

Technical University of Denmark



## Fastlæggelse af data for materialeleganvendelse til brug i CO2-opgørelser

wenzel, Henrik ; Brogaard, Line Kai-Sørensen

*Publication date:*  
2011

*Document Version*  
Også kaldet Forlagets PDF

[Link back to DTU Orbit](#)

*Citation (APA):*  
wenzel, H., & Brogaard, L. K-S. (2011). Fastlæggelse af data for materialeleganvendelse til brug i CO2-opgørelser. DTU Miljø.

## DTU Library

Technical Information Center of Denmark

---

### General rights

Copyright and moral rights for the publications made accessible in the public portal are retained by the authors and/or other copyright owners and it is a condition of accessing publications that users recognise and abide by the legal requirements associated with these rights.

- Users may download and print one copy of any publication from the public portal for the purpose of private study or research.
- You may not further distribute the material or use it for any profit-making activity or commercial gain
- You may freely distribute the URL identifying the publication in the public portal

If you believe that this document breaches copyright please contact us providing details, and we will remove access to the work immediately and investigate your claim.

# **Fastlæggelse af data for materialegenanvendelse til brug i CO<sub>2</sub>-opgørelser**

*Henrik Wenzel, Syddansk Universitet*

*Line Kai-Sørensen Brogaard, Danmark Tekniske Universitet*

1. oktober 2011

## Indholdsfortegnelse

Indledning.....	3
Hvidt papir.....	4
Beskrivelse af systemet.....	4
Data.....	5
Anbefalet brug af data.....	5
Referencer.....	6
Avispapir.....	8
Beskrivelse af systemet.....	8
Data.....	9
Anbefalet brug af data.....	9
Referencer.....	10
Bølgepap.....	12
Beskrivelse af systemet.....	12
Data.....	13
Anbefalet brug af data.....	13
Referencer.....	14
Stål.....	16
Beskrivelse af systemet.....	16
Data.....	16
Referencer.....	17
Aluminium.....	19
Beskrivelse af systemet.....	19
Data.....	20
Referencer.....	20
Kobber.....	22
Beskrivelse af systemet.....	22
Data.....	23
Referencer.....	23
Glas.....	24
Beskrivelse af systemet.....	24
Data.....	25
Referencer.....	25
Plast.....	27
Beskrivelse af systemet.....	27
Data for PE.....	28
Data for PET.....	28
Referencer.....	28
Afbrænding af plast og papir.....	31
Referencer.....	32

## Indledning

Dette notat er en del af *CO<sub>2</sub> opgørelser i den danske affaldsbranche – en vejledning*, affald danmark og Dakofa, København, oktober 2011. I notatet beskrives for en række materialer udledningen af drivhusgasser fra at sende det givne materiale til materialegenvinding efter indsamling og separation. Notatet opgør med andre ord den udledning af drivhusgasser, der finder sted nedstrøms indsamling og separation af det indsamlede materiale. Dette omfatter dels udledninger forårsaget af at oparbejde materialet til et sekundært råstof, dels udledninger sparet ved at det oparbejdede materiale erstatter fremstilling af jomfrueligt råstof.

I det følgende findes opgørelser og data for hvidt papir, avispapir, bølgepap, stål, aluminium, kobber, glas og plast. Desuden findes en opgørelse for afbrænding af plast og papir.

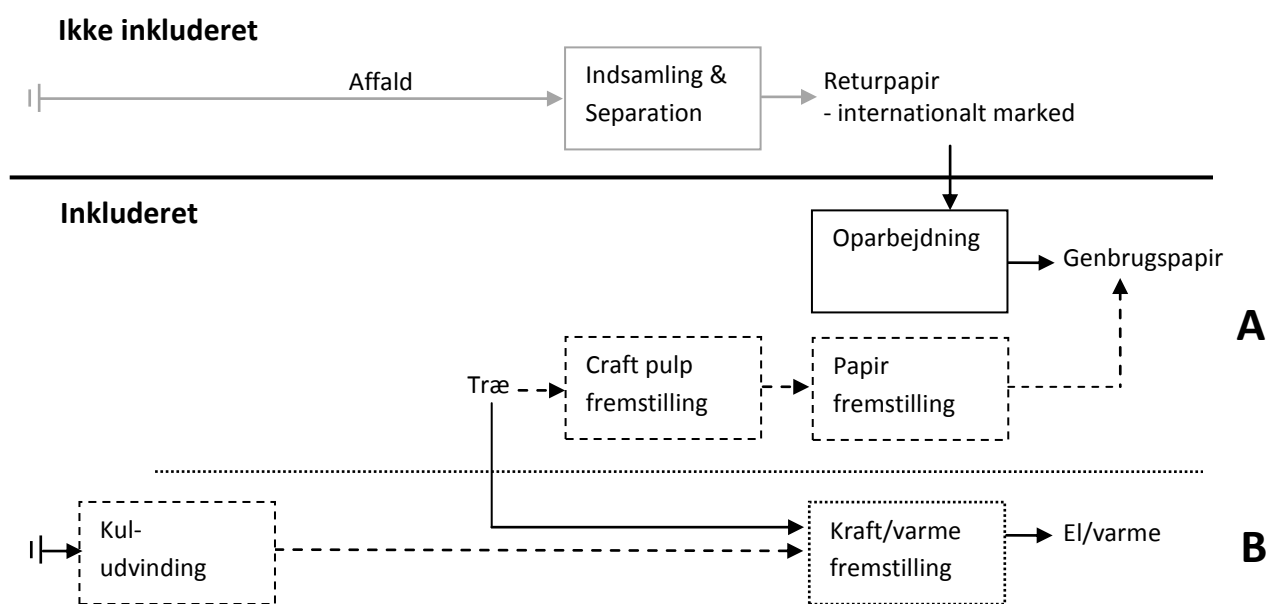
For hvert materiale er givet en beskrivelse og illustration af systemet, som opgørelsen omfatter samt data (carbon footprint). For visse materialer anbefales, hvorledes data bør anvendes. Desuden findes for hvert materiale en udførlig referenceliste, der kan være nyttig i tilfælde, hvor læseren vil studere yderligere detaljer om emnet.

Oftest er fundet et stort antal studier af carbon footprint for materialet. Et mål for dette notat har været at tilvejebringe et enkelt grundlag for carbon footprint beregninger i affaldssektoren. Når mange data foreligger, er de derfor dels angivet som det interval, data falder indenfor, dels som et gennemsnit, dvs. et enkelt tal, man kan anvende i sine videre beregninger. Dette gennemsnit er fundet som et simpelt vægtet gennemsnit af de fundne data, idet der er rundet op eller ned til et helt antal hundrede om muligt for ikke at signalere større sikkerhed på data end tilfældet er.

## Hvidt papir

### Beskrivelse af systemet

Figuren nedenfor viser systemet, som opgørelsen omfatter. Indsamling og separation over stregen er ikke inkluderet, mens systemet under stregen er inkluderet. I figuren markerer boksene processer mens pilene er materialestrømme. Fuldt optrukne bokse og pile er processer og strømme, der *forårsages*, når det indsamlede returpapir sendes til oparbejdning, mens stiplede bokse og pile er processer og strømme, der *undgås*. Den prikkede boks er en proces, hvis udledninger *ændres*, fordi der skiftes brændsel.



Figur 1. Systemet omfattet af carbon footprint. Fuldt optrukne bokse og pile er processer og strømme, der forårsages, stiplede bokse og pile er processer og strømme, der undgås. Den prikkede boks er en proces, hvis udledninger ændres, fordi der skiftes brændsel. A og B angiver forskelligt omfang af systemet.

Som figuren indikerer (med bogstaverne A og B), kan systemet udvides til at omfatte mere eller mindre, alt efter hvordan forbruget af træ modelleres i systemet. Det kommenteres nedenstående.

Returpapir handles på et internationalt marked og afsættes til den til enhver tid gældende pris og til den til enhver tid gældende aftager. En meget stor del transporteres med skib til Kina, men også til andre steder i verden. Carbon footprint'et for genvinding af hvidt papir er derfor ikke lokalt eller nationalt specifikt, men internationalt. Det vil i praksis endvidere variere efter, hvor det transporteres hen og på hvilken fabrik det oparbejdes. Men dette er ikke kendt, fordi det sælges til et marked/en børs, og det varierer fra tid til anden. Derfor skal carbon footprint'et repræsentere et gennemsnit.

I visse tilfælde vil returpapiret blive oparbejdet på en ren genbrugspapir fabrik, dvs. en fabrik der kun anvender returpapir som råvare. I andre tilfælde vil det blive oparbejdet på en fabrik, der også fremstiller nyt hvidt papir, men hvor returpapir udgør en procentdel af råvaren.

Når returpapiret genvindes og erstatter nyt papir, spares træ til fremstilling af nyt papir. Dette kan have to konsekvenser: det kan enten betyde, at det sparede træ blot forbliver uudnyttet i skoven, eller det kan betyde, at det sparede træ frigøres til anden anvendelse sandsynligvis i energisektoren. Det kan også være en mellemting mellem disse to scenarier. Den alternative anvendelse af træ som brændsel vil i givet fald også være international, da træ til energiformål handles på internationale markeder, og da det transporteres over store afstande. Som beskrevet i notatet om energisystemer (Astrup et al., 2010) anvendes kul-kondens kraftværker som marginalen på el-markedet.

Carbon footprint for de forskellige system betragtninger er vist i tabel 1. Efter tabellen beskrives, hvilke data det anbefales at anvende.

### Data for hvidt papir

Forårsagede og undgåede processer inkl. alternativ anvendelse af træ som brændsel <b>(A + B)</b>	Forårsagede og undgåede processer ekskl. alternativ anvendelse af træ som brændsel <b>(A)</b>
<b>CO<sub>2</sub>-bidrag (kg CO<sub>2</sub>-eq/ton):</b> <b>-2.200</b>	<b>CO<sub>2</sub>-bidrag (kg CO<sub>2</sub>-eq/ton):</b> <b>-300</b>
<b>Interval (kg CO<sub>2</sub>-eq/ton)</b>  <b>-2.000 til -2.600</b>	<b>Interval (kg CO<sub>2</sub>-eq/ton)</b>  <b>-700 til 0</b>
<b>Medtaget</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>A + B, se Figur 1</b></li> <li>▪ <b>Transport mellem processerne</b></li> </ul>	<b>Medtaget</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>A, se Figur 1</b></li> <li>▪ <b>Transport mellem processerne</b></li> </ul>

Tabel 1. Data og datainterval for carbon footprint for genvinding af hvidt papir som fundet i LCA studier i litteraturen, se referencer nederst i notatet.

### Anbefalet brug af data

Bestræbelserne på at udarbejde carbon footprint for affaldshåndtering følger af samfundets samlede bestræbelser på at reducere udledningen af drivhusgasser (GHG). Der er derfor en indre logik i, at metoden til beregning af carbon footprint afspejler et samfund, der tilstræber at reducere GHG udledningerne væsentligt. Denne indre logik har betydning for, hvordan vi regner på brugen af biomasse, herunder træ, som bl.a. findes i systemet for fremstilling af nyt papir og pap. Et samfund, der stræber efter stor GHG reduktion vil efter al sandsynlighed have en meget større efterspørgsel efter biomasse som både brændsel og råvare, end vi har i dag. Meget tyder på, at biomasse hurtigt kommer 'i underskud', se fx Ewald (2010) eller Hedegaard et al. (2008). Denne situation er kendetegnet ved, at biomasse er en attraktiv, men begrænset, ressource til brug for reduktion af GHG, og i denne situation vil en besparelse af biomasse føre til, at denne biomasse dermed bliver tilgængelig for andre anvendelser og vil indgå i andre anvendelser. Dette håndteres i den aktuelle carbon footprint beregning ved, at sparet træ ved genvinding af hvidt papir

antages brugt til energiformål, konkret fremstilling af el, se figur 1 område B i systemet. Denne situation er muligvis ikke gældende i dag, det kan meget vel tænkes, at sparet træ i dag blot vil forblive som uudnyttet træ i skoven. Men vi vurderer, at dette billede vil ændre sig i den fremtid, som begrundes vores bestræbelser på GHG reduktion og carbon footprint regnskaber.

Hvis vi modsat regner med, at sparet træ blot forbliver uudnyttet i skoven, vil en konsekvens være, at nyt hvidt papir (mere konkret al pap og papir baseret på craft pulp) vil have mindre carbon footprint end genbrugspap og genbrugspapir. Det skyldes, at nyt papir fremstilling indbefatter affaldsforbrænding af returpapiret, som med energigenvinding har større CO<sub>2</sub> reduktion end papirgenvinding i denne situation (bemærk, at gevinsten ved affaldsforbrændingen ikke er med i tabel 1). Det ville med den beregning føre til stor GHG reduktion at stoppe al genbrug af pap og hvidt papir baseret på craft pulp (også kaldet kemisk-termomekanisk pulp, CTMP = al pap og almindeligt hvidt papir). Et samfund, der tilstræber stor GHG reduktion, ville dermed stoppe genbrug af pap og hvidt papir. Det ville føre til godt og vel en fordobling af hele papirsystemets energiforbrug, dvs. et træk på verdens energiressourcer, der pr. ton papir (eller pap) var dobbelt så højt, som det ville være med genbrugspapir. Godt nok i form af biomasse energi ressourcer, der ved første øjekast ville være 'CO<sub>2</sub>-neutrale', men papirsystemet ville ligge der som et træk på biomasse, der dermed ikke ville være tilgængeligt for andet. Det fremstår kontraproduktivt at designe papirsystemet til det dobbelte energi-træk i en verden, der stræber efter at finde CO<sub>2</sub> neutrale ressourcer til sine energiformål, og hvor der i høj grad ser ud til at bliver 'kamp om' (behov for prioritering af) biomassen.

Vi ser det derfor som en logisk konsekvens at regne med, at træ der frigives ved genvinding af hvidt papir, finder anvendelse til energiformål, her regnet som el-fremstilling med fortrængning af kul. Vi anbefaler således at inkludere hele systemet A+B i figur 1.

## Referencer

Tillman, AM, Baumann, H, Eriksson, E, Rydberg, T (1991) Life Cycle analyses of selected packaging materials. Quantification and environmental loadings. (In Swedish: "*Miljön och förpackningarna*"), SOU, 1991:76

Dalager et al. (1995a-1995d); *Miljøøkonomi for hvidt papir- og papkredsløb*. (Environmental economics of paper and cardboard circulation. Working reports (4 reports in total) from the Danish Environmental Protection Agency No. 28-31. In Danish)

Virtanen, Y, Nilsson, S (1993) The environmental Impacts of waste paper recycling. IIASA, Laxembourg (Austria)

Kärnä, A., Engström, J., Kutinlahti, T. & Pajula, T. (1994); *Life cycle analysis of newsprint: European scenarios*. Paperi ja Puu - Paper and Timber 76(4): 232-237.

Ecobalance UK (1998); *Newsprint - A Life-Cycle Study. An independent assessment of the environmental benefits of recycling at Aylesford Newsprint compared to incineration*. Aylesford Newsprint Ltd, Aylesford, U.K.

Grant, T., K. James, S. Lundie and K. Sonneveld (2001); *Stage 2 Report for Life Cycle Assessment for Paper and Packaging Waste Management Scenarios in Victoria*. Melbourne, EcoRecycle Victoria. Australia

Tiedemann, A., Klöpffer, W., Grahl, B. & Hamm, U. (2001); Life Cycle Assessments for Graphic Papers. Nr 2/2001, Umweltbundesamt, the German Federal Environmental Agency, Berlin, Germany.

Environmental Defence (2002); *Lifecycle Environmental Comparison - Virgin Paper and Recycled Paper-Based Systems*. Paper Task Force, White paper No. 3. Environmental Defence, New York, USA.

Frees, N; Hansen, M.S.; Ottosen, L.M; Tønning, K.; Wenzel, H (2004) *Opdatering af vidensgrundlaget for de miljømæssige forhold ved genanvendelse af hvidt papir og pap* (Update of the knowledge basis on the environmental aspects of paper and cardboard recycling). Submitted for publication in February 2004 to the Danish Environmental Protection Agency within the series "Environmental Report" (In Danish).

Hedegaard K, K Thyø and H Wenzel (2008): Life Cycle Assessment of an Advanced Bioethanol Technology in the Perspective of Constrained Biomass Availability. *Journal of Environmental Science & Technology*, 2008, 42 (21), 7992-7999.

Ewald A (2010): Rapport om biomassepotentialer til Dansk Energi, 2010

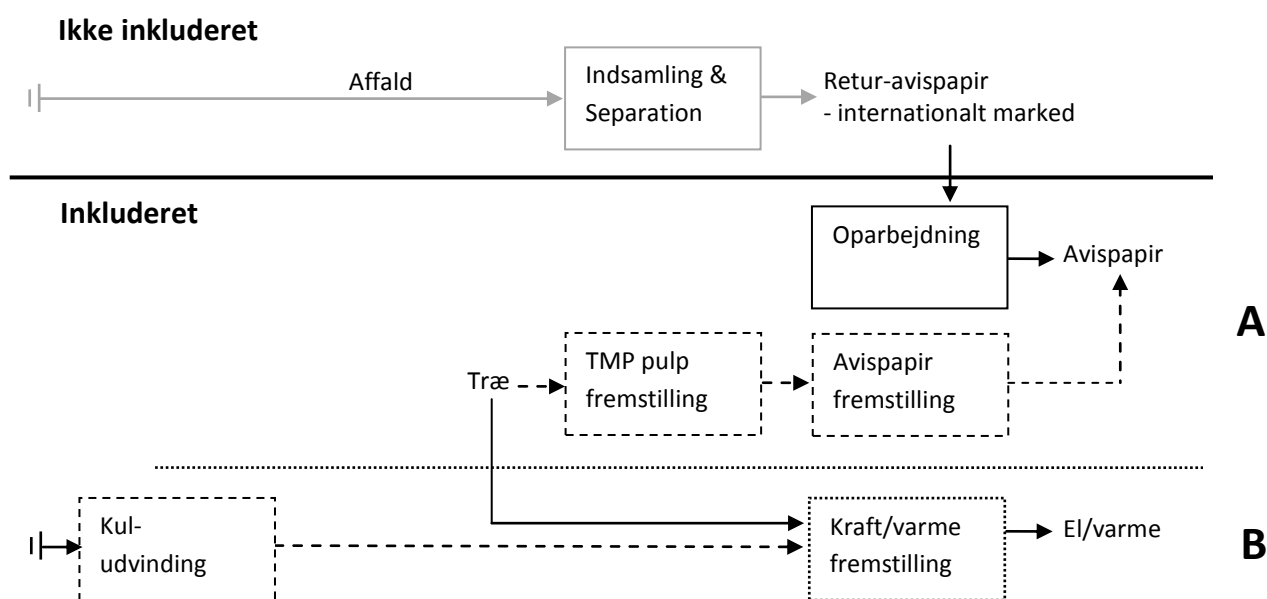
Astrup T et al. (2011): Fastlæggelse af energidata til brug i CO2-opgørelser



## Avispapir

### Beskrivelse af systemet

Figuren nedenfor viser systemet, som opgørelsen omfatter. Indsamling og separation over stregen er ikke inkluderet, mens systemet under stregen er inkluderet. I figuren markerer boksene processer, mens pilene er materialestrømme. Fuldt optrukne bokse og pile er processer og strømme, der *forårsages*, når det indsamlede avispapir sendes til oparbejdning, mens stiplede bokse og pile er processer og strømme, der *undgås*. Den prikkede boks er en proces, hvis udledninger *ændres*, fordi der skiftes brændsel.



Figur 2. Systemet omfattet af carbon footprint. Fuldt optrukne bokse og pile er processer og strømme, der forårsages, stiplede bokse og pile er processer og strømme, der undgås. Den prikkede boks er en proces, hvis udledninger ændres, fordi der skiftes brændsel. A og B angiver forskelligt omfang af systemet.

Som figuren indikerer (med bogstaverne A og B), kan systemet udvides til at omfatte mere eller mindre alt efter hvordan forbruget af træ modelleres i systemet. Det kommenteres nedenstående.

Returpapir handles på et internationalt marked og afsættes til den til enhver tid gældende pris og til den til enhver tid gældende aftager. En meget stor del transporteres med skib til Kina, men også til andre steder i verden. Carbon footprint'et for genvinding af avispapir er derfor ikke lokalt eller nationalt specifikt, men internationalt. Det vil i praksis endvidere variere efter, hvor det transporteres hen og på hvilken fabrik det oparbejdes. Men dette er ikke kendt, fordi det typisk sælges til et marked/en børs, og det varierer fra tid til anden. Derfor skal carbon footprint'et repræsentere et gennemsnit.

I visse tilfælde vil retur-avispapiret blive oparbejdet på en ren genbrugspapir fabrik, dvs. en fabrik der kun anvender returpapir som råvare. I andre tilfælde vil det blive oparbejdet på en fabrik, der også fremstiller nyt avispapir, men hvor retur-papir udgør en procentdel af råvaren.

Når avispapiret genvindes og erstatter nyt papir, spares træ til fremstilling af nyt papir. Dette kan have to konsekvenser: det kan enten betyde, at det sparede træ blot forbliver uudnyttet i skoven, eller det kan betyde, at det sparede træ frigøres til anden anvendelse sandsynligvis i energisektoren. Det kan også være en mellemting mellem disse to scenarier. Den alternative anvendelse af træ som brændsel vil i givet fald også være international, da træ til energiformål handles på internationale markeder, og da det transporteres over store afstande. Som beskrevet i notatet om energisystemer (Astrup et al., 2010) anvendes kul-kondens kraftværker som marginalen på el-markedet.

Carbon footprint for de forskellige system betragtninger er vist i tabel 2. Efter tabellen beskrives, hvilke data det anbefales at anvende.

### Data for avispapir

Forårsagede og undgåede processer inkl. alternativ anvendelse af træ som brændsel ( <b>A + B</b> )	Forårsagede og undgåede processer ekskl. alternativ anvendelse af træ som brændsel ( <b>A</b> )
<b>CO<sub>2</sub>-bidrag (kg CO<sub>2</sub>-eq/ton):</b> <b>-3.100</b>	<b>CO<sub>2</sub>-bidrag (kg CO<sub>2</sub>-eq/ton):</b> <b>-1.700</b>
<b>Interval (kg CO<sub>2</sub>-eq/ton)</b> <b>-2.000 til -4.100</b>	<b>Interval (kg CO<sub>2</sub>-eq/ton)</b> <b>-900 til -2.700</b>
<b>Medtaget</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>A+B, se Figur 2</b></li> <li>▪ <b>Transport mellem processerne</b></li> </ul>	<b>Medtaget</b> <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>A, se Figur 2</b></li> <li>▪ <b>Transport mellem processerne</b></li> </ul>

Tabel 2. Data og datainterval for carbon footprint for genvinding af avispapir som fundet i LCA studier i litteraturen, se referencer nederst i notatet.

### Anbefalet brug af data

Bestræbelserne på at udarbejde carbon footprint for affaldshåndtering følger af samfundets samlede bestræbelser på at reducere udledningen af drivhusgasser (GHG). Der er derfor en indre logik i, at metoden til beregning af carbon footprint afspejler et samfund, der tilstræber at reducere GHG udledningerne væsentligt. Denne indre logik har betydning for, hvordan vi regner på brugen af biomasse, herunder træ, som bl.a. findes i systemet for fremstilling af nyt papir og pap. Et samfund, der stræber efter stor GHG reduktion vil efter al sandsynlighed have en meget større efterspørgsel efter biomasse som både brændsel og råvare, end vi har i dag. Meget tyder på, at biomasse hurtigt kommer 'i underskud', se fx Ewald (2010) eller Hedegaard et al. (2008). Denne situation er kendetegnet ved, at biomasse er en attraktiv, men begrænset, ressource til brug for reduktion af GHG, og i denne situation vil en besparelse af biomasse føre til, at denne biomasse dermed bliver tilgængelig for andre anvendelser og vil indgå i andre anvendelser. Dette håndteres i den aktuelle carbon footprint beregning ved, at sparet træ ved genvinding af avispapir

antages brugt til energiformål, konkret fremstilling af el, se Figur 2 område B i systemet. Denne situation er muligvis ikke gældende i dag, det kan meget vel tænkes, at sparet træ i dag blot vil forblive som uudnyttet træ i skoven. Men vi vurderer, at dette billede vil ændre sig i den fremtid, som begrundes vores bestræbelser på GHG reduktion og carbon footprint regnskaber.

Hvis vi modsat regner med, at sparet træ blot forbliver uudnyttet i skoven, vil en konsekvens være, at nyt papir baseret på craft pulp vil have mindre carbon footprint end genbrugspap og –papir. Det ville med den beregning føre til stor GHG reduktion at stoppe al genbrug af pap og papir baseret på craft pulp (også kaldet kemisk-termomekanisk pulp, CTMP = al pap og almindeligt hvidt papir). Et samfund, der tilstræber stor GHG reduktion, ville dermed stoppe genbrug af denne type pap og papir. Det ville føre til godt og vel en fordobling af hele papirsystemets energiforbrug, dvs. et træk på verdens energiressourcer, der pr. ton papir var dobbelt så højt, som det ville være med genbrugspapir. Godt nok i form af biomasse energiressourcer, der ved første øjekast ville være 'CO<sub>2</sub>-neutrale', men papirsystemet ville ligge der som et træk på biomasse, der dermed ikke ville være tilgængeligt for andet. Det fremstår kontraproduktivt at designe papirsystemet til det dobbelte energi-træk i en verden, der stræber efter at finde CO<sub>2</sub> neutrale ressourcer til sine energiformål, og hvor der i høj grad ser ud til at blive 'kamp om' (behov for prioritering af) biomassen.

Vi ser det derfor som en logisk konsekvens at regne med, at træ, der frigives ved genvinding af avispapir, finder anvendelse til energiformål, her regnet som el-fremstilling med fortrængning af kul. Vi anbefaler således at inkludere hele systemet A+B i figur 2.

## Referencer

European Commission by Alison Smith, Keith Brown, Steve Ogilvie, Kathryn Rushton, Judith Bates (2001): Waste Management Options and Climate Change, Final report to the European Commission, DG Environment

Tillman, AM, Baumann, H, Eriksson, E, Rydberg, T (1991) Life Cycle analyses of selected packaging materials. Quantification and environmental loadings. (In Swedish: "Miljön och förpackningarna"), SOU, 1991:76

Dalager et al. (1995a-1995d); *Miljøøkonomi for papir- og papkredsløb*. (Environmental economics of paper and cardboard circulation. Working reports (4 reports in total) from the Danish Environmental Protection Agency No. 28-31. In Danish)

Virtanen, Y, Nilsson, S (1993) The environmental Impacts of waste paper recycling. IIASA, Laxembourg (Austria)

Kärnä, A., Engström, J., Kutinlahti, T. & Pajula, T. (1994); *Life cycle analysis of newsprint: European scenarios*. Paperi ja Puu - Paper and Timber 76(4): 232-237.

Ecobalance UK (1998); *Newsprint - A Life-Cycle Study. An independent assessment of the environmental benefits of recycling at Aylesford Newsprint compared to incineration*. Aylesford Newsprint Ltd, Aylesford, U.K.

Grant, T., K. James, S. Lundie and K. Sonneveld (2001); *Stage 2 Report for Life Cycle Assessment for Paper and Packaging Waste Management Scenarios in Victoria*. Melbourne, EcoRecycle Victoria. Australia

Tiedemann, A., Klöpffer, W., Grahl, B. & Hamm, U. (2001); *Life Cycle Assessments for Graphic Papers*. Nr 2/2001, Umweltbundesamt, the German Federal Environmental Agency, Berlin, Germany.

Environmental Defence (2002); *Lifecycle Environmental Comparison - Virgin Paper and Recycled Paper-Based Systems*. Paper Task Force, White paper No. 3. Environmental Defence, New York, USA.

Frees, N; Hansen, M.S.; Ottosen, L.M; Tønning, K.; Wenzel, H (2004) *Opdatering af vidensgrundlaget for de miljømæssige forhold ved genanvendelse af papir og pap* (Update of the knowledge basis on the environmental aspects of paper and cardboard recycling). Submitted for publication in February 2004 to the Danish Environmental Protection Agency within the series "Environmental Report" (In Danish).

Hedegaard K, K Thyø and H Wenzel (2008): *Life Cycle Assessment of an Advanced Bioethanol Technology in the Perspective of Constrained Biomass Availability*. *Journal of Environmental Science & Technology*, 2008, 42 (21), 7992-7999.

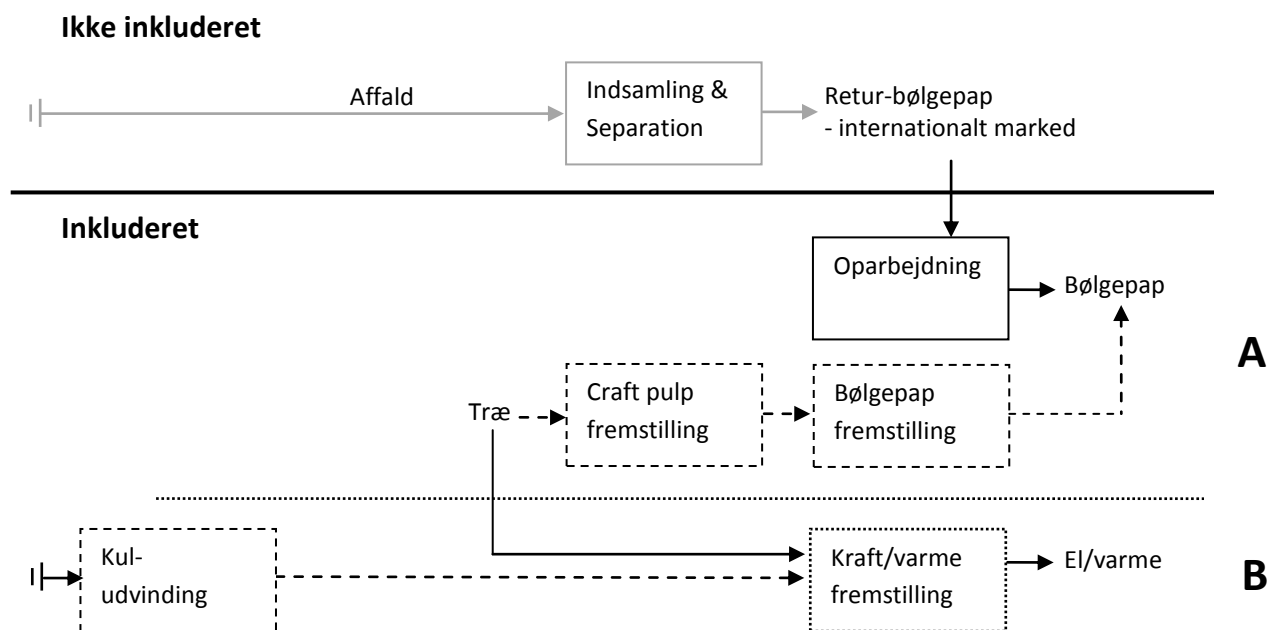
Ewald A (2010): *Rapport om biomassepotentialer til Dansk Energi*, 2010

Astrup T et al. (2011): *Fastlæggelse af energidata til brug i CO2-opgørelser*

## Bølgepap

### Beskrivelse af systemet

Figuren nedenfor viser systemet, som opgørelsen omfatter. Indsamling og separation over stregen er ikke inkluderet, mens systemet under stregen er inkluderet. I figuren markerer boksene processer mens pilene er materialestrømme. Fuldt optrukne bokse og pile er processer og strømme, der *forårsages*, når det indsamlede retur-bølgepap sendes til oparbejdning, mens stiplede bokse og pile er processer og strømme, der *undgås*. Den prikkede boks er en proces, hvis udledninger *ændres*, fordi der skiftes brændsel.



Figur 3. Systemet omfattet af carbon footprint. Fuldt optrukne bokse og pile er processer og strømme, der forårsages, stiplede bokse og pile er processer og strømme, der undgås. Den prikkede boks er en proces, hvis udledninger ændres, fordi der skiftes brændsel. A og B angiver forskelligt omfang af systemet.

Som figuren indikerer (med bogstaverne A og B), kan systemet udvides til at omfatte mere eller mindre alt efter hvordan forbruget af træ modelleres i systemet. Det kommenteres nedenstående.

Returpapir og herunder retur-bølgepap handles på et internationalt marked og afsættes til den til enhver tid gældende pris og til den til enhver tid gældende aftager. En meget stor del transporteres med skib til Kina, men også til andre steder i verden. Carbon footprint'et for genvinding af bølgepap er derfor ikke lokalt eller nationalt specifikt, men internationalt. Det vil i praksis endvidere variere efter, hvor det transporteres hen og på hvilken fabrik, det oparbejdes. Men dette er ikke kendt, fordi det sælges til et marked/en børs, og det varierer fra tid til anden. Derfor skal carbon footprint'et repræsentere et gennemsnit.

I visse tilfælde vil retur-bølgepapet blive oparbejdet på en ren genbrugspap fabrik, dvs. en fabrik der kun anvender retur-pap og/eller returpapir som råvare. I andre tilfælde vil det blive oparbejdet på en fabrik, der også fremstiller nyt bølgepap, men hvor retur-pap og retur-papir udgør en procentdel af råvaren.

Når bølgepappet genvindes og erstatter nyt bølgepap, spares træ til fremstilling af nyt bølgepap. Dette kan have to konsekvenser: det kan enten betyde, at det sparede træ blot forbliver uudnyttet i skoven, eller det kan betyde, at det sparede træ frigøres til anden anvendelse sandsynligvis i energisektoren. Det kan også være en mellemting mellem disse to scenarier. Den alternative anvendelse af træ som brændsel vil i givet fald også være international, da træ til energiformål handles på internationale markeder, og da det transporteres over store afstande. Som beskrevet i notatet om energisystemer (Astrup et al., 2010) anvendes kul-kondens kraftværker som marginalen på el-markedet.

Carbon footprint for de forskellige system betragtninger er vist i tabel 3. Efter tabellen beskrives, hvilke data det anbefales at anvende.

### Data for bølgepap

Forårsagede og undgåede processer inkl. alternativ anvendelse af træ som brændsel (A + B)	Forårsagede og undgåede processer ekskl. alternativ anvendelse af træ som brændsel (A)
CO <sub>2</sub> -bidrag (kg CO <sub>2</sub> -eq/ton): <b>-2.000</b>	CO <sub>2</sub> -bidrag (kg CO <sub>2</sub> -eq/ton): <b>50</b>
Interval (kg CO <sub>2</sub> -eq/ton)  <b>-1.600 til -2.400</b>	Interval (kg CO <sub>2</sub> -eq/ton)  <b>-400 til 400</b>
Medtaget <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>A+B, se Figur 3</b></li> <li>▪ <b>Transport mellem processerne</b></li> </ul>	Medtaget <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>A, se Figur 3</b></li> <li>▪ <b>Transport mellem processerne</b></li> </ul>

Tabel 3. Data og datainterval for carbon footprint for genvinding af bølgepap som fundet i LCA studier i litteraturen, se referencer nederst i notatet.

### Anbefalet brug af data

Bestræbelserne på at udarbejde carbon footprint for affaldshåndtering følger af samfundets samlede bestræbelser på at reducere udledningen af drivhusgasser (GHG). Der er derfor en indre logik i, at metoden til beregning af carbon footprint afspejler et samfund, der tilstræber at reducere GHG udledningerne væsentligt. Denne indre logik har betydning for, hvordan vi regner på brugen af biomasse, herunder træ, som bl.a. findes i systemet for fremstilling af nyt papir og pap. Et samfund, der stræber efter stor GHG reduktion vil efter al sandsynlighed have en meget større efterspørgsel efter biomasse som både brændsel og råvare, end vi har i dag. Meget tyder på, at biomasse hurtigt kommer 'i underskud', se fx Ewald (2010) eller Hedegaard et al. (2008). Denne situation er kendetegnet ved, at biomasse er en attraktiv, men begrænset, ressource til brug for reduktion af GHG, og i denne situation vil en besparelse af biomasse føre til, at denne biomasse dermed bliver tilgængelig for andre anvendelser og vil indgå i andre anvendelser. Dette håndteres i den aktuelle carbon footprint beregning ved, at sparet træ ved genvinding af bølgepap

antages brugt til energiformål, konkret fremstilling af el, se Figur 3 område B i systemet. Denne situation er muligvis ikke gældende i dag, det kan meget vel tænkes, at sparet træ i dag blot vil forblive som uudnyttet træ i skoven. Men vi vurderer, at dette billede vil ændre sig i den fremtid, som begrundes vores bestræbelser på GHG reduktion og carbon footprint regnskaber.

Hvis vi modsat regner med, at sparet træ blot forbliver uudnyttet i skoven, vil en konsekvens være, at nyt bølgepap (og andet pap og papir baseret på craft pulp) vil have mindre carbon footprint end genbrugspap og –papir. Det ville med den beregning føre til stor GHG reduktion at stoppe al genbrug af pap og papir baseret på craft pulp (også kaldet kemisk-termomekanisk pulp, CTMP = al pap og almindeligt hvidt papir). Et samfund, der tilstræber stor GHG reduktion, ville dermed stoppe genbrug af pap og papir. Det ville føre til godt og vel en fordobling af hele papirsystemets energiforbrug, dvs. et træk på verdens energiressourcer, der pr. ton papir (eller pap) var dobbelt så højt, som det ville være med genbrugspap og –papir. Godt nok i form af biomasse energi ressourcer, der ved første øjekast ville være 'CO<sub>2</sub>-neutrale', men pap/papirsystemet ville ligge der som et træk på biomasse, der dermed ikke ville være tilgængeligt for andet. Det fremstår kontraproduktivt at designe papirsystemet til det dobbelte energi-træk i en verden, der stræber efter at finde CO<sub>2</sub> neutrale ressourcer til sine energiformål, og hvor der i høj grad ser ud til at bliver 'kamp om' (behov for prioritering af) biomassen.

Vi ser det derfor som en logisk konsekvens at regne med, at træ der frigives ved genvinding af bølgepap, finder anvendelse til energiformål, her regnet som el-fremstilling med fortrængning af kul. Vi anbefaler således at inkludere hele systemet A+B i figur 3.

## Referencer

Tillman, AM, Baumann, H, Eriksson, E, Rydberg, T (1991) Life Cycle analyses of selected packaging materials. Quantification and environmental loadings. (In Swedish: "*Miljön och förpackningarna*"), SOU, 1991:76

Dalager et al. (1995a-1995d); *Miljøøkonomi for papir- og papkredsløb*. (Environmental economics of paper and cardboard circulation. Working reports (4 reports in total) from the Danish Environmental Protection Agency No. 28-31. In Danish)

Virtanen, Y, Nilsson, S (1993) The environmental Impacts of waste paper recycling. IIASA, Laxembourg (Austria)

Kärnä, A., Engström, J., Kutinlahti, T. & Pajula, T. (1994); *Life cycle analysis of newsprint: European scenarios*. Paperi ja Puu - Paper and Timber 76(4): 232-237.

Ecobalance UK (1998); *Newsprint - A Life-Cycle Study. An independent assessment of the environmental benefits of recycling at Aylesford Newsprint compared to incineration*. Aylesford Newsprint Ltd, Aylesford, U.K.

Grant, T., K. James, S. Lundie and K. Sonneveld (2001); *Stage 2 Report for Life Cycle Assessment for Paper and Packaging Waste Management Scenarios in Victoria*. Melbourne, EcoRecycle Victoria. Australia

Tiedemann, A., Klöpffer, W., Grahl, B. & Hamm, U. (2001); *Life Cycle Assessments for Graphic Papers*. Nr 2/2001, Umweltbundesamt, the German Federal Environmental Agency, Berlin, Germany.

Environmental Defence (2002); *Lifecycle Environmental Comparison - Virgin Paper and Recycled Paper-Based Systems*. Paper Task Force, White paper No. 3. Environmental Defence, New York, USA.

Frees, N; Hansen, M.S.; Ottosen, L.M; Tønning, K.; Wenzel, H (2004) *Opdatering af vidensgrundlaget for de miljømæssige forhold ved genanvendelse af papir og pap* (Update of the knowledge basis on the environmental aspects of paper and cardboard recycling). Submitted for publication in February 2004 to the Danish Environmental Protection Agency within the series "Environmental Report" (In Danish).

Hedegaard K, K Thyø and H Wenzel (2008): Life Cycle Assessment of an Advanced Bioethanol Technology in the Perspective of Constrained Biomass Availability. *Journal of Environmental Science & Technology*, 2008, 42 (21), 7992-7999.

Ewald A (2010): Rapport om biomassepotentialer til Dansk Energi, 2010

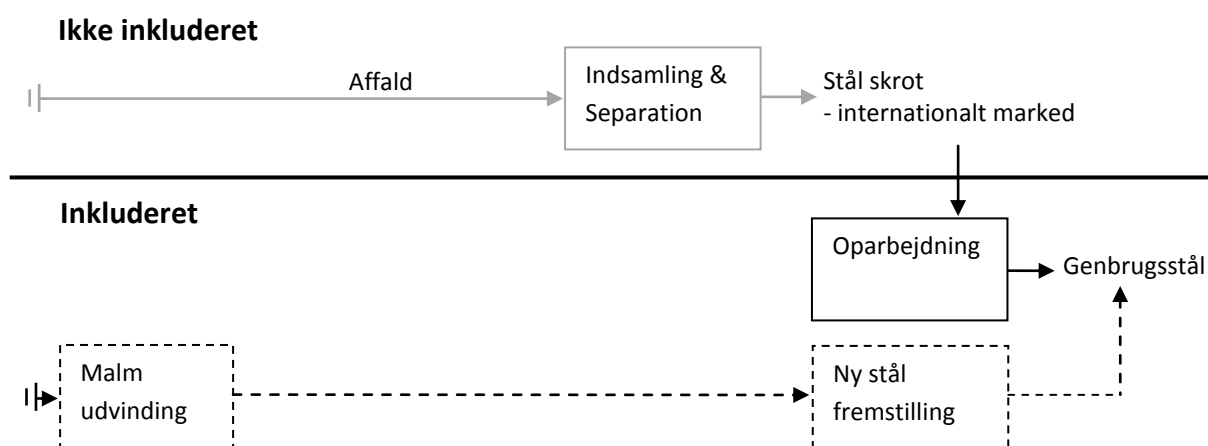
Astrup T et al. (2011): Fastlæggelse af energidata til brug i CO<sub>2</sub>-opgørelser



# Stål

## Beskrivelse af systemet

Figuren nedenfor viser systemet, som opgørelsen omfatter. Indsamling og separation over stregen er ikke inkluderet, mens systemet under stregen er inkluderet. I figuren markerer boksene processer mens pilene er materialestrømme. Fuldt optrukne bokse og pile er processer og strømme, der *forårsages*, når det indsamlede stålskrot sendes til oparbejdning, mens stiplede bokse og pile er processer og strømme, der *undgås*.



Figur 4. Systemet omfattet af carbon footprint. Fuldt optrukne bokse og pile er processer og strømme, der forårsages, stiplede bokse og pile er processer og strømme, der undgås

Stål skrot handles på et internationalt marked og afsættes til den til enhver tid gældende pris og den til enhver tid gældende aftager. Carbon footprint'et for genvinding af stål skrot er derfor ikke lokalt eller nationalt specifikt, men internationalt. Det vil i praksis endvidere variere efter, hvor det transporteres hen og på hvilken fabrik det oparbejdes. Men dette er ikke kendt, fordi det sælges til et marked/en børs, og det varierer fra tid til anden. Derfor skal carbon footprint'et repræsentere et gennemsnit.

I visse tilfælde vil stål skrottet blive oparbejdet på en ren genbrugsstål fabrik, dvs. en fabrik der kun anvender skrot som råvare. I andre tilfælde vil det blive oparbejdet på en fabrik, der også fremstiller nyt stål, men hvor skrot udgør en procentdel af råvaren.

Carbon footprint er vist i tabel 4.

## Data for stål

Udledningen af drivhusgasser fra forårsagede og undgåede processer ved genvinding af stål
<b>CO<sub>2</sub>-bidrag (kg CO<sub>2</sub>-eq/ton):</b>
<b>-1.500</b>

<b>Interval (kg CO<sub>2</sub>-eq/ton)</b>
<b>-800 til -3.000</b>
<b>Medtaget</b>
<ul style="list-style-type: none"> <li>▪ <b>Se Figur 4</b></li> <li>▪ <b>Transport mellem processerne</b></li> </ul>

*Tabel 4. Data og datainterval for carbon footprint for genvinding af stål skrot som fundet i LCA studier i litteraturen, se referencer nederst i notatet.*

## Referencer

Craighill, A. and Powell, J. (1996): Lifecycle assessment and economic evaluation of recycling: a case study. Resources, conservation and recycling, 17 (1996) 75-96

Tillman, A.-M.; Baumann, H.; Eriksson, E. and Rydberg, T. (1991): Packaging and the Environment – Life Cycle assessments of packaging materials – calculations of environmental impact, Statens offentliga utredningar 1991:77, Offprint from 'Miljön och förpackningarna', Miljødepartementet, Statens offentliga utredningar (SOU).

Grant, T., K. James, S. Lundie and K. Sonneveld (2001): Stage 2 Report for Life Cycle Assessment for Paper and Packaging Waste Management Scenarios in Victoria. Melbourne, EcoRecycle Victoria, Australia.

Muñoz I, Rieradevall J, Doménech X and Milà L (2004) LCA Application to Integrated Waste Management Planning In Gipuzkoa (Spain) Int J LCA 9 (4) 272-280 (2004). [BACKGROUND REPORT: LCA Group - Centre d'Estudis Ambientals - Universitat Autònoma de Barcelona (2002) LCA applied to different alternatives for the management of MSW and sewage sludge in the Waste Management Plan of Gipuzkoa for 2005-2016. (In Spanish)]

Pommer, K.; Wesnaes, M.S.; Madsen, C, Larsen, MH (1995) Environmental assessment of packagings for beer and soft drinks –Subreport 4: steel cans (in Danish) Danish EPA (Work Report no. 73). [MAIN REPORT: Pommer, K.; Wesnaes, M.S.; Madsen, Chr. (1995) Environmental survey of Packaging Systems for Beer and Soft Drinks (in Danish) Danish EPA (Work Report no. 72)]

US EPA (2002): Solid Waste Management and Greenhouse Gases. A Life-Cycle Assessment of Emissions and Sinks. 2nd edition EPA530-R-02-006, May 2002.

US EPA (2006): Solid waste management and greenhouse gases, A Life-Cycle Assessment of Emissions and Sinks, 3rd EDITION, US Environmental protection agency, Washington, DC, USA

RDC Environment and Coopers & Lybrand - Belgium (1997): Eco-balances for policy-making in the domain of packaging and packaging waste. European Commission, DG Environment. Reference no.: B4-3040/95001058/MAR/E3

RDC Environment and Pira International (2003): Evaluation of Costs and Benefits for the Achievement of Reuse and the Recycling Targets for the Different Packaging Materials in the Frame of the Packaging and Packaging Waste Directive 94/62/EC. (Final consolidated report), Brussels: European Commission, 2003.

Smith, A.; Brown, K.; Ogilvie, S.; Rushton, K. and Bates, J. (2001). Waste management options and climate change. Final report to the European Commission, DG Environment.

Återvinningsindustrierna av Håkan Nordin Miljökompassen AB (2002): Miljöfördelar med återvunnet material som råvara, Stockholm, Sweden

Pfaff-Simoneit, Wolfgang, Sandra Spies, Günther Wehenpohl (2009): SWM - GHG calculator Manual, Tool for calculating greenhouse gases (GHG) in solid waste management (SWM), Ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung, Heidelberg, Germany

ADEME by Rocheteau, Virginie (2009): Bilan du recyclage 1998-2007, Synthèse générale, Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie, Paris, France

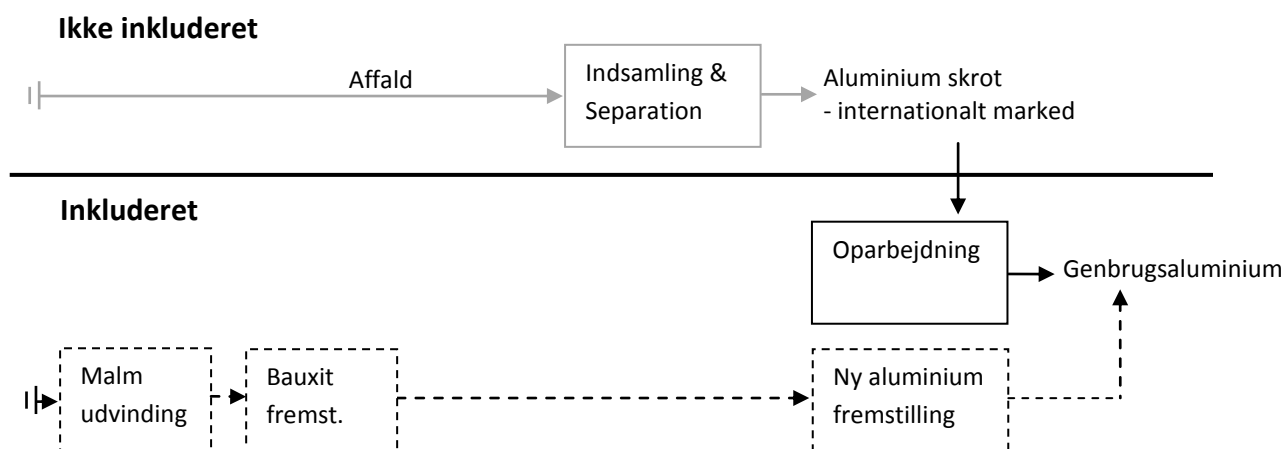
Interseroh (2007): Recycling für den Klimaschutz, Köln Germany

## Aluminium

Notatet gælder aluminiumsemner over 50 µm godstykkeelse, der antages ikke at brænde i forbrændingsanlæg.

### Beskrivelse af systemet

Figuren nedenfor viser systemet, som opgørelsen omfatter. Indsamling og separation over strengen er ikke inkluderet, mens systemet under strengen er inkluderet. I figuren markerer boksene processer mens pilene er materialestrømme. Fuldt optrukne bokse og pile er processer og strømme, der *forårsages*, når det indsamlede aluminium skrot sendes til oparbejdning, mens stiplede bokse og pile er processer og strømme, der *undgås*.



Figur 5. Systemet omfattet af carbon footprint. Fuldt optrukne bokse og pile er processer og strømme, der forårsages, stiplede bokse og pile er processer og strømme, der undgås.

Aluminium skrot handles på et internationalt marked og afsættes til den til enhver tid gældende pris og den til enhver tid gældende aftager. Carbon footprint'et for genvinding af aluminium skrot er derfor ikke lokalt eller nationalt specifikt, men internationalt. Det vil i praksis endvidere variere efter, hvor det transporteres hen og på hvilken fabrik det oparbejdes. Men dette er ikke kendt, fordi det sælges til et marked/en børs, og det varierer fra tid til anden. Derfor skal carbon footprint'et repræsentere et gennemsnit.

I visse tilfælde vil aluminium skrottet blive oparbejdet på en ren genbrugsaluminium fabrik, dvs. en fabrik der kun anvender skrot som råvare. I andre tilfælde vil det blive oparbejdet på en fabrik, der også fremstiller nyt aluminium, men hvor skrot udgør en procentdel af råvaren.

Carbon footprint er vist i tabel 5.

## Data for aluminium

Summen af drivhusgasudledninger fra forårsagede og undgåede processer
<b>CO<sub>2</sub>-bidrag (kg CO<sub>2</sub>-eq/ton):</b>  <b>-10.000</b>
<b>Interval (kg CO<sub>2</sub>-eq/ton)</b>  <b>-4.000 til -15.100</b>
<b>Medtaget</b> <ul style="list-style-type: none"><li>▪ se Figur 5</li><li>▪ Transport mellem processerne</li></ul>

Tabel 5. Data og datainterval for carbon footprint for genvinding af aluminium skrot som fundet i LCA studier i litteraturen, se referencer nederst i notatet.

## Referencer

CEN (2001): CEN standard (EN 13431)

Ryberg, A.; Ekvall, T.; Person, L. and Weidema B. (1998): Life Cycle Assessment of Packaging Systems for Beer and Soft Drinks – Technical Report 3, Danish EPA (Environmental Project no. 402)

Tillman, A.-M.; Baumann, H.; Eriksson, E. and Rydberg, T. (1991): Packaging and the Environment – Life Cycle assessments of packaging materials – calculations of environmental impact, Statens offentliga utredningar 1991:77, Offprint from 'Miljön och förpackningarna', Miljödepartementet, Statens offentliga utredningar (SOU).

US EPA (2002): Solid Waste Management and Greenhouse Gases. A Life-Cycle Assessment of Emissions and Sinks. 2nd edition EPA530-R-02-006, May 2002.

RDC Environment and Coopers & Lybrand - Belgium (1997): Eco-balances for policy-making in the domain of packaging and packaging waste. European Commission, DG Environment. Reference no.: B4-3040/95001058/MAR/E3

Grant, T., K. James, S. Lundie and K. Sonneveld (2001): Stage 2 Report for Life Cycle Assessment for Paper and Packaging Waste Management Scenarios in Victoria. Melbourne, EcoRecycle Victoria, Australia.

RDC Environment and Pira International (2003): Evaluation of Costs and Benefits for the Achievement of Reuse and the Recycling Targets for the Different Packaging Materials in the Frame of the Packaging and Packaging Waste Directive 94/62/EC. (Final consolidated report), Brussels: European Commission, 2003.

Smith, A.; Brown, K.; Ogilvie, S.; Rushton, K. and Bates, J. (2001). Waste management options and climate change. Final report to the European Commission, DG Environment.

Pommer, K.; Wesnaes, M. S. and Madsen, C. (1995): Environmental survey of packaging systems for beer and soft drinks – Sub report 3: aluminium cans (in Danish), Danish EPA Work Report no. 72, 153 pages

Edwards, D.W. and Schelling, J. (1996): Municipal Waste Life Cycle Assessment Part 1 and Aluminium Case Study, Transactions of the Institution of Chemical Engineers, B, 74, 1996, pp 205-222, ISSN 0957 5820

Schonert, M.; Motz, G.; Meckel, H.; Detzel, A.; Giegrich, J.; Ostermayer, A.; Schorb, A.; Schmitz, S. (2002): Ecobalance for beverage packaging - UBA II/ Phase 2, German EPA (in German)

Craighill, A. and Powell, J. (1996): Lifecycle assessment and economic evaluation of recycling: a case study. Resources, conservation and recycling, 17 (1996) 75-96

European Commission by Alison Smith, Keith Brown, Steve Ogilvie, Kathryn Rushton, Judith Bates (2001): Waste Management Options and Climate Change, Final report to the European Commission, DG Environment

Återvinningsindustrierna av Håkan Nordin Miljökompassen AB (2002): Miljöfördelar med återvunnet material som råvara, Stockholm, Sweden

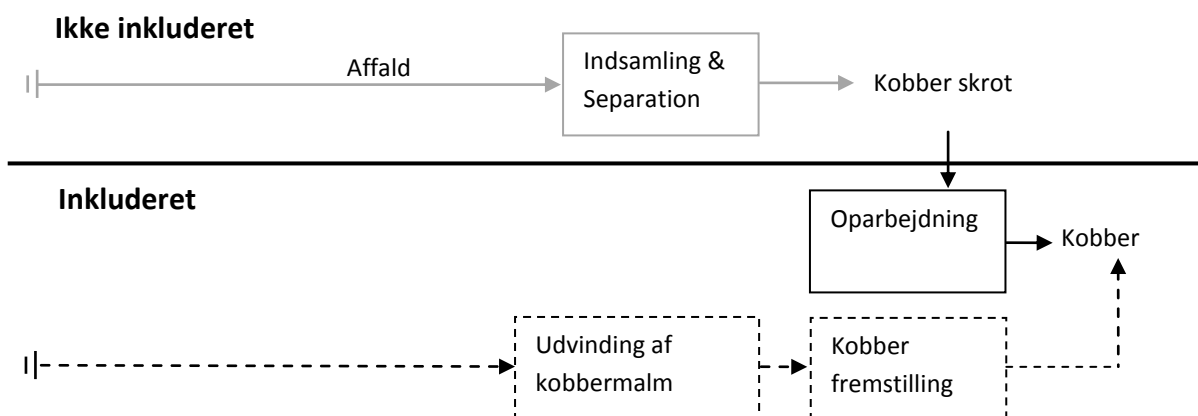
Pfaff-Simoneit, Wolfgang, Sandra Spies, Günther Wehenpohl (2009): SWM - GHG calculator Manual, Tool for calculating greenhouse gases (GHG) in solid waste management (SWM), Ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung, Heidelberg, Germany

Ecoinvent database (2010)

## Kobber

### Beskrivelse af systemet

Figuren nedenfor viser systemet, som opgørelsen omfatter. Indsamling og separation over stregen er ikke inkluderet, mens systemet under stregen er inkluderet. I figuren markerer boksene processer mens pilene er materialestrømme. Fuldt optrukne bokse og pile er processer og strømme, der *forårsages*, når det indsamlede kobber skrot sendes til oparbejdning, mens stiplede bokse og pile er processer og strømme, der *undgås*.



Figur 6. Systemet omfattet af carbon footprint. Fuldt optrukne bokse og pile er processer og strømme, der forårsages, stiplede bokse og pile er processer og strømme, der undgås.

Kobber skrot handles på et internationalt marked og afsættes til den til enhver tid gældende pris og den til enhver tid gældende aftager. Carbon footprint'et for genvinding af kobber skrot er derfor ikke lokalt eller nationalt specifikt, men internationalt. Det vil i praksis endvidere variere efter, hvor det transporteres hen og på hvilken fabrik det oparbejdes. Men dette er ikke kendt, fordi det sælges til et marked/en børs, og det varierer fra tid til anden. Derfor skal carbon footprint'et repræsentere et gennemsnit.

Carbon footprint er vist i tabel 6.

## Data for kobber

Udledningen af drivhusgasser fra forårsagede og undgåede processer
<b>CO<sub>2</sub>-bidrag (kg CO<sub>2</sub>-eq/ton):</b>  <b>-7.400</b>
<b>Interval (kg CO<sub>2</sub>-eq/ton)</b>  <b>-1.100 til -19.600</b>
<b>Medtaget</b> <ul style="list-style-type: none"><li>▪ <b>Se Figur 6</b></li><li>▪ <b>Transport mellem processerne</b></li></ul>

*Tabel 6. Data og datainterval for carbon footprint for genvinding af kobber som fundet i LCA studier i litteraturen, se referencer nederst i notatet.*

## Referencer

Interseroh (2007): Recycling für den Klimaschutz, Köln Germany

US EPA (2006): Solid waste management and greenhouse gases, A Life-Cycle Assessment of Emissions and Sinks, 3rd EDITION, US Environmental protection agency, Washington, DC, USA

Återvinningsindustrierna av Håkan Nordin Miljökompassen AB (2002): Miljöfordelar med återvunnet material som råvara, Stockholm, Sweden

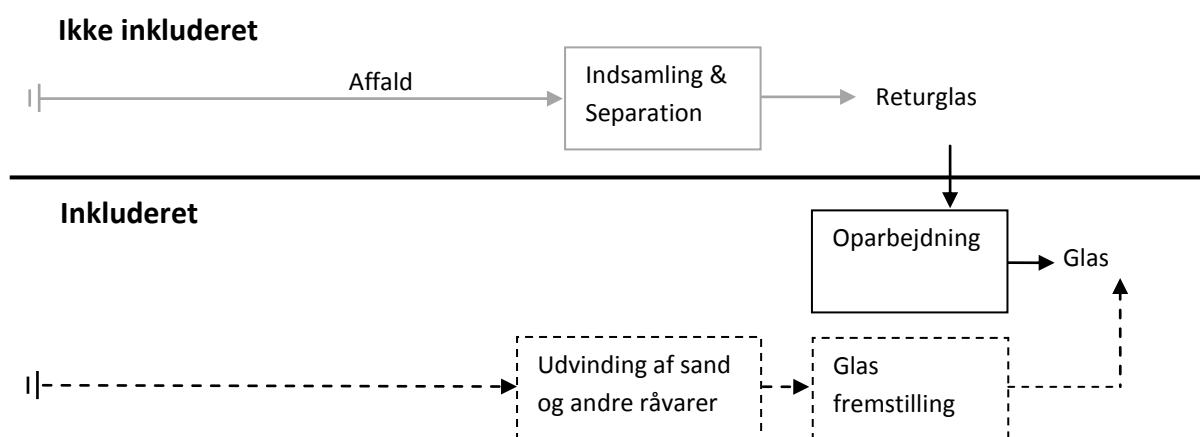
ADEME by Rocheteau, Virginie (2009): Bilan du recyclage 1998-2007, Synthèse générale, Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie, Paris, France



## Glas

### Beskrivelse af systemet

Figuren nedenfor viser systemet, som opgørelsen omfatter. Indsamling og separation over stregen er ikke inkluderet, mens systemet under stregen er inkluderet. I figuren markerer boksene processer mens pilene er materialestrømme. Fuldt optrukne bokse og pile er processer og strømme, der *forårsages*, når det indsamlede returglas sendes til oparbejdning, mens stiplede bokse og pile er processer og strømme, der *undgås*.



Figur 7. Systemet omfattet af carbon footprint. Fuldt optrukne bokse og pile er processer og strømme, der forårsages, stiplede bokse og pile er processer og strømme, der undgås

Returglas handles på nationale/regionale markeder, da værdi/vægt forholdet ofte betyder, at det ikke transporteres over store afstande. Carbon footprint'et for genvinding af glas er imidlertid ikke nationalt specifikt, da processerne ved glasfremstilling og omsmeltnings er meget ens verden over. De anførte data er derfor generelt repræsentative .

Carbon footprint er vist i tabel 7.

## Data for glas

Udledning af drivhusgasser fra forårsagede og undgåede processer
<b>CO<sub>2</sub>-bidrag (kg CO<sub>2</sub>-eq/ton):</b>  <b>-400</b>
<b>Interval (kg CO<sub>2</sub>-eq/ton)</b>  <b>-30 til -1.100</b>
<b>Medtaget</b> <ul style="list-style-type: none"><li>▪ <b>Se Figur 7</b></li><li>▪ <b>Transport mellem processerne</b></li></ul>

Tabel 7. Data og datainterval for carbon footprint for genvinding af glas som fundet i LCA studier i litteraturen, se referencer nederst i notatet.

## Referencer

Craighill,A., and Powell,J., (1996) Lifecycle assessment and economic evaluation of recycling: a case study. Resources, conservation and recycling, 17 (1996) 75-96

Enviros (2003): Glass Recycling - Life Cycle Carbon Dioxide Emissions – A Life Cycle Analysis Report by Enviro Consulting Ltd November 2003, CAN BR110 004

Muñoz I, Rieradevall J, Doménech X and Milà L (2004) LCA Application to Integrated Waste Management Planning In Gipuzkoa (Spain) Int J LCA 9 (4) 272-280 (2004)

Pommer, K.; Wesnaes, M.S.; Madsen, C, Larsen, MH (1995) Environmental assessment of packagings for beer and soft drinks – Main Report (in Danish) Danish EPA (Work Report no. 72)

RDC Environment and Coopers & Lybrand - Belgium (1997) Eco-balances for policy-making in the domain of packaging and packaging waste. European Commission , DG Environment. Reference no.: B43040/95001058/MAR/E3

RDC-Environment and Pira International. (2003) Evaluation of Costs and Benefits for the Achievement of Reuse and the Recycling Targets for the Different Packaging Materials in the Frame of the Packaging and Packaging Waste Directive 94/62/EC. (Final consolidated report) Brussels: European Commission, 2003.

Smith A, Brown K, Ogilvie S, Rushton K and Bates J (2001). Waste management options and climate change. Final report to the European Commission, DG Environment.

Tillman A-M, Baumann H, Eriksson E and Rydberg T (1991): Packaging and the Environment – Life Cycle assessments of packaging materials – calculations of environmental impact, Statens offentliga utredningar 1991:77, Miljödepartementet

USEPA (2002) Solid Waste Management and Greenhouse Gases. A Life-Cycle Assessment of Emissions and sinks. 2nd edition EPA530-R-02-006, May 2002.

Edwards, D. W. & Schelling, J. (1999): Municipal Waste Life Cycle Assessment Part 2: Transport Analysis and Glass Case Study. Process Safety and Environmental Protection. Print ISSN: 0957-5820 | Electronic ISSN: 1744-3598. Volume: 77 | Issue: B5. Cover date: September 1999. Page(s): 259-274

Pfaff-Simoneit, Wolfgang, Sandra Spies, Günther Wehenpohl (2009): SWM - GHG calculator Manual, Tool for calculating greenhouse gases (GHG) in solid waste management (SWM), Ifeu - Institut für Energie- und Umweltforschung, Heidelberg, Germany

Grant T, James K, Lundie S, Sonneveld K (2001): Stage 2 Report for Life Cycle Assessment for Paper and Packaging Waste Management Scenarios in Victoria, EcoRecycle Victoria, Melbourne, Australia

ADEME by Rocheteau, Virginie (2009): Bilan du recyclage 1998-2007, Synthèse générale, Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie, Paris, France

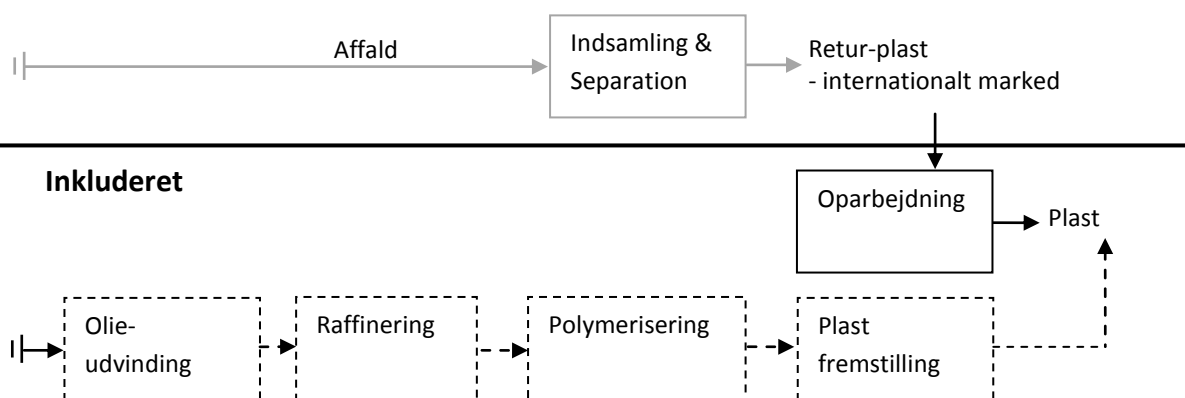
DEFRA by Fischer, Karen. (2006): Impact of Energy from Waste and Recycling Policy on UK Greenhouse Gas Emissions, Department of the environment, food and rural affairs, London, UK

# Plast

## Beskrivelse af systemet

Figuren nedenfor viser systemet, som opgørelsen omfatter. Indsamling og separation over stregen er ikke inkluderet, mens systemet under stregen er inkluderet. I figuren markerer boksene processer, mens pilene er materialestrømme. Fuldt optrukne bokse og pile er processer og strømme, der *forårsages*, når det indsamlede plast sendes til oparbejdning, mens stiplede bokse og pile er processer og strømme, der *undgås*.

### Ikke inkluderet



Figur 8. Systemet omfattet af carbon footprint. Fuldt optrukne bokse og pile er processer og strømme, der forårsages, stiplede bokse og pile er processer og strømme, der undgås.

Returplast handles på et internationalt marked og afsættes til den til enhver tid gældende pris og til den til enhver tid gældende aftager. En del transporteres med skib til Kina, men også til andre steder i verden. Carbon footprint'et for genvinding af plast er derfor ikke lokalt eller nationalt specifikt, men internationalt. Det vil i praksis endvidere variere efter, hvor det transporteres hen og på hvilken fabrik det oparbejdes. Men dette er ikke kendt, fordi det typisk sælges til et marked/en børs, og det varierer fra tid til anden. Derfor skal carbon footprint'et repræsentere et gennemsnit.

Carbon footprint'et afhænger af plasttype og er vist for polyethylen (PE) hhv. polyethylenteraphtalat (PET) i tabel 8 og 9.

## Data for PE

Forårsagede og undgåede processer ekskl. undgået alternativ bortskaffelse
<b>CO<sub>2</sub>-bidrag (kg CO<sub>2</sub>-eq/ton):</b>  <b>-1.500</b>
<b>Interval (kg CO<sub>2</sub>-eq/ton)</b>  <b>-400 til -2.300</b>
<b>Medtaget</b> <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Se Figur 8</li><li>▪ Transport mellem processerne</li></ul>

Tabel 8. Data og datainterval for carbon footprint for genvinding af PE som fundet i LCA studier i litteraturen, se referencer nederst i notatet.

## Data for PET

Forårsagede og undgåede processer ekskl. undgået alternativ bortskaffelse
<b>CO<sub>2</sub>-bidrag (kg CO<sub>2</sub>-eq/ton):</b>  <b>-1.750</b>
<b>Interval (kg CO<sub>2</sub>-eq/ton)</b>  <b>-700 til -2.700</b>
<b>Medtaget</b> <ul style="list-style-type: none"><li>▪ Se Figur 8</li><li>▪ Transport mellem processerne</li></ul>

Tabel 9. Data og datainterval for carbon footprint for genvinding af PET som fundet i LCA studier i litteraturen, se referencer nederst i notatet.

## Referencer

ADEME by Rocheteau, Virginie (2009): Bilan du recyclage 1998-2007, Synthèse générale, Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie, Paris, France

DEFRA by Fischer, Karen. (2006): Impact of Energy from Waste and Recycling Policy on UK Greenhouse Gas Emissions, Department of the environment, food and rural affairs, London, UK

European Commission by Alison Smith, Keith Brown, Steve Ogilvie, Kathryn Rushton, Judith Bates (2001): Waste Management Options and Climate Change, Final report to the European Commission, DG Environment

Grant T, James K, Lundie S, Sonneveld K (2001): Stage 2 Report for Life Cycle Assessment for Paper and Packaging Waste Management Scenarios in Victoria, EcoRecycle Victoria, Melbourne, Australia

Interseroh (2007): Recycling für den Klimaschutz, Köln Germany

US EPA (2006): Solid waste management and greenhouse gases, A Life-Cycle Assessment of Emissions and Sinks, 3rd EDITION, US Environmental protection agency, Washington, DC, USA

Återvinningsindustrierna av Håkan Nordin Miljökompassen AB (2002): Miljöfördelar med återvunnet material som råvara, Stockholm, Sweden

Kreissig J, Baitz M, Schmid J, Kleine-Möllhoff P and Mersiowsky I (2003): PVC Recovery Options - Concept for Environmental and Economic System Analysis, VINYL 2010

Jenseit, Wolfgang, Hartmut Stahl, Volrad Wollny, Rolf Wittlinger, 2003, Recovery Options for Plastic Parts from End-of-Life Vehicles: an Eco-Efficiency Assessment, for APME, Brussels

Raadal, Hanne Lerche, Lars von Krogh, Cecilia Askham Nyland, Ole Jørgen Hanssen, 2001, Life Cycle Assessment and Socio-economic Cost Benefit Analyses of the Treatment of Plastic Packaging Waste from Households in Norway, Summary report, OR 37.01, Østfold Research Foundation, ISBN nr: 82-7520-438-0

Krogh, Lars von, Hanne Lerche Raadal, Ole Jørgen Hanssen, 2001, Life Cycle Assessment of Different Scenarios for Waste Treatment of a Plastic Bottle Used for Food Packaging, Summary, OR 39.01, Østfold Research Foundation, ISBN nr: 82-7520-440-2

Dolan, L., 2004, Life Cycle Assessment of Management Options of Waste Farm Plastics, URS New Zealand Limited, NZSSES 2004 Conference, International Conference on Sustainability Engineering and Science

Anna-Sofia Carlsson, 2002, Kartläggning och utvärdering av plaståtervinning i ett systemperspektiv, IVL Swedish Environmental Research Institute, IVL Rapport/report B 1418

Smith A., Brown K., Ogilvie S., Rushton K. and Bates J. (2001), Waste Management Options and Climate Change, European Commission, DG Environment

US EPA (2002); Solid Waste Management and Greenhouse Gases. A Life-Cycle Assessment of Emissions and sinks. 2nd edition EPA530-R-02-006, May 2002

Frees N (2002): Environmental advantages and disadvantages of plastics recovery, recycling and reuse - examples based on concrete products, Environmental report no. 657, Danish Environmental Protection Agency.

Coopers & Lybrand, 1997, Eco-balances for policy-making in the domain of packaging and packaging waste, European Commission, DG Environment

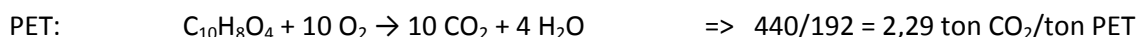
Grant T, James K, Lundie S, Sonneveld K (2001): Stage 2 Report for Life Cycle Assessment for Paper and Packaging Waste Management Scenarios in Victoria, EcoRecycle Victoria, Melbourne, Australia

## Afbrænding af plast og papir

Mange data for carbon footprint for materialelevinding fra litteraturen omfatter forskellen mellem genvinding og forbrænding. Det er hensigtsmæssigt til nogle carbon footprint opgørelser, men uhensigtsmæssigt til andre. I det aktuelle projekt opgør vi carbon footprint for hver enkelt affaldshåndtering for sig. For at kunne nyttiggøre de studier, der alene udtrykker forskellen mellem genvinding og forbrænding, har vi trukket forbrændingen ud af data disse studier. Dette afsnit beskriver, hvordan vi har beregnet forbrændingens bidrag til brug herfor. Antal af denne type studier udgør omkring en tredjedel af de data, vi har lagt til grund, resten af studierne har indeholdt data for materialelevinding isoleret og har kunnet anvendes uden behov for denne estimering af forbrændings bidrag.

Den gennemgående forudsætning for affaldsforbrændingen i litteratur-data er, at forbrændingsanlægget producerer elektricitet, men ikke fjernvarme. De fleste data stammer fra lande uden for Danmark, og der gælder generelt, at disse ikke producerer fjernvarme, men kun el. Forbrændingens carbon footprint er derfor regnet for el-produktion alene.

Vi antager 20% el-nyttsevirkning på disse anlæg som gennemsnit. Det vurderes at være en robust antagelse for de år og lande, data repræsenterer. De støchiometriske formler for forbrænding af de aktuelle plasttyper ser ud som følger:



For papir og pap regnes den direkte udledning af CO<sub>2</sub> for 'neutral', dvs. den sættes til nul. Dette er også gjort i de litteratur referencer, der ligger til grund for data i materialenotaterne.

Nedenstående tabel sammenfatter dermed de data, vi skal bruge:

Plasttype	Formel	Direkte emission (kg CO <sub>2</sub> /ton)	Brændværdi (GJ/ton)	$\eta_{el}$ (%)	Fortrængt el (MWh/ton)	Nedstrøms emission <sup>1</sup> (kg CO <sub>2</sub> /ton)	Opstrøms emission <sup>2</sup> (kg CO <sub>2</sub> /ton)	Netto carbon footprint (kg CO <sub>2</sub> /ton)
PE	(C <sub>2</sub> H <sub>4</sub> ) <sub>n</sub>	3140	43,3	20	2,4	-2069	109	1180
PET	(C <sub>10</sub> H <sub>8</sub> O <sub>4</sub> ) <sub>n</sub>	2290	22,1	20	1,2	-1034	109	1365
Papir og pap	C <sub>n</sub> (H <sub>2</sub> O) <sub>n-1</sub>	0	16	20	0,9	-776	109	-667

<sup>1</sup> Ved fortrængning af kul-kondens el med emissionsværdi 862 kg CO<sub>2</sub>/MWh

<sup>2</sup> Data fra Astrup, Møller og Fruergaard, 2009. Middelværdi af referencens interval på 59-158 kg/ton



## Referencer

Astrup T, J Møller og T Fruergaard (2009): Incineration and co-combustion of waste: accounting of greenhouse gases and global warming contributions. Waste Management & Research 2009: 27: 789–799.  
DOI: 10.1177/0734242X09343774