

Påvirkningskategorier, normalisering og vægtning i LCA



Påvirkningskategorier, normalisering og vægtning i LCA

Opdatering af udvalgte UMIP97-data

Heidi K. Stranddorf,
Leif Hoffmann &
Anders Schmidt
FORCE Technology

Indholdsfortegnelse

Forord til vejledningen	7
FORORD	9
Forfatternes FORORD	11
Sammenfatning og konklusioner	13
Summary and conclusions	17
1 Introduktion	21
1.1 Normalisering, vægtning og standardisering	21
1.2 Konceptet for normalisering og vægtning i UMIP	23
1.3 Formål med vejledningen	26
1.4 Hvordan læses vejledningen	26
1.5 Referencer	27
2 Udvalgelse af påvirkningskategorier	29
2.1 Overvejelser vedrørende valg af påvirkningskategori	30
2.2 Referencer	31
3 Anvendelse af normaliseringsreferencer og vægtningsfaktorer	33
4 Klimaforandring	37
4.1 Stoffer der bidrager til påvirkningskategorien	37
4.2 Potentiale for klimaforandring	38
4.3 Normaliseringsreferencer og vægtningsfaktorer	39
4.4 Eksempel på normalisering og vægtning for klimaforandring	39
4.5 Hvis du ønsker at vide mere	40
5 Stratosfærisk ozonnedbrydning	43
5.1 Stoffer der bidrager til påvirkningskategorien	43
5.2 Potentiale for stratosfærisk ozonnedbrydning	43
5.3 Normaliseringsreferencer og vægtningsfaktorer	44
5.4 Eksempel på normalisering og vægtning for stratosfærisk ozonnedbrydning	44
5.5 Hvis du ønsker at vide mere	45
6 Fotokemisk ozondannelse	47
6.1 Stoffer der bidrager til påvirkningskategorien	47
6.2 Potentiale for fotokemisk ozondannelse	47
6.3 Normaliseringsreferencer og vægtningsfaktorer	49
6.4 Eksempel på normalisering og vægtning for fotokemisk ozondannelse	49
6.5 Hvis du ønsker at vide mere	50

7	Forsuring	53
7.1	Stoffer der bidrager til påvirkningskategorien	53
7.2	Potentiale for forsuring	54
7.3	Normaliseringsreferencer og vægtningsfaktorer	54
7.4	Eksempel på normalisering og vægtning for forsuring	55
7.5	Hvis du ønsker at vide mere	55
8	Næringssaltbelastning	57
8.1	Stoffer der bidrager til påvirkningskategorien	57
8.2	Potentiale for næringssaltbelastning	58
8.3	Normaliseringsreferencer og vægtningsfaktorer	59
8.4	Eksempel på normalisering og vægtning for næringssaltbelastning	59
8.5	Hvis du ønsker at vide mere	60
9	Human toksicitet	63
9.1	Stoffer der bidrager til påvirkningskategorien	63
9.2	Potentiale for human toksicitet	63
9.3	Normaliseringsreferencer og vægtningsfaktorer	64
9.4	Eksempel på normalisering og vægtning for human toksicitet	65
9.5	Hvis du ønsker at vide mere	66
10	Økotoksicitet	69
10.1	Stoffer der bidrager til påvirkningskategorien	69
10.2	Potentiale for økotoksicitet	69
10.3	Normaliseringsreference og vægtningsfaktor	69
10.4	Eksempel på normalisering og vægtning for økotoksicitet	70
10.5	Hvis du ønsker at vide mere	72
11	Eksempel: Normalisering og vægtning	73
11.1	Klimaforandring	76
11.2	Stratosfærisk ozonnedbrydning	78
11.3	Fotokemisk ozondannelse	79
11.4	Forsuring	80
11.5	Næringssaltbelastning	81
11.6	Human toksicitet	82
11.7	Økotoksicitet	84
11.8	Generelle konklusioner	86

Forord til vejledningen

Livscyklustankegang og livscyklusvurdering er centrale elementer i en produktorienteret miljøindsats. Der er behov for grundige og fagligt velfunderede metoder til livscyklusvurderinger. Ligesom der er behov for enkle, lettilgængelige metoder, der afspejler en livscyklustankegang.

Hvilken specifik metode, der skal vælges er bl.a. afhængig af formål, målgruppe, ønske om evt. offentliggørelse m.m. Men fælles for alle livscyklusvurderinger er, at de gerne skulle give et robust resultat. Et resultat, som er et godt grundlag for de beslutninger, der efterfølgende skal træffes.

Der er gennem de sidste 10 år givet tilskud til en række projekter om livscyklusvurderinger og livscyklustankegang.

Hovedresultaterne af projekter om livscyklusvurderinger vil i en periode fra 2000 og et par år frem blive udgivet som en ”miniserie” under Miljøstyrelsens serie Miljønyt.

Efterhånden som projekterne bliver færdige vil de supplere resultaterne af UMIP-projektet fra 1996. Disse værktøjer, erfaringer samt råd, hjælp og vejledning vil tilsammen danne et godt grundlag for de fleste anvendelser af livscyklusvurderinger.

Livscyklusvurderinger er et så vidtfavnende område, at der næppe kan skrives én bog, der dækker alle situationer og anvendelser af livscyklusvurderinger. Miljøstyrelsen håber, at denne ”miniserie” vil kunne give overblik over og formidle den støtte, der findes, til virksomheder, organisationer, myndigheder og andre, der gerne vil arbejde livscyklusorienteret.

Miljøstyrelsen, oktober 2000

Forord

Denne vejledning er skrevet som led i det danske LCA metode og konsensus projekt, som er gennemført i perioden 1997 til 2003. Vejledningen er en del af en række vejledninger, som drejer sig om centrale emner i LCA. Disse vejledninger er planlagt udgivet af Miljøstyrelsen i løbet af efteråret 2004 og foråret 2005.

Det primære formål med vejledningerne har været at give råd og anbefalinger om centrale emner i LCA på et mere detaljeret niveau, end der tilbydes i den generelle litteratur såsom ISO-standarderne, UMIP-rapporterne, det Nordiske LCA-projekt og SETAC publikationer. Vejledningerne skal betragtes som et supplement til snarere end en erstatning for denne generelle litteratur. Det skal dog understreges, at vejledningerne er udviklet gennem en konsensus proces, med deltagelse af alle væsentlige forskningsinstitutioner og konsulentfirmaer, som er aktivt beskæftiget med LCA i Danmark. De råd og anbefalinger, som gives i vejledningerne, kan derfor betragtes som udtryk for, hvad der er generelt accepteret som bedst praksis på LCA-området i Danmark i dag.

Vejledningerne er støttet af en række tekniske rapporter, som indeholder de videnskabelige diskussioner og dokumentationen bag de råd og anbefalinger som er givet i vejledningerne. Disse rapporter er ligeledes planlagt udgivet af Miljøstyrelsen. De planlagte vejledninger og rapporter udviklet som led i projektet er præsenteret i oversigtsfiguren på næste side.

Udviklingen af vejledningerne og de tekniske rapporter er blevet initieret og overvåget af Miljøstyrelsens Følgegruppe for LCA metodeudvikling i perioden 1997-2001.

Følgende forskningsinstitutioner og konsulent firmaer har været aktive i udviklings- og konsensusarbejdet:

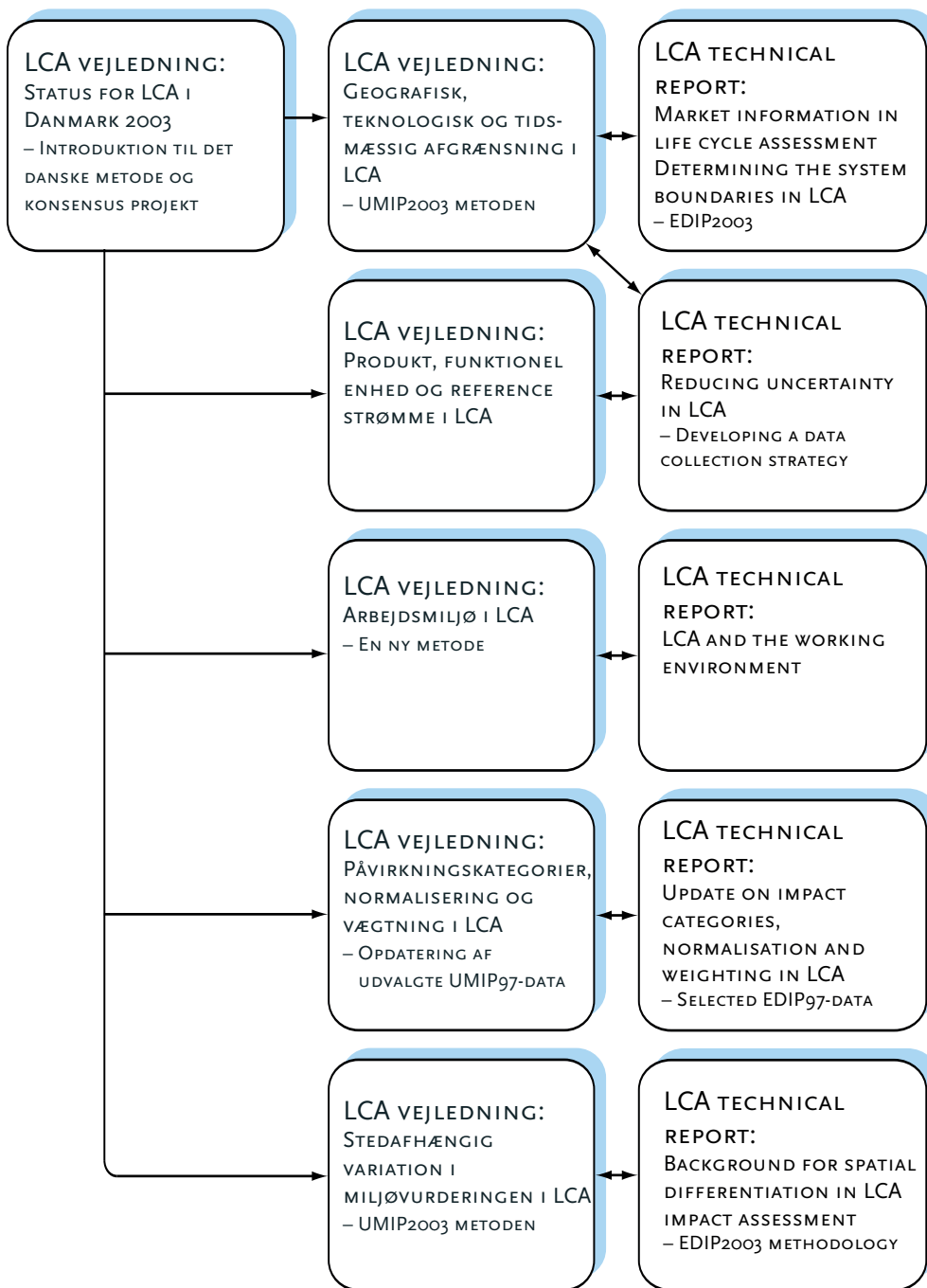
COWI AS (Projekt Leder)
Institut for Produkt Udvikling, Danmarks Tekniske Universitet
FORCE Technology
Teknologisk Institut
Carl Bro AS
Statens Byggeforsknings Institut
DHI Vand og Miljø
Dansk Toksikologi Center
Rambøll AS
ECONET
Danmarks Miljø Undersøgelser

VEJLEDNINGER OG
TEKNISKE RAPPORTER
UDVIKLET SOM LED I
DET DANSKE LCA
METODE OG
KONSENSUS PROJEKT

BESLUTNINGSTAGERE

PRAKTIKERE

FORSKERE



Forfatternes forord

Denne vejledning, der fokuserer på normalisering og vægtning, er et resultat af det danske LCA-metode og Konsensusprojekt. Projektet har involveret en stor del af LCA-praktikerne og interesserede parter i Danmark. Vejledningen giver en præsentation af normaliseringsreferencer med referenceåret 1994 og vægtningsfaktorer med 2004 som målsætningsåret. Sammen med vejledningen er der blevet udarbejdet en teknisk rapport (Stranddorf et al, 2005).

I projektforløbet er der blevet afholdt 2 workshops. På den første workshop blev de data, som var beregnet til at danne basis for den opdaterede og udvidede normalisering, præsenteret, og på den anden blev de indsamlede data præsenteret og diskuteret. Dette gav værdifuld input til projektgruppen med hensyn til data til normaliseringsreferencerne og vægtningsfaktorerne. På den anden workshop blev baggrund og anbefalinger for valg af påvirkningskategori og normaliseringsreference desuden præsenteret og diskuteret.

Denne vejledning er baseret på den ovenfor nævnte tekniske rapport. Metoden i vejledningen er dog mere praktisk end teoretisk. Vejledningen giver en kort præsentation af påvirkningskategorierne, som er detaljeret beskrevet i den tekniske rapport. Vejledningen indeholder et almindeligt eksempel på, hvordan man anvender normaliseringsreferencer og vægtningsfaktorer for de omfattede påvirkningskategorier. I tillæg til de præsenterede normaliseringsreferencer og vægtningsfaktorer giver vejledningen anbefalinger med hensyn til valg af påvirkningskategorier og valg af normaliseringsreferencer.

Følgende personer har været ansvarlige for kapitlerne med hensyn til de forskellige påvirkningskategorier i den tekniske rapport. De skal særligt fremhæves for deres bidrag, som danner basis for kapitlerne med hensyn til påvirkningskategorier i denne vejledning.

- Kapitel 4: Klimaforandring: Civilingeniør Leif Hoffmann
- Kapitel 5: Stratosfærisk ozonnedbrydning: Civilingeniør Leif Hoffmann
- Kapitel 6: Fotokemisk ozondannelse: Civilingeniør Karsten Fuglsang
- Kapitel 7: Forsuring: Civilingeniør Leif Hoffmann
- Kapitel 8: Næringssaltbelastning: Ph.D. (biologi) Jørgen Larsen
- Kapitel 9: Økotoksicitet: Ph.D. (økotoksikologi) Jens Tørsløv
- Kapitel 10: Human toksicitet: Civilingeniør Frans Møller Christensen & Kemiingeniør Leif Hoffmann
- Kapitel 11: Vægtning: Civilingeniør Niels Juul Busch

Ekspertisen blev givet af følgende danske forsknings- og konsulentvirksomheder, som skal fremhæves for deres bidrag til dette værk:

FORCE Technology (redigering, klimaforandring, stratosfærisk ozonnedbrydning, fotokemisk ozondannelse, forsuring, human toksicitet, støj (ikke inkluderet i den tekniske rapport og vejledningen))

Teknologisk Institut (næringssaltbelastning)

DHI – Institut for Vand & Miljø (økotoksicitet)

Dansk Toksikologi Center (human toksicitet)

Rambøll (vægtning)

Sammenfatning og konklusioner

Den nærværende vejledning præsenterer en udvidelse af den oprindelige UMIP-metode i form af normaliseringsreferencer og vægtningsfaktorer for EU-15 og globalt. På samme tid er de danske normaliseringsreferencer og vægtningsfaktorer blevet opdateret. Resultaterne præsenteres i nedenstående tabel.

PÅVIRKNINGS- KATEGORIER	NORMALISERINGSREFERENCER				VÆGTNINGSAKTORER				
	ORIG. EDIP97	GLOBAL	EU-15	DANMARK	ORIG. EDIP97	GLOBAL	EU-15	DANMARK	
KLIMA-									
FORANDRING - DRIVHUSEFFEKT STRATOS-FÆRISK	TON CO ₂ -EQ./ PERS./ÅR	8.7	8.7	8.7	8.7	1.3	1.12	1.05	1.11
OZONNED- BRYDNING	EQ./ PERS./ÅR	0.2	0.103	0.103	0.103	23	63/4.4 ³	2.46	∞
FOTOKEMISK OZON- DANNELSE	KG C ₂ H ₄ - EQ./PERS./ ÅR	20	22	25	20	1.2	1.00	1.33	1.26
FORSURING	KG SO ₂ - EQ./PERS./ ÅR	124	59	74	101	1.3	N.C. ¹	1.27	1.34
NÆRINGSSALT- BELASTNING	KG NO ₃ - EQ./PERS./ ÅR	298	95	119	260	1.2	N.C. ¹	1.22	1.31
HUMAN									
TOKSICITET. VIA LUFT HUMAN	M ³ LUFT/ PERS./ÅR	9.18E+09	4.27E+10	6.09E+10	5.56E+10	1.1	N.C. ¹	1.4	1.42
TOKSICITET. VIA VAND HUMAN TOK	M ³ VAND/ PERS./ÅR	5.90E+04	4.18E+04	5.E+04	1.79E+05	2.9	N.C. ¹	1.3	1.02
SCITET. VIA JORD ØKOTOKSICITET,	M ³ JORD/ PERS./ÅR	3.10E+02	1.02E+02	1.27E+02	1.57E+02	2.7	N.C. ¹	1.23	1.02
VAND AKUT ØKOTOKSICITET,	M ³ VAND/ PERS./ÅR	4.80E+04	2.33E+04	2.91E+04	7.91E+05	2.6	N.C. ¹	1.11	1.73
VAND KRONISK ØKOTOKSICITET,	M ³ VAND/ PERS./ÅR	4.70E+05	2.82E+05	3.52E+05	7.40E+04	2.6	N.C. ¹	1.18	1.67
JORD KRONISK	M ³ JORD/ PERS./ÅR	3.00E+04	7.71E+05	9.64E+05	6.56E+05	1.9	N.C. ¹	1	1.56

¹ Globale vægtningsfaktorer er ikke blevet beregnet. Vægtningsfaktorer for EU-15 anbefales for påvirkningspotentialer udenfor Europa eller i tilfælde af manglende kendskab til lokaliteten.

² Vægtningsfaktoren for human toksicitet via jord er kun beregnet for Europa, da der ikke findes danske reduktionsmål. EU vægtningsfaktoren anbefales også til brug for udledninger, der finder sted i Danmark.

³ Industrialiserede lande/Udviklingslande
n. c. betyder "ikke beregnet".

Udarbejdelse af normaliseringsreferencer og vægtningsfaktorer er dokumenteret i den tekniske rapport for Delprojekt 4 (Stranddorf et al., 2005). Kort beskrevet er de nye normaliseringsreferencer fremkommet enten ved at bruge de aktuelle emissioner i beregningerne, eller ved at ekstrapolere emissioner fra en region (f.eks. EU) til global skala ved at bruge bruttonationalproduktet som skaleringsfaktor. Det er klart, at den første mulighed giver de mest præcise resultater, og det har da også været den foretrukne fremgangsmåde. Emissionsopgørelser af den nødvendige kvalitet findes imidlertid kun for få påvirkningskategorier, og den udviklede ekstrapolationsmetode er derfor i udstrakt grad anvendt ved beregninger for lokale og regionale påvirkningskategorier.

Vægtningfaktorerne er beregnet på samme måde som i den originale UMIP-metode. Det er imidlertid svært at finde konsistent information om reduktionsmål for lokale og regionale miljøbelastninger på globalt niveau, og disse er derfor ikke blevet beregnet. For at råde bod på denne ”mangel” giver vejledningen derfor en række anbefalinger om, hvad man kan gøre i stedet.

De generelle anbefalinger er forholdsvis simple og kan i korthed sammenfattes i følgende tre punkter:

- ▶ For globale miljøbelastninger (klimaforandring/drivhuseffekt og stratosfærisk ozonnedbrydning) anvendes den globale normaliseringsreference og vægtningsfaktor i den grundlæggende analyse
- ▶ For regionale/lokale miljøbelastninger (forsuring, fotokemisk ozondannelse, næringssaltbelastning, human toksicitet og økotoksicitet) anvendes normaliseringsreferencen og vægtningsfaktoren for EU-15 i den grundlæggende analyse
- ▶ Hvor det er relevant, bruges normaliseringsreferencer og vægtningsfaktorer for andre geografiske regioner som et element i en følsomhedsanalyse, idet det understreges at der skal tages hensyn til de iboende usikkerheder

Anbefalingerne afspejler i nogen grad de indbyggede usikkerheder ved normalisering, især hvis der er tale om en LCA med et bredt sigte. Det er klart, at desto bedre de geografiske afgrænsninger af produktsystemet og dets miljøbelastninger er kendt, jo bedre vil normaliseringstrinnet kunne afspejle den relative vigtighed af de enkelte belastninger.

Anbefalingerne er en modificering af den originale UMIP-metode, hvor de danske normaliserings- og vægtningsreferencer blev anbefalet i vurderingen af lokale og regionale belastninger. Det foreslåede skift til brug af normaliseringsreferencer og vægtningsfaktorer for EU retfærdiggøres af, at den geografiske afgrænsning på denne måde passer bedre til mange af de produktsystemer, der vil blive undersøgt i en LCA, samtidigt med at normaliseringsreferencerne har en acceptabel kvalitet.

På trods af de simple anbefalinger vil der i praksis være tale om, at LCA-praktikeren skal foretage det endelige valg. Årsagen til dette er, at LCA efter den originale UMIP-metode vil inkludere påvirkningspotentialer, der finder sted i et bredt udvalg af lande og regioner, uden at det er muligt at skelne mellem disse i de endelige resultater. LCA-praktikeren må derfor vælge den tilgang, der giver den bedste beslutningsstøtte for slutbrugeren af LCA'en.

Nærværende vejledning indeholder et gennemgående eksempel, der er taget fra de originale UMIP-rapporter. I eksemplet er anbefalingerne fremhævet, samtidigt med at de tilsvarende værdier fra alternative tilgange og den originale UMIP-metode præsenteres. Eksemplet giver således et interessant overblik over betydningen af udviklingen i emissionsopgørelser og reduktionsmål siden den originale UMIP-metode blev beskrevet i 1996. Ligesom eksemplet viser de forskelle, der i den konkrete case fremkommer ved at bruge forskellige tilgange.

Det ligger udenfor denne rapports rammer at diskutere eksemplets resultater nærmere, men det er oplagt, at det øgede antal valgmuligheder kan give et mere nuanceret billede af livscyklusbelastningerne for et givet produkt eller produktsystem. På den anden side vil det øgede antal valgmuligheder dog ofte medføre, at der er flere spørgsmål, der kan eller skal besvares. Hvilke spørgsmål, der i givet fald skal besvares, kan naturligvis ikke forudses. Det anbefales generelt at fokusere på de områder, hvor der er væsentlige forskelle ved at bruge forskellige tilgangsvinkler.

De forbedrede muligheder for normalisering og vægtning i UMIP-metoden er endnu ikke brugt på rigtige produktsystemer. LCA-praktikere vil formodentlig hurtigt finde ud af at udnytte mulighederne, for eksempel i forbindelse med en følsomhedsanalyse. De eventuelle vanskeligheder, der måtte være forbundet hermed, vil blive væsentligt mindre så snart man har gjort sig de første erfaringer.

Afslutningsvis skal det nævnes, at der i Delprojekt 5 i det samlede LCA-metode og Konsensusprojekt er udviklet en alternativ vurderingsmetode (Hauschild og Potting, 2005). Den alternative metode tager hensyn til steds-specifikke karakteristika ved de udledninger, der bidrager til forskellige påvirkningskategorier, og giver dermed en reduktion af de usikkerheder, der er forbundet med normaliserings- og vægtningsproceduren i den originale UMIP-metode.

Summary and conclusions

The present guidelines present an extension of the original EDIP methodology in the form of normalisation references and weighting factors for EU-15 and the world. At the same time, the normalisation references and weighting factors for Denmark have been updated. The results are presented in the table below:

		NORMALISATION REFERENCES				WEIGHTING FACTORS			
IMPACT CATEGORIES		ORIG. EDIP97	GLOBAL	EU-15	DENMARK	ORIG. EDIP97	GLOBAL	EU-15	DENMARK
CLIMATE CHANGE									
	TON CO ₂ -EQ./CAPITA/YEAR	8.7	8.7	8.7	8.7	1.3	1.12	1.05	1.11
STRATOSPHERIC OZONE DEPLETION									
	KG CFC-11-EQ./CAPITA/YEAR	0.2	0.103	0.103	0.103	23	63/4.4 ³	2.46	∞
PHOTOCHEMICAL OZONE FORMATION									
	KG C ₂ H ₄ -EQ./CAPITA/YEAR	20	22	25	20	1.2	1.00	1.33	1.26
ACIDIFICATION									
	KG SO ₂ -EQ./CAPITA/YEAR	124	59	74	101	1.3	N.C. ¹	1.27	1.34
NUTRIENT ENRICHMENT									
	KG NO ₃ -EQ./CAPITA/YEAR	298	95	119	260	1.2	N.C. ¹	1.22	1.31
HUMAN TOXICITY, VIA AIR									
	M ³ AIR/CAPITA/YEAR	9.18E+09	4.27E+10	6.09E+10	5.56E+10	1.1	N.C. ¹	1.4	1.42
HUMAN TOXICITY, VIA WATER									
	M ³ WATER/CAPITA/YEAR	5.90E+04	4.18E+04	5.22E+04	1.79E+05	2.9	N.C. ¹	1.3	1.02
HUMAN TOXICITY, VIA SOIL									
	M ³ SOIL/CAPITA/YEAR	3.10E+02	1.02E+02	1.27E+02	1.57E+02	2.7	N.C. ¹	1.23	1.02
ECOTOXICITY, WATER, ACUTE									
	M ³ WATER/CAPITA/YEAR	4.80E+04	2.33E+04	2.91E+04	7.91E+05	2.6	N.C. ¹	1.11	1.73
ECOTOXICITY, WATER, CHRONIC									
	M ³ WATER/CAPITA/YEAR	4.70E+05	2.82E+05	3.52E+05	7.40E+04	2.6	N.C. ¹	1.18	1.67
ECOTOXICITY, SOIL, CHRONIC									
	M ³ SOIL/CAPITA/YEAR	3.00E+04	7.71E+05	9.64E+05	6.56E+05	1.9	N.C. ¹	1	1.56

¹ Weighting factors have not been established worldwide; the European weighting factors are recommended for impact potentials located outside Europe or at unknown locality.

² Weighting factors have only been established for human toxicity via soil for Europe, because there are no Danish reduction targets; the European weighting factor is recommended as default value for impact potentials located in Denmark.

³ Industrialised countries/Developing countries.
n. c. means "not calculated".

The establishing of the normalization references and weighting factors is documented in a technical report (Stranddorf et al., 2005). In short, the new normalization references have been established in two ways, i.e. by using actual emissions in the calculations, or by extrapolating the emissions from one region (e.g. the EU) to a global scale by using the gross domestic product (GDP). Obviously, the first option provides the most precise results and has been the preferred choice, but emission inventories of sufficient quality are only available for a few impact categories and therefore the developed extrapolation method was applied for the local and regional impact categories to yield figures on the global scale.

The weighting factors have been calculated according to the methodology described in the original EDIP reports. Consistent information on reduction targets for local and regional impacts was difficult to find on the global scale and were therefore not calculated; the guidelines provide recommendations on what to do instead.

The general recommendations are fairly simple, and can in short be expressed in the following way:

- ▶ For global impacts (climate change and stratospheric ozone depletion) always use the worldwide normalisation reference and weighting factor in the base case analyses
- ▶ For regional impacts (acidification, photochemical ozone formation and nutrient enrichment) and local impacts (ecotoxicity, human toxicity) use the EU-15 normalisation reference and weighting factor as the base reference
- ▶ Where relevant, use normalisation references and weighting factors for other geographical regions as an element in the sensitivity analyses, acknowledging the inherent uncertainties.

The recommendations above reflect to some extent the inherent uncertainties in normalisation, especially if the step has a broad scope. Obviously, the more that is known about the product (system) investigated as regards the geographical extent of its potential impacts, the more precisely the normalisation step will mirror the relative importance of different impacts.

The recommendations are a modification of earlier recommendations for EDIP97, where Danish normalisation references were recommended for regional and local impacts. The suggested shift to the EU normalisation reference is justified by the better scope for many industrial products, combined with the fact that EU-normalisation references are of an acceptable quality.

Although the general recommendations are simple, they still leave the LCA practitioner with the final choice. The reason for this is that most LCAs using the original EDIP methodology will include impact potentials that occur in a wide selection of countries and regions and it is not possible to discriminate between these in the final results. The practitioner must therefore decide which approach gives the most suitable results for the user of the LCA.

The guidelines include an example from the original EDIP reports. The example highlights the recommendations and presents the alternative results obtained by using the original EDIP method. The example thus provides an interesting overview of both the importance of the development in emission inventories since the original EDIP and the differences that are observed when using different approaches.

It is outside the scope of this report to discuss the findings in the example in detail, but it is obvious that the increased number of possibilities for choosing can provide a more balanced view of the life cycle impacts in the life cycle of a product. At the same time, however, the increased amount of information can also cause additional questions to be asked.

Exactly which questions that will emerge cannot be determined at this moment, but it is a general recommendation that they should concentrate on those issues where significant changes are observed.

The improved possibilities for normalisation and weighting have not been utilised in practice. LCA-practitioners will most probably quickly find a way to use the possibilities, e.g. as part of the sensitivity analysis. The efforts needed in doing so will decrease significantly when the first experiences have been gained.

Finally, it is mentioned that in Subproject 5 of the Danish LCA Methodology Development and Consensus Project, an alternative to the original EDIP methodology has been developed and documented (Hauschild og Potting, 2005). This alternative focuses on using the site-specificity of the contributions to different environmental impacts in the assessment. Hereby reducing the inherent uncertainties associated with the normalisation and weighting procedure used in the original EDIP method.

1. Introduktion

Denne vejledning fokuserer på de valgfri trin i LCA, normalisering og vægtning. Normalisering er en del af UMIP-metoden, som bruges til at sammenligne resultater (f.eks. klimaforandring) med velkendte tal, således at der opnås et indtryk af resultaternes størrelsesorden. Vægtning har til formål at rangere forskellige påvirkningskategorier mod hinanden for at afgøre deres vigtighed i forhold til politiske målsætninger.

Den nærværende vejledning præsenterer en opdatering og udvidelse af den oprindelige UMIP-metode i relation til normalisering og vægtning. Desuden fokuserer vejledningen på valg af påvirkningskategorier og valg af normaliseringsreferencer.

Det skal også nævnes her, at en parallel metode er blevet udviklet i et andet underprojekt i det danske LCA-metode og Konsensusprojekt. Denne metode kaldes UMIP 2000 og bruger sted-differentieret karakterisering og normalisering.

1.1 NORMALISERING, VÆGTNING OG STANDARDISERING

I den internationale standardiseringsorganisation, ISO, er der blevet udviklet og godkendt et antal standarder vedrørende LCA. En af disse standarder, ISO 14042, Vurdering af Miljøpåvirkninger i Livscyklus (Life Cycle Impact Assessment – LCIA) vedrører emnet normalisering (beregning af størrelsesordenen på kategoriindikatorernes resultater) og vægtning (bestemmelse og beregning af forskellige påvirkningskategorier og ressourceforbrug således at deres relative vigtighed afspejles). Dette er baseret på værdivalg.

Ifølge ISO 14042 inkluderer vurdering af miljøpåvirkninger i livscyklus adskillige trin fra kortlægning til fortolkning:

- ▶ Klassificering, hvor påvirkningskategorierne bliver defineret og udvekslingerne relateret til forskellige påvirkningskategorier i henhold til deres evne til at bidrage til de definerede problemområder.
- ▶ Beregning af resultater for kategoriindikatorerne (karakterisering). Her omregnes kortlægningsresultaterne til fælles enheder, hvorefter de kan summeres indenfor de enkelte påvirkningskategorier. Resultatet er et numerisk indikatorresultat for hver af påvirkningskategorier, og tilsammen giver indikatorresultaterne en profil for produktsystemets miljøpåvirkninger.
- ▶ Beregning af kategoriindikatorernes relative andel i forhold til en referenceværdi (normalisering). Ved denne beregning kan de forskellige påvirkningspotentialer og ressourceforbrug udtrykkes på en fælles skala, som gør det muligt at sammenligne på tværs af påvirkningskategorier.
- ▶ Indikatorresultater eller normaliserede resultater konverteres ved brug af numeriske faktorer (vægtning). Vægtningsfaktorer er tildelt de forskellige påvirkningskategorier og ressourcer, så deres relative vigtighed afspejles i overensstemmelse med studiets målsætning

- Fortolkning, hvor følsomheds- og usikkerhedsanalyser anvendes til at fortolke resultaterne af vurderingen i forhold til undersøgelsens formål og omfang. Herved bliver det muligt at give de endelige konklusioner og anbefalinger.

I vurdering af miljøpåvirkninger i livscyklus er de to første trin: klassificering og karakterisering obligatoriske, mens normalisering og vægtning er valgfrie.

1.1.1 UMIP i forhold til ISO

UMIP i forhold til ISO tilbyder to identifikationsmåder af kategoriindikatorernes relative andel i forhold til referenceværdier (normalisering i ISO-terminologi). Den ene identificerer den relative andel i forhold til nutidige værdier. Den anden identificerer kategoriindikatorernes relative andel i forhold til fremtidige værdier. I den oprindelige UMIP 1997 kaldes disse henholdsvis normalisering og vægtning. For at undgå forvirring bruges terminologien fra UMIP 1997 også i denne opdatering. Det anbefales dog at bruge ISO-formuleringen, når der skal præsenteres resultater fra LCA-arbejde.

1.2 KONCEPTET FOR NORMALISERING OG VÆGTNING I UMIP

Grundlæggende tager denne vejledning udgangspunkt i den tekniske rapport (Stranddorf *et al*, 2005). Denne inkluderer yderligere udvikling og udvidelse af normaliseringsreferencer sammenlignet med den originale UMIP97-metode, som forklaret i Wenzel *et al*. (1997) og Hauschild and Wenzel (1998). I UMIP er konceptet omkring personækvivalent sammen med normalisering udviklet. Dette bruges også i vægtningsprocessen. Koncepterne for normalisering, personækvivalent og vægtning er forklaret nedenfor.

Såvel i UMIP som i ISO-standarderne er normaliseringens generelle fordel en øget mulighed for fortolkning af indikatorresultater som sammenlignes med hinanden. Desuden giver normaliseringen også mulighed for kontrol, da den afdækker ekstreme indikatorresultater. Sluttelig er normalisering en forberedende del til vægtningen.

Normaliseringens målsætning er at omforme kategoriindikatorernes resultater til en fælles reference, så det bliver muligt at sammenligne forskellige miljøpåvirkninger.

Det er en integreret del af UMIP, at påvirkningerne er sammenfattet for det område, der reelt bidrager til den gældende miljøtilstand, som den opleves. For globale påvirkninger er der ikke nogen forskel på, hvor de miljømæssige ændringer optræder. Men for regionale og lokale påvirkninger er det kun ændringer, som sker inden for de pågældende regioner eller lokale områder, der bidrager til den nuværende og fremtidige tilstand i miljøet der. På grund af denne betragtning bør den ideelle normalisering og efterfølgende vægtning

udføres med normaliseringsreferencer og vægtningsfaktorer, som for hver enkel emission er repræsentativ for den region, hvor emissionerne finder sted. I den originale UMIP 1997 er data for de globale påvirkninger tilgængelige, mens data for regionale påvirkninger generelt ikke er tilgængelige. I stedet bruger UMIP danske normaliseringsreferencer som normalværdier for regionale og lokale påvirkninger.

I forhold til UMIP97 er det valgt at betragte human toksicitet og økotoksicitet som primært værende en regional påvirkning, med den samme normaliseringsreference for alle EU-15 lande. Det er dog også muligt at anvende den opdaterede danske normaliseringsreference, f. eks. ved en vurdering af specifikke danske produkt(system)er, eller som led i en følsomhedsanalyse. Den samme mulighed findes også for de øvrige EU-15 lande. På grund af mangel på data er der ikke blevet udviklet regionale normaliseringsreferencer for andre regioner såsom Centralafrika og Mellemøsten. Ved forsurening er tilvejebragt normaliseringsreferencer for de individuelle lande inden for EU-15. Disse normaliseringsreferencer er angivet i (Stranddorf *et al.* 2005).

En anderledes fremgangsmåde er inkluderet i et parallelt projekt inden for LCA-metode og Konsensusprojektet, sted-karakterisering (Hauschild & Potting, 2005). Den nuværende vejledning diskuterer ikke argumenter for og imod nogle af metoderne, men giver kun en opdatering af den originale UMIP97-metode med hensyn til normalisering og vægtning.

Dette projekt har givet et stort antal normaliseringsreferencer for EU-15 landene, men der er stadig et betydeligt arbejde, som skal laves, før den ultimative målsætning, dvs. normaliseringsreferencer for alle relevante regioner i verden, kan nås.

1.2.1 Person-ækvivalenten

Den globale påvirkning vil altid være meget større end påvirkningen fra en bestemt region, uanset hvilken type effekt påvirkningen giver. Brug af globale påvirkninger som normaliseringsreference for de globale påvirkningskategorier, og regionale påvirkninger for de regionale og lokale påvirkningskategorier vil give en ubalance i normaliseringen, hvis der ikke tages hensyn til antallet af personer, der bidrager. Det vil resultere i at globale påvirkninger fra produktsystemet vil forekomme meget mindre end de andre påvirkninger, fordi de sammenlignes med befolkningens aktivitet i hele verden, mens andre kun sammenlignes med f.eks. aktiviteten hos Europas befolkning.

For at rette op på denne skævhed og sikre, at mængden af normaliseringsreferencer udgør en fælles målestok for alle påvirkningskategorier, er normaliserings-referencerne udregnet som baggrundspåvirkningen pr. person over en periode på et år, i det område

som påvirkningen er udregnet for. Det gælder uanset om de er globale eller regionale. Dette giver normaliseringsreferencerne enheden ”påvirkningspotentiale pr. person pr. år” for hver enkel påvirkningskategori.

Således udtrykkes påvirkningspotentialerne, når de er normaliserede, i person-ækvivalenter. Dvs. at de udtrykkes som brøkdeler af bidraget til påvirkningen, som kommer fra en gennemsnitsperson i det berørte område.

1.2.2 Normalisering

Normaliseringsreferencer er fastsat for Danmark, Europa (EU-15) og hele verden. For det relevante område er der blevet etableret emissionsundersøgelser, som bidrager til de forskellige påvirkningskategorier. Normaliseringsreferencerne er udregnet på basis af UMIP (Wenzel *et al.* 1997).

$$Norm_{ref} = \frac{\sum_i^n m_i * EF_i}{N} \quad \left[\frac{\text{påvirkningspotentialet}}{\text{person}} \right]$$

hvor: m_i er udsendt mængde af stof i
 EF_i er karakteriseringsfaktor for stof i
 N er antallet af personer i det betragtede område

Dvs. for hvert stof, der bidrager til påvirkningskategorien, ganges den udsendte mængde med karakteriseringsfaktoren for det specifikke stof. Dermed fremkommer den mulige påvirkning, som er forårsaget af det specifikke stof. De mulige påvirkninger fra alle bidragende stoffer er lagt sammen og til sidst divideret med antallet af personer i det betragtede område.

Tallene, der bruges til normalisering i UMIP-metoden, er de potentielle påvirkninger forårsaget pr. person i et defineret geografisk område, dvs. potentiel drivhuseffekt pr. person pr. år. 1994 er blevet valgt som referenceår. De faktuelle normaliseringsreferencer er generelt udtrykt som ækvivalenter, dvs. kg CO₂-eq./person/år, med human toksicitet og økotoksicitet som undtagelser fra dette. Når den potentielle miljøpåvirkning er normaliseret, udtrykkes den i personækvivalenter (f.eks. PE_{w94} eller PE_{EU94}) – dvs. relativ til det årlige bidrag til effekten fra en person i det berørte område. Indekset i enheden udtrykker, at referenceregionen for normaliseringen er enten verden eller EU, og referenceåret er 1994.

Principielt tillader normaliseringsmetoden, at forskellige påvirkningskategorier bliver sammenlignet med hinanden. Det nærværende studie har udviklet normaliseringsreferencer for Danmark, Europa (EU-15) og hele verden og giver dermed mulighed for en mere alsidig påvirkningsvurdering.

1.2.3 Vægtning

Tallene, der bruges til vægtning i UMIP-metoden, er baseret på de politiske målsætninger for de enkelte stoffer, der bidrager til den relevante påvirkningskategori. 2004 er blevet valgt som målsætningsåret.

Vægtningsfaktorerne er dimensionsløse og relateret til de ovenfor nævnte normaliseringsreferencer med hensyn til det dækkede, geografiske område.

Det nærværende studie præsenterer vægtningsfaktorer for Danmark, Europa (EU-15) og hele verden.

Proceduren for at anvende og bruge vægtning i dette projekt består af følgende trin:

- Bestemmelse af den faktiske emission i referenceåret
- Bestemmelse af målsatte emissioner i målsætningsåret
- Beregning af vægtningsfaktor

I dette projekt er 1994 blevet valgt som referenceår og 2004 som målsætningsår. Vægtningsfaktoren (WF) for påvirkningskategori x på en given geografisk skala kan således defineres som følger:

$$WF(x) = \frac{\text{Faktiske emission af x i referenceåret (1994)}}{\text{Målsat emission af x i målsætningsåret (2004)}}$$

Da de faktuelle politiske målsætninger for reduktion af visse forureningskilder i de forskellige lande sjældent er relateret til målsætningsåret i dette projekt, har det været nødvendigt at interpolere og ekstrapolere dataene, således at vægtningsfaktorerne for alle effektkategorier relaterer til år 2004. Denne interpolation er gjort lineært.

Enheden for vægtede påvirkningspotentialer er den målsatte personækvivalent - $PET_{W_{EU2004}}$ – der udtrykker miljøpåvirkningen fra en gennemsnitsborger ifølge de politiske målsætninger for hver af påvirkningskategorierne i året 2004. Indekset udtrykker, at referenceregionen for vægtningen og den underliggende normalisering enten er verden (W) eller EU (EU), og at målsætningsåret, der er brugt til vægtningen, er 2004.

På linie med tankegangen, som er anvendt i standarden ISO 14042 vedr. vurderingen af miljøpåvirkninger i livscyklus, kan vægtningen i UMIP97, der bruger politiske målsætninger til at udlede vægtningsfaktorer, ses som en normalisering. Her er påvirkningsniveauet i den politiske målsætning brugt som en normaliseringsreference, der repræsenterer de mulige miljøpåvirkninger i fremtiden – en forudsigelse om hvad baggrundspåvirkningen vil være i 2004. I ISO TR14047, som illustrerer brugen af ISO 14042, præsenterer et eksempel denne fortolkning, som betyder, at brugen af UMIP-standardvægtningsfaktorer er acceptabel i

henhold til ISO 14042. Det gælder også i sammenlignende påstande, der offentliggøres, hvor vægtning ikke er tilladt ifølge ISO 14042.

1.2.4 Referenceår

I den originale UMIP97 blev 1990 brugt som referenceår for normaliseringen, mens 1990 og 2000 blev valgt som reference- og målsætningsår for vægtningen. I denne opdatering er 1994 henholdsvis 2004 blevet valgt som nye referenceår og målsætningsår for normaliseringsreferencer og vægtningsfaktorer. Grunden til at vælge 1994 som referenceår har været relativt let tilgængelighed af datakompilationer for de fleste lande, der er inkluderet i EU-15 normaliseringsreferencen. I den senere tid er tilgængeligheden af emissionsdata steget markant, f.eks. ved adgang til databaser via Internettet, og forsinkelsen, der er forårsaget af central dataindsamling, kan forventes at blive reduceret i fremtiden. Derfor kan den fremtidige opdatering forventes at blive hurtigere med referenceårene tættere på det aktuelle år.

1.3 Formål med vejledningen

Formålet med vejledningen er at sørge for vejledning ved valg af påvirkningskategorier i LCA.

Baseret på en omfattende liste i den tekniske rapport giver vejledningen en liste over de mest almindeligt brugte påvirkningskategorier. I tillæg til listen præsenteres generelle betragtninger vedrørende kvantitativ og kvalitativ vurdering af påvirkningskategorier. Desuden er formålet med vejledningen at:

- præsentere de opdaterede normaliseringsreferencer, der relaterer til 1994
- vejlede om hvornår man skal bruge hvilken normaliseringsreferencer
- præsentere de opdaterede vægtningsfaktorer, der relaterer til 2004
- vejlede om hvordan man skal bruge vægtningsfaktorerne

Princippet med normalisering er – som nævnt ovenfor – at globale påvirkninger normaliseres globalt, regionale påvirkninger regionalt, og lokale påvirkning normaliseres regionalt eller nationalt. De nye normaliseringsreferencer inkluderer normaliseringsreferencer på både regionalt og lokalt niveau for de relevante påvirkningskategorier. Derfor giver vejledningen også anbefalinger om, hvornår man skal anvende de forskellige normaliseringsreferencer.

1.4 HVORDAN LÆSES VEJLEDNINGEN

Kapitel 2 fokuserer på en omfattende liste med påvirkningskategorier, som skal inkluderes i LCA. I kapitlet præsenteres listen samt overvejelser omkring hvilke påvirkningskategorier, man skal vælge eller udelade.

Kapitel 3 præsenterer de opdaterede og udvidede normaliseringsreferencer, og det handler om anvendelsen af disse normaliseringsreferencer. Principperne i vægtning og en liste med opdaterede vægtningsfaktorer præsenteres også.

Kapitel 4 til 10 handler om de påvirkningskategorier, der er udviklet opdaterede normaliseringsreferencer for. Alle kapitler er strukturerede på samme måde. Hvert kapitel begynder med en kort præsentation af miljøproblemet, og hvilke mulige påvirkninger problemet har. Bidragene fra forskellige stoffer til påvirkningskategorien er oplistet i en tabel. Efterfølgende er beskrevet, hvordan normaliseringsreferencen for den specifikke påvirkningskategori er udformet. Tilsvarende er proceduren for vægtningsfaktoren inkluderet. I kapitlet om klimaforandring (Kapitel 4) demonstreres en detaljeret beskrivelse af trinene i beregningen.

Anbefalinger om brugen af normaliseringsreferencerne præsenteres, og for at illustrere anvendeligheden af de nye normaliseringsreferencer bruges et fælles fiktivt eksempel i vejledningen. Et helt eksempel er vist i Kapitel 11. I hvert kapitel angående påvirkningskategorierne bringes den relevante del af eksemplet.

For hver påvirkningskategori afsluttes kapitlet med et afsnit om yderligere litteratur.

1.5 REFERENCER

Hauschild, M. & Potting, J. 2005. Stedafhængig variation i miljøvurderingen i LCA - UMIP 2003 metoden. Miljønyt nr. 79, 2005. Miljøstyrelsen.

Hauschild, M. & Wenzel, H. 1998, *Environmental Assessment of Products. Volume 2 - Scientific background*. First edition. Chapman & Hall, London.

ISO TR 14047. *Illustrative examples on how to apply ISO 14042 – Life cycle assessment – Life cycle impact assessment*. International Organisation of Standardisation, Paris.

Stranddorf, H.K., Hoffmann, L. & Schmidt, A. 2005. *Update on impact categories, normalisation and weighting in LCA*. Environmental Project no. 995, Danish EPA, 2005.

Wenzel, H., Hauschild, M. & Alting, L. 1997. *Environmental Assessment of Products. Volume 1 - Methodology, Tools and Case Studies in Product Development*. First edition. Chapman & Hall, London.

2. Udvælgelse af påvirkningskategorier

Udvælgelsen af påvirkningskategorier afhænger af formålet med LCA'en, f.eks. hvilken beslutning skal tages på baggrund af LCA'en. Derudover afhænger valget også af LCA'ens anvendelsestype. I princippet er udvælgelsen af påvirkningskategorier en sag mellem opdragsgiver og LCA-praktikeren, og der er ikke nogen metode, som inkluderer specifikke retningslinier om hvilke påvirkningskategorier, som skal være inkluderet.

Baseret på en gennemgang af fire internationalt kendte metoder og udkastet til den tekniske ISO 14047 (ISO 1999) rapport er der oprettet en omfattende liste med påvirkningskategorier. Listen er præsenteret nedenfor i Tabel 2.1. I den omfattende liste er det også indikeret, om de specifikke påvirkningskategorier betragtes som værende globale, regionale eller lokale. Yderligere er det indikeret, hvis international konsensus vedrørende påvirkningskategorien i LCA er opnået.

PÅVIRKNINGSKATEGORI	GEOGRAFISK MÅLESTOK			INTERNATIONAL KONSENSUS		
	GLOBAL	REGIONAL	LOKAL	ARBEJDS- MILJØ	KLASSIFICERING	KARAKTERISERING
KLIMAFORANDRING	X				JA	JA
STRATOSFÆRISK OZONNEDBRYDNING	X				JA	JA
FOTOKEMISK OZONDANNELSE		X	X		JA	(JA)
FORSURING		X	X		JA	(JA)
NÆRINGSSALT- BELASTNING		X	X		JA	(JA)
INDVIRKNINGER FRA VARMT KØLEVAND			X		NEJ	NEJ
ØKOTOKSICITET		X	X		(JA)	NEJ
HUMAN TOKSICITET		X	X		(JA)	NEJ
ARBEJDSMILJØ				X	JA	NEJ
LUGT			X		JA	NEJ
STØJ ¹			X		(JA)	NEJ ¹
STRÅLING					JA	NEJ
RESSOURCEFORBRUG	X	X	X		JA	(JA)
AREALANVENDELSE			X		(JA)	NEJ
AFFALD			X		(JA)	NEJ
INDVIRKNINGER PÅ ØKOSYSTEMER					NEJ	NEJ

TABEL 2.1
KARAKTERISERING AF
PÅVIRKNINGS-
KATEGORIER.

¹ Nielsen PH og Laursen J har for nyligt (juni 2000) givet et betragteligt bidrag med hensyn til klassifikation og karakterisering af støj og integration af eksterne støjgener fra vej- og jernbanetransport i livscyklusvurdering.

En kort beskrivelse af hver påvirkningskategori findes i Kapitel 2, Valg af påvirkningskategorier, i rapporten “Update on impact categories, normalisation and weighting in LCA.” (Stranddorf *et al.* 2005) og i de detaljerede kapitler i samme rapport.

Som det fremgår, har alle påvirkningskategorier (med undtagelse af indvirkninger fra varmt kølevand og indvirkninger på økosystemer) nået en slags international konsensus med hensyn til klassificering og karakterisering. I begge undtagelser kan det diskuteres, om påvirkningskategorierne kan betragtes som reelle påvirkninger.

Det bør bemærkes, at selvom ovenstående liste er omfattende, inkluderer den ikke alle potentielle typer af påvirkninger. Hvis andre typer påvirkninger er relevante for et LCA-studie, bør en egnet metode (kvantitativ eller kvalitativ) til vurdering af dem defineres og dokumenteres indgående. Den skal opfylde de generelle krav og anbefalinger i ISO-standarderne. Med undtagelse af bemærkningerne i næste afsnit er det uden for rammerne af denne vejledning at give yderligere anbefalinger vedrørende dette.

2.1 OVERVEJELSER VEDRØRENDE VALG AF PÅVIRKNINGSKATEGORI

Der er et stort overlap i de forslåede påvirkningskategorier i forskellige lister, illustreret i Tabel 2.1. Listen og dens underliggende metode vejleder dog ikke en praktiker i udelukkelsen (eller indbefatningen) af påvirkningskategorier til forskellige anvendelser af LCA.

ISO 14042 (ISO 2000) giver følgende vejledning vedrørende valg af påvirkningskategorier, kategoriindikatorer og karakteriseringsmodeller inklusiv kriterierne for miljøanvendelighed:

”For de fleste LCA-studier vil eksisterende påvirkningskategorier, kategoriindikatorer eller karakteriseringsmodeller blive valgt i et LCA-studie, og den relaterede information skal omtales..... I nogle tilfælde er eksisterende påvirkningskategorier, kategoriindikatorer eller karakteriseringsmodeller dog ikke tilstrækkelige til at opfylde de definerede mål og afgrænsning af LCA-studiet, og nye må defineres. Når nye påvirkningskategorier, kategoriindikatorer eller karakteriseringsmodeller er defineret, gælder de (samme) krav og anbefalinger”.

2.1.1 Generel anbefaling

Formålet med enhver LCA må være at sikre, at resultaterne er solide nok til at danne et grundlag for yderligere overvejelser eller for en beslutning.

Af de forskellige metoder og standarder for anbefaling vedrørende valg af påvirkningskategorier, giver ISO 14042 måske den bedste vejledning.

Nedenfor præsenteres nogle få generelle anbefalinger:

- ▶ Den overordnede anbefaling vedrørende valg af påvirkningskategorier er at inkludere alle de påvirkningskategorier, der er opnået international konsensus for.
- ▶ Inkluder internationalt anerkendte påvirkningskategorier i ethvert LCA-studie. Ekskluder kun påvirkningskategorier hvis det kan begrundes rent videnskabeligt.
- ▶ Afhængigt af mål og afgrænsning kan det blive nødvendigt at inkludere nye påvirkningskategorier eller kategorier, der ikke er opnået international enighed om i samme omfang som de nævnte med international anerkendelse.
- ▶ Sommetider er kvalitativ vurdering den eneste måde til at håndtere en mulig miljøpåvirkning. Det kan enten være, hvis der ikke findes raffinerede kvantitative metoder, eller hvis data ikke er tilstrækkeligt præcise. Kvalitativ vurdering er acceptabel, men kan blive mødt med mere kritik.

2.2 REFERENCER

ISO 2000, *Environmental management - Life cycle assessment - Life cycle impact assessment*. ISO 14042.

ISO TR 14047. *Illustrative examples on how to apply ISO 14042 - Environmental management - Life cycle assessment - Life cycle impact assessment*. International Organisation of Standardisation, Paris.

Stranddorf, H.K., Hoffmann, L. & Schmidt, A. *Update on impact categories, normalisation and weighting in LCA*. Environmental project no. 995, 2005. Miljøstyrelsen.

Nielsen, P.H. & Laursen, J.E.: Integration of external noise nuisance from road and rail transportation in life cycle assessment. In Potting, J. and Hauschild, M. (eds.): *Background for spatial differentiation in LCA impact assessment*. Environmental Project no. 996, 2005.

3. Anvendelse af normaliseringsreferencer og vægtningsfaktorer

Strategien har hidtil været at normalisere globale påvirkninger globalt samt regionale og lokale påvirkninger regionalt, baseret på danske forhold. I det nærværende projekt er nye normaliseringsreferencer blevet udviklet for globale, regionale og lokale påvirkninger. For klimaforandring og stratosfærisk ozonnedbrydning er globale normaliseringsreferencer blevet udregnet. For fotokemisk ozondannelse, forsurening, næringsaltbelastning, human toksicitet og økotoksicitet er danske og europæiske (EU-15) normaliseringsreferencer blevet udregnet, og normaliseringsreferencer for hele verden er blevet ekstrapoleret.

Med hensyn til vægtning er der også tilvejebragt opdaterede tal. I nogle tilfælde inkluderer de nye tal også regionale, nationale og globale politiske mål. For klimaforandring er der mål for industrialiserede lande såvel som for udviklingslande.

De opdaterede og udvidede normaliseringsreferencer og vægtningsfaktorer er præsenteret i Tabel 3.1

De grundlæggende intentioner med opdatering og udvidelse af normaliseringsreferencerne er, at:

- Globale påvirkninger er (stadig) normaliseret globalt baseret på globale tal
- Regionale påvirkninger er normaliseret regionalt baseret på pålidelige europæiske tal
- Normaliseringsreferencer for hele verden er tilgængelige for lokale og regionale påvirkninger, hvis det er fundet passende; normaliseringsreferencerne for hele verden er baseret på ekstrapolation

Desuden tillader det nye sæt af normaliseringsreferencer brugeren at vælge en normaliseringsreference, der er tilpasset et specielt formål. Disse nye muligheder giver lejlighed til at vælge. Det vigtigste spørgsmål bliver, hvornår og hvordan man skal anvende specifikke normaliseringsreferencer.

Først og fremmest er intentionerne med opdateringen af vægtningsfaktorerne stadig at muliggøre vægtningen, da målsætningsåret 2000 i den originale UMIP er nået. Desuden er målet med de nye vægtningsfaktorer at give flere muligheder, da flere faktorer for forskellige påvirkningskategorier er til rådighed. De nye muligheder giver lejlighed til at vælge, f.eks. hvis dit firma ligger i et industrialiseret land, og du vælger at placere din produktion i et udviklingsland. Hvis du ønsker at vægte dine normaliserede resultater, kan du

TABEL 3.1
NORMALISERINGS-
REFERENCER OG
VÆGTNINGSFAKTORER,
ORIGINAL UMIP97 OG
OPDATERING (GLOBALT,
EU-15 OG DANMARK)

PÅVIRKNINGS-		NORMALISERINGSREFERENCER				VÆGTNINGSFAKTORER			
		ORIG.	GLOBAL	EU-15	DAN-	ORIG.	GLOBAL	EU-15	DANMARK
KATEGORIER		UMIP97			MARK	UMIP97			
KLIMA-									
FORANDRING	TON CO ₂ -EQ./								
	PERSON/ÅR	8,7	8,7	8,7	8,7	1,3	1,12	1,05	1,11
STRATOS-FÆRISK	KG CFC-11-							2,46	
OZON-	EQ./-								
NEDBRYDNING	PERSON/ÅR	0,2	0,103	0,103	0,103	23	63/4,43		∞
FOTOKEMISK									
OZON	KG C ₂ H ₄ -EQ./-								
DANNELSE	PERSON/ÅR	20	22	25	20	1,2	1,00	1,33	1,26
FORSURING	KG SO ₂ -EQ./-								
	PERSON/ÅR	124	59	74	101	1,3	N.C. ¹	1,27	1,34
NÆRINGSSALT-	KG NO ₃ -EQ./								
BERIGELSER	PERSON/ÅR	298	95	119	260	1,2	N.C. ¹	1,22	1,31
HUMAN									
TOKSICITET, VIA	M ³ AIR/-								
LUFT	PERSON/ÅR	9,18E+09	2,45E+09	3,06E+09	2,09E+09	1,1	N.C. ¹	1,06	1,11
HUMAN									
TOKSICITET,	M ³ VAND/-								
VIA VAND	PERSON/ÅR	5,90E+04	4,18E+04	5,22E+04	1,79E+05	2,9	N.C. ¹	1,3	1,02
HUMAN									
TOKSICITET,	M ³ JORD/-								
VIA JORD	PERSON/ÅR	3,10E+02	1,02E+02	1,27E+02	1,57E+02	2,7	N.C. ¹	1,23	1,02
ØKOTOK-									
SICITET,	M ³ VAND/-								
VAND, AKUT	PERSON/ÅR	4,80E+04	2,33E+04	2,91E+04	7,91E+05	2,6	N.C. ¹	1,11	1,73
ØKOTOK-									
SICITET, VAND,	M ³ VAND/-								
KRONISK	PERSON/ÅR	4,70E+05	2,82E+05	3,52E+05	7,40E+04	2,6	N.C. ¹	1,18	1,67
ØKOTOK-									
SICITET, JORD,	M ³ JORD/-								
KRONISK	PERSON/ÅR	3,00E+04	7,71E+05	9,64E+05	6,56E+05	1,9	N.C. ¹	1	1,56

- ¹ Vægtningsfaktorer er ikke fastsat på verdensplan; de europæiske vægtningsfaktorer anbefales til påvirkningspotentialer lokaliseret uden for Europa eller på ukendt sted
- ² Vægtningsfaktorer er kun blevet fastsat for human toksicitet via jord for Europa, fordi der ikke er nogle danske reduktionsmål; de europæiske vægtningsfaktorer anbefales som standardværdi for påvirkningspotentialer lokaliseret i Danmark.
- ³ Industrialiserede lande/Udviklingslande
n. c. betyder ”ikke beregnet”.

vælge enten at tage vægtningsfaktorerne for de udviklede lande (f.eks.) for stratosfærisk ozonnedbrydning, eller du kan vælge vægtningsfaktoren for landet. Begge valg er mulige (og tilladt), men under alle omstændigheder skal du argumentere for dit valg.

3.1.1 Hvornår og hvordan skal man anvende specifik normalisering

Ved brug af de opdaterede UMIP97 normaliseringsreferencer gives følgende anbefalinger for normalisering af LCA-resultaterne:

- ▶ For globale påvirkninger (klimaforandring og stratosfærisk ozonnedbrydning) bruges altid normaliseringsreferencen for hele verden i grundanalysen
 - ▶ EU-15 eller danske normaliseringsreferencer kan bruges i en følsomhedsanalyse for at afspejle den relative vigtighed i højtudviklede industrielle lande med et stort bidrag pr. person
- ▶ For regionale påvirkninger (forsuring, fotokemisk ozondannelse og næringssaltbelastning) og lokale påvirkninger (økotoksicitet og human toksicitet) bruges EU-15 normaliseringsreferencen som grundreferencen
 - ▶ Hvis man ved, at hovedpåvirkningerne finder sted i et givet område, hvor der er en mere passende normaliseringsreference tilstede, kan denne måske bruges som grundreference, og der skal gøres tydeligt opmærksom på denne afvigelse fra den generelle anbefaling. Som et eksempel, energiforbrugende apparater der bruges i Danmark, kan hovedpåvirkningerne formodes (eller bekræftes) at opstå i Danmark, og tilsvarende kan den anvendte normaliseringsreference for energirelaterede påvirkningskategorier ligeledes være Danmark. For energiforbrugende produkter, som er produceret i Danmark og (primært) brugt uden for Europa kunne normaliseringsreferencerne for hele verden anvendes. Det bør dog nævnes, at den europæiske reference måske giver de mest præcise resultater, hvis brugsområdet overvejende er industrialiserede lande, og dette er derfor også en mulighed.
- ▶ Hvor det er relevant, bruges normaliseringsreferencer for andre geografiske regioner som et element i følsomhedsanalysen, for at anerkende naturlige usikkerheder. Casen, der bruges i rapporten, er et eksempel på dette. Den generelt anbefalede normaliseringsreference for EU-15 kan her suppleres med de danske normaliseringsreferencer i en følsomhedsanalyse. Dette er specielt hensigtsmæssigt i relation til næringssaltbelastning, human toksicitet og økotoksicitet, idet disse påvirkninger har såvel et lokalt som et regionalt element.

Anbefalingerne ovenfor afspejler de naturlige usikkerheder i normaliseringen, især hvis trinnet har et bredt omfang. Det er klart, at jo større kendskab der er til det undersøgte produkt (system), jo mere præcist vil normaliseringstrinnet afspejle den relative vigtighed af forskellige påvirkninger.

Anbefalingerne er en modificering af tidligere anbefalinger for UMIP97, hvor danske normaliseringsreferencer blev anbefalet til regionale og lokale påvirkninger. Det foreslåede skift til EU-normaliseringsreferencen

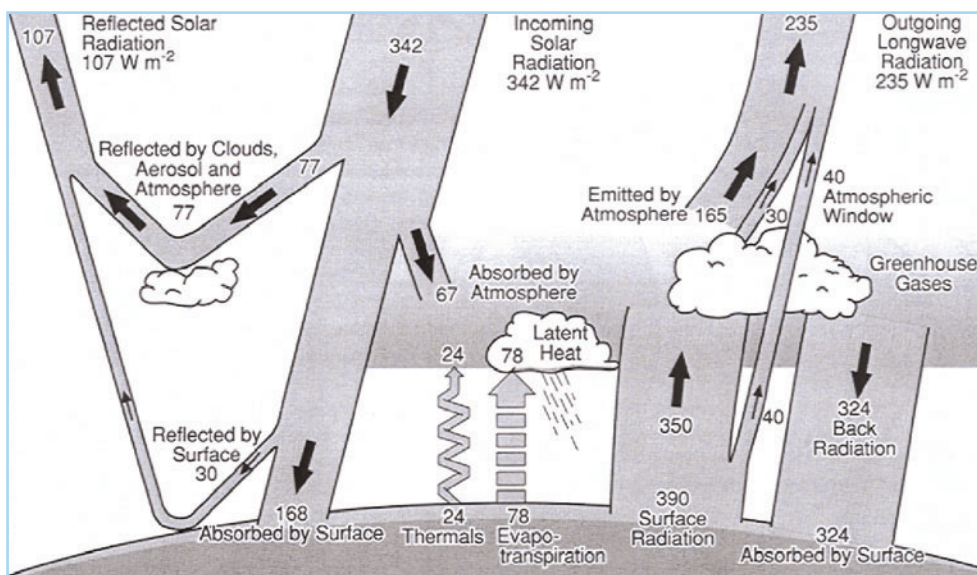
retfærdiggøres af en bedre afgrænsning for mange industriprodukter, kombineret med at EU-normaliseringsreferencerne er af en acceptabel kvalitet.

3.1.2 Eksempel

I de følgende afsnit om specifikke påvirkningskategorier er de ovennævnte generelle anbefalinger vist som eksempel i en specifik case. Casen, en LCA på et køleskab, præsenteres kort i Kapitel 11 og inkluderer tallene for påvirkningspotentialer.

4. Klimaforandring

Klimaforandring – eller ”drivhuseffekten” – er resultatet af øget temperatur i den lavere atmosfære. Atmosfæren er normalt opvarmet af indkommende stråling fra solen. En del af strålingen reflekteres normalt af jordens overflade, men indholdet af carbondioxid (CO₂) eller andre ”drivhus”-gasser (f.eks. metan (CH₄), nitrogenoxid (N₂O), chlorfluorcarboner mv.) i atmosfæren reflekterer eller absorberer IR-strålingen, hvilket resulterer i drivhuseffekten, dvs. en forøgelse af temperaturen i nedre atmosfære til et niveau over normalt. De mulige konsekvenser af drivhuseffekten inkluderer en stigning i temperaturniveauet, hvilket fører til smeltning af indlandsisen og gletschere i bjergområder og stigning i havets overflade. Det øgede temperaturniveau kan også resultere i regionale klimaændringer.



FIGUR 4.1
KLIMAFORANDRING -
ENERGIBALANCE
(TRENBERTH ET AL.
1996).

Kompleksiteten i denne modellering er høj, og vanskeligheden med kalibrering og verifikation af modelleringen er stor. Det betragtes dog som en kendsgerning, at den globale temperatur er steget gennem det sidste århundrede. De specifikke konsekvenser af globale og regionale klimaændringer på grund af temperaturstigning er uvisse. For nyligt er der blevet udviklet computermødelles, som demonstrerer øget intensitet og hyppighed af storme, både med hensyn til antal og længde. Skønt konsekvenserne af klimaændringerne betragtes som usikre, er der tilsyneladende en generel international accept af, at der vil være (risiko for) store påvirkninger, som bør undgås eller i det mindste minimeres. Dette afspejles i internationale aftaler som f.eks. Montreal Protokollen og Kyoto Protokollen med hensyn til reduktion af relevante stoffer.

4.1 STOFFER DER BIDRAGER TIL PÅVIRKNINGSKATEGORIEN

Stofferne, som bidrager til klimaforandring, defineres som stoffer, der ved normal temperatur og tryk er gasser og:

- absorberer infrarød stråling eller nedbrydes til CO₂
- har en atmosfærisk levetid, som er tilstrækkelig til at bidrage betragteligt til den globale opvarmning

Stofferne, som normalt betragtes som bidragsydere til klimaforandring, er:

- Carbondioxid (CO₂)
- Methan (CH₄)
- Nitrogenoxid (N₂O)
- CFC'er (CFC-11, -12, -113, -114, -115)
- HCFC'er (HCFC-22, -123, -124, -141b, -142b)
- HFC'er (HFC-125, -134a, -152a)
- Haloner
- Tetrachlormethan (CCl₄)
- 1,1,1-Trichlorethan (CCl₃CH₃)
- Carbonmonoxid (CO)

For CO₂ er det et specielt krav, at emissionen skal repræsentere et nettobidrag, dvs. det skal øge indholdet af CO₂ i atmosfæren, udover hvad der ville blive observeret, hvis emissionen ikke fandt sted. Eksempler på dette er afbrænding af fossile brændstoffer og ændringer i arealanvendelse, f.eks. skovrydning. Brug af biomasse (træ, halm m.v.) til energiproduktion giver ikke et nettobidrag, fordi det kan formodes, at materialerne vil nedbrydes under alle omstændigheder.

4.2 POTENTIALER FOR KLIMAFORANDRING

I den originale UMIP (Wenzel *et al.* 1997; Hauschild & Wenzel 1998) og i flere andre LCA-metoder kvantificeres den mulige klimaforandring eller drivhuseffekt ved at bruge *globale opvarmningspotentialer (GWP)* for stoffer, som har samme effekt som CO₂ med hensyn til refleksion af varmestrålingen. GWP for drivhusgasser udtrykkes som CO₂-ækvivalenter (CO₂-eq.), dvs. påvirkningerne udtrykkes relativt i forhold til CO₂.

GWP'er er normalt baserede på modellering og kvantificeres for tidshorisonter på 20, 100 eller 500 år for et antal kendte drivhusgasser (f.eks. CO₂, CH₄, N₂O, CFC'er, HCFC'er, HFC'er og adskillige halogenerede hydrocarboner etc.). Emissionen af drivhusgasser reguleres af *Kyoto Protokollen under Klimakonventionen*.

Globale opvarmningspotentialer for de kendte drivhusgasser udvikles af det "Intergovernmental Panel on Climatic Change" (IPCC), og de revideres løbende, når de brugte modeller i beregningerne udvikles. GWP-værdierne kan findes i Hauschild & Wenzel (1998), og den sidste revision af nogle af GWP-værdierne for et antal stoffer kan findes i Schiemel *et al.* (1996).

Den mulige klimaforandring af et produkt/en proces kan vurderes ved at beregne produktet af mængden af udsendt drivhusgas pr. funktionel enhed og potentialet for drivhuseffekt opgivet i kg CO₂-ækvivalenter pr. kg udsendt gas.

4.3 NORMALISERINGSREFERENCER OG VÆGTNINGSAKTORER

Normaliseringsreferencerne og vægtningsfaktorerne for klimaforandring er beregnet i overensstemmelse med den generelle formel i Kapitel 1, Introduktion. Tabel 4.1 præsenterer normaliseringsreferencerne og vægtningsfaktorerne for klimaforandring i forskellige regioner.

KLIMAFORANDRING	ENHED	ORIGINAL			
		UMIP97	GLOBAL	EU-15	DANMARK
NORMALISERINGS- REFERENCE	TON CO ₂ - EQ./PERSON/ÅR	8,7	8,7	8,7	8,7
VÆGTNINGSAKTOR		1,3	1,12	1,05	1,11

TABEL 4.1
NORMALISERINGS-
REFERENCE OG
VÆGTNINGSAKTORER
FOR KLIMAFORANDRING
(HOFFMANN 2005;
BUSCH 2005).

4.3.1 Anbefaling af normaliseringsreference og vægtningsfaktor

Klimaforandring er en global effekt, og derfor anbefales den globale normaliseringsreference. Det anbefales også at bruge den globale vægtningsfaktor for globale påvirkninger.

Eksempel på normalisering og vægtning for klimaforandring

Det normaliserede globale opvarmningspotentiale for det betragtede produkt beregnes som følger:

$$\text{Normaliseret GWP} = \frac{\text{GWP}}{\text{Norm.ref.}_{\text{GWP}}} \quad [\text{PE}_{\text{w94}}]$$

$$\text{Normaliseret GWP} = \frac{0,29 \text{ ton CO}_2 \text{ - eq./år}}{8,7 \text{ ton CO}_2 \text{ - eq./person /år}} = 33 \text{ mPE}_{\text{w94}}$$

hvor: *Normaliseret GWP* er det normaliserede potentiale for klimaforandring for det betragtede produkt
GWP er det globale opvarmningspotentiale for det betragtede produkt
Normref_{GWP} er normaliseringsreferencen for klimaforandring

Beregning af det vægtede påvirkningspotentiale for det betragtede produkt udføres som følger:

$$\text{Vægtet GWP} = \text{WF}_{\text{GWP}} \times \text{Normaliseret GWP} \quad [\text{PET}_{\text{w2004}}]$$

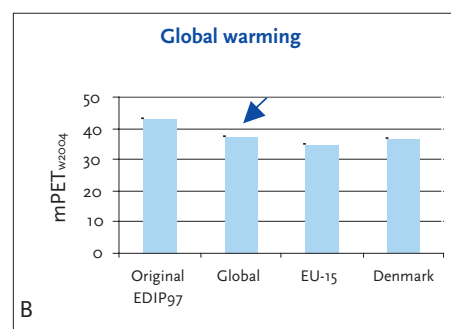
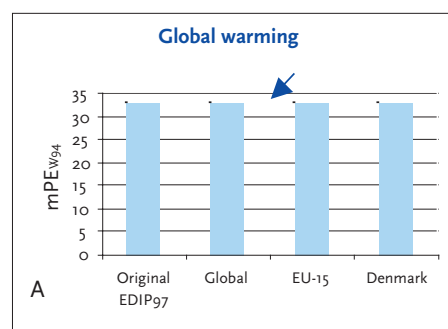
$$\text{Vægtet GWP} = 1,13 \times 33 \text{ mPE} = 37 \text{ mPET}_{\text{w2004}}$$

hvor: Vægtet GWP er det vægtede påvirkningspotentiale for klimaforandring
 WF_{GWP} er vægtningsfaktoren for klimaforandring

Figur 4. 2 de normaliserede potentialer for klimaforandring, udregnet ved at anvende den globale normaliseringsreference.

For klimaforandring, som er en potentiel global påvirkning, anbefales den globale normaliseringsreference kombineret med den globale vægtningsfaktor. Baseret på et påvirkningspotentiale for det pågældende produkt på 0,29 ton CO₂-eq./år er de aktuelle normaliserede og vægtede værdier henholdsvis 33 mPE_{w94} og 37 mPET_{w2004}.

FIGUR 4.2
 NORMALISEREDE (A) OG
 VÆGTEDE (B)
 POTENTIALER FOR
 KLIMAFORANDRING FOR
 FREMSTILLING AF ET
 KØLESKAB PÅ
 FORSKELLIGE
 LOKALITETER. PILENE
 INDIKERER DE
 ANBEFALEDE VALG.



4.5 HVIS DU ØNSKER AT VIDE MERE
 Du kan læse mere om dette emne i:

Busch, N.J. 2005, Calculation of weighting factors. In Stranddorf, H.K., Hoffmann, L. & Schmidt, A. *Update on impact categories, normalisation and weighting in LCA*. Environmental Project no. 995, Danish EPA, 2005.

Hansen, J.H. 1995, Ozonlagsnedbrydende stoffer og HFC - forbrug i 1994. Miljøprojekt nr. 302. København: Miljøstyrelsen.

Hauschild, M. & Wenzel, H. 1998, Global warming as a criterion in the environmental assessment of products. In Hauschild M, Wenzel H (eds.). *Environmental assessment of products. Volume 2: Scientific background*. London: Chapman & Hall.

Hoffmann, L. 2005, Global warming. In Stranddorf, H.K., Hoffmann, L. & Schmidt, A. *Update on impact categories, normalisation and weighting in LCA*. Environmental Project no. 995, Danish EPA, 2005.

Schiemmel, D., Alves, D., Enting, M., Heimann, M., Joos, F., Raynaud, D., Wigley, T., Prather, M., Derwent, R., Ehhalt, D., Fraser, P., Sanhueza, E., Zhou, X., Jonas, P., Charlson, R., Rodhe, H., Sadasivan, S., Shine, K.P., Fouquart, Y., Ramaswamy, V., Solomon, S., Srinivasan, J., Albritton, D., Isaksen, I., Lal, M. & Wuebbles, D. (eds.) 1996, Radiative forcing of climate change. Chapter 2 in Houghton, J.T., Meira Filho, L.G., Callander, B.A., Harris, N., Kattenberg, A. & Maskell, K. (eds.) *Climate change 1995 - The science of climate change*. Cambridge: Cambridge University Press.

Trenberth, K.E., Houghton, J.T., Meira Filho, L.G. (1996). The climate system: an overview. Chapter 1 in Houghton, J.T., Meira Filho, L.G., Callander, B.A., Harris, N., Kattenberg, A. & Maskell, K. (eds.) *Climate change 1995 - The science of climate change*. Cambridge: Cambridge University Press.

Wenzel, H., Hauschild, M. & Alting, L. 1997, *Environmental Assessment of Products. Volume 1 - Methodology, Tools and Case Studies in Product Development*. First edition. Chapman & Hall, London.

<http://www.unep.org>; <http://www.unep.ch>

5. Stratosfærisk ozonnedbrydning

Koncentrationen af den reaktive oxygenforbindelse ozon O_3 er betydelig højere i stratosfæren end i andre dele af atmosfæren, f.eks. troposfæren.

Et antal stoffer, hvoraf nogle forekommer naturligt i stratosfæren, er medvirkende til nedbrydelsen af ozon. Det er f.eks. langlivede chlor- og bromforbindelser, metan (CH_4), nitrogenoxid (N_2O) og vanddamp (H_2O). Reaktionssystemerne er komplekse. Der er dog en international konsensus om emnet, og der er en international aftale baseret på Montreal Protokollen vedrørende udfasning af de relevante stoffer.

Atmosfæren modtager ultraviolet stråling fra solen. Ozonmolekyler i stratosfæren absorberer store mængder af denne UV-stråling og fjerner således den livstruende UV-C-stråling og reducerer den skadelige UV-B-stråling.

Reduktionen i ozonkoncentrationen i stratosfæren kan muligvis have en alvorlig indvirkning på livet på jordens overflade. Det kan forårsage skader på planter, dyr og mennesker. I området omkring Sydpolen (som betragtes at være det mest påvirkede) er indvirkninger på fytoplankton blevet observeret. Fytoplankton er en primærproducent i enhver akvatisk fødekæde, og konsekvenserne kan derfor forventes at blive dramatiske. Nedbrydningen af ozonlaget vil også have indvirkning på mennesker i form af hudkræft, reduceret immunforsvar m.v.

5.1 STOFFER DER BIDRAGER TIL PÅVIRKNINGSKATEGORIEN

Stofferne, der bidrager til den stratosfæriske ozonnedbrydning, er defineret som stoffer, der:

- ▶ er tilstrækkeligt stabile i atmosfæren til at lade en betragtelig andel nå stratosfæren, og
- ▶ indeholder chlor eller brom, som efter frigørelse til atmosfæren vil deltage i en kemisk nedbrydning af ozon

De omfattede stoffer er:

- ▶ CFC'er (CFC-11, -12, -113, -114, -115)
- ▶ HCFC'er (HCFC-22, -123, -124, -141b, -142b)
- ▶ tetrachlormethan (CCl_4)
- ▶ 1,1,1-trichlorethan (CCl_3CH_3)

Stofferne reguleres i *Montreal Protokollen* (UNEP 1987).

5.2 POTENTIALE FOR STRATOSFÆRISK OZONNEDBRYDNING

I UMIP (Hauschild & Wenzel, 1998), kvantificeres den potentielle nedbrydning af det stratosfæriske ozonlag ved brug af potentialer for ozonnedbrydning (ozone depletion potentials, ODP) for stoffer, som har de

samme indvirkninger som CFC'er. CFC-11 er valgt som referencestof i UMIP, som det er i de fleste andre sammenhænge. Dette skyldes, at stoffet er vel undersøgt og at det er et af de stoffer, som bidrager mest til nedbrydningen af ozonlaget. ODP beskriver potentialet for nedbrydning af ozonlaget fra et stof relativt til CFC-11.

Modelleringen af indvirkningen er kompleks. Data til modellering består af f.eks. stoffets stabilitet, dets levetid og den betragtede tidshorisont.

Potentialet for ozonnedbrydning (ozone depletion potentials) er blevet præsenteret af World Meteorological Organisation (WMO) for et antal af halogenerede forbindelser (Solomon & Wuebbles 1995, Pyle *et al.* 1991). Det aktuelle potentiale for stratosfærisk ozonnedbrydning bestemmes af et antal faktorer, f.eks. indholdet af chlor og brom samt stoffernes kemiske og fotokemiske stabilitet. Nyere rapporter, som indeholder oplysninger om produktion og forbrug af stoffer, der nedbryder ozonlaget (UNEP (1998), UNEP (2002)), rapporterer også om potentialet for nedbrydning af ozonlaget på de overvågede stoffer.

5.3 NORMALISERINGSREFERENCER OG VÆGTNINGSFAKTORER

Normaliseringsreferencerne og vægtningsfaktorerne for potentialet for stratosfærisk ozonnedbrydning udregnes i henhold formlen i Kapitel 1. Tabel 5.1. viser normaliseringsreferencerne og vægtningsfaktorerne for stratosfærisk ozonnedbrydning.

TABEL 5.1
NORMALISERINGS-
REFERENCER OG
VÆGTNINGSFAKTORER
FOR STRATOSFÆRISK
OZONNEDBRYDNING
(HOFFMANN 2001;
BUSCH 2001).

STRATOSFÆRISK OZONNEDBRYDNING NORMALISERINGS- REFERENCE	ENHED KG CFC-11- EQ./PERSON/ÅR	ORIGINAL UMIP97	GLOBAL 1994	EU-15 1994	DANMARK 1994
		0,2	0,103	0,103	0,103
VÆGTNINGSFAKTOR		23	63/4,4¹	2,46	∞

¹. Industrialiserede lande/Udviklingslande

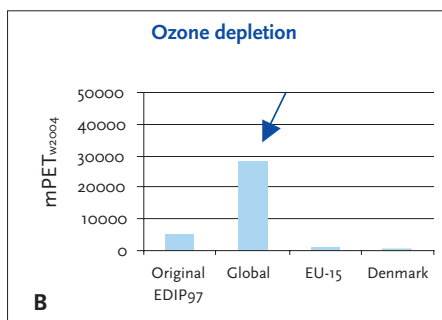
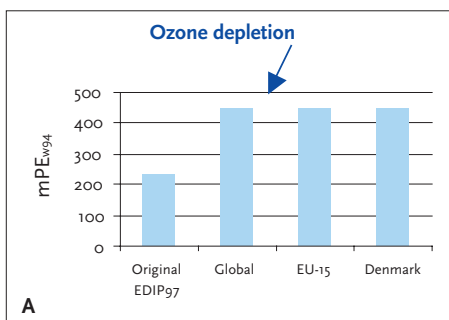
5.3.1 Anbefaling af normaliseringsreference og vægtningsfaktor

Stratosfærisk ozonnedbrydning er en global effekt, og derfor anbefales den globale normaliseringsreference. Det anbefales også at bruge den globale vægtningsfaktor for globale påvirkninger.

5.4 EKSEMPEL PÅ NORMALISERING OG VÆGTNING FOR STRATOSFÆRISK OZONNEDBRYDNING

Nedenfor præsenteres et eksempel på anvendelse af normaliseringsreferencen og vægtningsfaktoren for et produkt (et køleskab). Figur 5.1. illustrerer det normaliserede potentiale for stratosfærisk ozonnedbrydning, udregnet ved at anvende den globale normaliseringsreference.

For stratosfærisk ozonnedbrydning, som er en potentiel global påvirkning anbefales den globale normaliseringsreference kombineret med den globale vægtningsfaktor. Baseret på et påvirkningspotentiale for det pågældende produkt på 0,046 kg CFC-11-eq./år, er de aktuelle normaliserede og vægtede værdier henholdsvis 448 mPE_{W94} og 28230 mPET_{W2004}. Vær opmærksom på at den danske vægtningsfaktor er uendelig.



FIGUR 5.1
NORMALISEREDE (A) OG
VÆGTEDE (B)
POTENTIALER FOR
STRATOSFÆRISK
OZONNEDBRYDNING TIL
PRODUKTION AF ET
KØLESKAB PÅ
FORSKELLIGE
LOKALITETER.

5.5 HVIS DU ØNSKER AT VIDE MERE

Albritton, D.L., & Kuijpers, L. (eds.) 1999, *Synthesis of the Reports of the Scientific, Environmental Effects, and Technology and Economic Assessment Panels of the Montreal Protocol. A Decade of Assessment for Decision Makers Regarding the Protection of the Ozone Layer: 1988-1999*. Nairobi: United Nations Environment Programme (UNEP). Available at <http://www.unep.ch> or <http://www.unep.org>.

Busch, N.J. 2005, Calculation of weighting factors. In Stranddorf, H.K., Hoffmann, L. & Schmidt, A. *Update on impact categories, normalisation and weighting in LCA*. Environmental Project no. 995, 2005, Danish EPA.

Hansen, J.H. 1995, *Ozonlagsnedbrydende stoffer og HFC - forbrug i 1994*. Miljøprojekt nr. 302. København: Miljøstyrelsen.

Hauschild, M. & Wenzel, H. 1998, Stratospheric ozone depletion as a criterion in the environmental assessment of products, in *Environmental assessment of products. Volume 2: Scientific background*, eds. Hauschild M, Wenzel H. London: Chapman & Hall.

Hoffmann, L. 2005, Stratospheric ozone depletion. In Stranddorf, H.K., Hoffmann, L. & Schmidt, A. *Update on impact categories, normalisation and weighting in LCA*. Environmental Project no. 995, 2005, Danish EPA.

Pyle, J.A., Wuebbles, D., Solomon, S. & Zvenigorodsky, S. 1991, *Ozone depletion and chlorine loading potentials*. World Meteorological Organisation: Scientific assessment of stratospheric ozone: 1991 Global ozone research and monitoring project. Report no. 25. Geneva.

Solomon, S. & Albritton, D.L. 1992, Time-dependent ozone depletion potentials for short- and long-term forecasts. *Nature*, vol. 357, pp. 33-37.

Solomon, S. & Wuebbles, D. (lead authors) 1995, Ozone depletion potentials, global warming potentials and future chlorine/bromine loading in *Scientific assessment of ozone depletion, 1994* eds. Albritton, D.L., Watson, R.T. & Aucamp, P.J. World Meteorological Organisation, Global Ozone Research and Monitoring Project - Report No. 37. Geneva: WMO.

UNEP 1987, *The 1987 Montreal Protocol on Substances that Deplete the Ozone Layer* as adjusted and amended by the second Meeting of the Parties (London, 27-29 June 1990) and by the fourth Meeting of the Parties (Copenhagen, 23-25 November 1992) and further adjusted by the seventh Meeting of the Parties (Vienna, 5-7 December 1995) and further adjusted and amended by the ninth Meeting of the Parties (Montreal, 15-17 September 1997). Available at: <http://www.unep.org>.

UNEP 1998, *Data report on production and consumption of ODSs - 1986 - 1996*. United Nations Environment Programme, Ozone Secretariat.

UNEP (2002). Production and consumption of ozone depleting substances under the Montreal Protocol 1986-2000. UNEP Ozone Secretariat, April 2002. (<http://www.unep.org/ozone>).

6. Fotokemisk ozondannelse

Ozon dannes i troposfæren under påvirkning af sollyset, når nitrogenoxider er tilstede. Når VOC'er (flygtige organiske forbindelser) også er tilstede, kan der produceres peroxyradikaler. Peroxyradikaler er meget reaktive og toksiske forbindelser, og tilstedeværelsen af peroxyradikaler kan resultere i en stigning af ozonkoncentrationen via et komplekst reaktionsmønster. Ozon er et *sekundært forurenende stof*, da der praktisk talt ikke er noget ozon tilstede i kildeemissionerne, som stammer fra menneskelig aktivitet.

Troposfærisk ozon, eller ozon ved jordoverfladen, er blevet erkendt som en af de vigtigste miljøtrusler på den regionale målestok. Ved høje koncentrationer er det farligt for mennesker, men allerede ved lavere koncentrationer kan det forårsage skade på vegetation. Ozon er et grænseoverskridende forurenende stof, og det kan blive dannet eller forbrugt af andre forurenende stoffer under transport over lange afstande. Sundhedsproblemer, der er forårsaget af ozon, er generelt blevet betragtet som værende et resultat af de meget høje topværdier af ozonkoncentration, kendt som *ozonepisoder*. Øget ozon i baggrundsniveauerne kan skade vegetationen, og dermed er ozon også en økonomisk trussel pga. en potentiel reduktion af afgrødeudbyttet. Det formodes, at menneskeskabte emissioner har resulteret i en stigning af den globale baggrund for ozonkoncentrationen fra ca. 10 ppb i år 1900 til ca. 20 ppb i 1975 (Fenger 1995).

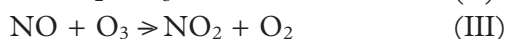
6.1 STOFFER DER BIDRAGER TIL PÅVIRKNINGSKATEGORIEN

De vigtigste forløbere for troposfærisk ozon er:

- NO_x
- VOC'er inklusiv CH₄
- CO

6.1.1 Primært reaktionssystem for ozondannelse

Reaktionerne (I)-(III) styrer baggrundsniveauet for ozon i troposfæren:



Hvis VOC'er også er tilstede, oxyderes de til at producere peroxyradikaler. Peroxyradikaler kan enten forbruge NO eller omdanne det til NO₂ og således konkurrere med ozon, der er dannet ved reaktion (II). Mindre ozon tilintetgøres derved gennem reaktion (III), og ozonkoncentrationen vil således stige.

6.2 POTENTIALE FOR FOTOKEMISK OZONDANNELSE

I UMIP (Hauschild & Wenzel, 1998) beskrives den fotokemiske ozondannelse ved hjælp af POCP (Photochemical ozone creation potential), som en individuel påvirkningskategori. Mens POCP bruges i Europa til rangorden af VOC'er i overensstemmelse med deres evne til at producere

ozon, bruges der i USA en lidt anderledes tilgang: Stigende Reaktivitet (Incremental Reactivity) (Carter *et al.* 1995). Den ”europæiske tilgang” bliver brugt i vejledningen samt i den tekniske rapport (Fuglsang 2005).

POCP beskriver dannelsen af ozon fra en VOC-emission gennem computermodellering af en kompleks serie af kemiske reaktioner i atmosfæren i et givent scenario. En stor mængde input data er nødvendige for at beregne POCP ved hjælp af modellen. Input data består af følgende hovedbestanddele (Derwent *et al.* 1996):

- Emissionsregistre for VOC'er og NO_x for europæiske regioner
- Kemiske og fotokemiske data
- Hastigheder for tørabsætning for forskellige overflader
- Meteorologiske data

Modellen beskriver den kemiske sammensætning af primært forurenende stoffer under transporten væk fra deres kilder og af sekundært forurenende stoffer under transporten mod de følsomme receptorer, hvor skade på miljøet kan forekomme. I modellen følges den kemiske sammensætning af ”luftpakker” eller trajektorier, mens de rejser gennem Europa. Emissioner af NO_x, CO, SO₂ og VOC'er indføres i ”luftpakkerne” i en serie trajektoriestudier. Trajektorierne skal illustrere den generelle situation under fotokemiske episoder i Europa, og de illustrerer den fotokemiske ozonproduktion i 1-5 dage (Derwent & Jenkins 1991). For en given VOC beregnes POCP som et gennemsnit af resultaterne af de tre scenarier. Mere end 95% af de fleste VOC'er er oxiderede efter 4-5 dage, således at den kalkulerede POCP repræsenterer det totale potentiale for ozondannelse.

6.2.1 Definition af POCP

POCP er generelt præsenteret som en relativ værdi, hvor mængden af ozon, der er produceret fra en bestemt VOC, divideres med mængden af ozon, der er produceret af en ligeså stor emission af ethen.

Enheden for POCP er gram ethen-ækvivalenter pr. gram gas (g C₂H₄/g VOC). Ethen er valgt som referencegas, da det er en af de mest virksomme forløbere for ozon af alle VOC'er.

Pr. definition er de beregnede POCP-værdier ikke absolutte værdier. POCP vil være en funktion af de valgte scenarier, dvs. fra et geografisk område til et andet. Da data for f.eks. de kemiske og fotokemiske reaktioner ofte ikke er kendte i detaljer, vil deres repræsentation i modellen ofte være et kompromis. Selv for det samme scenario kan POCP-værdierne derfor beregnes med højere præcision, når mere nøjagtige input data og stærkere computerværktøjer er tilgængelige.

POCP-værdier afspejler ikke kun den nuværende mængde af ethen-ækvivalenter, men også koncentrationen af de nuværende NO_x-værdier. Det kan også være relevant i nogle tilfælde at skelne mellem høj- og lav- NO_x-områder, idet man tager i betragtning, at baggrundskoncentrationen af NO_x er lavere i, f.eks. Skandinavien. Normaliseringsreferencen er derfor beregnet ved at tage forskellene mellem høj- og lav- NO_x-områder i betragtning.

6.3 NORMALISERINGSREFERENCER OG VÆGTNINGSAKTORER

Normaliseringsreferencer og vægtningsfaktorer for fotokemisk ozondannelse er beregnet i henhold til formlen, der er præsenteret i Kapitel 1, Introduktion. Tabel 6.1 præsenterer tallene for normaliseringsreferencer og vægtningsfaktorer.

FOTOKEMISK OZONDANNELSE		ORIGINAL UMIP ₉₇			
ENHED		GLOBAL	EU-15	DANMARK	
NORMALISERINGS-REFERENCE	KG C ₂ H ₄ -EQ./PERSON/ÅR	20	22	25	20
VÆGTNINGSAKTOR		1,2	1,00	1,33	1,26

TABEL 6.1
NORMALISERINGS-REFERENCER OG VÆGTNINGSAKTORER FOR FOTOKEMISK OZONDANNELSE (FUGLSANG 2005; BUSCH 2005).

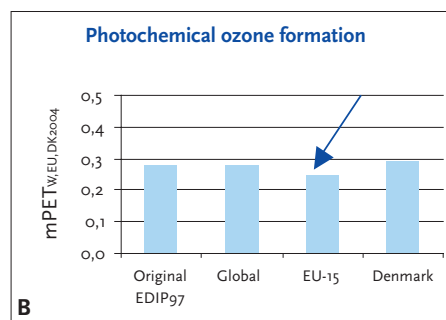
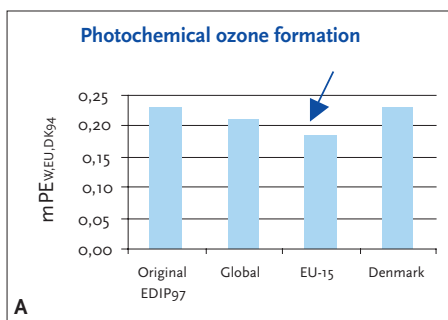
6.3.1 Anbefaling af normaliseringsreference og vægtningsfaktor

For fotokemiske ozondannelse som er en regional effekt anbefales EU-15 normaliseringsreferencen for påvirkningspotentialer placeret såvel i Danmark som i Europa, eller den globale normaliseringsreference, hvis stedet er uden for Europa eller ukendt.

6.4 EKSEMPEL PÅ NORMALISERING OG VÆGTNING FOR FOTOKEMISK OZONDANNELSE

Figur 6.1 illustrerer det normaliserede potentiale for fotokemiske ozondannelse.

For påvirkningspotentialer placeret i Danmark anbefales EU-15 referencen kombineret med EU-15 vægtningsfaktoren for fotokemisk ozondannelse. Baseret på et påvirkningspotentiale for det pågældende produkt ved 0,0046 kg C₂H₄-eq./år er de aktuelle normaliserede og vægtede værdier henholdsvis 0,18 mPE_{EU94} og 0,25 mPET_{EU2004}.



FIGUR 6.1
NORMALISEREDE (A) OG VÆGTTEDE (B) POTENTIALER FOR FOTOKEMISK OZONDANNELSE VED PRODUKTION AF ET KØLESKAB PÅ FØRSKILLIGE LOKALITETER.

Den valgte normaliseringsreference har mindre opmærksomhed på fotokemisk ozondannelse, end hvis den globale eller danske reference var valgt. Forskellen er dog lille, ca. 10-15%, og de praktiske konsekvenser er sandsynligvis ikke vigtige.

6.5 HVIS DU ØNSKER AT VIDE MERE

Altenstedt, J. & Pleijel, K. 1998, *POCP for individual VOC under European conditions*. IVL Report B-1305, Swedish Environmental Research Institute, Stockholm.

Busch, N.J. 2005, Calculation of weighting factors. In Stranddorf, H.K., Hoffmann, L. & Schmidt, A. *Update on impact categories, normalisation and weighting in LCA*. Environmental Project no. 995, 2005, Danish EPA.

Carter, W.P.L., Pierce, J.A., Luo, D. & Malkina, I.L. 1995, Environmental Chamber Study of maximum incremental reactivities of volatile organic compounds. *Atmospheric Environment*, 29 (18) pp. 2499-2511.

Derwent, R.G. 1996, Photochemical ozone creation potentials for a large number of reactive hydrocarbons under European conditions. *Atmospheric Environment*, 30 (2) pp. 181-199.

Derwent, R.G. & Jenkin, M.E. 1991, Hydrocarbons and the long-range transport of ozone and PAN across Europe. *Atmospheric Environment*, 25 (8) pp. 1661-1678.

Fenger, J. 1995, *Ozon som luftforurening*. DMU Tema-rapport 1995/3.

Fuglsang, K. 2005, Photochemical ozone formation. In Stranddorf, H.K., Hoffmann, L. & Schmidt, A. *Update on impact categories, normalisation and weighting in LCA*. Environmental Project no. 995, 2005, Danish EPA.

Hauschild, M. & Wenzel, H. 1998, Photochemical ozone formation as a criterion in the environmental assessment of products in *Environmental assessment of products. Volume 2 Scientific background* eds. Hauschild, M. & Wenzel, H. London: Chapman & Hall.

McBride, S.J., Oravetz, M.A. & Russel, A.G. 1997, Cost-benefit and uncertainty issues in using organic reactivity to regulate urban ozone. *Environm. Sci. Technol.* 31 (5), pp. 138A-244A.

Olivier, J.G.J, Bouwman, A.F., van der Maas, C.W.M., Berdewski, J.J.M., Veldt, C., Bloos, J.P.J., Visschedijk, A.J.H., Zandveld, P.Y.J. & Haverlag, J.L. 1996, *Description of EDGAR version 2.0: A set of global emission inventories of greenhouse gasses and ozone-depleting substances for all anthropogenic and most natural sources on a per country basis and on 1°x1° grid*. RIVM report nr. 771060 002/TNO-MEP report nr. R96/119.

Ritter, M. 1997, *CORINAIR 94 - Summary Report - European Emission Inventory for Air Pollutants*. Copenhagen: European Environment Agency.

UN-ECE 1979, *Convention on Long-range Transboundary Air Pollution*. United Nations, Economic Commission for Europe. Available: <http://www.unece.org>.

UN-ECE (1991). *Protocol to the 1979 Convention on Long-range Transboundary Air Pollution concerning the control of emissions of volatile organic compounds or their transboundary fluxes*. United Nations, Economic Commission for Europe. Available: <http://www.unece.org>.

Wenzel, H., Hauschild, M. & Alting, L. 1997, *Environmental Assessment of Products, Vol. 1: Methodology, tools and case studies in product development*. London: Chapman & Hall.

7. Forsuring

Forsuring betragtes som en regional effekt. Forsuring forårsages af frigivelse af protoner i terrestriske eller akvatiske økosystemer. De forsurende stoffer bidrager kun til forsuringen, hvis anionen udvaskes fra systemet. Organiske syrer vil i altovervejende grad blive mineraliseret og dermed ikke blive udvasket til systemet. De regnes derfor ikke at bidrage til forsuring. I visse områder fører forsuringen til øget mobilitet af tungmetaller og aluminium.

I det terrestriske økosystem ses effekterne i nåleskove (f.eks. gran), men også i løvskove (f.eks. bøg) som ineffektiv vækst og som en endelig konsekvens skovdød. I Europa ses disse effekter primært i Skandinavien og i den mellemøstlige del af Europa. I det akvatiske økosystem ses effekterne som (klare) ”syresøer” uden noget dyreliv. Klare søer ses primært i Skandinavien. Bygninger, konstruktioner, skulpturer og andre genstande ødelægges også af f.eks. syreregn.

7.1 STOFFER DER BIDRAGER TIL PÅVIRKNINGSKATEGORIEN

Stoffer betragtes at have en forsuringseffekt, hvis de forårsager (Hauschild & Wenzel, 1998):

- tilførsel eller frigørelse af brintioner (H^+) i miljøet
- udvaskning af tilsvarende anioner fra det pågældende system

Stofferne, som normalt betragtes som bidragsydere til forsuring, er:

- svovldioxid (SO_2)
- svovltrioxid (SO_3)
- nitrogenoxid (NO_x)
- hydrogenchlorid (HCl)
- salpetersyre (HNO_3)
- svovlsyre (H_2SO_4)
- phosphorsyre (H_3PO_4) (bemærk: anionen udvasker ikke, og bidraget til forsuringen er i praksis lig nul)
- hydrogenfluorid (HF)
- hydrogensulfid (H_2S)
- ammoniak (NH_3)

Den tekniske rapport (Hoffmann 2005) summerer de for tiden tilgængelige data om emissioner af forsurende stoffer til det danske og europæiske miljø. De primære bidragsydere er:

- SO_x - svovloxider
- NO_x - nitrogenoxider
- NH_3 – ammoniak

7.2 POTENTIALE FOR FORSURING

I UMIP (Hauschild & Wenzel, 1998) er forsuringspotentialet kvantificeret ved at bruge forsuringspotentialer (Acidification Potential – AP) for stoffer, der har same effekt som SO₂ i relation til forsurening. Forsuringspotentialer udtrykkes som SO₂-ækvivalenter (SO₂-eq), dvs. potentialerne udtrykkes relative til potentialet af SO₂.

7.2.1 Definition af Forsuringspotentiale

SO₂ bruges som grundlag for at bestemme forsuringspotentialet eller karakteriseringsfaktoren. Metoden med at fastlægge karakteriseringsfaktorer for forsurende stoffer er baseret på støkiometriske betragtninger, hvilket er internationalt accepteret. Karakteriseringsfaktorerne bestemmes som (Hauschild & Wenzel, 1998):

$$EF = \frac{n}{2 * M_w} * 64,06 = \frac{n}{M_w} * 32,03$$

hvor M_w er molekylvægten af det afgivne stof [g/mol]
 n er antallet af frigjorte brintioner i recipienten som et resultat af omdannelsen af stoffet
 64,06 g/mol er molekylvægten af SO₂

Forsuringspotentialet (AP) kan estimeres som SO₂-ækvivalenter:

$$AP = \sum_i EF_i * m_i \quad [SO_2 - eq.]$$

hvor EF_i er karakteriseringsfaktoren for stoffet i
 m_i er afgivelsen af stoffet i

7.3 NORMALISERINGSREFERENCER OG VÆGTNINGSFAKTORER

Normaliseringsreferencerne og vægtningsfaktorerne for forsuringspotentialet er beregnet i henhold til formlen præsenteret i Kapitel 1, Introduktion. Tabel 7.1 præsenterer normaliseringsreferencerne og vægtningsfaktorerne for forsurening.

TABEL 7.1
 NORMALISERINGS-
 REFERENCER OG
 VÆGTNINGSFAKTORER
 FOR FORSURING
 (HOFFMANN 2001;
 BUSCH 2001).

FORSURING	ENHED	ORIGINAL UMIP97 (1990)	VERDENS PROXY 1994	EU-15 1994	DANMARK 1994
NORMALISERINGS- REFERENCE	KG SO ₂ - EQ./PERSON/ÅR	124	59	74	101
VÆGTNINGSFAKTOR		1,3	N.C. ¹	1,27	1,34

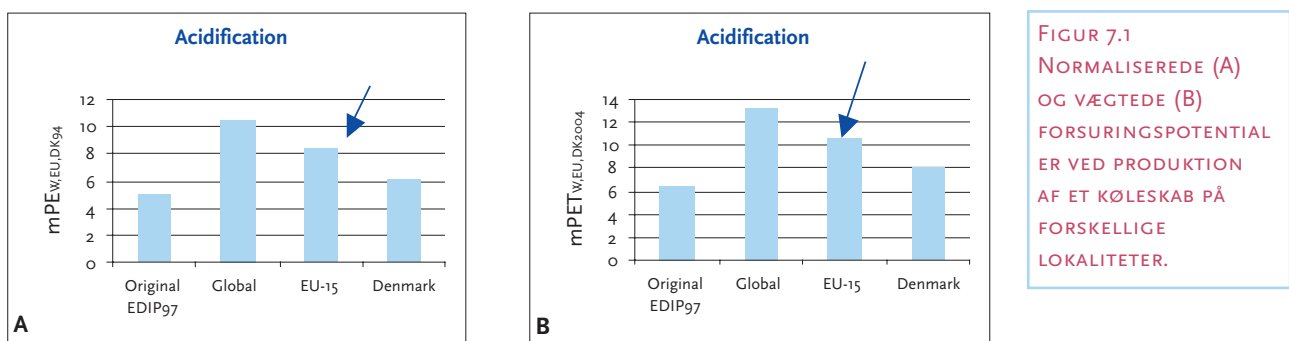
¹ Vægtningsfaktorer er ikke blevet fastlagt verden over. De europæiske vægtningsfaktorer anbefales til påvirkningspotentialer placeret uden for Europa eller på et ukendt sted.
 n. c. betyder ”ikke beregnet”.

7.3.1 Anbefaling af normaliseringsreference og vægtningsfaktor

For forurening som en regional effekt anbefales EU-15 normaliseringsreferencen for påvirkningspotentialer placeret i Danmark såvel som i Europa. Hvis stedet er uden for Europa eller ukendt kan den globale normaliseringsreference benyttes.

7.4 Eksempel på normalisering og vægtning for forurening

Nedenfor præsenteres et eksempel på anvendelse af normaliseringsreferencen og vægtningsfaktoren for et produkt (køleskab). Figur 7.1 illustrerer det normaliserede og vægtede forureningspotentialer for produktet.



FIGUR 7.1
NORMALISEREDE (A)
OG VÆGTEDE (B)
FORSURINGSPOTENTIAL
ER VED PRODUKTION
AF ET KØLESKAB PÅ
FORSKELLIGE
LOKALITETER.

For påvirkningspotentialer placeret i Danmark anbefales EU-15 normaliseringsreferencen kombineret med EU-15 vægtningsfaktoren for forurening. Baseret på et påvirkningspotential for det pågældende produkt på 0,62 kg SO₂-eq./år er de aktuelle normaliserede og vægtede værdier henholdsvis 8,3 mPE_{EU94} og 11 mPET_{EU2004}.

Som det kan udledes fra Tabel 7.1 og ses i Figur 7.1 kan det normaliserede resultat variere med ca. 25%, afhængig af hvilken normaliseringsreference der vælges. I tilfældet med køleskabet er forurening vigtigere på europæisk og global plan. Dette kan forklares med, at bidraget fra gennemsnitspersonen i Danmark er højere end i andre regioner, men den politiske vægt på sagen er ca. den samme. Vær opmærksom på at en global vægtningsfaktor ikke er udregnet.

7.5 HVIS DU ØNSKER AT VIDE MERE

Busch, N.J. 2005, Calculation of weighting factors. In Stranddorf, H.K., Hoffmann, L. & Schmidt, A. *Update on impact categories, normalisation and weighting in LCA*. Environmental Project no. 995, 2005, Danish EPA.

EEA 1998a, *Europe's Environment: The Second Assessment*. Eurostat, European Commission, European Environment Agency. Office for Official Publications of the European Commission, Luxembourg.

EEA 1998b. *Europe's Environment: statistical compendium for the Second Assessment*. Eurostat, European Commission, European Environment Agency. Office for Official Publications of the European Commission, Luxembourg.

Hauschild, M. & Wenzel, H. 1998, Acidification as a criterion in the environmental assessment of products in *Environmental assessment of products. Volume 2 Scientific background* eds. Hauschild, M. & Wenzel, H. London: Chapman & Hall.

Hoffmann, L. 2005. Acidification. In Stranddorf, H.K., Hoffmann, L. & Schmidt, A. *Update on impact categories, normalisation and weighting in LCA*. Environmental Project no. 995, 2005, Danish EPA.

Koch, D. 1998, *Air emissions - Annual topic update 1997*. Topic Report no.4. European Environment Agency.

Ritter, M. 1997, CORINAIR 94 - *Summary Report - European Emission Inventory for Air Pollutants*. Copenhagen: European Environment Agency.

UN-ECE 1979, *Convention on Long-range Transboundary Air Pollution*. United Nations, Economic Commission for Europe. Available: <http://www.unece.org>.

8. Nærings saltbelastning

Årsagen til iltvindet, der er fundet i søers bundlag og kystvande er nærings saltbelastning. Nærings saltbelastning kan således defineres som ”en berigelse af vandmiljøet med nærings salte, der fører til en øget produktion af plankton, alger og højere akvatiske planter. Med tiden fører dette til en reduktion i vandkvaliteten og i udnyttelsesværdien, som er i området” (Christensen *et al.* 1993). Algerne synker til bunden og nedbrydes ved at forbruge ilten i bundlaget. Hvis friskt iltrigt vand fra overfladen ikke når bundlagene, vil iltkoncentrationen nær bunden gradvist reduceres, indtil de organismer, der lever ved bunden, flytter sig eller dør.

De skadelige virkninger af udledning af omfattende mængder af nærings salte er blevet observeret regelmæssigt i søer i mange år. Da det i Danmark blev opdaget, at bundene i store vandområder praktisk talt var iltfri og livløse på nogle tidspunkter af året, kom det som en ubehagelig overraskelse for mange mennesker og udløste en seriøs diskussion om nærings saltsudledninger og deres mulige indvirkning på miljøet.

8.1 STOFFER DER BIDRAGER TIL PÅVIRKNINGSKATEGORIEN

Et af de to makronæringsstoffer, nitrogen og phosphor, er normalt det begrænsende element for væksten af primærproducenter, og det er derfor fornuftigt kun at betragte elementerne nitrogen og phosphor som medvirkende til nærings saltbelastning. I danske søer er phosphormangel, eller en kombination af nitrogen- og phosphormangel, typisk begrænsende for vækst, og deres tilførsel øger væksten af alger. I de danske kystvande og have er nitrogen ofte det begrænsende næringsstof. Stoffer, som indeholder nitrogen eller phosphor i en biologisk tilgængelig form, klassificeres derfor som potentielt medvirkende til nærings saltbelastning.

I forbindelse med Vandmiljøplanen fra 1987 blev der etableret et nationalt program i Danmark for at måle næringsstofbelastningen i akvatiske områder fra punktkilder, landbrug og atmosfæren for at gøre det muligt at følge den forventede reduktion i belastningen.

Det meste af nitrogenbelastningen til vandmiljøet kan primært tilskrives udvaskningen fra rodzonen i landbruget. En vigtig del af nitrogenudvaskningen relateres til brugen af nitrogenholdige gødningsstoffer og antallet af besætninger. Foruden menneskeskabte udledninger fra landbruget kommer en vigtig nitrogenbelastning fra forskellige punktkilder som spildevandsrensning, industri, fiskeopdræt og sparsomt bebyggede områder, hvor der ikke sker en rensning af spildevandet.

Det meste af phosphorbelastningen af overfladevandet kan tilskrives udledninger fra punktkilder, specielt kommunalt og industrielt spildevand. Kun en lille del af den industrielle sektor er ansvarlig for hovedparten af spildevand, der indeholder phosphor. Blandt andet bør gødningsindustrien og andre relaterede kemiske industrier, der fremstiller produkter med indhold af phosphor (f.eks. pesticider og rengøringsmidler), pulp- og papirindustrien

samt fiskefremstillingsindustrien nævnes. Udvaskning fra landbruget udgør dog også en betydelig del.

De vigtigste luftbårne emissioner omfatter oxider af NO_x , som overvejende udsendes fra forbrændingsprocesser, og ammoniak, NH_3 , der især udsendes fra aktiviteter i landbruget.

Da det meste af atmosfæren består af frit nitrogen, N_2 , vil yderligere tilførsel af N_2 ikke have nogen effekt. N_2 klassificeres derfor ikke som medvirkende til næringssaltbelastning.

8.2 POTENTIALE FOR NÆRINGSSALTBELASTNING

I en tredelt opdeling af miljøpåvirkningskategorier i henholdsvis globale, regionale og lokale, betragtes næringssaltbelastning som såvel en lokal som en regional påvirkning.

8.2.1 Definition af potentialet for næringssaltbelastning

Klassificeringstrinnet definerer næringssaltbelastning som en menneskeskabt påvirkning af akvatiske eller terrestriske systemer med nitrogen, N, eller phosphor, P. Det samlede potentiale for næringssaltbelastning udtrykker udledninger som en ækvivalent emission af referencestoffet NO_3^- .

Karakteriseringsfaktoren for den samlede ækvivalent for næringssaltbelastning betegnes som stoffets potentiale for næringssaltbelastning.

Tre karakteriseringsfaktorer er defineret til brug i beregning af de mulige bidrag fra et givent stof:

- N-potentialet, som udtrykker stoffets nitrogenindhold,
- P-potentialet, som udtrykker stoffets phosphorindhold, og
- karakteriseringsfaktoren for det totale potentiale for næringssaltbelastning, hvor indholdet af hhv. nitrogen og phosphor er samlet i et tal baseret på formodningen om et gennemsnitsforhold på 16:1 mellem nitrogen og phosphor i akvatiske organismer.

Fra formelen på gennemsnitssammensætningen af akvatiske organismer kan det ses, at nitrogenforholdet til phosphor er i størrelsesordenen 16. Hvis koncentrationen af biotilgængeligt nitrogen er betydeligt mere end 16 gange koncentrationen af biotilgængeligt phosphor i et økosystem, er det således rimeligt at formode, at phosphor er det begrænsende næringsstof og omvendt.

8.3 NORMALISERINGSREFERENCER OG VÆGTNINGSFAKTORER

Normaliseringsreferencerne og vægtningsfaktorerne for potentialet for næringssaltbelastning er udregnet i overensstemmelse med formelen, der er præsenteret i Kapitel 1, Introduktion. Normaliseringsreferencerne og vægtningsfaktorerne for næringssaltbelastning præsenteres i Tabel 8.1.

NÆRINGSSALTBELASTNING	ENHED	ORIGINAL			
		UMIP97-1990	GLOBAL 1994	EU-15 1994	DANMARK 1994
NORMALISERINGS-REFERENCE	KG NO ₃ ⁻ -EQ./PERSON/ÅR	298	95	119	260
VÆGTNINGSAKTOR		1,2	N.C. ¹	1,22	1,31

TABEL 8.1
NORMALISERINGS-REFERENCER OG VÆGTNINGSAKTORER FOR NÆRINGSSALTBELASTNING (LARSEN 2005; BUSCH 2005).

¹ Vægtningsskatorer er ikke etableret verden over. De europæiske vægtningsskatorer anbefales for påvirkningsskatorer placeret uden for Europa eller på ukendt sted. n. c. betyder "ikke beregnet".

Anbefaling af normaliseringsreference og vægtningsskator

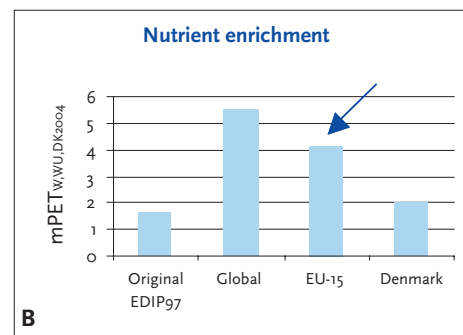
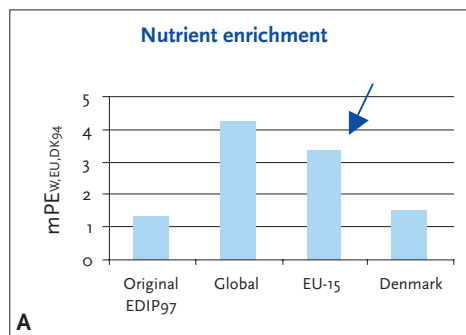
Næringssaltbelastning betragtes som både en lokal og en regional effekt. Det anbefales at bruge EU-15 normaliseringsreferencen kombineret med EU-15 vægtningsskatoren for næringssaltbelastning. Denne anbefaling gælder for påvirkningsskatorer i såvel Danmark som i EU-15. For påvirkningsskatorer uden for Danmark og Europa anbefales den globale reference.

8.4 EKSEMPEL PÅ NORMALISERING OG VÆGTNING FOR NÆRINGSSALTBELASTNING

Figur 8.1 illustrerer det normaliserede og vægtede potentiale for næringssaltbelastning for eksemplet i Kapitel 11.

For regionale påvirkningsskatorer som næringssaltbelastning anbefales EU-15 normaliseringsreferencen og EU-15 vægtningsskatoren. Baseret på et påvirkningsskatorer for det pågældende produkt på 0,4 kg NO₃⁻-eq./år, er de aktuelle normaliserede og vægtede værdier henholdsvis 3,4 mPE_{EU94} og 4,1 mPET_{EU2004}.

FIGUR 8.1
NORMALISEREDE (A)
OG VÆGTEDE (B)
POTENTIALER FOR
NÆRINGSSALT-
BELASTNING FOR
PRODUKTION AF ET
KØLESKAB PÅ
FØRSKELLIGE
LOKALITETER.



Tabel 8.1 og Figur 8.1 illustrerer, at den valgte normaliseringsreference og vægtningsfaktor (for EU-15) giver mere opmærksomhed til næringssaltbelastning, end når de danske værdier anvendes. På den anden side giver det mindre opmærksomhed til emnet, end hvis de globale værdier benyttes.

Det anbefales derfor at undersøge, om påvirkningen er vigtig, når den sammenlignes med andre påvirkninger ved brug af de danske eller globale normaliseringsreferencer. Hvis man gør det, kan en mere detaljeret følsomhedsanalyse gennemføres ved at undersøge bidraget fra fosfor- og nitrogenforbindelser, og hvis muligt, skelne mellem punktkilder og mere generelle bidrag.

8.5 HVIS DU ØNSKER AT VIDE MERE

Busch, N.J. 2005, Calculation of weighting factors. In Stranddorf, H.K., Hoffmann, L. & Schmidt, A. *Update on impact categories, normalisation and weighting in LCA*. Environmental Project no. 995, 2005, Danish EPA.

Christensen, N., Paaby, H., & Holten-Andersen, J. 1993, *Environment and society - the state of the environment in Denmark*. Professional report no. 93, National Environmental Research Institute.

EEA 1998a, *Europe's Environment: The Second Assessment*. Eurostat, European Commission, European Environment Agency. Office for Official Publications of the European Commission, Luxembourg.

EEA 1998b. *Europe's Environment: statistical compendium for the Second Assessment*. Eurostat, European Commission, European Environment Agency. Office for Official Publications of the European Commission, Luxembourg.

Hauschild, M. & Wenzel, H. 1998c, Nutrient enrichment as a criterion in the environmental assessment of products. In Hauschild M, Wenzel H (eds.). *Environmental assessment of products. Volume 2: Scientific background*. London: Chapman & Hall.

Larsen, J. 2005. Nutrient enrichment. In Stranddorf, H.K., Hoffmann, L. & Schmidt, A. *Update on impact categories, normalisation and weighting in LCA*. Environmental Project no. 995, 2005, Danish EPA.

Larsen, S.E., Erfurt, J., Græsbøll, C., Kronvang, B., Mortensen, E., Nielsen, C.E., Ovesen, N.B., Paludan, C., Rebsdorf, Aa., Svendsen, L.M. & Nygaard, P. 1995, *Ferske vandområder - vandløb og kilder. Vandmiljøplanens overvågningsprogram 1994*. Danmarks Miljøundersøgelser. Faglig rapport fra DMU, nr. 140.

9. Human toksicitet

Human toksicitet sammenfatter i LCA sammenhæng et antal forskellige effekter som akut toksicitet, irritation/korrosive effekter, allergiske effekter, uoprettelig skade/skade på organer, genotoksicitet, kræftfremkaldende effekter, toksicitet på forplantningssystemet/fosterskader og neurotoksicitet i en enkelt parameter (toksiske karakteriseringsfaktorer, EF).

Karakteriseringsfaktorerne fastsættes for emission til og efterfølgende fordeling mellem medierne luft, vand og jord. Human toksicitet inkluderer ikke indendørs forbrugereksposering eller arbejdsmiljø.

9.1 STOFFER DER BIDRAGER TIL PÅVIRKNINGSKATEGORIEN

Stofferne, der bidrager til human toksicitet, er mange og kan ikke beskrives af et endeligt antal grupper. I beregningen af normaliseringsreferencerne for human toksicitet har det været formålet at finde den rigtige størrelsesorden. Vi ved, at ikke alle aktiviteter er inkluderet, og derfor forventes referencerne at være i den lave ende, men det formodes, at de har den rigtige størrelsesorden. Normaliseringsreferencerne for human toksicitet inkluderer påvirkninger fra:

- NmVOC fra vejtransport
- Tungmetaller (cadmium, bly, kviksølv etc.)
- Nitrogenoxider (NO_x)
- Svovldioxid (SO₂)
- Flygtige organiske forbindelser (VOC)
- Chlorerede organiske forbindelser
- Persistente organiske forurenende stoffer (POP)
- Partikler (PM₁₀)

9.2 POTENTIALE FOR HUMAN TOKSICITET

I UMIP (Hauschild *et al.*, 1998) udtrykkes de mulige human toksikologiske effekter som kritisk volumen, dvs. volumen af et bestemt medie som er nødvendigt for at absorbere en specifik emission, uden at det resulterer i negative virkninger. Toksicitetspotentialerne udtrykkes af følgende enheder med reference til det medie, via hvilket mennesker eksponeres for forskellige stoffer.

Luft: m³ luft/g stof
Vand: m³ vand/g stof
Jord: m³ jord/g stof

Ved at bruge denne fremgangsmåde kan toksiske potentialer for alle slags stoffer samles til en enkel værdi, dvs. en kritisk volumen luft, vand eller jord for hver komponent.

Toksiske karakteriseringsfaktorer (EF) for et antal stoffer samt metoden til beregning af EF for andre stoffer kan findes i Hauschild *et al.* (1998).

9.3 NORMALISERINGSREFERENCER OG VÆGTNINGSAKTORER

Normaliseringsreferencerne og vægtningsfaktorerne for human toksicitet beregnes i henhold til den generelle formel i Kapitel 1, Introduktion. Normaliseringsreferencer og vægtningsfaktorer for human toksicitet præsenteres i Tabel 9.1. Detaljer om bestemmelse af normaliseringsreferencer og vægtningsfaktorer kan findes i henholdsvis Christensen and Hoffmann (2005) og Busch (2005).

TABEL 9.1
NORMALISERINGS-
REFERENCER OG
VÆGTNINGSAKTORER
FOR HUMAN TOKSICITET
(EKSPONERING VIA
LUFT, VAND OG JORD)
(CHRISTENSEN &
HOFFMANN 2005;
BUSCH 2005).

NORMALISERINGS- REFERENCE	ENHED	ORIGINAL UMIP97 -1990	GLOBAL 1994	EU-15 1994	DANMARK 1994
HUMAN TOKSICITET, VIA LUFT	M3 LUFT/ PERSON/ÅR	9,18E+09	4,87E+10	6,09E+10	5,53E+10
HUMAN TOKSICITET, VIA VAND	M3 VAND/ PERSON/ÅR	5,90E+04	4,18E+04	5,22E+04	1,79E+05
HUMAN TOKSICITET, VIA JORD	M3 JORD/ PERSON/ÅR	3,10E+02	1,02E+02	1,27E+02	1,57E+02
VÆGTNINGSAKTOR					
HUMAN TOKSICITET, VIA LUFT		1,1	NC ²	1,40	1,42
HUMAN TOKSICITET, VIA VAND		2,9	NC ²	1,23	1,02
HUMAN TOKSICITET, VIA JORD ¹		2,7	NC ²	1,23	1,23 ¹

1. Vægtningsfaktorer er kun beregnet for human toksicitet via jord for Europa; den europæiske vægtningsfaktor anbefales som normalværdi for påvirkningspotentialer placeret i Danmark.
2. Vægtningsfaktorer er ikke beregnet for hele verden. De europæiske vægtningsfaktorer anbefales for påvirkningspotentialer placeret uden for Europa eller på et ukendt sted.
n.c. betyder "ikke beregnet"

9.3.1 Anbefaling af normaliseringsreference og vægtningsfaktor

Human toksicitet betragtes som en lokal såvel som en regional påvirkning. EU-15 normaliseringsreferencerne og vægtningsfaktoren for EU-15 anbefales generelt for påvirkningspotentialer i såvel Danmark som Europa. En mulig undtagelse er, når man ved, at (hoved) påvirkningerne finder sted i Danmark, f.eks. som et resultat af emissioner fra specifikke punktkilder. I dette tilfælde anbefales brug af de danske normaliseringsreferencer og vægtningsfaktorer. Hvis stedet er ukendt eller uden for Europa, anbefales den globale normaliseringsreference. Det bør bemærkes, at vægtningsfaktorerne for alle områder er lave pga. mangel på specifikke reduktionsmålsætninger. En international aftale om specifikke reduktionsmål eller total udfasning af stoffer som persistente organiske forurenende stoffer og tungmetaller ville øge vægtningsfaktoren markant.

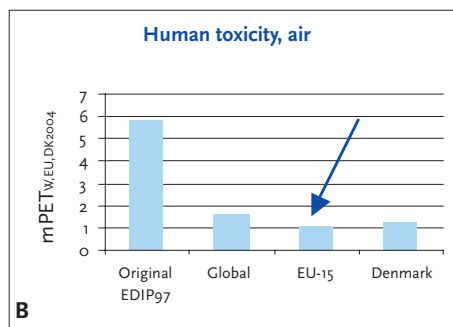
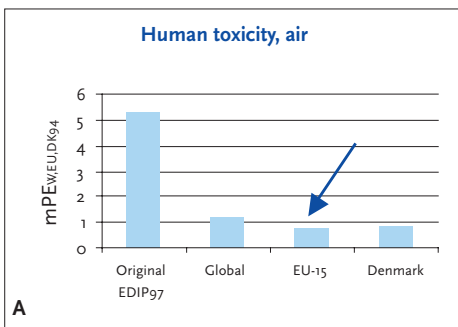
9.4 EKSEMPEL PÅ NORMALISERING OG VÆGTNING FOR HUMAN TOKSICITET

Figur 9.1 - Figur 9.1 illustrerer normaliserede og vægtede human toksiske potentialer ved brug af EU-15 normaliseringsreferencerne kombineret med EU-15 vægtningsfaktorerne som anbefalet. Baseret på påvirkningspotentialer for human toksicitet for det pågældende produkt:

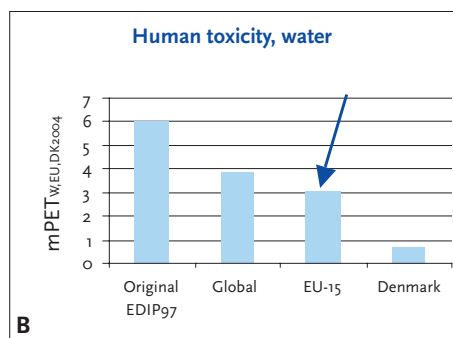
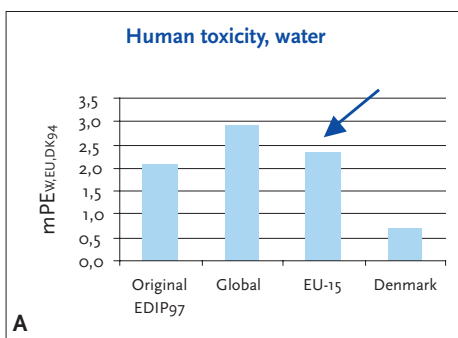
Human toksicitet via luft: $4,83 \cdot 10^7 \text{ m}^3$ luft giver $0,79 \text{ mPE}_{\text{EU}94}$ og $1,11 \text{ mPET}_{\text{EU}2004}$

Human toksicitet via vand: 123 m^3 vand giver $2,4 \text{ mPE}_{\text{EU}94}$ og $3,1 \text{ mPET}_{\text{EU}2004}$

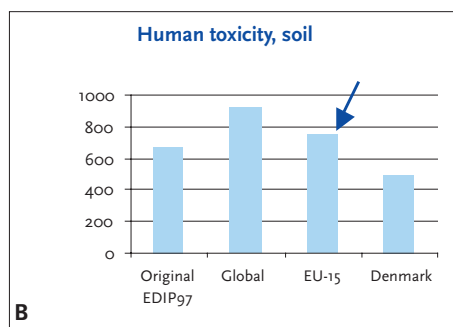
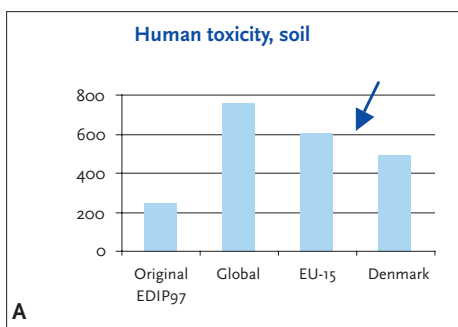
Human toksicitet via jord: 77 m^3 jord giver $606 \text{ mPE}_{\text{EU}94}$ og $745 \text{ mPET}_{\text{EU}2004}$



FIGUR 9.1
NORMALISEREDE (A)
OG VÆGTEDE (B)
POTENTIALER FOR
HUMAN TOKSICITET,
EKSPONERING VIA LUFT
VED PRODUKTION AF ET
KØLESKAB PÅ
FORSKELLIGE
LOKALITETER.



FIGUR 9.2
NORMALISEREDE (A) OG
VÆGTEDE (B)
POTENTIALER FOR
HUMAN TOKSICITET,
EKSPONERING VIA VAND
VED PRODUKTION AF ET
KØLESKAB PÅ
FORSKELLIGE
LOKALITETER.



FIGUR 9.3
NORMALISEREDE (A) OG
VÆGTEDE (B)
POTENTIALER,
EKSPONERING VIA JORD
VED PRODUKTION AF ET
KØLESKAB PÅ
FORSKELLIGE
LOKALITETER.

Figureerne illustrerer, at der er en relativ stor variation i potentialerne for toksicitet afhængig af den valgte normaliseringsreference. Basisscenariet bør derfor suppleres med en følsomhedsanalyse med brug af andre normaliseringsreferencer og vægtningsfaktorer for at undersøge grunden til forskellene mere detaljeret og for at relatere dem til miljøforholdene på det berørte område. Det er især interessant at finde en balance mellem toksicitet til henholdsvis luft og vand, da resultaterne for disse kategorier peger i modsatte retninger.

9.5 Hvis du ønsker at vide mere

Busch, N.J. 2005. Calculation of weighting factors. In Stranddorf, H.K., Hoffmann, L. & Schmidt, A. *Update on impact categories, normalisation and weighting in LCA*. Environmental Project no. 995, 2005, Danish EPA.

Christensen, F.M. & Hoffmann, L. 2005. Human toxicity. In Stranddorf, H.K., Hoffmann, L. & Schmidt, A. *Update on impact categories, normalisation and weighting in LCA*. Environmental Project no. 995, 2005, Danish EPA.

EC- TGD 1996, *Technical guidance documents in support of commission directive 93/67/EEC on risk assessment for new notified substances and commission regulation (EC) No1488/94 on risk assessment for existing substances (Parts I, II, III and IV)*. Office for Official Publications of the European Community, Luxembourg.

EEA 1998a, *Europe's Environment: The Second Assessment*. Eurostat, European Commission, European Environment Agency. Office for Official Publications of the European Commission, Luxembourg.

EEA 1998b. *Europe's Environment: statistical compendium for the Second Assessment*. Eurostat, European Commission, European Environment Agency. Office for Official Publications of the European Commission, Luxembourg.

EU 1998, Commission Directive 98/98/EC of 15 December 1998 adapting to technical progress for the 25 time Council Directive 67/548/EEC on the approximation of the laws, regulations and administrative provisions relating to the classification, packaging and labelling of dangerous substances. Available at <http://europe.eu.int>.

Hauschild, M.Z., Olsen, S.I. & Wenzel, H. 1996, Toksicitet for mennesker i miljøet som vurderingskriterium ved miljøvurdering af produkter, i Hauschild, M.Z. (ed.), *Baggrund for miljøvurdering af produkter*. Miljø- og Energiministeriet, Dansk Industri. København. (in Danish)

Hauschild, M.Z., Olsen, S.I. & Wenzel, H. 1998, "Human toxicity as a criterion in the environmental assessment of products", in *Environmental*

assessment of products. Volume 2: Scientific background, eds. Hauschild, M.Z. & Wenzel, H., Chapman & Hall, London.

10. Økotoksicitet

Økotoksicitet dækker i LCA sammenhæng et antal effekter som akut og kronisk toksicitet på forskellige arter i jord og vand. Kemiske stoffers skæbne (bionedbrydelighed, mulig bioakkumulering og distribution mellem forskellige områder) er også inkluderet i vurderingen af de økotoksikologiske effekter. Skæbnen og effekterne samles i en enkelt parameter (toksiske karakteriseringsfaktorer (EF)). Karakteriseringsfaktorerne fastsættes for emissioner til og efterfølgende fordeling mellem forskellige medier: luft, vand og jord kombineret med akutte og kroniske akvatiske effekter og kroniske terrestriske effekter.

10.1 STOFFER DER BIDRAGER TIL PÅVIRKNINGSKATEGORIEN

Stoffer, der bidrager til økotoksicitet, er mange og kan ikke beskrives af et endeligt antal grupper. I beregningen af normaliseringsreferencen for økotoksicitet har det været formålet at finde den rigtige størrelsesorden. Det er ikke muligt at inkludere bidrag fra alle aktiviteter, og derfor forventes referencerne at være i den lavere ende, men det formodes, at de har den rigtige størrelsesorden. Normaliseringsreferencerne for økotoksicitet inkluderer påvirkninger fra:

- Organiske tinforbindelser
- Metaller
- Organiske stoffer/persistente organiske forurenende stoffer (POP)
- Pesticider

10.2 POTENTIALE FOR ØKOTOKSICITET

I UMIP (Hauschild *et al.* 1998) udtrykkes de potentielle økotoksiske effekter som kritisk volumen, dvs. volumen af et bestemt medie som er nødvendigt for at absorbere en specifik emission, uden at det resulterer i negative virkninger. Potentialerne for økotoksicitet udtrykkes af følgende enheder med reference til det medie, via hvilket naturlige organismer eksponeres for forskellige stoffer.

- Vand, akut toksicitet: m³ vand/g stof
- Vand, kronisk toksicitet: m³ vand/g stof
- Jord, kronisk toksicitet: m³ jord/g stof

Når man bruger denne metode, kan økotoksiske potentialer for alle slags stoffer samles til en enkelt værdi, dvs. en kritisk volumen.

Økotoksiske karakteriseringsfaktorer (EF) for et antal stoffer samt metoden for beregning af EF for andre stoffer kan findes i Hauschild *et al.* (1998).

10.3 NORMALISERINGSREFERENCE OG VÆGTNINGSAKTØR

Normaliseringsreferencerne og vægtningsfaktorerne for økotoksicitet beregnes i henhold til den generelle formel i Kapitel 1, Introduktion, og

præsenteres i Tabel 10.1. Detaljerede oplysninger om metode og datakilder, som er brugt i beregningen af normaliseringsreferencer og vægtningsfaktorer kan findes i Tørsløv (2005) og Busch (2005).

TABEL 10.1
NORMALISERINGS-
REFERENCER OG
VÆGTNINGSAKTORER
FOR ØKOTOKSICITET
(AKUT AKVATISK,
KRONISK AKVATISK OG
KRONISK TERRESTRISK)
(TØRSLØV 2005; BUSCH
2005).

NORMALISERINGS- REFERENCE	ENHED	ORIGINAL			
		UMIP97 (1990)	GLOBAL 1994	EU-15 1994	DANMARK 1994
ØKOTOKSICITET, VAND, AKUT	M ³ VAND/ PERSON/ÅR	4,80E+04	2,33E+04	2,91E+04	7,91E+05
ØKOTOKSICITET, VAND, KRONISK	M ³ VAND/ PERSON/ÅR	4,70E+05	2,82E+05	3,52E+05	7,40E+04
ØKOTOKSICITET, JORD, KRONISK	M ³ SOIL/ CAPITA/YEAR	3,00E+04	7,71E+05	9,64E+05	6,56E+05
VÆGTNINGSAKTOR					
ØKOTOKSICITET, VAND, AKUT		2,6	N.C. ¹	1,11	1,73
ØKOTOKSICITET, VAND, KRONISK		2,6	N.C. ¹	1,18	1,67
ØKOTOKSICITET, JORD, KRONISK		1,9	N.C. ¹	1	1,56

¹ Vægtningfaktorer for hele verden er ikke beregnet; de europæiske vægtningfaktorer anbefales for påvirkningspotentialer uden for Europa eller på ukendt lokalitet.
n. c. betyder ”ikke beregnet”.

10.3.1 Anbefaling af normaliseringsreference og vægtningsfaktor

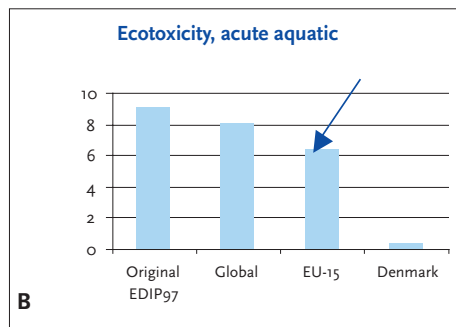
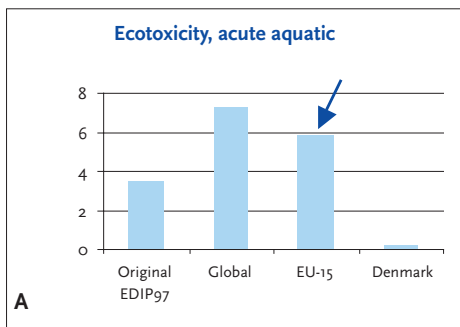
Økotoksicitet betragtes som en lokal (specielt akut økotoksicitet i vand) og regional påvirkning, og EU-15 normaliseringsreferencer og vægtningsfaktor anbefales for påvirkningspotentialer placeret i Danmark og Europa. Hvis placeringen er ukendt eller uden for Europa anbefales den globale normaliseringsreference.

10.4 EKSEMPEL PÅ NORMALISERING OG VÆGTNING FOR ØKOTOKSICITET

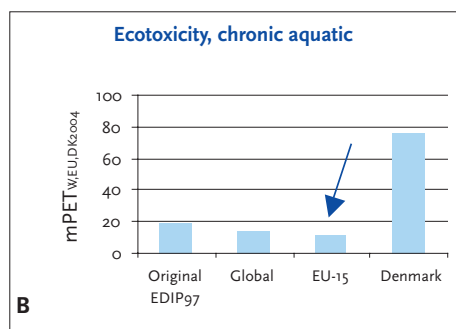
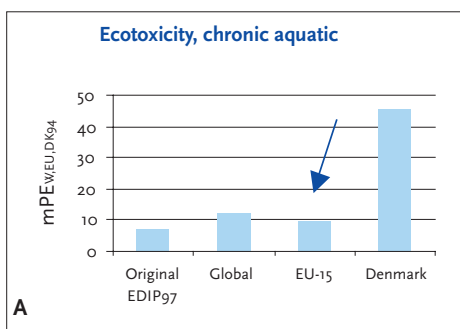
Figur 10.1 - Figur 10.2 illustrerer de normaliserede og vægtede potentialer for akvatisk økotoksicitet, og Figur 10.3 illustrerer de normaliserede og vægtede potentialer for terrestrisk økotoksicitet.

For påvirkningspotentialer placeret i Danmark anbefales EU-15 normaliseringsreferencen kombineret med EU-15 vægtningsfaktoren for økotoksicitet. Med de givne påvirkningspotentialer for det pågældende produkt er resultatet for de normaliserede og vægtede værdier:

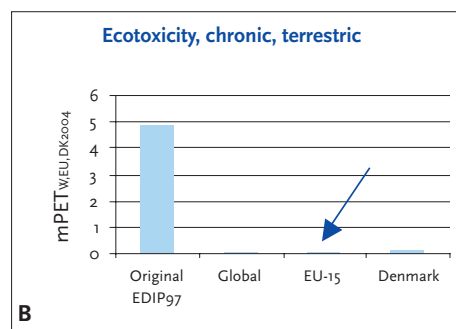
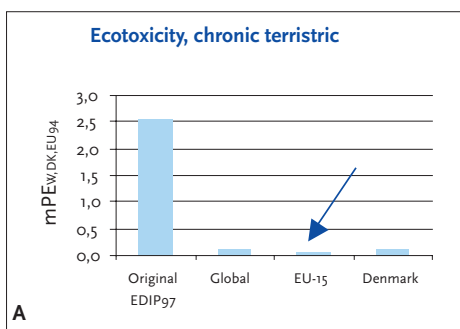
akut akvatisk økotoksicitet:	169 m ³ vand giver 5,8 mPE _{EU94} og 6,5 mPET _{EU2004}
kronisk akvatisk økotoksicitet:	3385 m ³ vand giver 9,6 mPE _{EU94} og 11 mPET _{EU2004}
kronisk terrestrisk økotoksicitet:	77 m ³ jord giver 0,08 mPE _{EU94} og 0,08 mPET _{EU2004}



FIGUR 10.1
NORMALISERET (A) OG
VÆGTET (B)
POTENTIALE FOR
ØKOTOKSICITET, AKUT
AKVATISK TOKSICITET
VED PRODUKTION AF ET
KØLESKAB PÅ
FORSKELLIGE
LOKALITETER.



FIGUR 10.2
NORMALISERET (A) OG
VÆGTET (B) POTENTIALE
FOR ØKOTOKSICITET,
KRONISK AKVATISK
TOKSICITET VED
PRODUKTION AF ET
KØLESKAB PÅ
FORSKELLIGE
LOKALITETER.



FIGUR 10.3
NORMALISERET (A) OG
VÆGTET (B) POTENTIALE
FOR ØKOTOKSICITET,
KRONISK TERRESTRISK
TOKSICITET VED
PRODUKTION AF ET
KØLESKAB PÅ
FORSKELLIGE
LOKALITETER.

Figureerne viser, at den valgte normaliseringsreference (EU-15) retter mere opmærksomhed mod akut akvatisk toksicitet, mindre mod kronisk akvatisk toksicitet og ca. det samme mod kronisk terrestrisk økotoksicitet end den danske normaliseringsreference. Den globale normaliseringsreference er i alle tre tilfælde højest. Når de originale UMIP-værdier sammenlignes med de opnåede værdier, som er fremkommet ved at bruge de nye normaliseringsreferencer og de nye vægtningsfaktorer, fremkommer et meget uensartet billede. Forskellene kan måske skyldes faktiske ændringer i emissionerne, som bruges i beregningen af normaliseringsreferencerne, ændringer i de politiske målsætninger i de berørte områder, eller de kan være relateret til ekstrapolationsproceduren, som anvendes i nogle af beregningerne. Det er uden for rammerne af denne rapport at undersøge forskellene i detaljer. I praksis er det imidlertid interessant at identificere de vigtigste bidrag til disse påvirkningskategorier og finde ud af, om der er forbedringsmuligheder, der relaterer til specifikke forhold på de relevante

markeder. Med andre ord viser eksemplet, at en følsomhedsanalyse, der bruger forskellige normaliseringsreferencer, kan give yderligere indsigt i det undersøgte produktsystem.

10.5 HVIS DU ØNSKER AT VIDE MERE

Busch, N.J. 2005, Calculation of weighting factors. In Stranddorf, H.K., Hoffmann, L. & Schmidt, A. *Update on impact categories, normalisation and weighting in LCA*. Environmental Project no. 995, 2005, Danish EPA.

Hauschild, M., Wenzel, H., Damborg, A. & Tørsløv, J. 1998, Ecotoxicity as a criterion in the environmental assessment of products in *Environmental assessment of products. Volume 2 Scientific background* eds. Hauschild, M. & Wenzel, H. London: Chapman & Hall.

Tørsløv, J. 2005. Ecotoxicity. In Stranddorf, H.K., Hoffmann, L. & Schmidt, A. *Update on impact categories, normalisation and weighting in LCA*. Environmental Project no. 995, 2005, Danish EPA.

11. Eksempel: Normalisering og vægtning

Dette kapitel præsenterer et eksempel på, hvordan man skal anvende normalisering og vægtning på baggrund af resultaterne i en livscyklusvurdering. Normalisering og vægtning udføres på baggrund af resultaterne, som er givet som karakteriseringsværdier, f.eks. som GWP (potentiale for klimaforandring) målt i CO₂-ækvivalenter. Principperne i normalisering og vægtning er beskrevet i Kapitel 1, Introduktion. Beregning af det normaliserede påvirkningspotentiale laves som følger:

$$\text{Norm } IP_{IC} = \frac{IP_{IC}}{\text{Norm ref}_{IC}} \quad [\text{PE}]$$

hvor: *Norm. IP_{IC}* er det normaliserede påvirkningspotentiale for en specifik påvirkningskategori
IP_{IC} er påvirkningspotentiale for en specifik påvirkningskategori
Norm.ref.ic er normaliseringsreferencen for en specifik påvirkningskategori

Beregning af det vægtede påvirkningspotentiale laves som følger:

$$\text{Vægtet } IP_{IC} = WF_{IC} \times \text{Norm } IP_{IC} \quad [\text{Vægtet PE}]$$

hvor: *Vægtet IP_{IC}* er det vægtede påvirkningspotentiale for en specifik påvirkningskategori
WF_{IC} er vægtningsfaktoren for en specifik påvirkningskategori

Eksemplet er baseret på en case fra UMIP97-projektet (Mose *et al.*, 1997), hvor denne case inklusiv opgørelsesdata præsenteres i detaljer. Den funktionelle enhed er defineret som brug af et køleskab i et år (den totale levetid formodes at være 13 år).

De originale data er suppleret med vilkårlige data for to påvirkningskategorier for at være i stand til at illustrere konsekvenserne af alle de fastlagte normaliseringsreferencer og vægtningsfaktorer. Denne case præsenterer produktionen af et køleskab i Danmark og er valgt, da vurderingen viser resultater for alle de forskellige påvirkningskategorier med undtagelse af human toksicitet via jord og kronisk terrestrisk økotoksicitet. Eksemplet er et gammelt køleskab, der indeholder både CFC-11 og CFC-12; disse stoffer, der nedbryder ozonlaget, er siden hen blevet erstattet af andre kølemidler. Resultaterne af vurderingen, udtrykt som påvirkninger i levetiden og pr. år, er vist i Tabel 11.1.

De aktuelle placeringer af påvirkningspotentialerne er ukendte. Det er klart, at påvirkningerne fra de fleste up-stream processer er placeret uden for Danmark, mens påvirkningspotentialerne fra brugen og bortskaffelsen er placeret i Danmark. Da alle påvirkningskategorierne dog bidrager på den

regionale eller globale skala (ingen punktkilder for lokale påvirkninger er identificeret i denne undersøgelse), er det valgt at normalisere og vægte resultaterne af påvirkningsvurderingen ved at bruge de egnede EU-15 normaliseringsreferencer og de egnede EU-15 vægtningsfaktorer for alle påvirkningskategorier med undtagelse af klimaforandring og stratosfærisk ozonnedbrydning, hvor de globale referencer er brugt. De forskellige påvirkningskategorier bliver præsenteret og diskuteret en efter en i de følgende afsnit. Anvendelse af en følsomhedsanalyse ved brug af andre normaliseringsreferencer er diskuteret, hvor det er fundet hensigtsmæssigt.

TABEL 11.1
EKSEMPEL PÅ
POTENTIALER FOR
MILJØPÅVIRKNING
RELATERET TIL
PRODUKTION AF ET
KØLESKAB
(MOSE ET AL., 1997).

PÅVIRKNINGSKATEGORI	ENHED	PÅVIRKNINGSPOTENTIALE PR. PRODUKT LEVETID	PÅVIRKNINGSPOTENTIALE PR. ÅR (PR. FU)
KLIMAFORANDRING	TON CO ₂ -EQ.	3,722	0,29
STRATOSFÆRISK OZONNEDBRYDNING	KG CFC-11-EQ.	0,6	0,046
FOTOKEMISK OZONDANNELSE	KG C ₂ H ₄ -EQ.	0,06	0,0046
FORSURING	KG SO ₂ -EQ.	8	0,62
NÆRINGSSALTBELASTNING	KG NO ₃ -EQ.	5,2	0,4
HUMAN TOKSICITET, VIA LUFT	M ³ LUFT	6,28E+08	4,83E+07
HUMAN TOKSICITET, VIA VAND	M ³ VAND	1600	123
HUMAN TOKSICITET, VIA JORD	M ³ JORD	1000'	77
ØKOTOKSICITET, VAND, AKUT	M ³ VAND	2200	169
ØKOTOKSICITET, VAND, KRONISK	M ³ VAND	44000	3385
ØKOTOKSICITET, JORD, KRONISK	M ³ JORD	1000'	77

1. Disse tal er vilkårlige og kun brugt til illustrative formål.

De normaliserede og vægtede påvirkningspotentialer er vist i Tabel 11.2. De normaliserede såvel som vægtede påvirkningspotentialer er beregnet ved brug af globale og EU-15 normaliseringsreferencer og vægtningsfaktorer i henhold til de generelle anbefalinger:

- Ved globale påvirkninger (klimaforandring og stratosfærisk ozonnedbrydning) bruges altid normaliseringsreferencen for hele verden i undersøgelsens grundanalyser.
- EU15 eller danske normaliseringsreferencer kan bruges i en følsomhedsanalyse til at afspejle den relative vigtighed i højt udviklede industrilande med et stort bidrag pr. person.
- Ved regionale påvirkninger (forsuring, fotokemisk ozondannelse og næringssaltbelastning) og lokale/regionale påvirkninger (økotoksicitet,

human toksicitet) bruges EU15 normaliseringsreferencen som basis reference.

- ▶ Hvis man ved, at hovedpåvirkningerne finder sted i en given region, hvor der er en mere hensigtsmæssig normaliseringsreference tilgængelig, kan denne bruges, mens man tydeligt gør opmærksom på denne afvigelse fra den generelle anbefaling. Som eksempel, for energiforbrugende apparater brugt i Danmark, kan hovedpåvirkningerne formodes (eller bekræftes) at opstå i Danmark. Tilsvarende kunne den anvendte normaliseringsreference for de regionale/lokale påvirkningskategorier ligeså vel være Danmark. For energiforbrugende produkter produceret i Danmark og (primært) brugt uden for Europa kunne normaliseringsreferencerne for hele verden anvendes. Det bør dog bemærkes, at den europæiske reference måske giver de mest præcise resultater, hvis brugsområdet primært er industrialiserede lande, og derfor er dette også en mulighed.
- ▶ Hvor det er relevant, brug normaliseringsreferencer for andre geografiske regioner som et element i følsomhedsanalysen, idet de indbyggede usikkerheder dog også skal tages i betragtning.

TABEL 11.2
NORMALISEREDE OG
VÆGTEDE PÅVIRKNINGS-
POTENTIALER; DEN
PRIMÆRE ANBEFALING
FOR PÅVIRKNINGS-
POTENTIALER I
DANMARK ER MARKERET
MED FEDE TYPER.

PÅVIRKNINGS- KATEGORI	NORMALISEREDE PÅVIRKNINGSPOTENTIALER				VÆGTEDE PÅVIRKNINGSPOTENTIALER			
	ORIGINAL				ORIGINAL			
	UMIP97	GLOBAL EU-15	DANMARK	UMIP97	GLOBAL	EU-15	DANMARK	
	MP _{EW94}	MP _{EW94}	MPE _{EU94}	MPE _{DK94}	MPET _{W2004}	MPET _{W2004}	MPET _{EU2004}	MPET _{DK2004}
KLIMA- FORANDRING	33	33	33	33	43	37	35	37
STRATOSFÆRISK OZON- NEDBRYDNING	231	448	448	448	5308	28230	1102	
FOTOKEMISK OZONDANNELSE	0,23	0,21	0,18	0,23	0,28	0,28	0,25	0,29
FORSURING	5,0	10	8,3	6,1	6,5	13	11	8,2
NÆRINGSSALT- BELASTNING	1,3	4,2	3,4	1,5	1,6	5,1	4,1	2,0
HUMAN TOKSICITET, VIA LUFT	5,3	1,13	0,79	0,87	6	1,6	1,1	1,2
HUMAN TOKSICITET, VIA VAND	2,1	2,9	2,4	0,7	6,1	3,8	3,1	0,70
HUMAN TOKSICITET, VIA JORD	248	754	606	490	670	928	745	490
ØKOTOKSICITET, VAND, AKUT	3,5	7,3	5,8	0,2	9,2	8	6,5	0,4
ØKOTOKSICITET, VAND, KRONISK	7,2	12	9,6	45,7	19	14	11	76,4
ØKOTOKSICITET, JORD, KRONISK	2,6	0,10	0,08	0,12	4,87	0,10	0,08	0,18

11.1 KLIMAFORANDRING

11.1.1 Normalisering og vægtning af klimaforandring

Normaliseringsreferencerne samt vægtningsfaktorerne præsenteres i Tabel 11.3.

TABEL 11.3
NORMALISERINGS-
REFERENCER OG
VÆGTNINGSAKTORER
FOR KLIMAFORANDRING.

KLIMAFORANDRING ENHED	ORIGINAL UMIP97 (1990)	GLOBAL 1994	EU-15 1994	DANMARK 1994	
NORMALISERINGS- REFERENCE	TON CO ₂ EQ./ PERSON/ÅR	8,7	8,7	8,7	8,7
VÆGTNINGSAKTOR		1,3	1.13	1.06	1.11

Klimaforandring er en global effekt, og derfor anbefales en global normaliseringsreference.

$$\text{Normaliseret GWP} = \frac{\text{GWP}}{\text{Norm. ref.}_{\text{GWP}}} \quad [\text{PEw}_{94}]$$

$$\text{Normaliseret GWP} = \frac{0.29 \text{ ton CO}_2 - \text{eq./år}}{8.7 \text{ ton CO}_2 - \text{eq./person/år}} = 33 \text{ mPEw}_{94}$$

hvor: *Normaliseret GWP* er det normaliserede potentiale for klimaforandring for det betragtede produkt
GWP er potentialet for klimaforandring for det betragtede produkt
Normref_{GWP} er normaliseringsreferencen for klimaforandring

Beregning af det vægtede påvirkningspotentiale for det betragtede produkt laves således:

$$\text{Vægtet GWP} = \text{WF}_{\text{GWP}} \times \text{Normaliseret GWP} \quad [\text{PET}_{\text{W}_{2004}}]$$

$$\text{Vægtet GWP} = 1.13 \times 33 \text{ mPE} = 37 \text{ mPET}_{\text{W}_{2004}}$$

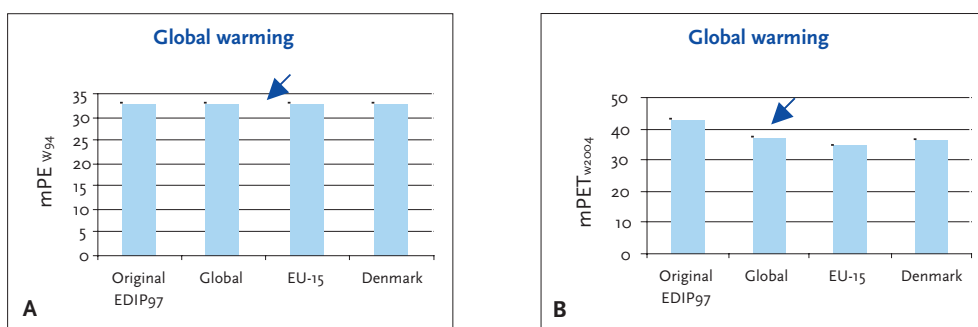
hvor: *Vægtet GWP* er det vægtede påvirkningspotentiale for klimaforandring
WF_{GWP} er vægtningsfaktoren for klimaforandring

Normaliseringsreferencen er reduceret lidt siden 1990, hvilket har resulteret i højere normaliserede potentialer for klimaforandring. Figur 11.1 illustrerer også de vægtede potentialer for klimaforandring, udregnet ved anvendelse af de globale, EU-15 og danske vægtningsfaktorer. De vægtede potentialer for klimaforandring er faldende i den ovenfor nævnte orden. Kraftigere reduktionsmålsætninger globalt end i EU-15 kan forklare dette, dvs. Danmark og EU-15 er ikke langt fra reduktionsmålsætningen for 2004.

11.1.2 Resultater

Figur 11.1 illustrerer de normaliserede potentialer for klimaforandring, udregnet ved anvendelse af den globale normaliseringsreference.

Uanset hvor påvirkningspotentialet frembringes, anbefales den globale normaliseringsreference kombineret med den globale vægtningsfaktor for



FIGUR 11.1
 NORMALISEREDE (A)
 OG VÆGTEDE (B)
 POTENTIALER FOR
 KLIMAFORANDRING VED
 PRODUKTION AF ET
 KØLESKAB PÅ
 FORSKELLIGE
 LOKALITETER.

klimaforandring. Baseret på et påvirkningspotentiale for det pågældende produkt på 0,29 ton CO₂-eq./år er de aktuelle normaliserede og vægtede værdier henholdsvis 33 mPE_{W94} og 37 mPET_{W2004}.

11.2 STRATOSFÆRISK OZONNEDBRYDNING

11.2.1 Normalisering og vægtning af stratosfærisk ozonnedbrydning

Stratosfærisk ozonnedbrydning er en global effekt, og derfor anbefales en global normaliseringsreference. Normaliseringsreferencen og vægtningsfaktoren for stratosfærisk ozonnedbrydning præsenteres i Tabel 11.4.

TABEL 11.4
NORMALISERINGS-
REFERENCE OG
VÆGTNINGSAKTORER
FOR STRATOSFÆRISK
OZONNEDBRYDNING.

STRATOSFÆRISK OZON- NEDBRYDNING	ENHED	ORIGINAL UMIP97 (1990)	GLOBAL 1994	EU-15 1994	DANMARK 1994
NORMALISERINGS- REFERENCE	KG CFC-11- EQ./PERSON/ÅR	0,2	0,103	0,103	0,103
VÆGTNINGS- FAKTOR		23	63/4,4 ¹	2,46	∞

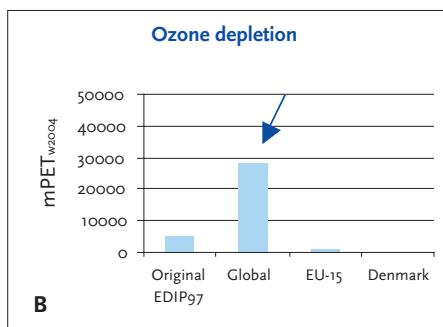
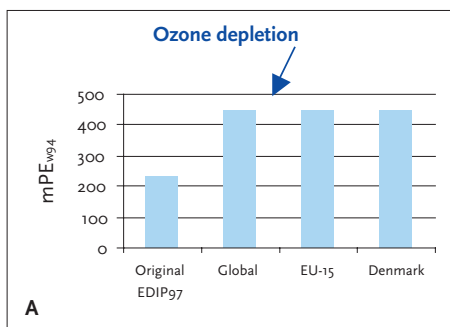
¹ Industrialiserede lande/Udviklingslande

Normaliseringsreferencen er reduceret med ca. 50% siden 1990, og det har ført til en 100% stigning af det normaliserede potentiale for stratosfærisk ozonnedbrydning. Reduceringen af normaliseringsreferencen kan forklares med den hurtige udfasning af forbruget af ozonnedbrydende stoffer. Denne kendsgerning afspejles også i vægtningsfaktoren for EU-15. Danmark har besluttet helt at udfase forbruget af ozonlagnedbrydende stoffer før 2004, og vægtningsfaktoren er derfor i princippet uendelig. I EU er en lignende plan for udfasning til diskussion, men med den nuværende plan for vægtningsfaktoren beregnes den at være 2,46. Den globale vægtningsfaktor er steget fra 23 til 63 for industrialiserede lande, mens den kun er 4,4 for ikke-industrialiserede lande.

11.2.2 Resultater

Figur 11.2 illustrerer det normaliserede potentiale for stratosfærisk ozonnedbrydning, udregnet ved anvendelse af den globale normaliseringsreference.

Uanset hvor påvirkningspotentialet frembringes, anbefales den globale normaliseringsreference kombineret med den globale vægtningsfaktor for stratosfærisk ozonnedbrydning. Baseret på et påvirkningspotentiale for det pågældende produkt på 0,046 kg CFC-11-eq./år er de aktuelle normaliserede og vægtede værdier henholdsvis 448 mPE_{W94} og 28230 mPET_{W2004}.



FIGUR 11.2
NORMALISEREDE OG
VÆGTED E POTENTIALER
FOR STRATOSFÆRISK
OZONEDBRYDNING
VED PRODUKTION AF
ET KØLESKAB PÅ
FORSKELLIGE
LOKALITETER.

11.3 FOTOKEMISK OZONDANNELSE

11.3.1 Normalisering og vægtning af fotokemisk ozondannelse

For fotokemisk ozondannelse som en regional effekt anbefales EU-15 normaliseringsreferencen for påvirkningspotentialer placeret i såvel Danmark som Europa. Den globale normaliseringsreference anbefales, hvis stedet er uden for Europa eller ukendt. Normaliseringsreferencerne og vægtningsfaktorerne for fotokemisk ozondannelse præsenteres i Tabel 11.5.

FOTOKEMISK OZONDANNELSE	ENHED	ORIGINAL UMIP97	GLOBAL	EU-15	DANMARK
NORMALISERINGS-REFERENCE	KG C ₂ H ₄ -EQ./PERSON/ÅR20		22	25	20
VÆGTNINGSFAKTOR		1,2	1	1,33	1,26

TABEL 11.5
NORMALISERINGS-REFERENCER OG
VÆGTNINGSFAKTORER
FOR FOTOKEMISK
OZONDANNELSE.

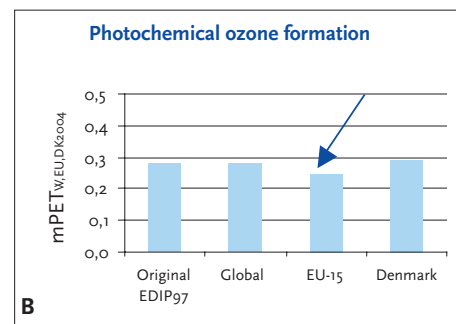
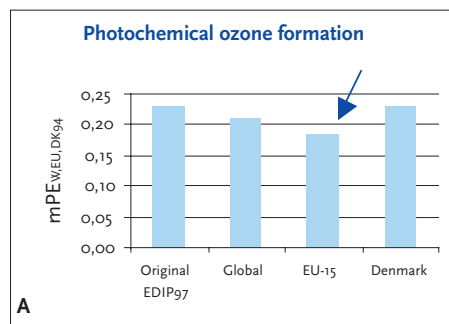
Den højeste normaliseringsreference er beregnet for EU-15 og giver det laveste normaliserede potentiale for påvirkningspotentialer placeret i Danmark eller Europa. Hvis påvirkningspotentialerne var placeret uden for Europa eller på et ukendt sted, ville det normaliserede påvirkningspotentiale være lidt højere, ca. 10%, men dette ville til en vis grad blive opvejet af en lavere vægtningsfaktor.

11.3.2 Resultater

Figur 11.3 illustrerer det normaliserede potentiale for fotokemisk ozondannelse.

For påvirkningspotentialer placeret i Danmark anbefales EU-15 normaliseringsreferencen kombineret med EU-15 vægtningsfaktoren for fotokemisk ozondannelse. Baseret på et påvirkningspotentiale for det pågældende produkt på 0,0046 kg C₂H₄-eq./år er de aktuelle normaliserede og vægtede værdier henholdsvis 0,18 mPE_{EU94} og 0.25 mPET_{EU2004}.

FIGUR 11.3
NORMALISEREDE OG
VÆGTEDE POTENTIALER
FOR FOTOKEMISK
ØZONDANNELSE VED
PRODUKTION AF ET
KØLESKAB PÅ
FØRSKELLIGE
LOKALITETER.



Den valgte normaliseringsreference sætter mindre fokus på fotokemisk ozondannelse, end hvis f.eks. den globale reference blev anvendt. Forskellen er dog lille, ca. 10-15%, og de praktiske konsekvenser er sandsynligvis uden betydning.

11.4 FORSURING

11.4.1 Normalisering og vægtning af forsurening

For forsurening som en regional effekt anbefales EU-15

normaliseringsreferencen og vægtningsfaktoren for påvirkningspotentialer placeret i Danmark såvel som i Europa. Den globale normaliseringsreference anbefales, hvis stedet er uden for Europa eller ukendt.

Normaliseringsreferencerne og vægtningsfaktorerne for forsurening præsenteres i Tabel 11.6.

TABEL 11.6
NORMALISERINGS-
REFERENCER OG
VÆGTNINGSFAKTORER
FOR FORSURING.

		ORIGINAL UMIP97 (1990)	GLOBAL 1994	EU-15 1994	DANMARK 1994
FORSURING	ENHED				
NORMALISERING- REFERENCE	KG SO ₂ -EQ./ PERSON/ÅR	124	59	74	101
VÆGTNINGSFAKTOR		1,3	N.C.1	1,27	1,34

¹ Vægtningsfaktorer er ikke oprettet verden over; de europæiske vægtningsfaktorer anbefales for påvirkningskategorier placeret uden for Europa eller på et ukendt sted.
n. c. betyder ”ikke beregnet”.

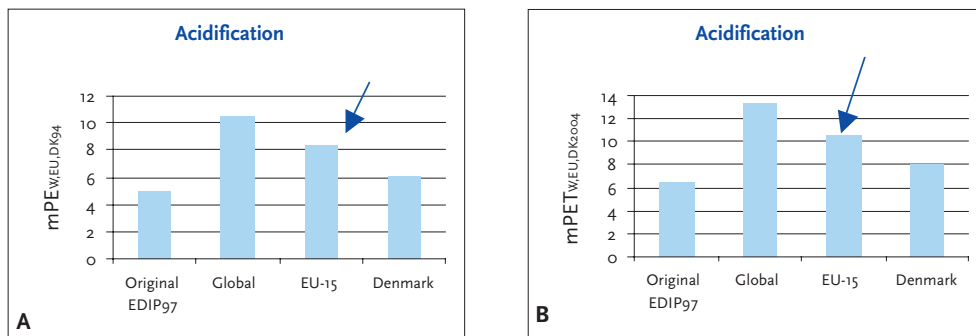
Normaliseringsreferencen for Danmark er reduceret med ca. 20% siden 1990, hvilket har resulteret i en stigning i det normaliserede potentiale for forsurening. EU-15 normaliseringsreferencen ligger mellem den globale og den danske normaliseringsreference.

11.4.2 Resultater

Figur 11.4 illustrerer det normaliserede og vægtede potentiale for forsurening.

For påvirkningspotentialer placeret i Danmark anbefales EU-15 normaliseringsreferencen kombineret med EU-15 vægtningsfaktoren for forsurening. Baseret på et påvirkningspotentiale for det pågældende produkt på

0,62 kg SO₂-eq./år er de aktuelle normaliserede og vægtede værdier henholdsvis 8,3 mPE_{EU94} og 11 mPET_{EU2004}.



FIGUR 11.4
NORMALISEREDE OG
VÆGTETE POTENTIALER
FOR FORSURING VED
PRODUKTION AF ET
KØLESKAB PÅ
FORSKELLIGE
LOKALITETER.

Som det kan udledes af Tabel 11.6 og ses i Figur 11.4 kan det normaliserede resultat variere med ca. 40% afhængig af hvilken normaliseringsreference, der vælges. I tilfældet med køleskabet er forsurening vigtigere ved brug af den europæiske eller globale reference i forhold til at bruge den danske. Dette kan forklares ved, at bidraget fra gennemsnitspersonen er højere i Danmark end i de andre områder, men den politiske vægt på emnet er omtrent det samme.

11.5 NÆRINGSSALTBELASTNING

11.5.1 Normalisering og vægtning af næringssaltbelastning

Næringssaltbelastning betragtes som en lokal såvel som en regional påvirkning. EU-15 normaliseringsreferencen anbefales for påvirkningspotentialer placeret i Danmark og Europa. For påvirkningspotentialer placeret uden for Europa anbefales den globale reference. Normaliseringen og vægtningsfaktorerne for næringssaltbelastning præsenteres i Tabel 11.7.

	ORIGINAL UMIP97 (1990)	GLOBAL 1994	EU-15 1994	DANMARK 1994
NÆRINGSSALT- BELASTNING	ENHED			
NORMALISERINGS- REFERENCE	KG NO ₃ - EQ./PERSON/ÅR	298	95	119
VÆGTNINGSAKTOR		1,2	N.C. ¹	1,31

TABEL 11.7
NORMALISERINGS-
REFERENCER OG
VÆGTNINGSAKTORER
FOR NÆRINGSSALT-
BELASTNING.

¹ Vægtningsfaktorer er ikke blevet oprettet verden over; de europæiske vægtningsfaktorer anbefales til påvirkningspotentialer placeret uden for Europa eller på ukendt sted.
n. c. betyder ”ikke beregnet”.

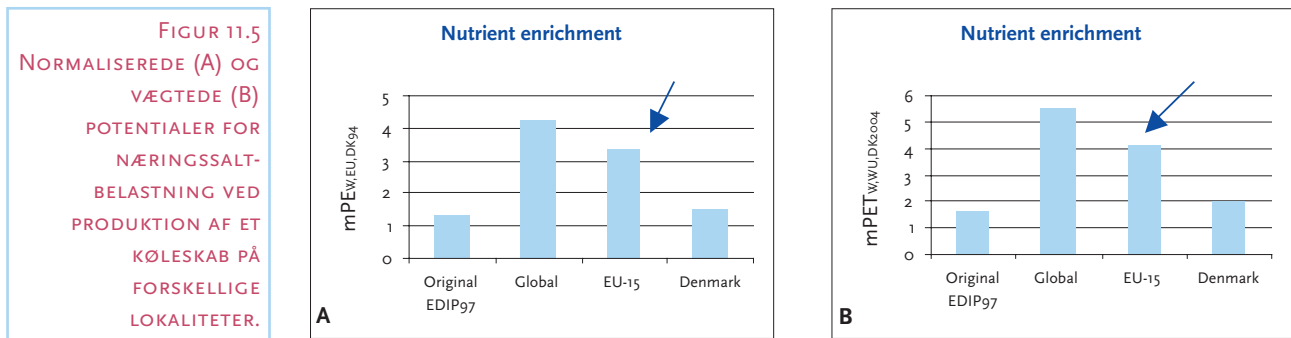
Den danske normaliseringsreference for næringssaltbelastning er reduceret lidt siden 1990, hvilket har medført en stigning i det normaliserede potentiale. EU-15 normaliseringsreferencen er mindre end halvdelen af den danske reference, hvilket sikkert skyldes betydelige forskelle i arealfordelingen mellem land og vand. På grund af den anvendte extrapolationsmetode er den

globale reference mindre end EU-15 referencen, hvilket giver et højere normaliseret potentiale for næringssaltbelastning for påvirkningspotentialer placeret uden for Europa eller på ukendt lokalitet.

11.5.2 Resultater

Figur 11.5 illustrerer det normaliserede og vægtede potentiale for næringssaltbelastning for produktet.

For en regional påvirkningskategori som næringssaltbelastning anbefales EU-15 normaliseringsreferencen og vægtningsfaktoren. Baseret på et påvirkningspotentiale for det pågældende produkt på 0,4 kg NO₃⁻-eq./år er de aktuelle normaliserede og vægtede værdier henholdsvis 3,4 mPE_{EU94} og 4,1 mPET_{EU2004}.



Tabel 11.7 og Figur 11.5 illustrerer, at den valgte normaliseringsreference og vægtningsfaktor for EU-15 henleder mere opmærksomhed på næringssaltbelastning end de tilsvarende danske værdier. På den anden side henleder de anbefalede værdier mindre opmærksomhed på kategorierne end de globale værdier.

Derfor anbefales det at undersøge, om påvirkningen er vigtig, når der sammenlignes med andre påvirkninger ved brug af den danske eller de globale normaliseringsreferencer. Hvis det er tilfældet, kan en mere detaljeret følsomhedsanalyse udføres, som undersøger bidraget fra fosfor- og nitrogenforbindelser, og hvis muligt, skelner mellem punktkilder og mere generelle bidrag.

11.6 HUMAN TOKSICITET

11.6.1 Normalisering og vægtning af human toksicitet

Human toksicitet betragtes som såvel en lokal som en regional påvirkning, og EU-15 normaliseringsreferencen og vægtningsfaktoren anbefales for påvirkningspotentialer placeret i både Danmark og Europa. Hvis stedet er ukendt eller uden for Europa, anbefales den globale normaliseringsreference. Normaliseringen og vægtningsfaktorerne for human toksicitet præsenteres i Tabel 11.8.

NORMALISERINGS- REFERENCE	ENHED	ORIGINAL UMIP97 (1990)	GLOBAL 1994	EU-15 1994	DANMARK 1994
HUMAN TOKS- ICITET, VIA LUFT	M ³ LUFT/ PERSON/ÅR	9,18E+09	4,87E+10	6,09E+10	5,53E+09
HUMAN TOKS- ICITET, VIA VAND	M ³ VAND/ PERSON/ÅR	5,90E+04	4,18E+04	5,22E+04	1,79E+05
HUMAN TOKS- ICITET, VIA JORD	M ³ JORD/ PERSON/ÅR	3,10E+02	1,02E+02	1,27E+02	1,57E+02
VÆGTNINGSFAKTOR					
HUMAN TOKS- ICITET, VIA LUFT		1,1	N.C. ¹	1,40	1,42
HUMAN TOKS- ICITET, VIA VAND		2,9	N.C. ¹	1,30	1,02
HUMAN TOKS- ICITET, VIA JORD		2,7	N.C. ¹	1,23	N.C. ²

TABEL 11.8
NORMALISERINGS-
REFERENCER OG
VÆGTNINGSFAKTORER
FOR HUMAN TOKSICITET
(EKSPONERING VIA LUFT,
VAND OG JORD).

¹ Vægtningfaktorer er ikke blevet fastlagt verden over; EU vægtningfaktorerne anbefales for påvirkningskategorier placeret uden for Europa eller på ukendt sted.

² Vægtningfaktorer er kun blevet fastlagt for human toksicitet via jord for Europa; den europæiske vægtningfaktor anbefales som standardværdi for påvirkningspotentialer placeret i Danmark.
n. c. betyder ”ikke beregnet”.

Den danske normaliseringsreference for human toksicitet via luft er lavere end EU-15 referencen. Konsekvensen er, at normalisering af det toksikologiske potentiale med Danmark som reference resulterer i et højere normaliseret potentiale, end hvis man bruger EU-15 referencen. Det skal bemærkes, at det signifikante fald i normaliserede og vægtede værdier skyldes at nmVOC fra vejtransport er inkluderet i den nye normaliseringsreference, men ikke i belastningspotentialer fra produktet.

11.6.2 Resultater

Figur 11.6 - Figur 11.8 illustrerer de normaliserede og vægtede potentialer for human toksicitet.

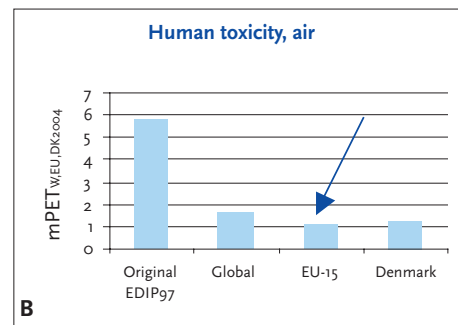
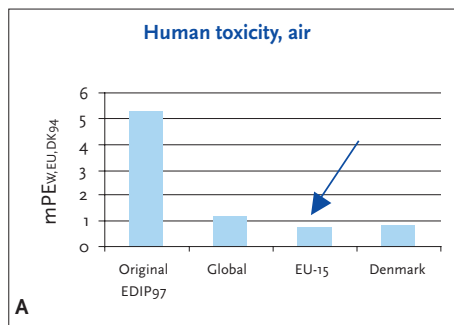
For en regional/lokal påvirkningskategori som human toksicitet anbefales EU-15 normaliseringsreferencerne og EU-15 vægtningfaktorerne. Baseret på påvirkningspotentialer for human toksicitet for det pågældende produkt kan de normaliserede og vægtede påvirkningspotentialer udregnes for forskellige stoffer:

via luft: $4,83 \cdot 10^7 \text{ m}^3 \text{ luft}$ giver $0,79 \text{ mPE}_{\text{EU94}}$ og $1,11 \text{ mPET}_{\text{EU2004}}$

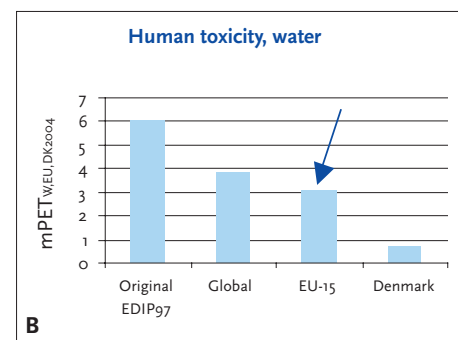
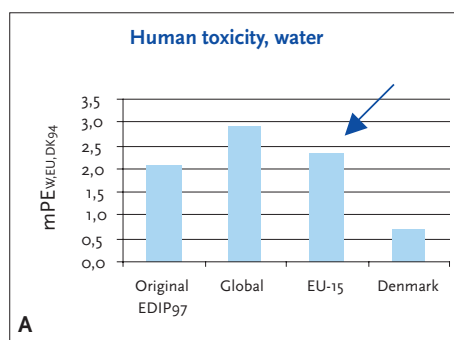
via vand: $123 \text{ m}^3 \text{ vand}$ giver $2,4 \text{ mPE}_{\text{EU94}}$ og $3,1 \text{ mPET}_{\text{EU2004}}$

via jord: $77 \text{ m}^3 \text{ jord}$ giver $606 \text{ mPE}_{\text{EU94}}$ og $745 \text{ mPET}_{\text{EU2004}}$

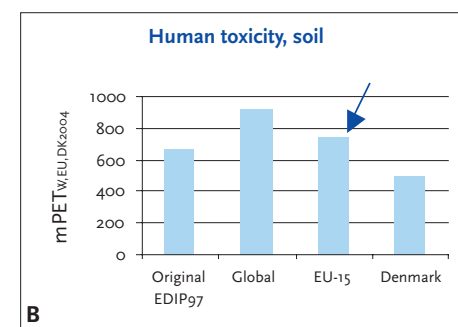
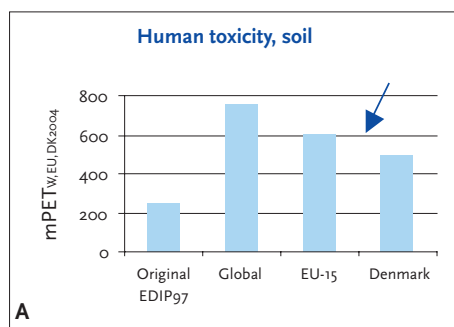
FIGUR 11.6
NORMALISEREDE (A) OG
VÆGTEDE (B)
POTENTIALER FOR
HUMAN TOKSICITET,
EKSPONERING VIA LUFT
VED PRODUKTION AF ET
KØLESKAB PÅ
FORSKELLIGE
LOKALITETER.



FIGUR 11.7
NORMALISEREDE (A) OG
VÆGTEDE (B)
POTENTIALER FOR
HUMAN TOKSICITET,
EKSPONERING VIA VAND
VED PRODUKTION AF ET
KØLESKAB PÅ
FORSKELLIGE
LOKALITETER.



FIGUR 11.8
NORMALISEREDE (A) OG
VÆGTEDE (B)
POTENTIALER FOR
HUMAN TOKSICITET,
EKSPONERING VIA JORD
VED PRODUKTION AF ET
KØLESKAB PÅ
FORSKELLIGE
LOKALITETER.



Figurerne illustrerer, at der er en stor variation i toksicitetspotentialerne afhængigt af den valgte normaliseringsreference. Dette resultat kræver en mere detaljeret følsomhedsanalyse, der grundigt undersøger årsagen til forskellene, f.eks. ved anvendelse af de danske normaliseringsreferencer og vægtningsfaktorer. Det er af særlig interesse at finde en balance mellem toksicitet til henholdsvis luft og vand, da resultaterne i disse kategorier peger i modsatte retninger.

11.7 ØKOTOKSICITET

11.7.1 Normalisering og vægtning af økotoksicitet

Økotoksicitet betragtes som en lokal (specielt akut økotoksicitet til vand) såvel som en regional påvirkning, og EU-15 normaliseringsreferencen og vægtningsfaktorer anbefales til påvirkningspotentialer placeret i både Danmark og Europa. Hvis stedet er ukendt eller uden for Europa anbefales den globale normaliseringsreference. Normaliseringen og vægtningsfaktorerne for økotoksicitet præsenteres i Tabel 11.9

NORMALISERINGS- REFERENCE		ORIGINAL UMIP97 (1990)	GLOBAL 1994	EU-15 1994	DANMARK 1994
ØKOTOKSICITET, VAND, AKUT	M ³ VAND/ PERSON/ÅR	4,80E+04	2,33E+04	2,91E+04	7,91E+05
ØKOTOKSICITET, VAND, KRONISK	M ³ VAND/ PERSON /ÅR	4,70E+05	2,82E+05	3,52E+05	7,40E+04
ØKOTOKSICITET, JORD, KRONISK	M ³ JORD/ PERSON /ÅR	3,00E+04	7,71E+05	9,64E+05	6,56E+05
VÆGTNINGSAKTOR					
ØKOTOKSICITET, VAND, AKUT		2,6	N.C. ¹	1,11	1,73
ØKOTOKSICITET, VAND, KRONISK		2,6	N.C. ¹	1,18	1,67
ØKOTOKSICITET, JORD, KRONISK		1,9	N.C. ¹	1,00	1,56

TABEL 11.9
NORMALISERINGS-
REFERENCER OG
VÆGTNINGSAKTORER
FOR ØKOTOKSICITET
(AKUT AKVATISK,
KRONISK AKVATISK OG
KRONISK TERRESTRISK).

¹ Vægtningsskatorer er ikke oprettet verden over; EU-15 vægtningsskatorerne anbefales for påvirkningspotentialer placeret uden for Europa eller på et ukendt sted.
n. c. betyder ”ikke beregnet”.

For akut akvatisk økotoksicitet er den højeste normaliseringsreference fundet for danske forhold. For kronisk akvatisk økotoksicitet er den højeste normaliseringsreference fundet for EU-15.

For terrestrisk økotoksicitet er den højeste normaliseringsreference fundet for Europa og den laveste reference for Danmark.

11.7.2 Resultater

Figur 11.9 - Figur 11.10 illustrerer de normaliserede og vægtede potentialer for akvatisk økotoksicitet, og Figur 11.11 illustrerer de normaliserede og vægtede potentialer for terrestrisk økotoksicitet.

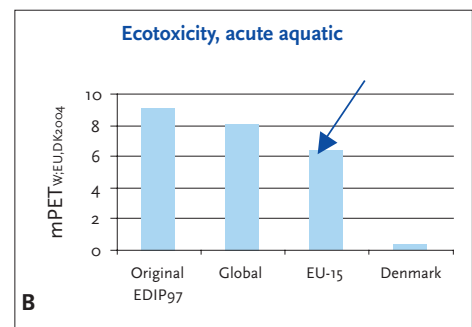
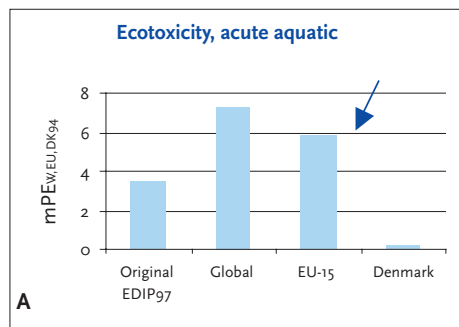
For påvirkningspotentialer placeret i Danmark anbefales EU-15 normaliseringsreferencen kombineret med EU-15 vægtningsskatoren for økotoksicitet. Med de givne påvirkningspotentialer for det pågældende produkt er resultatet for de normaliserede og vægtede værdier:

akut akvatisk
økotoksicitet 169 m³ vand giver 5,8 mPE_{EU94} og 6,5 mPET_{EU2004}

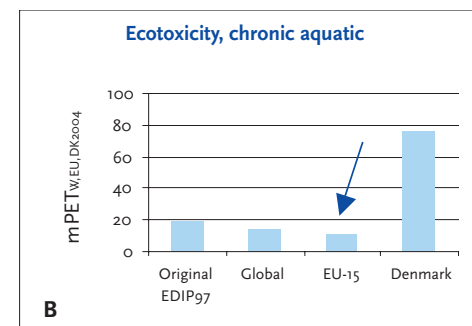
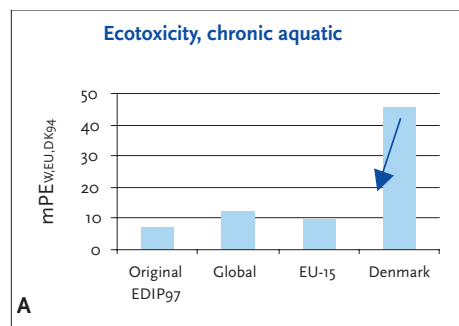
kronisk akvatisk
økotoksicitet 3385 m³ vand giver 9,6 mPE_{EU94} og 11 mPET_{EU2004}

kronisk terrestrisk
økotoksicitet 77 m³ jord giver 0,08 mPE_{EU94} og 0,08 mPET_{EU2004}

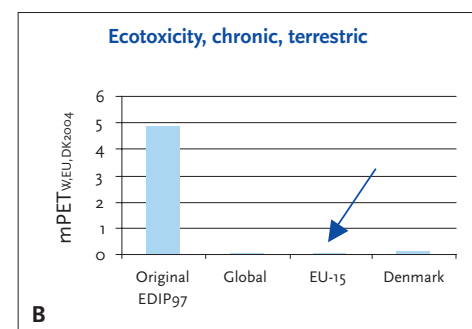
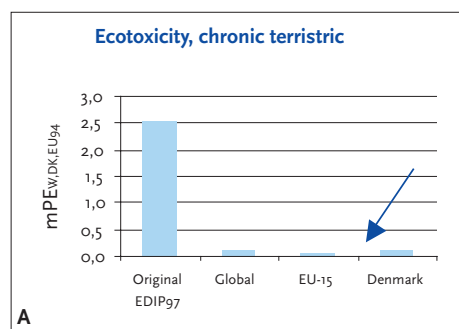
FIGUR 11.9
NORMALISERET (A) OG
VÆGTET (B) POTENTIALE
FOR ØKOTOKSICITET,
AKUT AKVATISK
TOKSICITET VED
PRODUKTION AF ET
KØLESKAB PÅ
FORSKELLIGE
LOKALITETER.



FIGUR 11.10
NORMALISERET (A) OG
VÆGTET (B) POTENTIALE
FOR ØKOTOKSICITET,
KRONISK AKVATISK
TOKSICITET VED
PRODUKTION AF ET
KØLESKAB PÅ
FORSKELLIGE
LOKALITETER.



FIGUR 11.11
NORMALISERET (A) OG
VÆGTET (B) POTENTIALE
FOR ØKOTOKSICITET,
KRONISK TERRESTRISK
TOKSICITET VED
PRODUKTION AF ET
KØLESKAB PÅ
FORSKELLIGE
LOKALITETER.



Figurerne viser, at den valgte normaliseringsreference (EU-15) giver mere opmærksomhed til akut og kronisk toksicitet end den danske normaliseringsreference, men mindre end hvad den globale normaliseringsreference gør. Det er derfor interessant at identificere de vigtigste bidrag til disse påvirkningskategorier og finde ud af, om der er muligheder for forbedring, som er relaterede til specifikke forhold på de relevante markeder. Med andre ord viser eksemplet, at en følsomhedsanalyse, der bruger forskellige normaliseringsreferencer, kan give ekstra indsigt i det undersøgte produktsystem.

11.8 GENERELLE KONKLUSIONER

Det primære formål med eksemplet er at vise LCA-praktikeren de anbefalede valg af normaliseringsreferencer og vægtningsfaktorer i en specifik case. Samtidig viser eksemplet, hvad resultatet ville have været, hvis der var blevet foretaget andre valg. På denne måde kan den udvidede metode ses

som et bindeled mellem de afsluttende trin i en påvirkningsvurdering og vigtige trin i fortolkningen af LCA'en, f.eks. i form af en følsomhedsanalyse. Det skal dog understreges, at det ikke er obligatorisk at bruge de udvidede muligheder, eller at det bør være første trin i fortolkningen

Det er uden for rammerne af denne rapport at diskutere resultaterne i eksemplet i detaljer. Det er dog klart, at det øgede antal af valgmuligheder kan give et mere afbalanceret indtryk af livscykluspåvirkninger i et produkts livscyklus. Samtidig kan den øgede mængde information dog også bevirke, at der bliver stillet yderligere spørgsmål.

Nøjagtigt hvilke spørgsmål, som vil fremkomme, kan ikke afgøres på nuværende tidspunkt, men det er en generel anbefaling, at de bør koncentreres om de emner, hvor der er observeret markante ændringer. I denne specifikke case ville det for eksempel være at bestemme, om næringssaltbelastning ville være en af de vigtige påvirkningskategorier, hvis de danske eller globale normaliseringsreferencer blev anvendt i stedet for EU-15 referencen. Det første forsøg ville være at se på scenariet for "worst-case" for næringssaltbelastning og sammenligne det normaliserede/vægtede resultat med resultatet for andre påvirkningskategorier. Hvis påvirkningen fra næringssaltbelastning er lav i denne sammenligning, vil LCA-praktikeren vide, at det er et robust resultat, og at der kun bør rettes lille opmærksomhed mod påvirkningskategorien i fortolkningen af resultaterne.

De forbedrede muligheder for normalisering og vægtning har endnu ikke været brugt på rigtige produktsystemer. LCA-praktikere vil højst sandsynlig hurtigt finde en måde at bruge mulighederne på, f.eks. som en del af følsomhedsanalysen. Den nødvendige indsats for at kunne gøre dette vil blive markant mindre, når de første erfaringer er høstet.

