



ER AFKOBLING MED FAKTOR 4 REALISTISK?

LIVSCYKLUSVURDERING AF MASSE-
STRØMMEN AF PAPIR I DANMARK

Aalborg Universitet, Civilingeniøruddannelsen i Miljø- og Energiplanlægning

Udarbejdet af:

Peter Holm

Anne Merrild

Jannick Schmidt



Det Teknisk-Naturvidenskabelige Fakultet, Civilingeniøruddannelsen i Miljø- og Energiplanlægning, 9. semester

Titel:

Er afkobling med faktor 4 realistisk?
- Livscyklusvurdering af massestrømmen af papir i Danmark

Projektperiode:

1. september – 11. januar 2002

Projektgruppe:

Peter Holm
Anne Merrild
Jannick Schmidt

Gruppenr.:

13-66b

Vejleder:

Per Christensen

Oplagstal: 7**Sidetal: 167****Antal bilag: 12****Forside: Fotos fra SCA Grenaa****Synopsis**

Denne rapport tager udgangspunkt i faktor 4 begrebet. Faktor 4 går ud på, at alle ressourcestrømme og miljøpåvirkninger skal reduceres med en faktor 4. Det undersøges, hvorvidt en afkobling med faktor 4 er realistisk i Danmark indenfor 20-30 år. Dette er belyst ved en livscyklusvurdering af Danmarks papirforbrug. I rapporten undersøges 4 overordnede spørgsmål:

- 1) Er det realistisk at opnå afkobling med faktor 4 for massestrømmen papir i Danmark i løbet af de næste 20-30 år med de virkemidler, der er præsenteret i Danmarks nationale strategi for bæredygtig udvikling?
- 2) Er det realistisk at opnå en generel afkobling med faktor 4 for ressourcer og miljøpåvirkninger i løbet af de næste 20-30 år?
- 3) Hvor stor betydning har Regeringens valg af indikatorer, på hvornår faktor 4 er opnået?
- 4) I hvor høj grad er der sammenhæng mellem en reduktion af ressourceforbruget og nedgang i miljøpåvirkninger som følge heraf?

De benyttede metoder er dels en massestrømsanalyse af papir i Danmark og dels en livscyklusvurdering af Danmarks papirforbrug. På baggrund af Regeringens udpegede virkemidler for at en faktor 4 afkobling, samt identificerede reduktionspotentialer i livscyklusvurderingen, er der opstillet seks scenarier, som skal belyse forskellige tiltags bidrag til faktor 4.

Det konkluderes udfra disse scenarier at det ikke er muligt at nå målet om en afkobling med faktor 4 for miljøpåvirkninger knyttet til Danmarks papirforbrug, idet der højst opnås en samlet faktorreduktion på 2,2. For ressourceforbrug kan der opnås en faktorreduktion på 3,8. De tiltag, der gav de største reduktioner i miljøpåvirkninger, er omlægning af energisystemet til vedvarende energi samt anvendelse af renere teknologi. Det viste sig at øget genanvendelse samlet gav en øget miljøbelastning, hvilket primært skyldes at affaldsforbrænding fortrænger forurenende dansk el og varme.

Det var heller ikke realistisk, at nå en generel afkobling med faktor 4 for Danmarks samlede miljøbelastninger.

Livscyklusvurderingens opgørelser afveg med 15% når Regeringens valg af indikatorer benyttes, hvilket betyder at valg af indikatorer har betydning for analysens resultater.

Der blev ikke genfundet nogen klar sammenhæng mellem reduktioner i ressourceforbrug og miljøpåvirkninger.

Forord

Denne rapport er udarbejdet som dokumentation for et 9. semesters projekt på Aalborg Universitets civilingeniøruddannelse i Miljø- og Energiplanlægning. Projektet omhandler temaet *Planernes konsekvenser*. Rapporten er opbygget i seks dele som fremgår af kapitelforsiderne. Starten af en ny del er med markeret med en oversigt over indholdet af de seks dele, hvor den aktuelle del er markeret. Referencer er angivet ved Harvardmetoden og henviser til en referenceliste, der findes i slutningen af rapporten. Bagerst i denne rapport findes bilag, som indeholder supplerende oplysninger og dokumentation for beregninger i rapporten. Der henvises i rapporten til bilag efter bilagsnummer. Bilagene er nummereret fortløbende efter de pågældende kapitler.

Projektgruppen vil gerne rette en tak til SCA Containerboard Djursland Grenaa. Specielt vil vi gerne rette en tak til Tonny Møller og Kai Søberg, som tog sig tid til at mødes med os og fortælle om papirproduktion og fremvise papirproduktionen på fabrikken. Endvidere vil vi gerne takke de danske papirfabrikker Dalum, Hartmann Tønder og Hartmann Skjern, der alle har været behjælpelige med oplysninger om deres papirproduktioner. Der rettes desuden en tak til følgende personer og virksomheder, der har været behjælpelige med oplysninger til rapporten: Kathe Tønning og Malene Staal fra Teknologisk institut, Charlotte Libak Hansen fra Cowi i Vejle og Finn Dyrbye fra SCA Packaging Denmark.

Peter Holm

Anne Merrild

Jannick Schmidt

Indholdsfortegnelse

Del 1: Indledning

1 Indledning.....	7
1.1 Initierende problem.....	8

Del 2: Baggrund

2 Miljøpolitik; fra fortynding til faktor 4.....	10
2.1 Nye principper introduceres (fra 1970'erne til 1985).....	11
2.2 Modernisering af lovgivningen (fra 1986 til 1992).....	14
2.3 Perioden efter bæredygtig udvikling er introduceret.....	17
3 Afkobling og faktor 4.....	21
3.1 Afkobling.....	22
3.2 Faktorstrategierne.....	23
3.3 Hvad måles en faktor 4 reduktion i forhold til?.....	24
3.4 Hvad måles faktor 4 i?.....	26
3.5 Afkobling og faktor 4 i dansk kontekst.....	28
3.6 Identificerede problemstillinger.....	34
4 Danmarks massestrømme.....	36
4.1 Metode til beskrivelse af Danmarks massestrømme.....	37
4.2 Beskrivelse af Danmarks massestrømme.....	39
4.3 Stofkredsløbets kompleksitet.....	45
4.4 Valg af case.....	46
5 Papir og papirproduktion.....	48
5.1 Hvad er Papir?.....	50
5.2 Produktion af papirmasse.....	50
5.3 Papirproduktion.....	53
5.5 Produktion af papirvarer.....	56

Del 3: Problemformulering

6 Problemformulering.....	58
6.1 Problemstillingen.....	59
6.2 Undersøgelsen.....	60
6.3 Systemet der undersøges.....	61
6.4 Måling af faktor 4.....	61

6.5 Fremgangsmåde	62
-------------------------	----

Del 4: Massestrømsanalyse

7 Metode til massestrømanalyse	63
7.1 Principper og anvendelsesområde	64
7.2 Begrebsdefinition	64
7.3 Undersøgelsermetode	65
7.4 Metodekritik	71
8 Massestrømsanalyse af papir i Danmark	73
8.1 Målsætning og systemafgrænsning	74
8.2 Systemanalyse	76
8.3 Kortlægning og modellering	79
8.4 Sammenfatning af massestrømmen af papir i Danmark	81

Del 5: Livscyklusvurdering

9 Metode til livscyklusvurdering	85
9.1 Principper og anvendelsesområde	86
9.2 Definition på en livscyklusvurdering	87
9.3 Fremgangsmetode	87
9.4 Metodekritik	95
10 Livscyklusvurdering af Danmarks papirforbrug	96
10.1 Definition af formål og afgrænsning	97
10.2 Metode til opgørelse af emissioner og ressourceforbrug	100
11 Effektvurdering af Danmarks papirforbrug	108
11.1 Klassifikation og karakterisering	109
11.2 kategoridefinition	109
11.3 Effektvurdering af Danmarks papirforbrug	110
11.4 Effektvurdering af faser i papirs livscyklus	117
11.5 Papirmassetyper	119
11.6 Papirkvaliteter	121
12 Opstilling og effektvurdering af scenarier	124
12.1 Scenarium 1, Øget genanvendelse	126
12.2 Scenarium 2, Substitution af jomfruelige papirmasser	129
12.3 Scenarium 3, Optimering af transport	132
12.4 Scenarium 4, Ændring af energisystem	135
12.5 Scenarium 5, Renere teknologi	137
12.6 Scenarium 6, Kombineret scenarium	139

12.7 Alternativ kategoridefinition	142
13 Fortolkning og perspektivering	143
13.1 Er faktor 4 realistisk for Danmarks papirforbrug?	144
13.2 Er faktor 4 realistisk for alle Danmarks massestrømme?	148
13.3 Betydningen af Regeringens indikatorer.....	149
13.4 Er der sammenhæng mellem ressourceforbrug og miljøpåvirkninger?....	149
13.5 Evaluering	150
13.6 Hvorfor kan genanvendelse ikke betale sig?	153

Del 6: Konklusion

14 Konklusion.....	156
Referenceliste:.....	160

Bilag

3.a Regeringens indikatorer for faktor 4	
4.a Uddybende metodebeskrivelse	
8.a Massebalancer for alle enhedsprocesser	
8.b Input og output i enhedsprocesser	
8.c Input og output for papirfabrikker	
10.a Energiforbrug til papir- og papirmasseproduktion	
10.b Opgørelse af skovbrug	
10.c Opgørelse af papirmasseproduktion	
10.d Opgørelse af papirproduktion	
10.e Opgørelse af papirvareindustri	
10.f Opgørelse af udvekslinger i forbrugsfasen	
10.g Opgørelse af affaldsfasen	



DEL 1

Kapitel 1 Indledning

Del 1: Indledning

1 Indledning

Del 2: Baggrund

2 Miljøpolitik; Fra fortynding til faktor 4

3 Afkobling og faktor 4

4 Danmarks massestrømme

5 Papir og papirproduktion

Del 3: Problemformulering

6 Problemformulering

Del 4: Massestrømsanalyse

7 Metode til massestrømsanalyse

8 Massestrømsanalyse af papir i Danmark

Del 5: Livscyklusvurdering

9 Metode til livscyklusvurdering

10 Livscyklusvurdering af Danmarks papirforbrug

11 Effektvurdering af Danmarks papirforbrug

12 Opstilling og effektvurdering af scenarier

13 Fortolkning og perspektivering

Del 6: Konklusion

14 Konklusion

1 Indledning

Siden midten af 1990'erne er begrebet afkobling kommet i fokus både internationalt og i Danmark. Afkobling handler om at bryde den traditionelle sammenhæng mellem økonomisk vækst og vækst i ressourceforbrug og miljøpåvirkninger. Tankgangen om afkobling stammer tilbage fra starten af 1970'erne, men er først for alvor kommet i fokus på den miljøpolitiske dagsorden, efter at faktor 4 og faktor 10 konceptet er blevet introduceret. Faktorkoncepterne tilsigter en afkobling, hvor ressourceforbrug til en given ydelse reduceres med en faktor 4 eller 10. Målet med både faktor 4 og faktor 10 er at halvere de globale materialestrømme. Herved forventes det at også de globale miljøpåvirkninger halveres.

I Danmark er afkobling senest blevet bragt op i forbindelse med Danmarks nationale strategi for bæredygtig udvikling i foråret 2001. I strategien er afkobling præsenteret som en af de overordnede målsætninger i dansk miljøpolitik, og det er beskrevet at det ønskes at opnå afkobling med en faktor 4 indenfor 20-30 år.

Denne rapport tager udgangspunkt i faktorkonceptet. Det ønskes belyst, hvorvidt faktor 4 er mulig at nå. Da der bruges mange forskellige ressourcer til mange forskellige produkter, vil en dybdegående undersøgelse af hele Danmarks forbrug af ressourcer være for omfattende indenfor tidsrammen for dette projekt. Derfor vælges det at fokusere på en enkelt massestrøm. I faktorkonceptet er to vigtige nøglebegreber materialestrømme samt livscyklusperspektivet. Derfor er det valgt at foretage en massestrømsanalyse af papir i Danmark, som efterfølgende livscyklusvurderes. Udfra dette gives der et bud på, om det er muligt at opnå en faktor 4 reduktion er indenfor den valgte case, og om det er realistisk at opnå en generel afkobling med faktor 4 i Danmark.

1.1 Initierende problem

Med afsæt i den danske målsætning om at opnå en faktor 4 reduktion indenfor de næste 20-30 år, ønskes det undersøgt, hvorvidt dette er realistisk. Reduktioner i ressourceforbrug og miljøpåvirkninger med faktor 4 er ambitiøse målsætninger, hvorfor det findes interessant at undersøge det nærmere. Det initierende problem for denne rapport formuleres således som følger:

Initierende problem:

Er det realistisk, at opnå afkobling mellem økonomisk vækst og vækst i miljøpåvirkninger og ressourceforbrug med en faktor 4 indenfor 20-30 år i Danmark?

Rapporten er opbygget af seks dele. Disse fremgår af figur 1.a. Efter indledningen præsenteres rapportens anden del, der er bygget op om det initierende problem.

I anden del beskrives det i et historisk tilbageblik, hvordan afkoblingsbegrebet og faktorkoncepterne er kommet på den miljøpolitiske dagsorden. Herefter beskrives Danmarks stofstrømme, og der udvælges en af de beskrevne massestrømme, som vil blive brugt som case i rapportens videre analyser. I slutningen af anden del beskrives produktionssystemet for den valgte case. Efter rapportens anden del præsenteres problemformuleringen. Rapportens fjerde og femte del omfatter en massestrømsanalyse af den valgte massestrøm og en livscyklusvurdering af denne. Rapportens endelige resultater og konklusioner præsenteres afslutningsvis i rapportens sjette og sidste del.

Del	Kapitler	Indhold
1. Indledning	1 Indledning	Kort beskrivelse af rapportens initierende problem og opbygning.
2. Baggrund	2 Miljøpolitik; fra fortynding til faktor 4 3 Afkobling og faktor 4 4 Danmarks massestrømme 5 Papir og papirproduktion	Beskrivelse af miljøpolitikens udvikling i nyere tid, samt af afkoblingsbegrebet og faktorkoncepterne. Overordnet beskrivelse af massestrømme i Danmark, samt udvælgelse af papir som case og en beskrivelse af papir og papirproduktion.
3. Problemformulering	6 Problemformulering	Rapportens formål uddybes.
4. Massestrømsanalyse	7 Metode til massestrømsanalyse 8 Massestrømsanalyse af papir i Danmark	Præsentation af metode til massestrømsanalyse, samt udførelse af en massestrømsanalyse af papir i Danmark.
5. Livscyklusvurdering	9 Metode til livscyklusvurdering 10 Livscyklusvurdering af Danmarks papirforbrug 11 Effektvurdering af Danmarks papirforbrug 12 Opstilling og effektvurdering af scenarier 13 Fortolkning og perspektivering	Præsentation af metode til livscyklusvurdering, samt udarbejdelse af en livscyklusvurdering af Danmarks papirforbrug. Miljøpåvirkninger fra Danmarks papirforbrug opgøres og vurderes. Der opstilles scenarier for mulige tiltag til opnåelse af faktor 4, og det vurderes på denne baggrund hvor langt man kan nå i forhold til faktor 4 indenfor massestrømmen af papir til dansk papirforbrug. Desuden vurderes det om nedsættelse af ressourceforbrug kan medføre nedsættelse af miljøpåvirkninger, og om opnåelse af en faktor 4 afkobling generelt er realistisk.
6. Konklusion	14 Konklusion	Konklusion på rapportens analyser.

Figur 1.a Oversigt over rapportens opbygning



Del 1: Indledning

1 Indledning

Del 2: Baggrund

2 Miljøpolitik; Fra fortynding til faktor 4

3 Afkobling og faktor 4

4 Danmarks massestrømme

5 Papir og papirproduktion

Del 3: Problemformulering

6 Problemformulering

Del 4: Massestrømsanalyse

7 Metode til massestrømsanalyse

8 Massestrømsanalyse af papir i Danmark

Del 5: Livscyklusvurdering

9 Metode til livscyklusvurdering

10 Livscyklusvurdering af Danmarks papirforbrug

11 Effektvurdering af Danmarks papirforbrug

12 Opstilling og effektvurdering af scenarier

13 Fortolkning og perspektivering

Del 6: Konklusion

14 Konklusion

2 Miljøpolitik; fra fortynding til faktor 4

Hvordan er afkoblingsbegrebet kommet ind i den danske miljøpolitik? I dette kapitel beskrives de overordnede træk i udviklingen af den danske miljøpolitik samt de internationale strømninger, der har haft indflydelse herpå og ført til, at afkoblingsbegrebet i dag er blevet en del af den danske miljøpolitik. Der er specielt fokus på problemopfattelse af miljøpåvirkninger samt efter hvilke principper problemerne søges løst.

Den danske miljølovgivning kan spores langt tilbage i tiden alt efter hvordan den defineres. Allerede i Christian V's lov og Jyske lov i 1600-tallet var der bestemmelser om forvaltning af skovens ressourcer. Dog kom de første deciderede miljølove vedrørende forurening ikke før i 1800-tallet. De omhandlede vandløbslovgivning samt forurening fra byer og industri. Indtil 1974, hvor der første gang blev indført en miljøreform, var opfattelsen af miljøproblemer fokuseret på nabokonflikter i form af, at nogle lavede aktiviteter, som ødelagde 'miljøet' for naboen, som herved ikke kunne drive sit erhverv. De få og spredte miljølove, der var før 1974, blev administreret af bygnings- og sundhedskommissioner, og var fokuseret på hensyn til erhverv og sundhed. [Christensen, 2000, s. 62]

I løbet af 1960'erne og i starten af 1970'erne kom der øget international fokus på miljøproblemer. De første miljøorganisationer blev her etableret. International Union of Conservation of Nature (IUCN) og WWF var de første efterfulgt af Friends of the Earth. I FN regi blev UNEP oprettet. Hermed var miljø kommet på dagsordenen, og fandt hurtigt vej ind i politik.

I det følgende beskrives den danske miljøpolitik udvikling efter miljøreformen i 1974, samt de internationale strømninger der ligger bag udviklingen. Udviklingen inddeles i tre perioder på baggrund af de principper, der ligger til grund for miljøreguleringen i Danmark. Den første periode forløber fra 1974 til midten af 1980'erne, hvor nye principper bliver introduceret. Anden periode forløber fra 1986 til 1992, hvor en vis modernisering finder sted i lovgivningen. Sidste periode er efter 1992, hvor bæredygtighedsbegrebet er kommet i fokus.

2.1 Nye principper introduceres (fra 1970'erne til 1985)

Internationale strømninger: I starten af 1970'erne, hvor miljø for alvor begyndte at komme på dagsordenen, præsenterede forskerne Commoner, Ehrlich og Holdren

en ny tilgang til at anskueliggøre årsager til miljøproblemer. På denne baggrund opstillede de IPAT-ligningen, der skulle vise hvorledes miljøpåvirkninger var forbundet med befolkning, velfærd og teknologi. Debatten omkring denne ligning har siden haft stor betydning for miljødebattens fokus. Ifølge ligningen kan miljøpåvirkningen udtrykkes som produktet af tre variable: [Chertow, 2001, s. 15-16]

$$I (\text{environmental Impact}) = P (\text{Population}) \cdot A (\text{Affluence}) \cdot T (\text{Technology})$$

Miljøpåvirkningen (I) er produktet af befolkningens størrelse (P), velstand (A) regnet som økonomiske goder pr. indbygger, og teknologi (T) regnet som miljøpåvirkning pr. enhed produceret økonomisk gode. Med denne ligning blev variablene for forurening tegnet op, og vigtigheden af de enkelte variable blev på denne baggrund bragt til debat.

Baggrunden for IPAT var på den ene side Commoners konklusioner om, at den store vækst siden anden verdenskrig var sket som følge af indførelse af nye mere økonomisk effektive teknologier, som havde den bivirkning, at de medførte øgede miljøpåvirkninger. Således mente Commoner, at problemet var "*Ecological faulty technology*" [Chertow, 2001, s. 14]. På den anden side argumenterede Ehrlich og Holdren for, at problemerne skyldtes befolknings størrelse og forbruget. Denne fokus på sammenhængen mellem miljøpåvirkninger og vækst afspejles desuden i en udgivelse fra Romklubben i 1972 'Grænser for vækst', som fokuserer på, at problemerne omkring befolkningsvækst og forurening ville resultere i en knaphed eller udtømming af ressourcer [Miljøstyrelsen, 1998, s. 9].

1970'ernes miljøbevægelse er således kendetegnet ved, at økonomisk vækst blev sidestillet med øgede miljøpåvirkninger. Følgerne af den opblomstrende debat i 1970'erne var en byge af regulerende aktiviteter som var teknologiske 'end-of-pipe' løsninger. [Chertow, 2001, s. 14]. Selvom de teknologiske end of pipe løsninger ikke har noget direkte at gøre med ressourceeffektivisering og afkobling mellem økonomisk vækst og miljøpåvirkninger, så fremgår det med T-komponenten i IPAT-ligningen, at der allerede på dette tidspunkt var en problemforståelse, der illustrerer princippet ved afkobling.

Dansk miljøpolitik: I 1970'erne ændredes også den danske forståelse af miljøproblemer, fordi udstrækningen af problemerne blev mere synlig. Således kom der en række nye miljølove: Miljøbeskyttelsesloven (1973), Vandforsyningsloven (1973), Lov om lands- og regionplanlægning (1973) og Lov om kommuneplanlægning (1975). Med disse love, som tilsammen udgjorde den første miljøreform, blev der

introduceret en række virkemidler, som miljøreguleringen skulle baseres på. Disse principper er:

- Forureneren betaler
- Afvejningsprincippet
- Afbødende foranstaltninger
- Recipientprincippet
- Fortyndingsprincippet

[Christensen, 2000, s. 81]

Princippet om at forureneren betaler går ud på, at udgifterne til at efterleve miljøkrav skal afholdes af forureneren. Er der eksempelvis miljøkrav til en virksomheds udledning fra skorsten, skal virksomheden selv betale for røgrensning. Princippet er desuden slået fast både i OECD og EU, og har siden stået urørt hen. I praksis er der dog ofte tale om at forureneren får tilskud til at foretage afbødende foranstaltninger. [Christensen, 2000, s. 81]

Afvejningsprincippet også kaldt proportionalitetsprincippet siger, at der skal være forholdsmæssighed mellem mål og midler. Med andre ord skal der være en fornuftig miljøgevinst ved de tiltag der kræves. Således må miljøgevinsten ikke være forholdsvis lille i forhold til specielt de økonomiske omkostninger. Afvejningsprincippet kan opfattes som industriens interesse i at miljøtiltag ikke bliver for omfattende. [Christensen, 2000, s. 82]

Afbødende foranstaltninger er indgreb, der foretages for at begrænse forureningen. Dette er ofte karakteriseret ved, at forureningen som følge af én teknologi løses ved at sætte en ny teknologisk komponent uden på teknologien. Der er således ofte tale om 'end of pipe' løsninger som eksempelvis højere skorstene, længere spildvandrsrør eller rensning. Der var med miljøbeskyttelsesloven i 1973 ingen krav til hvilken teknologi, der skulle anvendes men i stedet til de afbødende foranstaltninger. Med andre ord blev der stillet bebyrdende krav til ejeren af produktionsmidlerne, men der blev ikke grebet ind i retten til at bestemme hvordan, der produceres. [Christensen, 2000, s. 83]

Recipientprincippet tager udgangspunkt i, at der er forskel på recipienter og deres tålegrænser. Disse betragtes enten som robuste eller sårbare. Princippet går ud på, at der tages hensyn til virksomhedernes nære recipienter, og at der kan sættes krav til, hvor hvilke aktiviteter må foregå. Fortyndingsprincippet læner sig op ad recipientprincippet på den måde, at recipienterne opfattes som forskellige, men i fortyndingsprincippet udvides differentieringen så recipienterne karakteriseres i forhold

til den forureningsmængde de kan tåle. Ved at lave højere skorstene, længere spildevandsrør og flytte industrien udenfor byen bliver forureningen fortyndet til under tålegrænsen. Fortyndingsprincippet er således baseret på en antagelse om, at økosystemerne har en selvrensende effekt. [Christensen, 2000, s. 81-85]

Det ses, at principperne i høj grad er i overensstemmelse med 'end of pipe' tankegangen. Dette gælder både princippet om afbødende foranstaltninger, recipient- og fortyndingsprincippet.

2.2 Modernisering af lovgivningen (fra 1986 til 1992)

Internationale strømninger: I 1980'erne ændredes opfattelsen af, at økonomisk vækst nødvendigvis betyder øget forurening. Brundtland-kommissionen konkluderede i rapporten 'Vor fælles fremtid' i 1987, at hvis menneskeheden skulle have en positiv fremtid, så måtte vækst kunne sameksistere med reducerede miljøpåvirkninger. Der blev sat begreb på dette med 'bæredygtig udvikling', der lægger op til en ny æra i miljøpolitikken med udgangspunkt i vækst bygget på forholdsregler, som kan opretholde og udvikle ressourcegrundlaget [FN-forbundet og Mellemlfolkeligt Samvirke, 1987, s. 210]. Bæredygtig udvikling defineres i 'Vor fælles fremtid' som: "... en udvikling som opfylder nuværende generationers behov uden at bringe fremtidige generationers mulighed for opfyldelse af deres behov i fare" [FN-forbundet og Mellemlfolkeligt Samvirke, 1987, s. 20]. I 'Vor fælles fremtid' tales der om bæredygtig vækst og behovet for global vækst. Den globale vækst skal fungere som igangsætter for vækst i Ulandene og være baseret på teknologisk fornyelse. Derfor skal den økonomiske vækst kobles fra et stigende ressourceforbrug. [Miljøstyrelsen, 1998, s. 9]. Brundtland-kommissionen peger således på, at det er IPAT-ligningens T-komponent, der skal 'redde' verden, og at dette skal ske ved afkobling mellem vækst og ressourceforbrug og miljøpåvirkninger.

Præsidenten for World Ressource Institute, James Gustav Speth, konverterer i samme periode Commoners fordømmende 'ecological faulty technology' til at udtrykke håb om teknologisk transformation. Der argumenteres for, at fokus skal være på faktoren T i IPAT-ligningen udfra, at det er den letteste måde at opnå en reduktion af miljøpåvirkningen. Selv med en stor indsats vil det være svært at stabilisere jordens befolkning på det dobbelte af i dag, og for 80% af jordens befolkning er øget velstand et basalt mål. Derfor blev det vurderet, at faktorerne P og A var sværere at ændre på end T. [Chertow, 2001, s. 21]

Med den ændrede tilgang til vækst og miljøpåvirkninger i 80'erne bliver fokusområdet renere teknologi, og det forudsættes, at der via teknologiske ændringer kan opnås en afkobling mellem vækst og miljøpåvirkninger.

Dansk miljøpolitik: I 1980'erne indså man i dansk miljøpolitik, at det ikke var nok at fortynde og rense ved at flytte forureningen fra et medie til et andet. Miljøproblemerne blev ikke reduceret, og denne løsning var for bekostelig. Man oplevede eksempelvis, at de højere skorstene blot flyttede miljøproblemerne, man så forurende søer i Sverige, og de lange spildevandsrør medførte iltsvind i Kattégat. Rensning af røggas og spildevandsslam, som før havde været en løsning, viste sig nu blot at skabe nye problemer i form af farligt affald. Samtidig blev globale miljøproblemer som drivhuseffekt og nedbrydning af ozonlaget mere presserende. Fokus blev derfor flyttet fra filterstrategien til forebyggelse af forurening ved kilden. Med forebyggelsesstrategien blev en række nye principper fremherskende i sidste halvdel af 1980'erne. Disse er:

- Renere teknologi-princippet
- Kredsløbsprincippet
- Affaldshierarki-princippet
- Forsigtighedsprincippet
- Bæredygtighedsprincippet

[Remmen, 2001, s. 54-55; Christensen, 2000, s. 85]

I 1986 blev renere teknologi-princippet indført i miljøloven. Dette skete ved, at tidshorisonten på en miljøgodkendelse blev ændret fra at være ubegrænset til kun at gælde i otte år. Begrundelsen herfor var, at der efter otte år kunne stilles skærpede krav, hvis der var udviklet bedre rensningsformer eller mindre forurenende produktionsmetoder. Dette blev skærpet i miljøloven i 1991, hvor det blev indført i formålsparagraffen, at det med loven tilsigtes at fremme renere teknologi. [Christensen, 2000, s. 86-87]. Renere teknologi er ifølge Miljøstyrelsen i 1990 defineret: ”Ved renere teknologi forstås først og fremmest produktionsteknologier, som er mindre forurenende end de hidtil kendte. Traditionelle forureningsbegrænsende foranstaltninger som filtre og lignende er ikke omfattet af begrebet, fordi disse teknologier hovedsageligt ændrer en form for forurening til en anden ... Ideelt indebærer princippet om renere teknologi, at vurderinger af hele produktkredsløbet inddrages, når forureningen søges begrænset. Det vil sige miljøeffekterne af ressourcefremskaffelsen, produktionen, forbruget såvel som bortskaffelsen af produkterne tages op til overvejelse” [Miljøstyrelsen, 1990, s. 13].

Med indførelsen af renere teknologi-princippet i 1986 blev der fokuseret på at reducere ressourceforbrug og udledninger ved produktionsprocessen. Fordelene ved denne fokusering var at 'lavthængende frugter' kunne plukkes. Det vil sige, de mest oplagte reduktioner kunne opnås ved simple optimeringer og ændringer af arbejdsrutiner, hvilket gav både miljømæssige og økonomiske fordele for virksomhederne. Svagheden var, at indsatsen ofte var begrænset til enkeltstående projekter, som var færdige, når de var afrapporteret til Miljøstyrelsen. Desuden blev organisatoriske forhold underbetonet, det vil sige fokus var på det tekniske frem for det organisatoriske. [Remmen, 2000, s. 9]

Kredsløbstankegangen vandt indpas fordi man indså, at kravet om miljøgodkendelser af de enkelte virksomheder ikke var et tilstrækkeligt virkemiddel til at bekæmpe miljøproblemerne. Man begyndte derfor at lave handlingsplaner for hele kredsløb. Eksempler herpå er kvoter for kraftværkernes udledning af SO₂ og vandmiljøplanen. Med de nye handlingsplaner blev fortyndingsprincippet reelt sat ud af kraft, idet der blev lavet ensartede grænseværdier for alle renseanlæg og endog skærpede krav for de sårbare recipienter. Herved blev betydningen af recipientprincippet også nedtonet. Kredsløbsprincippet blev skrevet ind i miljøloven i 1991. Her blev det formuleret, at der ved bedømmelsen af omfanget og arten af foranstaltninger til forebyggelse af forurening skulle lægges vægt på omgivelsernes beskaffenhed og forureningens virkning herpå, samt at der skulle lægges vægt på hele kredsløb med henblik på at begrænse spild af ressourcer mest muligt. Med kredsløbstankegangen signaleres, at virksomheders forurening skal ses i et bredere perspektiv fra 'vugge' til 'grav'. [Christensen, 2000, s. 85-88]

Principperne om renere teknologi og kredsløbstankegangen er også udmøntet i affaldshierarkiet også kaldt substitutionsstigen. Dette indebærer en prioritering af affaldsbehandling i nævnte rækkefølge: Genanvendelse, forbrænding og deponering. Tanken bag dette princip er, at begrænse anvendelse og spild af råstoffer og andre ressourcer. [Christensen, 2000, s. 88]

Forsigtighedsprincippet blev ligeledes indskrevet i miljøloven i 1991. Princippet går ud på, at tvivl og risici skal tages alvorligt allerede før teknologier tages i brug. Herved vendes 'bevisbyrden' fra miljøet til industrien. Princippet kan således sammenlignes med afvejningsprincippet, blot hvor hensynet er miljøet frem for industrien. Det sidste princip, der blev indskrevet ved miljøloven i 1991, er princippet om bæredygtighed. Princippet indebærer, at udvikling sker på en sådan måde, at der tages vare på miljøet samtidig med, at jordens befolkning får tålelige og retfærdige levevilkår. Integrering af miljøhensyn i alle beslutninger, forebyggelse

og renere teknologi er alle vigtige elementer i bæredygtig udvikling [Christensen, 2000, s. 89].

Siden midten af 1980'erne har det overordnede princip i dansk miljøpolitik således været forebyggelse frem for de tidligere end-of-pipe principper, der kendetegnede perioden fra 1974 til 1985. Det fremgår, at dette med tiden er blevet udviklet i takt med ændrede problemforståelser, strategier og politikker. Introduktionen af begrebet 'Bæredygtig udvikling' har haft stor betydning herfor. Fra 1992 og frem til i dag er der sket en yderligere udvikling, og nye principper er blevet introduceret i miljøpolitikken. Dette beskrives i næste afsnit.

2.3 Perioden efter bæredygtig udvikling er introduceret

Internationale strømninger: I forlængelse af Brundtland-kommissionens rapport afholdte FN en global konference om Miljø og Udvikling i Rio de Janeiro i 1992. Op til konferencen præsenterede 50 virksomhedsledere organiseret i Business Council of Sustainable Development med udgivelsen 'Changing Course' bæredygtig udvikling set ud fra det globale forretningslivs perspektiv. I deres rapport henvises til Brundtland-rapporten, hvor det fremgår, at en forudsætning for bæredygtig udvikling er hurtig økonomisk vækst. Derfor er virksomhedernes udfordring at kunne udarbejde strategier for at maksimere økonomisk vækst samtidig med, at ressource- og energiforbrug minimeres [Schmidtheiny, 1992, s. 9]. Med udgivelsen 'Changing Course' blev begrebet 'eco-efficiency' sat på den internationale dagsorden. 'Øko-effektive' virksomheder blev defineret som de, der kunne skabe vækst samtidig med en reduktion af ressourceforbrug og forurening. [WBCSD, 2000a, s. 9]. Eco-efficiency tager udgangspunkt i produktionsprocesserne og de enkelte produkter. Med 'eco-efficiency' bliver afkoblingsbegrebet yderligere konkretiseret. Eco-efficiency er et koncept, der går ud på, at reducere forurening pr. produceret enhed, som defineres af faktoren T i IPAT-ligningen [Chertow, 2001, s. 22].

Der har været meget debat om hvorledes Brundtland-kommissionens anbefalinger om bæredygtig vækst og herunder afkobling gøres operationelle. Hverken IPAT-ligningen eller 'eco-efficiency' kan kvantificere forholdet mellem teknologi og miljøpåvirkning således, at målsætningen om bæredygtighed bliver konkret [Chertow, 2001, s. 24]. I forsøget på at gøre afkoblingsbegrebet operationelt, er der præsenteret flere tilgange og udviklet begreber til at anskueliggøre dette. To eksempler herpå er: Økologisk råderum og faktorstrategierne [Miljøstyrelsen 1998, s. 10-15].

Begrebet 'Økologisk råderum' blev sat på dagsordenen i et samarbejde mellem det Hollandske Friends of the Earth og Wuppertal-instituttet med rapporten 'Mod et bæredygtigt Europa' [Friends of the Earth, 1995]. I den rapport søges begrebet 'bæredygtig udvikling' konkretiseret, således at man kan beregne det økologiske råderum, og bæredygtig udvikling defineres til at være, når man holder sig indenfor dette. Økologisk råderum er defineret som: *'Forbruget af fornyelige såvel som ikke-fornyelige ressourcer skal begrænses til niveauer, der sikrer kommende generationer samme muligheder, som vi har i dag'* [Friends of the Earth, 1995, s. 9]. Det økologiske råderum kan kvantificeres, og beregnes som den mængde energi, ikke-fornyelige ressourcer, landbrugsjord, tømmer og ferskvand vi kan bruge, uden at vi hindrer fremtidige generationer i at få adgang til de samme mængder. Det økologiske råderum er forskelligt alt efter for hvilken ressource det beregnes. Økologisk råderum bygger på tre principper: Forsigtighedsprincippet, nærhedsprincippet samt lighedsprincippet. Sidstnævnte går ud på, at alle mennesker på jorden har samme ret til at bruge af jordens ressourcer. Referenceåret for økologisk råderum er år 2010. Det vil sige, at der inden da skal ske en omfattende omfordeling. I år 2010 beregnes det økologiske råderum for alle lande på baggrund af befolkningsprognoser, og herefter fastfryses dette. Det påpeges, at der skal ske en radikal effektivisering af ressourceudnyttelsen for at nå det økologiske råderum. [NOAH, 1995, s. 9-11]

Faktorstrategierne og eco-efficiency er beslægtede begreber, der tager udgangspunkt i begrebet 'bæreevne' (carrying capacity). Bæreevne er lånt fra biologien, hvor det bruges til at angive hvor mange individer, der kan leve på et givent areal, uden at ressourcebasen forringes med følgende nedgang i populationen. Når bæreevne anvendes i forbindelse med det menneskelige ressourceforbrug, sættes der fokus på, at der er grænser for, hvor store påvirkninger det naturlige økosystem kan understøtte. Det være sig befolkningstal pr. arealenhed og forbrug pr. indbygger. [Miljøstyrelsen, 1998, s. 10, 14]. Faktor 4 og 10 tager udgangspunkt i at produktiviteten i udnyttelsen af naturressourcer og materialer skal forøges [Weizsäcker, 1997, introduktion, s. 17]. På dette punkt er der ligheder mellem økologisk råderum og faktorstrategierne. Desuden er målsætningen om en reduktion af ressourceforbruget til en tiendedel i faktor 10 strategien det samme som i begrebet økologisk råderum, idet dette ifølge Wuppertal Instituttet i [Friends of the Earth, 1995] er et mål for, hvor meget råvaretilførslen skal reduceres for, at der er tale om bæredygtig udvikling. Forskellen på faktor 4 og 10 er, at faktor 4 skal opfattes på et tidligere trin i udviklingsprocessen [Weizsäcker et al., 1997, s. 69]. Det vil sige, de to strate-

gier i faktorkonceptet har samme mål om en faktor 10 reduktion, hvor faktor 10 kan opfattes som et mere langsigtet mål end faktor 4. [Miljøstyrelsen, 1999, s. 35]

Forskellen på 'eco-efficiency' og faktorbegrebet er, at faktor 4 og 10 angiver konkrete mål for indsatsen for at nå en bæredygtig udvikling, hvor der med 'eco-efficiency' blot antydes, at der skal ske en effektivisering. [Miljøstyrelsen, 1999, s. 33]

Dansk miljøpolitik: Siden 1992 og frem til 1996 har omdrejningspunktet for den forebyggende miljøindsats været at fremme en bæredygtig udvikling ved hjælp af miljøledelse frem for tidligere, hvor fokus var på renere produktion. Der er således sket en drejning indenfor renere teknologiprincippet fra, at fokus var på processer og produktion til at være på de organisatoriske forhold. Dette er primært sket ved 'husmandsmodeller' for miljøledelse eller i form af certificering i henhold til ISO 14001 eller EMAS. Fokus blev herved udvidet til også at omfatte de organisatoriske forhold udover teknikken. Det er et krav i disse standarder, at der løbende bliver foretaget miljøforbedringer, hvilket er en klar skærpelse i forhold til renere teknologi i form af afsluttede projekter. En anden fordel er, at miljøledelsen nu er en systematisk aktivitet, samt at virksomhedernes image i offentligheden forbedres. En potentiel svaghed er, at det kan være svært at blive ved med at foretage løbende miljøforbedringer. [Remmen, 2000, s. 11-12]

I 1996 udgav Miljøstyrelsen et debatoplæg om '*En styrket produktorienteret miljøindsats*'. Dette blev i 1998 fulgt op af, at Folketinget vedtog et tilskudsprogram for en styrket produktorienteret indsats. Programmet omfatter tilskud til projekter indenfor områderne: Videnopbygning, produktudvikling, markedsudvikling og affald og genanvendelse [Miljø- og Energiministeriet, 1999, s. 477]. Problemforståelsen bag dette er, at den hidtidige forebyggende miljøindsats havde været vellykket med hensyn til en reduktion af miljøbelastning fra produktionen. Men i erkendelse af at de største miljøproblemer fremover vil være knyttet til det generelle ressourceforbrug i samfundet samt brugen og bortskaffelsen af visse produkter, blev programmet vedtaget. Et andet aspekt er en antagelse om, at virksomhederne vil få globale markedsfordele ved at være på forkant med udviklingen på miljøområdet. [Remmen, 2000, s. 15]

Forståelsen af miljøproblemer har således ændret sig fra at være fokuseret på røg, støj og møg fra produktionsprocessen til at omfatte hele produktets livscyklus. Strategien er gået fra at være teknisk optimering af eksisterende produktionsprocesser til, at der lægges vægt på miljøledelse, brancheorienterede aktiviteter, aktiv

involvering af aktørerne samt udvikling og markedsføring af renere teknologi. Diskursen indenfor forureningsforebyggelse eller renere teknologi har således groft sagt udviklet sig fra *renere produktion* over *miljøledelse* til *renere produkter*. Dette er i overensstemmelse med tendensen mod en mere helhedsorienteret og bæredygtig udvikling.

Ud over at styrke en produktorienteret indsats i industrien har regeringen også taget begreberne 'Økologisk råderum' og 'faktor 4 og 10' til sig. Økologisk råderum blev introduceret i 1995 i regeringens Natur- og miljøpolitiske redegørelse, hvor det er defineret som: "... den mængde naturressourcer (luft, vand, jord, mineraler, energikilder, naturområder, planter og dyr mv.), der kan bruges pr. år, uden at vi forhindrer fremtidige generationer i at få adgang til den samme mængde og kvalitet." [Miljø- og Energiministeriet, 1995, s. 27].

Med regeringens Natur- og miljøpolitiske redegørelse i 1999 er økologisk råderum gledet ud af den danske miljøpolitik og erstattet med faktorbegrebet. Der henvises til, at de foreløbige undersøgelser med faktor 4 og 10 viser, at "... faktorperspektivet kan bruges som udgangspunkt for analyser af produktions- og forbrugsmønstre i et livscyklusperspektiv og dermed danne baggrund for udvikling af helhedsorienterede strategier for reduktion af miljøbelastningen og ressourceforbruget." [Miljø- og Energiministeriet, 1999, s. 517]. Senest henvises til faktorbegrebet i regeringens nationale strategi for bæredygtig udvikling hvor faktorbegrebet er beskrevet som en målsætning på ressourceområdet. Af de to tilgange er det i dag faktorstrategierne, der har vundet størst udbredelse, både i international sammenhæng og i den danske miljøpolitik.

Der er altså i løbet af de sidste godt tyve år sket en holdningsændring internationalt såvel som nationalt. Man er gået fra at opdage, at der er en sammenhæng mellem økonomisk vækst og miljøpåvirkninger, og som følge heraf føre en oprydningspolitik, hvor forurening blev flyttet så langt væk som muligt. I dag 20 år senere forsøges det, at afkoble denne sammenhæng mellem økonomisk vækst og ressourceforbrug og forurening ved at følge produkter fra vugge til grav med henblik på at reducere forureningen over hele forløbet. Dette søges i miljøpolitikken realiseret med faktorstrategierne, som beskrives yderligere i næste kapitel.



DEL 2

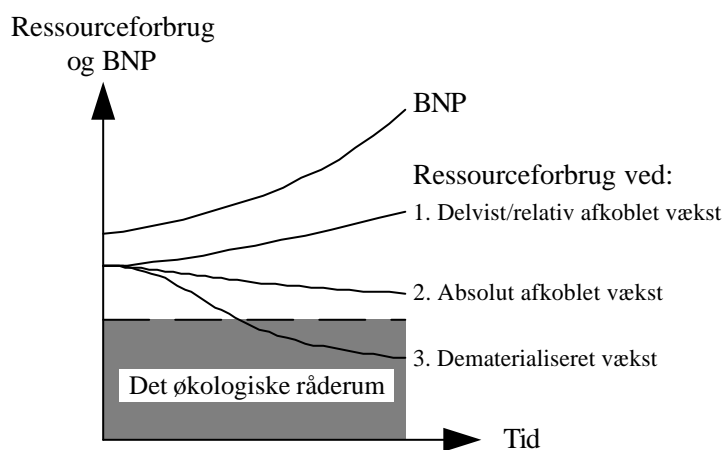
Kapitel 3 Afkobling og faktor 4

3 Afkobling og faktor 4

I det foregående kapitel er det beskrevet, hvordan afkoblingsbegrebet er kommet ind på den miljøpolitiske dagsorden, og hvordan begrebet senere er inddraget i bæredygtighedsbegrebet, hvor det er blevet konkretiseret med blandt andet begreberne *eco-efficiency*, *økologisk råderum* og *faktorbegrebet*. I dette kapitel beskrives afkoblingsbegrebet og faktorstrategierne yderligere, og det defineres, hvad der lægges i begreberne i denne rapport. Endvidere beskrives det, hvorledes begreberne anvendes i dansk miljøpolitik.

3.1 Afkobling

Afkobling er et bredt defineret begreb, og forståelsen af hvad der lægges i begrebet er ikke entydig. I international kontekst anvendes forskellige termer til beskrivelse af begrebet. Således anvendes både *adskilt vækst*, *dematerialisering* og *decoupling* [Friends of the Earth, 1995, s. 127; Persson, 1997]. I andre forbindelser er dematerialisering afgrænset til kun at dække over afkobling, når ressourceforbruget reduceres til at befinde sig i det økologiske råderum, hvilket fremgår af figur 3.a. Friends of the Earth har i 'Mod et bæredygtigt Europa' illustreret betydningen af de forskellige begreber. Dette er vist i figur 3.a.



Figur 3.a. Oversigt over definitioner på begreber under 'afkobling'. Økonomisk vækst er i figuren afbildet som BNP. Frit efter [Friends of the Earth, 1995, s. 133].

I denne rapport er det valgt at bruge samme terminologi som i figur 3.a. Dog fremstår afkobling i figur 3.a, som om begrebet kun omhandler forholdet mellem økonomisk vækst og ressourceforbrug. I andre sammenhænge som beskrevet i kapitel 2 omfatter afkoblingsbegrebet imidlertid både ressourceforbrug og miljøpåvirkninger. På denne baggrund vælges det i denne rapport, at opfatte afkoblingsbegrebet som omfattende både ressourceforbrug og miljøpåvirkninger. Det vil sige, at afkobling forstås som *Reduktion af miljøpåvirkninger og jordens menneskeskabte*

massestrømme samtidigt med fortsat økonomisk vækst. I figur 3.a henviser delvist/relativ afkoblet vækst til, at sammenhæng mellem økonomisk vækst og vækst i det pågældende lands ressourceforbrug til dels ophører. Relativ afkobling betyder, at forholdet mellem ressourceforbrug og økonomisk vækst således godt kan være faldende samtidig med en vækst i forbruget af ressourcer, som skyldes en endnu større økonomisk vækst. Med absolut afkoblet vækst forstås at sammenhængen mellem økonomisk vækst og ressourceforbrug helt er ophørt, samt at ressourceforbruget er faldende. Dematerialiseret vækst beskriver en situation, hvor ikke blot sammenhæng mellem økonomisk vækst og vækst i ressourceforbrug er ophørt, men at ressourceforbruget desuden reduceret, så det er indenfor det økologiske råderum. Denne reduktion varierer alt efter hvilken ressource der er tale om. For energi peges der i [Friends of the Earth, 1995] eksempelvis på en reduktion til en tiendedel af det nuværende forbrug. Det vil sige, at dematerialiseret vækst er en form for kvantificeret afkobling. Dematerialiseret vækst har således i et vist omfang samme betydning som faktorbegrebet, idet faktorbegrebet ligeledes angiver et mål for reduktion af ressourceforbruget. Faktorbegrebet beskrives yderligere i det følgende afsnit.

3.2 Faktorstrategierne

Faktorbegrebet har udspring fra Wuppertal-instituttet i Tyskland, hvor 'faktor 10 klubben', som er en gruppe af forskere og erhvervsfolk, der i 1994 udgav 'Carnoules Declaration of the Factor 10 Club'. Her tales for, at det er nødvendigt at halvere de globale stofstrømme for, at der også skal være økologisk råderum til de følgende generationer. Faktor 4 begrebet blev formuleret i 1997 af Weizsäcker, Lovins og Lovins med udgivelsen '*Factor Four – Doubling Wealth, Halving Resource Use*'. Bogen er skrevet af tre forfattere, den ene fra Wuppertal Instituttet i Tyskland, de to andre fra Rocky Mountains Instituttet i USA. Faktor 4 henviser til en ressourceeffektivitet, øget med en faktor 4 i forhold til i dag, hermed forstået en fordobling af velfærden med den halve mængde ressourcer. I IPAT-termer betyder dette, at der skal opnås $0,5(I) = P \cdot 2(A) \cdot 0,25(T)$. Teknologisk udvikling defineres hverken som reduktion i forurening eller som en forøgelse af arbejdsproduktiviteten separat, men derimod som en forøgelse af produktiviteten af ressourcer.

Begge faktorstrategier sigter mod et mål om at halvere de globale materialestrømme. Forskellen på faktor 4 og faktor 10 er, at faktor 10 er et mere langsigtet mål, mens faktor 4 er et trin tidligere i udviklingen mod målet. Tidshorizonten for faktor 4 er 20-30 år og 50 år for faktor 10. Denne forskel er konkret udmøntet i, at den sociale dimension er medtaget i faktor 10. Det vil sige lighedsbetragtninger mellem generationer og mellem verdens lande er inddraget. Der peges på, at hvis den sam-

lede globale stofstrøm skal halveres og fordeles ligeligt på jordens befolkning, betyder det, at ressourceforbruget i de industrialiserede lande må reduceres med en faktor 10. Dette vurderes nødvendigt, for at I-landene kan opretholde deres velfærd, samtidig med at der miljømæssigt også er råd til, at U-landene kan opnå samme velfærd. [Miljøstyrelsen, 1999, s. 36]

Faktor 4 og 10 blev introduceret i miljøpolitikken i forbindelse med FN's særlige generalforsamling i 1997, der blev afholdt som opsamling på Rio-konferencen fem år tidligere. I slutdokumentet herfra anbefales det især de industrialiserede lande, at de bør undersøge faktor 4 og faktor 10 reduktionsmålsætningerne nærmere [Miljøstyrelsen, 1998, s. 12].

Ifølge [Weizsäcker et al., 1997, introduktion s. 18] lægges der i første gang op til, at velfærden fordobles, mens ressourceforbruget halveres, således at man opnår en afkobling med en faktor 4. Dette gælder ligeledes i Danmarks nationale strategi for bæredygtig udvikling, hvor betydningen af faktor 4 er formuleret ved ”... *at resourceeffektiviteten øges med en faktor 4 i forhold til dagens niveau – det vil sige en fordobling af velfærden med en halvering af ressourceanvendelsen*” [Regeringen, 2001a, s. 4].

Det vælges at fokusere på målopfyldelse af faktor 4 i denne rapport. Dette begrundes med, at det vil være mere realistisk at give et bud på en mulig løsning indenfor en tidshorisont på 20-30 år frem for 50 år, og det vil således være svært at tage højde for nye teknologier og ændrede behov og værdinormer på lang sigt.

3.3 Hvad måles en faktor 4 reduktion i forhold til?

Men, hvad er det konkret der skal reduceres med en faktor 4, og hvordan opgøres dette? Der er i dag bred enighed om, at afkoblings- og faktorbegrebet skal nås ved indtænkning af resourceeffektivisering i produktdesignfaser, minimering af materialer og energi i produktionsfaser og brugsfasen, samt genbrug og dermed minimal affaldsgenerering i afskaffelsesfaser. [Persson, 1999, s. 61, Weizsäcker et al., 1997, s. 68]. Med andre ord skal en opnåelse af faktor 4 vurderes ud fra et livscyklusperspektiv.

Det er indtil nu beskrevet, at faktor 4 indebærer en reduktion af ressourceforbrug og miljøpåvirkninger ved resourceeffektivisering. Grundlæggende kan effektiviseringen vurderes på tre måder:

- Reduktion af ressourceforbrug og miljøpåvirkninger pr. enkelt produkt, serviceenhed eller værdienhed

- Reduktion af samfundets ressourceforbrug og miljøpåvirkninger i forhold til samfundets værditilvækst (værditilvækst kan eksempelvis være BNP pr. indbygger)
- Absolut reduktion af samfundets ressourceforbrug og miljøpåvirkninger [Miljøstyrelsen, 1999, s. 36]

Førstnævnte punkt tager udgangspunkt i begrebet 'eco-efficiency', det vil sige primært med fokus på produkter og produktionsprocesser. Dermed er det primært industrien, som er målgruppen, idet det er dem, der skal foretage denne effektivisering. Måling af effektivitet på dette niveau vil være relativ jævnfør figur 3.a, og vil blive udtrykt som ressourceforbrug og miljøpåvirkninger pr. produceret enhed. Måling af faktor 4 på dette niveau har ifølge OECD den svaghed, at øget effektivisering ikke blot fører til reduktion af ressourceforbrug og miljøpåvirkninger, men også øget aktivitet på grund af lavere produktionsomkostninger. Den øgede aktivitet medfører, at en del af reduktionen opvejes. [Miljøstyrelsen, 1999, s. 36]. Derfor er det også nødvendigt at arbejde mod et mere absolut mål for de samlede reduktioner. Denne indsats skal varetages af det politiske system, der skal medvirke til samfundsmæssige forandringsprocesser, så målet kan nås.

De to sidstnævnte punkter refererer modsat det første punkt til overordnede mål for samfundet. Forskellen på de to sidstnævnte punkter er, at effektivitet ved det første punkt måles i forhold til samfundets værditilvækst eksempelvis BNP, hvor punkt to henviser til en absolut reduktion. Reduktionen i forbindelse med det første punkt kaldes relativ afkobling. Hvis effektivitet måles i forhold til samfundets værditilvækst, vil målet om faktor 4 kunne opnås udelukkende ved økonomisk vækst. Derfor bør opgørelser af effektivitet på denne måde tages med et vist forbehold.

Faktorkonceptet kan ud fra ovenstående opfattes således, at der sigtes mod en forøgelse af ressourceproduktivitet og reduktion af miljøpåvirkninger på virksomhedsniveau samtidig med, at der på samfundsniveau sigtes mod et overordnet mål om mindst at halvere den samlede globale miljøbelastning.

Af afsnit 3.2 fremgår det, at fordelingsmæssige overvejelser, om hvem der i størst omfang forbruger ressourcer og påvirker miljøet, indebærer, at de rige lande på sigt forudsættes at reducere deres andel af den samlede miljøpåvirkning med væsentlig mere end halvdelen. Derfor tolker Miljøstyrelsen målene i faktorkonceptet som absolutte reduktioner for de rige landes ressourceforbrug og miljøpåvirkninger. Øget 'eco-efficiency' i produkt- og produktionssammenhæng skal ses som et middel til opnåelse af det samlede mål, og vurderes i forhold hertil. [Miljøstyrelsen,

1999, s. 36]. Der er imidlertid tvivl om hvorvidt Regeringen opfatter faktor 4 som en relativ eller absolut reduktion. Således fremgår det af [Regeringen 2001a, s. 4] dels at *"På lang sigt skal vi begrænse forbruget af ressourcer til ca. 25% af det nuværende forbrug"* og dels at *"Faktor 4 betyder at ressourceeffektiviteten øges med en faktor 4 i forhold til dagens niveau, det vil sige en fordobling af velfærden med en halvering af ressourceanvendelsen"*. I denne rapport tages der udgangspunkt i absolutte reduktioner.

3.4 Hvad måles faktor 4 i?

I de foregående to afsnit er det beskrevet, at der skal ske en effektivisering, så der nås en absolut reduktion af samfundets ressourceforbrug og miljøpåvirkning med en faktor 4 og på længere sigt med faktor 10. Men hvordan måles effektivitet? Stifteren af 'Factor 10 club' Schmidt-Bleek introducerede i forbindelse med faktor 10 konceptet i 1994 begrebet MIPS (materialeinput pr. serviceenhed), det vil sige det samlede ressourceforbrug, der går til frembringelse af en given ydelse [Weizsäcker et al., 1997, s. 68]. Effektivisering skal således udregnes på følgende måde:

$$\text{Effektivitet} = \frac{\text{input}}{\text{output}}$$

Faktor 4 er så opnået, når værdien af denne brøk er reduceret til en fjerdedel. I det følgende beskrives de to elementer i ovenstående ligning, der divideret med hinanden skal give 4 for at nå målet om en faktor 4 effektivisering.

Outputtet er en måleenhed for den ydelse samfundet, virksomheden eller individet er interesseret i. Hvis der var tale om en vurdering af Danmarks fødevarerforsyning, kunne outputtet eksempelvis regnes i fødevarernes energiindhold. En sådan måleenhed ville imidlertid give det problem, at måleenheden ikke nødvendigvis repræsenterer samfundets interesse. Således kunne konklusionen af en sådan undersøgelse være, at det blev anbefalet, at Danmark skulle basere sin fødevarerforsyning udelukkende på vegetabiliske produkter. Da det ikke er sandsynligt, at vi alle vil være med til at blive vegetarer, ville en bedre måleenhed for outputtet være x kg kød og x kg vegetabiliske produkter pr. indbygger.

Outputtet kan principielt betragtes på tre måder:

- Et produkt, eksempelvis en bil, et tv eller lignende
- En ydelse, eksempelvis at blive transporteret fra a til b
- Værdienheder, eksempelvis BNP pr. indbygger

[Miljøstyrelsen, 1999, s. 37]

Alt efter hvilket område man ønsker at belyse samt dets niveau, det vil sige virksomheds-, sektor- eller samfundsniveau, vælges en passende måleenhed for outputtet. I [Persson, 1999, s. 66] argumenteres der for, at tilgangen til faktorkonceptet på mange områder er kompatibel med en livscyklusvurdering. Det gælder både med hensyn til tidshorizonten fra 'vugge' til 'grav', samt at input beregnes i forhold til en funktionel enhed. Den funktionelle enhed i en livscyklusvurdering svarer således til outputtet i faktorkonceptet.

Inputtet er i forbindelse med MIPS en samlet betegnelse for det ressourceforbrug og de miljøpåvirkninger, der er knyttet til frembringelse af et givet output. Det vil sige, inputtet eksempelvis kan være råvarer, energi, emissioner og påvirkning af landskaber. [Miljøstyrelsen, 1999, s. 38]

I faktorkonceptet er inputtet derimod begrænset til kun at omfatte ressourceforbrug, det vil sige de egentlige fysiske ressourcer, der indgår i produktion og forbrug. Denne begrænsning er begrundet med, at fokus skal drejes væk fra traditionelle miljøbelastninger, og at man i stedet skal fokusere på kilden til de overordnede problemer, nemlig hvor naturressourcerne hentes ind i økonomien. [Weizsäcker et al., 1997, s. 249; Miljøstyrelsen, 1999, s. 38]

Det påstås altså, at en reduktion af det samlede materialeinput i samfundet vil medføre en tilsvarende nedgang i miljøpåvirkninger. Et samfunds samlede materialeinput er imidlertid en stor, sammenblandet og til dels ukendt størrelse. Derfor arbejdes der for at udvikle simple indikatorer til at kunne måle dette. Det foreslås både i forbindelse med faktor 4 og 10, at dette opgøres som summen af alle materialeinput målt i tons. Således skal der for alle varer og ydelser beregnes den samlede materialestrøm målt i tons i et livscyklusperspektiv. Herunder er også den såkaldte 'økologiske rygsæk' til den givne ydelse, hvilket omfatter skjulte materialestrømme, som eksempelvis erosion som følge af intensivt jordbrug eller materialemasser der brydes ved minedrift. Som et konkret eksempel på en 'økologisk rygsæk' påpeges det, at *"the gold ring on your finger weighs three tonnes"*, hvilket bl.a. indebærer, at der er sprængt en stor mængde klippe og jord væk for at udvinde guldet. [Weizsäcker et al., 1997, s. 242]

Miljøstyrelsen peger på, at MIPS for hele samfundet er den samme enhed, som bruges i nationale materialeregnskaber, det vil sige massestrømsanalyser [Miljøstyrelsen, 1999, s. 39]. Dette betyder at et samfunds mål-opfyldelse i forhold til faktorkonceptet kan måles herudfra. Således argumenteres der normalt i litteraturen

for, at inputtet skal opgøres i tons materiale, uden at differentiere mellem forskellige materialegrupper [Miljøstyrelsen, 1999, s. 39]. Det er indlysende at et mål for samfundets miljøpåvirkninger, som er opgjort i tons materialeinput, er behæftet med store usikkerheder. Eksempelvis vil indvinding af en vægtenhed kul betyde samme miljøpåvirkning som en vægtenhed biomasse. Derfor ønskes det i denne rapport, at belyse i hvor stor grad en reduktion af samfundets massestrømme vil medføre en tilsvarende reduktion i miljøpåvirkninger.

Af dette afsnit fremstår to væsentlige nøglebegreber som er, at faktor 4 skal ses i et *livscyklusperspektiv* ligesom i en livscyklusvurdering, samt at faktor 4 skal opnås ved at fokusere på hele *massestrømme*. Faktor 4 skal måles som forholdet mellem et output og et input. Inputtet er den samlede vægt af materialeforbruget til frembringelse af outputtet. Det er i denne rapport desuden valgt, at medtager miljøpåvirkninger knyttet til frembringelse af outputtet. Outputtet er den ydelse som individet, virksomheden eller samfundet er interesseret i. Formålet med denne rapport er at belyse muligheden for opnåelse af faktor 4 indenfor 20-30 år. I det casestudie, der benyttes til belysning heraf, vil det konkrete output blive defineret.

3.5 Afkobling og faktor 4 i dansk kontekst

Som det fremgår af afsnit 2.3 blev faktorbegrebet introduceret i dansk miljøpolitik i regeringens natur- og miljøpolitiske redegørelse 1999. Senest er faktorbegrebet præsenteret i Danmarks nationale strategi for bæredygtig udvikling. Her lægger Regeringen op til at der i Danmark skal nås en afkobling med en faktor 4 indenfor 20-30 år.

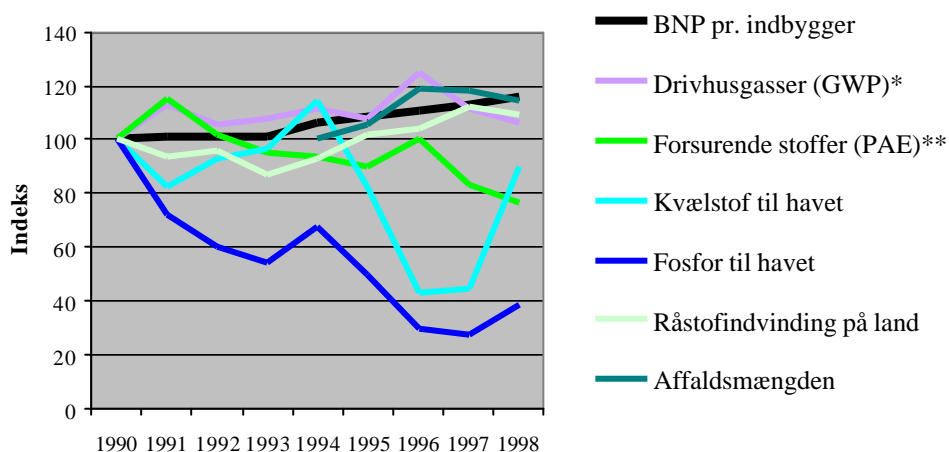
I Danmarks nationale strategi for bæredygtig udvikling tages der udgangspunkt i otte overordnede målsætninger. Det første af dem lyder: ”*Vi skal udvikle velfærdssamfundet og bryde sammenhængen mellem vækst og miljøpåvirkning*” [Regeringen, 2001a, s. 2]. Det forklares uddybende, at det betragtes som nødvendigt, at yde en forstærket indsats for at få en bæredygtig udvikling. Det påpeges, at der i Danmark på nogle områder allerede er sket en afkobling, mens der på andre områder stadig er store udfordringer.

Strategien er overordnet inddelt i emnerne ’Tværgående indsats’, ’Sektorer’ samt ’Virkemidler og gennemførelse’. Faktorbegrebet behandles indenfor førstnævnte, under kapitlet ’Ressourcer og ressourceeffektivitet’. Her beskrives det, at ressourcer betragtes som grundlag for velfærd, og at en bæredygtig udvikling indebærer, at øget velfærd tager hensyn til økosystemer og ressourcebeholdning. Herefter præsenteres faktorbegrebet, og der peges på at ressourceniveauet indenfor de næste 20-

30 år skal reduceres til 25% af det nuværende og en faktor 10 på endnu længere sigt.

Er der sket en afkobling i Danmark de sidste 10 år?

I april 2001 udgav regeringen et debatoplæg vedrørende indikatorsættet til Danmarks strategi for bæredygtig udvikling. Indikatorsættet fremgår af bilag 3.a, hvor det fremgår, at opnåelsen af faktor 4 skal måles i miljøpåvirkning i forhold til BNP [Regeringen, 2001b, s. 5]. Miljøpåvirkning betyder i dette tilfælde drivhusgasser, næringsstoffer til havet (N og P) og udslip af forsurende stoffer. For at illustrere hvordan udviklingen på dette punkt har været hidtil, har projektgruppen valgt at sammenligne outputtet i form af generel økonomisk velstand målt i BNP pr. indbygger, med ovenstående inputs. Dette er vist i figur 3.b. Ud over de ovennævnte inputs er det valgt at medtage ressourceforbrug indikeret ved råstofindvinding på land og affaldsmængden. Dette begrundes med at disse er medtaget i indikatorsættet under kapitlet om ressourcer og ressourceeffektivitet, hvor der også tales om faktor 4 [Regeringen, 2001b, s. 22].



Figur 3.b Den generelle afkobling i samfundet er illustreret med BNP pr. indbygger versus forskellige ressourceanvendelser og miljøpåvirkninger i relation hertil. Tal til grafen er beregnet udfra [Danmarks Statistik, 2000, s. 22-23, 27, 111].

I figur 3.b er *GWP (Global Warming Potential) forskellige stoffers bidrag til drivhuseffekten udregnet i CO₂-ækvivalenter. **PAE (Potential Acid Equivalents) udtrykker forskellige stoffers bidrag til forsurening udregnet i SO₂-ækvivalenter. Det fremgår af figuren, at der er stor forskel på udviklingen af forholdet mellem BNP pr. indbygger og ressourceanvendelse og miljøpåvirkninger. Det gøres opmærksom på at udviklingen i ovenstående miljøpåvirkninger og ressourceforbrug er styret af individuelle handlingsplaner for de enkelte påvirkninger. Desuden gøres der opmærksom på at indsatsen med henblik på at reducere de enkelte påvirkninger tænder sig på forskellige stadier tidsmæssigt. For eksempel er kvælstof til havet styret af vandmiljøplanerne, hvor Vandmiljøplan I kom i år 1987 og Vandmiljøplan

II kom i 1998. Det vil sige, grafen i figur 3.b kun illustrerer en del af udviklingen af kvælstof til havet indenfor Vandmiljøplan II.

I figur 3.c. nedenfor er forholdet mellem BNP pr. indbygger og de udvalgte ressourceanvendelser og miljøpåvirkninger vist, hvor dette er benævnt relativ faktorreduktion. Det bør understreges, at dette ikke er et reelt mål for effektivisering i forhold til faktorkonceptet, idet sammenligningsgrundlaget er Danmarks BNP, og ikke den økonomiske udvikling knyttet til hver af de udvalgte ressourceanvendelser og miljøpåvirkninger. Det bør desuden bemærkes at tidshorisonten er fra 1990 til 1998, som er valgt tilfældigt. Med valg af en anden tidshorisont eksempelvis 1970 til 2000, ville forholdet givetvis være større. Dog giver det et overordnet bud på, i hvilken målestok der faktisk er sket en afkobling fra 1990 til 1998.

Ressourceanvendelse	Relativ faktorreduktion 1990 til 1998
Drivhusgasser (GWP)	1,08
Forsurende stoffer (PAE)	1,59
Kvælstof til havet	1,82
Fosfor til havet	2,88
Råstofindvinding på land	1,01
Affaldsmængden	0,94

Figur 3.c Forhold mellem BNP pr. indbygger og udvalgte ressourceanvendelser og miljøpåvirkninger i perioden 1990 til 1998. Relativ afkoblingsfaktor er udregnet ved at dividere den gennemsnitlige stigning i BNP pr. indbygger med den gennemsnitlige ændring i den pågældende påvirkning for perioden 1990 til 1998.

Det fremgår af figur 3.c, at den største afkobling er sket indenfor fosfor til havet. De to næststørste er kvælstof til havet og forsurende stoffer. De store relative afkoblingsfaktorer indenfor disse områder skyldes at de har været underlagt handlingsplaner i perioden 1990 til 1998. Mindst er der sket med råstofindvinding på land og udledning af drivhusgasser. På affaldsområdet er der derimod sket en negativ afkobling, idet affaldsmængden er steget mere end BNP pr. indbygger. Det er bemærkelsesværdigt, at der er sket en negativ udvikling på affaldsområdet, idet dette er et udtryk for samfundets samlede ressourceforbrug. I den forbindelse skal det bemærkes, at der er sket noget med hensyn til den andel af det genererede affald, der genanvendes, hvilket fra 1994 til 1998 er steget fra 55% til 59% [Danmarks Statistik, 2000, s. 23].

Det bør bemærkes, at hvis der ses på absolutte reduktioner, så ser udviklingen langt mere negativ ud, idet flere af påvirkningerne i så fald har været stigende.

Hvis det antages, at udviklingen fremover forsætter som fra 1990 til 1998, kan en relativ afkobling med faktor 4 nås på tidspunkterne vist i figur 3.d. Figur 3.d er

fremkommet på baggrund af en beregnet gennemsnitlig årlig faktorreduktion ud fra tallene i figur 3.c, hvor 1990 er sammenlignet med 1998. Under antagelse af at afkoblingen fortsætter med samme årlige procentvise rate, er året for opnåelse af målet om faktor 4 beregnet. Der gøres opmærksom på, at der er tale om en ren mekanisk fremskrivning af udviklingen uden hensyntagen til individuelle handlingsplaner for de forskellige påvirkninger.

Ressourceanvendelse/miljøpåvirkning	Gennemsnitlig årlig faktorreduktion	År hvor faktor 4 kan nås i forhold til 2001
Fosfor til havet	1,14	2011
Kvælstof til havet	1,08	2020
Forsurende stoffer (PAE)	1,06	2025
Drivhusgasser (GWP)	1,01	2144
Råstofindvinding på land	1,00	3540
Affaldsmængden	0,99	-

Figur 3.d På baggrund af den gennemsnitlige udvikling i afkobling i perioden 1990 til 1998 er det udregnet, hvornår en faktor 4 vil kunne nås fra i dag år 2001.

Det konkluderes ud fra figur 3.d, at en relativ afkobling med en faktor 4 på de tre førstnævnte områder ser ud til at kunne nås indenfor 20-30 år. Det drejer sig om fosfor og kvælstof til havet og forsurende stoffer. Værst ser det ud for affaldsgenereringen, som stiger mere end BNP pr. indbygger. For drivhusgasser og råstofindvinding ser det ikke ud til, at en relativ afkobling med faktor 4 kan nås indenfor 20-30 år. Da emissionen af drivhusgasser er relateret til samfundets energiforbrug og dermed produktion, og affaldsgenereringen siger noget om samfundets generelle ressourceforbrug, må det konkluderes, at det ikke ser godt ud i forhold til regeringens målsætninger med at nå en faktor 4 indenfor 20-30 år. Der gøres i den forbindelse opmærksom på, at både affaldsgenereringen, emission af drivhusgasser samt råstofindvindingen har været stigende i perioden. Afkoblingen for disse påvirkninger skyldes derfor udelukkende økonomisk vækst. I det følgende ses der på hvilke virkemidler, der peges på i Danmarks nationale strategi for bæredygtig udvikling til at nå en faktor 4 reduktion.

Mål og midler til opnåelse af faktor 4 i dansk miljøpolitik

I Danmarks nationale strategi for bæredygtig udvikling lægges der op til at en resourceeffektivisering og dermed faktor 4, skal opnås ved at sætte ind på områderne der fremgår af figur 3.e.

Områder	Beskrivelse af mål og midler
Indvinding	Skånsom råstofudvinding, så arealer siden hen kan anvendes til andre formål
	Fremmelse af flersidig arealanvendelse udenfor byer
Producenter	Nedbringelse af affaldsmængder fra en række sektorer, hvor mængderne er stigende. (disse er ikke nærmere defineret)
	Øget genbrug og genanvendelse af affald (64% af affaldsmængderne i 2004 skal genanvendes, samt deponi skal ned på 12%)
	Nedbringelse af ressourceforbrug
	Produktorienteret miljøindsats
	Udvikling af vedvarende energikilder
Markedet	Oplysning af forbrugere vedrørende produkters og varers påvirkning af miljøet

Figur 3.e Virkemidler beskrevet i Danmarks nationale strategi for bæredygtig udvikling. Virkemidlerne er ordnet efter hvilken målgruppe de er rettet mod. [Regeringen, 2001a, s. 34-35]

Det fremgår af figur 3.e, at virkemidlerne primært er rettet mod producenterne, hvor nøgleordene er affaldsreducering, genanvendelse, ressourceeffektivisering, produktorienteret indsats og vedvarende energi. Virkemidlerne, der anvendes, stemmer godt overens med de miljøproblemer, der i forrige afsnit, er udpeget som problemområder i forbindelse med at nå faktor 4. I strategien for bæredygtig udvikling lægges der vægt på teknologiske nybrud og innovation, herunder udbredelse af eksisterende, miljøvenlige teknologier og udvikling af ny teknologi, nye materialer og nye løsninger. Der skal findes nye metoder til at indrette den eksisterende produktion med henblik på større ressourceeffektivitet og miljøvenlighed i produkters livscyklus. [Regeringen, 2001a, s. 4].

Sammenlignes mål og midler fra den nationale strategi for bæredygtig udvikling med mål og midler i den miljøpolitiske redegørelse tilbage fra 1995, afviger de ikke væsentligt fra hinanden. I figur 3.f er der vist uddrag fra den natur- og miljøpolitiske redegørelse fra 1995, som stemmer overens med mål og midler i den nationale strategi for bæredygtig udvikling, vist i figur 3.e.

	Beskrivelse af mål og midler i 2001	Beskrivelse af mål og midler i 1995
Indvinding	Skånsom råstofudvinding, så arealer siden hen kan anvendes til andre formål	Kun en mindre del af graveområdet må være synligt ad gangen. Der skal udarbejdes efterbehandlingsplan [Miljø- og Energiministeriet, 1995, s. 322]
	Fremmelse af flersidig arealanvendelse udenfor byer	-
Producenter	Nedbringelse af affaldsmængder fra en række sektorer, hvor mængderne er stigende (disse er ikke nærmere defineret).	"... indsats for ved hjælp af renere teknologi at mindske produktionen af affald." [Miljø- og Energiministeriet, 1995, s. 23]
	Øget genbrug og genanvendelse af affald (64% af affaldsmængderne i 2004 skal genanvendes, samt deponi ned til 12%)	"... de naturbundne råstoffer skal i videst mulig omfang erstattes med affaldsprodukter" [Miljø- og Energiministeriet, 1995, s. 324]
	Nedbringelse af ressourceforbrug	"Danmark ... har en forpligtigelse til at begrænse sit ressourceforbrug..." [Miljø- og Energiministeriet, 1995, s. 26]
	Produktorienteret miljøindsats	"Det er nødvendigt at udvikle en produktorienteret miljøpolitik for at nedbringe den samlede miljø- og ressourcebelastning fra samfundet" [Miljø- og Energiministeriet, 1995, s. 35]
	Udvikling af vedvarende energikilder	"Renere energikilder i energiforsyningen opnås ... på lang sigt ved anvendelse af store mængder biomasse og vind samt andre vedvarende energiformer." [Miljø- og Energiministeriet, 1995, s. 445]
Markedet	Oplysning af forbrugere vedrørende produkters og varers påvirkning af miljøet	-

Figur 3.f Med udgangspunkt i mål og midler i Danmarks nationale strategi for bæredygtig udvikling fra 2001 er disse sammenlignet med mål og midler i den natur- og miljøpolitiske redegørelse fra 1995.

Udfra sammenligningen i figur 3.f lader det til, at Regeringen antager, at udviklingen vil foregå som en følge af de mål og midler, der er anvendt siden 1995. Betragtes udviklingen siden da, fremgår det af forrige afsnit, at der er sket en relativ afkobling indenfor nogle områder. Men for nogle af de væsentligste områder som eksempelvis emission af drivhusgasser og affaldsgenerering, har der ikke været en reduktion. Det vil sige, faktor 4 ikke synes indenfor rækkevidde i løbet af de næste 20-30 år. Det lader således ikke til, at målsætningen om at reducere ressourceforbruget med faktor 4 i løbet af denne periode er opnåelig.

Indsatsområder og virkemidler er også nogle af de emner, der blev peget på som problematiske af de høringsparter der blev inddraget i forbindelse med strategien. Blandt andet peger Danmarks Naturfredningsforening på, at virkemidlerne ikke er tilstrækkelige. Af høringsvarene fremgår det desuden, at flere parter heriblandt SiD, Kulturøkologisk Forening i Albertslund samt enkeltpersoner fremhæver, at indsatsen for at minimere og genanvende affald skal spille en væsentlig rolle på ressourcerområdet fremover. Desuden foreslås en række virkemidler til at opnå øget affaldsforebyggelse og genanvendelse. Der peges blandt andet af LO, SiD, WWF, ØKO-NET, Friluftsrådet, CASA, NOAH samt enkeltpersoner på, at der kan anvendes økonomiske styringsmidler som sikrer, at miljøbelastningen afspejles i produktets pris. Der nævnes den mulighed, at ressourcer beskattes i stedet for arbejdskraft, og at miljøvenlige produkter gøres billigere. [Miljøstyrelsen, 2001]

Høringsvarene til strategien er imødekomet på den måde, at der peges på, at disse virkemidler kan tages i brug, hvis virkemidlerne, der fremgår af figur 3.e, viser sig ikke at være tilstrækkelige: *"Hvis det ikke lykkes, at nedbringe ressourceforbruget væsentligt, vil regeringen undersøge mulighederne for at anvende flere økonomiske virkemidler, herunder råvare- og materialeafgifter. Målet er at produktets ressourceforbrug og miljøbelastning afspejles fuldt ud i produktens pris"* [Regeringen, 2001a, s. 35].

3.6 Identificerede problemstillinger

Der lægges i Danmarks nationale strategi for bæredygtig udvikling i stor grad op til, at afkobling med en faktor 4 skal ske med de nuværende mål og midler i miljøpolitikken. Dette mener projektgruppen kan være problematisk, og ønsker derfor at belyse hvor realistisk det er.

Det fremgår af afsnit 3.5, at regeringen ikke måler opnåelse af faktor 4 som foreskrevet i konceptet. Regeringens indikator på hvornår faktor 4 er opnået er forholdet mellem BNP og miljøpåvirkninger i form af drivhusgasser, næringssalte til havet og forsurende stoffer. Supplerende hertil peges der på reducere af ressourceforbrug, affaldsminimering, genanvendelse og arealanvendelseshensyn.

I afsnit 3.4 er det påpeget, at usikkerheden omkring sammenhæng mellem en resourceeffektivisering med faktor 4 og påstanden om, at miljøpåvirkningerne herved skulle reduceres tilsvarende, ønskes undersøgt.

På baggrund af beskrivelsen af afkobling og faktor 4 i dette kapitel rejses derfor tre spørgsmål, som ønskes besvaret i rapporten:

- 1) Kan faktor 4 opnås med de præsenterede virkemidler i Danmarks nationale strategi for bæredygtig udvikling? Her tænkes specielt på øget genanvendelse, som er et af nøglebegreberne i regeringens mål og midler.
- 2) Er miljøpåvirkningerne og ressourceforbrug angivet af regeringen, som indikatorer for hvornår målet om faktor 4 er nået, dækkende for om målet er nået i forhold til faktorkonceptet?
- 3) Vil en reduktion af ressourceforbruget med en faktor 4 medføre en tilsvarende reduktion af miljøpåvirkninger med en faktor 4 som foreskrevet i faktorkonceptet?

I denne rapport tages der udgangspunkt i disse spørgsmål, idet det søges at finde ud af hvorvidt faktor 4 indenfor reducere af ressourcer og miljøpåvirkninger er opnåelig indenfor de næste 20-30 år, for en enkelt materialestrøm set i et livscyklusperspektiv.



DEL 2

Kapitel 4 Danmarks massestrømme

4 Danmarks massestrømme

I forrige kapitel er faktorbegrebet defineret og beskrevet. Formålet med dette kapitel er at beskrive størrelsen og kompleksiteten af de massestrømme, der er i Danmark, og hvordan en massestrøm kan defineres således, at faktorbegrebet kan operationaliseres. Der gives i dette kapitel et overordnet overblik over de største massestrømme i Danmark. Udfra en række opsatte kriterier vælges én af de beskrevne massestrømme, som case for denne rapport. Denne case skal danne udgangspunkt for en analyse af om det er realistisk at opnå en afkobling med faktor 4 i Danmark.

4.1 Metode til beskrivelse af Danmarks massestrømme

Da formålet med dette kapitel er at give et overblik, er det valgt at beskrive Danmarks massestrømme ud fra strømmen af varer, som er opgjort af Danmarks statistik i [Pedersen, 1999]. Valget begrundes dels med at disse data er let tilgængelige, og dækker over en stor del af de menneskeskabte massestrømme og dels at de giver en god beskrivelse af de interne massestrømme i Danmark. Oplysningerne fra Danmarks statistik stammer fra 1990, men det er de nyeste oplysninger, der er offentligt tilgængelige. Selvom en del har ændret sig siden vurderes det, at tallene giver et godt indblik i de overordnede massestrømme i Danmark. En yderligere beskrivelse af metoden anvendt i [Pedersen, 1999] fremgår af bilag 4.a. Der gøres opmærksom på, at den anvendte metode i dette kapitel ikke er den samme, som bruges til en mere detaljeret massestrømsanalyse senere i rapporten.

Da formålet med dette kapitel er at give et overblik over Danmarks samlede massestrømme, afgrænses opgørelsen til kun betragte de fem største varegrupper i figur 4.a. Dette svarer til 96% af massen af de otte varegrupper. En beskrivelse af varegrupperne findes i bilag 4.a. Det bemærkes at energiforbruget ligesom de øvrige varegrupper er opgjort i masse.

Figur 4.a er opdelt i en tilgangs-/oprindelsesside og en destinations-/anvendelsesside. Summen, angivet til højre, er summen af den samlede tilgang, som er lig med den samlede destination.

Varegruppe	Tilgang/Oprindelse (mio. tons)		Destination/anvendelse (mio. tons)			Sum	Status
	Import	DK ress.	Eksport	Lager/Invest.	Residualer		
Sten, grus og byggematerialer mv.	4,1	57,7	3,5	54,4	4,0	61,8	Medtages
Energi, vægt	18,0	9,6	7,1	-0,4	21,0	27,6	
Animalske og vegetabiliske produkter	5,3	15,4	8,5	0,8	11,4	20,7	
Træ, papir og varer deraf	2,8	1,6	1,4	0,3	2,7	4,4	
Metaller, maskiner, apparater og transportmidler mv.	3,3	0,5	2,4	0,3	1,1	3,8	Medtages ikke
Kemiske produkter og gødningsstoffer	3,4	0,2	1,2	0,1	2,3	3,6	
Plastic og plasticprodukter	0,74	0,0	0,26	0,0	0,49	0,75	
Andre varer	0,61	0,06	0,71	0,14	-0,17	0,68	

Figur 4.a. Oversigt over Danmarks otte varegrupper i 1990. Figuren viser hvilke mængder, der tilgår Danmark og hvor disse mængder ender. Det fremgår ligeledes hvilke grupper der medtages i beskrivelsen af Danmarks massestrømme. [Pedersen, 1999]

Tilgangs-/oprindelsessiden i figur 4.a omfatter import og danske ressourcer. Danske ressourcer er inklusiv genanvendelse og vand tilført produkter. Destinations-/anvendelsessiden omfatter eksport, lagerændring og investering samt residualer. Investeringer dækker over investeringer i bygninger, anlæg, maskiner og transportmidler [Pedersen, 1999, s. 26].

Som et supplement til opgørelsen af massen af varegrupperingerne i figur 4.a er vandforbruget i 1990 vist i figur 4.b. Tallene i figuren svarer til 'DK ressourcer' i figur 4.a. Det er ikke relevant at opgøre import, eksport, lagerændring og investeringer, idet det antages, at kun en meget lille del af vandkredsløbet er repræsenteret her. Således har langt størstedelen af det indvundne vand en destination/anvendelse i form af residualer. Den del af vandet der tilsættes produkter, og bliver en del heraf, er inklusiv massen af varegrupperingerne i tabel 4.a.

Erhverv	Forbrug (mio. tons)
Primære erhverv (erhvervsvanding)	250
Industri, service og husholdninger	700
I alt	950

Figur 4.b. *Indvinding af grundvand fordelt på primære erhverv og industri, service samt husholdninger i 1990 [Miljø- og Energiministeriet, 2001, s. 46].*

Det er valgt at begrænse beskrivelsen af den interne strøm af varegrupperinger til udveksling mellem:

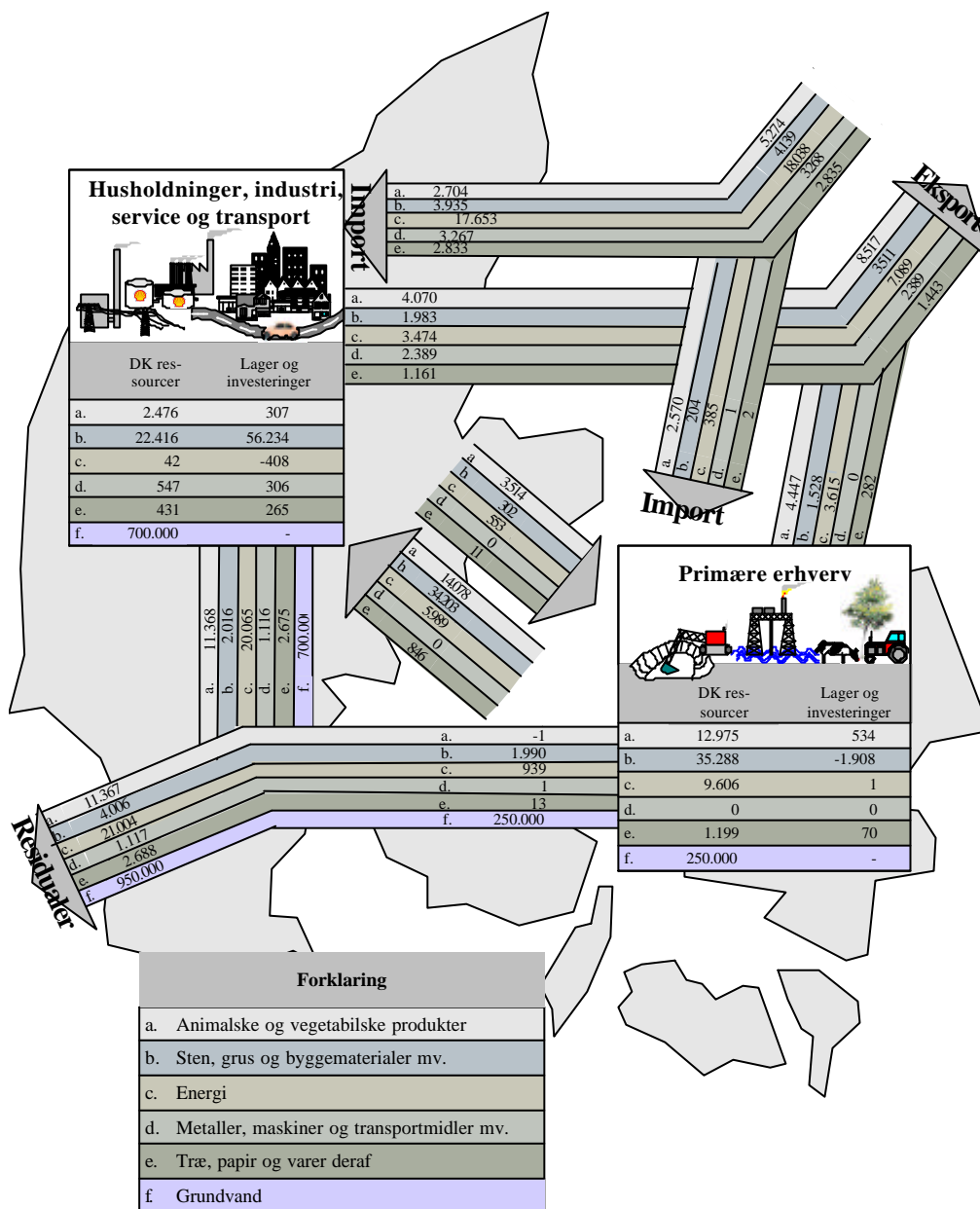
- Primære erhverv (Landbrug, fiskeri og skovbrug)
- Industri, service og husholdninger

Opgørelsen vil således udgøres af tallene i figur 4.a fordelt på de to ovenstående erhverv. Ovenstående opdeling betyder, at det er valgt at kategorisere de 27 erhverv, der opereres med i Danmarks Statistik, i to grupper. For en nærmere specificering af hvilke 27 erhverv, der hører til hvilke af de 2 grupper, se bilag 4.a.

Opgørelsen af Danmarks massestrømme, som er vist i næste afsnit, omfatter tilgang/oprindelse og destination/anvendelse fra de to grupper i form af import, eksport, lagerændring og investering, residualer samt udveksling mellem de to grupper.

4.2 Beskrivelse af Danmarks massestrømme

Danmarks samlede massestrømme er illustreret i figur 4.c. Opgørelsen er baseret på de data og antagelser der er beskrevet i afsnit 4.1, desuden fremgår af bilag 4.a de specielle forhold der er gældende for opgørelse af residualer.



Figur 4.c Oversigt over Danmarks massestrømme fordelt på input fra import og danske ressourcer og output til eksport, lagerændring og investeringer samt residualer. Opgørelsen er delt op mellem de primære erhverv og husholdninger, industri, service og transport. Tallene er i 1.000 tons. Alle tal undtagen for vand er baseret på [Pedersen, 1999, s. 36-83].

Af figur 4.c fremgår det, at den største massestrøm er vand. Dernæst kommer sten, grus og byggematerialer mv. Energi, det vil sige olie, kul, gas mv., er den største importvare, mens der eksporteres mest animalske og vegetabiliske produkter. Det største bidrag til residualer, når der ses bort fra vand, stammer fra afbrænding af energivarer, det vil sige den del af residualerne hovedsageligt har atmosfæren som

recipient. Det største bidrag til residualer i fast form er animalske og vegetabiliske produkter, som eksempelvis dækker over slagteriaffald, fordampet og bortledt vand samt menneskelige efterladenskaber.

I det følgende beskrives de enkelte massestrømme nærmere. Efter hver beskrivelse af de enkelte massestrømme suppleres dette med en beskrivelse af de miljøpåvirkninger der primært er knyttet til den pågældende massestrøm. Der gøres her opmærksom på at tallene for massestrømmene er fra 1990, mens der for miljøpåvirkningerne er benyttet nyere tal.

Animalske og vegetabiliske produkter

Animalske og vegetabiliske produkter dækker hovedsageligt over landbrugets primærproduktion og fødevarerindustriens forarbejdning heraf. Den samlede produktion og import af animalske og vegetabiliske produkter i Danmark er på 20,7 mio. tons. Der transporteres 14,1 mio. tons fra de primære erhverv til især forarbejdningsindustrien. I forarbejdningsindustrien og husholdningerne mistes 11,4 mio. tons i form af residualer. Dette er fordelt på et tab på 6,0 mio. tons i forarbejdningsindustrien og 5,4 mio. tons i husholdningerne og serviceerhverv. Residualerne fra forarbejdningsindustrien stammer hovedsageligt fra fast affald og tørstofindholdet i slam fra slagterier samt naturligt vandindhold i produkterne der fordampes eller bortledes eksempelvis ved fremstilling af sukker [Pedersen, 1999, s. 37]. Residualer fra husholdningerne udgøres i høj grad af menneskelige efterladenskaber.

Af den danske produktion forbruges 4,5 mio. tons i husholdningerne og serviceerhvervene og 8,5 mio. tons eksporteres. Landbruget forbruger 8,8 mio. tons, hvor egen foderproduktion i form af høg ikke er medregnet, import udgør 2,6 mio. tons heraf. [Pedersen, 1999, s. 36-41]

Til Danmark importeres der i alt 5,3 mio. tons og der eksporteres i alt 8,5 mio. tons, det vil sige, der er en nettoeksport på 3,2 mio. tons svarende til 71% af forbruget i danske husholdninger og servicevirksomheder. Det fremgår således, at der i Danmark produceres langt flere animalske og vegetabiliske produkter end til eget forbrug.

I forbindelse med primærproduktionen af animalske og vegetabiliske produkter er der især væsentlige miljøpåvirkninger i landbruget. Dette gælder specielt nitrat- og pesticidforurening af grundvandet, næringssaltbelastning af vandmiljøet samt fragmentering af landskabet [Miljø- og Energiministeriet, 1997, s. 191]. I 1996 udgjorde landbruget 66% af Danmarks landareal. Forarbejdning af animalske og vegetabiliske produkter i levnedsmiddelindustrien stod i 1992 for ca. 19% af Dan-

marks samlede energiforbrug [Miljø- og Energiministeriet, 1997, s. 165, 213]. Tilsvarende stod levnedsmiddelindustrien i 1994 for ca. 68% af industriens forbrug af grundvand og 7% af den samlede indvinding af grundvand [Miljø- og Energiministeriet, 1997, s. 97, 214].

Sten, grus, byggematerialer mv.

I 1999 udgjorde sand, grus og sten 85% af de råstoffer, der bruges i anlægs- og byggebranchen, og det er derfor de dominerende varer i denne massestrøm [Miljø- og Energiministeriet, 2001, s. 44]. Den væsentligste del af strømmen af sten, grus og byggematerialer med videre er udvinding af grus og sten i de primære erhverv samt i bygge- og anlægsbranchen, hvilket udgør 57,7 mio. tons. Dette fordeler sig med 35,3 mio. tons i forbindelse med erhvervet råstofudvinding og 20,5 mio. tons i forbindelse med bygge- og anlægsvirksomhed. De 20,5 mio. tons omfatter ikke-omsatte og uudnyttede mængder grus og sten, som er udvundet af entreprenører med egen grusgrav. Lagerændring og investeringer udgør et forholdsvist højt tal på 57,7 mio. tons. Dette dækker således, ud over investeringer i bygninger og anlæg, over en akkumulering i naturen. [Pedersen, 1999, s. 43]

Det skal bemærkes at affald som stammer fra nedrivning og reparationer ikke er medtaget i denne opgørelse, da en betydelig del af disse nedrivningsmaterialer genanvendes til nye bygninger. Dermed er der i virkeligheden et større forbrug og en lidt større mængde residualer end opgivet.

Der er en nettoimport til Danmark på 0,6 mio. tons, hvilket kun udgør en lille andel af det samlede forbrug. De væsentligste residualer forekommer i landbruget med 2,0 mio. tons og i husholdninger og serviceerhverv med 1,7 mio. tons. Landbrugets residualer udgøres primært af jordbrugskalk som spredes på markerne, der leveres af råstof erhvervene. Det fremgår af [Pedersen 1999, s. 42-48], at industrien har et relativt lille residual på 0,3 mio. tons. Hertil skal det bemærkes at dette reelt er på 1,4 mio. tons idet der forekommer et negativt residual i anlægs- og byggeindustrien, som dækker over et input af træ- og metalvarer.

Miljøpåvirkninger knyttet til indvinding af sten, grus, byggematerialer med videre er ændringer af landskabsprofiler, påvirkning af grundvandet og dermed vandkvaliteten og vandforsyningen, og endelig er der støv og transport [Danmarks Statistik, 1998, s. 114]. Miljøpåvirkningerne knyttet til forarbejdningen af sten, grus, byggematerialer med videre er i stor grad relateret til energiforbruget hertil. Sten-, ler- og glasindustri samt bygge- og anlægsvirksomheds energiforbrug på 50 PJ udgjorde ca. 6% af Danmarks bruttoenergiforbrug på 842 PJ i 1997 [Danmarks Statistik, 1998, s. 77].

Energi

Den største strøm indenfor massestrømmen af energivarer udgøres af residualer primært fra fremstillingserhverv, serviceerhverv, transport og husholdninger. De samlede residualer er 21,0 mio. tons. Dette dækker over reststofferne fra forbrænding af energivarer, og er fordelt på dels emissioner til luft og dels residualer i form af fast affald, det vil sige slagge, flyveaske med videre 49% af residualerne stammer fra el-, gas- og varmforsyningserhverv og 37% fra husholdningerne, det vil sige fra eget olie,- træ- eller gasfyr og til privatbilisme.

Importen er på 18,0 mio. tons, hvor dette primært går til el-, gas- og varmforsyningserhverv. Et andet væsentligt erhverv der importerer energivarer er fremstilling af kemiske produkter med videre, det vil sige raffinaderier. Den samlede eksport er 7,1 mio. tons, hvilket betyder, at der er en nettoimport på 10,9 mio. tons. Dette har imidlertid siden 1990 ændret sig til at være en nettoeksport. Dette er udmøntet i at selvforsyningsgraden er steget fra 55% i 1990 til 100% i 1997 [Danmarks Statistik, 1998, s. 78].

Indvinding af danske energiressourcer udgør 9,6 mio. tons. Heraf er 8,4 mio. tons råolie og naturgas fra Nordsøen, 0,9 mio. tons udvindes i landbrug i form af halm til energiformål og endelig kommer 0,3 mio. tons fra skovbruget i form af brænde [Pedersen, 1999, s. 49].

Miljøpåvirkningerne som skyldes strømmen af energivarer dækker over energisektorens og transportens emissioner til luft som udgør de væsentligste bidrag til blandt andet drivhuseffekt, forsurening og luftforurening med NO_x. I figur 4.d er kilderne til Danmarks CO₂ emission i år 2000 på i alt 54,5 mio. tons vist.

Kilde	Andel
Udvinding og raffinering	4%
El-, varme- og gasproduktion	45%
Transport	27%
Produktionserhverv	14%
Handels- og serviceerhverv	1%
Husholdninger	8%
	100%

Figur 4.d Kilder til Danmarks CO₂ emission (klimakorrigerede tal). [Energistyrelsen, 2000, s. 32]

Udover emissioner til luft medfører afbrænding af specielt kul store mængder slagge og flyveaske, som skal deponeres.

Metaller, maskiner, transportmidler mv.

Den væsentligste del af strømmen af metaller, maskiner, transportmidler med videre udgøres af en import på 3,3 mio. tons. Heraf udgør fremstillingsindustriens import 2,3 mio. tons og husholdningerne 0,2 mio. tons. Jern- og metalværker og støberier samt fremstilling af jern- og metalprodukter udgør 85% af fremstillingsvirksomhedernes import. Husholdningernes import af jern- og metal er især biler. [Pedersen, 1999, s. 60]

Ud over en import på 3,3 mio. tons er der et input på 0,5 mio. tons i form af genbrug af skrot. Af det samlede input på 3,8 mio. tons blev 2,4 mio. tons eller ca. 63% eksporteret. 0,5 mio. tons blev akkumuleret i form af investeringer og 1,1 mio. tons er residualer. Heraf er 0,4 mio. tons fra bygge- og anlægsvirksomhed, som ved massestrømmen af sten, grus, byggematerialer med videre havde et negativt residual. Det vil sige, residualerne på 1,1 mio. tons ikke som helhed skal opfattes som affaldsmængder, idet en del heraf er input til fremstilling af andre varer, eksempelvis vinduesrammer, som ikke er omfattet af metaller, maskiner, transportmidler med videre

Det fremgår at al råstofindvinding foregår udenfor Danmark. Miljøpåvirkningerne i Danmark er derfor forbundet med fremstilling af og forarbejdning af metaller, maskiner, transportmidler med videre. Miljøpåvirkninger som følge af fremstillingen er primært knyttet til energiforbruget. Jern- og metalindustri stod i 1997 for ca. 5% af Danmarks bruttoenergiforbrug, svarende til 16% af produktionserhvervenes energiforbrug [Danmarks Statistik, 1998, s. 77; Energistyrelsen, 2000, s. 14].

Træ, papir og varer deraf

Den største del af strømmen af træ, papir og varer deraf udgøres af importen på 2,8 mio. tons, hvoraf 1,1 mio. tons leveres fra papirfremstilling og grafisk virksomhed [Pedersen, 1999, s. 82]. Den samlede tilgang udgøres udover importen på 2,8 mio. tons af danske ressourcer på 1,2 mio. tons og genbrug af affald på 0,4 mio. tons, det vil sige en samlet tilgang på 4,4 mio. tons. Heraf udgør input til papirfremstilling og grafisk virksomhed 1,7 mio. tons, som omfatter de 0,4 mio. tons genbrug af affald.

Danske ressourcer fra skovbrugets ressourceudnyttelse af træ på 1,2 mio. tons er anvendt til leverancer til træbearbejdning og møbelfremstilling på ca. 0,8 mio. tons og til eksport på ca. 0,3 mio. tons. Kun ca. 1% af skovbrugets ressourceudnyttelse afsættes til papirfremstilling og grafisk virksomhed.

Miljøpåvirkninger fra massestrømmen af træ, papir og varer deraf omfatter ressourceindvinding i form af træ fra skovbrug, som ofte drives i monokulturer med ringe vilkår for en rig biodiversitet. Fremstilling af papir og grafisk industri udgjorde i 1992 1,4% af Danmarks bruttoenergiforbrug, svarende til 5% af produktionserhvervenes energiforbrug [Miljø- og Energiministeriet, 1997, s. 213; Energi styrelsen, 2000, s. 14]. Til sammenligning udgør træ- og møbelindustri 1,2% af Danmarks bruttoenergiforbrug. Udover et relativt stort energiforbrug påvirker papirindustrien miljøet med spildevand indeholdende organisk materiale og kemikalier.

Grundvand

Det fremgår af figur 4.b og 4.c at vand er langt større end de øvrige massestrømme. Den største indvinding af grundvand finder sted i 'husholdninger, industri, service og transport', hvor der i 1990 blev indvundet 700 mio. tons. Indvindingen i de primære erhverv var på 250 mio. tons, hvilket hovedsageligt er anvendt til markvanding i landbruget. Af de 700 mio. blev 150 mio. tons indvundet fra erhvervenes egne borer. De resterende 550 mio. tons, som stammer fra den almene vandforsyning, blev fordelt med ca. 60% til husholdningerne, 20% til erhverv, 10% til institutioner og 10% var tab med videre [Danmarks Statistik, 1998, s. 12]. De største forbrugere af grundvand i industrien er levnedsmiddelindustrien der i 1994 brugte ca. 56 mio. tons og den kemiske industri, der brugte ca. 10 mio. tons. [Miljø- og Energiministeriet, 1997, s. 214]

Residualerne fra 'husholdninger, industri, service og transport' bliver hovedsageligt genereret idet vandet bliver brugt. Det er således kun en lille del af vandforbruget der tilsættes de andre massestrømme. Dette udgjorde i 1990 3,3 mio. tons [Pedersen, 1999, s. 29]. Residualer er hovedsageligt spildevand, der ledes til renseanlæg, hvorefter det udledes til vandløb og havet. Landbrugets markvanding bliver delvist ført tilbage til grundvandet, dog fordampes en stor andel. Endelig er der en del af residualerne der udgøres af fordampet vand.

Miljøpåvirkningerne fra massestrømmen af indvundet grundvand er hovedsageligt sænkning af grundvandsspejlet. Der er ikke nogle væsentlige direkte miljøpåvirkninger forbundet med kredsløbet herefter, idet vand primært er bæremiddel for andre massestrømme.

4.3 Stofkredsløbets kompleksitet

Det fremgår af beskrivelsen af Danmarks massestrømme, at der sker udveksling mellem mange enheder i samfundet, og at der omsættes store mængder materiale,

som mistes eller tilbageføres til naturen i form af residualer. Det fremgår endvidere, at de forskellige massestrømme er indbyrdes afhængige af hinandens strøm i samfundet. Eksempelvis er alle massestrømmene afhængige af forsyning af energi og vand til indvinding, transport, forarbejdning og bortskaffelse. Ligeledes er massestrømmen af energi afhængig af et medie som strømmen kan opretholdes i. Dette gælder både elmaster, maskiner og transportmidler af jern og metal, bygninger og anlæg, og endelig skal den menneskelige ressource holdes i gang med føde, som er produceret direkte og indirekte med midler fra alle massestrømmene. Således krydses og blandes massestrømmene med hinanden i et komplekst system, når de skal bidrage til værdiforøgelse i samfundet.

Indvinding, forarbejdning og bortskaffelse af de beskrevne massestrømme har alle væsentlige miljøpåvirkninger som følge. Der fremgår heraf, at faktorbegrebet skal benyttes på komplekse systemer af massestrømme, der griber ind i hinanden, og at alle massestrømme medfører miljøpåvirkninger i forskellige faser af produktkæden. For at kunne vurdere, hvad der teknisk er muligt med hensyn til opnåelse af en afkobling med faktor 4, er det derfor nødvendigt at begrænse analysens fokus til et relativt snævert udsnit af de samlede massestrømme. Desuden skal den pågældende massestrøm være relativt homogen forstået på den måde, at den ikke består af mange forskellige massestrømme med forskellige karakteristika. I det følgende afsnit vælges en massestrøm, der arbejdes videre med i rapporten.

4.4 Valg af case

Det ønskes at vælge en af de beskrevne massestrømme, for at undersøge mulighederne for at opnå en afkobling med faktor 4 samt virkningen af de virkemidler, der findes i den danske miljøpolitik. Afsnittet indledes med opstilling af en række kriterier for udvælgelse af massestrøm, hvorpå det endelige valg foretages.

Kriterier for valg af case

Kriterier for valg af case er valgt, således at formålet med projektet på bedst mulig måde opfyldes. Det vurderes, at dette opnås ved en ligelig vægtning mellem tre kriterier.

Det første kriterium er, at der er tale om en stor massestrøm med et væsentligt ressourceforbrug og miljøpåvirkning. Herved får projektets konklusioner relevans i forhold til faktor 4 for det danske samfund.

Det andet kriterium er, at massestrømmen er relativt velbeskrevet, og at der er adgang til disse data. Dette er vigtigt på grund af projektets begrænsede tidsperiode.

Det er således vigtigt, at der ikke bruges en for stor andel af tidsressourcen på dataindsamling, idet der herved bliver tilsvarende mindre tid til den essentielle analyse af casen.

Tredje kriterium er, at massestrømmen er relativ homogen. Hermed menes, at den ikke består af mange underkomponenter, der hver især har vidt forskellige egenskaber og indgår i forskellige stofkredsløb. Begrundelsen for vigtigheden af dette kriterium er som for det foregående kriterium, ønsket om at simplificere tilgangen til undersøgelsen, der ønskes foretaget.

Valg af case

Det er valgt at arbejde med massestrømmen af papir i Danmark, idet det vurderes at denne strøm i stor udstrækning opfylder de opsatte kriterier. Det understreges, at der kan være andre massestrømme, der i lige så stor grad opfylder kriterierne. Af de samlede input af varer i Danmark udgør papir ifølge afsnit 4.2, 1,4%. Valget af papir er endvidere begrundet med projektgruppens interesse for at få belyst en massestrøm alle mennesker er i direkte berøring med i dagligdagen både i forbindelse med indkøb af papir og dagligvarer indpakket i papiremballage samt affaldsgenerering i papirkurven.

Det fremgik af afsnit 4.2, at alle de beskrevne massestrømme medførte væsentlige miljøpåvirkninger og ressourceforbrug, hvorved det første kriterium omkring miljø og ressourcer er opfyldt for alle strømmene. Det andet kriterium er lidt sværere at dokumentere for hver strøm, men for papir foreligger der både omfattende statistikker for massestrømmen samt livscyklusvurderinger af forskellige papirprodukter. Det tredje kriterium er opfyldt idet papir og papirvarer generelt kun består af relativt få underkomponenter. Dette er typisk ca. 57-92% plantefibre, 8% vand og 0-35% hjælpestoffer i form af eksempelvis kalkbelægning, lim og tryksværte.

Det er hermed valgt at belyse projektets problemstilling med udgangspunkt i en massestrømsanalyse og miljøvurdering heraf af massestrømmen af papir i Danmark. I næste kapitel gives der en introduktion til hvad papir er og hvordan det produceres.



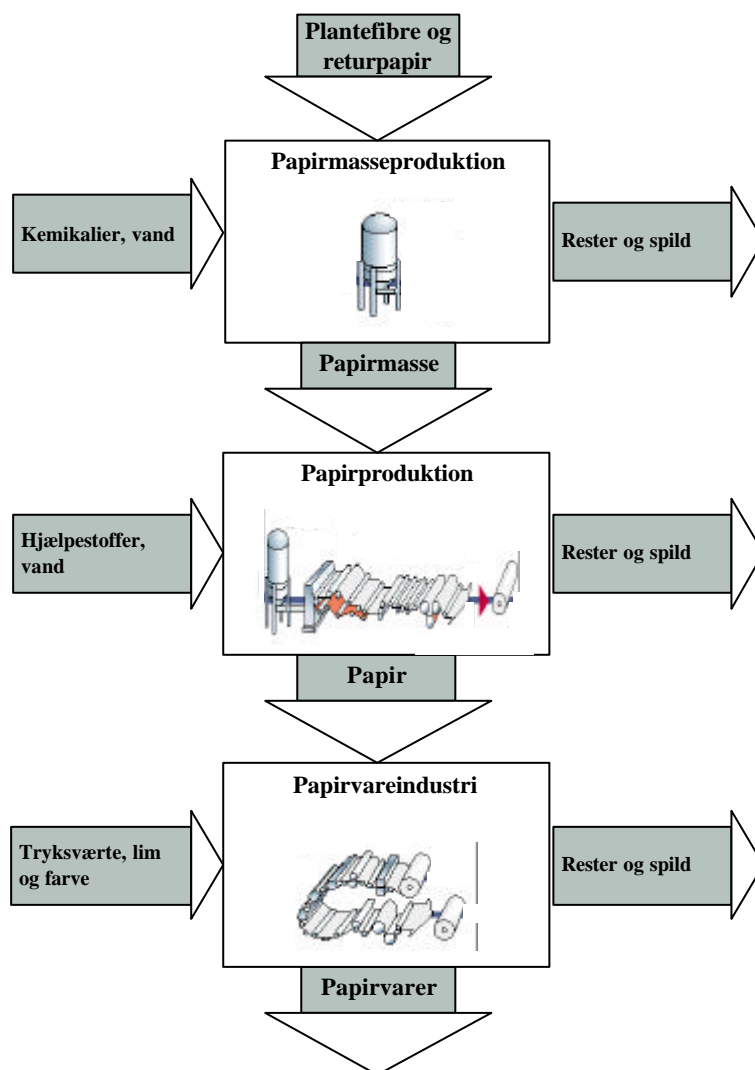
DEL 2

Kapitel 5 Papir og papirproduktion

5 Papir og papirproduktion

I forrige kapitel er det valgt at analysere mulighederne for opnåelse af faktor 4 ud fra Danmarks massestrøm af papir. Det moderne samfund bruger store mængder af papir og papirvarer. Eksempelvis produceres emballage, fotografier, servietter, aviser, bøger og blade, men hvad er papir, og hvordan bliver det produceret? I dette kapitel beskrives hvad papir er, samt hvordan papir og papirvarer produceres.

I figur 5.a er processerne der indgår i papirproduktion skitseret. I dette kapitel beskrives disse processer nærmere. Det beskrives hvorledes plantefibre og returpapir bliver lavet til papirmasse, og hvordan papirmasse bliver lavet til papir. Herefter beskrives hovedgrupperne af papirkvaliteter og endeligt gives der et indblik i hvilke varer der produceres af papir.



Figur 5.a Oversigt over processer i papir- og papirvareproduktion

5.1 Hvad er Papir?

Papir er et sammenfiltet væv af bearbejdede plantefibre. Plantefibrene stammer primært fra træ, men kan også stamme fra eksempelvis halm eller bomuld. Faktisk produceres noget af det fineste papir af de fine plantefibre, der er i bomuld. Udover plantefibre består papir af vand og en række hjælpestoffer. Et af de væsentligste hjælpestoffer er det fyld- og coatemateriale, som nogle papirkvaliteter bliver tilsat og bestrøget med for at gøre papiret uigennemsigtigt og blankt. Fyld- og coatematerialet består oftest af kalk og kaolin. Desuden tilsættes der ofte stivelse eksempelvis i form af kartoffelmel, dette er med til at øge papirets styrke. Herudover er der tryksværte på de fleste varer der laves af papir. Papir er således et materiale, som består af flere stoffer. Figur 5.b viser en oversigt over papirs bestanddele, samt nogle cirka værdier for hvor store en andel disse bestanddele udgør af papirs masse.

Stofindhold	Ubestrøget papir
Plantefibre	ca. 60 – 92%
Hjælpestoffer	ca. 0 – 32%
Vand	ca. 8%

Figur 5.b Oversigt over papirs bestanddele, samt hvilke cirka andele disse bestanddele udgør af papirs masse. [Meinicke, 1984, s. 51-61]

Tryksværte er ikke en del af papiret, men når tryksværten er påført papiret, så indgår det, ligesom hjælpestofferne i papirets vægt og kan kun separeres fra papiret ved hjælp af kemiske processer. Derfor vælges det at opfatte påført tryksværte som en del af massestrømmen papir. [Meinicke, 1975, s. 13-18, 60]

Pap, karton, bølgepap, servietter med mere er også papir. Disse typer papir indeholder bare plantefibre, som er bearbejdet på en anden måde, og de har en anden tykkelse, end det der normalt går under betegnelsen papir. [Meinicke, 1975, s. 13-18, 60]

5.2 Produktion af papirmasse

Papirmasse er det halvfabrikat som papir bliver lavet af. Papirmasse består primært plantefibre blandet op med vand. Planter er blandt andet opbygget af plantefibre, som består af cellulose der snor sig rundt om en kanal i midten af hver plantefibre (kanalen bruges til transport af vand inde i planten). Plantefibrenes størrelse varierer, i træ er de cirka 0,5 – 3,5 mm lange og ca. 0,5 mm tykke. Plantefibrene er sædvanligvis kittet sammen med lignin, og alt efter hvorledes de er kittet sammen, får planten en større eller mindre stivhed. Papirmasseproduktionen handler om at overvinde den klistrende effekt, som lignin har, således at plantefibrene kan blive

frigjort fra hinanden så skånsomt som muligt. Herefter kan der laves et tyndt sammenfiltret væv af de frigjorte fibre: Papir. [Meineke, 1975, s. 17-18]

Når papirmassen er blevet produceret bliver den enten tørret og sendt til en papirfabrik, eller papirmassen tilsættes yderligere vand, således at vandindholdet kommer op på ca. 99%, og indgår direkte i papirproduktionen i en integreret masse- og papirfabrik. Sidstnævnte er det mest almindelige, da der spares meget energi når processerne integreres. [Nielsen, 1989, s. 47-50]

Der findes flere forskellige processer til frigørelse af plantefibre. Følgende beskrives de processer, som anvendes til produktion af de fire mest almindelige hovedgrupper af papirmasser. Produktion af papirmasse af andre fibre end træ, vil dermed ikke blive beskrevet nærmere.

Produktion af mekanisk/træholdig papirmasse

Mekanisk papirmasse produceres af afbarket træ. Træet der anvendes er primært nåletræ, der slibes på en slibesten under påsprøjtning af vand. Der findes også en variant af denne proces hvor træet først blødgøres med damp [CEPI, 2000, s. 68]. Den fine slibemasse afvandes og man har mekanisk papirmasse, som benævnes træholdig papirmasse. Under slibningen rives fibrene over, og slibemassen bevarer træets farve, da den indeholder alle vedets bestanddele. Da mekanisk/træholdig papirmasse indeholder både selve fibrene, men også lignin, harpiks og sukkerstof med mere, har mekanisk papirmasse en høj udnyttelsesgrad af træet på 95-99%. Massen har en brunlig farve, og anvendes derfor primært til papirkvaliteter, der ikke har store krav til hvidhed. Inden der bliver lavet papir ud af mekanisk papirmasse, bliver det altid blandet op med andre fiberstoffer, eksempelvis fra kemisk papirmasse. Når en papirkvalitet indeholder mere end 5% mekanisk papirmasse, så benævnes kvaliteten træholdig. [Meinicke, 1975, s. 21-22]

Produktion af kemisk/træfri papirmasse

Kemisk papirmasse benævnes træfrit, selvom der er produceret af træ. Træet der anvendes er primært nåletræ og løvtræ. Grunden til at massen benævnes træfri er, at papirmassen primært indeholder cellulose og ikke træets andre bestanddele, som eksempelvis lignin og harpiks. Kemisk/træfri papirmasse produceres ved, at afbarket træ hugges i små stykker, som kaldes kogeflis. Disse koges, og kogevæsken eksempelvis natronlud trænger ind i træet og opløser ligninen og en del af harpiksen. Ved denne proces forsvinder der derfor mere stof end ved den mekaniske proces. Således er udnyttelsesgraden af træets masse kun 45-60%. Til gengæld kan plantefibrene, som består af cellulose, udvindes mere skånsomt, da ligningen opløses under kogning. Fibrene i kemisk papirmasse besidder dermed en større styrke

og smidighed end de iturevne fibre i mekanisk papirmasse. Desuden er det muligt at gøre den kemiske papirmasse helt hvid ved blegeprocesser efter vask og filtrering. De vigtigste blegemidler er brintoverilte og klor. Dog er klor på grund af sine uheldige miljøpåvirkninger i spildevandet, ved at blive udfaset. [BAT, 2000]. Efter den eventuelle blegning afvandes massen, og hermed opstår den kemiske/træfri papirmasse. [Meinicke, 1975, s. 22-26; CEPI, 2000, s. 68]

Produktion af halvkemisk papirmasse

Til fremstilling af halvkemisk papirmasse anvendes alle sorter af træ, især affaldstræ, som ikke er egnet til fremstilling af mekanisk og kemisk papirmasse. Cellulosen udvindes ved kogning ligesom ved den kemiske papirmasse, men kogningen er kun kortvarig, og fiberudskillelsen fortsætter efterfølgende ved en mekanisk maleproces inden papirmassen sorteres og renses. Denne proces er meget billigere end den fuldstændige kemiske proces, da en kortere kogetid medfører et mindre energiforbrug og maleprocessen er relativ let og energibesparende da træet er blødgjort. Desuden er der ved halvkemisk papirmasse en højere udnyttelsesgrad af træet end ved kemisk papirmasse, da der stadig er noget lignin, harpiks med videre i den færdige papirmasse. Halvkemisk papirmasses karakteristika er en blanding af de karakteristika, som den mekaniske og den kemiske papirmasse har. [Thomas, 1977, s. 7; CEPI, 2000, s. 68]

Produktion af papirmasse produceret af returpapir

Den fjerde hovedtype af papirmasse er papirmasse produceret af returpapir. Brugt papir formales under tilførsel af vand i en pulper og grove urenheder fjernes, herefter fjernes mindre urenheder og kunststoffer. I næste trin fjernes eventuel tryk-sværte, hvis det er nødvendigt. Eksempelvis er det ikke nødvendigt, hvis papirmassen skal bruges til brunt pap. Kvaliteten af genbrugspapiret afhænger af det anvendte returpapir. Returpapir sorteres normalt i fire hovedkvaliteter, disse udgøres af aviser og ugeblade, bølgepap, blandet papir og pap samt bedre kvaliteter. [Tønning, 2001, s. 8-10]

Disse forskellige hovedkvaliteter af returpapir kan bruges til at producere papir i forskellige kvaliteter. Er returpapiret eksempelvis bedre kvaliteter, som består af hvidt træfrit papir, så bliver genbrugspapiret lyst. Der er således et kvalitetsmæssigt hierarki indenfor returpapir, men her er værd at bemærke at Dalum papirfabrik i Odense producerer fint hvidt kopipapir af kvaliteten blandet papir og pap. Ligeledes har papirfabrikken SCA Grenaa, som producerer papir til bølgepap, heller ikke behov for kvaliteten: Bedre kvaliteter, de bruger primært returpapir af bølgepap men også en del returpapir af aviser og ugeblade samt blandet papir og pap. [Skov, 2001; Møller, 2001]

Fibrene bliver slidt ved hver genbrugsbehandling, hvilket betyder, at fibrene bliver kortere og dermed svagere. Det er kun muligt at genbruge papirfibre 4-6 gange, hvilket betyder at det er nødvendigt at tilføje nye jomfruelige plantefibre til papirproduktionen, selvom alt brugt papir blev indsamlet til genbrug. [Hagendoorn, 1996, s. 17-18]

5.3 Papirproduktion

Papir bliver produceret ved, at papirmasse blandes op med vand i store pulperkar indtil vandindholdet er på 98-99%. En rotor i bunden af karret rører konstant rundt i papirmassen, således at fibrene frigøres fra hinanden. Herfra pumpes papirmassen videre til selve papirproduktionen. [Nielsen, 1989, s. 50]

Alle typer papirmasser kan tilsættes en række hjælpestoffer. Hjælpestofferne kan inddeles i fire kategorier:

- Fyldstoffer
- Farvestoffer
- Limstoffer
- Diverse hjælpestoffer

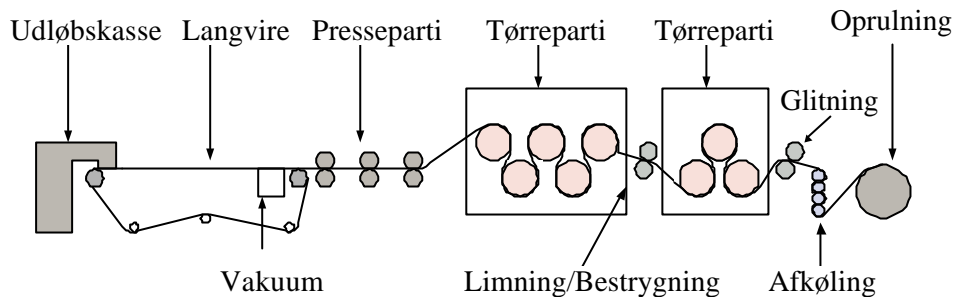
Fyldstoffer kan tilsættes for at forbedre papirets ugenomsigtighed, sugeevne, blødhed samt gøre overfladen mere jævn, men papirets styrkeegenskaber forringes, når der tilsættes fyldstoffer, da det bliver sværere for fibrene at filtrere sig sammen. Eksempler på fyldstoffer er kaolin, talcum, asbestine, kridt, dalomit, baryt og titan-hvidt. Fyldstofferne kan udgøre helt op til 30% af papirets vægt. [Meineke, 1984 s. 51-61]

Der bliver normalt tilsat farvestoffer til papiret. Farvestoffer findes i et stort antal. Farvestoffer fremstilles primært kemisk, men der findes også enkelte naturlige farvestoffer. [Meineke, 1984, s. 51-61]

Papir skal tilsættes lim, hvis det skal være skrivefast. Der tilsættes endvidere alun for at få limen til at udfældes. Lim samt alun tilsættes således, at plantefibrene bliver omgivet af lim. Herved bliver det færdige papir modstandsdygtigt overfor eksempelvis blæk og trykfarve. [Meineke, 1984, s. 51-61]

Desuden findes der diverse hjælpestoffer, som anvendes i særlige tilfælde, eksempelvis kan der tilsættes voks for at gøre papiret modstandsdygtigt overfor vandgen-nemtrængning. [Meineke, 1984, s. 51-61]

Den egentlige papirproduktion foregår normalt på en papirmaskine med langvire. En langviremaskine er illustreret i figur 5.c



Figur 5.c Skitse af en papirmaskine, af typen langvire, som er den mest udbredte type.

Den færdigblandede papirmasse pumpes fra pulperen gennem udløbskassen med højt tryk ud på en endeløs tråddug, langviren, se figur 5.c. Langviren er et transportbånd vævet af tynde tråde med en maskevidde, som tillader vandet at løbe igennem, mens fibrene tilbageholdes. Vandet der løber igennem langviren kaldes bagvand, dette vil altid indeholde en mindre mængde fibre. Derfor ledes bagvandet tilbage i pulperen og genanvendes igen og igen i et lukket system. Papirmassen afdrypper på grund af tyngdekraften på langviren og for at fjerne mere vand udsættes papirbanen for vakuum på den sidste del af langviren, således at vandet suges ud af papirbanen. På denne måde formes papirmassen til en sammenfiltret og sammenhængende papirbane. Papirbanen føres nu fra langviren via et presseparti, hvor der fjernes yderligere vand, til et tørreparti. Her tørres papiret over en række cylindre, der er dampopvarmede til 80-130° C, tørreprocessen er en meget energi-krævende proces. [Meinicke, 1984, s. 88-93; Nielsen, 1989, s. 50 – 51]

Efter tørringen kan papiret, alt efter hvilken type der er tale om, eventuelt limes eller bestryges med forskellige coatingstoffer. Denne bestrygning kan blandt andet bestå af en pålægning af kridt eller kaolin opstemmet i vand, hvorved papiret opnår en mere jævn og uigennemsigtig overflade. Alt efter kvalitet bliver papiret tilført op til ca. 30% fyldstoffer. Bestrøget papir kan også være papir belagt med plastic som eksempelvis mælkekartoner. Efter bestrygningen tørres papiret yderligere, inden det eventuelt gennemgår en glitning. Ved glitningen passerer papiret en række skiftevis hårde og bløde børster der roterer hurtigt. Ved denne proces opnås der en maksimal overfladejævnhed som medføre en glansfuld overflade, som det eksempelvis kendes fra de fleste reklametryksager. Den færdige papirbane afkøles, inden den til sidst oprulles. Papiret har herefter et tørstofindhold på cirka 93%, men det tilpasser sig luftfugtigheden i omgivelserne. [Meinicke, 1984, s. 88-93; Nielsen, 1989, s. 50 – 51]

Der produceres mange forskellige typer papir. Normalt opdeles disse mange typer papir i ni kvaliteter. Kvaliteterne fremgår af figur 5.d.

Papirkvalitet	Beskrivelse
Avispapir	Bruges til aviser
Ubestrøget mekanisk	Bruges til tryksager på groft papir
Ubestrøget træfrit	Almindeligt hvidt papir, som eksempelvis kopipapir
Bestrøget papir	Blankt hvidt papir til eksempelvis blade og reklamer
Aftørringspapir	Servietter, wc-papir m.m.
Andet papir	Diverse, incl. tjærepapir, lysfølsomt papir m.m.
Indpakkingspapir	Belagt papir, eksempelvis fedtpapir
Papir til bølgepap og sække	Brunt groft papir
Æskekarton og andet karton	Stift og tungt papir

Figur 5.d Oversigt over de ni papirkvaliteter, som papir normalt inddeles i. [Tønning, 2001, s. 18]

I figur 5.e kan det ses hvilke papirmasse der bruges til de ni papirkvaliteter.

	Mekanisk papirmasse	Kemisk Papirmasse	Halvkemisk papirmasse	Returmasse
Avispapir	Ja	Ja	Nej	Ja
Ubestrøget mekanisk	Ja	Nej	Nej	Ja
Ubestrøget træfrit	Nej	Ja	Nej	Ja
Bestrøget papir	Ja	Ja	Nej	Ja
Aftørringspapir	Ja	Ja	Nej	Ja
Andet papir	Ja	Ja	Nej	Ja
Indpakkingspapir	Ja	Nej	Nej	Nej
Papir til bølgepap og sække	Nej	Ja	Ja	Ja
Æskekarton og andet karton	Ja	Ja	Nej	Ja

Figur 5.e Oversigt over hvilke typer papirmasse der bruges til at producere de forskellige typer papirkvaliteter [Søberg, 2001].

Som det fremgår af figur 5.e, så indeholder de fleste papirkvaliteter en blanding af flere forskellige typer papirmasser. Det skyldes at papirkvaliteterne udnytter, at de forskellige papirmassetyper har forskellige egenskaber.

Papir lavet af mekanisk papirmasse har en stor stivhed, og anvendes derfor primært til emballage, som ikke har høje krav til smidighed, eksempelvis pap og kardus. Desuden er der ofte et indhold af mekanisk papirmasse i papir som skal bruges til trykning, og som har høje krav til styrke, men har lave krav til hvidhed, eksempelvis består avispapir almindeligvis af store dele mekanisk papirmasse. [Meineke, 1975, s. 76; Nielsen, 1989, s. 54]

Papir, der er produceret af kemisk og halvkemisk papirmasse, er stærkere og mere hvidt end papir produceret af mekanisk papirmasse. Kemisk og halvkemisk papirmasse har forskellige egenskaber alt efter hvorledes papirmassen er blevet produceret. Cellulose kogt med alkalisk kogelud, benævnes sulfatcellulose eller kraftsulfat og har gode styrkeegenskaber, og er dermed velegnet til emballage. Denne type papir er desuden ofte fri for fyldstoffer, således at papiret bliver så stærkt som muligt. Cellulose kogt med sur kogelud, hedder sulfitcellulose og er generelt blødere, hvidere og har mindre styrkeegenskaber end sulfatcellulose. Sulfitcellulose er dermed velegnet til trykpapir og skrivepapir. Udover sulfitcellulosens egenskaber indeholder det færdige papir ofte store mængder af hjælpestoffer og coatematerialer, som yderligere giver papiret mindre styrke, og gør det mere hvidt. [Nielsen, 1989, s. 54-55]

Papirmasse produceret af returpapir har naturligvis egenskabet alt efter hvilken type returpapir det er lavet af. Det er væsentligt ved produktionen af papir lavet af returpapir er at returpapirskvaliteterne bruges rigtigt. Der er tale om et hierarki af returpapirskvaliteter. Det vil sige, at eksempelvis fint hvidt genbrugs papir kun kan produceres af kvaliteterne bedre kvaliteter og blandet papir og pap. Æggebakker kan derimod produceres af træholdige og nedslidte korte genbrugsfibre fra eksempelvis aviser og ugeblade. Derfor vil det være uhensigtsmæssigt at bruge bedre kvaliteter til æggebakker. Et andet eksempel er, at bølgepap skal have en høj trækstyrke og rivestyrke, samtidig med, at det skal kunne bøjes uden at knække. Disse egenskaber kan ikke opnås ved at bruge korte og stive fiber, som dem der eksempelvis findes i brugt avisepapir (nedslidte træholdige fibre). Der er behov for lange smidige fibre, som hovedsageligt findes i sulfatcellulose. Derfor er det primært returpapir som indeholder sulfatcellulose, og hvor fibrene ikke er nedslidte, som bruges til produktionen af bølgepap.

Udover at der skal vælges den rigtige type returpapir til det ønskede produkt, er det også nødvendigt, at være opmærksom på, at en sammenblanding af forskellige fibre kan give et dårligt resultat, da nogle fibre krymper mere end andre fibre. Desuden skal der tages højde for indholdet af hjælpestoffer og coatematerialer, da disse stoffer kan have en negativ virkning på det ønskede resultat, eksempelvis mindre styrke end ønskeligt samt misfarvning. [Nielsen, 1989, s. 55-57, Søberg, 2001]

5.5 Produktion af papirvarer

Som det fremgår af ovenstående afsnit, så findes der ni hovedkvaliteter af papir. Papirkvaliteterne bliver videreforarbejdet til forskellige papirvarer. Eksempelvis bliver der lavet aviser ud af avisepapir, noget af det ubestrøgne træfrie papir bliver

lavet til konvolutter, imens noget andet ubestrøget træfrit papir bliver skåret op til A4 kopipapir.

Papirvareindustrien består primært af trykkeri- og konverteringsindustri. Trykkeriindustri dækker over avistryk, samt offset, dybtryk og andet trykkeri. I konverteringsindustrien laves der papkasser, konvolutter, æsker med videre. Det væsentligste input af stoffer til papir i konverteringsindustrien er lim.



Del 1: Indledning

1 Indledning

Del 2: Baggrund

2 Miljøpolitik; Fra fortynding til faktor 4

3 Afkobling og faktor 4

4 Danmarks massestrømme

5 Papir og papirproduktion

Del 3: Problemformulering

6 Problemformulering

Del 4: Massestrømsanalyse

7 Metode til massestrømsanalyse

8 Massestrømsanalyse af papir i Danmark

Del 5: Livscyklusvurdering

9 Metode til livscyklusvurdering

10 Livscyklusvurdering af Danmarks papirforbrug

11 Effektvurdering af Danmarks papirforbrug

12 Opstilling og effektvurdering af scenarier

13 Fortolkning og perspektivering

Del 6: Konklusion

14 Konklusion

6 Problemformulering

I dette kapitel præciseres og uddybes det initierende problem, som er beskrevet i indledningen. Først beskrives problemstillingen, som er identificeret i problemanalysen, samt hvordan det vælges at strukturere tilgangen til denne. Derefter beskrives det hvordan problemstillingen søges belyst gennem valg af analysemetode og opstilling af den undersøgelse der foretages.

6.1 Problemstillingen

Formålet med dette projekt er, at vurdere om det er realistisk at opnå afkobling mellem økonomisk vækst og miljøpåvirkninger i Danmark. I denne rapport er det valgt at betragte afkobling med faktor 4 som en absolut reduktion af miljøpåvirkninger og ressourceforbrug.

I kapitel 3, hvor afkoblingsbegrebet er beskrevet, er der opstillet et metodisk spørgsmål i relation til faktorkonceptet. Ifølge faktorkonceptet vil en faktor 4 reduktion af massestrømmene betyde en tilsvarende reduktion af miljøpåvirkninger. Dette forhold ønskes belyst i denne rapport.

I kapitel 3 er Regeringens målsætninger og virkemidler i forhold til faktor 4 ligeledes beskrevet. Det vurderes at de vigtigste virkemidler til opnåelse af faktor 4 er:

- Øget genanvendelse
- Nedbringelse af ressourceforbruget
- Produktorienteret miljøindsats
- Udvikling af vedvarende energi
- Oplysning af forbrugerne

Det ønskes belyst om det med disse virkemidler er realistisk at opnå en faktor 4. Dog vurderes virkningen af forbrugeroplysning ikke nærmere.

I kapitel 4 er størrelsen og kompleksiteten af Danmarks væsentligste massestrømme beskrevet. Til hver massestrøm er der knyttet en række kommentarer om, hvor massestrømmens væsentligste input og output er, og hvilke miljøpåvirkninger der er relateret hertil. Det valgt at arbejde videre med én massestrømmen for at belyse problemstillingerne i forbindelse med faktorkonceptet. Det er valgt at arbejde med massestrømmen af papir i Danmark, idet denne strøm opfylder tre opsatte kriterier, som projektgruppen har lagt vægt på. For det første har papirstrømmen et væsentligt ressourceforbrug og er årsag til væsentlige miljøpåvirkninger. Dette giver pro-

jektets konklusioner relevans i forhold til ønsket om at opnå en generel afkobling med en faktor 4. For det andet er massestrømmen velbeskrevet, og der er adgang til data indenfor denne industri, og for det tredje er papirstrømmen relativ homogen. Hermed menes, at den ikke består af mange underkomponenter, der hver især har forskellige egenskaber og indgår i forskellige stofkredsløb. Valget af papir er endvidere begrundet med projektgruppens interesse for at få belyst en massestrøm alle mennesker er i direkte berøring med i dagligdagen både i forbindelse med indkøb af papir og dagligvarer indpakket i papiremballage samt affaldsgenerering i papirkurven.

For at belyse hvorvidt det er muligt at opnå en generel afkobling med faktor 4, fokuseres altså på massestrømmen papir og hvorvidt det er muligt at opnå en reduktion af ressourcer og miljøpåvirkninger som følge af denne massestrøm i det danske samfund.

Det er således målet med denne rapport at kunne vurdere en række overordnede principper og virkemidler udfra den valgte case. På baggrund af den valgte massestrøm og fokusområder kan følgende problemformulering opstilles:

Problemformulering:

- 5) **Er det realistisk at opnå afkobling med faktor 4 for massestrømmen papir i Danmark i løbet af de næste 20-30 år med de virkemidler, der er præsenteret i Danmarks nationale strategi for bæredygtig udvikling?**
- 6) **Er det realistisk at opnå en generel afkobling med faktor 4 for ressourcer og miljøpåvirkninger i løbet af de næste 20-30 år?**
- 7) **Hvor stor betydning har Regeringens valg af indikatorer, på hvornår faktor 4 er opnået – hvilken betydning vil et alternativ valg af indikatorer have?**
- 8) **I hvor høj grad er der sammenhæng mellem en reduktion af ressourceforbruget og nedgangen i miljøpåvirkninger som følge heraf?**

6.2 Undersøgelsen

Da det ønskes at reducere miljøpåvirkninger og ressourceforbrug knytte til massestrømmen af papir i Danmark, er det nødvendigt, at den undersøgelse der foretages, kortlægger de udvekslinger med miljøet, der er knyttet til det danske papirforbrug. Hermed menes både udvekslinger af ressourcer, energi, affald og udledninger.

Det er valgt at opbygge undersøgelsen som en kombination af to metoder. En massestrømsanalyse og en livscyklusvurdering. Massestrømsanalysen anvendes som et

redskab til at kortlægge papirets mængde og bestanddele gennem alle papirvarers livscyklusfaser. Livscyklusvurderingen skal vise hvilke miljøpåvirkninger og ressourceforbrug, der er forbundet med den kortlagte massestrøm i massestrømsanalysen. Udgangspunktet for livscyklusvurderingen er således de kortlagte komponenter i massestrømmen af papir, der går til det danske forbrug. Kombinationen af en massestrømsanalyse og en livscyklusvurdering giver et overblik over massestrømmen, hvad den indeholder og hvor der forekommer spild. Desuden belyses på denne måde miljøpåvirkninger og ressourceforbrug i tilknytning til Danmarks papirforbrug set i et livscyklusperspektiv.

6.3 Systemet der undersøges

Den overordnede systemgrænse for det system, der ønskes undersøgt, omfatter Danmarks papirforbrug i 1999. Valget af år 1999 begrundes med, at der ikke findes tilstrækkelig nyere data til beskrivelse af massestrømmen af papir i Danmark. Systemet udgøres af massestrømmen papir i Danmark fra indvinding af råvarer til bortskaffelse, samt den del af den udenlandske produktion, der bidrager til det danske papirforbrug.

6.4 Måling af faktor 4

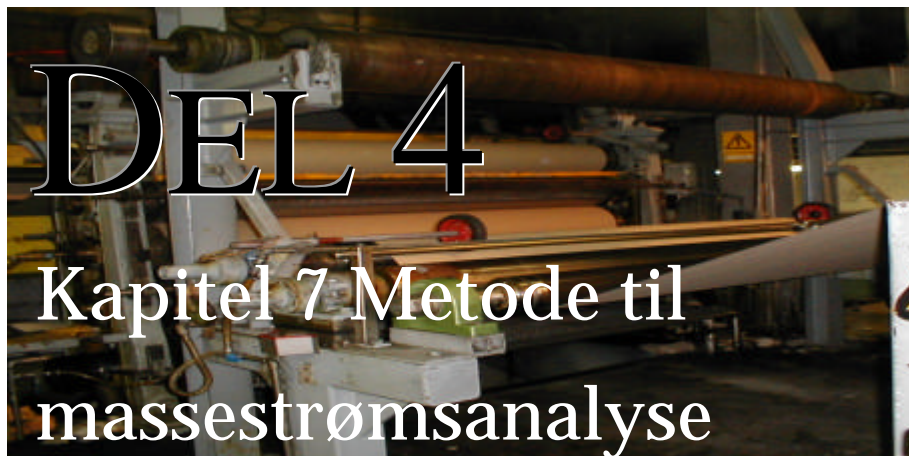
Af kapitel 3 fremgik det at der var en række forskellige måder at opgøre faktor 4 på. Generelt kan der skelnes mellem faktor 4 ved absolut eller relativ afkobling. Ifølge [Weizsäcker et al., 1997] skal faktor 4 udelukkende opgøres som reduktion i tons ressourceforbrug, der går til frembringelse af et givent output. Regeringens indikatorer på faktor 4 er derimod drivhuseffekt, forsuring, næringssaltbelastning, affald samt ressourceforbrug. Der er således uenighed om hvordan faktor 4 skal måles.

Det vælges i denne rapport at måle faktor 4 som absolut reduktion ud fra de opnåede resultater i livscyklusvurderingen. Der skelnes mellem faktor 4 for miljøpåvirkninger og for ressourceforbrug. Opgørelsen af den aktuelle faktorreduktion måles som reduktion i samlede vægtede effektpotentialer og ressourceforbrug. Betydningen af disse begreber uddybes i kapitel 9, hvor metoden til livscyklusvurdering beskrives.

Udover opgørelsen af faktorreduktionen ud fra livscyklusvurderingens resultater kommenteres faktorreduktionen målt ud fra Regeringens valg af indikatorer. Dette skal belyse i hvor stor grad Regeringens valg af indikatorer har betydning for den mulige faktorreduktion.

6.5 Fremgangsmåde

Undersøgelsen er opbygget således, at der først foretages en massestrømsanalyse af papir i Danmark inklusiv den del af papir i Danmark, der produceres i udlandet. Herpå foretages en livscyklusvurdering af massestrømmen af papir i Danmark, hvor miljørelaterede udvekslinger som er knyttet til frembringelse af Danmarks papirforbrug opgøres. Begge disse analyser indledes med et metodekapitel. Resultaterne fra livscyklusvurderingen bruges til at identificere, hvor de væsentligste ressourceforbrug og miljøpåvirkninger. På den baggrund samt Regeringens virkemidler opstilles en række scenarier, som skal belyse mulighederne for at opnå afkobling med en faktor 4.



Del 1: Indledning

1 Indledning

Del 2: Baggrund

2 Miljøpolitik; Fra fortynding til faktor 4

3 Afkobling og faktor 4

4 Danmarks massestrømme

5 Papir og papirproduktion

Del 3: Problemformulering

6 Problemformulering

Del 4: Massestrømsanalyse

7 Metode til massestrømsanalyse

8 Massestrømsanalyse af papir i Danmark

Del 5: Livscyklusvurdering

9 Metode til livscyklusvurdering

10 Livscyklusvurdering af Danmarks papirforbrug

11 Effektvurdering af Danmarks papirforbrug

12 Opstilling og effektvurdering af scenarier

13 Fortolkning og perspektivering

Del 6: Konklusion

14 Konklusion

7 Metode til massestrømanalyse

I dette kapitel beskrives hvad der forstås ved en massestrømanalyse, hvordan den kan foretages samt hvilke usikkerheder og begrænsninger, der er forbundet med metoden.

7.1 Principper og anvendelsesområde

Massestrømanalyser opstod i 1970'erne, i forlængelse af kredsløbstankegangen. Det oprindelige formål med massestrømanalyser var, at identificere kilder til udledning af problematiske stoffer, som man fandt i affald. Massestrømanalyser udarbejdes stadig primært for at spore uønskede stoffer i miljøet, der har en påvist eller potentiel effekt på mennesker eller miljø. [Lassen et al., 2000, s. 1]

I 1993 udgav Miljøstyrelsen et paradigme som retningslinje for udarbejdelse af massestrømanalyser. På baggrund af de opnåede erfaringer har de i samarbejde med det rådgivende ingeniørfirma Cowi udarbejdet en revideret udgave [Lassen et al., 2000], hvor der blandt andet lægges op til at den tidligere model til massestrømanalyser kan suppleres med en række tilvalg. Årsagen til revideringen af det oprindelige paradigme er, at erfaring fra massestrømanalyser har vist, at det ofte er nødvendigt at fokusere analyserne på bestemte dele af stofstrømme gennem samfundet. Der kan også være brug for at udvide analyserne til at omfatte andre aspekter i relation til brug af stoffet, end de aspekter der indgik i det første paradigmes massestrømanalyser. Hovedformålet med revideringen var således, at indarbejde relevante fokuseringer og udvidelser i den systematiske ramme. [Lassen et al., 2000, s. 11]

Paradigmet omfatter en detaljeret beskrivelse af strukturen i en massestrømanalyse, punkt for punkt samt for de mulige tilvalg. Indenfor punkterne, der medtages i analysen, kan der differentieres mellem forskellige detaljeringsniveauer. Der er foreskrevet retningslinier for, hvad der skal tages med, alt efter om der vælges at foretage en detaljeret analyse eller en oversigtsanalyse.

7.2 Begrebsdefinition

I Miljøstyrelsens paradigme defineres en massestrømanalyse som: *"En massestrømanalyse er en systematisk analyse af et stof, hvor alle dele af strømmen på stoffets vej gennem samfundet behandles."* [Lassen et al., 2000, s. 2]. I denne rapport tages der udgangspunkt i denne definition. Således beskrives et større system ved systematisk brug af relaterede massebalancer. I det følgende beskrives metoden til massestrømanalyse ud fra retningslinjerne i paradigmet overordnet.

7.3 Undersøgelsesmetode

I Miljøstyrelsens paradigme for udarbejdelse af massestrømsanalyser, opdeles analysen i fire faser:

1. Målsætning og systemafgrænsning
2. Systemanalyse
3. Kortlægning og modellering
4. Fortolkning og vurdering

Faserne i en massestrømsanalyse skal ikke forstås som en fastlagt rækkefølge som processen skal udføres i, men derimod som elementer i en iterativ proces. I det følgende beskrives de trin der følges i de enkelte faserne. Beskrivelsen opsummeres sidst i hver fase med en figur, hvor trinene i fasen samt et eksempel fra denne fase fremgår. Eksemplerne er fra en massestrømsanalyse for aluminium udarbejdet af Miljøstyrelsen i 1997.

Fase 1, Målsætning og systemafgrænsning

Formål: Her defineres formålet og fokusområder for massestrømsanalysen og indholdet af den aktuelle strøm.

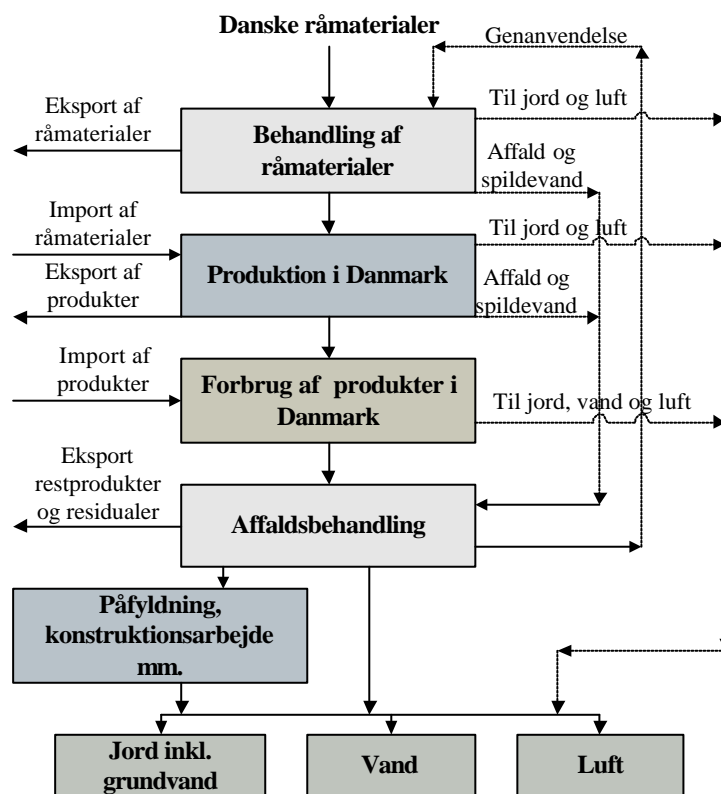
Metode: Indholdet af massestrømsanalyser kan variere. Der differentieres mellem en kernemassestrømsanalyse og en udbygget model. Kernemassestrømsanalysen er den grundlæggende analyse, hvor den totale strøm af et stof eller stofgruppe følges gennem eksempelvis det danske samfund i et år. Den udbyggede model kan omfatte en række mulige tilvalg, eller på anden måde beskrive et mere komplekst system, der eventuelt kan bruges til at prognosticere fremtidige udledninger af det pågældende stof, eller på anden måde symbolisere en dynamisk proces.

De mulige tilvalg udgøres af følgende syv aspekter:

- Internationalt marked og udviklingstendenser
- Kvalitativ beskrivelse af den eksponering mennesker udsættes for i relation til brug og bortskaffelse af færdigvarer
- Scenarier for fremtidige udledninger og tab af stoffet
- Forekomst og skæbne i miljøet
- National og international regulering af stoffet
- Undersøgelse af alternativer
- Genanvendelse, genindvinding og materialeforringelse

For hvert af disse tilvalg foreskriver paradigmet ligeledes en generel struktur. [Lassen et al., 2000, s. 14]

Systemafgrænsning: Massestrømsanalyser er afgrænset af to aspekter. Et rumligt og et tidsmæssigt aspekt. Den rumlige systemgrænse kan udgøres af eksempelvis det danske samfund og det omgivende miljø opdelt i jord, luft og vand. Det defineres i denne fase hvilke tilførsler og biprodukter der medtages i analysen, samt tidsperioden der samles data fra, og som analysen dermed beskriver. Den tidsmæssige afgrænsning er almindeligvis et år. I praksis kan det dog være nødvendigt at udvide tidsbegrænsningen for at kunne indsamle data for en bredere tidsperiode. Dette kan eksempelvis være i tilfælde, hvor det drejer sig om udledninger til miljøet, da det kan være nødvendigt at kortlægge en udvikling for at kunne forudsige emissioner som følge af det nuværende forbrug. [Lassen et al., 2000, s. 22] Et eksempel på rammer for systemgrænser fremgår af figur 7.a.



Figur 7.a Grundflow i en massestrømsanalyse. [Lassen et al., 2000, s. 21]

<p>Fase 1</p> <ul style="list-style-type: none"> • Formål • Metode • Systemafgrænsning 	<p>Eksempel på formålsbeskrivelse</p> <p><i>”Formålet med nærværende rapport er dels at etablere et overblik over strømmen af aluminium gennem det danske samfund på baggrund af analyser af forbrug, bortskaffelse og tab til omgivelser og deponier, dels at pege på muligheder for at minimere eller undgå tabene af aluminium. Der lægges i analysen vægt på at identificere de vigtigste tabsprocesser med henblik på en optimal forvaltning af genanvendelses kredsløbet samt at vurdere mulighederne for at minimere eller undgå tab af aluminium gennem ændrede produkt design og gennem anvendelse af alternative produkter og materialer” [Miljøstyrelsen, 1999, s. 5].</i></p>
--	--

Figur 7.b Trin i fase 1 samt et eksempel på en formålsbeskrivelse for en massestrømsanalyse af aluminium.

Fase 2, Systemanalyse

System og enhedsprocesser: I denne fase gennemtænkes analysens system som en helhed. Det er i denne fase at enhedsprocesser samt transporten imellem disse identificeres. Enhedsprocesserne udgøres af de grundlæggende processer strømmen indgår i fra råmateriale til endelig bortskaffelse. Generelt behandles følgende faser: Råvarefase, produktionsfase, forbrugsfase, genanvendelsesfase og bortskaffelsesfase. Den del af strømmen, der indgår i en bortskaffelsesfase, benævnes i det følgende residualer. Indsamling af restprodukter til genbrug og genanvendelse indgår ikke i bortskaffelsesfaser og betragtes derfor ikke som residualer. [Lassen et al., 2000, s. 22]

Detaljeringsniveauer: Massestrømsanalyser kan udarbejdes på forskellige detaljerings- og pålidelighedsniveauer. I paradigmet skelnes der overordnet mellem to detaljeringsniveauer for massestrømsanalyser: detaljerede analyser og oversigtsanalyser.

Detaljerede analyser kan anvendes som grundlag for handlingsplaner og regulering af den pågældende stofstrøm. Disse analyser baseres ofte på 80/20 reglen, forstået som at mindst 80% af omsætningen af stofstrømmen identificeres hele vejen igennem systemet. Der lægges op til at anvende en nøjagtighed på $\pm 20\%$ af den aktuelle værdi. Dog kan data for eksempelvis importerede varer være svære at krydstjekke, hvorfor dele af en detaljeret analyse kan være på oversigtsniveau. Det er derfor nødvendigt at gøre sig klart igennem udarbejdelsesprocessen, hvornår det er det ene eller det andet detaljeringsniveau, der er tale om. [Lassen et al., 2000, s. 32]

Oversigtsanalyser kan anvendes til at identificere fokusområder og kilder til udledning i relation til det pågældende stof. Ofte tages der i denne type analyser udgangspunkt i minimum 80% af stofstrømmen, som for detaljerede analyser, her er kravet til nøjagtigheden dog ofte mindre og nøjagtigheden af de 80% der opgøres er ofte ned til $\pm 50\%$, mens de resterende 20% af stofstrømmen ofte er kortlagt med væsentligt større usikkerhed. Generelt vil opgørelser af udledning til miljøet derfor også være tilsvarende usikre. Et kendetegn for oversigtsanalyser er at krydstjek sjældent forekommer, da det ofte er umuligt at foretage disse på baggrund af de usikre data. Et andet kendetegn for oversigtsanalyser er, at en del af de data der medtages ofte er baseret på udenlandske undersøgelser af eksempelvis forbrugsvaner. [Lassen et al., 2000, s. 33]

Det er muligt at variere detaljeringsniveauet for massestrømsanalyserne indenfor og mellem de to detaljeringsniveauer. Fra det fuldstændigt overordnede, hvor alle tal er behæftet med stor usikkerhed, til de fuldstændigt detaljerede hvor tæt på 100% af stofstrømmen er kortlagt og beskrevet med minimal usikkerhed. Det er dog sjældent muligt at lave så specifik en analyse af en stofstrøm, og der er da heller ikke udarbejdet analyser på dette niveau i Danmark.

Hvis det ønskes at udvide en detaljeret massestrømsanalyse er det muligt at supplere disse med en række tilvalg, som det blev forklaret tidligere under fase 1. Tilvalgene kan skabe yderligere variation i detaljeringsniveauerne. [Lassen et al., 2000, s. 32]

Resultatet af denne fase er udspecificering af kasser og pile i flow-diagrammet.

<p>Fase 2</p> <ul style="list-style-type: none"> • Systemet • Enhedsprocesser • Detaljeringsniveau 	<p>Eksempel på enhedsprocesser i råvare og produktionsfase og inddeling af disse.</p> <p>Råvarer og halvfabrikata</p> <ul style="list-style-type: none"> Metallisk aluminium Aluminium i kemiske forbindelser <p>Anvendelse af aluminium som metal</p> <ul style="list-style-type: none"> Råstofforbrug, tab og emissioner ved produktion af aluminiumsvarer Emballage Byggematerialer Elektriske og elektroniske produkter Transportmidler Sammenfatning <p>Anvendelse af aluminium med kemikalier</p> <ul style="list-style-type: none"> Drikke- spildevandsrensning Andre anvendelser Sammenfatning <p>[Miljøstyrelsen, 1999, s. 7-52]</p>
--	---

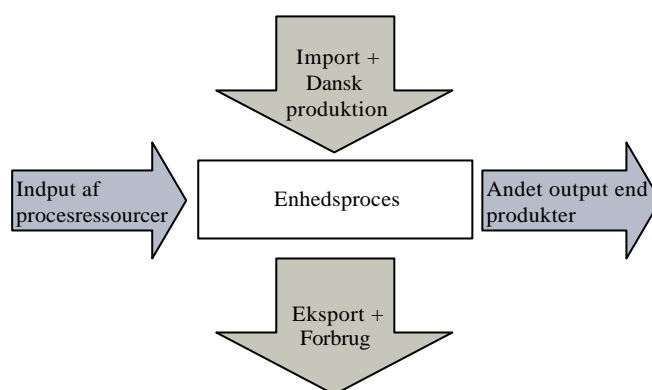
Figur 7.c Trin i fase 2 samt et eksempel på enhedsprocesser for en massestrømsanalyse af aluminium.

Systemets flow, som det udvikles og opstilles i denne fase er sjældent fuldstændig. Det er sandsynligt, at aspekter vil blive overset og det er derfor væsentligt at en massestrømsanalyse foregår som en iterativ proces, så dette senere kan imødekommes.

Fase 3, Kortlægning og modellering

Dataindsamling: Denne fase starter med indsamling af lettilgængelige data, som statistik over eksport, import samt produktion af råmaterialer, halvfabrikata og færdige produkter.

Massebalancer: En massestrømsanalyse er som nævnt opbygget af en række organiserede massebalancer, for enhedsprocesserne der medtages. I denne fase identificeres input og output for enhedsprocesserne. Der differentieres mellem helt simple massebalancer, hvor *import + dansk produktion = eksport + forbrug*. For en given tidsperiode vil der dog kunne forekomme akkumulering af stoffer indenfor de givne systemgrænser hvorfor ligningen kan udvides til *input + dannelse = output + nedbrydning + akkumulering* til de mere komplicerede hvor en række følgestoffer og biprodukter medtages i form af input af procesressourcer og output af andet end produkter. [Lassen et al., 2000, s. 12]. En oversigt over det der betragtes i en massebalance for en enhedsproces er illustreret i figur 7.d



Figur 7.d Oversigt over hvad der kan medtages i en simpel massebalance for en enhedsproces i en massestrømsanalyse.

Krydstjek: De fleste af de data der anvendes i en massestrømsanalyse vil være behæftet med en grad af usikkerhed. Når massestrømsanalysen udføres, anbefales det i paradigmet at et usikkerhedsinterval, eksempelvis 200-250 ton, angives for alle opstillinger (figurer). I paradigmet peges der på, at det bedste redskab til at håndtere usikkerhed er krydstjek. Et krydstjek kan bestå i sammenligning af input og output i massebalancer for enhedsprocesserne, hvor det tjekkes at eksempelvis den opgjorte udvinding af råmaterialer svarer til det registrerede samlede forbrug af råmaterialer i produkter og halvfabrikata.

Helhedsbetragtning: Metoder til dataindsamling designes for det enkelte projekt. De kendte data for enhedsprocesserne indføres i systemet og dette betragtes som helhed. Ofte vil systemet ikke balancere, hvorfor yderligere data skal skaffes for at finde årsagen. Hvis det ikke er muligt at finde de ønskede data, kan det være nødvendigt at omdefinere de aspekter der medtages. Således er det vigtigt at huske at metoden foregår ved en iterativ proces. [Lassen et al., 2000, s. 23, 26]

Fase 3

- Dataindsamling
- Massebalancer
- Krydstjek
- Helhedsbetragtning

Fase 4, Fortolkning

Sammenfatning: Fortolkning og diskussioner af resultater kan foregå på flere niveauer. Basisfortolkningen sker som en del af afrapporteringen der i denne del samles op på. Denne del af fortolkningen omfatter en diskussion af den opstillede model for systemgrænsen, på baggrund af de usikkerheder der er opstået undervejs.

Usikkerhederne krydstjekkes for, at det bliver muligt at finde ud af hvilke data der kan sige mest om analysen.

Udpegning af primære kilder til udledninger: Det påpeges i paradigmet, at diskussion af emissionerne af det pågældende stof til naturen og miljøpåvirkningerne som følge heraf er relevant, men at en effektvurdering ikke er inkluderet i en massestrømsanalyse. Fortolkningsdelen skal ikke forholde sig til mulige reguleringsmidler. Paradigmet lægger i stedet op til at disse fortolkninger skal foretages efterfølgende af de myndigheder, der anvender resultaterne af massestrømsanalysen. Fortolkningsdelen kan udpege de primære kilder til udledning af stoffet til miljøet, men uden at forholde sig til hvad der kan gøres for at minimere udledningen.

I Miljøstyrelsen sammenholdes massestrømsanalyserne ofte med en effektvurdering af massestrømmens miljøpåvirkninger. Tilsammen udgør disse undersøgelser et grundlag for vurdering af risiko forbundet med stoffet, samtidigt med at de kan pege på instrumenterne til at opnå en eventuel reduktion. Det understreges hermed, at en massestrømsanalyse i sig selv ikke inkluderer en effektvurdering. Denne skal efterfølgende foretages separat.

Fase 4

- Sammenfatning
- Udpegning af primære kilder til udledning

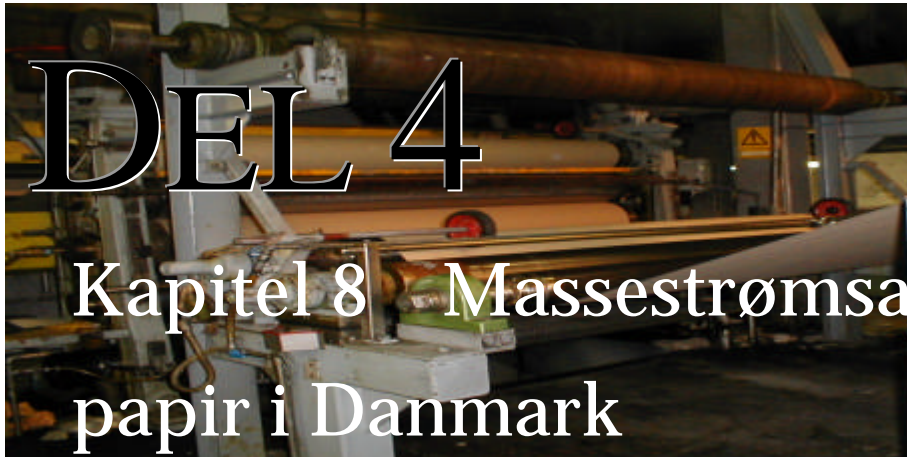
7.4 Metodekritik

En massestrømsanalyse er et udmærket værktøj til at spore stoffer i samfundet. Som miljøvurderingsmetode er der dog en del faktorer der ikke berøres i en massestrømsanalyse, ligesom detaljeringsniveauet kan variere meget mellem de forskellige analyser. Det kan ofte være nødvendigt på grund af manglende datatilgængelighed, at ekstrapolere, eller bruge forskellige modeller til udregning af tilnærmede værdier eller til at anvende udenlandske data, hvorfor der er en del usikkerhed forbundet med nogle af de resultater der fremkommer. [Lassen et al., 2000, s. 2]

Desuden giver metoden mulighed for vægtning og sminkning af analysen ved at lægge fokus på bestemte emner. Dermed er der risiko for manglende objektivitet i en massestrømsanalyse. En anden svaghed er, at en massestrømsanalyse ikke kan stå alene, men må kombineres med en form for effektvurdering for at kunne udgøre et beslutningsgrundlag i forhold til miljøspørgsmål.

Fortolkningsdelen i massestrømsanalyser er kritiseret for, at begrænse sig til at omfatte 'bogholderi'. Der lægges op til at det er læseren, der skal bruge resultaterne i relationer til andre undersøgelser for at komme frem til den endelige fortolkning.

Metoden beskrevet i dette kapitel vil blive benyttet i det næste kapitel, hvor det desuden søges at tages højde for ovenstående kritikpunkter.



8 Massestrømsanalyse af papir i Danmark

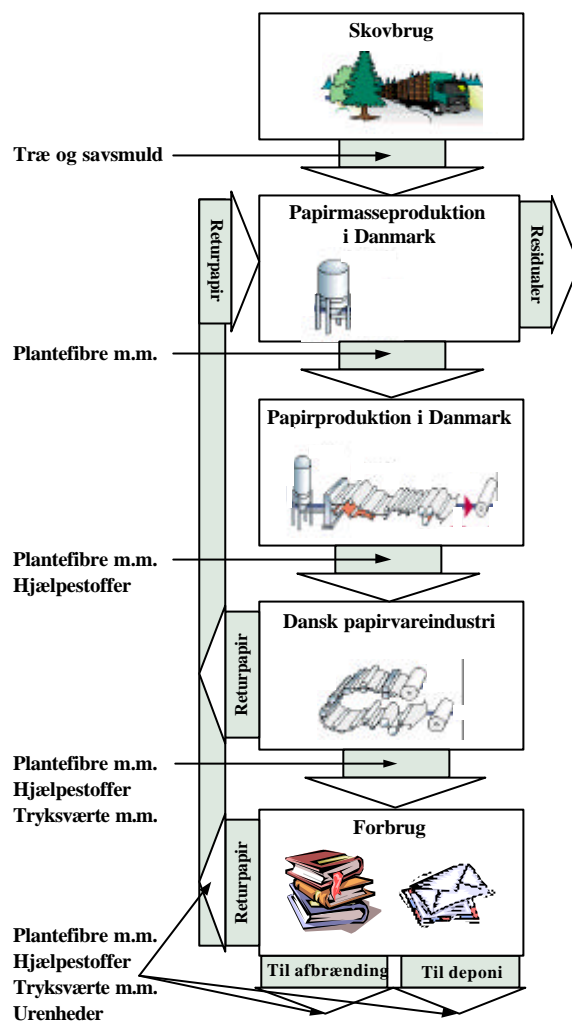
I dette kapitel foretages en massestrømsanalyse af papir i Danmark. Fremgangsmåden tager udgangspunkt i beskrivelsen af metode til massestrømsanalyse i forrige kapitel.

8.1 Målsætning og systemafgrænsning

Formålet med at foretage en massestrømsanalyse af papir i Danmark er, at bestemme størrelsen af papirforbruget fordelt på papirvarer. Desuden ønskes mængden af papirkvaliteter, papirmasse, hjælpestoffer, tryksværte samt træ og savsmuld bestemt for hver papirvare. Denne massestrømsanalyse skal danne grundlag for den videre livscyklusvurdering af Danmarks papirforbrug, samt danne rammerne for opstilling af scenarier til belysning af muligheder for at reducere ressourceforbruget og miljøpåvirkninger. Dermed vil denne massestrømsanalyse ikke, som det normalt er tilfældet, lægge vægt på at identificere primære kilder til spild i massestrømmen papir i Danmark.

Definition af det stof der følges

De stoffer der opgøres i massestrømsanalysen fremgår af figur 8.a. Papir er således defineret ud fra de input og output, der fremgår af figur 8.a. Da vandindholdet i træ, papirmasse og papir varierer meget fra enhedsproces til enhedsproces opgøres massestrømmen af papir i tørstof (TS). De enkelte stoffer vil blive uddybet under beskrivelsen af de enkelte enhedsprocesser vist i bilag 8.a.



Figur 8.a Definition af massestrømmen af papir i forskellige faser af papirs livscyklus.

Systemafgrænsning

Faserne i systemet udgøres af de tre grundlæggende produktionsfaser beskrevet i kapitel 5, som er papirmasse-, papir og papirvareproduktion. Desuden medtages råstoffasen skovbrug og forbrugsfasen. Systemgrænsen inklusiv de fem processer fremgår af figur 8.b i næste afsnit. Disse processer vil i det følgende blive benævnt enhedsprocesser.

Da den største leverandør af papir til Danmark er Sverige, er det valgt at beskrive udenlandsk papirproduktion til Danmark ud fra svenske forhold. Systemet er derfor rummeligt afgrænset af papirs livscyklusfaser i Danmark og Sverige. Systemets rummelige afgrænsning fremgår af figur 8.b.

Tidsmæssigt er massestrømsanalysen afgrænset af året 1999. Det vil sige massestrømmen af papir i Danmark opgøres for dette år. Valget af året 1999 begrundes

med, at det er det seneste år, det har været muligt at finde tilstrækkelige oplysninger for.

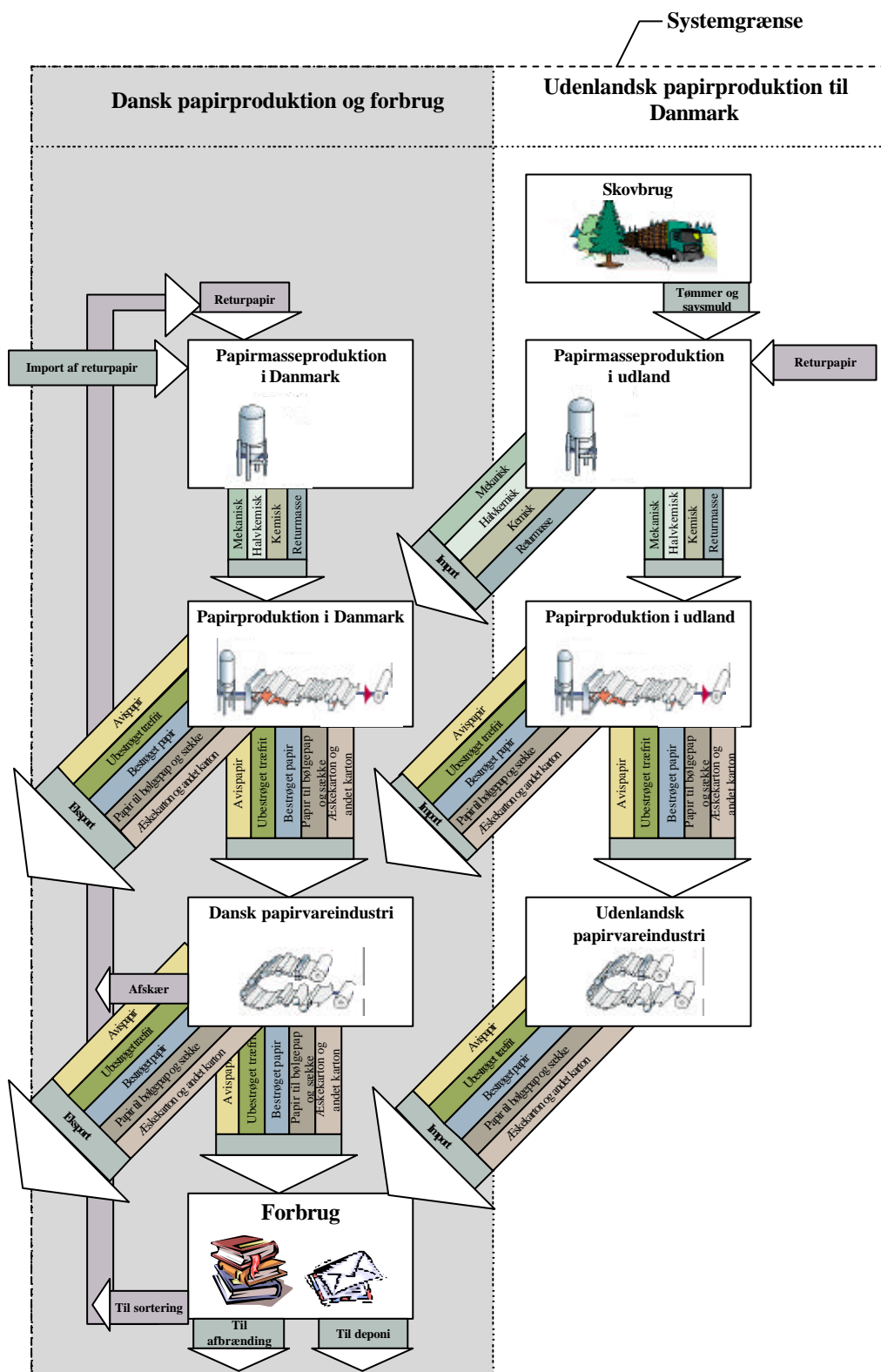
8.2 Systemanalyse

Systemanalysen omfatter en beskrivelse af systemet, de enhedsprocesser der lægges samt hvilke produkter der følges under hver enhedsproces. Desuden beskrives detaljeringsniveauet for massestrømsanalysen.

System og enhedsprocesser

I massestrømsanalysen ønskes det at kortlægge alle væsentlige input og output for hver enhedsproces. Da de fleste af enhedsprocesserne omfatter flere virksomheder, samt et stort antal forskellige papirprodukter er det valgt at beskrive hver enhedsproces udfra en repræsentativ sammensætning af produkter. For hver enhedsproces foretages således en separat opgørelse af de produkter, der indgår i massestrømmen af papir. Eksempelvis laves der fire separate opgørelser i enhedsprocessen papirmasseproduktion, hvor der skelnes mellem mekanisk-, halvkemisk-, kemisk- og returmasse. Det er valgt at beskrive hver enhedsproces udfra et begrænset antal papirprodukter og virksomheder. I figur 8.b fremgår det af pilene hvilke papirprodukter, der beskrives i hver enhedsproces. Systemet og de enkelte enhedsprocesser fremgår af det følgende afsnit.

De produkter det er valgt at følge i hver enhedsproces, fremgår af figur 8.b. og beskrives i det følgende. Det er valgt, at medtage enhedsprocesser i Danmark, samt de enhedsprocesser i udlandet som passerer af papir, der indgår i den danske massestrøm. Et overblik over de systemgrænser og enhedsprocesser der analyseres i dette kapitel er vist i figur 8.b.



Figur 8.b Samlet oversigt over systemet, der analyseres. Af figuren fremgår den rummelige systemgrænse samt de medtagne enhedsprocesser.

Skovbrug: Den første enhedsproces, der medtages i massestrømmen af papir i Danmark, er produktionen af det træ, der anvendes til papirproduktion. Det gøres her opmærksom på at den eneste papirmasstype, der produceres i Danmark er returmasse. Derfor er enhedsprocessen skovbrug ikke medtaget i Danmark.

Papirmasseproduktion: Denne enhedsproces omfatter behandling af råvarer til produktion af papirmasse. Der findes flere typer af papirmasse, som beskrevet i kapitel 5. Papirmasserne er baseret på enten råvaren træ eller returpapir. I denne undersøgelse tages der udgangspunkt i de fire mest anvendte papirmasser. Således omdannes massestrømmen af træ eller returpapir her til returmasse, mekanisk-, kemisk- eller halvkemisk papirmasse.

Papirproduktion: I denne enhedsproces omdannes papirmassen til forskellige papirkvaliteter. Ligesom ved papirmasseproduktionen produceres der i denne fase flere produkter. Det er valgt at medtage fem papirkvaliteter. Disse udgøres af avis-papir, papir til bølgepap og sække, bestrøget papir, ubestrøget træfrit samt æske-karton og andet karton. Denne sammensætning af produkter repræsenterer 84% af den samlede papirproduktion til Danmark.

Papirvareproduktion: I enhedsprocessen papirvareproduktion, følges de fem papirkvaliteter fra papirproduktionen. I denne enhedsproces udsættes papirkvaliteterne for forskellige former for trykning, beskæring og limning. På denne måde bliver produkterne, der produceres i denne enhedsproces, til aviser, varer af bestrøget papir, varer af ubestrøget træfrit, bølgepap og sække, samt varer af æskekarton og andet karton med tryk.

Forbrug: Denne enhedsproces omfatter forbrug og bortskaffelse. I denne enhedsproces følges varerne af de fem papirkvaliteter ind i enhedsprocessen, mens papiraffaldet opgøres med hensyn til det, der går til forbrænding og deponi samt returpapir til genanvendelse.

Detaljeringsniveau

Da formålet med massestrømsanalysen er, at den skal danne grundlag for en livscyklusvurdering, som skal belyse reduktionsmuligheder i forhold til faktor 4, vurderes det at være tilstrækkeligt at gennemføre en massestrømsanalyse på oversigtsniveau. Dette begrundes dels med at datatilgængeligheden ikke tillader en mere detaljeret massestrømsanalyse indenfor projektets tidsrammer, og dels at detaljeringskravene er mindre når der fokuseres på reduktionspotentialer frem for absolute mængder. Hermed menes, at det ikke er af afgørende betydning for de videre

analyser, at størrelsen af Danmarks papirforbrug er opgjort med snævre sikkerhedsmarginer. Desuden er det ikke absolutte mængder af udledninger der ledes efter. Dette opgøres derimod senere i livscyklusvurderingen.

8.3 Kortlægning og modellering

I dette afsnit beskrives baggrunden for kortlægning og modellering af massestrømmen af papir i Danmark. Først forklares det hvilke data, det er valgt at basere kortlægningen på. Derefter beskrives de overordnede afgrænsninger og antagelser. Kortlægningen af enhedsprocesserne er beskrevet i bilag 8.a. I forbindelse med kortlægningen af massestrømmen beskrives massestrømmens indhold ved de vigtigste stoffer der indgår i de enkelte enhedsprocesser.

Dataindsamling

Beregninger og beskrivelser af massestrømmens indhold er primært baseret på data fra statistikker og miljørapporter fra papirindustrien. Det har vist sig, at data for dansk papirforbrug varierer fra kilde til kilde, hvorfor det vurderes, at ikke alle de brugte data er lige pålidelige. Derfor anvendes først og fremmest data fra virksomheders miljøredegørelser og grønne regnskaber. Hvor disse ikke er tilstrækkelige, bruges der oplysninger fra Miljøstyrelsen [Tønning, 2001], som dels er baseret på data fra Danmarks Statistik og dels data som Teknologisk Institut har indsamlet. I de tilfælde hvor det ikke har været muligt at skaffe andre data bruges data fra Confederation of European Paper Industries [CEPI, 2000]. Enkelte steder er data desuden suppleret med udregninger på baggrund af generelle oplysninger af teoretisk karakter, eksempelvis massefylden af nåletræ.

Afgrænsninger og forudsætninger ved massebalancerne

Sverige er den største producent af papir til Danmark og 80% af Sveriges papirproduktion stammer fra rødgrand og fyr. Derfor vurderes det at være fyldestgørende nok, at beskrive enhedsprocessen skovbrug ud fra data for nåletræ i Sverige. Derfor omregnes træforbrug til papir fra volumen til masse med massefylden for nåletræ. Nåletræ har massefylden $0,87 \text{ g/cm}^3$ [Dalager, 1995, s. 17].

Der findes et stort antal forskellige papirmasser. Disse kan ifølge kapitel 5 inddeles i fire overordnede typer. Disse er mekanisk papirmasse, kemisk papirmasse, halv-kemisk papirmasse og returmasse.

For Danmarks skovbrug, papirmasseproduktion og papirproduktion har en fuldstændig kortlægning været muligt, idet der kun findes fire papirfabrikker i Danmark. Det har derimod ikke været muligt at foretage en fuldstændig kortlægning af

udenlandske papir- og papirmassefabrikker, hvorfra der importeres til Danmark. Generelt kan det papir der importeres til Danmark inddeles i ni papirkvaliteter. Det er valgt at beskrive massestrømmen af papir, der importeres til Danmark, udfra de fem papirkvaliteter der importeres mest af. I figur 8.c ses en oversigt over hvor stor en andel af importen hver af de ni forskellige papirkvaliteter udgør.

Papirkvalitet	Beskrivelse	Andel af import	Status
Papir til bølgepap og sække	Brunt groft papir	21%	Medtages
Avispapir	Bruges til aviser	23%	
Bestrøget papir	Blankt hvidt papir til eksempelvis blade	17%	
Ubestrøget træfrit	Almindeligt hvidt papir, som eksempelvis kopipapir	8%	
Æskekarton og andet karton	Stift og tungt papir incl. Karton til mælkekartoner	10%	
Ubestrøget mekanisk	Bruges til tryksager på groft papir	6%	Medtages ikke
Aftøringspapir	Servietter, wc-papir mm.	6%	
Indpakkingspapir	Belagt papir, eksempelvis vokspapir	3%	
Andet papir	Diverse incl. Tjærepapir mm.	3%	
Total		100%	

Figur 8.c Oversigt over Danmarks import af papirkvaliteter. De valgte kvaliteter er markeret med fed skrift [CEPI, 2000, 46-54].

Af figur 8.c fremgår det, at de fem papirkvaliteter der importeres mest af tilsammen udgør 82% af importen. Udover ovenstående import af papir skal det bemærkes, at Danmark også importerer en mindre mængde papirvarer, som er lavet af forskellige papirkvaliteter. Denne import ændrer dog ikke på hvilke papirkvaliteter der importeres mest af, og det vurderes at papirkvaliteterne bibeholder deres procentvise andel af importen.

Indenfor hver af de fem papirkvaliteter massestrømmen beskrives udfra, er den største producent til det danske marked blevet identificeret, og input og output data for disse virksomheder er blevet fremskaffet. Det antages at oplysningerne fra de største producenter til Danmark er repræsentative for produktionen af den papirkvalitet, som fabrikken producerer, og at fabrikkernes data derfor kan ekstrapoleres til alt papir, der importeres af den pågældende kvalitet.

Da massestrømsanalysen beskriver hele papirstrømmen udfra fem papirkvaliteter er det valgt at fordele massen fra de resterende fire papirkvaliteter fra figur 8.c ud på

de fem papirkvaliteter der beskrives. Hermed antages det at input og output fra de fem kvaliteter der udgør 82% af Danmarks papirimport kan ekstrapoleres til hele Danmarks papirimport. Der gøres opmærksom på, at der kan være en usikkerhed forbundet ved denne ekstrapolering. Dette skyldes at egenskaberne ved de fire fravalgte papirkvaliteter kan afvige væsentligt fra de fem valgte. Da disse fire papirkvaliteter tilsammen kun udgør 18% af den samlede import vurderes dette forhold dog ikke at have væsentlig indflydelse på massestrømsanalysens fejlmargin.

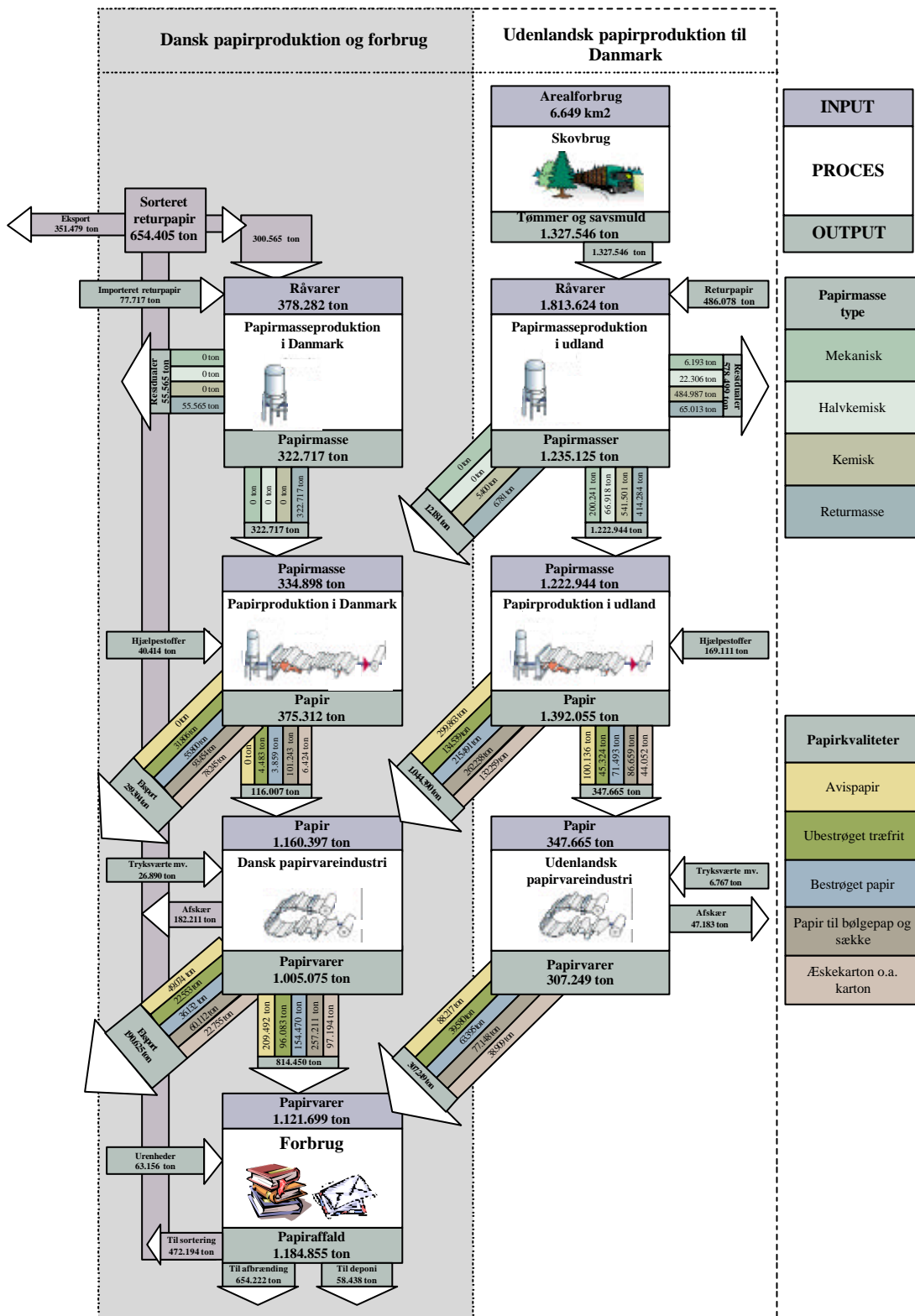
Produktionen af papirvarer foregår ligesom papirmasseproduktionen på et stort antal fabrikker i ind- og udland, hvorfor det ikke har været muligt at få fat i alle data for den samlede papirvareindustri. Input i papirvareindustrien er derfor beskrevet ved tilførsel af tryksværte ud fra nogle repræsentative trykkerier samt data fra Danmarks største producent af papkasser lavet af bølgepap. Da den udenlandske papirvareindustri kun producerer ca. 25% af det danske papirforbrug, vurderes det, at oplysningerne fra de danske papirvareproducenter kan overføres til den udenlandske enhedsproces for papirvareindustri.

Endelig er papirkredsløbet lukket ved at kortlægge massestrømmen af papir i affalds- og genanvendelsesfasen. Dette er baseret på statistikker over affald i Danmark [Miljøstyrelsen, 2000; Tønning, 2001].

I bilag 8.a er der opstillet massebalancer for hver enhedsproces, hvor dette er dokumenteret med beskrivelse af beregningsgange, data og stoffer der indgår i massestrømmen.

8.4 Sammenfatning af massestrømmen af papir i Danmark

I figur 8.d er enhedsprocesserne, som er beskrevet i bilag 8.a, samlet i en figur over massestrømmen af papir i Danmark i 1999.



Figur 8.d Samlet oversigt over massestrømmen af papir i Danmark i 1999. Alle tal er opgjort i 100% tørstof.

Det fremgår af figur 8.d at det samlede forbrug af papir i Danmark i 1999 er 1.121.699 (100% tørstof). Heraf går at 40% af forbruget indsamles til genanvendelse, 55% går til forbrænding og 5% deponeres. Den reelle indsamling af returpapir er imidlertid større end 40% af det producerede papir, idet der er en stor mængde afskær i papirvareindustrien, som sendes til genanvendelse. Det danske papirforbrug består af 73% fra dansk papirvareindustri og 27% fra udenlandsk industri. Papirforbruget i den danske papirvareindustri dækkes af 10% papir fra de danske papirfabrikker og 90% fra de udenlandske papirfabrikker. Papirmasseforbruget på papirfabrikkerne dækkes for 96% vedkommende af dansk produceret papirmasse af returpapir. De væsentligste spild af massestrømmen af papir i produktionen sker i papirmasseproduktionen, hvor 29% af inputtet tabes som residualer. Dette er primært frasorteret ligning og harpiks i træ samt rejekt fra sorteringen af returpapir. I papirvareindustrien er der et spild i form af afskær, der går til genanvendelse, på 15% af inputtet. Det danske papirforbrug fordelt på forskellige typer papirvarer fremgår af figur 8.e.

Da de overordnede tal, så som import, eksport og dansk produktion, stammer fra Danmarks Statistik og de danske papirfabrikkers miljøredegørelser, så vurderes det, at tallene i figur 8.d giver et realistisk billede af den faktiske massestrøm af papir i Danmark i 1999.

For at kunne bestemme materialeinputtet, der går til det danske forbrug, skal den andel, der går til eksport fratrækkes. Dette gøres ved at opstille en massebalance for hver enhedsproces pr. tons produkt, der indgår som input i den følgende enhedsproces. Denne balance for alle enhedsprocesserne er vist i bilag 8.b. Med udgangspunkt i Danmarks papirforbrug som, fremgår af figur 8.d, og massebalancen for alle enhedsprocesser pr. tons produkt, er massestrømmen i forbindelse med de forskellige papirvarer udregnet. Dette er vist i figur 8.e. Det er tallene i figur 8.e, der bruges i den efterfølgende livscyklusvurdering.

	Avispapir	Ubestroget træfrit	Bestroget papir	Papir til bølge-pap og sække	Æskekarton og andet karton
Forbrug	27%	12%	19%	30%	12%
INPUT: Vare (93% TS)	320.116	145.875	234.263	359.525	146.348
INPUT: Urenheder (100% TS)	16.762	7.638	12.267	18.826	7.663
OUTPUT: - Til forbrænding (92% TS)	188.735	86.005	138.118	211.970	86.284
OUTPUT: - Til deponi (92% TS)	16.859	7.682	12.337	18.934	7.707
OUTPUT: - Til returpapir (92% TS)	136.222	62.075	99.688	152.992	62.277
Papirvareproduktion					
INPUT: - Papirkvalitet (93% TS)	369.241	169.967	268.247	410.263	168.344
INPUT: - Tryksvæerte (100% TS)	6.404	1.587	6.262	0	1.049
INPUT: - Lim (100% TS)	0	0	0	9.477	1.931
INPUT: - Farve (100% TS)	0	0	0	1.683	343
OUTPUT: - Afskær (93% TS)	56.010	25.798	40.716	62.738	25.569
OUTPUT: - Papirvarer (93% TS)	320.116	145.875	234.263	359.525	146.348
Papirproduktion					
INPUT: - Hjelpestoffer (100% TS)	5.494	33.195	87.314	15.598	8.509
INPUT: - Mekanisk (100% TS)	101.370	0	0	0	49.288
INPUT: - Halvkemisk (100% TS)	0	0	0	46.970	0
INPUT: - Kemisk (100% TS)	67.580	105.225	138.134	35.227	49.288
INPUT: - Returnmasse (100% TS)	168.950	19.648	24.021	283.750	49.475
OUTPUT: - Papirkvaliteter (93% TS)	369.241	169.967	268.247	410.263	168.344
Papirmasseproduktion – mekanisk					
INPUT: - Træ og savsmuld (45% TS)	232.234	0	0	0	112.916
OUTPUT: - Residualer (100% TS)	33.790	0	0	0	16.429
OUTPUT: - Mekanisk (100% TS)	101.370	0	0	0	49.288
Papirmasseproduktion - halvkemisk					
INPUT: - Træ og savsmuld (45% TS)	0	0	0	139.169	0
OUTPUT: - Residualer (100% TS)	0	0	0	15.657	0
OUTPUT: - Halvkemisk (100% TS)	0	0	0	46.970	0
Papirmasseproduktion – kemisk					
INPUT: - Træ og savsmuld (45% TS)	283.354	441.197	579.177	147.703	206.658
OUTPUT: - Residualer (100% TS)	59.929	93.313	122.496	31.239	43.708
OUTPUT: - Kemisk (00% TS)	67.580	105.225	138.134	35.227	49.288
Papirmasseproduktion – returmasse					
INPUT: - Rurpapir (92% TS)	213.412	24.819	30.343	358.424	62.496
OUTPUT: - Residualer (100% TS)	27.389	3.185	3.894	46.000	8.021
OUTPUT: - Returnmasse (100% TS):	168.950	19.648	24.021	283.750	49.475

Figur 8.e Komponenter i massestrømmen af papir knyttet til det danske papirforbrug. For massebalancer for de enkelte enhedsprocesser, se bilag 8.b.

Med denne opgørelse af massestrømmen af papir i Danmark haves grundlaget for den livscyklusvurdering, der ønskes foretaget af det danske papirforbrug. Metoden til livscyklusvurdering vil blive beskrevet i næste kapitel.



DEL 5

Kapitel 9 Metode til livscyklusvurdering

Del 1: Indledning

1 Indledning

Del 2: Baggrund

2 Miljøpolitik; Fra fortynding til faktor 4

3 Afkobling og faktor 4

4 Danmarks massestrømme

5 Papir og papirproduktion

Del 3: Problemformulering

6 Problemformulering

Del 4: Massestrømsanalyse

7 Metode til massestrømsanalyse

8 Massestrømsanalyse af papir i Danmark

Del 5: Livscyklusvurdering

9 Metode til livscyklusvurdering

10 Livscyklusvurdering af Danmarks papirforbrug

11 Effektvurdering af Danmarks papirforbrug

12 Opstilling og effektvurdering af scenarier

13 Fortolkning og perspektivering

Del 6: Konklusion

14 Konklusion

9 Metode til livscyklusvurdering

I dette kapitel beskrives, hvad der forstås ved en livscyklusvurdering, hvordan den kan foretages, samt hvilke usikkerheder og begrænsninger der er forbundet med metoden.

9.1 Principper og anvendelsesområde

En livscyklusvurdering er en metode til at få et overblik over hvilke potentielle miljøeffekter, der er forbundet med et produkt i hele dets livscyklus. Dette betyder at alle miljøeffekter relateret til produktet fra vugge til grav medtages. Overblikket over potentielle miljøeffekter opnås ved, at udvekslinger af alle stoffer aggregeres til en samlet miljøscore, fordelt på et begrænset antal effektkategorier, eksempelvis drivhuseffekt, forsuring og næringssaltbelastning.

Livscyklusvurderinger anvendes primært som et redskab til at reducere eller modvirke mulige miljøpåvirkninger under fremstilling og anvendelse af produkter. Anvendelsesområdet omfatter dog også beslutningstagen i både privat og offentligt regi, idet livscyklusvurderinger udarbejdes som beslutningsgrundlag for politikere og planlæggere.

I 1997 udkom der første gang en international standard for udarbejdelse af livscyklusvurderinger, ISO 14040. I 1998, 1999 og 2000 er der udgivet supplerende internationale standarder, som uddyber indholdet i den oprindelige. Nogle af standarderne er siden blevet revideret, og i år 2001 udkom på dansk den samlede opdaterede serie af standarderne for livscyklusvurderinger, DS/EN ISO 14040 til 14043. I denne rapport tages der udgangspunkt i disse standarder som grundlag for livscyklusvurderingsmetoden, idet standarderne fremsætter en række bestemmelser for form og indhold af livscyklusvurderinger. Det skal imidlertid gøres opmærksom på, at udover standarderne er der forskellige metoder til udførelse og beregningsgange i livscyklusvurderinger. Eksempler herpå er UMIP, Eco-indicator, CML og EPS. Forskellen på disse metoder består i, at de er tilpasset forskellige regioner, og at de potentielle miljøeffekter, der opgøres, belyses på forskellige måder. Det er i denne rapport valgt at benytte UMIP metoden. Dette er begrundet med at metoden dels er dansk, og derfor er udviklet ud fra danske forhold, og dels at det er den mest anvendte metode i Norden. UMIP metoden er beskrevet i [Wenzel et al. 1997] og [Hauschild, 1996].

Alle metoder har imidlertid både styrker og svagheder, og sådan er det også med UMIP. Der sættes en naturlig begrænsning for hvilke miljøeffekter, der kan beskri-

ves ud fra de effektkategorier, der opereres med i UMIP. Eksempelvis er arealforbrug ikke medtaget i UMIP. Ligeledes begrænses muligheden for at belyse effektkategorierne i UMIP ud fra de udvekslinger, der i metoden er medtaget til at beskrive den pågældende effektkategori. Eksempelvis er træ ikke medtaget som et resourceforbrug, idet der i UMIP kun opereres med ikke-fornybare ressourcer.

Den følgende beskrivelse af metoden til livscyklusvurderinger er baseret på ISO 14040 til 14043 og UMIP.

9.2 Definition på en livscyklusvurdering

I ISO 14040 er en livscyklusvurdering defineret som følger: *”Livscyklusvurdering er en systematisk analyse af et produkt, hvor alle udledninger af stoffer til miljøet i produktets livscyklus behandles. En livscyklus består af de fortløbende og forbundne faser i produktsystemet fra udvinding af råstoffer til endelig bortskaffelse.”* [ISO 14040, 2001, indledning].

9.3 Fremgangsmetode

I standarderne foreskrives det, at en livscyklusvurdering skal bestå af fire faser:

1. Formåls- og rammedefinition
2. Opgørelse af emissioner og resourceforbrug
3. Effektvurdering af emissioner og resourceforbrug
4. Fortolkning og konklusion

Faserne udgør ikke en fastlagt rækkefølge, som processen skal følge, men derimod en iterativ proces. Det bemærkes at disse faser i høj grad minder om faserne i en massestrømsanalyse beskrevet i kapitel 7.

I det følgende beskrives de enkelte faser, og hvad der foretages i forbindelse med disse ved udarbejdelse af en livscyklusvurdering.

Fase 1, Definition af formål og afgrænsning

Formål: I denne fase defineres det produkt, der undersøges og den påtænkte anvendelse af undersøgelsens resultater. På denne baggrund identificeres forudsætningerne for livscyklusvurderingen. Med forudsætningerne forstås afgrænsning af systemet, der undersøges, herunder emner der medtages i undersøgelsen og detaljeringniveau for undersøgelsen. Detaljeringniveauet kan variere afhængigt af formålet med den specifikke undersøgelse. [ISO 14040, 2001, indledning]

Et eksempel på en formålsbeskrivelse er fra Miljøstyrelsens livscyklusvurdering af tre grafiske produkter:

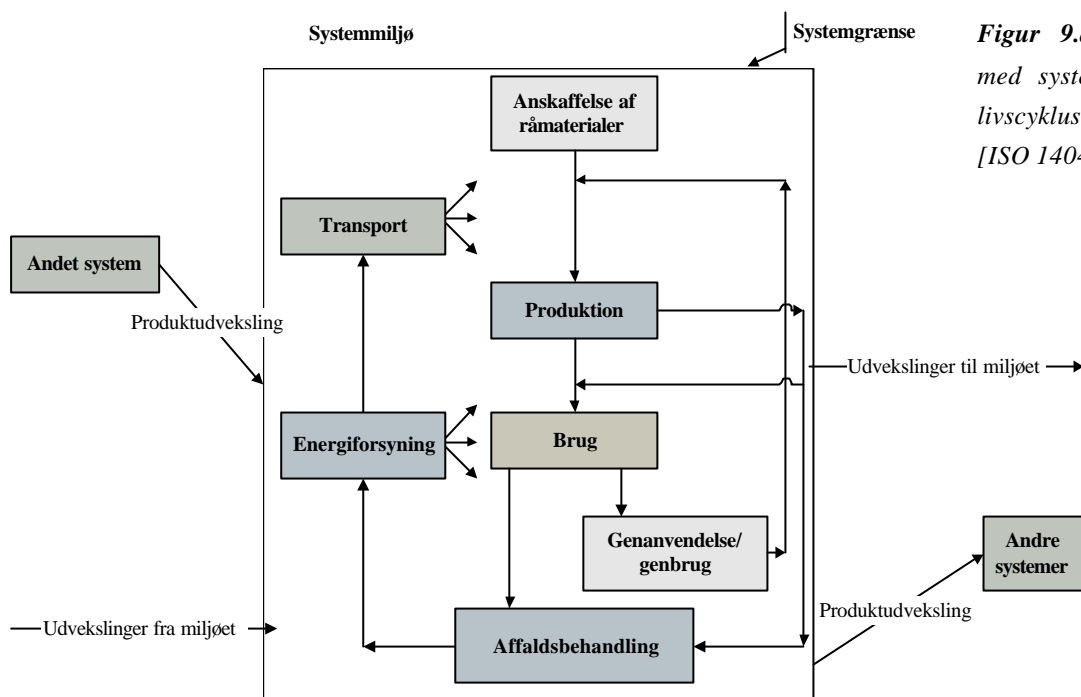
Formålet med at opgøre disse miljøeffekter, ressourceforbrug og affald for hvert grafisk produkt er:

- *at identificere de største forbrug/emissioner og herved klarlægge indsatsområder*
- *at opstille et referencegrundlag for de kortlagte produkter*
- *at muliggøre sammenligning med andre produkter*
- *at etablere baggrunden for at opstille miljøprofiler*
- *at udpege manglende viden, og dermed behov for yderligere forskning og udvikling*

[Miljøstyrelsen, 1997, s. 23]

Funktionel enhed og referenceudveksling: Når afgrænsningen af livscyklusvurderingen defineres, skal der angives en specifikation af det givne produkts funktioner eller ydelse. Denne specifikation kaldes den funktionelle enhed. Alle udvekslinger opgøres i forhold til den funktionelle enhed. Formålet med en livscyklusvurdering er ofte at sammenligne forskellige alternativer, for at kunne udpege miljøforbedrende tiltag. Den funktionelle enhed er således sammenligningsgrundlaget, idet alle alternativer skal opfylde den funktion eller ydelse, der er defineret i den funktionelle enhed. Derfor skal den funktionelle enhed formuleres, så der ikke afgrænses fra mulige alternativer. Et eksempel på en funktionel enhed fra Miljøstyrelsens livscyklusvurdering af tre grafiske produkter er et årseksemplar af Morgenavisen Fyns Stiftstidende (110 kg) [Miljøstyrelsen, 1997, s. 23].

Ramme og systemgrænse: Når udvekslinger i relation til den funktionelle enhed skal opgøres, skal produktets livscyklus også kaldt produktsystemet defineres. Produktsystemet er en samling af enhedsprocesser, som udfører en eller flere definerede funktioner i forhold til det aktuelle produkt. Enhedsprocesserne er forbundet af udvekslinger af mellemprodukter og affald til behandling. Enhedsprocesserne i produktsystemet svarer til enhedsprocesserne nævnt i massestrømsanalysen. Et eksempel på en enhedsproces er papirmassefremstilling. I figur 9.a er et generelt produktionssystem vist.



Figur 9.a Produktsystem med systemgrænse for en livscyklusvurdering. Efter [ISO 14041, 2001, s. 2].

I produktsystemet i figur 9. a, er der indtegnet enhedsprocesser. Mellem produktsystemet og det omgivende miljø er der udvekslinger af produkter til og fra andre systemer samt udvekslinger til og fra miljøet

Udvekslinger, der skal medtages, kan vælges på baggrund af flere kriterier, eksempelvis påpeges det i standarderne, at kriterier kan baseres på masse, energi eller miljøvæsentlighed.

Datakvalitet: Kvaliteten af de data der medtages i livscyklusvurderinger skal dokumenteres for at vise pålideligheden af undersøgelsens resultater, og for at fortolkningen kan foretages på tilfredsstillende vis. Der er tre generelle kvalitetskrav. Først bør data generelt omfatte den ønskede periode, der ønskes data fra samt varigheden af den tidsperiode, der må indsamles data i. For det andet bør det geografiske område hvorfra data indsamles bør specificeres, det være sig lokalt, regionalt, nationalt, kontinentalt eller globalt. For det tredje bør den teknologi, der anvendes, være et vægtet gennemsnit af den faktiske processammensætning, værste enhed i drift og den bedst tænkelige teknik.

Detaljeringsgraden, der ønskes i vurderingen, bør også tages i betragtning, når kravene til datakvalitet opstilles for en livscyklusvurdering. Eksempelvis skal en undersøgelse med fremsætning af en sammenlignende påstand, der anvendes i offent-

ligt regi, ifølge [ISO 14041, 2001, s. 7] omfatte en beskrivelse af præcision, fuldstændighed, repræsentativitet, konsistens og reproducerbarhed.

Fase 2, Opgørelse af emissioner og ressourceforbrug

I denne fase opgøres udvekslingerne forbundet med den funktionelle enhed, det vil sige emissioner og ressourceforbrug. Dette gøres ved indsamling af data, fastsættelse af beregningsmetoder og allokeringer, hvor der forekommer udvekslinger, der er relateret til flere systemer end produktsystemet.

Dataindsamling: Fasen indledes med forberedelse til dataindsamling. Der tegnes specifikke procesdiagrammer for enhedsprocesserne og sammenhængen mellem disse. Der udarbejdes i denne fase en beskrivelse af indsamlingsmetoder. Denne forberedelse minder i høj grad om opstillingen af stofbalancer under massestrømsanalysen beskrevet i kapitel 7. Det næste skridt i denne fase er selve dataindsamlingen, hvor dataark for samtlige enhedsprocesser udfyldes.

Beregning: Efter dataindsamlingen gennemgås en række beregningsprocedurer for hver af enhedsprocesserne, således at der genereres resultater i overensstemmelse med den funktionelle enhed. Hvis der identificeres manglende data, skal det opgjorte begrundes, hvad enten der anvendes en beregnet værdi, hvis værdien sættes lig nul, eller hvis værdien anslås. [ISO 14041, 2001, s. 10]

På grundlag af de beregnede resultater forbindes enhedsprocesserne indbyrdes, så de kan summeres for hele systemet. Dette udføres ved at ensarte udvekslingerne i alle systemets enhedsprocesser til den funktionelle enhed.

Allokering: Mange industrielle processer frembringer flere produkter benævnt samprodukter, og de genanvender skot eller mellemprodukter som materiale. Derfor skal såvel materiale- som energiudvekslinger i form af udledninger til miljøet, fordeles over de forskellige slutprodukter. Denne fordeling benævnes allokering. Et eksempel på et tilfælde, hvor der skal allokeres er, når der bruges varme fra et kraftvarmeværk. Her skal det fastlægges i hvilken grad kraftvarmeværkets udvekslinger, skal tillægges den brugte varme, og hvad der skal tillægges elproduktionen. Der er flere måder af fastsætte dette på. Det kan gøres ved fordeling efter energiindhold, eller man kan betragte varme som et biprodukt, hvorved alle udledninger derfor skal tillægges elproduktionen.

I standarderne lægges der op til en fast tre -trins procedure for valg af allokering-princip:

- Det undersøges om det er muligt at undgå allokering ved at opdele de aktuelle enhedsprocesser i to eller flere underprocesser.
- Der allokeres efter energiindhold, masse eller en anden enhed der kendetegner de produkter eller ydelser der leveres af systemet.
- Hvor fysisk sammenhæng ikke kan påvises eller bruges som grundlag for allokering, skal der allokeres mellem produkterne på en måde, som afspejler sammenhænge mellem dem. Eksempelvis kan data for udvekslinger allokeres mellem samprodukterne proportionalt med produkternes økonomiske værdi.

Allokeringerne skal være ensartede for samme typer udledninger i hele processystemet. [ISO 14041, 2001, s. 11]

Allokeringsprincipperne gælder også for genbrug og genindvinding. Disse situationer er dog anderledes da udledninger ikke blot skal fordeles over flere produkter, men eventuelt over flere produktsystemer, ligesom genanvendelse kan ændre materialers iboende egenskaber. Det er derfor vigtigt at være omhyggelig ved definition af systemgrænser vedrørende genanvendelsesprocesser. [ISO 10441, 2001, s. 12]

Fase 3, Effektvurdering af emissioner og ressourceforbrug

I denne fase evalueres resultaterne af kortlægningen, således at der skabes et overblik, over hvilke potentielle miljøpåvirkninger produktsystemet bidrager til. Effektvurderingen består af kategoridefinition, klassifikation, karakterisering, normalisering og vægtning.

Kategoridefinition: For at livscyklusvurderingen kan tilpasses formålet, skal det besluttes, hvilke kategorier af miljøeffekter, der medtages i vurderingen. I UMIP metoden opdeles effektkategorierne i to hovedgrupper. Disse er miljøeffekter og ressourceforbrug. Der opereres med i alt 15 forskellige kategorier af miljøeffekter og 25 forskellige kategorier af ressourceforbrug. Disse effektkategorier beskrives nærmere under afsnittet om karakterisering. Afhængigt af livscyklusvurderingens formål kan det i visse tilfælde være fordelagtigt at undlade en del af effektkategorierne, således at resultatet bliver mere overskueligt, men dog også mindre nuanceret.

Klassifikation: Flere forskellige udvekslinger kan bidrage til samme effektkategori, og én udveksling kan bidrage til flere effektkategorier. Eksempelvis bidrager både CO₂, CH₄ og CFC-gasser til drivhuseffekt. Tilsvarende bidrager NO_x både til næringssaltbelastning og forsurening. Beskrivelsen af disse sammenhænge for alle udvekslinger og effektpotentialer kaldes klassifikation.

Karakterisering: Når det er valgt hvilke effektkategorier, der medtages, samt at sammenhængen mellem udvekslinger og effektkategorier er beskrevet, skal udvekslingernes bidrag til de enkelte effektkategorier fastsættes. Hver effektkategori opgøres i en referenceenhed. Dette er eksempelvis kg CO₂-ækvivalenter for drivhuseffekt og kg SO₂-ækvivalenter for forsurening. Bidraget til en effektkategori opgjort i referenceenheden kaldes for effektpotentialet. Når flere udvekslinger bidrager til samme effektkategori sker det med forskellig vægt. Eksempelvis bidrager 1 kg CH₄ ca. 25 gange mere til drivhuseffekt end 1 kg CO₂. Derfor tildeles hver udveksling en ækvivalensfaktor, som angiver, i hvor stor grad én enhed af den pågældende udveksling bidrager til effektpotentialet i forhold til referenceenheden. I figur 9.b nedenfor er referenceenheden vist for de forskellige effektkategorier, der er medtaget i UMIP.

Effektkategori	Enhedsreference
Drivhuseffekt	kg CO ₂ -ækvivalenter
Stratosfærisk ozonnedbrydning	kg CFC11-ækvivalenter
Forsuring	kg SO ₂ -ækvivalenter
Næringssaltbelastning	kg NO ₃ -ækvivalenter
Fotokemisk smog	kg ethen-ækvivalenter
Kronisk økotoksicitet til vand	m ³
Akut økotoksicitet til vand	m ³
Kronisk økotoksicitet til jord	m ³
Humantoksicitet til luft	m ³
Humantoksicitet til vand	m ³
Humantoksicitet til jord	m ³
Fast affald	kg
Farligt affald	kg
Radioaktivt affald	kg
Slagge og aske	kg
Alle kategorier af ressourcer	kg

Figur 9.b Referenceenheder for de forskellige effektkategorier.

Det ses i figur 9.b, at øko- og humantoksicitet regnes i m³. Dette skal forstås som antal kubikmeter af et givent delmiljø, der forurenes til et niveau, så delmiljøet lige præcis ikke er toksikologisk. Da der findes mange stoffer, hvis toksicitet er ukendt, ganges disse i tilfælde af manglende data i karakteriseringen med en sikkerhedsfaktor, der varierer fra 10 til 1000. Derfor vil øko- og humantoksicitet ofte slå meget ud.

Specielt for øko- og humantoksicitet er desuden, at der skelnes mellem hvilket delmiljø udvekslingen sker til. Der er således op til tre forskellige udledninger af samme stof, der bidrager til én effektkategori. Eksempelvis bidrager udledning af kviksølv til både luft, vand og jord til kronisk økotoksicitet til vand. Dette betyder også, at udledning af kviksølv til eksempelvis vand både bidrager til kronisk og akut økotoksicitet til vand samt kronisk økotoksicitet til jord.

Ækvivalensfaktorer til de enkelte udvekslinger beskrives ikke i denne rapport. Der henvises i stedet til [Wenzel et al., 1997] eller UMIP metoden i SimaPro.

Med de udregnede effektpotentialer, er alle udvekslinger, der er opgjort i forbindelse med den funktionelle enhed, aggregeret til 15 forskellige effektkategorier, og det er muligt at sige noget om omfanget af de potentielle miljøeffekter.

Normalisering: For bedre at kunne tolke de udregnede effektpotentialer normaliseres disse. Dette betyder, at effektpotentialet knyttet til den funktionelle enhed divideres med det totale effektpotentiale pr. indbygger i dels Danmark og dels verden for hver effektkategori. Verden bruges som reference ved de globale effekter, det vil sige drivhuseffekt, stratosfærisk ozonnedbrydning og ressourceforbrug. Danmark bruges som reference ved de regionale og lokale effekter, hvilke omfatter de resterende effektkategorier. [Wenzel et al., 1997]

Enheden for et normaliseret effektpotentiale er personækvivalenter. Det vil sige, hvis det normaliserede effektpotentiale til drivhuseffekt er 0,5, så udgør udvekslingerne forbundet med den funktionelle enhed, hvad der svarer til det halve af, hvad en gennemsnits verdensborger udleder på et år.

Der er ikke i ISO angivet en metode til normalisering. Til normalisering benyttes normaliseringsfaktorer i UMIP metoden. Referenceåret i UMIP er 1990.

Vægtning: For at kunne vurdere miljøeffekterne indbyrdes mellem hinanden, vægtes de normaliserede effektpotentialer. Herved kan det vurderes om eksempel-

vis bidrag til drivhuseffekten er væsentligere end forsuring ved en given funktionel enhed.

Desuden kan effektpotentialerne stakkes, så de forskellige miljøeffekter aggregeres til én miljøscore. Hvis dette gøres ved to alternativer, gives et overskueligt billede af hvilket alternativ der samlet set er det bedste. Sådanne tolkninger skal dog foretages med varsomhed, da effekten af alle antagelser i opgørelsen lægges sammen.

Vægtningsfaktorer for miljøeffekter kan blandt andet være fastsat ud fra politiske målsætninger om de enkelte miljøeffekter eller ud fra et bæredygtighedskriterium, hvor der vægtes efter principperne i økologisk råderum. For ressourceforbrug vægtes ud fra tidshorizonten til udtømmning af reserverne af de enkelte ressourcer.

Der er ikke i ISO angivet en metode til vægtning. Til vægtningen benyttes vægtningsfaktorer i UMIP metoden. Disse er fastlagt ud fra politiske målsætninger [Wenzel et al., 1997, s. 301].

Fase 4, Fortolkning af resultater

I Fortolkningen analyseres de fremkomne resultater, der drages konklusioner, gives anbefalinger og vurderingen evalueres. Hensigten med fortolkningen er, at give en let forståelig, fuldstændig og konsistent præsentation af resultaterne.

Identifikation af væsentlige miljøeffekter: Dette første trin i fortolkningen består i fastlæggelse af de emner, der bør fokuseres på. Dette kan være de miljøpåvirkningskategorier, der træder frem i effektvurderingen i fase 3.

Evaluering: Dette andet trin i fortolkningen skal skabe tillid til resultater af livscyklusvurderingen. Der lægges i standarderne op til, at der for livscyklusvurderinger udarbejdes tre kontrolundersøgelser [ISO, 2001, s. 1–5]:

- Fuldstændighedskontrol er en kvalitativ vurdering af data, hvor det efterprøves, om oplysninger fra fase to og tre er tilstrækkelige til at drage konklusioner i overensstemmelse med formål og afgrænsning.
- Følsomhedsanalyse er en vurdering af effekten af kritiske antagelser. Målet er at etablere en tilstrækkelig sikkerhedsgrad for, at de identificerede signifikante miljøeffekter er korrekte set i forhold til formåls- og rammedefinitionen.
- Konsistenskontrol er en kvalitativ vurdering af, om antagelser, metoder og data er anvendt konsistent under hele undersøgelsen og i overensstemmelse med formål og afgrænsning.

Konklusioner og anbefalinger: Her opridses de konklusioner, som kan drages som følge af de gennemgåede trin i livscyklusvurderingen. På baggrund af konklusionerne kan der, hvor det er hensigtsmæssigt i forhold til formål og afgrænsning, gives anbefalinger til målgruppen.

9.4 Metodekritik

Fordelen ved at anvende en livscyklusvurdering er, at miljøeffekterne for forskellige alternativer er opgjort fra vugge til grav, og at alternativerne forholder sig til en fastlagt funktionel enhed, så de bliver sammenlignelige. Livscyklusvurderinger bygges dog ofte på en række antagelser på grund af begrænset datatilgængelighed. Ligeledes kan udfaldet variere efter hvilke interesser der ligger bag livscyklusvurderingen. Dette gør det svært at sammenligne resultater på tværs af forskellige livscyklusvurderinger udført af forskellige parter. Vurderingsmetoden lægger op til en lang række valg, hvor udøveren af metoden skal vægte forskellige muligheder og vælge den vedkommende finder væsentligst. Dermed er der risiko for manglende objektivitet i en livscyklusvurdering.

En anden ulempe er, at en livscyklusvurdering ikke tager højde for stedspecifikke forhold. Eksempelvis skelnes der ikke mellem, om næringssaltbelastning sker til sårbare naturtyper med nitrattruet grundvand eller til robuste naturtyper, hvor der ikke er grundvandsinteresser. Det vil sige, en livscyklusvurdering ikke er anvendelig til vurderinger i forhold til recipient- og fortyndingsprincippet. Desuden er vægtningen i UMIP foretaget ud fra danske målsætninger. Det vil sige, udvekslinger i forbindelse med enhedsprocesser i udlandet, ikke nødvendigvis bør underlægges den samme vægtning som ud fra danske forhold. Det er ikke sikkert, at det er de samme miljøproblemer, der gør sig gældende udenfor Danmark.

En tredje ulempe er, at der er stor forskel på resultatet alt efter hvilken metode der anvendes. I UMIP er eksempelvis arealoptag, udledninger af COD og BOD samt fornybare ressourcer ikke medtaget. Da alle disse er væsentlige i forhold til papirproduktion, vil valg af en anden metode sandsynligvis give et andet billede af, hvad der er væsentlige miljøeffekter.

Disse ulemper er vigtige at holde sig for øje, når en livscyklusvurdering fungerer som beslutningsgrundlag.



10 Livscyklusvurdering af Danmarks papirforbrug

I dette kapitel foretages fase 1 og 2 af en livscyklusvurdering af Danmarks papirforbrug. Fremgangsmetoden tager udgangspunkt i beskrivelsen af metode til livscyklusvurderinger i forrige kapitel.

10.1 Definition af formål og afgrænsning

I dette afsnit beskrives formål, systemgrænse, funktionel enhed og data til opgørelsen.

Formål

I problemformuleringen i kapitel 6 er der opstillet fire underspørgsmål, som ønskes belyst i denne rapport. Formålet med at foretage en livscyklusvurdering af massestrømmen papir er at belyse disse spørgsmål ved at opgøre miljøpåvirkninger som følge af massestrømmen papir i Danmark.

Således har livscyklusvurderingen til formål at belyse, 1) hvorvidt det er realistisk at opnå afkobling med faktor 4 for massestrømmen af papir i Danmark, og 2) hvorvidt det generelt er realistisk at opnå faktor fire for ressourceforbrug og miljøpåvirkninger, 3) hvor stor betydning Regeringens valg af indikatorer har for hvornår faktor 4 er opnået, og 4) i hvor høj grad der er sammenhæng mellem en reduktion af ressourceforbruget og nedgangen i miljøpåvirkninger som følge heraf.

For at belyse problemstillingen, som den er præsenteret, er det nødvendigt at have kendskab til miljøpåvirkninger og ressourceforbrug for massestrømmen af papir i Danmark, som den ser ud i dag. På denne baggrund identificeres det, hvor de væsentligste miljøpåvirkninger opstår, og hvad der er årsag til disse. Dette skal sammen med Regeringens virkemidler for at nå en afkobling med faktor 4, som er beskrevet i kapitel 3, udgøre grundlaget for opstilling af en række scenarier. I disse scenarier skal effekten af de forskellige tiltag belyses.

Da massestrømmen af papir i Danmark er i berøring med mange virksomheder, er det valgt, ikke at basere undersøgelsen på virksomhedsniveau. Detaljeringsniveauet for livscyklusvurderingen begrænses derimod til at omfatte gennemsnitsværdier for de enkelte enhedsprocesser.

Funktionel enhed

Den funktionelle enhed, er Danmarks papirforbrug i 1999. Danmarks papirforbrug fordelt på de fem vigtigste papirkvaliteter er beregnet i kapitel 8, og fremgår af figur 10.a, hvor den funktionelle enhed både er vist i 100% tørstof og i reel vægt på 93% tørstof.

Papirvare	Forbrug (i tons 100% TS)	Forbrug (i tons 93% TS)	Andel
Avispapir	297.708	320.116	27%
Ubestrøget træfrit papir	135.664	145.875	12%
Bestrøget træfrit papir	217.865	234.263	19%
Papir til bølgepap og sække	334.358	359.525	30%
Æskekarton og andet karton	136.103	146.348	12%
SUM	1.121.699	1.206.128	100%

Figur 10.a Den funktionelle enhed: Danmarks forbrug af papirvarer i 1999.

Råvareforbruget af de stoffer der indgår i massestrømmen af papir, fremgår af figur 8.e, hvor dette er opgjort for hver enhedsproces.

Systemgrænse

Livscyklusvurderingen har samme systemgrænse som massestrømsanalysen. Denne systemgrænse er præsenteret i kapitel 8.

Data til opgørelse

Det fremgår af formålsbeskrivelsen, at detaljeringsniveauet for livscyklusvurderingen er baseret på gennemsnitsværdier for brancher indenfor papirindustrien.

Skovbrugets udvekslinger er dels opgjort ud fra en arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen [Miljøstyrelsen, 1996], hvor tre grafiske produkter er livscyklusvurderet, og dels fra en publikation udgivet af Skov- og Naturstyrelsen [Skov- og Naturstyrelsen, 1994] omhandlende papirgenbrugs konsekvenser for skove og skovbrug.

Til opgørelse af papir- og papirmassefabrikkernes udvekslinger er der i stor udstrækning benyttet BAT-noter for pulp og papir [BAT, 2000]. Disse data er udarbejdet af det Europæiske IPPC (Integrated Pollution Prevention and Control) kontor. Dette er et organ under EU, som har til formål at distribuere information til medlemslandene om den bedst tilgængelige teknologi indenfor en given branche. I BAT-noterne for pulp og papir er der angivet gennemsnit af udvekslinger for papirfabrikker i Europa. Da der er tale om noter, der skal angive den bedst tilgængelige teknologi, vurderes BAT-noterne at dække over papirfabrikker i den gode ende af miljøskalaen. Det vil sige, der bruges ikke data for forældet teknologi. Ud fra tal i

massestrømsanalysen fremgår det at kun 7% af papiret, der går til papirindustrien, som leverer varer til det danske forbrug, er produceret i Danmark. Derfor bruges der også BAT-noter til beskrivelse af danske fabrikker.

Papirvareindustriens udvekslinger er dels opgjort fra oplysninger i Miljøstyrelsens livscyklusvurdering af tre grafiske produkter nævnt ovenfor, dels oplysninger om trykkeri fra [COWI, 2001] og dels samtaler med ansatte på Danmarks største bølgepapfabrik [Dyrbye, 2001]. Disse data er imidlertid ikke gennemsnitsdata for branchen, men da der er tale om nogle af de største trykkeri- og konverteringsvirksomheder i Danmark vurderes de at være repræsentative for al papirvareindustri i Danmark.

Teknologiniveau og tidsperiode: Teknologien udvikler sig hele tiden. Dermed bliver produktionen som regel også mindre miljøbelastende. Generelt er det tilstræbt at bruge data for nyere gennemsnitsteknologi i alle produktionsprocesser. For skovbrug er disse data henholdsvis fra år 1994 og 1996. For papir- og papirmasseproduktion er de benyttede data fra BAT-noter fra år 2000, hvilket betyder, at de opgivne data er et par år ældre. Data fra den grafiske industri fra COWI, er fra 1995. Således er de benyttede data fra de forskellige produktionsprocesser fra mellem 1994 og ca. 1999. Data fra BAT-noter er gennemsnitstal for nogle af de papirfabrikker, der har implementeret renere teknologi i deres produktion. Derfor er disse data for virksomheder i den gode ende af miljøskalaen. De danske data for grafisk industri svarer ifølge COWI til gennemsnitstal for 1999.

Udover de nævnte data benyttes en lang række data for produktion af råvarer fra databaser i SimaPro. De mest benyttede data er fra databaserne BUWAL, IDEMAT2001 og ETH-ESU 96. Data fra disse databaser er fra år 1996 til 2001, og teknologiniveauet herfor vurderes derfor, at svare til de øvrige data der benyttes.

Geografi: Papir består af råvarer fra mange forskellige lande, og er af den grund forbundet forskellige udvekslinger, alt efter hvor der er tale om. Det er valgt at opgøre udvekslinger forbundet med al papir- og papirmasseproduktion ud fra svenske forhold, idet Danmarks største import af papir stammer fra Sverige. Papirproduktionen i Sverige baseres hovedsageligt på svensk træ, hvorfor det ligeledes vælges at beskrive udenlandsk skovbrug ud fra svenske forhold. Da ca. 75% af papirvarerne til det danske forbrug produceres i Danmark, er det valgt at opgøre udvekslinger i papirvareindustrien ud fra danske forhold.

De benyttede data fra databaser i SimaPro er typisk gennemsnit for verden, Europa eller et europæisk land.

10.2 Metode til opgørelse af emissioner og ressourceforbrug

Det er valgt at foretage opgørelsen i edb-programmet SimaPro. I SimaPro findes databaser for udvekslinger forbundet med en lang række materiale- og energiforbrug. Desuden er UMIP metoden en integreret del af programmet, således at klassifikation, karakterisering, normalisering og vægtning kan foretages af SimaPro.

Kortlægningen af udvekslinger forbundet med den funktionelle enhed opgøres ud fra massestrømmen i hver enhedsproces. I hver enhedsproces laves der en separat opgørelse for de komponenter i massestrømmen af papir, der er opgjort i massestrømsanalysen. Eksempelvis laves der fire separate opgørelser i enhedsprocessen papirmasseproduktion, hvor der skelnes mellem mekanisk, halvkemisk og kemisk papirmasse samt returmasse. De komponenter massestrømmen af papir er opgjort i fremgår af figur 8.b. Ved både at opgøre udvekslingerne fordelt på enhedsprocesser og komponenter i massestrømmen gøres livscyklusvurderingen mere transparent, således at det bliver muligt at se, hvad der bidrager til hvad. Det er eksempelvis muligt både at vise på hvilket niveau i produktionsfasen af Danmarks papirforbrug, der sker de største miljøpåvirkninger, samt at sige hvilke af massestrømmens komponenter der er de mest miljøbelastende. Opgørelsen for hver enhedsproces fremgår af bilag 10.b -10.g.

I hver enhedsproces kortlægges udvekslingerne opdelt i fem kategorier. Disse er:

1. Transport
2. Energi
3. Råvareforbrug
4. Affald
5. Udledninger og emissioner fra produktionsprocessen

I det følgende beskrives metoden til opgørelse for hver af disse kategorier af udvekslinger. Herunder beskrives desuden de allokeringer der er foretaget i forbindelse med opgørelsen.

Transport

Transport omfatter transport af varer til en given enhedsproces. Transport opgøres på denne måde, idet det vurderes, at ansvaret for transport af varer kun kan tilskrives

ves anskaffelse af varer. Hvordan transporten foregår efter at varerne er blevet afsat er kundens ansvar.

Udvekslinger i forbindelse med transport udregnes i SimaPro på baggrund af opgjort transport i tkm (tons kilometer), som er massen af de transporterede varer ganget med afstanden. Der opereres med tre forskellige transportformer som er:

- 40 tons lastbil (transport af træ til papirfabrikker og papir til papirvareindustri)
- 16 tons lastbil (Transport af papirvarer fra papirvareindustri til forbrug samt transport af papiraffald)
- Skib (transport af diverse varer til søs)

I de benyttede data i SimaPro er der taget højde for, at transportmidlerne kører tomme noget af tiden. Eksempelvis er data for lastbilen på 40 tons opgjort ud fra at den kører tom halvdelen af tiden. Dette stemmer godt overens med, at lastbilerne med tømmer til papirfabrikkerne kører tomme tilbage til skovbruget.

Transportafstandene er vurderet ud fra antagelser om gennemsnitslokaliteter for destinationer produkterne fragtes mellem. Eksempelvis antages det at al dansk papirvareindustri ligger i Århus, det vil sige ca. midt i Danmark. Afstandene er opgjort i Geostars Routeplanner [Shell GeoStar, 2001]. De aktuelle afstande og brug af transportmiddel fremgår af bilag 10.b-10.g, hvor udvekslinger i enhedsprocesserne er opgjort.

Energi

Energi dækker over elektricitet og varme både i Danmark og i udlandet. Frembringelsen af energi foregår på forskellige måder alt efter geografisk placering, og hvilke produktionsprocesser der er tale om. Der findes energiforbrug i faserne papirmasseproduktion, papirproduktion og i papirvareindustrien. I papir- og papirmasseproduktionen bruges der store mængder varme og elektricitet. I beregningerne skelnes mellem dansk og udenlandsk produktion. I udlandet produceres al varme på interne CHP (Combined Heat and Power) anlæg, mens overskydende el sælges og manglende el antages at være købt svensk el. I Danmark antages det, at papirfabrikkerne får al varme fra kraftvarmeværker, der samtidig producerer el. Derfor er der foretaget en allokering for varmeproduktionens andel af udvekslingerne. Der er allokeret efter energiindhold. I det følgende beskrives hvilke data der bruges for energiforbrug i henholdsvis Danmark og udlandet.

Energi i Danmark: I Danmark dækkes energiforbruget dels af købt el og fjernvarme samt naturgas til varme. Når papirfabrikkerne bruger damp leveres dette enten fra et nærliggende kraftvarmeanlæg eller det produceres på fabrikkens eget anlæg. SCA Containerboard Grenaa, som er Danmarks største papirfabrik, er den eneste papirfabrik i Danmark, der får sit varmeforbrug dækket af et nærliggende kraftvarmeværk, der sælger damp direkte til papirfabrikken [Møller, 2001]. De øvrige danske papirfabrikker producerer derimod deres eget varmeforbrug. Ifølge de danske papirfabrikkers miljøreddegørelser anvendes udelukkende gas som brændsel. To af de fire danske papirfabrikker producerer deres varme på CHP (Combined Heat and Power) anlæg, og deres produktion udgør 35% af den danske papirproduktion. Det er valgt at opgøre udvekslinger i forbindelse med varmeforbruget til samtlige danske papirfabrikker ud fra tal for et typisk dansk gasbaseret kraftvarmeværk, hvor der sker en samproduktion af el og varme. Der tages højde for de udvekslinger der er forbundet med produktionen af el, ved at allokere efter energiindhold. Det antages således, at ovnene på de danske papirfabrikker har samme virkningsgrad som et gennemsnitligt dansk fjernvarmeværk.

I [Energistyrelsen, 1995] er forskellige danske energianlæg beskrevet. Det antages at anlægget er et naturgasfyret KAD anlæg. Varme- og elvirkningsgraden for anlægget er 49% for el og 44% varme [Energistyrelsen, 1995, s. 17]. Det er valgt at allokere varmeforbruget efter MJ. At varmeproduktionen vægtes lige så højt som elproduktionen begrundes med, at kraftvarmeværkerne er dimensioneret ud fra varmebehovet, og el således er et biprodukt.

Ud fra emissionstal i [Energistyrelsen, 1995] er brændstofforbrug og emissioner beregnet for 1 MJ varme produceret på et gasbaseret kraftvarmeværk. Dette er vist i figur 10.b.

Udveksling	Mængde	Allokeret mængde
Produktion af varme	1 MJ	1 MJ
Produktion af el	1,11 MJ	
Forbrug af naturgas	0,057 m ³	0,027 m ³
CO ₂ emission	129 g	61 g
SO ₂ emission	0 g	0 g
NO _x emission	0,15 g	0,071 g
Deponiaffald	0 g	0 g
Slagge og aske	0 g	0 g

Figur 10.b Udvekslinger forbundet med produktion af 1 MJ varme på et CHP anlæg. Emissioner er beregnet på baggrund af virkningsgrader på 49% el og 44% varme og emissionstal i [Energistyrelsen, 1995, s. 17].

Forbrug af naturgas i figur 10.b er beregnet udfra en brændværdi på 40 MJ/m³ for gas [Meyer et al., 1994, s. 408]. Allokeringen er foretaget udfra energiindhold.

Selvom der produceres en lille mængde el på de to papirfabrikkers CHP anlæg, antages det, at alt el til de danske papirfabrikker er købt fra det danske net. Udvekslingerne i forbindelse med dansk elektricitet er baseret på en livscyklusvurdering af el i Danmark udarbejdet af ELSAM. Der findes ingen data for varme produceret på gasbaserede CHP anlæg i databaserne i SimaPro.

Opgørelse af energiforbruget for de danske papir- og papirmassefabrikker fremgår af bilag 10.a.

Energi i udlandet: Udenlandske papirfabrikker producerer i stor grad deres egen elektricitet og varme. Derfor er det ikke de samme forhold der gør sig gældende som i Danmark. Der findes i BAT-noterne generelle oplysninger for papir- og papirmasseproduktion. Disse oplysninger er imidlertid kun opdelt på fabrikernes el- og varmeforbrug. Det fremgår således ikke hvor stor en del af energien, der stammer fra intern afbrænding af træaffald og andet brændsel på fabrikkerne.

Da de fleste papirfabrikker producerer både elektricitet og varme til deres energiforsyning [BAT, 2000, s. 56] antages det, at de udenlandske fabrikkers varmeforsyning udelukkende er baseret på afbrænding af brændsel i CHP anlæg. Dette stemmer ligeledes overens med at StoraEnso koncernen, der er den største leverandør af papir til Danmark, producerer hvad der svarer til 29,0% af deres elforbrug i CHP anlæg. [StoraEnso, 1999, s. 21 og 24].

Når varmeforbruget er dækket med afbrænding af brændsler i CHP anlægget, vil der enten være et underskud eller overskud af el. I de tilfælde hvor der er overskud, sælges dette, og der modregnes ved at der fortrænges noget svensk produceret el. I tilfælde hvor der ikke produceres nok el til, at dække forbruget købes resten. Det antages, at købt el i Sverige vil være repræsentativt for elektricitet til papir- og papirmasseproduktion i udlandet, idet størstedelen af Danmarks papirforbrug dækkes af de svenske fabrikker.

Til beregning af råvareforbrug og udledninger i forbindelse med købt elektricitet i Sverige bruges et energiscenarie hvor energiproduktionen af el i Sverige er sam-

mensat af forskellige energiproduktionsmetoder. Dette energiscenarie er fra databasen BUWAL250 og er defineret i SimaPro.

Forbruget af brændstof på papirfabrikkerne antages at fordele sig som i StoraEnso. StoraEnso's brændstofforbrug fordelt på brændstoftyper er vist i figur 10.c.

Brændstoftype	Andel
Olie	8,0%
Gas	20,0%
Kul	3,0%
Biobrændsel	69,0%
Total	100,0%

Figur 10.c StoraEnso's brændstofforbrug fordelt på brændselstyper [StoraEnso, 1999, s. 21].

Når de forskellige brændselstyper afbrændes i papirfabrikkernes ovne, giver dette forskellige emissioner. Energistyrelsen har i [Energistyrelsen, 1995] opgivet emissionsdata for forskellige typiske danske energianlæg. Disse emissionsdata antages at være repræsentative for afbrænding af de forskellige typer brændsel vist i figur 10.c. Det antages, at afbrænding af olie giver emissioner svarende til afbrænding af olie i et typisk dansk energianlæg med oliefyrede kedler. Emissioner fra afbrænding af gas beregnes ud fra data for naturgasfyrede anlæg. Data for kul er fra kulstøvfyrede blokanlæg, og emissioner fra afbrænding af biobrændsel antages at svare til kulkedler omstillet til flis/træpiller. Alle de nævnte anlæg er med røggasrensning. Emissionsdata for afbrænding af 1 MJ af de forskellige typer brændsel er vist i figur 10.d.

Brændstoftype	CO ₂ (g/MJ)	SO ₂ (g/MJ)	NO _x (g/MJ)	Deponiaffald	Slagge og aske
Olie	78	0,12	0,05	0	0
Gas	57	0	0,05	0	0
Kul	95	0,05	0,05	0,0024	0,004
Biobrændsel	0	0,06	0	0	0,002

Figur 10.d Benyttede emissionsdata for indfyrring af 1 MJ af forskellige typer brændsel på papirfabrikkernes CHP anlæg [Energistyrelsen, 1995].

CHP anlæggene, der benyttes på papirfabrikkerne, har ifølge [BAT, 2000, s. 56] elvirkningsgrader på 0,2 – 0,3 og total virkningsgrader på 0,8 – 0,9. Derfor antages det, at elvirkningsgraden er 0,25 og den totale virkningsgrad er 0,85. Hermed bliver virkningsgraden for produktion af varme 0,6.

Ud fra de opgivne oplysninger i figur 10.c og 10.d kan udvekslingerne i forbindelse med produktion af 1 MJ varme på et CHP anlæg udregnes. Resultaterne heraf er vist i figur 10.e.

Udveksling	Mængde
Produktion af varme	1 MJ
Produktion af el	0,42 MJ
Forbrug af olie	3,17 g
Forbrug af gas	0,00883 m ³
Forbrug af kul	2,00 g
Forbrug af biobrændsel	88,5 g
CO ₂ emission	34,2 g
SO ₂ emission	0,0875 g
NO _x emission	0,0258 g
Deponiaffald	0,12 g
Slagge og aske	2,5 g

Figur 10.e Udvekslinger forbundet med produktion af 1 MJ varme på et CHP anlæg på de udenlandske papirfabrikker.

Emissioner i figur 10.e er beregnet på baggrund af virkningsgrader på 25% for el og 60% varme og emissionstal i figur 10.c og 10.d. Forbrug af olie, gas, kul og biobrændsel beregnet udfra brændværdier på 42 MJ/kg for olie, 40 MJ/m³ for gas, 25 MJ/kg for kul og 13 MJ/kg biobrændsel (træ) [Meyer et al., 1994, s. 408].

Opgørelse af energiforbruget for de udenlandske papir- og papirmassefabrikker fremgår af bilag 10.a.

Råvareforbrug

Råvareforbruget omfatter inputtet af tilsætningsstoffer, proceskemikalier og andre hjælpestoffer i hver enhedsproces. I forbindelse med opgørelse af råvareforbruget medtages udvekslinger i forbindelse med produktion af den pågældende råvare. I de tilfælde, hvor opgørelser af udvekslinger i forbindelse med de benyttede råvarer ikke findes i databaser i SimaPro, vurderes i det enkelte tilfælde, om det pågældende råvareforbrug medtages i analysen, eller om det er så væsentligt, at der skal findes data herfor.

I UMIP metoden er vand ikke medtaget som en ressource. Det vil sige, vand ikke kommer til at indgå i analysen. Der indgår store mængder vand i produktion af papir og papirmasse. Størstedelen af dette vand tages ind fra nærliggende åer og floder. En del af dette vand renses og ledes efterfølgende tilbage til vandløbet, og det resterende er fordampet i produktionsprocessen. Det vurderes, at vandindholdet i åer og floder ikke reduceres væsentligt i forhold til vandløbenes vandføring, og vandforbruget anses derfor i livscyklusvurderingen ikke som noget miljøproblem. Denne mangel i UMIP anses derfor ikke at have væsentlig betydning for analysens udfald.

En væsentlig begrænsning ved at opgøre råvareforbruget ud fra de tilgængelige kategorier af ressourcer i UMIP er, at træ og arealforbrug hertil ikke kan medtages. Dette er et problem idet arealforbruget til skove, der forsyner Danmark med råstoffer til papir, udgør ca. 3.900 km² svarende til ca. 80% af Danmarks samlede skovareal. Det vælges derfor at opgøre forbrug af træ og arealoptag hertil separat, og kommentere på dette sideløbende med resultaterne fra livscyklusvurderingen.

En anden begrænsning i UMIP metoden er, at råvarer til atomkraft, det vil sige uran og plutonium, ikke er medtaget. Det vil sige det råvareforbrug, der går til produktion af el på de svenske atomkraftværker, ikke er medregnet. Dette betyder, at svensk el kommer til at fremstå som mindre miljøbelastende end det egentlig er.

Affald

Affald opgøres for hver enhedsproces fordelt på følgende affaldstyper:

- Farligt affald
- Slagge og aske
- Affald til deponering
- Affald til forbrænding
- Papiraffald til genanvendelse

De tre førstnævnte affaldstyper er effektkategorier i UMIP. Affald til forbrænding gennemgår en forbrændingsproces, før affaldet har nået sin ”grav”. Fra forbrændingsprocessen er der et output af varme og el, udledninger af stoffer i røggas samt affald til kategorierne affald til deponering og slagge og aske.

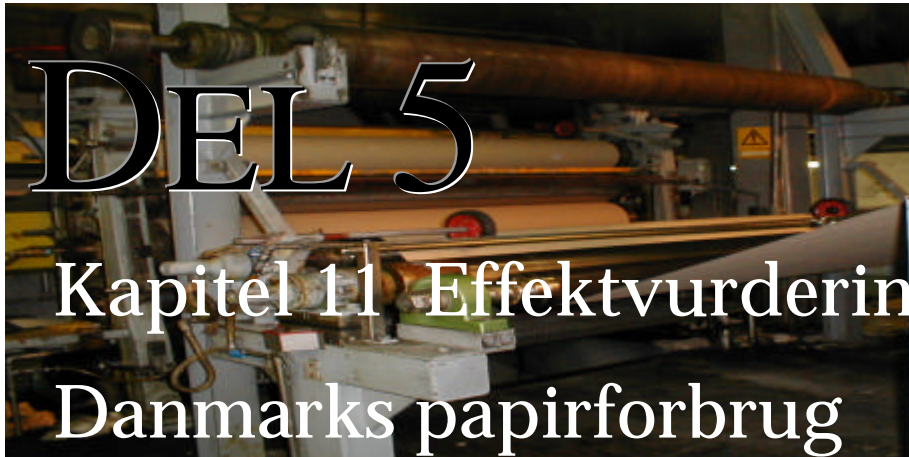
Når papiraffald går til genanvendelse, indgår mængden ikke med nogen udvekslinger i affaldsfasen. For at lave papiraffald til returmasse kræves transport af returpapiret samt udvekslingerne i processen i afsværtningsanlægget og pulperen på papirmassefabrikken.

Udledninger og emissioner fra produktionsprocessen

Udledninger og emissioner omfatter de udvekslinger i en enhedsproces, der sker som følge af bearbejdning af inputtet af råvarer. Udledninger og emissioner knyttet til transport, energiforbrug, affald samt produktion af råvarer, opgøres i forbindelse med frembringelsen af disse udvekslinger, for de enkelte enhedsprocesser. Hovedparten af disse udvekslinger opgøres på baggrund af databaser i SimaPro. De udvekslinger, der ikke findes data for, opgøres som beskrevet i dette kapitel under de respektive typer af udvekslinger eller som det fremgår af bilag 10.b-10.g.

For alle udledninger og emissioner opgøres disse separat alt efter om de emitteres til luft, vand eller jord. Eksempler på udledninger er papirfabrikkernes spildevand, der indeholder tungmetaller, som udledes til de nærliggende floder og trykkeriernes emissioner af fordampet fugtevand.

I UMIP-metoden er udledninger af iltforbrugende biologiske og kemiske forbindelser (BOD og COD) ikke medtaget som udvekslinger. Dog indgår total kvælstof og total fosfor som bidrag til næringssaltbelastning. Det vil sige indholdet af fosfor og kvælstof i det udledte BOD og COD medregnes. Men det bør understreges, at der i UMIP ikke opereres med en effektkategori, der direkte omhandler iltsvind. Dette er et væsentligt problem i forbindelse med at beskrive en af papirfabrikkernes væsentligste miljøproblemer, som er BOD og COD. Det vælges derfor at kommentere disse udvekslinger separat fra resultaterne af livscyklusvurderingen. Det er imidlertid muligt at rense udledninger af BOD og COD fra med næsten 100% i renseanlæg på papirfabrikkerne. Derfor vurderes de lokale miljøproblemer som følge af BOD og COD at kunne elimineres, og derfor vil dette ikke figurere i analysens resultater.



DEL 5

Kapitel 11 Effektivurdering af Danmarks papirforbrug

11 Effektvurdering af Danmarks papirforbrug

I dette kapitel foretages en effektvurdering af udvekslingerne opgjort i kapitel 10 i de tilhørende bilag. Dette svarer til tredje fase i en livscyklusvurdering som beskrevet i kapitel 9. Effekterne opgøres både med hensyn til miljøpåvirkning og ressourceforbrug. Formålet med dette kapitel er at få præsenteret de miljøpåvirkninger og det ressourceforbrug, der er knyttet til Danmarks papirforbrug. Udfra dette udpeges de mest signifikante effektpotentialer, hvilket sammen med Regeringens virkemidler til opnåelse af faktor 4 beskrevet i kapitel 3 udgør grundlaget for opstilling af scenarier, som vises i næste kapitel. Først beskrives miljøeffekterne knyttet til Danmarks samlede papirforbrug. Herefter præsenteres effekternes fordeling på de enhedsprocesser og produkter, der indgår i massestrømmen.

11.1 Klassifikation og karakterisering

Det er valgt at foretage livscyklusvurderingen i edb-programmet SimaPro efter UMIP-metoden. Det er ligeledes valgt at klassificere og karakterisere udvekslingers bidrag til forskellige effektkategorier efter UMIP-metoden. Det vil sige, at alle udvekslinger og deres bidrag til forskellige effektkategorier, som er medtaget i UMIP-metoden, medtages i analysen. For udspecificering af klassifikation og karakteriseringsfaktorer henvises til UMIP-metoden beskrevet i [Wenzel et al., 1997] eller SimaPro.

11.2 kategoridefinition

Effektvurderingen udføres ved præsentation af normaliserede og vægtede effektpotentialer og ressourceforbrug. Det er valgt kun at medtage de effektkategorier, der er årsag til de største vægtede effektpotentialer knyttet til den funktionelle enhed, og som samlet beskriver mindst 95% af disse. Herved fravælges de effektkategorier, der slår mindst ud. Tilsvarende er det valgt kun at medtage de ressourcer, der tilsammen beskriver mindst 95% af det samlede vægtede ressourceforbrug. I figur 11.a er de enkelte vægtede effektpotentialers og ressourcers bidrag til det samlede vægtede værdier vist.

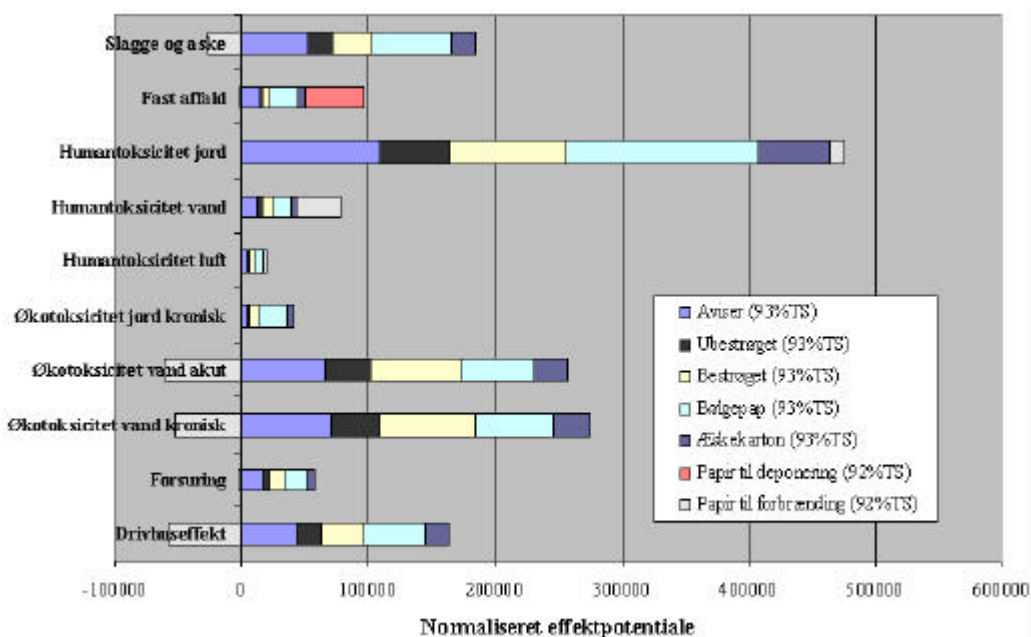
Ressource kategori	Akkumuleret andel		Påvirkningskategori	Akkumuleret andel	
		Medtages			Medtages
Olie	45,3%		Humantoksicitet jord	37,9%	
Naturgas	89,7%		Økotoksicitet vand kronisk	54,2%	
Kul	97,1%		Økotoksicitet vand akut	68,6%	
		Udelades	Humantoksicitet vand	74,8%	Udelades
Sølv	98,1%		Slagger og aske	80,3%	
Brunkul	98,8%		Drivhuseffekt	84,7%	
Jern	99,3%		Fast affald	88,0%	
Kobber	99,6%		Økotoksicitet jord kronisk	91,1%	
Nikkel	99,7%		Forsuring	93,4%	
Bly	99,8%		Humantoksicitet luft	95,2%	
Tin	99,9%				
Platinum	99,9%		Næringsaltbelastning	96,8%	
Palladium	100,0%		Farligt affald	98,3%	
Magnesium	100,0%		Ozonnedbrydning	99,7%	
Zink	100,0%		Fotokemisk smog	100,0%	
Bronze	100,0%		Radioaktivt affald	100,0%	
Molybdæn	100,0%	Radioaktivt affald	100,0%		

Figur 11.a Oversigt over de enkelte vægtede effektpotentialers og ressourceforbrugs bidrag til det samlede vægtede effektpotentiale og ressourceforbrug knyttet til den funktionelle enhed. De effekt- og ressourcekategorier der tilsammen beskriver mindst 95% af den samlede værdi medtages i den følgende effektvurdering.

Det fremgår af figur 11.a, at effektkategoriene næringsaltbelastning, farligt affald, ozonnedbrydning, fotokemisk smog og radioaktivt affald ikke medtages. Dette skyldes, at de øvrige effektpotentialer tilsammen udgør mindst 95% af det samlede effektpotentiale, og alle har et større bidrag end de fravalgte kategorier. Det er kun ressourcerne olie, naturgas og kul der medtages, da de resterende ressourcekategorier udgør mindre end 5% af det samlede vægtede ressourceforbrug.

11.3 Effektvurdering af Danmarks papirforbrug

Miljøpåvirkninger knyttet til Danmarks samlede papirforbrug beskrives ved de samlede normaliserede effektpotentialer vist i figur 11.b. Når de normaliserede effektpotentialer i det følgende relateres til Danmarks samlede bidrag til forskellige effektkategorier, holdes dette op mod, hvor stor en del af Danmarks samlede massestrømme papir udgør. Det fremgår af kapitel 4, at det samlede input af varer til Danmarks massestrømme er 123 mio. tons, hvoraf papir udgør 1,7 mio. tons. Det vil sige papir udgør 1,4% af Danmarks samlede massestrømme.



Figur 11.b Normaliserede effektpotentialer relateret til Danmarks papirforbrug på 1.206.128 tons. De normaliserede effektpotentialer er opgjort i personækvivalenter, hvor der er normaliseret med danske tal, undtaget drivhuseffekt som er normaliseret efter en gennemsnitlig verdensborger.

Det fremgår af figur 11.b, at den mest udslagsgivende effektkategori som følge af det samlede system er humantoksicitet til jord samt kronisk og akut økotoxicitet til vand. Humantoksicitet til jord stammer primært fra raffineringprocessen af det olie og kul, der bruges som brændstof på papirfabrikkerne og til transport. I raffineringprocessen skyldes 98% af humantoksiciteten til jord emission af benzen til luft. Hvis der sammenlignes med en anden livscyklusvurdering af papirvarer publiceret af Miljøstyrelsen i [Miljøstyrelsen, 1997], virker det bemærkelsesværdigt, at øko- og humantoksiciteten er det mest signifikante effektspotentiale. I Miljøstyrelsens livscyklusvurdering er det mest signifikante normaliserede effektspotentiale drivhuseffekt. Forskellen skyldes, at der ikke er medtaget udvekslinger i forbindelse med fremstilling af brændsler i Miljøstyrelsens livscyklusvurdering.

Hver effektkategori vil i det efterfølgende blive beskrevet.

Drivhuseffekt

Det ses i figur 11.b, at drivhuseffekt relateret til Danmarks papirforbrug udgør 163.000 personækvivalenter, samt at der fortrænges 58.000 personækvivalenter. Det vil sige, der er netto 105.000 personækvivalenter. Der gøres opmærksom på, at normalisering for drivhuseffekt er efter en gennemsnitlig verdensborger. 105.000 personækvivalenter svarer til 2,0% af Danmarks befolkning på 5,3 mio. Det vil

sige, hvis hver dansker bidrager til drivhuseffekten som en gennemsnitlig verdensborger, så udgør papirforbruget 2,0% af det samlede bidrag.

Den væsentligste udveksling, der bidrager til drivhuseffekt er CO₂ som udgør 97% af effektpotentialet til drivhuseffekt. De væsentligste kilder til drivhuseffekt er CHP anlæggene på papir- og papirmassefabrikkerne, som udgør 40% og transport som udgør 16% af det samlede positive bidrag til drivhuseffekt.

Den papirvare, som giver det største bidrag til drivhuseffekten, er bølgepap. Grunden til at det største bidrag er fra bølgepap er dels, at det er den papirvare der bruges mest af, og dels at en stor del af Danmarks forbrug af bølgepap produceres i Danmark, hvor der ikke bruges biobrændsel og el fra vandkraft, som på de svenske papirfabrikker. Forskellen mellem de forskellige papirkvaliteter beskrives nærmere i afsnit 11.5 og 11.6.

Forsuring

Forsuring som følge af Danmarks papirforbrug udgør 56.000 personækvivalenter. Idet Danmarks befolkning er på 5,3 mio. svarer dette til ca. 1,1% af Danmarks samlede bidrag til forsuring. Massestrømmen af papir, som udgør 1,4% af Danmarks samlede massestrømme, bidrager således mindre til forsuring end gennemsnittet af de samlede massestrømme.

Den væsentligste udveksling, der bidrager til forsuring, er NO_x som udgør 50%. Herefter kommer SO₂ og SO_x som udgør 41%. De væsentligste kilder til forsuring er transport som udgør 38% og CHP anlæggene på papir- og papirmassefabrikkerne som udgør 22% af den samlede forsuring.

Det største bidrag til forsuring kommer fra aviser. Dette skyldes først og fremmest, at aviser er en af de papirtyper, der bruges mest af. Dog er der stadig mere forsuring fra aviser end fra bølgepap, der er den papirkvalitet der bruges mest af. Grunden til at der er mindre forsuring fra bølgepap er, at en stor del bliver produceret i Danmark, hvor energien primært stammer fra gas. Afbrænding af gas giver mindre forsuring end afbrænding af biobrændsel, som bruges til produktion af avisepapir i Sverige.

Den væsentligste kilde til forsuring i forbindelse med aviser er dog ikke CHP anlæg men transport til papirfabrikkerne, som udgør 23%. Herefter kommer CHP anlæggene på papirfabrikkerne som udgør 13%. For andre papirvarer varierer forholdet mellem transport og CHP anlæggene, så det i nogle tilfælde er CHP anlæggene, der giver det væsentligste bidrag til forsuring.

Øko- og humantoksicitet

Øko- og humantoksicitet er de effektkategorier, der er størst målt i personækvivalenter. Kronisk økotoksicitet til vand er den største indenfor økotoksicitet, og udgør netto 222.000 personækvivalenter, svarende til 4,2% af Danmarks bidrag til kronisk økotoksicitet til vand. Akut økotoksicitet til vand er næsten lige så stor som kronisk økotoksicitet til vand, og det udgør netto 196.000 personækvivalenter. Kronisk økotoksicitet til jord udgør kun 42.000 personækvivalenter, og er ikke væsentlig i forhold til økotoksicitet til vand. Derfor behandles denne ikke nærmere. Humantoksicitet til jord er den mest udslagsgivende effektkategori indenfor humantoksicitet. Det udgør 476.000 personækvivalenter, hvilket svarer til 9,0% af Danmarks humantoksicitet til jord. Humantoksicitet til vand og luft er ikke væsentlige i forhold til humantoksicitet til jord. Derfor behandles disse ikke nærmere.

De væsentligste udvekslinger, der bidrager til økotoksicitet til vand er Sr som udgør 47% og Se som udgør 15% af effektpotentialen til økotoksicitet til vand kronisk. Det er ligeledes Sr der er det væsentligste bidrag til akut økotoksicitet til vand. De væsentligste kilder til udledning af Sr og Se og dermed kronisk økotoksicitet til vand er udvinding af kul, som udgør 25%, og fremstilling af kemisk papirmasse som udgør 23% af effektpotentialen til kronisk økotoksicitet til vand. En stor del af det kul som anvendes i forbindelse med Danmarks papirforbrug, er kul transporteret fra Sydafrika til de danske elværker. I fremstillingsprocessen af kemisk papirmasse er det udledning af kobber, zink og cadmium med processpildvand, der er årsag til kronisk økotoksicitet til vand. Det fremgår af figur 11.b, at forbrænding af papiraffald giver et negativt bidrag til økotoksicitet til vand. Dette stammer fra en mængde fortrængt el og varme, hvortil der bruges kul, hvor der i forbindelse med udvinding emitteres kobber og jern til vand.

Det fremgår af figur 11.b, at det væsentligste bidrag til kronisk økotoksicitet til vand er fra papirvarer af bestrøget papir. Dette skyldes at en stor del af bestrøget papir er lavet af kemisk papirmasse.

Humantoksicitet til jord stammer primært fra emission af benzen til luft som udgør 98% af effektpotentialen til humantoksicitet til jord. De væsentligste kilder til emission af benzen til luft er raffineringprocessen af det olie, der bliver brugt som brændstof til lastbiltransport samt en mindre del til papir- og papirmassefabrikernes CHP anlæg. Lastbiltransport står således for 65% af humantoksicitet til jord, mens CHP anlæggene står for 9%.

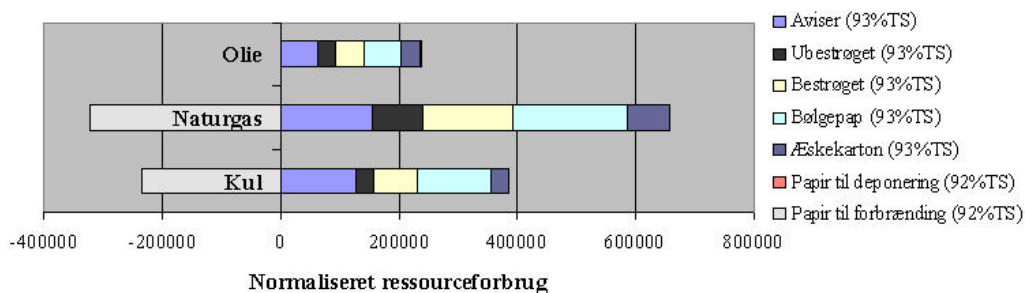
Affald

I figur 11.b er den mest signifikante affaldstype slagger og aske fra energifremstilling. Dette udgør netto 158.000 personækvivalenter, hvilket svarer til 3,0% af Danmarks samlede generering af slagger og aske. Fast affald udgør 96.000 personækvivalenter.

Den væsentligste kilde til slagger og aske er produktion af papirmasse, som udgør 44% af effektpotentialen til slagger og aske. Dette skyldes, at der på returmassefabrikkerne afbrændes store mængder frasorterede nul fibre og urenheder, der er sorteret fra returpapir.

Den væsentligste kilde til fast affald er naturligt nok papiraffald fra forbrugsfasen, der går til deponering. Papiraffaldet udgør 47% af effektpotentialen til fast affald. Fast affald fra produktion af returmasse udgør 34% af effektpotentialen til fast affald, og er således også en væsentlig kilde hertil. Fast affald fra returmasseproduktion skyldes rejekt fra rensningen af papiraffald.

I figur 11.c er det normaliserede ressourceforbrug relateret til Danmarks papirforbrug vist.



Figur 11.c Normaliseret ressourceforbrug relateret til Danmarks papirforbrug. De normaliserede ressourceforbrug er opgjort i personækvivalenter, normaliseret efter en gennemsnitlig verdensborger.

Det fremgår af figur 11.c, at det væsentligste ressourceforbrug er naturgas. Dernæst kommer olie. Der er et stort negativt bidrag ved både kul og naturgas. Dette skyldes primært energiindvinding ved afbrænding af papiraffald. Desuden bidrager salg af el fra papir- og papirmassefabrikernes CHP anlæg til en mindre fortrængning.

Kul

Det fremgår af figur 11.c, at der bruges 386.000 personækvivalenter kul, mens der fortrænges 233.000. Det vil sige, der er et nettoforbrug af kul, svarende til 153.000 personækvivalenter. Forbruget af kul stammer fra papirindustriens energiforbrug i

form af brændsel til CHP anlæg og købt el. Forbrænding af papiraffald er årsag til det fortrængte kul.

Naturgas

Der bruges 658.000 personækvivalenter, mens der fortrænges 324.000. Dette giver et nettoforbruget af naturgas på 334.000 personækvivalenter.

Forbruget på 658.000 personækvivalenter af naturgas er overraskende højt. Der bruges naturgas som brændsel på papir- og papirmassefabrikkernes CHP anlæg samt til varme- og elproduktion i Danmark. Det fortrængte naturgas skyldes afbrænding af papiraffald, som fortrænger el og varme i Danmark.

Olie

Forbruget af olie er på 237.000 personækvivalenter. Det væsentligste forbrug af olie stammer fra transport som udgør 43%, og olie til brændsel på papir- og papirmassefabrikkerne som udgør 38% af det samlede olieforbrug knyttet til Danmarks papirforbrug.

De medtagne ressourceforbrug udgøres udelukkende af energiressourcer. Sammenholdes det relativt store ressourceforbrug med, at papir kun udgør 1,4% af Danmarks samlede massestrømme, ses det, at papir er en meget energiintensiv massestrøm.

Beskrivelse af arealforbrug

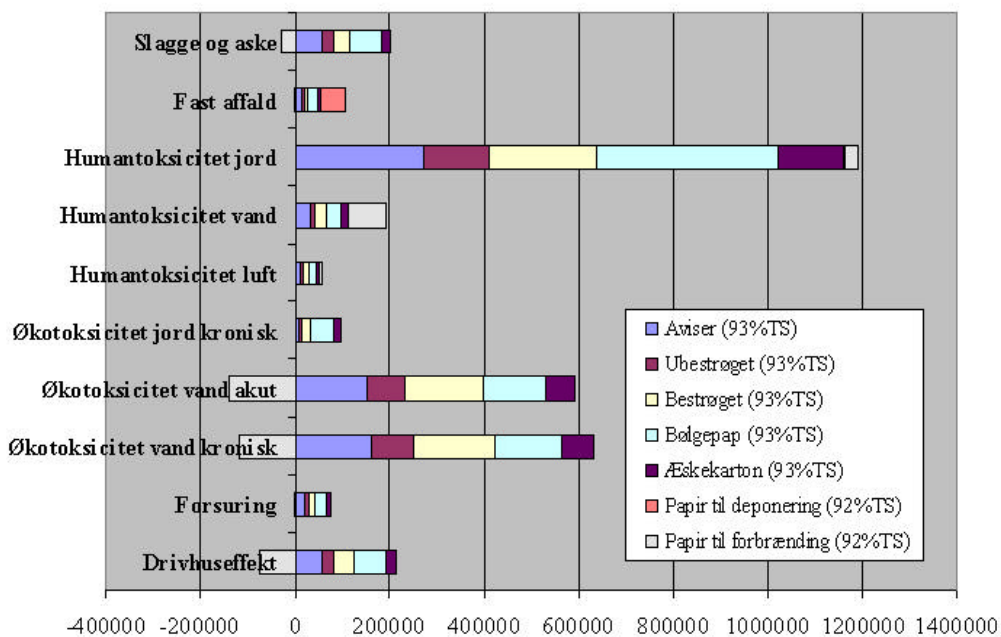
Ud over de beskrevne ressourceforbrug forbruges der 2.142.408 tons træ og savsmuld, hvilket kræver et arealoptag på 4.195 km² svarende til ca. 86% af Danmarks skovareal. Det fremgår af kapitel 4, at der årligt er et input på 1,1 mio. tons træ og trævarer til Danmark. Hertil kommer det tømmer, der bruges som byggematerialer samt til brændsel. Det vurderes på den baggrund at forbruget af tømmer, træ og trævarer udgør omtrent det samme som forbruget af træ til papir. Heraf ses det, at Danmark ikke kan forsyne sig selv med tilstrækkeligt træ. Dette betyder at Danmark er afhængig af, at andre lande bruger noget deres areal til opretholdelse af Danmarks papirforbrug.

Arealet pr. indbygger i Danmark er 8,3 ha, når der regnes med at der i Danmarks er 5,3 mio. indbyggere, og at Danmark har et areal på 44.000 km². Normaliseres der med areal pr. indbygger, svarer arealforbruget til Danmarks papirforbrug til ca. 505.300 personækvivalenter. Dette svarer til 9,5% af Danmarks areal.

Sammenfattende kan det konkluderes at Danmarks papirforbrug på flere områder bidrager med væsentlige miljøpåvirkninger og ressourceforbrug. Når de normaliserede effektpotentialer sammenlignes med massestrømmen af papir som udgør 1,4% af Danmarks samlede massestrømme, ses det at disse i mange tilfælde udgør en større andel. Det vil sige, massestrømmen af papir er mere forurenings- og ressourceintensiv end gennemsnittet af massestrømme i Danmark.

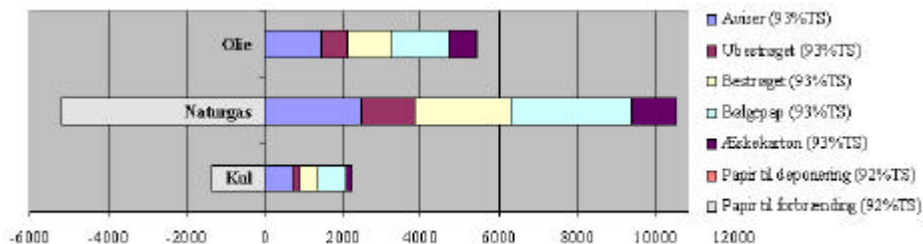
Vægtede effektpotentialer og ressourceforbrug

For at afgøre hvilke miljøeffekter og ressourceforbrug der er de væsentligste vises de vægtede effektpotentialer. Dette fremgår af figur 11.d og 11.e.



Figur 11.d Vægtede effektpotentialer relateret til Danmarks papirforbrug.

Af figur 11.d fremgår det, at den væsentligste effektkategori er humantoksicitet til jord. Dernæst kommer kronisk og akut økotoksicitet til vand. Slagger og aske og drivhuseffekt er ca. lige væsentlige. De vægtede effektpotentialer for den funktionelle enhed vist i figur 11.d vil blive brugt som sammenligningsgrundlag, når scenarierne i kapitel 12 skal vurderes.

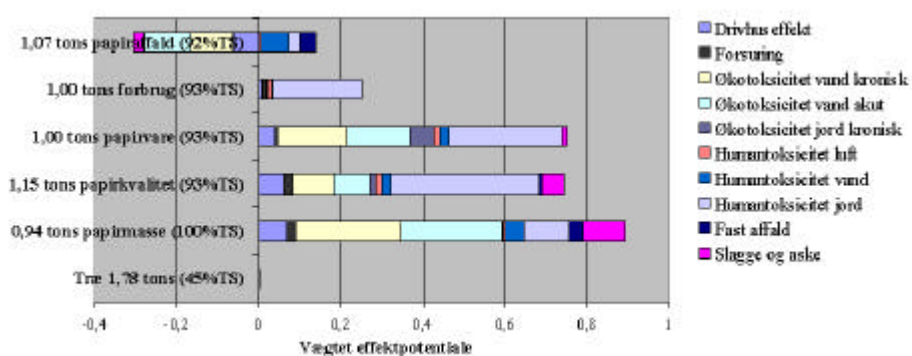


Figur 11.e Vægtet ressourceforbrug relateret til Danmarks papirforbrug.

Af figur 11.e fremgår det, at forbruget af olie og naturgas udgør de væsentligste ressourceforbrug. De har ca. samme vægtede nettoeffektpotentialer. Dog ses det at der brutto, bruges langt mere naturgas end olie. De store mængder fortrængt naturgas og kul stammer, som før nævnt, fra afbrænding af papiraffald. De vægtede ressourceforbrug for den funktionelle enhed vist i figur 11.e vil blive brugt som sammenligningsgrundlag, når scenarierne i kapitel 12 skal vurderes.

11.4 Effektvurdering af faser i papirs livscyklus

I dette afsnit belyses de enkelte enhedsprocessers bidrag til det samlede vægtede effektspotentiale. De samlede vægtede effektspotentiale for 1 tons forbrug af en gennemsnitspapirvare i Danmark fremgår af figur 11.f.



Figur 11.f Sammenligning af vægtede effektspotentiale for faser i papirs livscyklus. Udgangspunktet er forbrug af 1 tons papir. Der er ved de andre enhedsprocesser angivet mængden, som er knyttet til frembringelse af forbrug af 1 tons papir.

Det fremgår at den enhedsproces, der er årsag til den største miljøpåvirkning er papirmasseproduktionen, som står for 36% af det samlede vægtede effektspotentiale. Reelt er papirmasseproduktionen noget større, mens papirproduktion vil være mindre. Dette skyldes at al transport af træ, savsmuld og returpapir er tillagt papirproduktionen. Grunden til dette er, at papir og papirmasse oftest produceres på integrerede fabrikker. Energiforbrug til papirmassefremstilling udgør 61% af det samlede vægtede effektspotentiale. De resterende 39% er relateret til materialeforbrug og udledning af proceskemikalier.

I papirproduktionen udgøres det samlede vægtede effektspotentiale af 48% transport, 46% energi og 6% materialeforbrug og udledning af proceskemikalier.

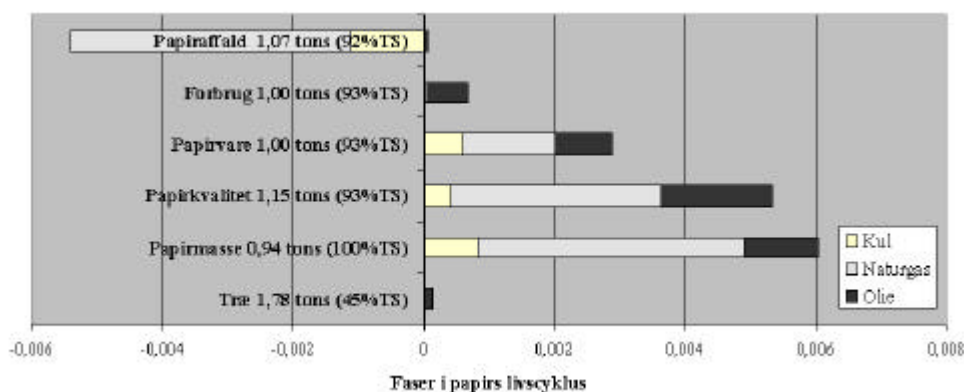
Det fremgår at papir- og papirmassefabrikkerne tilsammen bidrager med ca. dobbelt så meget til det samlede vægtede effektspotentiale som papirvareindustrien. Papirvareindustriens bidrag udgøres af 51% transport, 32% energiforbrug og 17% proceskemikalier med mere. Skovbrug er den enhedsproces der bidrager mindst.

Dette skyldes, at der i skovbruget ikke er noget væsentligt energiforbrug eller transport. Transport af tømmer er medtaget under papirproduktion. Forbrugsfasen står for ca. 12% af det samlede vægtede effektspotentiale. Dette udgøres stort set kun af humantoksicitet til jord, som stammer fra raffineringsprocessen af diesel som bruges til transport.

Papiraffald har et negativt nettobidrag, som skyldes, at der fortrænges el og varme i Danmark, når en del af papiraffaldet forbrændes. Det positive bidrag fra afbrænding udgøres af humantoksicitet til vand og jord samt fast affald. Den væsentligste kilde til humantoksicitet til vand er dioxin til luft som udgør 60% af humantoksicitet til vand fra afbrænding af papiraffald. Humantoksicitet til jord stammer fra udledning af benzen til luft fra raffineringsprocessen af olie brugt som hjælpebrændsel, hvilket udgør 88% af humantoksicitet til jord fra forbrænding af papir.

Det ses således, at de enhedsprocesser, der er årsag til de væsentligste miljøpåvirkninger er papir- og papirmasseproduktion samt papirvareindustrien.

I figur 11.g er det vægtede ressourceforbrug relateret til forbrug af 1 tons papir vist.



Figur 11.g Vægtet ressourceforbrug til forbrug af 1 tons papir i Danmark. Det fremgår af hver enhedsproces, hvor stort et input der er relateret til forbrug af 1 tons papir. Disse input er opgivet i reelle tørstofindhold (TS).

Billedet for ressourceforbrug minder i høj grad om de vægtede effektpotentialer for de forskellige faser i papirs livscyklus vist i figur 11.f. Dog er papirvareindustrien forholdsvis mindre end papir- og papirmasseproduktionen. Dette skyldes i høj grad at de væsentligste ressourcer er energiressourcer, og at papir- og papirmasseproduktionen er mere energiintensiv end papirvareindustrien.

Som nævnt er transport af træ og savsmuld til papir- og papirmassefabrikkerne medtaget under papirproduktion. Dette ses i figur 11.g, ved at der forbruges mere olie i papirproduktionen end i papirmasseproduktionen. Ligeledes ses det, at det eneste ressourceforbrug under forbrugsfasen er olie, som går til transport.

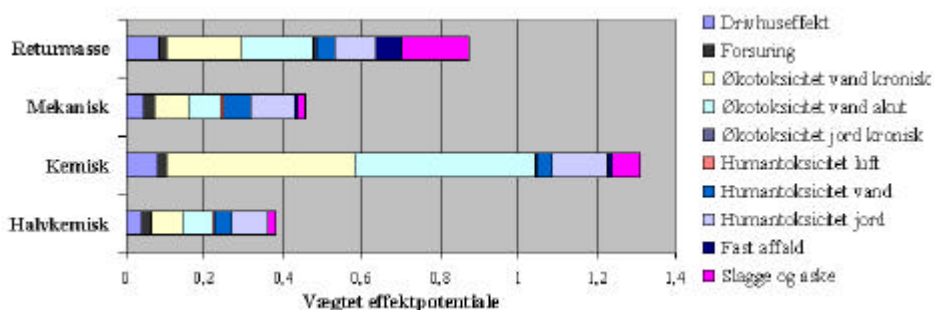
Det fremgår, at den væsentligste energikilde er naturgas, når der ses bort fra biobrændsel. Den mest energiforbrugende proces er papirmasseproduktion efterfulgt af papirproduktion. I figur 11.g har papirvareindustrien et forbrug af ressourcer, der er ca. halvt så stort som papirmasseproduktionen og papirproduktionen hver især. Dette forhold siger imidlertid ikke så meget om de forskellige enhedsprocessers energiforbrug, idet papirvareindustrien ikke bruger biobrændsel.

I papiraffaldsfasen fortrænges en stor mængde naturgas og kul i forbindelse med energiudnyttelse, som erstatter el og varme produceret af gas og kul.

Da der gennemsnitligt bruges 1,78 tons træ til forbrug af 1 tons papir, optager dette et areal svarende til 0,35 ha, idet der regnes med en tilvækst i de svenske skove på 5,1 m³/ha/år.

11.5 Papirmassetyper

For at kunne konstatere om produktionen af nogle papirmassetyper forurener mere end andre, er det valgt at præsentere de vægtede effektpotentialer fordelt på de fire forskellige papirmassetyper. Dette fremgår af figur 11.h. I opgørelsen er der medtaget alle de udvekslinger, der er forbundet med frembringelse af 1 tons papirmasse.



Figur 11.h Sammenligning af vægtede effektpotentialer relateret til produktion af 1 tons (100% TS) af forskellige papirmasser.

Det fremgår, at den papirmasse, der er årsag til de største miljøpåvirkninger er kemisk papirmasse. Halvkemisk masse er den papirmasse, der giver mindst miljøpåvirkninger, og den har et samlet vægtet effektpotentialer, som svarer til 29% af kemisk papirmasses vægtede effektpotentialer. De samlede vægtede effektpotentialer for mekanisk papirmasse og returmasse er henholdsvis 35% og 67% af kemisk papirmasse.

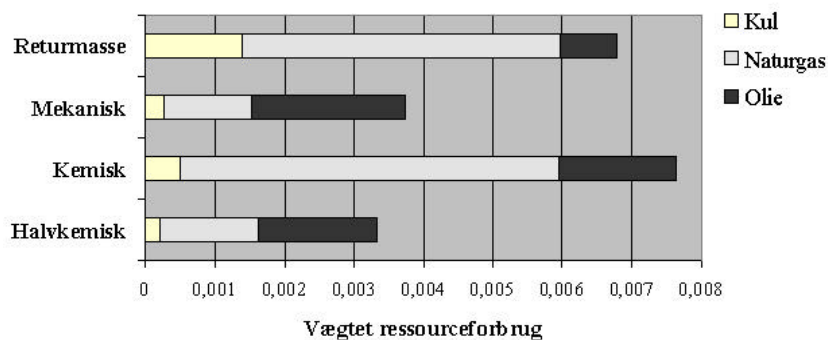
Effektkategoriene der primært bidrager til, at kemisk papirmasse slår så meget ud er akut og kronisk økotoxicitet til vand, som skyldes udledninger af kobber, zink og cadmium med spildevand. Disse udledninger udgør 70% af akut og 69% af kronisk økotoxicitet til vand. Desuden bruges der væsentligt mere energi til fremstil-

ling af kemisk papirmasse end til de andre typer, hvilket giver et stort udslag i humantoksicitet til jord på grund af udledning af benzen til luft fra raffineringsprocessen af det olie, der bruges som brændsel.

Det er bemærkelsesværdigt, at returmasse giver et væsentligt større udslag end halvkemisk og mekanisk papirmasse. Årsagen til dette skal primært findes i, at 43% af den mængde returmasse, der går til Danmarks papirforbrug, produceres i Danmark. I Danmark bruges der hverken biobrændsel på papirmassefabrikkernes CHP anlæg eller vand- eller atomkraft i elproduktionen som i Sverige. Der produceres hverken kemisk, halvkemisk eller mekanisk papirmasse i Danmark. Ifølge opgørelsen af udvekslinger beskrevet i kapitel 10 er returmasse den papirmasstype, der bruges mindst energi til at fremstille. Dermed er det ikke selve produktionen at typen returpapir der har et højt vægtet effektspotentiale. Derimod skyldes forskellen mellem returmasse og jomfruelige papirmasser forskellige energisystemer, der leverer energien til fremstillingsprocessen. En anden årsag til at returmasse slår så meget ud er, at der genereres store mængder aske og slagge. Det skal desuden bemærkes, at der er væsentligt mindre transport forbundet med produktion af returmasse. Dette er imidlertid ikke medtaget under papirmasseproduktionen, men under papirproduktion. Derfor vil returmasse reelt være mindre end i figur 11.h. Hvis al returmasse blev produceret i Sverige, ville det samlede vægtede effektspotentiale for returmasse blive 35% mindre. Dog ville det stadig være 23% større end mekanisk papirmasse og 47% større end halvkemisk. Grunden til at det stadig er større, skyldes at der ved returmasse genereres store mængder slagge og aske, som slår meget ud.

Der gøres opmærksom på, at der i opgørelsen i kapitel 10 blev identificeret store mængder farligt affald i forbindelse med fremstilling af halvkemisk papirmasse. Effektkategorien farligt affald er imidlertid i afsnit 11.2 fravalgt, fordi den ikke bidrager væsentligt til det samlede vægtede effektspotentiale. Fravalget af farligt affald medfører, at det samlede vægtede effektspotentiale for halvkemisk papirmasse er mindre end mekanisk, som det fremgår af figur 11.h.

I figur 11.i er ressourceforbruget forbundet med 1 tons af hver af de forskellige papirmasstyper vist.



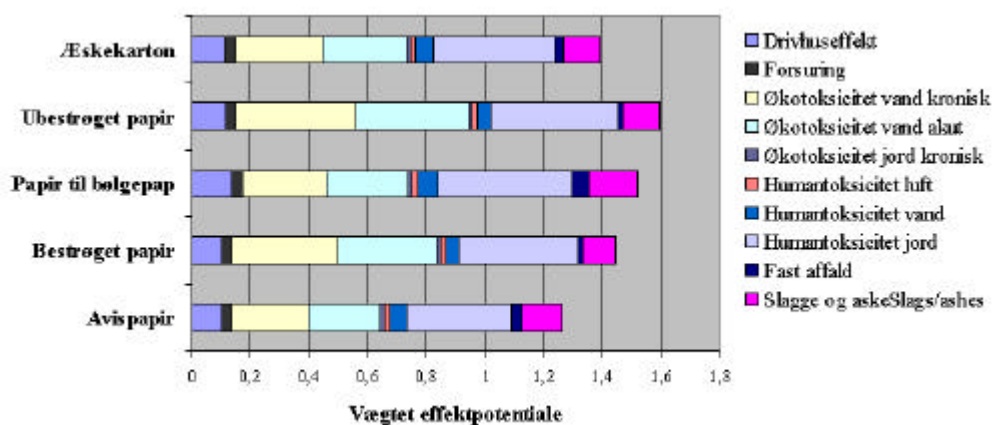
Figur 11.i Sammenligning af vægtet ressourceforbrug relateret til produktion af 1 tons (100% TS) af forskellige papirmasstyper.

Det fremgår af figur 11.i, at det er kemisk papirmasse, der er den papirmasstype, hvortil der bruges flest ressourcer. Dette skyldes, at det er den papirmasstype der har det største energiforbrug. Returnmasse har igen en overraskende høj værdi. Dette skyldes, at en stor del af returmassen produceres i Danmark. Da der ikke bruges olie som brændsel til energifremstilling i Danmark, forklarer dette ligeledes, hvorfor der ikke bruges ligeså meget olie til returmasse, som til de andre papirmasstyper. Hvis returmassen i stedet blev produceret i Sverige ville det samlede vægtede ressourceforbrug være 45% mindre.

Det store naturgasforbrug til kemisk papirmasse skyldes, at der bruges henholdsvis 1,7 og 1,3 gange så meget energi som til fremstilling af halvkemisk og mekanisk papirmasse. Desuden bruges der forholdsvismæssigt mere energi til varme end elektricitet ved kemisk papirmasse. Dette betyder, at der er et stort forbrug af brændsler, der går til produktion af el, som sælges til det svenske elnet. Svensk el er ikke ligesom dansk el i høj grad produceret af gas og kul. Derfor fortrænges der ikke gas og kul, når der sælges el til det svenske net. Derimod fortrænges en stor del vandkraft og atomkraft, som ikke giver noget udslag i effektvurderingen.

11.6 Papirkvaliteter

For at kunne sige noget om hvilke papirkvaliteter, der forurener mere end andre, er det valgt at præsentere de vægtede effektpotentialer fordelt på de fem forskellige papirmasstyper. Dette fremgår af figur 11.j. I opgørelsen er der medtaget alle de udvekslinger, der er forbundet med frembringelse af 1 tons papir.



Figur 11.j Sammenligning af vægtede effektpotentialer relateret til produktion af 1 tons (93% TS) af forskellige papirkvaliteter.

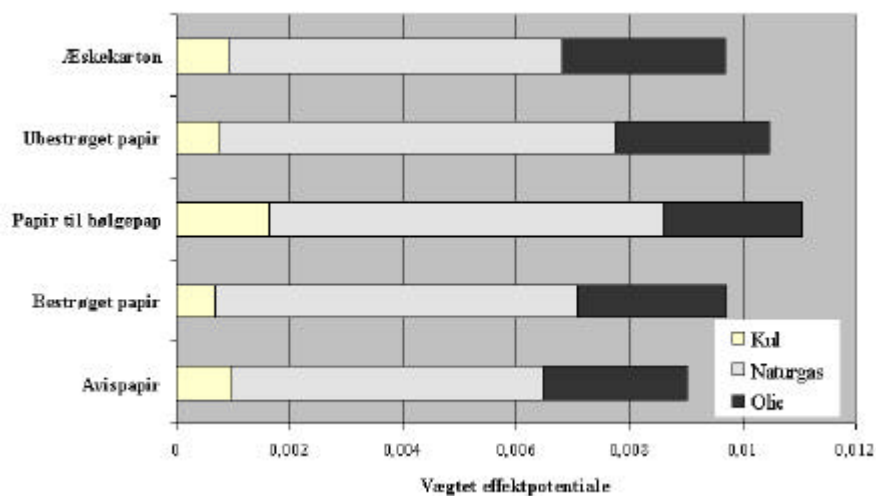
Det fremgår af figur 11.j, at den mest udslagsgivende papirkvalitet er ubestrøget papir. Grunden til at ubestrøget papir slår mest ud er, at der udelukkende bruges kemisk papirmasse til denne kvalitet. Årsagen til at ubestrøget papir slår mere ud end bestrøget er, at andelen af hjælpestoffer er større i bestrøget papir. Hjælpestoffer, som hovedsageligt består af stivelse og kalk, er ikke årsag til så store effektpotentialer som papirmasse.

Papir til bølgepap er den papirkvalitet, der er årsag til det næststørste samlede vægtede effektpotentialer. Dette skyldes, at der til denne kvalitet benyttes store mængder returmasse, som er produceret i Danmark.

Forskellene mellem de forskellige papirkvaliteter skyldes primært sammensætningen af de papirmassetyper de laves af. Ses der udelukkende på papirproduktionsfasen er den største afvigelse på 34%, hvor bestrøget papir er den mest udslagsgivende og avispapir den mindste.

Den væsentligste effektkategori er humantoksicitet til jord, som skyldes olie til CHP anlæg og transport. Hernæst kommer kronisk og akut økotoksicitet til vand, som kul og udledninger fra kemisk papirmasseproduktion.

I figur 11.k er det vægtede ressourceforbrug for hver papirkvalitet vist.



Figur 11.k Sammenligning af vægtet ressourceforbrug relateret til produktion af 1 tons (93% TS) af forskellige papirkvaliteter.

Det fremgår af figur 11.k at ressourceforbruget til de forskellige papirkvaliteter ikke er væsentligt forskellige, samt at det nogenlunde afspejler billedet fra de vægtede effektspotentiale vist i figur 11.j.

Grunden til at papir til bølgepap er årsag til et større samlet vægtet ressourceforbrug end bestrøget og ubestrøget papir er, at der bruges store mængder returmasse, som i stor grad produceres i Danmark. Som før nævnt er der i Danmark et større ressourceforbrug til energifremstilling end i Sverige. Avispapir er den papirkvalitet, hvortil der går færrest ressourcer. Der bruges 30% mekanisk papirmasse til avispapir. Da mekanisk papirmasse har et relativt lille samlet vægtet ressourceforbrug er det avispapir der har det mindste vægtede ressourceforbrug.

Hermed er effektspotentiale relateret til Danmarks papirforbrug beskrevet, og de miljøeffekter og ressourceforbrug der ønskes reduceres med en faktor 4 er fastlagt. I det følgende kapitel vil der blive opstillet scenarier for en bred vifte af tiltag til at opnå dette.



12 Opstilling og effektvurdering af scenarier

I dette kapitel opstilles seks scenarier, der vurderes i forhold til miljøpåvirkninger og ressourceforbrug knyttet til Danmarks papirforbrug. Scenarierne opstilles for at afklare, om det er realistisk at opnå en faktor 4 reduktion i forbindelse med Danmarks papirforbrug med blandt andet de virkemidler, der peges på af Regeringen. Desuden ønskes det at belyse betydningen af valget af effektkategorier i kategori-definitionen, samt hvorvidt der er en sammenhæng mellem en faktor 4 reduktion i ressourcer og miljøpåvirkninger. Scenarierne opstilles og beskrives enkeltvis, hvorefter miljøeffekter og ressourceforbrug sammenlignes med effekterne for den nuværende situation.

I kapitel 11 er miljøpåvirkninger og ressourceforbrug som følge af det nuværende papirforbrug beskrevet. Det er hermed opgjort hvilke effektkategorier og ressourceforbrug, der skal reduceres for at opnå en faktor 4 reduktion ved Danmarks nuværende papirforbrug. Det er valgt at opstille seks scenarier til at belyse forskellige muligheder for at opnå en faktor 4 reduktion. De første fem scenarier opstilles ved at ændre på forskellige elementer i forbindelse med massestrømmen af papir i Danmark. Det sjette scenarium kombinerer de fem første scenarier, hvor det belyses, hvor stor en besparelse det i alt er muligt at opnå ved et uændret papirforbrug.

Det vurderes, at der overordnet er fire væsentlige forhold der kan 'skrues' på for at påvirke miljøpåvirkninger og ressourceforbrug i forbindelse med Danmarks papirforbrug. Disse udgøres af:

- Massestrømmen af papir der passerer igennem enhedsprocesserne
- Den teknologi der anvendes i enhedsprocesserne
- De transportmidler der anvendes mellem enhedsprocesserne
- Energisystemet der forsyner produktionsvirksomhederne med el og varme

Der opstilles to scenarier, hvor der ændres på massestrømmen af papir. Første scenarium omfatter maksimering af genanvendelsen af papir, og i andet scenarium benyttes mere miljø- og ressourcevenlige jomfruelige papirmasser. I det tredje scenarium optimeres transporten. Det fjerde scenarium omfatter en ændring af det nuværende energisystem til vedvarende energi, og det femte scenarium belyser hvor store ressource- og miljøbesparelser, det er realistisk at opnå ved renere teknologi. I sjette scenarium kombineres de fem scenarier.

Desuden bliver det sjette scenarium herefter opgjort ved at benytte Regeringens indikatorer. Resultatet heraf sammenlignes med den benyttede kategori-definition,

som er beskrevet i afsnit 11.2. Dette gøres for at belyses betydningen af valget af indikatorer for hvordan faktor 4 skal opnås.

Det er valgt at opretholde det nuværende danske forbrug i alle scenarier. På denne måde kan effekter som følge af scenarierne umiddelbart sammenlignes med de nuværende. Overvejelser omkring nedsættelse af papirforbruget og substituering heraf vurderes i perspektiveringens i kapitel 13.

Alle enhedsprocesser omfatter en række variable input og output. Det er disse, der ændres, når scenarierne opstilles. I det følgende beskrives baggrunden for de enkelte scenarier, og disse effektvurderes og sammenlignes med effektvurderingen af det nuværende papirforbrug. Det nuværende papirforbrug benævnes i det følgende 'udgangspunktet'.

12.1 Scenarium 1, Øget genanvendelse

Et af de tiltag Regeringen peger på til opnåelse af faktor 4 er øget genanvendelse. Derfor belyses reduktionspotentialer i miljøpåvirkninger og ressourceforbrug herved. Af kapitel 11 fremgår det, at fremstilling af et tons returmasse har samlede vægtede miljøeffekter og ressourceforbrug svarende til ca. 60% af kemisk papirmasse. Samtidigt er det årsag til miljøeffekter, der er 50% større end både halvke-misk og mekanisk papirmasse.

Denne fordeling skyldes primært, at returmasse produceret i Danmark er produceret med dansk energi og ikke svensk, som de øvrige papirmasser. Det er derfor valgt at vurdere miljøbesparelsen ved produktion af returmasse både med svensk og dansk produceret energi, da det giver et bedre sammenligningsgrundlag med de øvrige papirmasseproduktioner. Hvis returpapir skulle produceres med svensk energi, ville dette indebære at returpapir indsamlet i Danmark skulle sendes til Sverige. Dette forhold er der dog set bort fra i dette scenarium.

Ændringer i forhold til udgangspunkt

Af den nuværende papirmassefremstilling udgør returmasse 48%, mens de resterende 52% er jomfruelig papirmasse. I kapitel 5 blev det beskrevet, at papir kan genbruges mellem fire og seks gange. Derfor antages det, at papir kan genbruges fem gange. Det vil sige, at det i princippet er nok, hvis den samlede produktion af papirmasse består af én del jomfruelig papirmasse og fem dele returmasse så kun en sjettedel, svarende til 16,7% af al papirmasse er jomfruelig. Der er imidlertid nogle papirvarer, som det ikke er realistisk at betragte som blivende i returpapirkredsløbet. Det drejer sig om aftøringspapir, affaldssække samt andet papir, der er

integreret i produkter udenfor papirkredsløbet, eksempelvis tagpap og tapet. I figur 12.a er Danmarks forbrug af papirkvaliteter vist.

Papirkvalitet	Andel af Danmarks forbrug i 1999
Avispapir	22%
Ubestrøget mekanisk	6%
Ubestrøget træfrit	10%
Bestrøget papir	16%
Aftørringspapir	5%
Andet papir	3%
Indpakkingspapir	3%
Papir til bølgepap og sække	26%
Æskekarton og andet karton	10%
Total	100%

Figur 12.a Danmarks papirforbrug i 1999 fordelt på papirkvaliteter. [Tønning, 2001, s. 18]

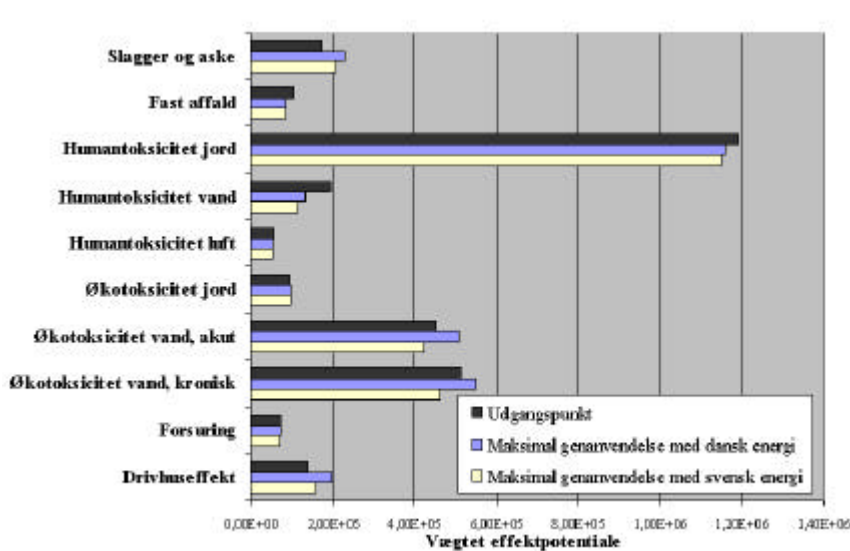
Det antages at aftørringspapir og andet papir i figur 12.a ikke kan indsamles til genanvendelse, idet aftørringspapir enten skylles ud i toilettet eller blandes med husholdningsaffald. Andet papir, som eksempelvis er papir i tagpap, tapet samt lys- og elektrofølsomt papir, ender ligeledes i andre affaldsfraktioner end papiraffald til genanvendelse. Af papir til bølgepap og sække udgøres 5% af sække, som ligeledes ender i andre affaldsfraktioner end papiraffald til genanvendelse [Danmarks Statistik, 2000c, s. 177, 183]. Ligeledes antages det, at 10% af æskekarton og andet karton udgøres af papir, der er integreret i produkter udenfor papirkredsløbet. Dette er eksempelvis karton indeni toiletruller og karton i ringbind. Samlet giver dette, at 89,7% af Danmarks papirforbrug kan holdes indenfor papirkredsløbet.

Herved bliver den maksimale andel af returmasse i praksis 5/6 af 89,7%, hvilket er 74,7% af den samlede papirmasse. Dette er dog under den forudsætning, at det papir som mistes er nyt papir. Herved bliver de 74,7% sat lidt for lavt, da eksempelvis aftørringspapir generelt er lavet af genbrugspapir, men dette opvejes af, at det ikke er praktisk muligt at indsamle alt papir fra de kvaliteter som ikke indgår med spild til de 10,3%. Det vil sige det scenarium, der ønskes undersøgt, består i at ændre andelen af returmasse fra de nuværende 48% til 74,7%. Ligeledes nedsættes forbruget af jomfruelig papirmasse fra 52% til 25,3%. I scenariet regnes fordelingen mellem de jomfruelige papirmasse som den nuværende. Af tallene i figur 8.e kan det beregnes at den nuværende fordeling mellem de jomfruelige papirmasser er 25% mekanisk, 8% halvkemisk og 67% kemisk papirmasse.

Da der er stor forskel på, om returmasse er produceret i Danmark eller i Sverige beregnes scenariet for begge disse alternativer. Det vil sige, på den ene side beregnes øget genanvendelse med den nuværende fordeling mellem dansk og udenlandsk produktion af returmasse, og på den anden side beregnes scenariet, når al returmasse produceres i Sverige.

Effektvurdering

I figur 12.b er de vægtede effektpotentialer vist for de to scenarier og udgangspunktet.

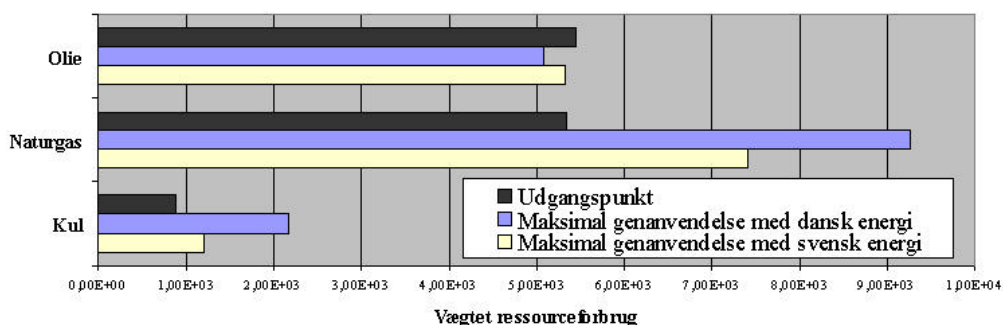


Figur 12.b Vægtede effektpotentialer for udgangspunktet og scenarium 1: Øget genanvendelse.

Den samlede reduktion i det vægtede effektpotentialet ved anvendelse af svensk energi er 6%, mens der sker en forværring på 3% ved omlægning til produktion af returmasse produceret med dansk energi. At den samlede reduktion ikke bliver større ved de to scenarier skyldes primært, at der bliver forbrændt mindre papir i affaldsforbrændingsanlæg, og der derved fortrænges mindre dansk energi, som forurenere. Det betyder at den samlede drivhuseffekt i scenarierne stiger, og at økotoxicitet øges i scenariet med dansk energi. Grunden til at økotoxicitet til vand falder, når der bruges svensk energi er, at fordelene ved svensk energi overgår de ulemper der er ved at producere mindre energi på affaldsforbrændingsanlæg. En anden årsag til scenariernes ringe forbedringer er, at der ved returmasseproduktion genereres store mængder slagger og akse, disse stammer fra forbrændingen af den store mængde urenheder, der er i returpapir.

Det bør bemærkes at problemet med de ringe miljøbesparelser skal findes i det danske energisystem. Det vil sige, så længe affaldsforbrænding kan fortrænge forurenende dansk energi, så kan øget genanvendelse ikke betale sig.

Det vægtede ressourceforbrug for scenariet er vist i figur 12.c.



Figur 12.c Vægtede ressourceforbrug for udgangspunktet og scenarium 1: Øget genanvendelse.

Det ses at den eneste ressourcebesparelse fås ved olie, som reduceres med 2% ved dansk energi. Den samlede ressourcebesparelse er negativ, idet ressourceforbruget øges med 16%. Grunden til denne stigning er, at der forbrændes mindre papir og dermed produceres mindre energi, hvorved der fortrænges mindre dansk energi, som i høj grad er baseret på naturgas og kul. Det skal bemærkes, at Livscyklusvurderingen bruger UMIP metoden, som ikke medregner træforbrug og arealforbrug. Ved øget genanvendelse reduceres træforbruget med ca. 51%. Det betyder, at der spares 1.098.722 tons træ pr. år, hvilket svarer til at 2.152 km² skovareal frigøres. Til sammenligning svarer dette til et frigjort areal på 44% af Danmarks skovareal.

Det fremgår, at der ikke opnås markante miljøforbedringer ved omlægning af papirmasseproduktionen til maksimal returmasse, så længe der ikke sker en yderligere reduktion af miljøpåvirkninger som følge af dansk energiproduktion. Der kan opnås en samlet besparelse i de vægtede effektpotentialer på 6% ved svensk energi og -3% ved dansk energi, mens ressourceforbruget vil øges med 19% ved anvendelse af svensk energi og 41% med dansk energi.

12.2 Scenarium 2, Substitution af jomfruelige papirmasser

Effektvurderingen af udgangspunktet i kapitel 11, peger blandt andet på, at der er forskel på ressourceforbrug og miljøpåvirkninger for de forskellige papirkvaliteter. Dette skyldes primært sammensætningen af de papirmasser kvaliteterne er fremstillet af. Som det blev beskrevet i forbindelse med scenarium 1, er der stor variation i miljøpåvirkninger og ressourceforbrug for de forskellige papirmassetyper. Miljøeffekterne for kemisk papirmasse er således op til næsten tre gange større end de øvrige papirmasser. Substitutionen af jomfruelige papirmasser har derfor til formål, at erstatte produktionen af kemisk papirmasse med mekanisk og halvke-misk papirmasse, der er de mindst miljøbelastende. Mekanisk papirmasse er i den-

ne substitution prioriteret højere end halvkemisk fordi det ifølge afsnit 11.5 er den papirmasse, der har det mindste samlede vægtede effektpotentiale, når alle effekt-kategorier medtages. De kvaliteter, der ikke kan produceres af mekanisk papirmasse, substitueres med halvkemisk, der er den papirmasstype, der ligger tættest op af den kemiske. I scenariet opretholdes det nuværende forbrug af returmasse, idet det ønskes undersøgt, hvor store ændringer i miljøpotentialer det har udelukkende at ændre de jomfruelige papirmasser.

Ændringer i forhold til udgangspunkt

De fem papirkvaliteter er i kapitel 8 fastsat til at indeholde andele af papirmasse typer som vist i figur 12.d.

Papirkvalitet	Retur-masse	Mekanisk	Kemisk	Halvke-misk	Total
Avispapir	50%	30%	20%		100%
Æskekarton og andet karton		50%	50%		100%
Bestrøget			100%		100%
Ubestrøget træfrit			100%		100%
Bølgepap	65%		15%	20%	100%

Figur 12.d For-
deling af papir-
masser på papir-
kvaliteter for
udgangspunkt.

Substitution af kemisk papirmasse er baseret på ønsket om, at opnå den største mulige miljøbesparelse. Dette kan betyde, at der gås på kompromis med kvaliteten, men det antages, at det vil være muligt at lave acceptable papirkvaliteter med en ændret sammensætning af papirmasse typer. Substitution af kemisk papirmasse med andre jomfruelige papirmasser fremgår af figur 12.e.

Papirkvalitet	Retur-masse	Mekanisk	Kemisk	Halvke-misk	Total
Avispapir	50%	50%			100%
Æskekarton og andet karton		50%		50%	100%
Bestrøget		75%		25%	100%
Ubestrøget træfrit				100%	100%
Bølgepap	65%			35%	100%

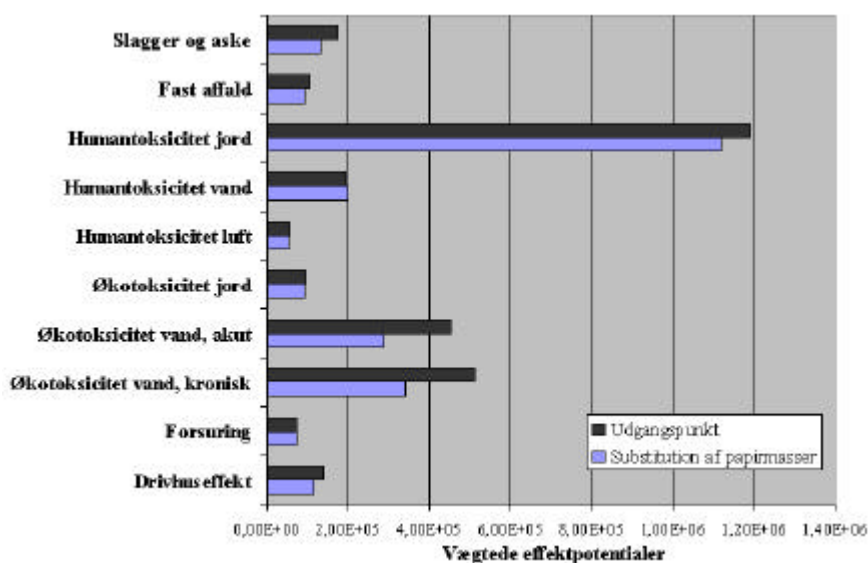
Figur 12.e For-
deling af papir-
masser på papir-
kvaliteter for
scenarium 2:
Substitution af
jomfruelige pa-
pirmasser

Avispapir produceres i forvejen af tre typer papirmasser som er returmasse, mekanisk og kemisk papirmasse. Avispapir produceres almindeligvis af op til 85% mekanisk papirmasse [Meinicke, 1983]. Det antages derfor, at den jomfruelige masse der produceres kemisk i dag kan erstattes af mekanisk papirmasse. For æskekarton og andet karton anvendes 50% mekanisk og 50% kemisk papirmasse, da det for-

ventes, at den kemiske papirmasse kan erstattes af halvkemisk papirmasse. Bestrøget papir produceres af 100% kemisk papirmasse. Ifølge kapitel 5 kan bestrøget papir også laves af mekanisk og halvkemisk masse. Derfor fordeles den kemiske papirmasse på disse. Ubestrøget træfrit er speciel, fordi det egentlig er lig med kemisk produceret papirmasse, således vil det ikke længere være træfrit i det øjeblik, det produceres af andre papirmasser end kemisk. Det antages dog, at det er muligt at producere papirkvaliteter af halvkemisk masse af tilstrækkelig god kvalitet til at dette kan anvendes til de produkter, der i dag produceres af ubestrøget træfrit. Produktion af bølgepap kræver tilførsel af lange fibre, der gør det muligt, at opnå den krævede styrke. Der kan derfor ikke produceres bølgepap af mekanisk fremstillet papirmasse. Det er derfor valgt, at erstatte den kemiske papirmasse med halvkemisk.

Effektivrdering

Fordelelingen af miljøeffekter ved substitution af jomfruelige papirmasser, fremgår af figur 12.f.

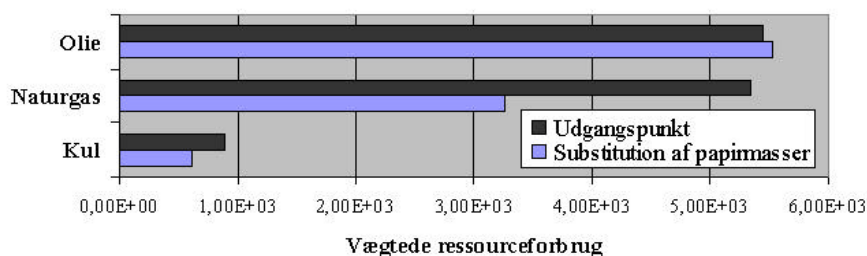


Figur 12.f Vægtede effektpotentialer for udgangspunktet og scenarium 2: Substitution af jomfruelige papirmasser.

Substitutionen af kemisk papirmasse til mere miljøvenlige jomfruelige papirmasser medfører, at den samlede reduktion i de vægtede effektpotentialer kommer op på 16%.

Det fremgår af figur 12.f, at den største reduktion i effektpotentialet opnås ved akut økotoxicitet til vand, hvor reduktionen er på 37%. Det skyldes, at udledningen af tungmetaller fra kemisk papirmasse i udgangspunktet blev identificeret som den væsentligste årsag til økotoxicitet til vand.

Det vægtede ressourceforbrug for udgangspunktet og papirmassescenariet fremgår af figur 12.g.



Figur 12.g Vægtede ressourceforbrug for udgangspunktet og scenarium 2: Substitution af jomfruelige papirmasser.

I figur 12.g ses det, at den væsentligste ressourcebesparelse fås ved naturgas som reduceres med 39%. Dette skyldes, at der bruges mindre energi, som produceres af naturgas. Den samlede ressourcebesparelse er på 19%. Grunden til at olieforbruget stiger lidt er, at der i scenariet bliver købt mere elektricitet fra det svenske elsystem, og at der bruges mere olie til produktionen af svensk el end fabrikkerne bruger i deres egne CHP anlæg. Den type olie, der bruges til svensk elektricitet forurener dog ikke ligeså meget til humantoksicitet til jord, som den olie fabrikkerne bruger, derfor nedsættes humantoksiciteten til jord selv om olieforbruget stiger.

Det skal endvidere bemærkes, at hvis træforbrug og arealforbrug medregnes, så reduceres træforbruget med ca. 10%. Det betyder, at der spares 218.200 tons træ pr. år, hvilket svarer til, at 428 km² skovareal frigøres. Til sammenligning svare dette til et frigjort areal på ca. 9% af Danmarks skovareal.

Det fremgår af scenariet, at der er væsentlige besparelser ved at substituere papirmasserne på denne måde. Det skal dog bemærkes, at farligt affald, som blev fravalgt i kategoridefinitionen, øges med 78% for dette scenarium i forhold til udgangspunktet. Det farlige affald udgør dermed 4% af det vægtede effektspotentiale, hvor det kun udgjorde 1,4% i udgangspunktet.

Der kan ved indbyrdes substitution af de jomfruelige papirmasser opnås en samlet besparelse i de vægtede effektspotentiale på 16% og en reduktion af ressourceforbruget på 19%. Dette svarer til en faktor 1,2 reduktion i miljøpåvirkninger og en faktor 1,2 reduktion i ressourceforbruget.

12.3 Scenarium 3, Optimering af transport

Det fremgår af effektvurderingen i kapitel 11, at transport udgør en væsentlig andel af de samlede miljøpåvirkninger fra Danmarks papirforbrug. Således udgør transport i papirproduktionen 48% af det samlede effektspotentiale, i papirvareindustrien

er det 51% og i forbrugsfasen udgør transport 100%. Derfor opstilles dette scenarium, hvor transporten optimeres ved at substituere de anvendte transportmidler med andre mere miljøvenlige alternative transportmidler.

Ændringer i forhold til udgangspunkt

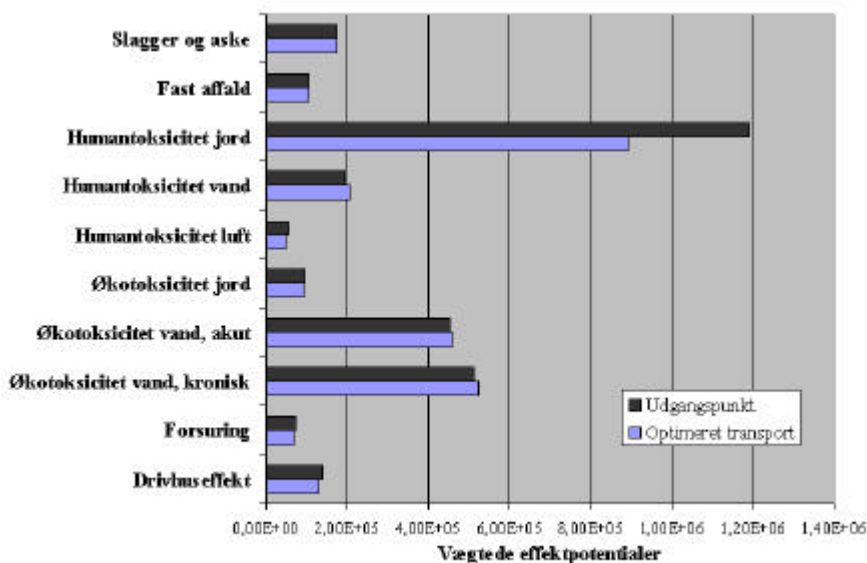
Det vurderes, at være muligt at forbedre miljøpåvirkninger ved at optimere transporten idet der anvendes godstransport med tog, når papirvarer skal transporteres. Der er ikke overflyttet noget transport til skib, idet dette ifølge beregninger i SimaPro giver større vægtede effektpotentialer end tog! At skibstransport forurener mere end togtransport strider imod den almene opfattelse. Det er dog valgt at gå ud fra det mest miljørigtige transportmiddel ifølge resultaterne i SimaPro, og der er af den grund overflyttet mest mulig transport til tog.

Der er visse transporter af råstoffer og varer til det danske papirforbrug, der ikke kan ændres til tog. Det drejer sig om transport af træ og savsmuld til papir- og papirmassefabrikkerne fra skovene, transport af papirvarer fra papirvareindustrien til detail og engros samt transport af affaldspapir til lossepladser og forbrænding. Grunden til at denne transport ikke kan ændres er, at skovene, detail og engros samt lossepladser og forbrændingsanlæg ligger meget spredt, og at der er tale om små afstande. Transport af papirkvaliteter til papirvareindustrien samt transport af returpapir til papirfabrikkerne er så vidt muligt ændret til tog. Således transporteres papirkvaliteterne fra papirfabrikkerne til papirvareindustrien 20 km med lastbil (til og fra jernbanestation) og resten af afstanden køres med tog. Returpapir transporteres 40 km med lastbil (indsamling af papiret og transport til og fra jernbanestation) og resten af afstanden køres med tog. Afstandene der bliver overflyttet fra lastbil til tog varierer fra 91 km til 1.538 km.

Der er på denne måde overflyttet i alt 659 mio. tkm fra lastbil til tog og 534 mio. tkm fra skib til 587 mio. tkm med tog. Hermed er der stadig 807 mio. tkm, der foregår med lastbil og 29 mio. tkm der foregår med skib. Transporten i udgangspunktet var 1.467 mio. tkm med lastbil og 563 mio. tkm med skib. I scenariet er der dermed overflyttet 45% af lastbiltransporten til tog og 95% af skibstransporten til tog.

Effektvurdering

De vægtede effektpotentialer for transportscenariet er vist i figur 12.h.

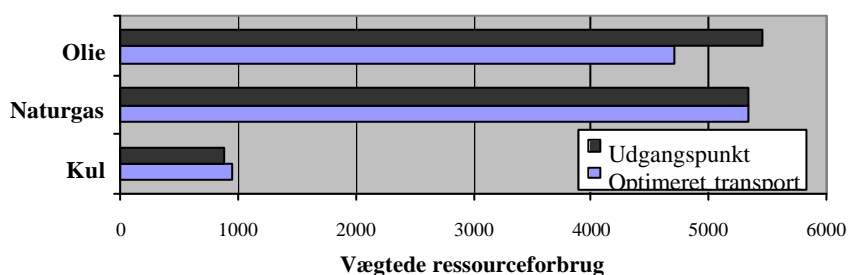


Figur 12.h Vægtede effektpotentialer for udgangspunktet og scenarium 3: Optimering af transport.

Det fremgår, at den største reduktion i de vægtede effektpotentialer er i humantoksicitet til jord som reduceres med 25%. Det skyldes det mindre forbrug af dieselolie, der i udgangspunktet, står for 65% af humantoksicitet til jord.

Ud over reduktionen i humantoksicitet til jord er der ingen væsentlige besparelser ved dette scenarium. Dette skyldes, at humantoksicitet er den langt væsentligste effektkategori ved transport. Grunden til at øko- og humantoksicitet til vand stiger lidt i scenariet er, at tog er er lidt mere forurenende på disse områder end skib. Den samlede reduktion i vægtede effektpotentialer er 10%.

I figur 12.i er det vægtede ressourceforbrug transportscenariet vist.



Figur 12.i Vægtede ressourceforbrug for udgangspunktet og scenarium 3: Optimering af transport.

Det fremgår af figur 12.i, at den væsentligste ressourcebesparelse er olie, hvilket naturligvis skyldes, at diesel er den langt største ressource, der bruges i forbindelse med transport. Samlet opnås der en vægtet ressourcebesparelse på 6%.

Samlet fremgår det af transportscenariet, at der ikke er de helt store gevinster at hente her. Dog kan der opnås en væsentlig reduktion af humantoksicitet til jord, som er den væsentligste effektkategori i den nuværende situation. Der kan ved

optimering af transport opnås en samlet besparelse i de vægtede effektpotentialer på 10% og en reduktion af ressourceforbruget på 6%. Dette svarer til en faktor 1,1 reduktion i miljøpåvirkninger og en faktor 1,1 reduktion i ressourceforbruget.

12.4 Scenarium 4, Ændring af energisystem

Et af de tiltag Regeringen peger på til opnåelse af faktor 4 er øget brug af vedvarende energi. Derfor belyses reduktionspotentialer i miljøpåvirkninger og ressourceforbrug herved. Det fremgår af kapitel 11, at en væsentlig del af de vægtede effektpotentialer skyldes udvekslinger relateret til energiforbrug. Således udgør energi i papirmasseproduktionen 61% af det samlede effektpotential i denne fase, i papirproduktionen er dette 46%, og i papirvareindustrien udgør energi 32%.

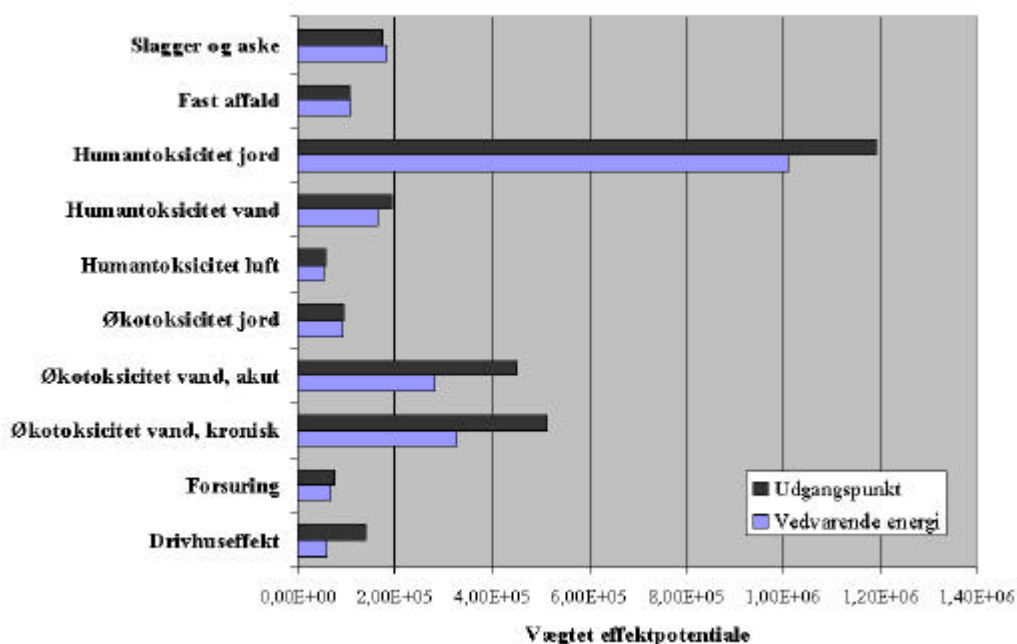
Scenariet omfatter en fuldstændig omlægning af energisystemet. Da en meget stor andel af Danmarks papirforbrug allerede baseres på vedvarende energi, antages det, at denne andel kan udgøre 100% indenfor en tidshorisont på 20-30 år. Scenariet omfatter både en omlægning af det danske og svenske energisystem.

Ændring i forhold til udgangspunkt

I udgangspunktet produceres den største mængde energi på papirfabrikkernes CHP anlæg, hvor 60% af det indfyrede brændsel udgøres af biobrændsel. Svensk el er i stor grad baseret på vandkraft og atomkraft. Dansk fjernvarme og el er hovedsageligt baseret på henholdsvis gas og kul. I det opstillede scenarium regnes al energi produceret på papirfabrikkernes CHP anlæg som værende baseret på 100% biobrændsel. El købt fra nettet antages at være baseret på 33% biobrændsel, 33% vindkraft og 33% vandkraft. Der skelnes ikke mellem dansk og svensk el. Fjernvarme i Danmark er baseret på 100% biobrændsel.

Effektvurdering

I figur 12.j er de vægtede effektpotentialer for udgangspunktet og energiscenariet vist.

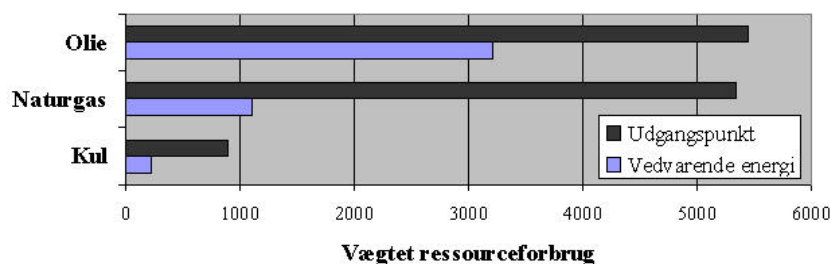


Figur 12.j Vægtede effektpotentialer for udgangspunktet og scenarium 4: Ændring af energisystem.

Det fremgår af figur 12.j, at den største reduktion i effektpotentialer opnås ved drivhuseffekt, hvor reduktionen er på 58%. Dette skyldes naturligvis at der ikke udledes drivhusgasser fra det opstillede energisystem. Den resterende drivhuseffekt i scenariet stammer dermed primært fra transport. Reduktionerne i akut og kronisk økotoksicitet til vand på ca. 37% skyldes at kul i energiproduktionen er en meget væsentlig kilde til økotoksiciteten. Den samlede reduktion i de vægtede effektpotentialer er 22%. At der ikke opnås større reduktioner end de 22% skyldes, at en stor del af energien i forvejen er baseret på biobrændsel og vandkraft. Det fremgår, at der er sket en forøgelse af aske og slagger. Dette skyldes, at en stor mængde naturgas er blevet erstattet af biobrændsel.

Udover at en del naturgas er blevet erstattet med biobrændsel, så er der ligeledes erstattet en stor mængde kul. Slagger og aske fra biobrændsel indeholder ikke samme mængde tungmetaller som slagger og aske fra kul, og kan derfor eksempelvis dispergeres på landbrugsjord. Derfor kan det diskuteres om slagger og aske i dette scenarium bør behandles på lige fod med slagger og aske fra kul som i udgangspunktet.

Det vægtede ressourceforbruget for udgangspunktet og energiscenariet fremgår af figur 12.k.



Figur 12.k Vægtede ressourceforbrug for udgangspunktet og scenarium 4: Ændring af energisystem.

Det ses at den væsentligste ressourcebesparelse fås ved naturgas som reduceres med 79%. Det skal bemærkes at der i dette scenarium kun fortrænges vedvarende energi og dermed ingen naturgas og kul. Det naturgas og kul der stadig bliver brugt i dette scenarium, stammer primært fra energiforbruget til fremstilling af produkter, som eksempelvis pigment og dieselolie. Den samlede ressourcebesparelse er på 61%.

Det fremgår af scenariet, at der er relativt store besparelser ved at omlægge energisystemet. Der kan opnås en samlet besparelse i de vægtede effektpotentialer på 23% og en reduktion af ressourceforbruget på 63%. Dette svarer til en faktor 1,3 reduktion i miljøpåvirkninger og en faktor 2,6 reduktion i ressourceforbruget.

12.5 Scenarium 5, Renere teknologi

Et væsentligt virkemiddel i miljøpolitikken har gennem de seneste årtier været renere teknologi. Derfor ønskes det undersøgt hvor langt der kan nås med renere teknologi i forhold til en faktor 4 reduktion i forbindelse med Danmarks papirforbrug. Den anvendte teknologi repræsenterer ifølge kapitel 10 gennemsnitsteknologi i den gode ende af miljøskalaen. Virksomhederne der producerer til det danske forbrug har generelt en eller flere miljøcertificeringer og anvender lukkede kredsløb og har egne rensningsanlæg. Alligevel er det valgt at opstille et scenarium for renere teknologi i forbindelse med papirproduktionen.

Ændringer i forhold til udgangspunktet

Det er undersøgt hvilke krav der stilles til papirprodukter, som er mærket med miljømærkerne Svanen og EU-blomsten. Disse krav antages at være vejledende i forhold til den forureningsminimering, det er muligt at opnå i forhold til den teknologi, der anvendes i dag. Det har imidlertid vist sig, at oplysningerne om den bedst tilgængelige teknologi i henhold til BAT-noter for papirområdet, opfylder kravene til Svanemærket og EU-blomsten [Nordic Ecolabelling, 2001].

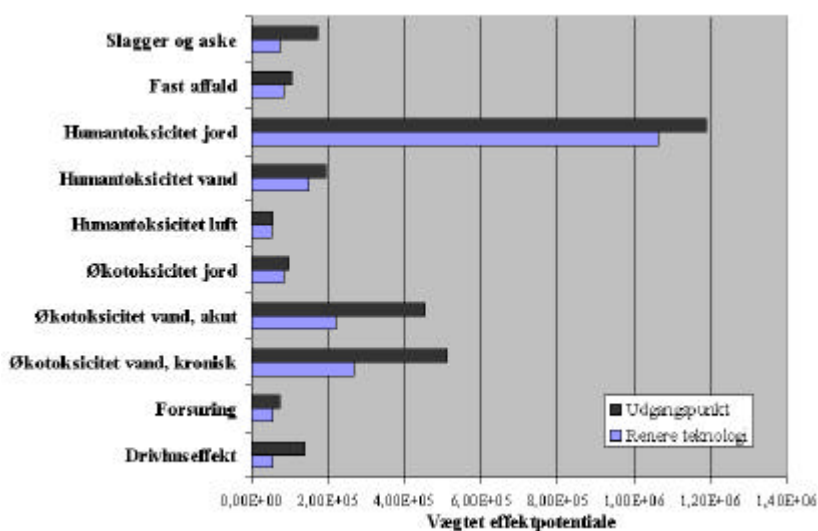
Det er derfor i stedet valgt at tage udgangspunkt i en antagelse om, at udledninger og energiforbrug ved papirproduktion kan reduceres 50%. Denne antagelse er base-

ret på, at det har været muligt for industrielle virksomheder at opnå besparelser på ca. 50% på vand uden større omlægninger af produktionen. Ekspertes peger desuden på, at det er realistisk at opnå en energibesparelse på 40% over 15-18 år [Hvelplund, 2001]. Derfor vurderes det, at en reduktion på 50% vil være realistisk over den tidshorison, der arbejdes med i dette projekt, nemlig 20-30 år.

Det antages at de tilsætningsstoffer der bliver en del af papiret ikke reduceres. Disse udgøres af stivelse, lim, farvestoffer og kaolin samt tryksværte. Denne antagelse er væsentlig, da det i kapitel 11 blev identificeret, at netop tryksværten er årsag til de største vægtede effektpotentialer i papirvareindustrien.

Effektvurdering

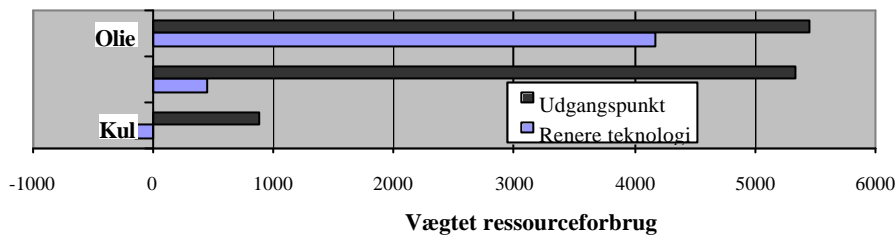
I figur 12.1 er de vægtede effektpotentialer for udgangspunktet og renere teknologi scenariet vist.



Figur 12.1 Vægtede effektpotentialer for udgangspunktet og scenarium 5: Renere teknologi.

Det fremgår af figur 12.1, at den største reduktion i det vægtede effektpotential opnås ved drivhuseffekt, hvor reduktionen er på 60%. Dette skyldes mindre forbrug af energi. Det mindre forbrug af energi resulterer i et mindre forbrug af kul, naturgas og olie, hvilket medfører at øko- og humantoksiciteten også reduceres væsentligt. Den samlede reduktion i de vægtede effektpotentialer er 30%.

Det vægtede ressourceforbrug for udgangspunktet og energiscenariet fremgår af figur 12.m.



Figur 12.m Vægtede ressourceforbrug for udgangspunktet og scenarium 5: Renere teknologi.

Det fremgår af figur 12.m, at den største reduktion i det vægtede ressourceforbrug opnås ved kul som reduceres med 117%, det vil sige, det bliver negativt. Grunden til det meget store fald i forbruget af kul og naturgas er, at udover at der i scenariet forbruges halvt så meget energi, så fortrænger forbrænding af papiraffald meget naturgas og kul, hvilket i dette scenarium er uændret i forhold til udgangspunktet. Den samlede reduktion i ressourceforbruget er 62%.

Det fremgår af scenariet, at der er relativt store besparelser ved at benytte renere teknologi. Dette forudsætter dog, at de antagede radikale reduktioner i ressourceforbrug og udledninger på 50% kan nås indenfor 20-30 år. Der kan opnås en samlet besparelse i de vægtede effektpotentialer på 30% og en reduktion af ressourceforbruget på 62%. Dette svarer til en faktor 1,4 reduktion i miljøpåvirkninger og en faktor 2,6 reduktion i ressourceforbruget.

12.6 Scenarium 6, Kombineret scenarium

Det kan konkluderes, at ingen af de præsenterede scenarier separat kan bevirke en faktor 4 reduktion af miljøpåvirkninger og ressourcer, hvorfor de må kombineres. På denne baggrund opstilles et samlet scenarium, hvor de fem beskrevne scenarier kombineres. Dette gøres for at se om de tilsammen kan give en faktor 4 reduktion af miljøpåvirkninger og ressourceforbrug.

Ændringer i forhold til udgangspunkt

Det kombinerede scenarium er en kombination af følgende forhold:

- 1) Ved renere teknologi reduceres alt forbrug med 50%, dog reduceres forbruget af stoffer der indgår i massestrømmen af papir ikke.
- 2) Energisystemet bliver som i scenarium 4 omlagt til vedvarende energi.
- 3) Maksimal udnyttelse af returpapir. Desuden optimeres der på forbruget af jomfrumasse. Hermed bliver der brugt 74,7% returmasse og 0% kemisk papirmasse, fordelingen bliver dermed som vist i figur 12.n

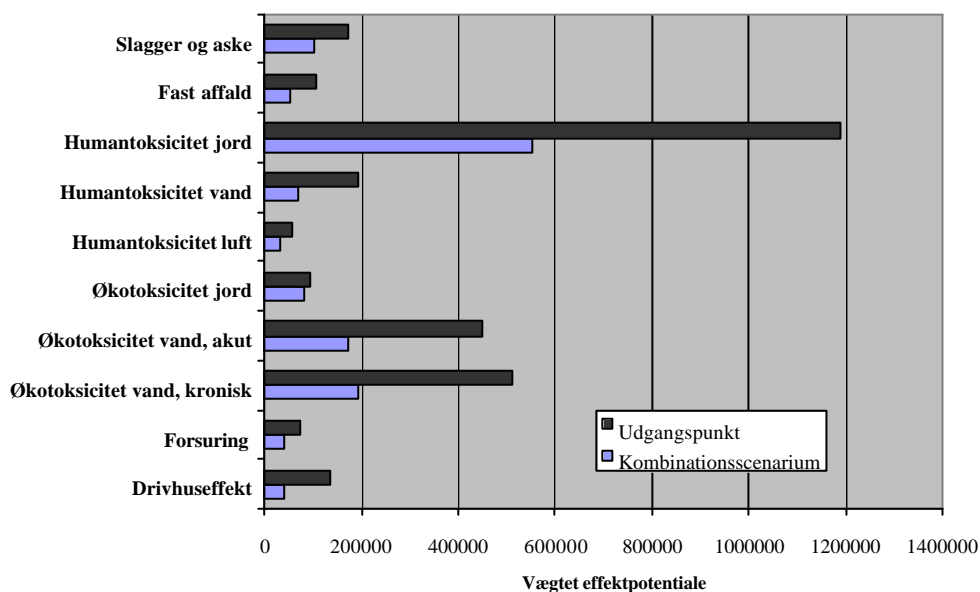
Papirkvalitet	Retur- masse	Mekanisk	Kemisk	Halvke- misk	Total
Avispapir	74,7%	25,3%			100%
Æskekarton og andet karton	74,7%	12,65%		12,65%	100%
Bestrøget	74,7%	18,98		6,32%	100%
Ubestrøget træfrit	74,7%			25,3%	100%
Bølgepap	74,7%			25,3%	100%

Figur 12.n Fordeling af papirmasser på papirkvaliteter for scenarium 6: Kombineret scenarium.

- 4) Optimering af transport sker dels ved, at det ændrede forbrug af råstoffer medfører, at der skal transporteres mindre træ og mere returpapir, og dels at transporten optimeres, så der transporteres mest muligt med tog som i scenarium 3.

Effektivrurdering

I figur 12.o er de vægtede effektpotentialer for udgangspunktet og det kombinerede scenarium vist.

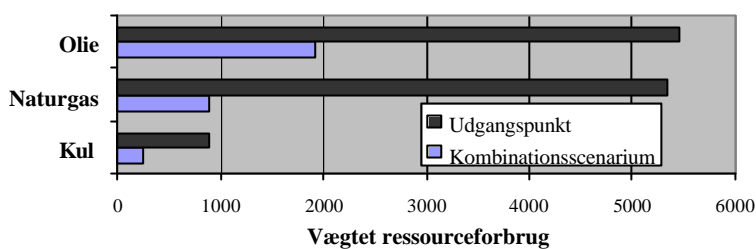


Figur 12.o Vægtede effektpotentialer for udgangspunktet og scenarium 6: Kombineret scenarium.

Det fremgår af figur 12.o at den største reduktion i effektpotentialet opnås ved drivhuseffekt hvor reduktionen er på 71%. Dette skyldes, at alt energi er vedvarende, og at transporten er blevet optimeret. Det resterende vægtede effektpotentiale til drivhuseffekt i scenariet stammer primært fra transport. Økotoksicitet til vand falder med 62%, hvilket skyldes, at kulforbruget til energiproduktion er elimineret og udledningen af tungmetaller fra den kemiske papirmasse produktion ligeledes er elimineret. Reduktionen af humantoksicitet til vand på 64% skyldes primært, at der forbrændes mindre affaldspapir, og reduktionen af humantoksicitet jord på 53%

skyldes det mindre forbrug af diesel ved transport. Det skal bemærkes, at der i dette scenarium kun fortrænges vedvarende energi ved forbrænding af papiraffald. Den samlede reduktion i de vægtede effektpotentialer er på 55%.

Det vægtede ressourceforbrug for udgangspunktet og det kombinerede scenarium fremgår af figur 12.p.



Figur 12.p Vægtede ressourceforbrug for udgangspunktet og scenarium 6: Kombineret scenarium.

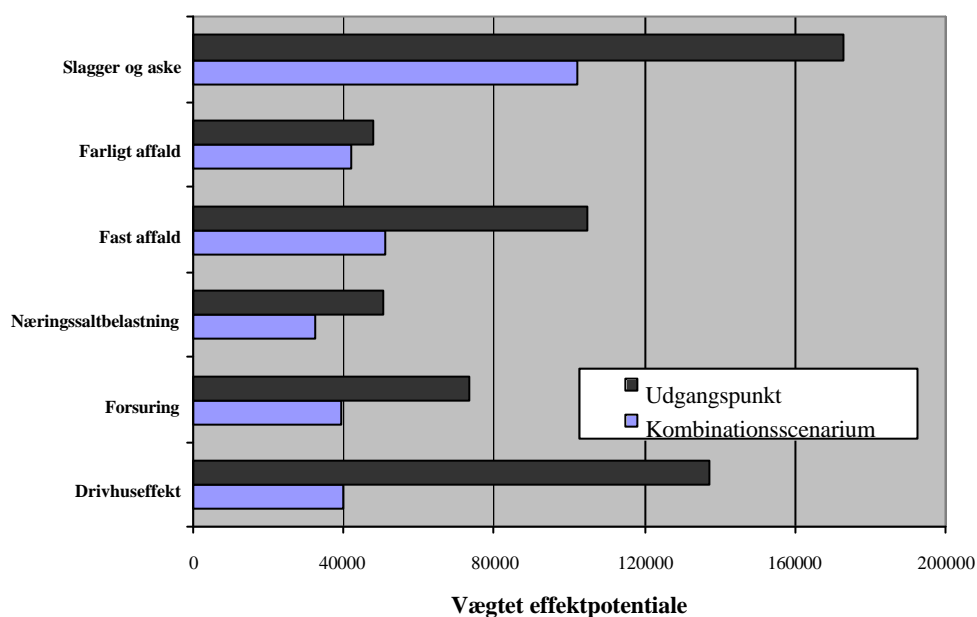
Det ses, at den væsentligste ressourcebesparelse fås ved naturgas, som reduceres med 83%. Den samlede ressourcebesparelse kommer op på 74%. Herudover er der en reduktion af træforbrug og arealforbrug på ca. 54%.

Det fremgår af det kombinerede scenarium, at der kan opnås en samlet besparelse i de vægtede effektpotentialer på 55% og en reduktion af ressourceforbruget på 74%. Dette svarer til en faktor 2,2 reduktion i miljøpåvirkninger og en faktor 3,8 reduktion i ressourceforbruget. Det vil sige, der ved at indføre alle disse omfattende tiltag næsten kan opnås en faktor 4 på ressourceforbruget, men at der stadig er lang vej, før der kan opnås en faktor 4 i miljøpåvirkninger. Desuden skal den udregnede reduktion i ressourceforbrug tages med forbehold, da de medtagede ressourcer udelukkende er fossile brændstoffer og der i det kombinerede scenarium er indført både vedvarende energi og en halvering af energi forbruget. Det vil sige, reduktionen i andre ressourcer som eksempelvis træ og arealforbrug end energiressourcer ikke er belyst.

Det skal desuden bemærkes, at efter alle de væsentligste forureningskilder er reduceret i det kombinerede scenarium, så har det vist sig, at den tidligere uvæsentlige mineralolie, der indgår i tryksvæerte, nu er blevet en væsentlig forureningskilde. Hvis mineralolien udelades så forbedres det samlede vægtede effektpotentialer for det kombinerede scenarium, således at der opnås en faktor 2,4 reduktion i stedet for faktor 2,2.

12.7 Alternativ kategoridefinition

Det generelle billede i de seks scenarier har været, at øko- og humantoksicitet har været de mest udslagsgivende. En mere traditionel tilgang til hvilke miljøproblemer, der er vigtigst vil ikke i så høj grad fokusere på toksiciteten. Betragtes Regeringens indikatorer på faktor 4, som er vist i bilag 3.a, fremgår det, at faktor 4 for miljøpåvirkninger skal måles ud fra miljøkategorierne drivhuseffekt, næringssaltbelastning, forsurening og affald. Det er valgt at præsentere de vægtede effektpotentialer for udgangspunktet og kombinationsscenarioet, når kategoridefinitionen er baseret på Regeringens indikatorer. Dette er vist i figur 12.q.



Figur 12.q Vægtede effektpotentialer for udgangspunktet og det kombinerede scenarium med Regeringens kategoridefinition.

Det samlede vægtede effektpotentiale er for kombinationsscenarioet reduceret med 48%, hvilket svarer til en faktor 1,9 reduktion. Sammenholdes dette med den oprindelige reduktion beskrevet i afsnit 12.6, hvor reduktionen var faktor 2,2, ses det, at der er en afvigelse på 15%. Det vil sige det har en vis betydning for resultatet, med hvilke indikatorer det vælges at måle faktor 4. Dog er forskellen ikke så stor, at det generelle billede ændres.

Det er imidlertid interessant at bemærke at slagger og aske i det kombinerede scenarium ved den alternative kategoridefinition nu er blevet den væsentligste effektkategori og udgør 33% af de samlede effektpotentialer, hvor det tidligere udgjorde en uvæsentlig del.

I det følgende kapitel vil resultaterne fra scenarierne blive fortolket i relation til formålsbeskrivelsen med livscyklusvurderingen.



13 Fortolkning og perspektivering

I dette kapitel besvares de fire spørgsmål i problemformuleringen på baggrund af resultaterne fra de seks scenarier beskrevet i kapitel 12. Problemformuleringens første spørgsmål omhandler, hvorvidt det er realistisk at nå en afkobling med faktor 4 i forbindelse med Danmarks papirforbrug indenfor de næste 20-30 år. Det andet spørgsmål er, om det er realistisk at nå en generel afkobling med faktor 4 for ressourceforbrug og miljøpåvirkninger i Danmark. Det tredje spørgsmål omhandler betydningen af Regeringens valg af indikatorer for hvornår faktor 4 er nået. I det sidste spørgsmål, som er af metodisk karakter, ønskes det belyst i hvilket omfang, der er sammenhæng mellem ressourceforbrug og miljøpåvirkninger, som det foreskrives i faktorkonceptet. Til slut i dette kapitel præsenteres en evaluering af livscyklusvurderingen bestående af tre kontrolundersøgelser.

13.1 Er faktor 4 realistisk for Danmarks papirforbrug?

Det fremgår af det kombinerede scenarium i kapitel 12, at det er muligt at opnå en reduktion med faktor 2,2 for miljøpåvirkninger og en faktor 3,8 for ressourceforbrug. Disse faktorreduktioner kan opnås ved at kombinere de fem scenarier, som er opstillet dels udfra de tiltag, der er udpeget i Regeringens nationale strategi for bæredygtig udvikling, og dels udfra væsentlige identificerede miljøpåvirkninger beskrevet i kapitel 11. De tiltag, der er udpeget af Regeringen, er ifølge kapitel 3 øget genanvendelse, nedbringelse af ressourceforbruget, produktorienteret miljøindsats og udvikling af vedvarende energi.

Det må således konkluderes, at det ikke er muligt at opnå en faktor 4 reduktion af miljøpåvirkninger med de tiltag der peges på af regeringen. Det viste det sig at øget genanvendelse gav en overraskende lille miljøbesparelse og i nogle tilfælde en øget miljøbelastning. Faktorreduktionerne på henholdsvis 2,2 og 3,8 for miljøpåvirkninger og ressourceforbrug opnås, når Regeringens tiltag er suppleret med optimering af transport og substituering af kemisk papirmasse med mekanisk og halvkemisk papirmasse. Disse to tiltag giver imidlertid meget små bidrag til den samlede faktorreduktion.

De tiltag, der gav de største reduktioner i miljøpåvirkninger, er omlægning af energisystemet til vedvarende energi, som kunne reducere miljøpåvirkningerne med en faktor 1,3 samt en produktorienteret miljøindsats, det vil sige renere teknologi, som kunne reducere miljøpåvirkningerne med en faktor 1,4.

Genanvendelse virker ikke altid

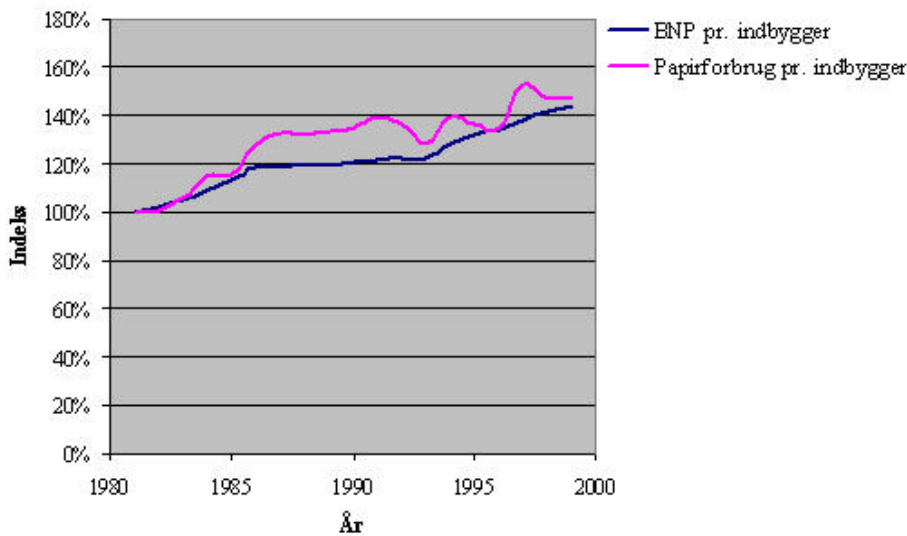
Når genanvendelse i visse tilfælde giver en øget miljøpåvirkning skyldes det, at returmasse i stor grad produceres i Danmark, som har et mere forurenende energisystem end Sverige hvor hovedparten af papir til Danmark kommer fra. Men selv hvis al returmassen blev produceret i Sverige, eller med tilsvarende ren energi, giver det ikke mere end en samlet faktorreduktion i miljøpåvirkninger på 1,1. De meget begrænsede virkninger af øget genanvendelse bør føre til en mere kritisk tilgang til hvor miljøindsatsen lægges. Det betyder, at det gængse affaldshierarki med genanvendelse prioriteret højere end forbrænding bør overvejes nærmere for de enkelte affaldsfraktioner. Affaldshierarkiet står indskrevet som virkemiddel i blandt andet Brundtlandrapporten, og er et accepteret middel til mere bæredygtig udvikling. Derfor er konklusionen udfra scenariet med øget genanvendelse af papiraffald kontroversielt i den forstand, at der gøres op med opfattelsen af den stereotyp måde, vi skal løse vore miljøproblemer på. I afsnit 13.6 kommenteres den lidt kontroversielle konklusion omkring øget genanvendelse yderligere, og hvad denne konklusion kan bruges til.

Selvfølgelig skal konklusionen tages med de forbehold, som antagelser og forudsætninger i livscyklusvurderingen fordrer. Det er væsentligt at tage en diskussion af vægtningsprincipperne op til overvejelse, idet det har stor betydning for udfaldet. Desuden er det væsentligt at bemærke at genanvendelse kun er et dårligt alternativ så længe, at forbrænding af papiraffald fortrænger forurenende dansk energi. Det vil sige, hvis den danske energi bliver renere, så bliver genanvendelse mere fordelagtigt.

Faktor 4 kan ikke nås med de nuværende tiltag, hvad så?

De tiltag, der er belyst i scenarierne, satser alle på minimering af miljøpåvirkninger pr. produceret enhed, som der lægges op til i forbindelse med eco-efficiency. Det viste sig i det samlede scenarium, at der ikke ad den vej kunne opnås en absolut faktor 4 reduktion af miljøpåvirkninger.

Hvis faktor 4 bibeholdes som en politisk målsætning, bør diskussionen af tiltag for at nå målsætningen derfor udvides til at omfatte ændringer af forbrugsmønstret eller, at faktor 4 ikke skal være absolut, men derimod måles i forhold til eksempelvis BNP pr. indbygger. En ændring af forbrugsmønstret kan både indebære en direkte nedsættelse af papirforbruget, og at andre produkter substituerer papirs serviceenhed som eksempelvis elektroniske medier. Udviklingen af papirforbruget og BNP pr. indbygger gennem de seneste 20 år fremgår af figur 13.a, hvor det ses, at både papirforbruget og BNP pr. indbygger er forøget halvdelen gang.



Figur 13.a *Udvikling af BNP og papirforbruget pr. indbygger gennem de seneste 20 år. [Danmarks Statistik, 2001b; Tønning, 2001, s. 16]*

Det ses af figur 13.a, at papirforbruget og BNP pr. indbygger følges ad. Udsvingene i papirforbruget skyldes sandsynligvis, at der har været brugt forskellige metoder til opgørelse heraf. Hvis udviklingen af papirforbruget fortsætter som tendensen har været de seneste 20 år, er der ikke lyse udsigter til en reduktion i forbruget. Dog vil det være muligt at nedsætte forbruget, hvis der er politisk vilje herfor. Regeringen har, som nævnt i afsnit 3.5 skrevet, at de vil undersøge mulighederne for at anvende flere økonomiske virkemidler, herunder råvare- og materialeafgifter, hvis det ikke lykkes at nedbringe ressourcforbruget væsentligt, så ifølge resultaterne fra denne livscyklusvurderingen, så kan politikerne godt begynde at undersøge sådanne muligheder allerede nu.

Af figur 13.b fremgår en vurdering af mulighederne for reduktion af papirforbruget for de forskellige papirvarer.

Papirvare	Vurderet potentiale for reduktion
Aviser	50%
Ubestrøget papir	30%
Bestrøget papir	70%
Papir til bølgepap og sække	10%
Æskekarton og andet karton	10%
I alt	35%

Figur 13.b *Vurdering af potentialet for reduktion af forbruget af forskellige papirvarer. Totalen på 35% er udregnet efter tallene i første linie i figur 8.e.*

Reduktionspotentialet for aviser er vurderet på baggrund af, at Internet med videre forventes at overtage en stigende del af markedet, samtidig med at blandt andet reklamespalter i aviserne reduceres. Reduktionspotentialet for ubestrøget papir er vurderet til 30%, hvilket afspejler besparelsesmuligheder ved trykning på begge sider af printerpapir samt øvrige tiltag. Den store besparelse på 70% ved bestrøget

papir er fastsat ud fra, at det er muligt at begrænse den store mængde husstandsomdelte reklamer, som udgør en stor del af varer af bestrøget papir. Papir til bølgepap og sække samt æskekarton og andet karton vurderes kun at kunne nedsættes med 10%, idet varer af disse kvaliteter primært bruges til emballage. Behovet for emballage vurderes ikke at kunne nedsættes væsentligt, fordi eventuelle optimeringer af emballage bliver modsvaret af det stadig stigende forbruget af varer. Andre papirvarer som aftørningspapir og indpakningspapir udgør en mindre del af det samlede papirforbrug og er derfor ikke vurderet separat.

Med den reduktion af papirforbruget, der er vist i figur 13.b, kan der opnås en samlet absolut faktorreduktion på 3,4 for miljøpåvirkninger og 5,9 for ressourceforbrug. Ved en kombination af eco-efficiency og ændring af forbrugsmønstret kan faktor 4 således opnås med hensyn til ressourceforbrug, men kun næsten for miljøpåvirkninger.

Hvis faktorreduktionen måles som relativ i stedet for absolut, kan der naturligvis opnås en væsentlig højere faktorreduktion. Af figur 13.a fremgår det, at BNP pr. indbygger i løbet af de seneste 20 år ca. er forøget med 50%. Dette betyder, hvis papirforbruget kan holdes konstant og udviklingen i BNP fortsætter, så kan der opnås en relativ faktor 1,5 reduktion, som følge af økonomisk vækst alene i løbet af de næste 20 år. Sammenholdes dette med den mulige faktorreduktion på 2,2 for miljøpåvirkninger, ses det, at der kan opnås en relativ faktorreduktion af miljøpåvirkninger på 3,3 indenfor 20 år. For ressourcer er dette 5,7. Det vil sige, der ikke kan nås en faktor 4 reduktion for miljøpåvirkninger indenfor 20 år, selv når det opgøres som en relativ afkobling. Hertil kommer, at det ifølge figur 13.a er tvivlsomt, at papirforbruget kan holdes konstant ved stigende BNP.

Samlet kan det konkluderes, at det ikke er realistisk at nå en absolut afkobling med faktor 4 med Regeringens tiltag for miljøpåvirkninger. Med disse tiltag samt en optimering af transport og minimering af kemisk papirmasse kan der kun opnås en faktor 2,2 reduktion i miljøpåvirkninger. Ressourceforbruget af ikke-fornybare ressourcer kan imidlertid nedsættes med en faktor 3,8. Hvis målsætningen om faktor 4 bibeholdes, og der er politisk vilje til at nedsætte papirforbruget til mængderne i figur 13.b, kan der opnås en faktorreduktion på 3,4 i miljøpåvirkninger og 5,9 i ressourceforbrug. En anden mulighed for at opnå faktor 4 uden at nedsætte papirforbruget er, at opfatte faktor 4 som relativ. Hvis faktorreduktionen udregnes i forhold til BNP pr. indbygger og papirforbruget holdes konstant, kan der således opnås en faktor 3,3 for miljøpåvirkninger og 5,7 for ressourceforbrug, forudsat at den økonomiske vækst fortsætter som de seneste 20 år. Dog kan en faktor 4 for mil-

jøpåvirkninger opnås hvis alle virkemidler iværksættes, samtidig med at forbruget formindskes, og faktorreduktionen udregnes relativt. Ved alle disse anstrengelser kan der teoretisk opnås en faktor 5,1 i miljøpåvirkninger og 8,9 i ressourceforbrug, men det vurderes ikke realistisk, at alle disse tiltag opnås, desuden kan det diskuteres, om der er reelt at opføre en faktorreduktion relativt.

13.2 Er faktor 4 realistisk for alle Danmarks massestrømme?

I kapitel 4 er de største af Danmarks massestrømme beskrevet. Hvorvidt det er realistisk at nå en faktor 4 indenfor alle disse belyses ved at generalisere scenarierne beskrevet i kapitel 12. Det er specielt scenarierne omkring optimering af transport, ændring af energisystemet samt renere teknologi, der kan generaliseres. Dette skyldes at de miljø- og ressourcebesparelser, der er beregnet ved disse scenarier, ikke nødvendigvis er knyttet til massestrømmen af papir, men derimod gælder for alle massestrømme. Da ændring af energisystemet og renere teknologi er de to scenarier, der beskriver de væsentligste reduktioner i forbindelse med Danmarks papirforbrug, vurderes det, at der for alle Danmarks massestrømme kan opnås en absolut faktor 2,2 reduktion, ligesom ved papirforbruget. Dette skal selvfølgelig tages med store forbehold, da nogle massestrømme er mere energi- og transportintensive end andre. Desuden er der forskel på teknologiniveauet for massestrømme, hvorfor det vil variere, hvad der kan opnås med renere teknologi.

Det skal desuden bemærkes, at grunden til at der ikke kunne nås en større miljøbesparelse med renere teknologi for papir end det var tilfældet er, at der kun blev indført renere teknologi i papirindustrien. Det vil sige miljøeffekter og ressourceforbrug til frembringelse af proceskemikalier, transport, energi og andet, der ligger udenfor papirindustrien, ikke er reduceret eller ændret i renere teknologi scenariet. Hermed vil øget renere teknologi i alle industrier have en effekt på miljøpåvirkninger og ressourceforbrug i papirindustrien. Det vil sige, der opnås en synergieffekt, og det kan forventes, at der kan opnås en højere faktorreduktion end de 2,2 for miljøpåvirkninger og 3,8 for ressourceforbrug. Sammenholdes dette med mulighederne for ændring af forbrugsmønstre, er det realistisk at opnå en faktor 4 reduktion i miljøpåvirkninger og ressourceforbrug for en helhedsbetragtning for det danske samfund. Men som det fremgår, så skal der mange og omfattende tiltag til, før der kan opnås en generel faktor 4 reduktion.

13.3 Betydningen af Regeringens indikatorer

Til belysning af betydningen af Regeringens indikatorer er det kombinerede scenarium og udgangspunktet sammenlignet ved brug af to forskellige kategoridefinitioner i livscyklusvurderingen. Til den ene kategoridefinition bruges Regeringens indikatorer, som er drivhusgasser, forsurening, nærings saltbelastning og affaldsmængder. Sammenligningsgrundlaget er den benyttede kategoridefinition i livscyklusvurderingen, som modsat Regeringens indikatorer i stor grad fokuserer på øko- og humantoksicitet. Sammenligningen af de to kategoridefinitioner viste, at faktorreduktionen for miljøpåvirkninger i tilfældet med Regeringens indikatorer afveg med 15% fra den benyttede kategoridefinition beskrevet i afsnit 11.2. Det vil sige det i nogen grad har betydning hvilke indikatorer faktor 4 opgøres med, og dermed er det vigtigt at vælge indikatorer, der er repræsentative i forhold til hvad, der ønskes undersøgt.

13.4 Er der sammenhæng mellem ressourceforbrug og miljøpåvirkninger?

I beskrivelsen af faktorkonceptet i kapitel 3 fremgår det, at det ifølge konceptet er nok at reducere ressourceforbruget med en faktor 4 eller 10. Det vil sige, der ved reduktion af ressourceforbruget skulle opnås en tilsvarende reduktion af miljøpåvirkninger. Dette forhold belyses ud fra resultaterne af scenarierne i kapitel 12. I figur 13.c nedenfor er faktorreduktionerne for miljøpåvirkninger og ressourceforbrug vist.

Scenarium	Faktorreduktion miljøpåvirkninger	Faktorreduktion ressourceforbrug	Afvigelse i reduktion af miljøpåvirkninger i forhold til ressourceforbrug
Øget genanvendelse (med svensk energi)	1,1	0,8	38%
Substitution af papirmasser	1,2	1,2	0%
Optimering af transport	1,1	1,1	0%
Ændring af energisystemet	1,3	2,6	-50%
Renere teknologi	1,4	2,6	-46%
Kombinationsscenario	2,2	3,8	-42%

Figur 13.c Faktorreduktioner af miljøpåvirkninger og ressourceforbrug for de seks scenarier. Desuden er afvigelsen mellem reduktion af miljøpåvirkninger og ressourceforbrug angivet.

Det fremgår af figur 13.c, at der ikke findes nogen én til én sammenhæng mellem reduktion af ressourceforbrug og miljøpåvirkninger, og at sammenhængen ikke er entydig. Dog er der en tendens til at besparelserne for ressourcer er større end for miljøpåvirkninger. Dette skal dog tages med det forbehold, at det er relativt få ressourcer, der er medtaget i livscyklusvurderingen, eksempelvis er træ, som er det vigtigste råstof til papir produktionen, ikke med i UMIP metoden. Det vil sige sandhedsværdien af påstanden om, at der er en én til én sammenhæng mellem reduktion af ressourceforbrug og miljøpåvirkninger i stor grad afhænger af hvorledes ressourceforbrug og miljøpåvirkninger defineres. Det kan derfor konkluderes, at det vil være for begrænset kun at fokusere på reduktion af ressourceforbruget, idet der er stor forskel på, hvorvidt miljøpåvirkningerne følger med.

13.5 Evaluering

Første trin i evalueringen omhandler en fuldstændighedskontrol, som er en kvalitativ vurdering af livscyklusvurderingens resultat set i forhold til formålet. Herunder skal der være en vurdering af hvorvidt det er nødvendigt at indsamle yderligere data for at acceptere resultatet af vurderingen. Herefter foretages en følsomhedsanalyse af de væsentligste antagelser i forbindelse med opgørelsen af udvekslinger. Til slut foretages en konsistenskontrol af den anvendte metode.

Fuldstændighedskontrol

Overordnet vurderes det, at det indsamlede datamateriale indeholder og omfatter tilstrækkelig information til at opfylde livscyklusvurderingens formål. Dette skal ses i lyset af, at detaljeringniveauet er på screeningsniveau. Det vil sige, der i høj grad er taget udgangspunkt i gennemsnitstal for Europæiske fabrikker.

Der er dog et punkt hvor øget fuldstændighed er ønskelig. Det drejer sig om miljøeffekter relateret til frembringelse af en del proceskemikalier brugt i papir- og pappirmasse og papirvareindustrien. Desuden er fordampning af en del af disse kemikalier ikke medtaget. Dog vurderes disse mangler ikke at have væsentlig indflydelse på nogen af livscyklusvurderingens resultater, idet de proceskemikalier, der er medtaget, generelt ikke bidrager væsentligt til det samlede vægtede effektpotentiale.

Følsomhedsanalyse

De antagelser der vurderes at være de væsentligste beskrives i det følgende.

Transportafstandene er fastsat ud fra afstande til konkrete svenske papirfabrikker. Denne antagelse stemmer ikke overens med virkeligheden idet der leveres papir fra papirfabrikker fra forskellige lande til Danmark. Sverige blev valgt, fordi det er den største leverandør af papir til det danske marked. Ligeledes er det antaget at al papirindustri ligger i Danmark. Derfor vælges det at beskrive hvor stor en del af det samlede vægtede effektpotentiale transport udgør.

Som nævnt ovenfor er det antaget at al udenlandsk papir- og papirmasseproduktion foregår i Sverige. Dette betyder, at der er brugt svensk el til alle de udenlandske papirfabrikker. Svensk el er meget miljøvenligt i forhold til andre landes el. Derfor ønskes det undersøgt hvor stor en del af det samlede vægtede effektpotentiale, der udgøres af svensk el, og hvilken betydning det ville have, hvis dette el i stedet kom fra Tyskland, som er den tredje største leverandør af papir til det danske marked. Tyskland er desuden valgt fordi tysk energi forurener mere end svensk og finsk energi. Finland er den anden største leverandør af papir til Danmark.

Udvekslinger fra alle papir- og papirmassefabrikkernes CHP anlæg er antaget at svare til typiske danske anlæg beregnet til de forskellige typer brændsel, der bruges. De anlæg, der er tale om, er energianlæg med oliefyrede kedler, naturgasfyrede anlæg, kulstøvfyrede blokanlæg samt kulkedler omstillet til flis/træpiller. For at belyse denne antagelses betydning undersøges det, hvor stor en andel af det samlede vægtede effektpotentiale der udgøres af disse CHP anlæg.

I figur 13.d vises de andele, som de forskellige antagelser, der ønskes undersøgt, udgør af det samlede vægtede effektpotentiale. Det er valgt kun at udføre følsomhedsanalysen ved de vægtede effektpotentiale. Ressourceforbruget er udeladt da det kun består af tre fossile brændstoffer.

Element der ønskes undersøgt	Andel af samlede vægtede effektpotentiale
Transport med lastbil	33%
Svensk el	1%
Tysk el	10%
CHP anlæg på papir- og papirmassefabrikker	22%

Figur 13.d Andel af det samlede vægtede effektpotentiale, som udgøres af de undersøgte komponenter.

Det ses at transport udgør 33%, hvilket er en relativ stor del. Dette betyder at fastsættelsen af transportafstande er relativ udslagsgivende for det samlede vægtede effektpotentiale. Den væsentligste effektkategori er her humantoksicitet til jord, som udgør 83% af det samlede vægtede effektpotentiale for transport. Derfor har

nedsættelse af transport primært betydning for effektkategorien humantoksicitet til jord. Når al transport er fjernet, bliver humantoksicitet til jord således mindre end økotoksicitet til vand. Transportafstandene vurderes imidlertid at være realistiske, idet de ikke vil ændres væsentligt, hvis Danmarks papirforbrug blev ligeligt forsynet fra fabrikker i Sverige, Tyskland og Finland, som de største leverandører af papir til Danmark. Dog vurderes det stadig, at fastlæggelse af transportafstande er den mest betydningsfulde antagelse.

Svensk el udgør på trods af det store elforbrug kun 1% af det samlede vægtede effektpotentiale, hvilket understreger, at det er meget miljøvenligt. Det samlede vægtede effektpotentiale er ca. 20 gange større for 1 kWh tysk el end for 1 kWh svensk el. Hvis der i stedet blev brugt tysk el, ville det samlede vægtede effektpotentiale for Danmarks papirforbrug være 10% større. Dette betyder, at hvis der blev regnet med de faktiske energisystemer fra de lande, der leverer papir til Danmark, så ville det samlede vægtede effektpotentiale blive et par procent større.

CHP anlæggene udgør tilsammen 22% af det samlede vægtede effektpotentiale, hvilket er en væsentlig del. De væsentligste effektkategorier ved CHP anlæggene er kronisk og akut økotoksicitet til vand samt humantoksicitet til jord, hvilke tilsammen udgør 75% af det vægtede effektpotentiale for CHP anlæg. Der fremgår således, at antagelsen om at CHP anlæggene svarer til gennemsnitlige danske anlæg er relativt væsentlig for det samlede resultat. Dog vurderes de faktiske anlæg ikke at afvige betydeligt fra de antagede anlæg. Derfor er fejlmargen ved denne antagelse relativt begrænset.

Generelt vurderes der ikke at være antagelser i livscyklusvurderingen, der er så væsentlige, at de vil kunne ændre væsentligt på livscyklusvurderingens resultater.

Konsistenskontrol

Formålet med konsistenskontrol er at kontrollere, om der er konsistens i den anvendte metode. Der er udelukkende anvendt allokering i forbindelse med varme- forbrug leveret fra kraftvarmeanlæg. Der er i disse tilfælde allokeret efter samme princip, det vil sige energiindhold.

Da data for frembringelse af mange materialer samt energiscenarier er baseret på data fra databaser i SimaPro, samtidig med at data for andre forhold er baseret på andre kilder, er der stor risiko for, at der er forskel på detaljeringsgraden i de anvendte data. Det er svært, at sige hvad det betyder for det samlede billede af livscyklusvurderingen. Det har indenfor de tidsrammer, der har været til rådighed, ikke været muligt at gå i dybden med dette forhold.

13.6 Hvorfor kan genanvendelse ikke betale sig?

Rapportens konklusioner omkring øget genanvendelse af papir er ret kontroversielle. Dette gælder både i forhold til den gængse opfattelse af at genanvendelse giver miljøbesparelser, og til at genanvendelse er et bredt anvendt virkemiddel i miljøpolitikken, samt at resultaterne ikke stemmer overens med resultater fra andre lignende undersøgelser.

Årsager til at genanvendelse ikke er fordelagtigt i denne undersøgelse

I livscyklusvurderingen fremgår det, at der er et større bidrag til drivhuseffekten ved øget genanvendelse på trods af, at energiforbruget er lavere ved produktion af returmasse. Desuden er der mere affald til deponering ved øget genanvendelse. Disse forhold betyder tilsammen, at øget genanvendelse i denne undersøgelse ikke kan betale sig. Årsagerne hertil skal findes i 4 primære årsager

For det første produceres en stor mængde returpapir i Danmark. Da danskproduceret returpapir, på grund af det danske energisystem, er mere forurenende end svensk produceret jomfrueligt papir, giver det en større miljøbelastning ved øget genanvendelse. Hvis returpapiret i stedet ved øget genanvendelse blev produceret med svensk energi, ville det samlede vægtede effektpotentiale være 6% mindre end ved udgangspunktet.

For det andet forbrændes der ikke de samme mængder papiraffald ved øget genanvendelse. Forbrænding af papir i Danmark fortrænger dansk forurenende el. Hvis man forestiller sig at forbrænding af papiraffald fortrængte svensk el ville det samlede vægtede effektpotentiale ved øget genanvendelse være 5% mindre end udgangspunktet, hvor det i scenariet er 3% større. Dette ville imidlertid også medføre at udgangspunktet ville have et større samlet vægtet effektpotentiale.

For det tredje regnes der i opgørelsen af aske og slagger med en stor mængde aske og slagger fra produktion af returmasse, hvorimod der ikke regnes med noget aske og slagger i affaldsforbrændingsanlægget. Disse manglende data betyder, at hvis aske og slagger fra returmasseproduktionen ikke blev medregnet, så ville øget genanvendelse have et samlet vægtet effektpotentiale, der var 5% mindre end udgangspunktet.

For det fjerde bidrager træ- og arealforbrug ikke til nogen effektpotentialer i UMIP-metoden. Hvis træ- og arealforbruget blev medtaget i vurderingen af scenariet med øget genanvendelse, ville dette betyde, at der til fordel for scenariet ville

være store årlige besparelser, hvilket kan betyde at resultatet ville falde fordelagtigt ud herfor.

Årsager forskel mellem denne og andre undersøgelser

En række undersøgelser har vist at øget genanvendelse af papir kan betale sig. I dette afsnit redegøres for, hvilke forskelle der er mellem antagelserne i denne rapport og i to undersøgelser udgivet af Miljøstyrelsen, som er årsag til de forskellige konklusioner.

Den første undersøgelse er Miljøøkonomi for papir- og papkredsløb udgivet af Miljøstyrelsen i 1995. Der er to væsentlige forskelle på antagelserne i denne undersøgelse og antagelserne i nærværende rapport. Den første er, at der regnes med dansk el i Sverige. Netop forskellen på energisystemerne i Danmark og Sverige blev i forrige afsnit udpeget til at være en af de væsentligste årsager til at genanvendelse i form af dansk produceret returmasse ikke kunne betale sig. Den anden antagelse, der udgør en forskel er, at der regnes med, at sparet træ ved genanvendelse erstatter olie til varmeproduktion på papirfabrikkerne. Der regnes altså med, at papirfabrikkerne har et konstant træforbrug, uanset om der skæres ned på produktionen af jomfruelig papirmasse.

Den anden undersøgelse der peger på at genanvendelse kan betale sig er Miljøeffekter og ressourceforbrug for 3 grafiske produkter i et livscyklusperspektiv udgivet af Miljøstyrelsen i 1997. I denne undersøgelse udpeges øget genanvendelse til at kunne betale sig ud fra det forhold, at der er et mindre energi- og fillerforbrug.

Hvad så med rapportens konklusioner?

Hvordan skal man så forholde sig til rapportens konklusioner om, at øget genanvendelse ikke kan betale sig. For det første skal det pointeres, at denne undersøgelse modsat en række andre undersøgelser viser, at genanvendelse ikke kan betale sig. Dette betyder ikke nødvendigvis, at denne konklusion dermed er den fulde sandhed. Denne rapportens konklusioner omkring genanvendelse skal opfattes som et indspark til en diskussion om på hvilke antagelser en sådan undersøgelse bør udarbejdes. Specielt vigtige er følgende spørgsmål:

- Skal der regnes med de aktuelle landes energisystemer når øget genanvendelse miljøvurderes?
- Skal sparet træforbrug ved øget genanvendelse figurere som øget brug af biobrændsel eller som bevaret skov?
- Hvordan kan areal- og træforbrug inddrages i en livscyklusvurdering?
- Skal toksicitet have en så stor vægtning i forhold til de mere traditionelle miljøpåvirkninger i en livscyklusvurdering af papir?

Med hensyn til det forhold at aske og slagge ikke er medregnet i forbindelse med forbrænding af papiraffald i denne undersøgelse, så bør oplysninger herfor skaffes i en senere undersøgelse.



<i>Del 1: Indledning</i> 1 Indledning
<i>Del 2: Baggrund</i> 2 Miljøpolitik; Fra fortynding til faktor 4 3 Afkobling og faktor 4 4 Danmarks massestrømme 5 Papir og papirproduktion
<i>Del 3: Problemformulering</i> 6 Problemformulering
<i>Del 4: Massestrømsanalyse</i> 7 Metode til massestrømsanalyse 8 Massestrømsanalyse af papir i Danmark
<i>Del 5: Livscyklusvurdering</i> 9 Metode til livscyklusvurdering 10 Livscyklusvurdering af Danmarks papirforbrug 11 Effektvurdering af Danmarks papirforbrug 12 Opstilling og effektvurdering af scenarier 13 Fortolkning og perspektivering
<i>Del 6: Konklusion</i> 14 Konklusion

14 Konklusion

Denne rapport tager udgangspunkt i et spørgsmål om hvorvidt det er muligt at opnå Regeringens målsætning om en faktor 4 reduktion af miljøpåvirkninger og ressourceforbrug indenfor de næste 20-30 år. Dette er belyst ud fra et casestudie af massestrømmen af papir i Danmark, som udgør 1,4% af Danmarks massestrømme af varer.

Er faktor 4 realistisk?

Potentialet for reduktioner i forhold til faktor 4 er opgjort ud fra beregnede reduktioner i vægtede effektpotentialer og ressourceforbrug i en livscyklusvurdering af Danmarks papirforbrug.

På baggrund af livscyklusvurderingen, kan det konkluderes, at der indenfor de næste 20-30 år med en kombination af alle Regeringens væsentlige virkemidler ikke kan nås en absolut reduktion i miljøpåvirkninger med en faktor 4 med hensyn til Danmarks papirforbrug. De væsentligste virkemidler, der er udpeget af Regeringen, er øget genanvendelse, nedbringelse af ressourceforbruget, udvikling af vedvarende energi og produktorienteret miljøindsats (renere teknologi). Reduktionspotentialerne er beregnet til en faktorreduktion på 2,2 i miljøpåvirkninger og 3,8 i ressourceforbrug. Kombinationen af tiltag er opstillet ud fra en antagelse om, at andelen af returmasse øges fra 48% til 75%, renere teknologi medfører en halvering af papirindustriens energiforbrug og udledninger, al energi er baseret på vedvarende energikilder samt at transporten bliver miljømæssigt optimeret. Desuden er forbruget af kemisk papirmasse i størst mulig omfang substitueret af mere miljøvenlig halvkemisk og mekanisk papirmasse.

Hvis målsætningen om faktor 4 bibeholdes, og der er politisk vilje til at nedsætte papirforbruget med 35%, som vurderes muligt, kan der opnås en faktor reduktion på 3,4 i miljøpåvirkninger og 5,9 i ressourceforbrug, men det bliver en svær opgave bare at stabilisere papirforbruget, da det har været konstant stigende de sidste 20 år. En anden mulighed for at opnå faktor 4 uden at nedsætte papirforbruget er, at opfatte faktor 4 som relativ. Hvis faktorreduktionen udregnes i forhold til BNP pr. indbygger og papirforbruget holdes konstant, kan der således opnås en faktor 3,3 for miljøpåvirkninger og 5,7 for ressourceforbrug, forudsat at den økonomiske vækst fortsætter som de seneste 20 år. Som det bemærkes, så kan der med disse tiltag ikke opnås en faktor 4 reduktion i miljøpåvirkninger. Dog kan en faktor 4 for miljøpåvirkninger opnås hvis alle virkemidler iværksættes, samtidig med at forbruget formindskes og faktor reduktionen udregnes relativt. Ved alle disse anstrengelser kan der teoretisk opnås en faktor 5,1 i miljøpåvirkninger og 8,9 i ressourcefor-

brug, men det vurderes ikke realistisk, at alle disse tiltag opnås, desuden kan det diskuteres om der er reelt at opgøre en faktorreduktion relativt.

De tiltag, der gav de største reduktioner i miljøpåvirkninger, er omlægning af energisystemet til vedvarende energi, som kunne reducere miljøpåvirkningerne med en faktor 1,3 samt renere teknologi, som kunne reducere miljøpåvirkningerne med en faktor 1,4. Det viste sig at øget genanvendelse samlet gav en øget miljøbelastning.

En generel afkobling med faktor 4 for alle Danmarks massestrømme indenfor de næste 20-30 år vurderes ikke at være realistisk. Hvor langt man kan nå vil i høj grad afhænge af energisystemet samt renere teknologi, som ved massestrømmen af papir. Det skal dog bemærkes, at der er mulighed for synergieffekt for de forskellige massestrømme imellem således, at der kan nås større reduktioner end ved en massestrøm alene. Eksempelvis vil optimering af renere teknologi i én branche have afsmittende virkning på mange andre områder. Teoretisk vil det sikkert være muligt at opnå faktor 4 generelt i Danmark, hvis der både bliver indført vedvarende energi, satsen yderligere på renere teknologi og optimering af transporten, samtidig med at forbruget bliver nedsat.

Kan øget genanvendelse betale sig?

De primære årsager til at øget genanvendelse i denne undersøgelse ikke giver en miljøbesparelse er, at forbrænding i et affaldsforbrændingsanlæg fortrænger en mængde varme og el. I Danmark er el- og varmforsyningen så miljøbelastende, at det kan betale sig at brænde papir i stedet for at genanvende det. Det betyder ikke nødvendigvis, at man skal satse på øget forbrænding, men nærmere, at man skal nedsætte miljøpåvirkningerne fra det danske energisystem. Et andet vigtigt forhold der har stor indflydelse er, at UMIP-metoden kun medregner visse ressourcer, eksempelvis medregnes træforbrug og arealforbrug ikke. En række andre undersøgelser viser at øget genanvendelse *kan* betale sig. Årsagen til at denne undersøgelse ikke når samme konklusion er, at de andre undersøgelser ikke medtager forskellen mellem det danske og de papirproducerende landes energiforbrug, og dermed kun sammenligner energiforbruget mellem jomfru- og returmasse. Desuden figurerer sparet træforbrug som en tilsvarende øget mængde biobrændsel, der fortrænger olie. Da disse antagelser kan diskuteres bør rapportens konklusioner omkring genanvendelse derfor ikke opfattes som fulde sandhed, men som et indspark til en diskussion om hvilke antagelser en sådan undersøgelse bør udarbejdes efter. Desuden bør det gængse affaldshierarki med genanvendelse prioriteret højere end forbrænding bør overvejes nærmere. Affaldshierarkiet står indskrevet som virkemiddel i blandt andet Brundtlandrapporten og er et accepteret middel til mere bæredygtig udvikling. Derfor er konklusionen udfra scenariet med øget genanvendelse

af papiraffald kontroversielt i den forstand, at der gøres op med den stereotype opfattelsen af den måde vi skal løse vore miljøproblemer på.

Faktorkonceptet

Det har desuden i denne rapport været hensigten at belyse to forhold i relation til faktorkonceptet. For det første ønskes det belyst hvilken betydning Regeringens valg af indikatorer har på hvornår faktor 4 opnås. Til belysning heraf er et kombineret scenarium sammenlignet med den nuværende situation i to forskellige kategoridefinitioner i livscyklusvurderingen. Den ene kategoridefinition består af Regeringens indikatorer som er drivhusgasser, forsuring, næringssaltbelastning, affaldsmængder og ressourceforbrug. Sammenligningsgrundlaget er den benyttede kategoridefinition i livscyklusvurderingen, som modsat Regeringens indikatorer i stor grad fokuserer på øko- og humantoksicitet. Sammenligningen af de to kategoridefinitioner viste, at faktorreduktionen i tilfældet med Regeringens indikatorer afveg med 15% fra den benyttede kategoridefinition. Det vil sige, det i nogen grad har betydning, hvilke indikatorer faktor 4 opgøres med. Dette indikerer at fastlæggelse af indikatorer kan bruges politisk.

Det andet forhold i relation til faktorkonceptet er, at det ønskes belyst hvorvidt der er en én til én sammenhæng mellem reduktion i ressourceforbrug og reduktion i miljøpåvirkninger, som det påstås i faktorkonceptet. I samtlige scenarier i livscyklusvurderingen er reduktionen i miljøpåvirkninger og ressourceforbrug sammenlignet. Ud fra denne sammenligning kan det konkluderes, at der ikke kan findes nogen én til én sammenhæng, og at en sammenhæng er tvivlsom. Derfor er det vigtigt at gøre sig klart med hvilke indikatorer faktor 4 bør beskrives.



REFERENCELISTE

Referenceliste:

ATV, 1996: Akademiet for de Tekniske Videnskaber (ATV), *Livscyklusvurdering af levnedsmidler – hvordan kommer vi i gang?*, Lyngby, Danmark, 1996

BAT, 2000: BAT, *Integrated Pollution Prevention and Control (IPPC) Reference Document on Best Available Techniques in the Pulp and Paper Industry*, World Trade Center, Isla de la Cartuja, Seville, Spanien, 2000 URL: <http://eippcb.jrc.es/pages/FActivities.htm> (01.12.2001).

Bekendtgørelse af lov om planlægning, 1993: Bekendtgørelse af lov om planlægning, 1993 'Bekendtgørelse af lov om planlægning'. Lovbekendtgørelse nr. 383 af 14.06.1993

CEPI, 2000: 'CEPI Annual Statistics 1999', Confederation of European Paper Industries, Belgien, 2001, URL: http://www.cepi.org/htdocs/pdfs/stats/pub_a43.pdf (15.11.2001)

Chertow, 2001: Chertow, Marian R., 'The IPAT Equation and Its Variants – Changing Views of Technology and Environmental Impact', fra *Journal of Industrial Ecology*, Vol. 4, Nr. 4, 2001, Massachusetts Institute and Yale University.

Christensen, 1958: Christensen, Sigurd, *Papirbogen*, P. Haase & Søns Forlag, København, Danmark, 1958

Christensen, 2000: Christensen, Per, 'Kampen om vandet'. Aalborg Universitetsforlag, 2000

Cowi 2001: Data for danske trykkerier og skovbrug, tilsendt af Charlotte Libak Hansen, COWI, 2001

Dalager, 1995: Dalager, Søren et al., 'Miljøøkonomi for papir- og papkredsløb. Delrapport 2: Bølgepap'. Miljøstyrelsen, København, Danmark, 1995

Dalum, 2000: *Miljøredegørelse 1999 for Dalum Papir A/S*, Dalum Papir A/S, Odense, Danmark, 2000

Danmarks Statistik, 1998a: 'Miljøstatistik 1998', Danmarks Statistik, København, Danmark, 1998

Danmarks Statistik, 1998b: 'Statistisk Tiårsoversigt 2000'. Danmarks Statistik, København, Danmark, 1998

- Danmarks Statistik, 2000a:** *Statistiks Årbog*, Danmark Statistik, København, Danmark 2000
- Danmarks Statistik, 2000b:** *Varestatistik for industri, serie B, 1999:4*, Danmark Statistik, København, Danmark, 2000
- Danmarks Statistik, 2001a:** *Statistikbanken –Detaljeret udenrigshandel*, Danmark Statistik, København, Danmark, 2001, URL: <http://www.statistikbanken.dk> (d. 22/10-01)
- Danmarks Statistik, 2001b:** *Statistisk årbog 2001*, Danmark Statistik, København, Danmark, 2001, URL: <http://www.dst.dk/dst/aarvog> (d. 22/12-01)
- Dyrbye, 2001:** Dyrbye, Finn, Telefonsamtale med indkøbschef på bølgepapfabrikken SCA packaging Denmark, Grenaa, Danmark., 2001
- Energistyrelsen, 1995:** *Teknologidata for el- og varmeproduktionsanlæg*, Energistyrelsen, København, Danmark, 1995, URL: <http://www.ens.dk/pub/energi21/elogvarm.pdf> (d. 12.12.2001)
- Energistyrelsen, 2000:** *'Energistatistik – Danmarks produktion og forbrug af energi'*. Energistyrelsen, 2000
- Energistyrelsen, 2001:** *Energistatistik 2000 – El og fjernvarme*. Energistyrelsen, København Danmark, 2001, URL: http://www.ens.dk/statistik/stat_00/fig2_konvert.htm (d. 12.12.2001)
- Factor 10 club, 1997:** *'Carnoules Statement to Government and Business Leaders'*. Factor 10 club, 1996, URL: <http://www.factor10-institute.org/Publications.htm>, dato: 13.11.2001
- FN-forbundet og Mellempopulært Samvirke, 1987:** *'Vores fælles fremtid. Brundtland-kommissionens rapport om miljø og udvikling'*, 1987
- Folke et al., 1994:** Folke, Jens; Mogensen, Ulla, *'Produktion og miljøforhold i papirindustrien'*, Miljøprojekt nr. 257, Miljøstyrelsen, København, Danmark, 1994
- Hvelplund, 2001:** Hvelplund, Frede. Lektor ved Institut for planlægning, Aalborg Universitet
- Friends of the earth, 1995:** *'Mod et bæredygtigt Europa'* Udarbejdet for Friends of the Earth af Wuppertal Instituttet, 1995
- GA, 2001:** Tal for Grafisk Arbejdsgiverforening, Danmarks Statistik, 2001

Hagendoorn, 1996: Hagendoorn, A. & H. Nieuwenhuizen, , *Fakta om papir og miljø*, NOAH, København, Danmark, 1996

Hartmann, 2000a: *EMAS miljøreddegørelse 1999, Brødrene Hartmann A/S, Tønder:fabrikkerne*, Hartmann, Tønder, Danmark, 2000

Hartmann, 2000b: *EMAS miljøreddegørelse 1999, Skjern Papirfabrik*, Hartmann, Skjern, Danmark, 2000

Hassing, 1947: Hassing, O., *Papir*, Nyt Nordisk Forlag, København, Danmark, 1947

Hauschild, 1999: Hauschild, Michael, *Baggrund for miljøvurderinger af produkter*. Miljøstyrelsen, Miljø- og Energiministeriet, København, Danmark, 1996

Hylte Mill, 1999: 'Environmental report 1999. Hylte Mill'. StoraEnso, 1999

URL:

http://www.storaenso.com/download/environment/emasswe/Hylte_99_eng.pdf (d. 01.12.2001)

ISO 14040, 2001: Miljøledelse –Livscyklusvurdering – *Principper og opbygning*, DN/EN ISO 14041, udgivet af DANSK STANDARD, 2001

ISO 14041, 2001: Miljøledelse –Livscyklusvurdering – *Formål og afgrænsning af undersøgelsen samt kortlægning*, DN/EN ISO 14041, udgivet af DANSK STANDARD, 2001

ISO 14042, 2001: Miljøledelse –Livscyklusvurdering – *Vurdering af miljøpåvirkninger i livscyklus*, DN/EN ISO 14041, udgivet af DANSK STANDARD, 2001

ISO 14043, 2001: Miljøledelse –Livscyklusvurdering – *Fortolkning af resultater*, DN/EN ISO 14041, udgivet af DANSK STANDARD, 2001

Lademann, 1982: *Lademann Verdensatlas*. Lademann Forlagsaktieselskab, Danmark, 1982

Lassen et al. 2001: Lassen, Carsten; Hansen, Erik, Paradigm for Substance Flow Analysis, udarbejdet af COWI, Consulting Engineers and Planners AS, Miljøstyrelsen, 2000

Lund, 2001: Personlig samtale med Katrine Lund, Sammenslutningen af papir-, pap- og cellulose producenter i Danmark, 2001

Meinicke, 1975: Meinicke, Ejner F., *Papirbranchens lærebog om papir*, Dansk Papirhandlerforening, Danmark, 1975

Meinicke, 1983: Meinicke, Ejner F., '*Den hvide kunst*', Dansk Papirhandlerforening, Danmark, 1983

Meinicke, 1984: Meinicke, Ejner F., *den hvide magi*, Danmark, 1984

Meyer, 1994: Meyer, Niels I., Nørgård, Jørgen S., Galster, Georg, Guldbrandsen, Tom, *Energi og ressourcer – for en bæredygtig fremtid*, Polyteknisk forlag, Lyngby, Danmark, 1994

Miljø- og Energiministeriet, 1995: '*Natur- og miljøpolitisk redegørelse*'. Miljø- og Energiministeriet, Danmark, 1995

Miljø- og Energiministeriet, 1997: '*Natur og miljø 1997 – Påvirkninger og tilstand*'. Miljø- og Energiministeriet, Danmark, 1997

Miljø- og Energiministeriet, 1997: '*Resume af dagens nyheder på miljø- og energiområdet den 4. august 1997*'. Miljø- og Energiministeriet, 1997, Aktuelt s. 10-11. URL: <http://www.mem.dk/presseresume/1997/august/04-08-97.htm> (d. 07.10.2001)

Miljø- og Energiministeriet, 1999: '*Natur- og miljøpolitisk redegørelse*'. Miljø- og Energiministeriet, Danmark, 1999

Miljø- og Energiministeriet, 2001: '*Natur og miljø 2000 – udvalgte indikatorer*'. Miljø- og Energiministeriet, Danmark, 2001

Miljøstyrelsen, 1990: '*Papir Papir*', *Miljø-Tema nr. 3*, Miljøministeriet Miljøstyrelsen, Danmark, 1990

Miljøstyrelsen, 1990: '*Evaluering af udviklingsprogrammet for renere teknologi*', Orientering fra Miljøstyrelsen nr. 3, Miljøstyrelsen, Danmark, 1990

Miljøstyrelsen, 1996: '*Ressourceforbrug og miljøbelastning for 3 grafiske produkter i et livscyklusperspektiv*', Arbejdsrapport nr. 63, Miljøstyrelsen, København, Danmark, 1996

Miljøstyrelsen, 1997: '*Miljøeffekter og ressourceforbrug for 3 grafiske produkter i et livscyklusperspektiv*', Miljøprojekt nr. 341, Miljøstyrelsen, København, Danmark, 1997

Miljøstyrelsen, 1998: '*Økologisk råderum – en sammenfatning*'. Miljøprojekt nr. 433, Miljøstyrelsen, Danmark, 1998

Miljøstyrelsen, 1999: '*Reduktion af biltransportens miljøbelastning med faktor 4 og faktor 10*'. Miljøprojekt nr. 445, Miljøstyrelsen, Danmark, 1999

Miljøstyrelsen, 2001: 'Sammenfatning af høringssvar til regeringens strategiforslag af 16. marts 2001'. Miljøstyrelsen, Danmark, 2001, URL:

<http://www.mst.dk/tværbæredygtighed/0621-samfat-final.doc> (d. 14.10.2001)

Møller, 2001: Personlig samtale med Tonny Møller, ingeniør på SCA Containerboard Djursland Grenaa, Danmark, den 21.11.2001

Nielsen, 1989: Nielsen, Eskild m.fl., 'Lukning af papirkredsløbet – Naturligvis!', Afgangspjekt for Civilingeniører i Planlægning, Aalborg Universitet, Danmark, 1989

NOAH, 1995: 'Mod et Bæredygtigt Europa. Resumé'. NOAH (Friends of the Earth Denmark), Danmark, 1995

Nordic Ecolabelling, 2001: Nordic Ecolabelling, <http://www.ecolabel.dk/saadan.html> (d. 20.12.01)

Nymölla Mill, 2000: 'Environmental Statement. Nymölla Mill 2000'. StoraEnso.

URL:

http://www.storaenso.com/download/environment/emasswe/Nymolla_2000_eng.pdf (d. 01.12.2001)

Pedersen, 2000: Pedersen, Ole Gravgård, 'Fysiske input-output tabeller for Danmark'. Danmarks Statistik, Danmark, 2000

Persson, 1999: Persson, J. G, 'Dematerialisation – Some Implications on Produkt Design' i EcoDesign '99: 1st International Symposium on Environmentally Conscious Design and Inverse Mfg, Tokyo, Feb 1-3, 1999

Regeringen, 2001a: Regeringen 'Udvikling med omtanke – fælles ansvar', Regeringen, Danmark, 2001

Regeringen 2001b: Regeringen 'Debatoplæg om Indikatorsæt til Danmarks strategi for bæredygtig udvikling'. Miljøstyrelsen, Danmark, 2001

Remmen, 2000: Remmen, Arne, 'Renere produkter – nye værktøjer, aktører og relationer'. Orientering nr. 12, 2000, Miljøstyrelsen, 2000

Remmen, 2001: Remmen, Arne, 'Greening of Danish Industry – Changes in Concepts and Policies' i Technology Analysis & Strategic Management, Vol. 13, No. 1, 2001

SCA, 2000: SCA, udskrift af regneark, SCA, Grenaa, Danmark, 2000

SCA, 2001: SCA, 'Environmental Report 2000. Sharing Common Ground'. SCA, 2001
URL: <http://www.scapackaging.com/doc/environm.pdf> (d. 01.12.2001)

Schmidtheiny, 1992: Schmidtheiny, Stephan, With the Business Council for Sustainable Development, 'Changing Course – A global business perspective on development and the environment'. Massachusetts Institute of Technology, 1992

Shell Geostar, 2001: Routeplanner, Shell GeoStar, 2001
URL: <http://www.shellgeostar.com/home/default.asp?Lang=da> (d. 05.12.2001)

Skoghall, 2000: 'Environmental Statement. Skoghall 2000'. StoraEnso, Finland, 2000,
URL:
<http://www.storaenso.com/download/environment/emasswe/Skoghall2000eng.pdf>
(d. 01.12.2001)

Skov og Naturstyrelsen, 1994: 'Papirgenbrugs konsekvenser for skove og skovbrug'.
Miljøministeriet, Skov- og Naturstyrelsen, København, Danmark, 1994

Skov, 2001: Skov, Preben. Telefonsamtale med indkøbschef på Dalum, Odense Danmark
den 04.12.01

StoreEnso, 1999: StoraEnso, 'Environmental Report 1999', StoraEnso, Finland, 1999
URL: http://www.storaenso.com/files/Environmental_Report.pdf (d. 01.11.2001)

Søberg, 2001: Søberg, Kai, 'Personlig samtale med serviceingeniør på SCA Containerboard
Djursland Grenaa, Danmark den 21.11.2001

Thomas, 1977: Thomas, C., 'The Paper Chain', Earth Resources Research, London, England, 1977

Tønning, 2001: Tønning, Kate, 'Statistik for returpapir og –pap 1999', Miljøprojekt nr.
618, Miljø- og Energiministeriet, Miljøstyrelsen, København, Danmark, 2001

WBCSD, 2000a: 'Eco-efficiency' World Business Council for Sustainable Development,
2000, URL: <http://www.wbcd.org/newscenter/reports/2000/EEcreating.pdf> (d.
7.10.2001)

WBCSD, 2000b: 'Measuring eco-efficiency' World Business Council for Sustainable De-
velopment, 2000,
URL: <http://www.wbcd.org/newscenter/reports/2000/MeasuringEE.pdf> (d.
7.10.2001)

Weizsäcker et al., 1997: Weizsäcker, Ernst Von, Lovins, Amory B., Lovins, L. Hunter, '*Factor Four – Doubling Wealth, Halving Resource Use*'. Earthscan Publications Limited, 1997

Wenzel et al., 1997: Wenzel, Henrik, Hauschild, Michael, Alting, Leo, '*Environmental Assessment of Products*', Chapman & Hall, London, England, 1997