

Miljøøkonomiske beregningspriser for emissioner

Notat fra DCE - Nationalt Center for Miljø og Energi

Dato: December 2014

Mikael Skou Andersen & Jørgen Brandt

Institut for Miljøvidenskab

Rekvirent:
Miljøstyrelsen
Antal sider: 15



AARHUS
UNIVERSITET

DCE - NATIONALT CENTER FOR MILJØ OG ENERGI

Tel.: +45 8715 0000
E-mail: dce@au.dk
<http://dce.au.dk>

Indhold

Indledning	3
Miljøøkonomiske beregningspriser for emissioner	4
Resultater	6
Detaljerede resultater for vejtrafik	10
Bly	12
Referencer	13
Bilag: Følsomhedsberegning	15

Indledning

Emissioner af helbredsskadelige kemiske stoffer til atmosfæren kan transporteres over lange afstande og medføre helbredseffekter både tæt på kilden (lokale effekter) og op til flere tusinde km væk fra kilden (regionale effekter). De kemiske stoffer bliver transporteret med vinden og undervejs sker der kemisk omdannelse, samt afsætning på jordoverfladen både via nedbør (våddeposition) og direkte afsætning (tørdeposition). Den kemiske omdannelse sker, når de emitterede kemiske stoffer reagerer med andre stoffer som er til stede i atmosfæren. På denne måde omdannes de primært emitterede gasser SO_2 , NO_x og NH_3 til bl.a. de sekundært dannede partikler SO_4^{2-} , NO_3^- og NH_4^+ , ligesom der sker en reaktion med den ozon der stammer fra udledninger i Danmark og i udlandet og som transporteres ind over Danmark med vinden. Der er tale om yderst komplekse relationer mellem de nævnte emissioner og ændringerne i luftens koncentrationer af både primære og sekundære forureningskomponenter. De er især komplekse, hvor baggrundskemien spiller ind - hvilket fx er tilfældet for både SO_2 , NO_x og NH_3 . Komplexiteten er mindre for udledningen af primære partikler, $\text{PPM}_{2.5}$.

De komplekse atmosfæriske forhold kan beskrives og modelleres i regional-skalamodeller som den Danske Eulerske Hemisfæriske Model (DEHM). DEHM er en luftforureningsmodel som beregner ændringerne i luftkvaliteten i et lagdelt gitternet bl.a. baseret på emissioner EMEP, det Europæiske samarbejde om overvågning af langtransporteret luftforurening. DEHM modellerer både de fysiske og kemiske forhold i atmosfæren og kan gøre rede for 67 forskellige kemiske stoffer. DEHM er valideret for danske og Europæiske forhold gennem mere end 25 år. Med anvendelse af DEHM, kan man ud fra detaljerede beregninger af time-for-time-variationerne, nå frem til årsmiddelværdier for de ændringer i luftkvaliteten som kan henføres til ændringer i udledningen fra de enkelte forureningskilder og eller emissionssektorer. DEHM beregner luftkvalitetsændringerne i et såkaldt gitternet, hvor hver gittercelle er 16,6 km x 16,6 km i udstrækning over Nordeuropa inkl. Danmark, 50 km x 50 km over Europa og 150 km x 150 km over resten af den nordlige hemisfære og tager således hensyn til interkontinental transport af luftforurening. Med dette redskab er det muligt, støttet på GIS-fordelte populationsdata, at opgøre ændringer i eksponeringen af den befolkning som befinder sig i det relevante område.

Miljøøkonomiske beregningspriser for emissioner

EVA er et modelsystem som kan foretage en integreret opgørelse af de eksterne omkostninger ved luftforureningen baseret på den atmosfæriske modellering i den Danske Eurlerske Hemisfæriske Model (DEHM). EVA er en forkortelse for Economic Valuation of Air pollution.

Det sker efter *impact pathway*-metoden, som principielt set består af fire led (jf. Rabl and Peuportier, 1995):

- atmosfærisk modellering af årsmiddelværdier for koncentrationsbidragene fra emissioner,
- opgørelse af eksponering ud fra GIS-data over befolkningens placering; dette baseret på CPR-data med tilhørende aldersfordeling,
- opgørelse af sundhedseffekter; dette baseret på eksponerings-respons-sammenhænge for eksponering og tilhørende statistiske forventninger til frekvensen for morbiditet og mortalitet,
- monetær værdisætning, dette baseret på enhedsværdier for de enkelte sundhedseffektsslutpunkter (eksempelvis pr. mistet leveår, pr. sygedag osv.).

De anvendte eksponerings-respons funktioner såvel som den økonomiske værdisætning af sundhedseffekt-slutpunkterne fremgår af tabel A. Ved operationaliseringen af eksponerings-respons-relationerne er fulgt fremgangsmåden anvendt i forbindelse med den, af EU-Kommissionen, publicerede impact assessment for Temastrategien for Luft, under den såkaldte Clean Air For Europe (CAFÉ) proces (se Bach et. al., 2006). I spørgsmålet om hvilken sundhedsfaglig dokumentation der skulle lægges til grund, anvendte EU-Kommissionen komité-systemet under verdenssundhedsorganisationen WHO som reference.

I DMU Faglig rapport nr. 507 (Andersen et. al., 2004) og sidenhen i DMU Faglig rapport nr. 586 (Bach et. al., 2006), DMU Faglig Rapport nr. 783 (Andersen, 2010) og DCE rapport nr. 64 (Brandt et.al. 2013), er dokumentationsgrundlaget blevet sammenfattet på dansk, ligesom det har været genstand for granskning i en tværministeriel arbejdsgruppe i 2006 ledet af det daværende Transport- og Energiministerium.

Under forskningscentret Centre for Energy, Environment and Health (CEEH; <http://www.ceeh.dk>) - som var støttet med en fem-årig bevilling fra Det Strategiske Forskningsråd - blev gennemført opdaterede modelberegninger med udgangspunkt i emissionerne for 2008 som det seneste år. Der henvises til de publicerede resultater i det internationale tidsskrift [*Atmospheric Chemistry and Physics*](#) for dokumentation vedrørende modelberegningerne (Brandt et. al., 2013a; 2013b).

I forbindelse med udarbejdelsen af nærværende notat er CEEH modelberegningerne opdateret til prisniveau 2013. Beregningerne er udført i henhold til Finansministeriets (2013) reviderede diskonteringsrente, der for de første 35 år udgør 4 pct., hvorefter den nedsættes, først til 3 pct. og ved det 70. år til 2,5 pct. Desuden er en nettoafgiftsfaktor på 1,325 indarbejdet i opgørelsen (jf Møller et. al., 2010).

Tabel A. Sundhedseffekter i EVA. De anførte eksponerings-respons funktioner for PM_{2.5} er anvendt for de respektive dele af PM_{2.5} massen.

Sundhedseffekt Slutpunkter	Eksponerings-respons funktioner	Værdisætning DKK (2013-priser)
MORBIDITET (PM_{2.5})		
Bronkitis	8.2E-5 tilfælde pr. µgm ⁻³ (voksne)	583.293 pr. tilfælde
Sygedage m.v.	8.4E-4 dage pr. µgm ⁻³ (voksne)	988 pr. dag
Indlæggelser		
- åndedrætsbesvær	3.46E-6 tilfælde pr. µgm ⁻³	53.284 pr. tilfælde
- hjerneblødning	8.42E-6 tilfælde pr. µgm ⁻³	67.505 pr. tilfælde
- kredsløbsforst. (> 65 år)	3.09E-5 tilfælde pr. µgm ⁻³	110.252 pr. tilfælde
Lungekræft, morbiditet	1.26E-5 tilfælde pr. µgm ⁻³	162.502 pr. tilfælde
Astma børn (7.6 % < 16 år)		
- bronchodilator doser	1.29E-1 doser pr. µgm ⁻³	167 pr. tilfælde
- hoste	4.46E-1 dage pr. µgm ⁻³	316 pr. dag
- åndenød	1.01E-1 dage pr. µgm ⁻³	91 pr. dag
Astma voksne (5.9 % > 15 år)		
- bronchodilator doser	2.72E-1 doser pr. µgm ⁻³	167 pr. tilfælde
- hoste	2.8E-1 dage pr. µgm ⁻³	316 pr. dag
- åndenød	1.01E-1 dage pr. µgm ⁻³	91 pr. dag
MORTALITET		
Akut mortalitet (SO ₂)	7.85E-6 tilfælde pr. µgm ⁻³	15,5 mio. pr. tilfælde
Kronisk mortalitet (PM _{2.5})	1.138E-3 YOLL pr. µgm ⁻³ (>30 år)	583,293 pr. YOLL
Infant mortalitet (PM _{2.5})	4.68E-5 tilfælde pr. µgm ⁻³ (< 9 mdr.)	23,3 mio. pr. tilfælde
Akut mortalitet (O ₃)	3.27E-6*SOMO35 tilfælde pr. µgm ⁻³	15,5 mio. pr. tilfælde

Tabel 1 nedenfor viser resultaterne der fremkommer overordnet for emissionerne på dansk område.

Resultater

Tabel 1. Marginale eksterne omkostninger ved alle danske sektorer (SNAP-alle). ¹

Eksterne omkostninger (Mio. DKK₂₀₁₃)	CO	SO₂/SO₄	O₃/NO₃	PM_{2.5}	NH₃/NH₄
Kronisk mortalitet (tabte leveår)		4.019	13.470	4.991	9.419
Indlæggelser	0,3	12	38	14	27
Astmatikere		86	289	109	203
Bronkitis/KOL		235	790	299	122
Sygedage m.v.		611	2.057	330	1.440
Lungekræft (morbiditet)		15	51	19	35
Akut mortalitet O ₃ , SO ₂ m.v.		207	813	21	3
Sum	0,3	5.185	17.508	5.784	11.249
Heraf på dansk område	36%	10%	13%	41%	17%
Emissioner (tons)	436.444	19.640	151.766	28.400	73.180
Beregningspris (DKK ₂₀₁₃ pr. kg)	0	264	115	204	156

Som led i CEEH forskningsprojektet er der som noget nyt beregnet sektor-specifikke estimater for de marginale eksterne omkostninger. Disse sektorer er grupperet efter SNAP-koder 1-10. Resultaterne er vist nedenfor, dog undtaget SNAP5 og SNAP6 som ikke kan opgøres særskilt med tilstrækkelig sikkerhed.

Tabel 2. Sektorer efter SNAP klassifikationen hos EMEP-CORINAIR.

SNAP sector 1	Combustion in energy and transformation industry
SNAP sector 2	Non-industrial combustion plants
SNAP sector 3	Combustion in manufacturing industry
SNAP sector 4	Production processes
SNAP sector 5	Extraction and distribution of fossil fuels and geothermal energy
SNAP sector 6	Solvent and other product use
SNAP sector 7	Road transport
SNAP sector 8	Other mobile sources and machinery
SNAP sector 9	Waste treatment and disposal
SNAP sector 10	Agriculture

¹ PM_{2.5} betegner i denne og de følgende tabeller alene den primære emission af den totale PM_{2.5}. Den primære del af PM_{2.5} indbefatter BC, OC og mineralsk støv. De sekundært dannede partikler (SO₄²⁻, NO₃⁻ og NH₄⁺) henregnes ofte til den totale PM_{2.5} men er her opgjort særskilt. Emissioner af NO_x påvirker O₃ og fører desuden til dannelsen af NO₃⁻ partikler.

Tabel 3. Marginale eksterne omkostninger ved større forbrændingsanlæg i energisektoren (SNAP1).

Eksterne omkostninger (1000 DKK₂₀₁₃)	CO	SO₂/SO₄	O₃/NO₃	PM_{2.5}
Kronisk mortalitet (tabte leveår)		445.212	1.644.960	72.563
Indlæggelser	296	1.309	4.663	206
Astmatikere		9.561	35.138	1.562
Bronkitis/KOL		26.015	96.254	4.263
Sygedage m.v.		67.706	250.469	11.093
Lungekræft (morbidity)		1.674	6.193	274
Akut mortalitet O ₃ , SO ₂ m.v.		54.467	49.386	293
Sum	296	605.943	2.087.063	90.255
Heraf på dansk område	13%	10%	10%	15%
Emissioner (tons)	8.213	6.600	32.496	640
Beregningspris (DKK ₂₀₁₃ pr. kg)	0	92	64	141

Tabel 4. Marginale eksterne omkostninger ved små ikke-industrielle forbrændingsanlæg i husholdninger m.v. (SNAP2).

Eksterne omkostninger (1000 DKK₂₀₁₃)	CO	SO₂/SO₄	O₃/NO₃	PM_{2.5}
Kronisk mortalitet (tabte leveår)		417.200	635.187	3.417.315
Indlæggelser	803	1.237	1.811	9.877
Astmatikere		8.979	13.636	74.326
Bronkitis/KOL		24.458	37.399	204.279
Sygedage m.v.		63.660	97.297	531.558
Lungekræft (morbidity)		1.574	2.406	13.142
Akut mortalitet O ₃ , SO ₂ m.v.		59.146	140.500	14.513
Sum	803	576.255	928.236	4.265.010
Heraf på dansk område	25%	20%	15%	37%
Emissioner (tons)	8.213	4.320	8.247	20.380
Beregningspris (DKK ₂₀₁₃ pr. kg)	0	133	113	209

Tabel 5. Marginale eksterne omkostninger ved industriens forbrændingsanlæg (SNAP3).

Eksterne omkostninger (1000 DKK₂₀₁₃)	CO	SO₂/SO₄	O₃/NO₃	PM_{2.5}
Kronisk mortalitet (tabte leveår)		430.610	1.122.715	145.275
Indlæggelser	72	1.256	3.187	414
Astmatikere		9.255	24.027	3.133
Bronkitis/KOL		25.188	65.798	8.545
Sygedage m.v.		65.560	171.276	22.246
Lungekræft (morbidity)		1.621	4.234	550
Akut mortalitet O ₃ , SO ₂ m.v.		39.939	41.154	590
Sum	72	573.430	1.432.391	180.753
Heraf på dansk område	12%	12%	12%	17%
Emissioner (tons)	19.926	5.420	19.583	1.230
Beregningspris (DKK ₂₀₁₃ pr. kg)	0	106	73	147

Tabel 6. Marginale eksterne omkostninger ved industriens procesenergi (SNAP4).

Eksterne omkostninger (1000 DKK₂₀₁₃)	CO	SO₂/SO₄	O₃/NO₃	PM_{2,5}
Kronisk mortalitet (tabte leveår)		170.978	204.950	143
Indlæggelser	22	498	594	0
Astmatikere		3.677	4.444	1
Bronkitis/KOL		10.020	12.285	8
Sygedage m.v.		26.068	31.975	22
Lungekræft (morbidity)		645	790	1
Akut mortalitet O ₃ , SO ₂ m.v.		14.483	109.635	1
Sum	22	226.367	364.673	176
Heraf på dansk område	5%	17%	n/a ²	n/a
Emissioner (tons)	8.213	800	33	0
Beregningspris (DKK ₂₀₁₃ pr. kg)	0	283	n/a	n/a

Tabel 7. Marginale eksterne omkostninger ved vejtrafikken (SNAP7).

Eksterne omkostninger (1000 DKK₂₀₁₃)	CO	SO₂/SO₄	O₃/NO₃	PM_{2,5}
Kronisk mortalitet (tabte leveår)		12.963	3.720.530	890.275
Indlæggelser	1111	50	10.570	2.621
Astmatikere		271	79.719	19.547
Bronkitis/KOL		724	218.136	54.378
Sygedage m.v.		1.886	567.690	141.476
Lungekræft (morbidity)		47	14.036	3.499
Akut mortalitet O ₃ , SO ₂ m.v.		17.239	-57.417	3.971
Sum	1111	33.180	4.553.264	1.115.767
Heraf på dansk område	50%	0%	8%	58%
Emissioner (tons)	138.995	80	60.983	3.380
Beregningspris (DKK ₂₀₁₃ pr. kg)	0,01	415	75	330

Tabel 8. Marginale eksterne omkostninger ved øvrige mobile kilder (SNAP8).

Eksterne omkostninger (1000 DKK₂₀₁₃)	CO	SO₂/SO₄	O₃/NO₃	PM_{2,5}
Kronisk mortalitet (tabte leveår)		63.392	1.661.350	290.774
Indlæggelser	723	205	4.707	848
Astmatikere		1.368	35.531	6.361
Bronkitis/KOL		3.739	97.074	17.560
Sygedage m.v.		9.730	252.704	45.706
Lungekræft (morbidity)		241	6.249	1.130
Akut mortalitet O ₃ , SO ₂ m.v.		26.477	60.122	1.264
Sum	723	105.153	2.117.736	363.642
Heraf på dansk område	35%	31%	6%	47%
Emissioner (tons)	120.561	1.080	30.064	1.430
Beregningspris (DKK ₂₀₁₃ pr. kg)	0	97	70	254

² Her kan i stedet anvendes beregningsprisen anført i tabel 1.

Tabel 9. Marginale eksterne omkostninger ved behandling og forbrænding af affald m.v. (SNAP9).

Eksterne omkostninger (1000 DKK₂₀₁₃)	CO	SO₂/SO₄	O₃/NO₃	PM_{2.5}
Kronisk mortalitet (tabte leveår)		121.882	6.577	3.169
Indlæggelser	5	394	19	9
Astmatikere		2.620	141	68
Bronkitis/KOL		7.130	384	186
Sygedage m.v.		18.558	998	484
Lungekræft (morbiditet)		459	25	12
Akut mortalitet O ₃ , SO ₂ m.v.		9.409	3.350	13
Sum	5	160.453	11.493	3.942
Heraf på dansk område	14%	13%	5%	15%
Emissioner (tons)	1377	1.320	296	20
Beregningspris (DKK ₂₀₁₃ pr. kg)	0	122	39	197

Tabel 10. Marginale eksterne omkostninger ved landbrugets husdyr og afgrøder (SNAP10).

Eksterne omkostninger (1000 DKK₂₀₁₃)	CO	NH₃/NH₄	PM_{2.5}
Kronisk mortalitet (tabte leveår)		9.419.035	151.310
Indlæggelser	71	26.833	438
Astmatikere		202.686	3.300
Bronkitis/KOL		122.269	4.263
Sygedage m.v.		1.439.862	23.468
Lungekræft (morbiditet)		35.604	580
Akut mortalitet O ₃ , SO ₂ m.v.		3.317	642
Sum	71	11.249.606	184.000
Heraf på dansk område	15%	17%	38%
Emissioner (tons)	2.519	73.180	1260
Beregningspris (DKK ₂₀₁₃ pr. kg)	0	156	146

Detaljerede resultater for vejtrafik

Ved luftforureningskilder i vejtrafikken ledes emissionerne ikke så hurtigt bort fra de eksponerede personer som ved punktkilder med afkast i større højde. Særligt i bymæssig bebyggelse betyder det, at der er større eksterne omkostninger knyttet til emissionerne.

I bymæssig bebyggelse præges transporten af gaderummet og dets udformning. Eksponeringen kan beskrives meget detaljeret i modeller som tager højde for variationerne i gaderummet og bebyggelsen. Til brug for en opgørelse over eksterne omkostninger er det imidlertid ikke hensigtsmæssigt at foretage meget præcise og strengt lokale gaderumsberegninger. I stedet er den lokale beregning baseret på den lidt mere overordnede UBM-model, som beregner bidraget til bybaggrund (UBM er en forkortelse for Urban Background Model).

UBM-modellen blev i forbindelse med partikelredegørelsen (Jensen et al., 2005) anvendt til at modellere sammenhængen mellem emissioner og koncentrationsbidrag. Den atmosfæriske modellering herfra er som for tidligere beregningspriser lagt til grund for opgørelsen af lokalskala-tillægget til de eksterne omkostninger.

Den kemiske transformation fra primære til sekundære stoffer tager en vis tid, og derfor sker eksponeringen for sekundære kemiske stoffer, særligt NO_3 , NO_2 og SO_4 , i en vis afstand fra selve udledningen, dvs. vejtrafikken. Derimod kan de primære emissioner af særligt $\text{PM}_{2.5}$ men også SO_2 resultere i et mærkbart bidrag til årsmiddelværdierne i det lokale byrum. Forklaringen herpå er, at udledningerne fra vejtrafikken sker i lav højde.

For at kunne differentiere de eksterne omkostninger fra vejtrafikken er der opgjort tillæg som vist i tabel B. Tillæggene er opgjort ved at lægge resultater fra UBM-modellen til grund.

Tabel B. Lokalt eksponeringstillæg ved vejtrafik og andre emissioner nær terræn opgjort på grundlag af UBM (Kilde: Jensen et al, 2005; Jensen et al. 2010).

Eksterne omkostninger	SNAP7	SNAP7	SNAP2	SNAP2
DKK₂₀₁₃ pr. kg	SO₂	PM_{2.5}	SO₂	PM_{2.5}
Tillæg by (>10.000 indb.)	9	111	40	182
Tillæg København/Frborg	106	1216	367	1216

På grundlag af de eksterne omkostninger ved vejtrafikens emissioner kan der foretages en fordeling pr. kørt kilometer på køretøjer. Resultaterne er vist i tabel 11 og 12. Disse 'kilometer-priser' for luftforurening (excl. CO_2) kan anvendes ved samfundsøkonomiske analyser (jf. Jensen et al., 2010).

For emissioner af $\text{PM}_{2.5}$ og SO_2 fra andre kilder nær terræn i byzone (eksempelvis brændeovne og diesellokomotiver) kan tillæggene i tabel B anvendes som et tilnærmet udtryk for de eksterne omkostninger.

Tabel 11. Marginale eksterne omkostninger ved luftforurening (excl. CO₂) pr. kørt kilometer.

DKK₂₀₁₃ pr. km	Land	By (>10.000)	By (Kbh/Frb)
Personbil			
- benzin	0,05	0,07	0,09
- diesel	0,04	0,10	0,25
Bus (diesel)	0,57	0,85	1,36
Varebil (benzin)	0,09	0,10	0,14
Varebil (diesel)	0,09	0,17	0,41
Lastbil (diesel)	0,47	0,64	1,12
Vægtet gennemsnit	0,09	0,13	0,22

Tabel 12. Motorvej: Marginale eksterne omkostninger ved luftforurening (excl. CO₂) pr. kørt kilometer.

DKK₂₀₁₃ pr. km	Land Motorvej	By>10.000 Motorvej	Kbh/Frb Motorvej
Personbil			
- benzin	0,07	0,07	0,08
- diesel	0,06	0,07	0,17
Bus (diesel)	0,49	0,52	0,80
Varebil (benzin)	0,09	0,09	0,12
Varebil (diesel)	0,09	0,11	0,28
Lastbil (diesel)	0,42	0,45	0,75
Vægtet gennemsnit	0,10	0,10	0,17

Tabel 11-DK. Marginale eksterne omkostninger på dansk område ved luftforurening (excl. CO₂) pr. kørt kilometer.

DKK₂₀₁₃ pr. km	Land	By (>10.000)	By (Kbh/Frb)
Personbil			
- benzin	0,01	0,01	0,04
- diesel	0,01	0,05	0,20
Bus (diesel)	0,10	0,19	0,70
Varebil (benzin)	0,01	0,02	0,05
Varebil (diesel)	0,03	0,07	0,32
Lastbil (diesel)	0,09	0,17	0,65
Vægtet gennemsnit	0,02	0,04	0,14

Tabel 12-DK. Motorvej: Marginale eksterne omkostninger på dansk område ved luftforurening (excl. CO₂) pr. kørt kilometer.

DKK₂₀₁₃ pr. km	Land	By (>10.000)	By (Kbh/Frb)
Personbil			
- benzin	0,01	0,01	0,02
- diesel	0,02	0,03	0,13
Bus (diesel)	0,08	0,11	0,39
Varebil (benzin)	0,01	0,01	0,04
Varebil (diesel)	0,03	0,05	0,22
Lastbil (diesel)	0,07	0,11	0,40
Vægtet gennemsnit	0,02	0,02	0,09

Bly

Der præsenteres her en opdateret beregningspris for atmosfæriske emissioner af bly (Pb). Der henvises til Faglig Rapport 783 (Andersen, 2010:16-18) for en sammenfattende gennemgang af opgørelsesmetoden på dansk, baseret på forskningsresultater fra projektet Residual Resources' Research (3R), der var støttet af Det Strategiske Forskningsråd.

Beregningsprisen er opdateret under hensyn til følgende;

- genberegning af et IQ point's værdisætning med den anbefalede diskonteringsrente jf. Finansministeriet (2013, 2014)
- opdateret dosis-respons funktion for blys påvirkning af børns IQ når bly-blod værdien er under 10 µg/dl, jf. EFSA (2010:94)
- standardisering af eksponerings-scenariet for at muliggøre benefit transfer til andre lokaliteter.

Tabel 13. Opgørelse vedrørende emission af bly og IQ-reduktion³.

Parameter	Værdi			Enhed	Formel
Aldersgruppe	0(-1)	1(-2)	2(-3)	Småbørnsalder (år)	
Andel børn	1,3%	1,3%	1,3%	Årgang i procent af population	C
Population	1,5 mio.			Per 50 x 50 km	P
IQ-tab - Pb _{blod}	1,2			Tab af IQ point pr. µg Pb pr. dl blod	B
Pb _{blod} - Pb _{luft}	1,97	2,85	3,27	µg Pb pr. dl blod / µg Pb pr. m ³	A
IQ-tab - Pb _{luft}	2,36	3,42	3,92	Tab af IQ point pr. µg Pb pr. m ³	Q = B·A
ΔPb _{luft} /person	7,80E-5			µg Pb pr. m ³ (årsmiddel)	D
Emission _{landareal}	0,726			ton Pb per år	E
ΔPb _{luft} /ton	1,075E-4			µg Pb pr. m ³ pr. ton (årsmiddel)	X = D/E
IQ værdi _{DKK2013}	156.450			Tab i livstidsindkomst pr. IQ-point	L
Eksternalitet	775	1121	1287	1000 DKK ₂₀₁₃ pr. ton Pb	U _{0;1;2} =X·Q·L·P·C
Beregningspris	3.183			DKK ₂₀₁₃ i alt pr. kg Pb _{emitteret}	(U ₀ +U ₁ +U ₂)/1000

Det bemærkes, at der er set bort fra udgifter til kompenserende foranstaltninger i uddannelsessystemet, fra afledte effekter af IQ-reduktion for produktiviteten samt bly-depositionens påvirkning af efterlevende generationer af småbørn.

Den i tabel 13 angivne beregningspris kan anvendes for København-Frederiksberg og omegn. Værdien kan overføres til andre lokaliteter ved at erstatte værdien for P med populationen og indsætte i formel. Der reduceres ikke for udland.

Den angivne dosis-respons funktion (B) vil endvidere kunne anvendes som grundlag for særskilte beregningspriser for andre eksponeringer, f.eks. fra drikkevand og jordforurening.⁴

³ Referencer for værdierne angivet i tabel 13: B: EFSA, 2010 (*concurrent exposure with piecewise linear model*) jf. Budtz-Jørgensen, 2010; A: Pizzol et. al., 2010; D: Becker, 2009; L: Jensen, 2006.

⁴ Bly er bl.a. under mistanke for de følgende effekter på mennesker som ikke er monetariseret her; effekter på IQ i foster-tilstanden og gennem amning; reproduktive effekter; forhøjet blodtryk og ikke-fatale hjertesygdomme og blodpropper; anti-social adfærd samt for tidlig død (jf. USEPA, 1998:14)

Referencer

Andersen, M.S., 2010, Miljøøkonomiske beregningspriser for emissioner, Faglig rapport nr. 783, Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet. <http://www2.dmu.dk/pub/FR783.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. DMU Faglig Rapport Nr. 507, 2004, 88 s. http://www2.dmu.dk/1_Viden/2_Publikationer/3_Fagrapporter/rapporter/FR507.pdf

Andersen, M.S. & Clubb, D.O., 2013, Understanding and accounting for the costs of inaction, in D. Gee et. al., eds., Late lessons from early warnings: Science, precaution, innovation, European Environment Agency, Luxembourg: Publications Office of the European Union. [10.2800/70069](http://dx.doi.org/10.2800/70069)

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, Faglig rapport nr. 586, Danmarks Miljøundersøgelser, Aarhus Universitet. http://www2.dmu.dk/1_viden/2_Publikationer/3_fagrapporter/rapporter/FR586.pdf

Becker, T, 2009. OML-beregning for Vestforbrændingen (2000; 2001; 2002), Roskilde: Afdelingen for Atmosfærisk Miljø, DMU/Aarhus Universitet.

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

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

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

Budtz-Jørgensen, Esben, 2010. An international pooled analysis for obtaining a benchmark dose for environmental lead exposure in children, Scientific/technical report submitted to EFSA (European Food Safety Authority), published in: *Risk Analysis* 33:3, 450-461.

EFSA Panel on Contaminants in the Food Chain (CONTAM); Scientific Opinion on Lead in Food, 2010. EFSA Journal 8(4):1570. doi:10.2903/j.efsa.2010.1570.

<http://www.efsa.europa.eu/en/efsajournal/doc/1570.pdf>

Finansministeriet, 2013, Ny og lavere samfundsøkonomisk diskonteringsrente, faktaark 31. maj, København.

Finansministeriet, 2014, Finansredegørelse, København.

Jensen, S.S., Ketzler, M. & Andersen, M.S. 2010: Reduktion af sundhedsskadelig luftforurening gennem prisstrukturen for roadpricing, Faglig Rapport fra DMU nr. 770, Aarhus Universitet. <http://www2.dmu.dk/Pub/FR770.pdf>

Jensen, J. 2006: Værdisætning af IQ, Danmarks Miljøundersøgelser: Afdeling for Systemanalyse.

Jensen, F.P., Glasius, M., Wåhlin, P., Ketzler, M., Berkowicz, R., Jensen, S.S., Winther, M., Illerup, J.B., Andersen, M.S., Hertel, O., Vinzents, P., Møller, P., Sørensen, M., Knudsen, L.E., Schibye, B., Andersen, Z.J., Hermansen, M., Scheike, T., Stage, M., Bisgaard, H., Loft, S., Jensen, K.A., Kofoed-Sørensen, V. & Clausen, P.A. 2005: Luftforurening med partikler i Danmark, Miljøprojekt nr. 1021, København: Miljøstyrelsen.

<http://www2.mst.dk/udgiv/publikationer/2005/87-7614-720-7/pdf/87-7614-721-5.pdf>

Møller, F, Strandmark, L og Krarup, S 2010: Samfundsøkonomisk vurdering af miljøprojekter, København: Miljøministeriet.

OECD, 2006: Cost-benefit analysis and the environment: recent developments, Paris.

OECD, 2014: The cost of air pollution: Health impacts of road transport, Paris. <http://www.oecd.org/about/secretary-general/launch-of-oecd-report-the-cost-of-air-pollution-health-impacts-of-road-transport.htm>

Pizzol, M., Thomsen, M., Frohn, L.M. & Andersen, M.S., 2010: External costs of atmospheric Pb emissions: valuation of neurotoxic impacts due to inhalation, *Environmental Health* 9:9. <http://www.ehjournal.net/content/9/1/9>

Rabl A and Peuportier B, 1995. Impact pathway analysis: a tool for improving environmental decision processes, *Environmental Impact Assessment Review* 15:421-442.

US Environmental Protection Agency (US EPA), 1998. Regulatory impact analysis of the proposed revisions to the national ambient air quality standards for lead, Washington DC.

<http://www.epa.gov/ttnecas1/regdata/RIAs/finalpbria.pdf>

Bilag: Følsomhedsberegning⁵

Tabel I. Miljøøkonomiske beregningspriser ifølge notatet (med VSL 15,5 mio DKK og VOLY 0,583 mio DKK).

Beregningspriser (DKK₂₀₁₃ pr kg)	SO₂/SO₄	O₃/NO₃	PM_{2.5}	NH₃/NH₄
Alle sektorer	264	115	204	156
SNAP1	92	64	141	
SNAP2	133	113	209	156
SNAP3	106	73	147	
SNAP4	283	n/a	n/a	
SNAP7	415	75	330	
SNAP8	97	70	254	
SNAP9	122	39	197	
SNAP10			146	

Tabel F-II. Følsomhedsberegning: Miljøøkonomiske beregningspriser med VSL 17 mio DKK og VOLY 0,5 mio DKK.

Beregningspriser (DKK₂₀₁₃ pr kg)	SO₂/SO₄	O₃/NO₃	PM_{2.5}	NH₃/NH₄
Alle sektorer	236	103	179	138
SNAP1	83	57	125	
SNAP2	121	103	185	138
SNAP3	95	65	130	
SNAP4	254	n/a	n/a	
SNAP7	411	66	293	
SNAP8	91	63	225	
SNAP9	109	37	175	
SNAP10			129	

Tabel F-III. Følsomhedsberegning: Miljøøkonomiske beregningspriser hvor kronisk mortalitet er opgjort efter den af OECD (2014) anvendte værdisætningsmetode baseret på VSL.

Beregningspriser (DKK₂₀₁₃ pr kg)	SO₂/SO₄	O₃/NO₃	PM_{2.5}	NH₃/NH₄
Alle sektorer	1150	499	964	722
SNAP1	384	283	632	
SNAP2	551	446	935	722
SNAP3	450	321	658	
SNAP4	1208	n/a	n/a	
SNAP7	1116	339	1470	
SNAP8	351	310	1134	
SNAP9	521	135	883	
SNAP10			666	

⁵ Baggrunden for følsomhedsberegningen i tabel F-III er det af OECD gennemførte opklaringsarbejde vedrørende værdisætningen af mortalitet. Mens EU har udviklet en tilgang der er baseret på opgørelse og værdisætning af tabte leveår (VOLY; Value of Life Year), så har USA fastholdt brugen af VSL (Value of Statistical Life) uanset om der tabes få eller flere leveår. Dette er funderet i en etisk præmis om at det er diskriminerende mod ældre mennesker ikke at tillægge deres mortalitetsrisici den fulde vægt. OECD har i sin opgørelse af luftforureningens omkostninger rådført sig med førende internationale økonomer og har tilsluttet sig den i USA anvendte fremgangsmåde. Problematikken om VOLY vs. VSL beskrives i Andersen og Clubb (2013:571) med tilhørende referencer.