formentlig vil være ca. 60.000 tons - altså på niveau med den i temastrategien foreslåede årlige emission på 62.000 tons. Dette skyldes primært effektiviseringer i landbruget, gennemførelse af Vandmiljøplan III, Ammoniak-handlingsplanen samt kravene i habitat-direktivet, om at depositionen til naturfølsomme områder ikke må stige. Temastrategiens emissionsloft for NH₃ giver altså ikke umiddelbart anledning til yderligere omkostninger for landbrugssektoren.

Dette hænger sammen med, at en række af de af IIASA foreslåede tiltag til nedbringelse af NH₃-emissionerne som følge af de omtalte danske initiativer under alle omstændigheder må antages at blive gennemført i Danmark frem til år 2020. De af IIASA foreslåede tiltag er angivet i tabel 5.2.

Tabel 5.2 Emissionsreduktioner og omkostninger ved tiltag der nedbringer NH₃-emissionerne fra landbrugs-sektoren.

Tiltag	Emissionsreduktion (kt)	Omkostninger i alt (mio. DKK)	Omkostning pr. kg NH ₃ (mio. DKK)
Udbringning af flydende gødning (malkekvæg)	4,2	88,9	21
Udbringning af fast gødning (malkekvæg)	0,2	1,8	9
Udbringning af fast gødning (andet kvæg)	0,3	7,3	23
Udbringning af gylle og overdækning af gylletanke (svin)	6,0	148,0	25
Udbringning af fast gødning (svin)	0,8	27,0	33
Staldsystemer og udbringning af gødning (liggehøns)	1,0	13,3	14
Staldsystemer og udbringning af gødning (andet fjerkræ)	2,9	41,4	14
Erstatning af urea med anden gødning	0,2	1,1	7
I alt	15,6	328,8	

Note: Beløbene i DKK er omregnet fra EUR med en valutakurs på 7,4 og derefter afrundet til hele mio. DKK. Omkostninger er beregnet i 2000-prisniveau.

Kilde: IIASA (2006)

Den danske basisfremskrivning af NH₃-emissionerne omfatter i stor udstrækning de anførte tiltag vedrørende håndtering af husdyrgødning fra kvæg og svin. Tiltagene omfatter således metoder til nedfældning af gylle og nedmuldning af fast gødning på markerne inden for 12 timer efter udbringning. I den danske basisfremskrivning antages dette at være opfyldt. Tidskravet til nedmuldning af fast gødning ligger allerede nu på 6 timer. Overdækning af gyllebeholdere er et krav i husdyrbekendtgørelsen. Tiltaget vedrørende erstatning af urea med anden gødning er allerede gennemført i Danmark. IIASA forslår tekniske modifikationer i staldsystemer for fjerkræ i Danmark, hvilket indebærer enten tørring af gødning eller regelmæssigt fjernelse af gødning ved hjælp af skraber - jf. Klimont & Brink (2004). Indførelse af denne teknologi vil også i vid udstrækning finde sted i Danmark som følge af påbud om anvendelse af velfærdsbure i ægproduktionen - jf. Gyldenkerne & Mikkelsen (2005).

Sammenfattende må det vurderes, at IIASA's basisfremskrivning vedrørende NH₃-emissionerne og dermed de foreslåede tiltag til reduktion heraf ikke i tilstrækkelig grad afspejler de faktiske teknologiske forhold i den danske landbrugssektor. De af IIASA opgjorte omkostninger ved yderligere reduktion af NH₃-emissionerne i forhold til den danske basisfremskrivning afspejler derfor heller ikke danske forhold.

Hvis NH₃-emissionerne ønskes yderligere reduceret, kan der i stedet peges på mulighederne for modifikationer af staldsystemerne for svine- og kvægbesætninger samt på muligheden for at afbrænde fjerkrægødning. Der er ikke lavet konkrete danske omkostningsberegninger for sådanne tiltag.

5.1.2 NO_x-tiltag for faste anlæg i industri og forsyningsvirksomhed samt for transportmidler

I kapitel 2 blev det omtalt, at de samlede danske NO_x-emissioner i 2020 i følge den seneste danske emissionsfremskrivning formentlig vil være ca. 116.500 tons. I følge IIASA's basisfremskrivning forventes emissionerne at være 105.000 tons. De tiltag, som vil blive gennemført for at leve op til NEC-direktivets emissionsloft på 127.000 tons i 2010, er ikke indarbejdet i nogen af fremskrivningerne. Dette skyldes, at der ikke er taget stilling til, hvilke konkrete tiltag der vil blive gennemført. De meget forskellige udgangspunkter for omkostningsberegningerne, og dette, at de af NEC-direktivet affødte tiltag ikke er indarbejdet i nogen af basisfremskrivningerne, gør det meget vanskeligt at vurdere, hvilke meromkostninger for Danmark gennemførelsen af temastrategien vil have.

En egentlig analyse heraf kræver som omtalt i indledningen, at der udarbejdes en ny basisfremskrivning for NO_x-emissionerne frem til 2020, hvori er indarbejdet de konkrete tiltag, som vil blive gennemført for at opfylde NEC-direktivets emissionsloft på 127.000 tons i 2010. Den nye basisfremskrivning vil på den ene side afsløre, hvor meget emissionerne i 2020 yderligere skal reduceres for at nå temastrategiens emissionsloft på 84.000 tons i 2020, og på den anden side give mulighed for at vurdere, hvilke tiltag det vil være muligt og relevant at tage i anvendelse for at opfylde loftet. Det har ikke været muligt inden for projektets tidsramme at gennemføre en sådan analyse. Det er altså ikke muligt på det foreliggende grundlag at fastslå, hvilke meromkostninger - altså omkostninger ud over omkostningerne ved at opfylde NEC-direktivet - temastrategiens emissionsloft for NO_x-emissionerne vil påføre Danmark. Der kan dog på det foreliggende datagrundlag opstilles et illustrativt regnestykke over disse meromkostninger.

Det er reelt heller ikke meromkostningerne, IIASA har beregnet. Når de af NEC-direktivet affødte tiltag ikke er indarbejdet i basisfremskrivningen, dækker det af IIASA opgjorte reduktionsbehov på 21.000 tons - jf. tabel 5.1 - altså både over det behov, NEC-direktivet afføder, og det yderligere reduktionsbehov, temastrategiens stramning heraf afføder. De af IIASA opgjorte omkostninger ved at opfylde temastrategien omfatter tilsvarende både omkostningerne ved at gennemføre de med NEC-direktivet forbundne reduktionstiltag og omkostninger ved at gennemføre yderligere tiltag med henblik på at opfylde temastrategiens emissionsloft i 2020.

Tages der udgangspunkt i den danske basisfremskrivning kan reduktionsbehovet i 2020 imidlertid opgøres til 32.500 tons NO_x og ikke de af IIASA forudsatte 21.000 tons - jf. kapitel 2. Dette indikerer i sig selv, at de samlede årlige omkostninger for Danmark bliver undervurderet af IIASA.

I det følgende gøres der nærmere rede for, hvilke tiltag IIASA foreslår, bliver gennemført i Danmark med henblik på at opfylde temastrategien. For at vurdere tiltagenes relevans for Danmark og realismen af de anslåede reduktionsmuligheder og omkostninger sammenlignes de med tilsvarende danske beregninger i Miljøstyrelsen (2006) - i det følgende omtalt som NO_x-rapporten.

Det skal understreges, at Miljøstyrelsens NO_x-rapport kun foreligger i et foreløbigt udkast. Beregningerne skal revideres med nye energiprisforudsætninger svarende til den reviderede energifremskrivning DK2025, som endnu ikke er færdig, og der mangler beregninger for NO_x-reducerende tiltag i offshore-sektoren. NO_x-rapporten forventes at foreligge i maj 2006. Det skal også pointeres, at tiltagene i NO_x-rapporten er udformet med henblik på opfyldelse af NEC-direktivets målsætninger i 2010, som er en "mellemstation" til temastrategiens strengere målsætninger i 2020. I NO_x-rapporten er der ikke taget stilling til, hvorledes tiltagene implementeres - fx ved brug af økonomiske styringsmidler eller andet.

Tiltagene for industri og forsyningsvirksomhed omtales først, og dernæst omtales de for transportmidler foreslåede tiltag.

Industri og forsyningsvirksomhed

I venstre del af tabel 5.3 er angivet IIASA's foreslåede reduktionstiltag. For hvert tiltag er angivet, hvor meget emissionerne reduceres herved, og hvor meget tiltaget koster. I tabellens højre del er anført de tilsvarende oplysninger for de tiltag, som er analyseret i NO_x-rapporten. Omkostningerne for NO_x-rapportens tiltag er opgjort som budgetøkonomiske omkostninger, da disse bedst lader sig sammenligne med IIASA's omkostningsberegninger - jf. afsnit 5.3.

Det skal bemærkes, at der i NO_x-rapporten ved beregningen af de årlige omkostninger (under hensyntagen til tiltagets tekniske levetid) er annuieret over en 30-årig tidshorisont fra tiltagets gennemførelse i et af årene i perioden 2005 - 2010 frem til 2035. Herved tages der højde for, at tiltagene igangsættes i forskellige år. I forhold til IIASA's omkostningsberegninger, hvor der er annuieret over tiltagets tekniske levetid uden hensyntagen til gennemførelsestidspunktet, betyder det at NO_x-rapportens årlige omkostninger er undervurderet. Til gengæld er IIASA's omkostninger beregnet med en diskonteringsrate på 4%. frem for de i NO_x-rapporten anvendte 6%, hvilket betyder at IIASA's omkostninger er undervurderet i forhold til NO_x-rapporten.

Tabel 5.3 IIASA's og NO_x-rapportens NO_x-reduktionstiltag for faste anlæg i industri og forsyningsvirksomhed

IIASA			NO _x -rapport fra Miljøstyrelsen		
Tiltag	Emissionsreduktion (kt)	Omkost. (mio. DKK)	Tiltag	Emissionsreduktion (kt)	Omkost. (mio. DKK)
Forbrændingsmodifikation (Lav NO_x brændere, (advanced) reburning, bedre styring)					
Heavy Fuel Olie (industri)	0,6	1,3			
Gas (industri)	5,1	17,4	LavNO _x -brænder kedl. indust. gas	0,7	2
Other liquids (industri)	0,2	1,2	LavNO _x -brænder kedl. indust. gasolie	0,7	1
Kul, biomasse, affald (industri)	0,5	2,4			
Heavy Fuel (bolig og handel)	0,05	0,3			
Gas (bolig og handel)	0,5	11,3			
Alle brændsler (eksist. kraftvarmeanlæg)	3,9	15,8	Bedre styring på kraftvarmeværker *	2,3	32
			Advanced reburning	0,6	38
SCR, SNCR					
Heavy Fuel (industri)	0,2	4,7			
Gas (industri)	1,8	38,2			
Kul (industri)	0,04	0,6			
Heavy fuel og kul (nye kraftanlæg)	0,03	0,2	Ej relevant		
Affald (nye kraftanlæg)	0,5	5,2	Ej relevant		
			SCR på gasmotorer (kraftvarme, små værker, 3MWe) *	2,7	62
Ikke brændselsrelateret					
Kontrol af procesemissioner	3,2	33,0			
Forbud mod åben forbrænding af affald	0,04	0,5			
Strukturtiltag					
Bortdefineret			Delvis boosting på kraftværker **	0,9	76
			(Fuld boosting på kraftværker) **	(3,3)	(1.424)
Bortdefineret			Havvindmøller ****	0,2	50
I alt	16,6	132,5	I alt ***	5,4	199

Note: * Bedre styring på kraftværker og SCR på gasmotorer udelukker hinanden.

** Delvis og fuld boosting på kraftværker udelukker hinanden.

*** Af de gensidigt udelukkende tiltag er valgt bedre styring på kraftværker og delvis boosting, fordi de har de laveste omkostninger pr. kg. NO_x-reduktion

**** Omkostningerne er beregnet som budgetøkonomiske omkostninger fratrukket værdien af elproduktionen opgjort til elmarkedsprisen

Anm: IIASA's beregnede omkostninger i EUR er omregnet til DKK med en valutakurs på 7,4. IIASA's omkostninger er opgjort i 2000-prisniveau, mens NO_x-rapportens omkostninger er i 2004-prisniveau

Kilde: IIASA (2006) og Miljøstyrelsen (2006)

Det ses, at IIASA's tiltag samlet set vil reducere de årlige NO_x-emissioner fra industri og forsyningsvirksomhed med 16.600 tons. Den beregnede årlige omkostning herfor udgør 132,5 mio. DKK. De i NO_x-rapporten analyserede tiltag giver alene anledning til en samlet årlig NO_x-reduktion på 5.400 tons, som er beregnet til at koste 199 mio. DKK om året. Med de i NO_x-rapporten analyserede tiltag over for faste anlæg er det muligt at opnå en emissionsreduktion på maksimalt 8.200 tons ved i stedet for delvis boosting på kraftværker at gennemføre fuld boosting. Dette indebærer dog at omkostningerne stiger til 1.532 mio. DKK, hvorfor der i tabellens summation er set bort fra denne meget dyre mulighed.

Det fremgår også af tabellen, at mulighederne og omkostningerne for at reducere NO_x-emissionerne fra faste anlæg i Danmark vurderes meget forskelligt af IIASA og i NO_x-rapporten:

- IIASA vurderer, at det er muligt gennem forbrændingsmodifikationer i industriens brug af heavy fuel samt kul, biomasse og affald at reducere emissionerne herfra med 1.100 tons. Hertil kommer modifikationer af bolig- og handelsforbrænding af heavy fuel og gas, hvilket kan give emissionsreduktioner på 500 tons. Disse muligheder er ikke analyseret i NO_x-rapporten.
- IIASA vurderer, at det er muligt gennem forbrændingsmodifikationer i industriens brug af gas at reducere emissionerne herfra med 5.100 tons. I NO_x-rapporten er dette tiltag kun vurderet til at kunne reducere emissionerne med 700 tons. Omkostningsskønnet for tiltaget er også forskelligt. IIASA regner med en omkostning på 3,4 DKK/kg NO_x, mens der i NO_x-rapporten regnes med en omkostning på 7 DKK / kg NO_x.
- IIASA vurderer, at det er muligt gennem forbrændingsmodifikationer i industriens brug af andre brændsler at reducere emissionerne herfra med 200 tons. I NO_x-rapporten vurderes dette tiltag at kunne reducere emissionerne med 700 tons. Tiltaget vurderes af IIASA til at koste 5,2 DKK/kg NO_x, mens det i NO_x-rapporten er vurderet til at koste 7 DKK/kg NO_x.
- IIASA vurderer, at det er muligt gennem forbrændingsmodifikationer på eksisterende kraftvarmeanlæg at reducere NO_x-emissionerne herfra med 3.900 tons. I NO_x-rapporten vurderes reduktionsmuligheder ved bedre styring på kraftvarmeværkerne og advanced reburning at være 2.900 tons. Omkostningerne er af IIASA beregnet til 4 DKK/kg NO_x, mens der i NO_x-rapporten er beregnet omkostninger på hhv. 18 DKK/kg NO_x og 83 DKK/kg NO_x.
- IIASA vurderer, at det gennem indførelse af SCR og SNCR i forbindelse med industriens forbrænding af heavy fuel, gas og kul er muligt at reducere NO_x-emissionerne med 2.000 tons til en omkostning på 21 DKK/kg NO_x. Hertil kommer en reduktion på 500 tons ved indførelse af samme teknologi på nye kraftværker. I NO_x-rapporten er muligheden for at indføre SCR og SNCR i industrien ikke analyseret. Muligheden for at indføre teknologien på nye kraftværker må anses for irrelevant, da der ikke forventes opført nye kraftværker i Danmark frem til 2020.
- I NO_x-rapporten er muligheden for at indføre SCR på små eksisterende kraftvarmeværker blevet analyseret. Hvis denne mulighed vælges, udelukker det dog muligheden for at indføre bedre styring på kraftvarmeværker. Tiltaget er beregnet til at kunne reducere emissionerne med 2.700 tons. Dette kan ske til en omkostning på 31 DKK/kg NO_x.
- IIASA foreslår, at NO_x-emissionerne fra ikke-brændselsrelaterede processer kan reduceres ved at indføre kontrol af en række ikke nærmere specificerede produktionsprocesser og ved forbud mod åben forbrænding af affald i landbruget og husholdningerne. Den sidstnævnte mulighed er ikke relevant i forhold til den danske basisfremskrivning, da emissionerne fra åben forbrænding ikke er omfattet heraf. Den anden mulighed vil i følge IIASA kunne reducere emissionerne med 3.200 tons til en årlig omkostning på 33 mio. DKK.

- Den af IIASA benyttede RAINS-model omfatter alene teknologiske tiltag, som direkte påvirker emissionskoefficienten fra den enkelte forbrændings- eller produktionsproces. IIASA har derfor ikke analyseret egentlige strukturtiltag, hvor én teknologi erstattes af en anden. I NO_x-rapporten er der analyseret to sådanne tiltag - nemlig hhv. delvis boosting på eksisterende kraftværker og opførelsen af endnu en havvindmøllepark til erstatning af konventionel el-produktion. Disse to tiltag vil reducere NO_x-emissionerne i 2010 med hhv. i 900 tons og 200 tons (i 2020 vil reduktionen være hhv. 1.340 tons og 250 tons) til en gennemsnitlig omkostning på 82 DKK/kg NO_x og 292 DKK/kg NO_x.

Sammenfattende kan det konstateres, at IIASA regner med, at der ved forbrændingsmodifikation, anvendelse af SCR og i relation til ikke brændselsrelaterede processer kan ske betydeligt større emissionsreduktioner i industrien, end der regnes med i NO_x-rapporten. I de tilfælde, hvor en sammenligning er mulig er IIASA's skøn for omkostningen pr. opnået emissionsreduktion endvidere lavere end skønnet i NO_x-rapporten. Begge forhold kan skyldes, at tidshorizonten for IIASA's forslag er 15 år frem til 2020, mens NO_x-rapportens tidshorizont kun er 5 år frem til 2010. En række andre forhold, som kan forklare forskellene i omkostningsskønnene omtales i afsnit 5.2.

Biler, traktorer, mejetærskere og fiskefartøjer

I tabel 5.4 er vist de tiltag, som analyseres af hhv. IIASA og i NO_x-rapporten med henblik på reduktion af NO_x-emissionerne fra en række forskellige transportmidler.

Ved vurderingen af de i tabellen angivne reduktionsmuligheder og omkostninger er det vigtigt at være opmærksom på, hvilke tiltag der er relevante i forhold til den danske basisfremskrivning. I den danske basisfremskrivning – jf. kapitel 2 – er alle vedtagne Euro-normer indarbejdet. Dette gælder således de fra 2007 gældende Euro-4-normer for tunge køretøjer og Euro-5-normer for lette og tunge dieselmotorer som gælder fra 2011 samt skærpelse af grænseværdier for landbrugsmaskiner i EU regi. De i NO_x-rapporten analyserede tiltag er alle relevante med henblik på opfyldelsen af NEC-direktivet i 2010. På grund af den naturlige udskiftning vil tiltag som eftermontering af EGR-filter og SCR samt fremrykning af Euro-5-normer dog kun have et meget begrænset reduktionspotentiale i 2020.

Tabel 5.4 IIASA's og NO_x-rapportens NO_x-reduktionstiltag for transportmidler

IIASA			NO _x -rapport fra Miljøstyrelsen		
Tiltag	Emissions-reduktion (kt)	Omkost. (mio. DKK)	Tiltag	Emissions-reduktion (kt)	Omkost. (mio. DKK)
Biler					
Skærpelse af euro-normer for lette dieselbiler og tunge dieselkøretøjer	4,6	(145)			
			Eftermontering af EGR-filtre på tunge køretøjer *	1,2	40
			Eftermontering af SCR på tunge køretøjer *	2,2	100
			Fremrykning af Euro-5-tunge køretøj.	0,4	9
			Fremrykning af Euro-6 med 5 år	0,6	64
Traktorer og mejetærskere					
			Eftermontering af SCR på traktorer og mejetærskere	2,1	67
Fiskeri					
			SCR på fiskefartøjer **	4,8	7
			Motoroptimering på fiskefartøjer **	0,5	1
Strukturtiltag					
			Skift fra diesel- til benzinbiler	0,1	6
I alt	4,6	(145)	I alt	10,2	253

Note: * EGR-filtre og SCR på tunge køretøjer udelukker hinanden

** SCR og motoroptimering på fiskefartøjer udelukker hinanden

Anm: De af IIASA beregnede omkostninger i EUR er omregnet til DKK med en valutakurs på 7,4. Omkostningerne er af IIASA opgjort 2000-prisniveau, mens NO_x-rapportens omkostningsberegninger er i 2004-prisniveau

Kilde: EU Commission (2005) og Miljøstyrelsen (2006)

I relation til temastrategien er det altså for biler udelukkende en yderligere stramning af euro-normerne til en Euro-6-norm, der er relevant med henblik på reduktion af NO_x-emissionerne i 2020 i forhold til den danske basisfremskrivning. IIASA foreslår, at der gennemføres tiltag for lette dieselbiler, der i forhold til Euro-4-normerne på 0,25 g NO_x/km reducerer emissionerne til 0,065 g NO_x/km. For tunge dieselkøretøjer foreslås tiltag, der i forhold til Euro-5-normen på 2 g NO_x/kWh, som træder i kraft i 2010, reducerer emissionerne til 1,4 g NO_x/kWh. Disse tiltag vil ifølge IIASA kunne reducere NO_x-emissionerne med 4.600 tons, og de vil årligt koste 145 mio. DKK. Tiltagene indebærer også en reduktion af partikelbelastningen PM_{2,5} på 300 tons; men omkostningerne er ikke fordelt på de to emissionstyper.

I den danske basisfremskrivning antages, at Euro-5-normen for lette dieselbiler på 0,20 g NO_x/km gælder allerede fra 2010. Reduktionspotentialet i forhold til den danske basisfremskrivning skal altså beregnes med dette udgangspunkt. For tunge dieselkøretøjer svarer IIASA's udgangspunkt 2 g NO_x/kWh til det der er forudsat i den danske basisfremskrivning. IIASA's reduktionsforslag kan herefter beregnes til et samlet emissionspotential i 2020 på 3.400 tons i forhold til den danske basisfremskrivning - altså 1.200 tons mindre end IIASA når frem til. IIASA regner med, at de beskrevne tiltag i gennemsnit vil koste 31 DKK/kg NO_x.

I NO_x-rapporten er der gennemført beregninger for en fremrykning af Euro-6-normerne for tunge køretøjer alene, men til et betydeligt lavere niveau på 0,5 g NO_x/kWh. En indførelse af sådan en Euro-6-norm for tunge køretøjer vil, hvis det gennemføres i 2010 kunne reducere NO_x-emissionerne i 2020 med 2.400 tons. Tiltaget i NO_x-rapporten er beregnet til at koste 153 DKK/kg NO_x.

IIASA har alene foreslået tiltag, der retter sig mod biler. I NO_x-rapporten er der også analyseret et tiltag, hvor der indføres SCR på fiskefartøjer. Da der ikke i den eksisterende lovgivning er lagt begrænsninger på disse fartøjers NO_x-emissioner, er dette tiltag relevant i forhold til den danske basisfremskrivning frem til 2020. Tiltaget er beregnet til at repræsentere et reduktionspotentiale på 4.800 tons, og det vil kun koste 7 mio. DKK om året - dvs. i gennemsnit 2 DKK/kg NO_x. Som alternativ til dette tiltag kan vælges motoroptimering af fiskefartøjer, der dog kun har et reduktionspotentiale på 500 tons og koster 3 DKK/kg NO_x.

Endelig er der i NO_x-rapporten også analyseret muligheden for at reducere NO_x-emissionerne ved at skifte fra diesel- til benzinbiler. En sådan udskiftning tænkes gennemført ved indførelse af en højere registreringsafgift i årene 2006 - 2009. Udskiftningen vil reducere emissionerne med 100 tons i 2010, hvis bilerne opfylder Euro-4-normerne. Fra og med Euro-5, som træder i kraft i 2010, gælder de samme krav til diesel og benzinbiler, hvorfor tiltagets reduktionspotentiale i 2020 vil afhænge af, hvor mange af de ekstra benzinbiler af årgang 2006 - 2009 der stadig er i brug på dette tidspunkt. Tiltaget koster i gennemsnit 82 DKK/kg NO_x.

Sammenfatning NO_x

IIASA har beregnet reduktionsbehovet i 2020 til 21.000 tons NO_x. Behovet er opgjort på grundlag af en basisfremskrivning, hvori alene indgår reduktionstiltag, som er planlagt og vedtaget i overensstemmelse med gældende lovgivning. Dvs. at tiltag som følge af NEC-direktivets emissionsloft på 127.000 tons i 2010 ikke er indarbejdet i basisfremskrivningen. IIASA foreslår altså reduktionstiltag, som både er relevante for opfyldelse af NEC-direktivet og temastrategien. Omkostningerne ved at reducere de årlige NO_x-emissioner i 2020 med 21.000 tons er af IIASA opgjort til knap 280 mio. DKK om året.

I NO_x-rapporten opgøres der for de analyserede tiltag et maksimalt årligt reduktionspotentiale i Danmark på ca. 16.000 tons i 2010. Ved denne beregning forudsættes delvis boosting på kraftværker. Blev der i stedet valgt fuld boosting, ville reduktionspotentialet i 2010 stige til 18.500 tons, men dette er et meget dyrt tiltag, hvorfor der ses bort fra denne mulighed. Nogle af de analyserede tiltag bidrager alene til opfyldelsen af NEC-direktivet i 2010, idet de vedrører fremrykning af brugen af teknologier, som er besluttet taget i brug kort efter år 2010 - fx euro-normerne for biler. Disse tiltag vil kun have et meget begrænset reduktionspotentiale i 2020 på grund af den naturlige udskiftning af ældre årgange i vognparken. De årlige omkostninger ved at reducere emissionerne i 2010 med ca. 16.000 tons opgøres i NO_x-rapporten til ca. 450 mio. DKK

Der er væsentlig forskel mellem de tiltag, som foreslås af IIASA og i NO_x-rapporten, og dermed også mellem de opgjorte reduktionspotentialer og omkostninger. Noget af forklaringen på forskellene ligger muligvis i tidshorisonten for de to analyser. IIASA koncentrerer analysen om tiltag, der skal gennemføres helt frem til 2020, mens NO_x-rapporten vedrører tiltag der skal gennemføres frem til 2010. I afsnit 5.2 omtales en række andre mulige forklaringer på, at IIASA's vurderinger er så meget forskellige fra de danske, som det er tilfældet.

Det er ikke muligt på det foreliggende grundlag og inden for den udstukne tidshorisont at angive, hvilke meromkostninger temastrategiens emissionsloft for NO_x-emissionerne i 2020 vil påføre Danmark ud over de omkostninger, som er knyttet til opfyldelsen af NEC-direktivet. Hertil kræves den i indledningen skitserede femtrins-analyse.

I tabel 5.5 opstilles derfor kun et meget groft regnestykke, som udelukkende illustrerer, hvorledes meromkostningerne principielt kan opgøres. I regnestykket indgår alene oplysninger om emissionspotentiale og omkostninger fra tabel 5.3 og tabel 5.4. Det vil kræve en egentlig dansk analyse af reduktionsmulighederne og omkostningerne herved at foretage en egentlig velfærdsøkonomisk vurdering af, hvad hhv. NEC-direktivets og temastrategiens opfyldelse koster det danske samfund.

Regnestykket er konstrueret på følgende måde:

- De samlede NO_x-emissioner i 2010 og 2020 på hhv. 147.600 tons og 116.500 tons er baseret på den seneste danske basisfremskrivning.
- Som følge af den i sommeren 2005 vedtagne energispareplan, ændrede skøn for off-shore sektorens emissioner og en ændring af energiafgiften (elpatroner) vurderer Miljøstyrelsen, at emissionerne i 2010 og 2020 kan nedjusteres med hhv. 8.000 tons og 11.000 tons.
- En række af de i NO_x-rapporten analyserede tiltag vil kunne nedbringe emissionerne i 2010 med yderligere 12.400 tons. Herved opfyldes NEC-direktivets emissionsloft for 2010 på 127.000 tons. Dette vil fremover koste 306 mio. DKK om året startende i 2006 - 2010. Tiltagene har også konsekvenser for emissionerne i 2020, der nedbringes med 10.200 tons til 95.300 tons. Omkostningerne vil påhvile elforsyningssektoren med 196 mio. DKK, transportsektoren med 100 mio. DKK, industrien med 3 mio. DKK og fiskeriet med 7 mio. DKK.
- For at opfylde temastrategiens emissionsloft i 2020 gennemføres herefter en række af de af IIASA foreslåede tiltag. De reducerer emissionerne i 2020 med yderligere 11.400 tons til loftet på 84.000 tons. Dette vil fremover årligt koste 237 mio. DKK startende i perioden 2011 - 2020. Omkostningerne vil påhvile erhvervslivet med 92 mio. DKK og transportsektoren med 145 mio. DKK.

Tabel 5.5 Et regneeksempel vedrørende NO_x-reduktionstiltag det vil være muligt at anvende til at reducere de danske emissioner i 2010 og 2020 i forhold til den seneste danske basisfremskrivning

	2006 - 2010 mio. DKK pr. år	Emission 2010 Ktons	2011 -2020 mio. DKK pr. år	Emission 2020 Ktons
Dansk basisfremskrivning		147.600		116.500
Nedjustering af emissioner		- 8.000		- 11.000
Tiltag NEC-direktiv				
Lav NO _x -brænder gas og gasolie (industri) ^{NOx-rap}	3	-1.400		-1.400
Advanced reburning (kraftværker) ^{NOx-rap}	38	- 600		- 600
Bedre styring på kraftværker ^{NOx-rap}	32	-2.300		-2.300
Delvis boosting (kraftværker) ^{NOx-rap}	76	- 900		- 900
Havvindmøller ^{NOx-rap}	50	- 200		- 200
SCR (fiskefartøjer) ^{NOx-rap}	7	- 4.800		- 4.800
Eftermontering SCR på tunge køretøjer ^{NOx-rap}	100	- 2.200		
Basisfremskrivning efter NEC-tiltag		127.200		95.300
Tiltag temastrategi				
Heavy fuel, kul, biomasse, affald (industri) ^{IIASA}			4	- 1.100
Gas (bolig og handel) ^{IIASA}			11	- 500
SCR (industri) ^{IIASA}			44	- 2.000
Kontrol af procesemissioner ^{IIASA}			33	- 3.200
Stramning af euro-normer ^{IIASA}			145	- 4.600
Emission efter temastrategi				83.900
I alt årlige meromkostninger	306		237	

Note: * En anden mulighed er at eftermontere SCR på traktorer og mejetærskere, der har stort set samme reduktionseffekt og er lidt billigere - jf. tabel 6.4

Anm: De af IIASA beregnede omkostninger i EUR er omregnet til DKK med en valutakurs på 7,4. Omkostningerne er af IIASA opgjort 2000-prisniveau, mens NO_x-rapportens omkostnings-beregninger er i 2004-prisniveau

Kilde: IIASA (2006) og Miljøstyrelsen (2006)

Det må understreges, at der kun er tale om et regnestykke, hvori indgår delvist usammenlignelige omkostningsopgørelser - jf. afsnit 5.2 - og hvor de af IIASA foreslåede tiltag ikke er blevet undersøgt for deres realisme for så vidt angår reduktionspotentiale og omkostninger i en dansk sammenhæng.

Det skal endvidere understreges, at NO_x-rapportens omkostninger er Miljøstyrelsens foreløbige skøn. Beregningerne er ikke afsluttet endnu, og der er hverken truffet beslutning, om tiltagene skal implementeres eller med hvilke styringsinstrumenter.

De opgjorte omkostninger på hhv. ca. 300 mio. DKK og 240 mio. DKK i perioderne 2006 - 2010 og 2011 - 2020 hviler også på, at den af Miljøstyrelsen skønnede nedjustering af emissionerne i 2010 er korrekt. En eventuel undervurdering af det nødvendige reduktionsbehov frem til 2010 vil for det første have konsekvenser for omkostningerne ved at opfylde NEC-direktivet. Det bliver nødvendigt at gennemføre flere tiltag i perioden 2005 - 2010. Disse tiltag sikrer, at det yderligere reduktionsbehov som følge af temastrategien frem til 2020 forbliver nogenlunde uændret. Det må imidlertid forventes, at blive væsentligt dyrere at opfylde behovet, fordi der har skullet gennemføres en række yderligere tiltag i perioden 2006 - 2010. De marginale reduktionsomkostninger må antages at være stigende. IIASA regner således med marginale reduktionsomkostninger på 16 DKK/ kg NO_x ved en reduktion på 16.000 tons fra faste anlæg i forhold til IIASA's basisfremskrivning. De marginale omkostninger stiger til 186 DKK/ kg

NO_x ved den maksimalt mulige reduktion inden for RAINS-modellen på 28.000 tons.

5.1.3 SO₂-tiltag

IIASA regner kun med et reduktionsbehov for SO₂ på knapt 1.600 tons i 2020 for at opfylde temastrategiens emissionsloft på 12.000 tons. Da der ikke foreligger en dansk basisfremskrivning af SO₂-emissionerne frem til 2020, har det ikke været muligt at vurdere, om dette reduktionsbehov svarer til danske forventninger - jf. kapitel 2. For at opfylde det af IIASA opgjorte reduktionsbehov foreslår IIASA de i tabel 5.6 sammenfattede tiltag.

I det følgende gennemgås kort de tiltag, som har størst reduktionspotentiale, og deres anvendelighed i Danmark diskuteres. Det har ikke været muligt indenfor den givne tidsramme at undersøge, om de af IIASA foreslåede tiltags reduktionspotentiale og omkostninger er i overensstemmelse med forholdene i Danmark.

Tiltaget med størst reduktionspotentiale er i følge IIASA reduktion af svovlindholdet i heavy fuel olie i alle stationære kilder fra 1% til 0,6%. DMU's sidste fremskrivninger for SO₂-emissionerne er baseret på et svovlindhold på 1% i heavy fuel olie for kraftværker og raffinaderier, mens svovlindhold i andre industrisektorer antages at være 0,7%. Hvis den nyeste energifremskrivning ikke giver anledning til at ændre disse tal, er der dermed mulighed for at anvende dette tiltag til at reducere SO₂-emissionerne i Danmark.

Tabel 5.6 Emissionsreduktioner og omkostninger ved tiltag der nedbringer SO₂ emissioner i RAINS-modellen

Brændselstype	Sektor(er)	Tiltag	Reduktion Tons	Omkost. (mio/DKK/år)
Heavy fuel olie	Alle faste anlæg	Lav svovl heavy fuel olie (reduktion af S indhold fra 1% til 0.6%)	700	3
Heavy fuel olie	Industri	Flue gas desulphurisation (FGD) ud over hvad der nås med lav svovl heavy fuel olie	300	1
Kul og koks	Alle sektorer	Lav svovl kul og koks (0.6%)	0	0
Kul og koks	Industri	Røggasafsvovling	100	1
Marine brændsel	National søfart og fiskeri	Lav svovl marin brændsel	400	2
Ikke brændsel	Processer	Kontrol ud over CLE (stages 1 - 3)	100	1
		SUM	1.600	7

Kilde: IIASA (2006)

Andre tiltag foreslået af IIASA, som reducerer emissionerne med hhv. 300 tons og 400 tons SO₂ om året, er installation af "wet flue gas" afsvovlingsanlæg i industrien og anvendelsen af lav-svovl brændsler i den nationale søfartssektor (inkl. fiskeri). De seneste danske SO₂ fremskrivninger er baseret på et svovlindhold på 0,2% i dieselolie (max 0,1% fra 2008) og 1,6% i fuelolie (ca. 1,2% forventet i 2020) for den nationale skibstrafik. Det nuværende svovlindhold i gasolie anvendt i stationære anlæg i Danmark er på 0,05%. Gasolie ligner dieselolie, hvilket indikerer at der er mulighed for at opnå en yderligere reduktion af SO₂-emissionerne fra den nationale skibstrafik ved at stille krav til svovlindholdet i dieselolien og dens anvendelse som

brændsel i denne sektor, der svarer til kravene for anvendelse af gasolie i de faste anlæg.

Alle større kraftværker har røggasafsvovling installeret i Danmark. Der må formodes, at der er et vist reduktionspotentiale ved på tilsvarende vis at installere røggasafsvovling i industrisektoren i Danmark. På grund af de høje omkostninger ved installation af sådanne anlæg, vil anvendelsen dog være begrænset til større industrivirksomheder.

De af IIASA foreslåede tiltag repræsenterer som omtalt kun et reduktionspotentiale på knapt 1.600 tons i 2020. Når nye danske basisfremskrivning for SO₂-emissionerne foreligger, kan det vise sig, at reduktionsbehovet i forhold til temastrategiens emissionsloft er større - jf. kapitel 2.

Den konstaterede forskel mellem IIASA's og de danske basisfremskrivninger af SO₂-emissionerne til 2010 skyldes delvist forskelle mellem den forudsatte brændselssammensætning. Danske beregninger er baseret på en betydelig højere andel af kul i forhold til gas end IIASA forudsætter. En oplagt mulighed for at reducere SO₂-udledningerne er derfor at skifte fra kulfyrede til gasfyrede anlæg i Danmark. Dette kan bl.a. ske gennem fuld boosting på eksisterende kulfyrede kraftværker - et tiltag, der er analyseret i NO_x-rapporten. En fuld boosting af 10 kulfyrede kraftværker vil reducere SO₂-emissionerne med 2.400 tons. Som tidligere omtalt vil et sådant tiltag dog være meget dyrt, da det også fordrer betydelige kapacitetsudvidelser i Nordsøen for at levere de nødvendige gasmængder.

Den i NO_x-rapporten analyserede havvindmøllepark - jf. afsnit 5.1.3 - vil også bidrage til reduktion af SO₂-emissionerne i Danmark. En havvindmøllepark med en kapacitet på 162MW har et SO₂-reduktionspotentiale på 135 tons om året i 2020 - jf. Miljøstyrelsen (2006).

IIASA's RAINS-model kan genere en omkostningskurve for SO₂-reducerende tiltag i Danmark med udgangspunkt i deres basisscenario i 2020.⁴ Det er denne omkostningskurve de i tabel 5.6 angivne tiltag er baseret på. Omkostningskurven indeholder tiltag svarende til en samlet emissionsreduktion på 4.100 tons SO₂ til samlede omkostninger på 109 mio. DKK om året i 2020, dvs. ca. 27 DKK/ kg SO₂ i gennemsnit.

5.1.4 PM_{2,5} tiltag

IIASA forslår nogle få tiltag til reduktion af PM_{2,5}-emissionerne i Danmark, som kan bidrage til at opfylde strategiens målsætninger. Tiltagene, deres emissionsreduktionspotentiale og de af IIASA opgjorte årlige omkostninger er vist i tabel 5.7.

⁴ Se <http://www.iiasa.ac.at/web-apps/tap/RainsWeb/RainsLogin.htm>.

Tabel 5.7 Emissionsreduktioner og omkostninger ved de af IIASA foreslåede tiltag der nedbringer PM_{2,5}-emissionerne

Brændselstype	Sektor(er)	Tiltag	Reduktion tons	Omkostning mio. DKK / år
Alle brændsler	Industri	Efficiente støvfjerner, bedre styring af oliekedler	6	0,1
Kul og affald	Kedler, handel	Cykloner og posefiltre	2	0,0
Kul	Husholdninger, kedler i en-familiehuse	Nye kedler	0	0
Biomasse	Kedler, handel	Cykloner og posefiltre	176	6,7
Ikke brændsel	Beboelseskvarterer, grill	Filtre	42	0,3
Kul, biomasse og affald	Eksisterende kraftværker	Efficiente støvfjerner, bedre styring af oliekedler	122	2,0
Kul, biomasse og affald	Nye kraftværker	Efficiente støvfjerner, bedre styring af oliekedler	10	0,2
Ikke brændsel	Processer - undtaget små industrier	Efficiente støvfjerner, efficient håndtering af flygtige emissioner	196	0,4
Ikke brændsel	Petroleumsraffinaderier	Efficiente støvfjerner	31	0,5
Ikke brændsel	Affaldsbehandling og -bortskaffelse	Forbud mod åben afbrænding	116	0,1
		SUM	701	10,3

I temastrategien regnes kun med et meget beskedent reduktionsbehov på 700 tons PM_{2,5} i 2020. Ligesom med IIASA's tiltag for NO_x og SO₂ har det ikke været muligt inden for tidsrammen at vurdere det faktiske reduktionspotentiale og omkostninger for disse tiltag i Danmark.

Opgørelsen af PM_{2,5}-emissionerne i Danmark er behæftet med stor usikkerhed. Der findes på nuværende tidspunkt ikke en officiel dansk fremskrivning heraf - jf. kapitel 2. Den nyeste opgørelse af PM_{2,5}-emissionerne i Danmark tyder dog på at ca. 50% af alle PM_{2,5} emissioner (dvs. inklusive trafik) kommer fra brændeovne/kedler i private hjem i Danmark - jf. Nielsen & Illerup (2006). Trækkes trafikrelaterede emissioner fra, udgør partikelemmissionerne fra brændeovne/kedler tæt på 80% af de emissioner, som kommer fra stationære anlæg. Det virker derfor oplagt at målrette fremtidige tiltag til reduktion af PM_{2,5}-emissionerne mod brændeovne/kedler i private hjem.

Der arbejdes i øjeblikket på et projekt mellem DMU og Miljøstyrelsen, som skal beregne såvel konsekvenser for partikelemmissionerne som omkostningerne ved at indføre nyere teknologi, herunder mere effektive brændeovne/kedler og evt. filtre. Disse beregninger forventes gentaget med fornyet viden, herunder rumlig og temporal spredning, indsamlet inden for det nyligt opstartede projekt "Residential wood combustion and the interaction between technology, user and environment – WOODUSE" som løber over en treårig periode.

5.2 EU's omkostningsberegninger i forhold til tilsvarende danske

De i afsnit 5.1 anførte meget store forskelle mellem IIASA's omkostningsberegninger og tilsvarende danske kan forklares af en række forhold:

- IIASA's basisfremskrivning afspejler ikke en dansk virkelighed

- IIASA arbejder med et andet omkostningsbegreb, end det der ofte benyttes i Danmark
- IIASA's prisforudsætninger og diskonteringsrate svarer ikke til dem, der benyttes i danske beregninger

5.2.1 IIASA's basisfremskrivning og den danske virkelighed

IIASA's omkostningsberegninger er baseret på omkostningsfunktioner, som for specifikke teknologier angiver omkostningerne ved at reducere emissionskoefficienten for den enkelte teknologi. Kilden til IIASA's omkostningsfunktioner, oplyses på RAINS WEB-version af modellen⁵, hvor det angives, at omkostningsfunktionerne er opdateret på grundlag af oplysninger fra "Expert Groups on Techno-Economics Issues (EGTEI)" som har etableret en omkostningsdatabase for emissionsreduktionsteknologier.⁶ Omkostninger er dermed primært baseret på gennemsnitlige europæiske parametre for teknologier, men der er mulighed for input af nationale tal gennem nationale eksperter.

Omkostningsfunktionerne er karakteriseret ved stigende marginale omkostninger. Der kan herefter være tre grunde til, at de af IIASA beregnede reduktionspotentialer og omkostninger kan være vildledende i forhold til danske forhold:

- Sammensætningen af de anvendte teknologier afspejler ikke danske forhold.
- Emissionskoefficienten for den enkelte teknologi i udgangspunktet afspejler ikke danske forhold
- Omkostningsfunktionen for den enkelte teknologi afspejler ikke danske forhold

Den forudsatte teknologianvendelse er afspejlet i basisfremskrivningens energifremskrivning. Denne er bl.a. bestemmende for hvor meget emissionerne kan reduceres i samfundets forskellige sektorer. Fx er reduktionspotentialet på kraftværkerne meget afhængigt af, om der forudsættes anvendt kul eller gas som brændsel. Hvis IIASA's energifremskrivning ikke afspejler den danske teknologianvendelse, bliver deres beregninger af det danske reduktionspotentialer og omkostningerne herved vildledende.

Omkostningerne ved et tiltag afhænger selvsagt meget af, hvor på omkostningskurven emissionsreduktionen antages at starte. Hvis IIASA's emissionskoefficienter for de enkelte teknologier i udgangssituationen ikke svarer til de i Danmark gældende bliver omkostningsberegningen misvisende

I den udstrækning omkostningsfunktionerne ikke afspejler danske forhold har det selvsagt også betydning for beregningernes realisme.

⁵ <http://www.iiasa.ac.at/web-apps/tap/RainsWeb/RainsLogin.htm>. Efter logg-in som ikke-registreret bruger og accept af betingelser, findes oplysningerne om omkostningerne under "costs"-fanebladet.

⁶ Yderligere informationer om denne ekspertgruppe kan findes på http://citepa.org/forums/egtei/egtei_index.htm.

Der er meget, der tyder på, at IIASA's udgangspunkt for omkostningsberegningerne ikke afspejler danske forhold - jf. omtalen af basisfremskrivningerne i kapitel 2. Kort sagt - den af IIASA anvendte RAINS-model synes ikke kalibreret til danske forhold, og derfor bliver de beregnede reduktionspotentialer og -omkostninger misvisende.

5.2.2 Omkostningsbegrebet

Det er ikke altid klart, hvad der menes, når der tales om samfundsøkonomiske omkostninger. Der er mindst to forskellige måder, hvorpå omkostningerne ved et tiltag kan opgøres:

- Budgetøkonomiske omkostninger - pengestrømme, der angiver udgifterne for forskellige sektorer i samfundet
- Velfærdsøkonomiske omkostninger - indikator på borgenes nytte- eller forbrugstab

I IIASA's økonomiske vurderinger sker der en sammenblanding af disse to omkostningsbegreber.

IIASA opgør de direkte omkostninger ved forskellige teknologiske tiltag. IIASA (2006) anfører, at omkostningerne opgøres i faktorpriser - dvs. udgifterne til tiltagene fratrukket indirekte afgifter og subsidier, og det anføres endvidere, at "any mark-ups added to production costs by manufacturers or dealers do not represent actual resource use and are therefore ignored". Der tænkes her på profit til de virksomheder, som skal foretage de teknologiske ændringer af anlæggene. Der er altså tale om omkostningsberegninger efter det der i Danmark benævnes faktorpris-metoden.

Ved at basere omkostningsberegningerne på faktorpriser, kan der i nogen grad siges at være tale om at opgøre de budgetøkonomiske omkostninger for de berørte samfundssektorer. Sektorerne får nemlig refunderet moms, der er den væsentligste indirekte afgift. Dog får de ikke refunderet en række andre indirekte afgifter, og subsidierne, der lægges til de faktiske køberpriser for at nå frem til faktorpriserne, udgør en budgetøkonomisk indtægt for erhvervssektorerne. Faktorprisberegningerne repræsenterer derfor heller ikke en "rigtig" budgetøkonomisk beregning. Dette gælder heller ikke eventuelle udgifter for husholdningerne, som jo betaler moms. For dem udgør køberpriserne de relevante budgetøkonomiske priser. Det er i det hele taget vanskeligt at afgøre, hvad de af IIASA opgjorte omkostninger reelt er udtryk for.

IIASA stræber muligvis mod at gennemføre omkostningsberegningerne i et sæt tilnærmede optimumspriser (shadow prices) - en velfærdsøkonomisk beregningsmetode. Dette er en tvivlsom tilgang, fordi en velfærdsøkonomisk vurdering baseret på optimumspriser i en inoptimal situation, som økonomien normalt befinder sig, kan føre til fejlagtige prioriteringer (second best problemet). Hertil kommer, at der ikke er belæg for at forudsætte, at de aktuelle faktorpriser svarer til optimumspriserne.

Der er ikke tale om velfærdsøkonomiske beregninger, som disse udføres i Danmark. Her gennemføres beregningerne i forbrugerpriseniveau, da køberpriserne på forbrugsgoder som udgangspunkt antages at afspejle forbrugernes marginale nytte heraf. IIASA anvender så vidt det kan skønnes denne velfærdsøkonomiske tilgang i relation til opgørelsen af værdien af tiltagens sundhedsgevinster. Disse prissættes i vid udstrækning på grundlag af borgernes betalingsvillighed for at opnå gevinsterne - jf. kapitel 6. Betalingsvillighederne svarer til køberpriser på markedsomsatte varer og tjenester, og disse priser anvendes normalt som indikatorer på borgernes marginale nytte af varerne. For produktionsgevinster i land- og skovbrug er der dog igen tale om faktorprisberegninger.

Ved opgørelsen af tiltags velfærdsøkonomiske omkostninger, indarbejdes også ofte værdien af yderligere benefits ud over dem, tiltaget direkte sigter mod at skabe. Værdien af disse benefits indgår som negative omkostninger. Sådanne omkostninger indgår ikke i IIASA's beregninger. Konsekvenserne af tiltagens finansiering indgår heller ikke i IIASA's omkostningsberegninger. I den udstrækning finansieringen har konsekvenser for de offentlige budgetter, kan der argumenteres for ligesom i Danmark og en række andre lande at indarbejde det såkaldte skatteforvridningstab i beregningerne.

IIASA er bevidst om, at det kun er teknologiske emissionstiltag, der betragtes. Det overvejes ikke, hvilke adfærdsmæssige ændringer der kan bidrage til at opfylde de opstillede målsætninger, ligesom der heller ikke tages stilling til, hvilke styringsmæssige initiativer, der skal sikre, at de ønskede teknologiske tiltag bliver gennemført. De styringsmæssige tiltag kan i sig selv afstedkomme adfærdsendringer, som både kan have positive og negative konsekvenser for samfundet.

Man skal altså være forsigtig med ud fra IIASA's omkostningsberegninger at angive, at opfyldelsen af temastrategien koster så og så meget for hhv. EU og Danmark:

- Det er uklart, hvad de beregnede omkostninger er udtryk for
- Der er ikke taget højde for værdien af sidegevinsterne ved at gennemføre tiltagene
- Der er ikke taget hensyn til eventuelle yderligere finansierings- og styringsmæssige omkostninger ved at gennemføre tiltagene
- Det forudsættes, at målsætningerne netop skal opfyldes med de i analysen udvalgte teknologiske tiltag.

5.2.3 Prisforudsætninger og diskonteringsrate

IIASA benytter fælles antagelser om den enkelte teknologiske investeringsomkostninger, faste og variable omkostninger - bortset fra priserne på arbejdskraft, elektricitet, brændsel til mobile kilder, andre materialer og affaldsbortskaffelse. I disse tilfælde benyttes der landespecifikke priser.

I tabel 5.8 er angivet de priser, som benyttes i hhv. IIASA's beregninger og danske budgetøkonomiske beregninger.

Tabel 5.8 Priser anvendt af hhv. IIASA og i danske budgetøkonomiske beregninger

Pris	IIASA	Danske beregninger
Lønninger (DKK pr. år)	219.000	250.000
Elektricitet (DKK pr. kWh)	0,37	0,17 - 0,33
Ethanol (DKK pr. GJ)	82,36	
Naturgas og andet gas (DKK pr. GJ)	47,43	23,1 - 41,7
Heavy fuel olie	44,77	30,3 - 51,8
Hydrogen	82,36	
Benzin	65,34	
Liquified petroleum gas	53,72	42,8 - 81,5
Medium distillates (diesel, light fuel olie)	59,12	
Methanol	82,36	

Kilde: RAINS webside, Miljøstyrelsen (2006) og Møller et al. (2000)

IIASA's omkostningsberegninger er baseret på en diskonteringsrate på 4%. Dvs. at det enkelte tiltags årlige omkostninger til realkapital i 2020 er beregnet ved at annuisere den samlede udgift hertil ud fra denne diskonteringsrate og tiltagets forventede levetid. I Danmark benyttes der ved budgetøkonomiske beregninger en diskonteringsrate på 6% (Denne rate anbefaler Finansministeriet også anvendt ved velfærdsøkonomiske beregninger; mens Miljøministeriet anbefaler anvendelsen af en forbrugsdiskonteringsrate på 3% kombineret med en forrentningsfaktor på kapital, som beregnes ud fra en alternativ forbrugsafkastrate på 6% og forbrugsdiskonteringsraten på 3%). Hvor meget valget af en diskonteringsrate på 4% i stedet for 6% betyder for størrelsen af de enkelte tiltags beregnede budgetøkonomiske omkostninger er vanskeligt at sige. Dette afhænger af, hvor stor andel af tiltagets samlede omkostninger, der vedrører realkapital. Under alle omstændigheder bliver den årlige omkostning større ved at anvende 6% som diskonteringsrate frem for 4% (For en realkapitaludgift på én DKK og med en levetid på 10 år forøges den årlige realkapitaludgift med 10% ved at diskonteringsraten forøges fra 4% til 6%. Ved en levetid på 20 år bliver forøgelsen af den årlige kapitalomkostning på 18%).

5.2.4 Sammenfatning

IIASA's omkostningsberegninger for temastrategien kan være forskellige fra tilsvarende danske budgetøkonomiske beregninger som følge af følgende forhold:

- Forkert teknologiforudsætning i basisfremskrivningens energifremskrivning kan både trække omkostningerne op og ned
 - undervurdering af reduktionsbehovet trækker i sig selv omkostningerne ned; men for lave emissionskoefficienter i udgangssituationen trækker med given omkostningskurve omkostningerne op
 - en forkert omkostningskurve kan trække omkostningerne i begge retninger
- Meget snæver afgrænsning af tiltagsmuligheder trækker omkostningerne op
- Anvendelse af en diskonteringsrate på 4% frem for 6% trækker omkostningerne ned

Når IIASA's omkostningsberegninger gennemgående ligger på et væsentligt lavere niveau end tilsvarende danske budgetøkonomiske beregninger, skal forklaringen formentlig først og fremmest findes under det første og tredje punkt.

I forhold til danske velfærdsøkonomiske omkostningsberegninger vil IIASA's beregninger herudover adskille sig på følgende punkter.

- Valget af faktorprisniveau i stedet for køberprisniveau trækker omkostningerne ned
- Udeladelse af sidegevinster - fx CO₂-reduktion - trækker omkostningerne op

5.3 Omkostninger ved teknologiskift

5.3.1 Havvindmøller

I det følgende vises betydningen af, at der som supplement til de tekniske tiltag, som påvirker emissions-koefficienterne, også kan vælges et mere struktur-betonet tiltag. Tiltaget er et integreret tiltag, et teknologi-skift, der både reducerer SO₂ og NO_x-emissioner. Ved at skifte til mere udstrakt brug af vind-energi i stedet for de konventionelle faste anlæg i forsynings-sektoren er der mulighed for at bidrage til reduktioner i emissionerne af de stoffer, som er målet for temastrategien for luftforurening.

Ud fra Energistyrelsens emissions-koefficienter kan det anslås, at der med en forceret indsats med opførelse af nye havvindmølleparker i perioden 2010-2015 vil kunne ske en reduktion af emissionerne fra forsyningssektoren med ca. 6.100 tons NO_x (Energistyrelsen, 2005). Samtidig vil der blive udledt færre tons SO₂. Den forcerede indsats består i, at der i hvert af de nævnte år opføres en ny havvindmøllepark. I forhold til den danske basis-fremskrivning er det 10 havvindmølleparker ekstra.

Omkostningerne ved tiltaget kan vurderes ud fra de data, der er anvendt i NO_x-rapporten for en havvindmøllepark (Miljøstyrelsen, 2006). De 10 ekstra havvindmølleparker repræsenterer en samlet kapacitet på 2600 MW. Det antages at omkostningen per installeret MW vil være den samme som for en havvindmøllepark. Den årlige budgetøkonomiske omkostning ved havvindmølleparken i NO_x-rapporten er før værdien af tilskud 45 millioner DKK for 162 MW. For den forcerede havvindmølleudbygning er den årlige budgetøkonomiske omkostning før værdien af tilskud 597 millioner DKK for 2600 MW. Med den angivne NO_x-reduktion i 2020 svarer det til en NO_x-omkostning på 95 DKK/kg NO_x. Da værdien af reduktionen af SO₂-udledningen er medtaget i beregningen og således er indeholdt i NO_x-omkostningen, reduceres SO₂ uden yderligere omkostninger. I beregningen er ikke inddraget omkostninger til ekstra udlandskabelforbindelser til udligning af elproduktion i vindstille perioder.

Beregningerne er ligesom for alle de øvrige tiltag foretaget på grundlag af en forudsætning om en CO₂-kvotepris på 50 kr/ton og på grundlag af en oliepris på ca. 25\$/tønne. CO₂-kvoteprisen har siden

april 2005 holdt sig over ca. 150 kr/ton CO₂, ligesom olieprisen har været højere. Såfremt energipriserne holder sig på dette niveau, viser svenske fremskrivninger at el-prisen på Nordpool vil blive markant højere (Statens Energimyndighed, 2005). Det kan alt andet lige betyde en forbedret budgetøkonomi for luftforureningsreduktioner ved det integrerede tiltag om forceret havvindmølle-udbygning.

6 Vurdering af fordelsberegninger

6.1 Oversigt over de centrale skøn

Kommissionens impact assessment præsenterer detaljerede beregninger af temastrategiens fordele for EU som helhed og for de enkelte medlemslande. Disse fordele er opgjort både som faktiske sundheds- og miljøgevinster og skøn for de samfundsøkonomiske værdier.

Beregningerne af sundhedsgevinsterne ved reduceret luftforurening er overvejende baseret på vurderinger og udtalelser fra WHO. Det er i meget store træk de samme sundhedsvurderinger som også er anvendt i de senere års danske analyser, jf. Andersen et al. (2004) samt COWI (2004) især vedrørende dødelighed og tab af leveår i forbindelse med partikelforurening. I forbindelse med temastrategien er der dog sket en fornyet gennemgang af vidensgrundlaget for sygelighed og dødelighed, sådan at der er visse afvigelser i de anvendte dosis-respons vurderinger.

De samfundsøkonomiske opgørelser er behæftet med usikkerhed. Af denne grund gives forskellige skøn for størrelsen af de økonomiske fordele. Tabel 6.1 og 6.2 uddrager de af IIASA beregnede fordele ved temastrategien for EU som helhed og for Danmark.

Det fremgår at det af Kommissionen anbefalede policy scenario vurderes at give fordele for EU som helhed, som med de centrale skøn vil være 72-75 milliarder EUR årligt i 2020, men gevinsterne kan med andre beregningsprincipper, jf. nedenfor, vurderes mindre og højere.

For Danmark vurderes gevinsterne ved temastrategien at være i størrelsesordenen 567-590 millioner EUR (4,3-4,4 mia. DKK) årligt i 2020, men gevinsterne kan med andre beregningsprincipper, jf. nedenfor, vurderes mindre og højere. Gevinsterne opstår ikke direkte ved de tiltag som gennemføres af Danmark selv, men først og fremmest ved den koordinerede EU-strategi og dens virkninger for den grænseoverskridende transport af luftforurening til Danmark.

Tabel 6.1 Beregnede skøn for økonomiske fordele for EU som helhed ved temastrategiens scenarier (Commission of the European Communities, 2005:115, 129 samt AEA Oct. 2005).

Mio. EUR	VOLY (median)	VSL (median)	VOLY (gennemsnit)	VSL (gennemsnit)
A-scenario	37	64	69	120
B-scenario	45	78	84	146
C-scenario	49	85	92	160
Policy-scenario	42	72	78	135

Tabel 6.2 Beregnede skøn for økonomiske fordele for Danmark ved temastrategiens scenarier (Commission of the European Communities, 2005:115 samt AEA Oct. 2005).

Mio. EUR	VOLY (median)	VSL (median)	VOLY (gennemsnit)	VSL (gennemsnit)
A-scenario	283	515	536	972
B-scenario	370	672	699	1269
C-scenario	425	801	769	1451
Policy-scenario	313	567	590	1068

Usikkerheden i den samfundsøkonomiske opgørelse af gevinsterne er især knyttet til hvordan tab af statistiske liv skal værdisættes, jf. den uddybende forklaring nedenfor. Men da opgørelsen samtidig bygger på de bagvedliggende emissionsopgørelser og på spredningsberegningerne er usikkerhederne i de første led også i høj grad tilstede i den samfundsøkonomiske vurdering. Det er ikke så meget opgørelsen af Danmarks egen forventede manko i 2020 der spiller ind, men i højere grad om manko-beregningerne for Danmarks nabolande er retvisende og dermed om transporten af luftforurening reduceres på den måde som det antages som følge af strategien.

6.2 Sundhedsgevinsterne

Sundhedsgevinsterne ved reduktion af luftforurening er især knyttet til den reducerede dødelighed. Flere store befolkningsundersøgelser har sandsynliggjort luftforureningens effekt på for tidlig død. Den største af disse undersøgelser (Pope et al., 1995, 2002) er central ikke blot fordi godt 500.000 personer indgår i kohorten, men også fordi der er kontrolleret for andre påvirkninger der fører til for tidlig død, såsom rygning, bodymass-indeks, osv. Forskningen viser en næsten lineær sammenhæng mellem partikelkoncentrationen og for tidlig død, idet der for personer over 30 år findes en kronisk merdødelighed (for tidlig død) på 0,6 procent for hver stigning i $\mu\text{gPM}_{2,5}/\text{m}^3$ i baggrundseksposering. Der er en tærskel på $7 \mu\text{gPM}_{2,5}/\text{m}^3$ under hvilken effekter ikke kan spores, men denne tærskel er lavere end den eksisterende eksposering i danske landdistrikter. Der er forøget forekomst af lungekræft og hjerte-kar-dødsfald, for hvilke forskningen finder særskilte statistisk signifikante sammenhænge.

DMU har i Andersen et al. (2004) anvendt et skøn for sammenhængen mellem partikelkoncentration og kronisk dødelighed, baseret på Pope (1995). IIASA anvender på baggrund af vurderinger fra et WHO panel den sammenhæng der fremkommer i Pope (2002), som er baseret på et større antal dødsattester end i den første undersøgelse. Merdødeligheden kan efterfølgende både opgøres som antal tilfælde og som antal tabte leveår. IIASA anvender begge metoder. Antallet af tabte leveår er baseret på brug af levetidstabeller.

Ændringen i dødeligheden vurderes i år 2000 at føre til et tab i forventet levetid for en EU-borger på gennemsnitligt 8 måneder. Denne for tidlige død vil som følge af tiltagene og udviklingen i basis-scenariet blive reduceret til et tab på gennemsnitligt $5\frac{1}{2}$ måned i 2020. Temastrategiens tiltag i policy-scenariet vil reducere tabet i forventet

levetid yderligere til et niveau på gennemsnitligt 4,2 måneder. Antallet af for tidlige dødsfald vil derved, statistisk set, kunne reduceres fra 348.000 i 2000 til 210.460 i 2020. Effekten af policy-scenariets strategi alene skønnes at være 62.000 færre for tidlige dødsfald i 2020.

For Danmark vil policy-scenariets strategi (inkl. NEC-direktivet) medføre ca. 500 færre for tidlige dødsfald om året fra 2020. Det samlede antal for tidlige luftforureningsrelaterede dødsfald forventes statistisk set reduceret fra forventeligt 3200 til 2200, idet allerede vedtagne tiltag ligeledes vil medføre ca. 500 færre for tidlige dødsfald. Strategiens effekt på antallet af sygedage og dage med nedsat aktivitet vil være ca. 250.000 årligt.

Det er når den for tidlige dødelighed fordeles som et gennemsnit på hele befolkningen at tabet af levetid regnes i måneder. For de individer som oplever for tidlig død skønnes ud fra danske tal et tab i levetid på 9 år for lungekræft og 3,7 år for hjerte-kar-dødsfald. Den ændrede dødeligheds andel af de samlede samfundsøkonomiske gevinster er betydelig (ca. 80%) men følsom overfor den valgte tilgang. Hertil kommer reduceret sygelighed, som især omfatter sygedage og dage med nedsat arbejdsevne, hospitalsindlæggelser og KOL (kronisk obstruktiv lungesygdom). Som IIASA bemærker, er disse effekter baseret på mindre undersøgelser således at de præcise dosisrespons funktioner er behæftet med større usikkerhed, men de anvendte funktioner er baseret på en WHO screening af den relevante litteratur. Det er stort set de samme sundheds-slut effekter som også indgik i DMU's beregninger, men der er visse ændringer og justeringer. Blandt andet indgik spædbørns-dødelighed ikke i DMU's beregninger.

En forskel mellem IIASA og hjemlige beregninger er at IIASA ikke har forsøgt at tage højde for latenstiden i forbindelse med dødsfaldene. Fx for lungekræft vil der være en latensperiode mellem eksposering og død. Gevinsten ved at undgå et af disse dødsfald skal efter normal praksis diskonteres, da den ligger noget ude i fremtiden. Andre dødsfald menes at ske mere akut, og skal ikke diskonteres. IIASA har i deres beregninger valgt at medregne alle dødsfald uden en latensperiode og derved uden diskontering.

Det er vanskeligt at vælge den rigtige diskonteringsperiode – i de hjemlige beregninger anvender DMU ca. 10 år for alle dødsfald. Til gengæld medtager DMU et lille antal akutte dødsfald, som IIASA ser helt bort fra.

6.3 Samfundsøkonomisk opgørelse af sundhedsgevinsterne

I den samfundsøkonomiske opgørelse er det problemstillingen angående værdisætning af dødelighed som har givet anledning til en del overvejelser, og som er forklaringen på at der gives hele fire forskellige skøn for den samfundsøkonomiske gevinst ved scenarierne. Når der gives forskellige skøn er det et resultat af anbefalinger fra tre amerikanske økonomer, som konklusion på en konsultations- og peer review procedure.

VSL betegner tilgangen Value of Statistical Life, mens VOLY betegner tilgangen Value Of Life Years – på dansk taler man om henholdsvis statistisk liv tilgangen og leveårstilgangen. Ved opgørelsen af hver af disse værdier kan enten anvendes gennemsnittet eller medianen af respondenternes værdisætning. Medianen fører til de laveste estimater.

Hidtil har tab af statistiske liv fortrinsvis været opgjort og anvendt i samfundsøkonomiske beregninger i trafik-sektoren. I forbindelse med anvendelsen i miljø-sektoren, specielt i forhold til luftforurening, er problematikken at det er dødsfald som dels sker efter en latensperiode, dels især vurderes at berøre ældre personer. Ældre personer taber færre leveår end yngre personer, hvorfor især spørgsmålet om hvorvidt man skal korrigere (nedjustere) værdien for dette har været genstand for en del overvejelser.

Det kan umiddelbart forekomme naturligt i stedet at opgøre antallet af tabte leveår, således at det er den reducerede, forventede livslængde der knyttes en beregningspris til. Der er imidlertid en række uløste problemstillinger knyttet til denne fremgangsmåde, som her kort skal nævnes. Beregningsprisen for at reducere tabet af et statistisk liv er knyttet til individernes præferencer og betalingsvillighed og tager teoretisk udgangspunkt i, at individer er villige til at betale for en ændring i deres dødsrisiko. Igennem mange år har undersøgelser været gennemført især vedrørende trafiktiltag, hvor man netop har undersøgt individernes betalingsvillighed for at øge deres trafikikkerhed gennem en reduktion af deres dødsrisiko. Det er derimod først for nyligt, at man er begyndt at undersøge betalingsvilligheden for en gevinst i form af en forventning om vundne leveår. Der er derfor kun gennemført ganske få undersøgelser, der direkte søger at afdække en betalingsvillighed for en gevinst i form af forventet levetid. Både det teoretiske og det empiriske grundlag for at fastlægge en beregningspris baseret på leveårstilgangen er derfor meget spinkelt, og forskellige ad hoc tilgange har i stedet været anvendt.

Spørgsmålet om hvordan de grundlæggende VSL- og VOLY beregningspriser for statistisk liv fremkommer, og deres forhold til danske beregningspriser, skal kort berøres. DMU har i tråd med EU-praksis anvendt en VSL-beregningspris på 1 mio. for dødsfald relateret til luftforurening. Denne beregningspris er overført fra trafikområdet, og nedjusteret for alder (Andersen et al., 2004). Beregningsprisen er testet gennem nye undersøgelser vedrørende betalingsvillighed for en mere generel risiko-reduktion (Friedrich, 2004). Her fremkommer en tilsvarende VSL-værdi på 1 mio. , såfremt undersøgelsens median-værdi anvendes. Det er sædvanlig praksis at anvende gennemsnitsværdien, hvilket imidlertid i test-undersøgelsen fører til en VSL på ca. 2 mio. .

VSL-median-værdien på 1 mio. svarer til den der hidtil er anvendt af DMU, mens VSL-gennemsnitsværdien i CAFE repræsenterer et væsentligt højere skøn.

Det er vanskeligt at være sikker på at respondenterne kan besvare spørgsmål om betalingsvilje for små risiko-reduktioner (5 promille) meningsfuldt, men der ligger foruden den nye undersøgelse også et

stort antal tidligere undersøgelser bag valget af en VSL-værdi på 1 million .

Med hensyn til VOLY har man i IIASA-rapporten anvendt den VOLY-beregningspris der fremkommer via den samme nye undersøgelse som før nævnt (Friedrich, 2004). Ved at tage højde for respondenternes restlevetid har man beregnet, hvor mange måneder den angivne risikoreduktion (5 promille) svarer til i tabt forventet levetid. Derfra har man udregnet prisen på et leveår, hvilket fører til en VOLY gennemsnitsværdi på 120.000 for et ekstra leveår (medianværdi: 52.000).

DMU har fra VSL-værdien på 1 million udledt en værdi per leveår på 144.000 efter den metode, som blev anbefalet EU. Den for Danmark anvendte værdi er opskrevet med købekrafts-pariteter for at korrigere for et højere indkomstniveau end i EU-25.

I Danmark har COWI i et projekt for Trafikministeriet anvendt en VOLY-tilgang, hvor beregningsprisen for et ekstra leveår blev sat til ca. 47.000 (COWI, 2004). Den anvendte VOLY-tilgang er udviklet i forbindelse med det fælles-europæiske ExternE-projekt og ses bl.a. beskrevet i Friedrich & Bickel (2001).

Som det fremgår fører VSL-median og VOLY-gennemsnit til en vurdering af de økonomiske fordele som er på omtrent samme niveau (henholdsvis 64 og 69 mia. for EU-25).

Skal IIASA-rapportens skøn for temastrategiens økonomiske fordele vurderes i forhold til dansk praksis kan det anføres, at trods en række større og mindre metodiske forskelle, så er både VSL-medianværdien og VOLY-gennemsnitsværdien tæt på den beregningspris DMU anvender, mens VOLY-median er lidt over den beregningspris COWI/Trafikministeriet anvender (COWI, 2004).

VSL-gennemsnit er baseret på en enkelt nyere undersøgelse, som kommer til væsentligt højere fordels-skøn end danske beregninger. Den er imidlertid i overensstemmelse med en del andre undersøgelser, som generelt kommer til højere betalingsvillighed for risikoreduktion.

IIASA's anvender gennemsnitsværdier for EU-25. I beregninger for Danmark sker korrektion for højere købekraft, under anvendelse af OECD's købekraftspariteter.

6.4 Revideret skøn for økonomiske fordele

De vigtigste forskelle mellem IIASA's og danske beregninger er knyttet til kvantificeringen og værdisætningen af for tidlig død. På den ene side overvurderer IIASA ved at se bort fra latensperioderne, som da heller ikke er godt dokumenteret. Det kan føre til en mindre overestimering for de samlede gevinster. På den anden side undervurderer IIASA ved at regne med EU-gennemsnitsværdier der er ca. 19% lavere end købekraftsparitetsjusterede danske. Dertil kommer at IIASA ser bort fra de akutte dødsfald i forbindelse med PM.

Såfremt basis-scenariets skøn for luftforurenings-reduktionen er korrekt vil den økonomiske gevinst for Danmark ifølge IIASA's mellemste skøn (VSL-median/VOLY-gennemsnit) for policy-scenariet udgøre ca. 4,2-4,4 milliarder kroner per år fra 2020. Heraf udgør værdien af flere leveår ca. 80% af den samlede gevinst, mindre sygelighed tegner sig for resten.

Tages der alternativt udgangspunkt i VOLY-median vil skønnet for de økonomiske fordele for Danmark ved policy-scenariet være 2,3 milliarder kroner (313 mio. EUR) pr. år fra 2020. Heraf udgør værdien af flere leveår ca. 70% af den samlede gevinst, mindre sygelighed tegner sig for resten, idet gevinsterne ved nedsat sygelighed er de samme under de fire beregningsmetoder for fordele.

Beregningerne med VSL-tilgangen er baseret på, at antallet af for tidlige dødsfald som følge af strategiens effekt på luftforureningen reduceres med ca. 500 om året i Danmark. Hertil kommer nedsat sygelighed, bl.a. ca. 250.000 færre sygedage og dage med nedsat aktivitet.

Disse effekter og gevinster er et samlet skøn for effekten af både temastrategien og NEC-direktivet. Det skyldes bl.a. at der med temastrategien lægges op til en revision af NEC-direktivet. De 10 nye medlemslande var ikke omfattet af det oprindelige NEC-direktiv og har i forbindelse med optagelsen fået defineret emissionslofter som stort set allerede var opfyldt i år 2000. Da temastrategien retter sig mod EU-25 er det givet, at den isolerede effekt af temastrategien er mere væsentlig end den isolerede effekt af NEC-direktivet der reelt kun retter sig mod EU-15. Med andre ord vil mere end halvdelen af de opgjorte gevinster formodentlig skulle tilskrives temastrategien.

Størrelsen af den danske emissions-manko i 2020 har kun begrænset betydning for de skønnede gevinster. I bybaggrund bidrager danske kilder næppe med mere end 20% af den reduktion på ca. 5 mg/m³ som forventes. For den almindelige baggrunds-eksponering (udenfor byerne) er det danske bidrag relativt set endnu mindre.

Mens NO_x betyder mest for den regionale og grænseoverskridende eksponering yder SO₂ et større bidrag til den nationale eksponering. Såfremt SO₂-emissionerne skal reduceres mere end strategien forudsætter, vil gevinsterne herved for Danmark bedst kunne vurderes efter de gængse beregningspriser. Der vil altså ikke kun være højere omkostninger ved en øget manko, også fordelene ved de foreslåede emissionslofter må vurderes noget højere.

Opgørelsen af gevinsterne bygger på den forudsætning at der sker de ændringer i luftkvaliteten som IIASA's model når frem til. Det er fremgået af rapporten at der er usikkerhed på beregningerne på denne model, især med hensyn til de enkelte stoffers spredning, men usikkerheden gælder også i nogen grad den samlede effekt på PM_{2,5}. DMU vurderer imidlertid, jf. kapitel 3, at en generel reduktion på 20% i PM_{2,5} koncentrationen i bybaggrund er indenfor rækkevidde, og i forlængelse af denne vurdering må gevinsterne ligeledes vurderes at være indenfor rækkevidde.

Referencer

Amann, M., Cofala, J., Heyes, C., Klimont, Z., Mechler, R., Posch, M. & Schöpp, W. 2004: The RAINS model. Documentation of the model approach, prepared for the RAINS peer review 2004, pp. 156, 2004.

Amann, M., Bertok, I., Cabala, R., Cofala, J., Heyes, C., Gyarfas, F., Klimont, Z., Schöpp, W. & Wagner, F. 2005a: 'A further emission control scenario for the Clean Air For Europe (CAFE) programme', CAFE Scenario Analysis Report Nr. 7, 2 October 2005, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria.

Amann, M., Bertok, I., Cabala, R., Cofala, J., Heyes, C., Gyarfas, F., Klimont, Z., Schöpp, W. & Wagner, F. 2005b: Target Setting Approaches for Cost-effective Reductions of Population Exposure to Fine Particulate Matter in Europe. Background paper for the meeting of the CAFE Working Group on Target Setting and Policy Advice, February 4, 2005. Extended Version for the CAFE Steering Group February 13, 2005. http://www.iiasa.ac.at/rains/CAFE_files/CAFE-B-full-feb3.pdf

Andersen, M.S., Frohn, L.M., Jensen, S.S., Nielsen, J.S., Sørensen, P.B., Hertel, O., Brandt, J. & Christensen, J. 2004: Sundhedseffekter af luftforurening - beregningspriser. Faglig rapport fra DMU 507, Danmarks Miljøundersøgelser.

Commission of the European Communities, 2005: Commission Staff Working Paper. Annex to: The Communication on Thematic Strategy on Air Pollution and The Directive on "Ambient Air Quality and Cleaner Air for Europe". Impact Assessment. {COM(2005)446 final}, {COM(2005)447 final}.

COWI, 2004, External costs of transport, 2nd report, Copenhagen: Ministry of Transport.

Ellermann, T., Andersen, H.V., Monies, C., Kemp, K., Bossi, R., Bügel Mogensen, B., Løfstrøm, P., Christensen, J. & Frohn, L.M. 2005: Atmosfærisk deposition 2004. NOVANA. Danmarks Miljøundersøgelser. 76s.- Faglig rapport fra DMU, nr. 555. <http://faglige-rapporter.dmu.dk>.

Energistyrelsen, 2005: Basisfremskrivning af el- og fjernvarmeproduktion 2005-2025, Teknisk baggrundsrapport til Energistrategi 2025, Kbh.

EU Commission, 2005: 'Non Paper. Further Information on Measures, Costs & Benefits in Relation to the Thematic Strategy on Air Pollution'. Brussels, 26.

Friedrich, R. 2004: New Elements for the Assessment of External Costs from Energy Technologies (NEWEXT), Stuttgart: IER.

Friedrich, R. & Bickel, P. 2001: Environmental External Costs of Transport, München: Springer.

Gyldenkærne, S. & Mikkelsen, M.H. 2005: 'Emission projections for ammonia 2025', National Environmental Research Institute, Roskilde, Denmark. Internt DMU-notat.

IIASA, 2006: 'Measures_Th_strategy. Analysis for the Thematic Strategy Scenario. 'Excel spreadsheet containing measures suggested by the RAINS model to meet reduction goals in Thematic Strategy for Air pollution. International Institute for Applied Systems Analysis (IIASA), Laxenburg, Austria.

Illerup, J.B. & Bruun, H.G. 2003: Emissioner af SO₂ og NO_x fra kraftværker. Miljøstyrelsen. - Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen 56 (elektronisk): 107 s. [Internet udgave](#)

Illerup, J.B., Birr-Pedersen, K., Mikkelsen, M.H, Winther, M., Gyldenkærne, S., Bruun, H.G. & Fenhann, J. 2002: Projection Models 2010. Danish Emissions of SO₂, NO_x, NMVOC and NH₃. National Environmental Research Institute. - NERI Technical Report 414: 192 pp. [Internet udgave](#)

Illerup, J.B., Nielsen, M., Winther, M., Mikkelsen, M.H., Hoffmann, L., Gyldenkærne, S., Fauser, P. & Nielsen, O.K. 2005a: Annual Danish Emission Inventory Report to UNECE. Inventories from the base year of the protocols to year 2003. National Environmental Research Institute. - Research Notes from NERI 223: 618 pp. (electronic). [Internet udgave](#)

Illerup, J.B., Nielsen, M., Winther, M., Nielsen, O.K., Hoffmann, L. 2005b: Fremskrivning af NO_x-emissioner til 2030. Notat til Miljøstyrelsen. Danmarks Miljøundersøgelser.

Jensen, T.C. 2005a: Comparison of the CP_CLE_Aug04(Nov04) figures and the latest DEA-figures for energy consumption to 2020. Notat fra Energistyrelsen.

Jensen, T.C. 2005b: Ændringer i bruttoenergiforbrug og CO₂-udledning i basisfremskrivning december 2005 i forhold til DK2025-fremskrivningerne. Notat fra Energistyrelsen.

Kemp, K., Ellermann, T., Palmgren, F., Wåhlin, P., Berkowicz, R. & Brandt, J. 2005: The Danish Air Quality Monitoring Programme. Annual Summary for 2004. National Environmental Research Institute, Roskilde Denmark 66 pp. -NERI Technical Report No. 544 <http://technical-reports.dmu.dk>.

Klimont, Z. & Brink, C. 2004: 'Modelling of Emissions of Air Pollutants and Greenhouse Gases from Agricultural Sources in Europe', Interim Report IR-04-048, September 2004, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg, Austria.

Loon, M. van, Roemer, M.G.M., Bultjes, P.J.H., Bessagnet, B., Rouill, L., Christensen, J., Brandt, J., Fagerli, H., Tarrason, L., Rodgers, I., Stern, R., Bergström, R., Langner, J. & Foltescu, V. 2004: "Model inter-comparison. In the framework of the review of the Unified EMEP model". TNO-report, TNO-MEPO – R 2004/282, pp. 86, June 2004.

Mikkelsen, M.H., Gyldenkerne, S., Poulsen, H.D., Olesen, J.E. & Sommer, S.G. 2005: Opgørelse og beregningsmetode for landbrugets emissioner af ammoniak og drivhusgasser 1985-2002. Danmarks Miljøundersøgelser. - Arbejdsrapport fra DMU 204: 84 s. (elektronisk). [Internet udgave](#)

Miljøstyrelsen, 2006: NO_x-emissioner og reduktionstiltag i Danmark, Miljøstyrelsen, København, Danmark (udkast, ikke publiceret)

Møller, F., Andersen, S.P., Grau, P., Huusom, H., Madsen, T., Nielsen, J. & Strandmark, L. 2000: Samfundsøkonomisk vurdering af miljøprojekter. Danmarks Miljøundersøgelser, Miljøstyrelsen og Skov- og Naturstyrelsen. 464 s.

Nielsen, M. & Illerup, J.B. 2006: Danish emission inventories for stationary combustion plants. Inventories until year 2003. National Environmental Research Institute, Denmark. 162 pp. – Research Notes from NERI no. 229. http://www2.dmu.dk/1_viden/2_Publikationer/3_arbrapporter/rapporter/AR229.pdf

Pedersen, S.L. 2005: Draft comparison of IIASA projections for the Danish Power & Heat sector with Energy Strategy 2025 projection. Notat fra Energistyrelsen.

Pope, C.A. Thun, M.J., Namboodiri, M.M., Dockery, D.W., Evans, J.S., Speizer, F.E. & Heath Jr, C.W. 1995: Particulate air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of US adults, *Am J Respir Crit Care Med*, 151, 669-674.

Pope, C.A., Burnett, R.T., Thun, M.J., Calle, E.E., Krewski, D., Ito, K. & Thurston, G.D. 2002: Lung cancer, cardiopulmonary mortality and long-term exposure to fine particulate air pollution, *Journal of American Medical Association* 287, 9, 1132-1141.

RAINS, Review of the RAINS Integrated Assessment Model – Reference ENV.C1/SER/2003/0079. Final version 2004-10-08, pp. 42. http://europa.eu.int/comm/environment/air/cafe/activities/pdf/ra_in_model.pdf

Statens Energimyndighed (STEM), 2005: Prisutvecklingen på el og utsläpssrätter samt de internationella bränslemarknaderna, ER 2005:35, Stockholm.

Winther, M. 2004: Danish emission inventories for road transport and other mobile sources. Inventories until year 2002. National Environmental Research Institute. - Research Notes from NERI 201: 146 pp. (electronic). [Internet udgave](#)

Danmarks Miljøundersøgelser

Danmarks Miljøundersøgelser – DMU – er en forskningsinstitution i Miljøministeriet.
DMU's opgaver omfatter forskning, overvågning og faglig rådgivning inden for natur og miljø.

Henvendelser kan rettes til:

URL: <http://www.dmu.dk>

Danmarks Miljøundersøgelser
Frederiksborgvej 399
Postboks 358
4000 Roskilde
Tlf.: 46 30 12 00
Fax: 46 30 11 14

*Direktion
Personale- og Økonomisekretariat
Forsknings-, Overvågnings- og Rådgivningssekretariat
Afd. for Systemanalyse
Afd. for Atmosfærisk Miljø
Afd. for Marin Økologi
Afd. for Miljøkemi og Mikrobiologi
Afd. for Arktisk Miljø*

Danmarks Miljøundersøgelser
Vejlsovej 25
Postboks 314
8600 Silkeborg
Tlf.: 89 20 14 00
Fax: 89 20 14 14

*Forsknings-, Overvågnings- og Rådgivningssekretariat
Afd. for Marin Økologi
Afd. for Terrestrisk Økologi
Afd. for Ferskvandsøkologi*

Danmarks Miljøundersøgelser
Grenåvej 14, Kalø
8410 Rønde
Tlf.: 89 20 17 00
Fax: 89 20 15 15

Afd. for Vildtbiologi og Biodiversitet

Publikationer:

DMU udgiver populærfaglige bøger ("MiljøBiblioteket"), faglige rapporter, tekniske anvisninger samt årsrapporter.
Et katalog over DMU's aktuelle forsknings- og udviklingsprojekter er tilgængeligt via World Wide Web.
I årsrapporten findes en oversigt over det pågældende års publikationer.

Faglige rapporter fra DMU/NERI Technical Reports

2005

- Nr. 541: Regulatory odour model development: Survey of modelling tools and datasets with focus on building effects. By Olesen, H.R. et al. 60 pp. (electronic)
- Nr. 542: Jordrentetab ved arealekstensivering i landbruget. Principper og resultater. Af Schou, J.S. & Abildtrup, J. 64 s. (elektronisk)
- Nr. 543: Valuation of groundwater protection versus water treatment in Denmark by Choice Experiments and Contingent Valuation. By Hasler, B. et al. 173 pp. (electronic)
- Nr. 544: Air Quality Monitoring Programme. Annual Summary for 2004, Part 1 Measurements. By Kemp, K. et al. 64 pp. (electronic)
- Nr. 545: Naturbeskyttelse og turisme i Nord- og Østgrønland. Af Aastrup, P. et al. 131 pp. (electronic)
- Nr. 546: Environmental monitoring at the Nalunaq Mine, South Greenland, 2004. By Glahder, C.M. & Asmund, G. 32 pp. (electronic)
- Nr. 547: Contaminants in the Atmosphere. AMAP-Nuuk, Westgreenland 2002-2004. By Skov, H. et al. 43 pp (electronic)
- Nr. 548: Vurdering af naturtilstand. Af Fredshavn, J & Skov, F. 93 s. (elektronisk)
- Nr. 549: Kriterier for gunstig bevaringsstatus for EF-habitatdirektivets 8 marine naturtyper. Af Dahl, K. et al. 39 s. (elektronisk)
- Nr. 550: Natur og Miljø 2005. Påvirkninger og tilstand. Af Bach, H. (red.) et al. 205 s., 200,00 kr.
- Nr. 551: Marine områder 2004 – Tilstand og udvikling i miljø- og naturkvaliteten. NOVANA. Af Ærtebjerg, G. et al. 94 s. (elektronisk)
- Nr. 552: Landovervågningsoplande 2004. NOVANA. Af Grant, R. et al. 140 s. (elektronisk)
- Nr. 553: Søer 2004. NOVANA. Af Lauridsen, T.L. et al. 62 s. (elektronisk)
- Nr. 554: Vandløb 2004. NOVANA. Af Bøgestrand, J. (red.) 81 s. (elektronisk)
- Nr. 555: Atmosfærisk deposition 2004. NOVANA. Af Ellermann, T. et al. 74 s. (elektronisk)
- Nr. 557: Terrestriske naturtyper 2004. NOVANA. Af Strandberg, B. et al. 58 s. (elektronisk)
- Nr. 558: Vandmiljø og Natur 2004. Tilstand og udvikling – faglig sammenfatning. Af Andersen, J.M. et al. 132 s. (elektronisk)
- Nr. 559: Control of Pesticides 2004. Chemical Substances and Chemical Preparations. By Krongaard, T., Petersen, K.K. & Christoffersen, C. 32 pp. (electronic)
- Nr. 560: Vidensyntese indenfor afsætning af atmosfærisk ammoniak. Fokus for modeller for lokal-skala. Af Hertel, O. et al. 32 s. (elektronisk)
- Nr. 561: Aquatic Environment 2004. State and trends – technical summary. By Andersen, J.M. et al. 62 pp., DKK 100,00.
- Nr. 562: Nalunaq environmental baseline study 1998-2001. By Glahder, C.M. et al. 89 pp. (electronic)
- Nr. 563: Scientific and technical background for intercalibration of Danish coastal waters. By Petersen, J.K. & Hansen, O.S. (eds.) et al. 72 pp. (electronic)

2006

- Nr. 564: Styringsmidler i naturpolitikken. Miljøøkonomisk analyse. Af Schou, J.S., Hasler, B. & Hansen, L.G. 36 s. (elektronisk)
- Nr. 565: Dioxin in the Atmosphere of Denmark. A Field Study of Selected Locations. The Danish Dioxin Monitoring Programme II. By Vikelsøe, J. et al. 81 pp. (electronic)
- Nr. 567: Environmental monitoring at the Nalunaq Gold Mine, south Greenland, 2005. By Glahder, C.M. & Asmund, G. 35 pp. (electronic)
- Nr. 569: Anskydning af vildt. Konklusioner på undersøgelser 1997-2005. Af Noer, H. 35 s. (elektronisk)
- Nr. 572: Søerne i De Vestlige Vejler. Af Søndergaard, M. et al. 55 s. (elektronisk)
- Nr. 573: Monitoring and Assessment in the Wadden Sea. Proceedings from the 11. Scientific Wadden Sea Symposium, Esbjerg, Denmark, 4.-8. April 2005. By Laursen, K. (ed.) 141 pp. (electronic)
- Nr. 574: Økologisk Risikovurdering af Genmodificerede Planter i 2005. Rapport over behandlede forsøgsudsætninger og markedsførings-sager. Af Kjellsson, G., Damgaard, C. & Strandberg, M. 22 s. (elektronisk)
- Nr. 575: Miljøkonsekvenser ved afbrænding af husdyrgødning med sigte på energiudnyttelse. Scenarieanalyse for et udvalgt opland. Af Schou, J.S. et al. 42 s. (elektronisk)
- Nr. 576: Overvågning af Vandmiljøplan II – Vådområder 2005. Af Hoffmann, C.C. et al. 127 s. (elektronisk)
- Nr. 577: Limfjordens miljøtilstand 1985 til 2003. Empiriske modeller for sammenhæng til næringsstofftilførsler, klima og hydrografi. Af Markager, S., Storm, L.M. & Stedmon, C.A. 219 s. (elektronisk)
- Nr. 578: Limfjorden i 100 år. Klima, hydrografi, næringsstofftilførsel, bundfauna og fisk i Limfjorden fra 1897 til 2003. Af Christiansen, T. et al. 85 s. (elektronisk)
- Nr. 579: Aquatic and Terrestrial Environment 2004. State and trends – technical summary. By Andersen, J.M. et al. 136 pp. (electronic)

EU fremsatte i 2005 en temastrategi for luftforurening og et direktivforslag om luftkvalitet. EU har udarbejdet en konsekvensvurdering af strategien, som viser en årlig gevinst for Danmark som langt overstigninger omkostningerne ved implementering. En nærmere analyse for Danmark viste, at EU Kommissionens vurdering var behæftet med en del unøjagtigheder. Analysen viste at Danmark med stor sandsynlighed vil kunne opfylde kravene til udslip af ammoniak og kravene vedr. koncentration af partikler i luften. For udslip af svovl, opløsningsmidler og partikler er det ikke muligt at sige, om Danmark vil kunne opfylde de foreslåede udslipslofter, medens det for kvælstofoxider er klart nødvendigt at foretage yderligere indgreb. Overslag over Danmarks omkostninger og gevinster ved at opfylde strategien er i samme størrelsesorden, som EU Kommissionens estimat. Analysen bekræfter at omkostningerne ved forslaget er væsentligt mindre end gevinsterne.