

Udvikling af indikatorsystem for materialestrømme, ressourceforbrug og -effektivitet samt affaldsstrømme

Karsten Krogh Andersen
Danish Institute for Sustainable Development

Toke Haunstrup Christensen, Michael Søgaard Jørgensen
& Inge Røpke
Institut for Produktion og Ledelse
Danmarks Tekniske Universitet

Ole Gravgård Pedersen
Danmarks Statistik

Miljøstyrelsen vil, når lejligheden gives, offentliggøre rapporter og indlæg vedrørende forsknings- og udviklingsprojekter inden for miljøsektoren, finansieret af Miljøstyrelsens undersøgelsesbevilling.

Det skal bemærkes, at en sådan offentliggørelse ikke nødvendigvis betyder, at det pågældende indlæg giver udtryk for Miljøstyrelsens synspunkter.

Offentliggørelsen betyder imidlertid, at Miljøstyrelsen finder, at indholdet udgør et væsentligt indlæg i debatten omkring den danske miljøpolitik.

Indhold

FORORD	7
SAMMENFATNING OG KONKLUSIONER	9
SUMMARY AND CONCLUSIONS	33
1 INTRODUKTION	47
1.1 FORMÅL	47
1.1.1 Projektets målgrupper	48
1.2 PROJEKTETS BAGGRUND I DEN NATIONALE OG INTERNATIONALE DISKUSSION OM BÆREDYGTIG UDVIKLING	49
1.3 MENNESKELIGE SAMFUND SOM NATURFÆNOMENER	52
1.4 FORSKELLIGE TILGANGE TIL AT OPGØRE "ØKONOMIENS FYSISKE STØRRELSE"	53
1.5 MENNESKELIGE SAMFUNDS NATURMÆSSIGE STØRRELSE: SKALAPROBLEMET	53
1.6 MILJØ OG FORDELING	54
1.7 POLITIK OG DATA: OM UDVIKLING OG ANVENDELSE AF INDIKATORER	54
2 KLASSIFICERING OG MÅLING AF FYSISKE STRØMME	58
2.1 KLASSIFICERING AF NATURRESSOURCER	59
2.2 DETALJERET GENNEMGANG AF RESSOURCER	62
2.3 KLASSIFIKATION AF VARER	67
2.4 KLASSIFIKATION AF AFFALD OG EMISSIONER	68
2.5 DETALJERET GENNEMGANG AF AFFALD OG EMISSIONER	70
2.5.1 Emissionernes dannelse	70
2.5.2 Opdeling af emissioner	70
2.5.3 Emissioner fra fossile brændstoffer	70
2.5.4 Emissioner fra radioaktive stoffer	71
2.5.5 Emissioner fra kemiske produkter	71
2.5.6 Emissioner fra metalliske mineraler	72
2.5.7 Emissioner fra ikke-metalliske mineraler	72
2.5.8 Emissioner fra tømmer	73
2.5.9 Emissioner fra afgrøder og husdyr	73
2.5.10 Emissioner fra udnyttelse af fisk	74
2.5.11 Fast affald	74
2.6 MATERIALER OG STOFFER	75
3 MILJØ- OG SUNDHEDSEFFEKTER	78
3.1 BÆREDYGTIG UDVIKLING	78
3.2 RISIKOVURDERING	79
3.3 AFGRÆNSNING AF VÆSENTLIGE MATERIALESTRØMME	81
3.3.1 Fossile brændstoffer	82
3.3.2 Tungmetaller	85
3.3.3 Farlige kemiske stoffer	86
3.3.4 Kvælstofforbindelser	86
3.3.5 Ødelæggelse af økosystemer og reduktion af biodiversiteten	87

4	ANALYSENIVEAUER OG MODELTYPER	89
4.1	GENSTANDSFELT OG ANALYSEMETODER	89
4.2	MASSE, ENERGI OG ENTROPI	89
4.3	BEHOLDNINGER OG STRØMME	90
4.4	DIMENSIONER	91
4.5	MODELPYRAMIDE	92
4.6	ANALYSENIVEAU OG FORMÅL	95
4.7	SYSTEMAFGRÆNSNINGER	97
5	DETALJEREDE MODELLER	102
5.1	OPDELING AF ØKONOMIEN	102
5.2	SEKTORMODEL	102
5.3	FYSISKE INPUT-OUTPUT TABELLER	107
5.4	RESSOURCEREGNSKABER OG EMISSIONSREGNSKABER	110
6	MFA	113
6.1	BEGREBER OG INDIKATORER	113
6.2	FORTOLKNING OG SAMMENLIGNING AF MFA-INDIKATORER	116
6.3	ANALYSE OG FORTOLKNING AF MATERIALESTRØMSOPGØRELSE: BEHOV OG PROBLEMER	118
6.4	INTERNATIONALE ANALYSER OG FORTOLKNINGER AF MATERIALESTRØMSOPGØRELSE	120
6.4.1	<i>Eksempel 1: Total Material Requirement of the European Union (EEA/Wuppertal Institutet)</i>	120
6.4.2	<i>Årsager til forskelle i TMR skal søges i et kompleks af faktorer</i>	121
6.4.3	<i>Eksempel 2: The Material Basis of Industrial Economies (World Resources Institute)</i>	123
6.4.4	<i>Opdeling af TMR på materialekategorier som led i sammenlignende analyse</i>	123
7	RESSOURCEEFFEKTIVITET, AFKOBLING OG LEVETIDER	125
7.1	GENERELT OM RESSOURCEEFFEKTIVITET	125
7.2	SEKTORMODELLEN	126
7.3	OVERORDNEDE MFA- OG NATIONALREGNSKABSBASEREDE EFFEKTIVITETSMÅL	132
7.4	AFKOBLINGSMÅL PÅ BASIS AF MFA	138
7.5	OECD-INDIKATORER FOR AFKOBLING AF ØKONOMISK UDVIKLING OG MILJØBELASTNING OG RESSOURCEFORBRUG	139
7.6	LEVETID	143
7.7	VEJEN TIL BÆREDYGTIG UDVIKLING	145
7.8	EKSEMPLER PÅ BEREGNING AF RESSOURCEEFFEKTIVITET UD FRA SEKTORMODELLEN	148
8	OVERORDNET FORSLAG TIL INDIKATORSYSTEM	151
8.1	OVERSIGT	151
8.2	MÅL OG KRAV TIL INDIKATORER	151
8.3	INDIKATORPYRAMIDEN	152
8.4	GENERELT INDIKATORSYSTEM	153
8.5	FORSLAG TIL OVERORDNET INDIKATORSYSTEM	154
8.6	BEREGNING AF INDIKATORER	161
8.7	ANBEFALET TRINVIS BEREGNING AF INDIKATORERNE, TABEL 8.2	163

9	FORSLAG TIL ET DANSK MFA-BASERET REGNSKABSSYSTEM MED TILKNYTTTEDE INDIKATORER	164
9.1	PRÆSENTATIONSNIVEAU	165
9.1.1	Hele økonomien	165
9.1.2	Brancher og endelig anvendelse	171
9.2	DETALJERET MFA-REGNSKAB – DATAGRUNDLAG	172
9.3	VIDEREUDVIKLING AF MFA-DATAGRUNDLAG VED BRUG AF MILJØPROJEKT NR. 281	174
9.3.1	Muligheder og begrænsninger for anvendelse af Miljøprojekt nr. 281 i MFA-sammenhæng	175
9.4	FORSLAG TIL HVORLEDES MILJØPROJEKT NR. 281 KAN BIDRAGE TIL FORBEDRING OG VIDEREUDVIKLING AF DATAGRUNDLAGET FOR MFA-INDIKATORER	177
9.4.1	International database over materialesammensætning af færdigvarer	177
9.4.2	Forbedret datagrundlag for indirekte brugte strømme knyttet til import/eksport	178
10	ANALYSER PÅ BAGGRUND AF MFA-DATA	180
10.1	EKSEMPEL: HVILKEN BETYDNING HAR TENDENSER I DEN OVERORDNEDE SAMFUNDSUDVIKLING FOR MATERIALESTRØMME, BÆREDYGTIGHED OG DEMATERIALISERING?	180
10.1.1	Bevæger vi os mod en dematerialisering af økonomien?	181
10.1.2	Hvilken betydning har den øgede brug af informationsteknologi?	182
10.2	EKSEMPEL: MATERIALEINTENSITETER KNYTTET TIL DET PRIVATE FORBRUG	185
10.2.1	Materialeintensiteter knyttet til dansk privat konsum (resultater og problemer)	186
10.2.2	Fokus på "forårsagende forbrugsfelter"	188
10.2.3	Dekomponering af data for forbrugsrelaterede materialestrømme	188
11	LIVSCYKLUSBASEREDE MATERIALESTRØMSINDIKATORER PÅ PRODUKTGRUPPENIVEAU	189
11.1	PRODUKTRELATEREDE MATERIALESTRØMME I ET LIVSCYKLUSPERSPEKTIV	189
11.2	VIDEREUDVIKLING AF DATABASEN KNYTTET TIL MILJØPROJEKT NR. 281	190
11.2.1	Udbygning af database med oplysninger om ubrugte materialestrømme	191
11.2.2	"Datahul" for opgørelsen af materialeforbrug over produkters livscyklus	191
11.3	HVAD VISER LMI?	193
11.4	HVORDAN BEREGNES LMI?	195
11.5	HVAD KAN LMI BRUGES TIL?	197
11.6	HVILKE BEGRÆNSNINGER ER KNYTTET TIL LMI?	199
11.7	VEDLIGEHOJDELSE AF BAGGRUNDSDATA FOR LMI	199
11.7.1	Data for industriprodukters materialesammensætning og energiforbrug	199
11.7.2	Løbende opdatering af opdeling af industriprodukter i varegrupper	200
11.7.3	Opdatering af nøgletal for materialeforbruget	201

12	REFERENCER	203
	BILAG A DETALJERET BRANCHEOPDELING AF DMI	211
	BILAG B MILJØPROJEKT NR. 281 – METODE, DATA OG RESULTATER	215
	BILAG C WORKSHOP ON MATERIAL FLOWS, USE OF RESOURCES AND INDICATORS	225
	BILAG D SAMMENDRAG AF WORKSHOP OM MATERIALESTRØMME MV. (31. OKTOBER 2002)	245

Forord

Denne rapport er resultatet af projektet ***Udvikling af indikatorsystem for materialestrømme, ressourceforbrug og -effektivitet samt affaldsstrømme***. Projektet er gennemført i perioden januar 2002 – marts 2003 finansieret af Programmet for Renere Produkter m.v.

Projektet er gennemført af en projektgruppe bestående af:

Karsten Krogh Andersen, DISU (Danish Institute for Sustainable Development (tidligere fra DHI – Institut for Vand og Miljø)

Toke Haunstrup Christensen, Institut for Produktion og Ledelse, DTU

Michael Søgaard Jørgensen, Institut for Produktion og Ledelse, DTU

Ole Gravgård Pedersen, Danmarks Statistik

Inge Røpke, Institut for Produktion og Ledelse, DTU

Projektet blev fulgt af en følgegruppe bestående af:

Lone Lykke Nielsen, Miljøstyrelsen (formand)

Lone Kielberg, Miljøstyrelsen

Ole Dall, COWI

Jacob Juul og Lars Mortensen, Det Europæiske Temacenter for Affald og Materialestrømme (i 2003 erstattet af Jens Brodersen)

Birgit Kjølby, Ministeriet for Videnskab, Teknologi og Udvikling

Kirsten Pommer, Teknologisk Institut

Som led i projektet er afholdt to workshops med deltagelse af danske og udenlandske ressourcepersoner, inklusiv følgegruppen. Projektgruppen vil gerne takke oplægsholdere og deltagere i de to workshops for deres bidrag til projektet.

Rapporten er redigeret af sekretær Else Sjøsten, DHI - Institut for Vand og Miljø.

Sammenfatning og konklusioner

Vedr. kapitel 1 Introduktion

Projektets omdrejningspunkt er ressourceforbrugets betydning for at opnå en mere bæredygtig udvikling. Naturressourcer er uundværlige som grundlag for økonomisk aktivitet og menneskers velfærd. For at opnå en bæredygtig udvikling er det vigtigt, at naturressourcer bruges med omtanke dels for at sikre, at fremtidige generationer også kan bruge naturressourcer, dels for at sikre at der er styr på, i hvilket omfang og på hvilken måde naturressourcerne ender som affald og andre potentielle miljøbelastninger.

Formålet med dette projekt er at undersøge, hvordan der kan opstilles indikatorer for:

- Danmarks forbrug af naturressourcer (både det direkte og det indirekte forbrug og både ressourcer der indgår i økonomien som såkaldte "brugte" ressourcer, og ressourcer der ikke indgår i økonomien i form af såkaldte ubrugte ressourcer" (i form af jord der flyttes ved mineraludvinding m.m.)), inkl. ressourceforbruget, der følger af import af råstoffer, halvfabrikata og produkter. Det vurderes, hvilke ressourcer det vil være relevant at følge, og hvorledes ressourceforbruget kan opdeles på enkelte ressourcer og på brancher og endelig anvendelse fordelt på sektorer
- Udviklingen i ressourceeffektivitet, og på hvilke områder/niveauer det vil være relevant at opgøre ressourceeffektivitet. Kan nationale indikatorer for ressourceeffektivitet fx opstilles for de forskellige industribrancher? Er det nødvendige datagrundlag til stede, eller hvordan kan det skaffes?
- Den direkte affaldsproduktion og materialestrømme knyttet hertil i Danmark såvel som i udlandet

Som led i ovenstående undersøgelser foretages nogle overordnede vurderinger af de økonomiske ressourcer, der er nødvendige for at udvikle, vedligeholde, opdatere og analysere de nævnte indikatorer.

Når fokus i projektet ikke kun er på ressourceeffektivitet, men også på forbrugets absolutte størrelse, skal det ses som en forståelse af, at en mere bæredygtig udvikling kun kan opnås gennem en effektivisering af ressourceforbruget, som samtidig indebærer en absolut reduktion af forbruget af en række ikke-fornyelige ressourcer og en række ressourcer, som indebærer miljøbelastning.

Projektets fokus på, hvilke ressourcer det vil være relevant at udarbejde indikatorer for, skyldes et ønske om ikke kun at opgøre et samlet forbrug af ressourcer, men også at fokusere på forskellige typer ressourcer med forskellige miljø- og ressourcemæssige problemstillinger. Fokus på brancher og sektorer har til formål at udarbejde et grundlag for at kunne anvende opgørelser af ressourceforbruget miljøpolitisk.

Spørgsmålet om det danske ressourceforbrug kan ikke betragtes som en isoleret dansk problemstilling. Med en stigende verdensbefolkning, et stadig øget forbrug i den rige verden (herunder Danmark) og et ønske fra den fattige del af verden om øget velfærd, er trækket på ressourcer og den medfølgende belastning af miljøet stigende i globalt perspektiv. Dette sættes yderligere i relief af, at kampen om kontrollen med ressourcer historisk har ført til internationale konflikter og krige.

Projektet blev igangsat i 2002 og havde bl.a. baggrund i et ønske i Miljøstyrelsen om at tilvejebringe et grundlag for indikatorudvikling og dataindsamling i forbindelse med den danske nationale strategi for bæredygtig udvikling.

Af relevans for dette projekts fokus på ressourcestrømme er følgende mål blandt de centrale:

- På lang sigt at begrænse forbruget af ressourcer til ca. 25% af det nuværende forbrug. (På lang sigt synes at betyde "inden for en generations tid")
- I 2020 skal ingen produkter eller varer på markedet indeholde kemikalier med særligt problematiske sundheds- eller miljøeffekter
- Et indikativt pejlemærke på en halvering af CO₂-udslippet i Danmark inden for en generation kan blive resultatet af fortsat skærpede reduktionsmål i de kommende budgetperioder

Der er efterhånden udviklet mange forskellige bud på, hvordan samfundet kan anskues i naturmæssige termer, og hvordan man kan "regne i natur". Materialestrømsanalyser, som dette projekt bl.a. har fokus på, er således ét blandt flere eksempler på bestræbelserne på at uddybe forståelsen af de naturmæssige sider af samfundsøkonomien. Menneskelige samfunds naturmæssige størrelse: skalaproblemet.

De forskellige analyser af samfundets naturmæssige aspekter sætter de naturmæssige begrænsninger for samfundets udvikling på dagsordenen på en ny måde. Det bliver mere indlysende, at den menneskelige "tue" ikke bare kan brede sig i det uendelige, når forskellige analyser kan anskueliggøre, hvor meget denne "tue" allerede fylder i biosfæren. Man kan sige, at økonomiens skala – dens størrelse i forhold til biosfæren – kommer på dagsordenen.

Med introduktionen af bæredygtighedsbegrebet får analyser af den menneskelige økonomi som naturfænomen yderligere interesse. Begrebet lægger op til, at miljøproblemer ikke længere skal ses udelukkende som en lang række af specifikke problemer, men at der også kan anlægges et mere overordnet perspektiv på miljøet med henblik på at vurdere, om det går frem eller tilbage – altså om et samfund udvikler sig i mere eller mindre bæredygtig retning. Her kan bl.a. analyser af økonomiens fysiske størrelse bidrage.

Skalaproblemet og de naturmæssige grænser for økonomiens vækst gør det mere åbenbart, at der er fordelingsproblemer – både globalt og nationalt – i relation til beslaglæggelsen af naturen. Den energi, de materialer, det areal osv., som den ene lægger beslag på, er ikke tilgængeligt for den anden – når der er grænser for, hvor meget vi kan udtrække af naturen. Miljøproblematikken indebærer to former for ansvar: Både ansvaret for at

producere på en miljømæssig forsvarlig måde og ansvaret for at begrænse væksten i økonomiens skala. For de rige lande i den vestlige verden indebærer den sidste form for ansvar, at forbruget må begrænses for at skabe rum for et stigende forbrug i udviklingslandene. Et andet fordelingspolitisk aspekt er forskellene på rige personers og fattige personers ressourceforbrug – både i den vestlige verden og i udviklingslandene.

Ordet "indikator" kommer af latin, "indicator, indicare" og betyder "pege på", "angive" eller "vise indirekte". I dette projekt udvikles indikatorer, der skal gøre det muligt at vurdere, hvorvidt det danske ressourceforbrug udvikler sig i en mere bæredygtig retning. Der er en gensidig vekselvirkning mellem tilgængelighed af data og den politik, der føres: Er der ingen data, er det svært at føre politik på et område, og omvendt bliver der kun en efterspørgsel efter data, når der er et ønske om at føre politik på et område.

Den voksende interesse for at vurdere bl.a. nationale økonomiers bæredygtighed eller deres udvikling i retning af en mere eller mindre bæredygtig udvikling – fx som følge af kravet om udvikling af nationale strategier for bæredygtig udvikling til Verdens-topmødet i Johannesburg, september 2002 (Rio+10) – åbner enestående muligheder for at sætte bl.a. skalaproblemet og fordelingsproblemet på dagsordenen. Denne udvikling rummer imidlertid også en fare: Risikoen for, at diskussionen drukner i data uden grundige analyser af drivkræfterne bag ændringer (både positive og negative ændringer) i bl.a. ressourceforbrug og miljøbelastning. Samtidig indebærer den store internationale opmærksomhed om begrebet "bæredygtig udvikling" en risiko for, at alle lande vil fremstå som bæredygtige og dermed en risiko for, at der vil blive gjort meget for, at et land fremstår som bæredygtigt gennem valget af indikatorer og de tolkninger, der søges lagt ned over dataene.

Centralt i projektets indikatorudvikling har været en diskussion af det samlede nationale ressourceforbrug (inkl. og ekskl. ubrugte og indirekte strømme) som en indikator for et lands udvikling i retning af en mere bæredygtig udvikling. På den ene side kan opgørelser af det samlede ressourceforbrug som ét tal ses som en overskuelig indikator for samfundets træk på ressourcebeholdninger og samtidig for samfundets miljøbelastning, og på den anden side er der så store usikkerheder forbundet med disse overordnede opgørelser, at en så overordnet indikator vanskeligt synes at kunne stå alene.

Rapporten peger på, at der i de kommende år både er behov for en forstærket diskussion af ressourceforbrugets virkninger og årsager, af strategier for at nedbringe ressourceforbruget og af forskellige indikatorers mulighed for at bidrage til denne diskussion.

Vedr. kapitel 2

Klassificering og måling af fysiske strømme

De fysiske strømme (materiale- og energistrømme) klassificeres ud fra deres tre forskellige fremtrædelsesformer i samfundsøkonomien:

- Naturressourcer
- Varer
- Affald og emissioner

Naturressourcer:

Der skelnes mellem brugte og ubrugte ressourcer. Strømmen af ubrugte ressourcer inkluderer de naturressourcer, der påvirkes af den økonomiske aktivitet, men ikke inddrages i økonomien. Eksempler er overjord, der flyttes ved minedrift, eller planterester fra landbruget.

En grov opdeling af naturressourcestrømme kan fås ved at tage udgangspunkt i den klassifikation af miljøaktiver (beholdninger), der findes i det internationalt anvendte SESA system. Miljøaktiverne er her opdelt i tre grupper: **naturressourcer**, **land og overfladeareal** samt **økosystemer**.

Det er væsentligt at måle ressourcer pga. ressourcernes:

- Værdi: Økonomisk, etisk, sundhed, behov, uddannelse, forskning mv.
- Knaphed: Genskabelse af fornyelige ressourcer, opdagelse af nye ressourcer
- Behov for kontrol: Konflikter, fordeling af ressourcer og ressourceforbrug
- Ødelæggelse: Fragmentering, forurening, beskyttelse, følsomhed
- Påvirkning af miljø og sundhed under produktion, forbrug og returnering af ressourcer til naturen

Mængden af ressourcer, som mennesket på sigt kan udnytte (reserverne), defineres i denne rapport som:

1. Fornyelige ressourcer: Naturens genskabelse af nye ressourcer (tons/år)
2. Ikke-fornyelige ressourcer:
 - 2.1 Fossile brændstoffer: Mængden af fossile brændstoffer, som kan udvindes med dagens kendte teknologi til en pris mindre end tre gange middelpriisen de seneste 10 år.
 - 2.2 Sjældne metaller: Metaller i malme i den ydre jordskorpe, som kan udvindes med dagens kendte teknologi til en pris mindre end 3 gange middelpriisen de seneste 10 år. Den totale mængde metaller, som eksisterer i malmgange, er af geologer estimeret til 400-2.000 gange den årlige udvinding i dag. Malmene er af varierende lødighed, og kobber og tin er blandt de knappe metaller med den laveste reserve af malmgange med høj lødighed. Der findes meget større mængder af metaller "opløst" i granit og sedimenter uden for malmgangene.
 - 2.3 Lette metaller: For aluminium og jern er ressourcerne næsten uendelige, idet 8% af jordskorpen består af aluminium og 5% af jern.
 - 2.4 Ikke-metalliske mineraler: Mineraler indeholdt i formationer i den ydre jordskorpe. Fosfat er blandt de sjældne ikke-metalliske mineraler, idet den højeste lødighed findes i fosforit, hvor fosforen er akkumuleret fra døde dyr. Ressourcerne af andre ikke-metalliske mineraler er næsten uendelige såsom granitsten, sand og grus.

Varer:

Varer kan fx klassificeres efter den Kombinerede Nomenklatur (KN), som er EU's varenomenklatur. Denne nomenklatur anvendes af Danmarks Statistik i

forbindelse med såvel *Varestatistik for Industrien* som *Udenrigshandelsstatistikken*.

Affald og emissioner:

For den indenlandske økonomi finder vi på outputsiden – ud over eksporten af varer – affald og emissioner af forskellige stoffer. Når hele økonomien betragtes, og der anlægges et overordnet syn på de fysiske strømme fra økonomien til miljøet, er det nødvendigt med et bredt affalds- og emissionsbegreb. Der kan eventuelt her anvendes en klassifikation, som foreslået af Eurostat.

I Eurostat's klassifikation er fast affald vist som en enkelt kategori. I praksis kan der fx foretages en kategorisering af affaldsstrømmene efter de kategorier, der findes i affaldsstatistikken (ISAG). Man skal dog her være opmærksom på, hvor man lægger skillelinjen mellem økonomi og miljø. I visse sammenhænge (MFA) vil det således være relevant at opfatte strømme af affald til videre behandling – fx forbrænding – som strømme, der foregår *i* økonomien, hvorved de eneste strømme af fast affald **ud af** økonomien vedrører affald, der deponeres.

Emissionerne og miljøpåvirkningen beskrives kortfattet ud fra, hvilke råstoffer og processer de stammer fra:

- Fossile brændsler: Gasser (drivhus, forsurende og eutrofierende), partikler (små partikler, flyveaske, tungmetaller), restprodukter (slagge, flyveaske, tungmetaller)
- Radioaktive stoffer (stråling, radioaktivt støv)
- Kemiske produkter (farlige kemiske stoffer, farligt affald)
- Metalliske mineraler (metaller, tungmetaller, cyanid, arsen, mineaffald)
- Ikke-metalliske mineraler (overjord, fast affald)
- Tømmer (reduktion af biodiversitet, risiko for oversvømmelser og erosion)
- Afgrøder og husdyr (eutrofiering, pesticider, nitrat, drivhusgasser, reduktion af biodiversitet)
- Fast affald (dioxin, tungmetaller, farlige kemiske stoffer)

Vedr. kapitel 3 Miljø- og sundhedseffekter

Begrebet bæredygtig udvikling konkretiseres i kriterier for velfærd, sundhed, emissioner, ikke-fornyelige ressourcer og fornyelige ressourcer:

- Ethvert menneske skal have **tilfredsstillet sit grundlæggende behov** for føde, rent vand, bolig, tøj, uddannelse og sociale behov, og fattigdom er uacceptabelt
- Ethvert menneske har ret til et **sundt liv**, det vil sige har ret til at leve under hygiejnisk betryggende forhold, sund kost, sund bolig, adgang til behandling i et velfungerende sundhedsvæsen og ret til nødvendig medicin
- Det økologiske råderum (naturens bæreevne eller tålegrænse) for **emissioner** til naturen må ikke overskrides (Wuppertal 1995). Det økologiske råderum kan defineres som den udledning af emissioner til

naturen, naturen kan omsætte, og som ikke ændrer tilstanden i naturen i uacceptabel grad. Enhed: tons/år eller tons/person/år

- Udnyttelsen af **ikke-fornyelige ressourcer** skal være mindre end eller lig med tilvæksten i mængden af kendte ekstraherbare ikke-fornyelige ressourcer, som kan ekstraheres med dagens til rådighed værende teknik
- Udnyttelsen af **fornyelige ressourcer** skal være mindre end eller lig med naturens genskabelse af de fornyelige ressourcer

Ved hjælp af en risikovurdering og ved brug af begreberne "økologisk råderum" og "bæredygtig udvikling" er de ressource- og materialestrømme med den væsentligste påvirkning af miljø og sundhed i Danmark afgrænset til:

- fossile brændsler
- tungmetaller
- farlige kemikalier
- kvælstofforbindelser

Endvidere bestemmes arealanvendelsen som en god indikator for økosystemer og biodiversitet.

Afgrænsningen til disse ressourcer er sket ved hjælp af følgende argumenter:

Fossile brændsler:

(IEA 2002) ekstrapolerede verdens forbrug af fossile brændstoffer og fandt, at CO₂-emissionerne vil øges med omkring 70% i perioden 2000-2030. Stigende emissioner af CO₂ vil forårsage stigende koncentrationer af CO₂ i atmosfæren. Stigende koncentrationer af drivhusgasser i atmosfæren vil øge drivhuseffekten og skabe klimaændringer (IPCC 2001). Klimaændringer vil sandsynligvis skabe tørke, vandstandsstigninger, ekstremt vejr, oversvømmelser, sult, sygdomme, fattigdom, flygtninge og mange dødsfald (IPCC 2001).

Tungmetaller:

Tungmetaller, som spredes i naturen, kan opkoncentreres i fødekæden. Gennem denne bioakkumulation kan dyr og mennesker akkumulere høje koncentrationer af tungmetaller, hvilket kan fremkalde meget **alvorlige og dødelige sygdomme** i nervesystem, hjerne, blodbane, nyrer, hud og andre organer.

Farlige kemiske stoffer:

Der udvikles, fremstilles og anvendes stadig flere farlige kemiske stoffer, og myndighederne kan ikke følge med i vurderingen, klassificeringen og reguleringen af alle disse nye stoffer.

Der er i dag omkring 30.000 forskellige kemiske stoffer i omløb i Danmark og EU. Stofferne har vidt forskellig farlighed, og kun nogle få er vurderet af EU for farlighed.

De svært- eller ikke-nedbrydelige og bioakkumulerbare stoffer vil ophobes og opkoncentreres i fødekæden. Herved kan højerestående dyr og mennesker

komme til at indeholde en blandet cocktail af et væld af sundhedsskadelige stoffer. Farlige kemiske stoffer giver ***sygdomme som cancer, allergi, hormonforstyrrelser, nerve- og hjernesygdomme, nedsat reproduktionsevne, misdannede fostre mv.***

Kvælstofforbindelser:

Emissioner af kvælstofforbindelser forårsager:

- eutrofiering af fjorde, kystnære områder og havet
- nedsivning af nitrat til grundvandet
- eutrofiering af næringsfølsom terrestisk natur såsom heder og højmoser

De største og væsentligste kvælstofemissioner kommer fra landbruget. Således stammer nitratforureningen af grundvandet i langt overvejende grad fra landbruget, og omkring 80% af tilførslen af kvælstof til Danmarks fjorde og kystnære områder stammer fra dansk landbrug (Miljøstyrelsen 1999).

Ødelæggelse af økosystemer og reduktion af biodiversiteten:

Mennesket inddrager mere og mere naturareal til eget behov med en voldsom ødelæggelse af økosystemer og reduktion af biodiversiteten til følge.

I Danmark er de naturlige økosystemer og biodiversiteten blevet omfattende ødelagt og reduceret i to perioder i løbet af de sidste 2.000 år. I den første periode omdannedes urskoven til middelalderligt landbrug, og i den anden periode omdannedes middelalderlandbruget til industrielt landbrug med brug af pesticider og kunstgødning til afgrøder og masseproduktion af grise samt omdannelse af håndværk til energiintensiv industrisamfund baseret på fossile brændstoffer og motorisering af transportsystemerne. (Wilhelmudvalget 2001) konstaterede, at tilbagegangen i den danske natur er fortsat de sidste 20 år, og at kvaliteten af Danmarks natur og biologiske mangfoldighed i dag aldrig har været ringere.

Vedr. kapitel 4 Analyseniveauer og modeltyper

Da økonomien er en del af økologien og naturen, gælder naturlovene ikke blot for naturen, men også for økonomien. De væsentligste naturlove er i den her beskrevne sammenhæng:

- loven om massens bevarelse
- termodynamikkens 1. hovedsætning: loven om energiens bevarelse
- termodynamikkens 2. hovedsætning: loven om, at entropien stiger i et lukket system

Der skelnes mellem beholdninger og strømme både i naturen og i økonomien.

I naturen er beholdninger fx mængden af ferskvand, mængden af ædelt træ i regnskove eller mængden af oliereserver. En beholdning kan også være en energimængde, fx kemisk energi lagret i kulreserverne.

I økonomien er beholdningerne de akkumulerede mængder materialer eller energi. De ophobede mængder er i forhold til vægt primært

infrastruktur og bygninger, men også udvundne ressourcer, maskiner, halvfabrikata og produkter lagret eller under brug i økonomien. De ophobede energimængder er små og består primært af olie- og kullagre.

Materialestrømmene flyder fra naturens beholdninger som ressourcer ind i økonomien, gennem økonomiens beholdninger som varer og retur til naturen som emissioner.

Energistrømmene løber primært fra solindstrålingen ad forskellige veje til termisk varme og refleksion retur til universet.

Masse- og energistrømmene mellem økologien og økonomien beskrives i 3 dimensioner:

- materialer (grundstoffer, kemiske stoffer, blandinger)
- økonomien (hele økonomien, sektorer, brancher)
- materialestrømme (ressourcer, import, eksport, produkter, emissioner)

Hertil kommer naturligvis de 4 sædvanlige dimensioner for rum og tid.

Materiale- og energistrømme mellem økologien og økonomien samt inde i økonomien kan beskrives ved hjælp af modeller i forskellige niveauer.

Modelniveauerne kan beskrives ved hjælp af en modelpyramide med de simpleste modeller øverst i pyramiden og de mest komplicerede og detaljerede modeller nederst i pyramiden:

- Niveau 1: Grundmodel
- Niveau 2: Economy Wide MFA
- Niveau 3: Sektormodel
- Niveau 4: Hovedbranchemodel
- Niveau 5: 130 branchemodel

Vedr. kapitel 5 Detaljerede modeller

Der lægges 2 snit gennem økonomien for at kunne ansue produktionen og forbruget samt affalds- og spildevandsbehandlingen hver for sig. Dette er den her benævnte "sektormodel".

Herved kan vi kigge ind i økonomien og beskrive og få oplysninger om følgende væsentlige forhold:

- Det materielle privatforbrug
- Affalds- og spildevandsmængder
- Genanvendelsen af affald
- Emissionerne opdelt på produktion, forbrug samt affalds- og spildevandsbehandling
- De ophobede mængder i produktion, forbrug samt affalds- og spildevandsbehandling

Sektormodellen opstilles for Danmark for året 1990. Hver dansker brugte 1,8 tons materialer pr. år fra den danske produktion plus 0,4 tons importerede forbrugsvarer pr. person – i alt et forbrug på 2,2 tons pr. person pr. år. Til

fremskaffelse af dette forbrug håndteredes 32,3 tons danske råstoffer pr. person inkl. ubrugte ressourcer samt råstoffer i udlandet til fremstilling af importen. De udvundne ressourcer plus importen blev til emissioner på i alt 23,5 tons materialer pr. person, ophobede materialer (investeringer) på 11,4 tons pr. person og en eksport på 4,6 tons pr. person pr. år.

Det vises, at emissioner er størst i starten af økonomien, hvorefter de aftager hen gennem økonomien. Således er emissionerne fra de ubrugte ressourcer på 8,4 tons person pr. år (hvoraf 6,9 tons/person/år fra udvinding af sten, ler og grus) og fra produktionen på 12,5 tons pr. person pr. år, hvoraf de største tab er fra landbruget (gylle) samt fra forbrænding af fossile brændsler. Således var mængden til grøntfoder på 4,1 tons pr. person pr. år (omkring 80% vandindhold) og til foderkorn på 0,3 tons pr. person pr. år. Størstedelen af grøntfoderet og foderkornet blev til gylle.

I den anden ende af økonomien var emissionerne relativt små med 1,7 tons/person/år fra husholdningerne direkte til naturen og med 0,9 tons/person/år fra affalds- og spildevandsbehandling.

Sammenfattende findes, at:

- en relativt lille materialestrøm til forbrug pr. person igangsætter meget store materialestrømme især ved råstofekstraktion og produktion, men også gennem import og eksport
- Danmark som en lille åben økonomi har væsentlige materialestrømme pr. person knyttet til import og eksport, men dog stadig mest til hjemlig råstofekstraktion
- de største emissioner pr. person er ved ressourceekstraktion og produktionen
- kun omkring 20-25% af materialestrømmene til forbruget ender som affald og stoffer i spildevandet
- den gennemsnitlige recirkulationsgrad for de indsamlede affaldsstrømme (inkl. stoffer i spildevand) er ca. 50%
- emissionerne pr. person til naturen er meget store og ca. 15 gange større end materialestrømmene til forbrug pr. person
- emissionerne pr. person til naturen i alt er omkring 18 gange større end de indsamlede affaldsmængder fra husholdninger og erhverv. De indsamlede affaldsmængder er således kun toppen af isbjerget

Konkret kan regnskaber for materialestrømme opstilles som enten fysiske input-output tabeller eller som ressource- og emissionsregnskaber. De fysiske input-output tabeller er de mest omfattende og dækkende, idet de redegør for, hvorledes ressourcer og varer bringes ind i økonomien, hvordan de strømmer rundt i økonomien, og hvordan de til sidst forlader økonomien igen i form af eksportvarer, affald og emissioner. Fysiske input-output tabeller viser desuden, hvorledes der for de enkelte brancher og husholdninger er materialebalance, således at input og output balancerer, når der tages hensyn til akkumulationen i økonomien. Fordelen ved de fysiske input-output tabeller er, at de på en kompakt måde redegør for alle de fysiske strømme samtidigt med, at det sikres, at data er konsistente, og at de repræsenterer materialebalanceprincippet. Ulempen er, at fysiske input-output tabeller er ganske arbejdskrævende at opstille.

Ressource- og emissionsregnskaber kan betragtes som delmængder af fysiske input-output tabeller, idet der er tale om at beskrive økonomiens inputside hhv. outputside. Som eksempler på ressourceregnskaber kan nævnes fysiske regnskaber for energiforbrug og vandforbrug. Som eksempel på

emissionsregnskaber kan nævnes regnskaber for emissioner af forurenende stoffer til luft. Regnskaberne kan eksempelvis opstilles med en fordeling af ressourceinputtet eller emissionerne på de brancher, der modtager hhv. afgiver de fysiske mængder.

Vedr. kapitel 6

MFA

MFA er forkortelsen for Material Flow Accounts, dvs. regnskaber for materialestrømme. I denne rapport bruges MFA som betegnelse for økonomiens materialestrømme på det overordnede niveau. Der er tale om en beskrivelse af de samlede materialestrømme og om at se på økonomien som en helhed. En række indikatorer er udviklet i tilknytning til MFA. De mest kendte er DMI (Direct Material Input) og TMR (Total Material Requirement, totalt materialebehov), som belyser, hvor store materialemængder økonomien kræver. TMR er udtryk for den samlede mængde af materialer fra naturen, der – på globalt plan – påvirkes af den økonomiske aktivitet i landet. En række andre indikatorer kan imidlertid også opstilles således, at akkumulationen i økonomien og økonomiens outputside belyses. MFA-indikatorerne kan desuden danne baggrund for indikatorer, der viser noget om, hvordan det går med at afkoble væksten i de materielle strømme fra den økonomiske vækst, og hvorvidt det giver mening at tale om, at der foregår en dematerialisering.

MFA-indikatorerne er helt overordnede indikatorer, der ikke retter sig direkte mod at belyse miljøpåvirkninger. På baggrund af MFA-principperne kan der imidlertid opstilles delmål og delindikatorer for forskellige typer af ressourcer, således at en analyse af udviklingen i højere grad bliver mulig. Dette er også baggrunden for, at det foreslåede MFA-baserede indikatorsystem (kapitel 9) indeholder en opdeling af materialestrømmene på en række delindikatorer, som tilsammen giver de traditionelle MFA-indikatorer.

Et springende punkt i forhold til overvejelserne om at gennemføre detaljerede analyser og fortolkninger af resultater af MFA-opgørelser er, hvorvidt de nuværende usikkerheder og den delvis manglende metodekonsensus er for udtalt til, at der kan drages fornuftige konklusioner på baggrund af MFA-opgørelser. Hertil kommer naturligvis spørgsmålet om, hvad opgørelser i tons i det hele taget udtrykker i forhold til ressourceknaphed og miljøpåvirkninger. I relation til det første punkt kan det i en dansk sammenhæng konkluderes, at de direkte strømme kan opgøres med stor sikkerhed, mens de indirekte strømme kun kan bestemmes med meget stor usikkerhed. Hvad angår spørgsmålet om, hvorvidt MFA-indikatorerne er relevante i forbindelse med belysning af fx miljøpåvirkning, kan det konkluderes, at en opdeling af indikatorerne på vare- eller materialegrupper vil være et første skridt på vejen mod mere meningsfulde opgørelser.

Vedr. kapitel 7 Ressourceeffektivitet, afkobling og levetider

Ressourceeffektiviteten udtrykker, hvor godt de ressourcer, der bruges til at opfylde menneskets behov, udnyttes. Ressourceeffektiviteten kan da defineres som forholdet mellem tilfredsstillelsen af de menneskelige behov, og de ressourcer der bruges til at tilfredsstille disse behov.

Ressourceeffektiviteten kan defineres udelukkende ved hjælp af materialestrømme og kan beregnes for hele samfundet med og uden ubrugte strømme og for hver sektor af samfundet og hver branche. Ved at relatere materialestrømme til økonomisk omsætning, serviceenheder eller antallet af indbyggere kan andre udtryk for effektivitet og intensitet defineres.

Ressourceeffektiviteten kan defineres i forhold til sektormodellen. Der findes matematiske udtryk for ressourceeffektiviteten med og uden ubrugte ressourcer for hele samfundet. Ressourceeffektiviteten beregnes som produktstrømmen ind i husholdningerne inkl. importen af forbrugsvarer, divideret med summen af de hjemlige råstoffer og importen minus eksporten.

Endvidere opstilles udtryk for ressourceeffektiviteten for hver sektor i samfundet, det vil sige for råstofudvinding, produktion, forbrug og affalds- og spildevandsbehandling. Ressourceeffektiviteten beregnes som de direkte udnyttede fysiske strømme gennem sektoren divideret med det tilsvarende ressourceforbrug.

Der opstilles også udtryk for ressourceeffektivitet for forskellige delstrømme, som påvirker miljø og sundhed. Således opstilles på matrix-form energieffektiviteten, vandeffektiviteten og effektiviteten for brug af farlige kemikalier og tungmetaller.

Ressourceeffektiviteten udtrykker i DPSIR-modellen forholdet mellem produktstrømmen i "Driving Force"-kategorien og ressourcestrømmen i "Pressure"-kategorien.

Ressourceeffektiviteten kan blive større end "1", såfremt materialet genanvendes. Såfremt alle ressourcer genanvendes (eller levetiden er uendelig lang), og emissionerne er nul, vil ressourceeffektiviteten blive uendelig stor.

Ressourceeffektiviteten for totale materialestrømme i Danmark i 1990 ifølge sektormodellen beregnes til 0,07 uden ubrugte ressourcer og til 0,04 med ubrugte ressourcer. For at øge ressourceeffektiviteten og mindske emissionerne er det mest vigtigt at reducere brugen af energi og fossile brændsler og dernæst at reducere akkumuleringen af materialer ved bygge og anlæg.

For møbelbranchen i Danmark beregnes ressourceeffektiviteten til 0,4 for selve møbelbranchen og til 0,1 for hele livscyklus af møbler inkl. ubrugte materialestrømme under ressourceekstraktion. Energieffektiviteten er beregnet til 41 tons møbler/TJ for selve møbelbranchen, men til 140 tons møbler/TJ for hele livscyklus af møbler inkl. genvinding af energi ved affaldsforbrænding.

Med udgangspunkt i MFA kan forskellige effektivitetsmål opstilles. Det er dog nødvendigt at opdele materialestrømmene i MFA på typer af økonomisk

aktivitet for at opnå meningsfulde effektivitetsmål. Med udgangspunkt i terminologien fra nationalregnskabet foretages således en opdeling i de materialestrømme, der vedrører brancher på den ene side og de materialestrømme, der vedrører den såkaldte endelige anvendelse (i form af privat forbrug, offentligt forbrug, investeringer og eksport) på den anden side. På denne baggrund kan der defineres effektivitetsmål for produktionen hhv. den samlede økonomi. Alle målene er **tekniske mål** i den forstand, at de udtrykker outputs i tons i forhold til inputs i tons.

Effektivitetsmål for produktionen sætter branchernes produktion af varer til endelig anvendelse i forhold til relevante materialeinput til brancherne. Sidstnævnte kan være det indenlandske ressourceinput (mål 1) eller det samlede materialeinput inkl. importerede varer (mål 2). Endelig kan branchernes produktion af varer til endelig anvendelse sættes i forhold til den del af TMR (Total Material Requirement), der skyldes branchernes forbrug i produktionen (mål 3). Dette mål angiver for produktionen, hvor stor en andel af den samlede mængde primære ressourcer, der ender som produkter til endelig anvendelse. Målene har hver deres fortolkning og anvendelse. Men hvis man ønsker et samlet mål for, hvor effektivt den indenlandske produktion udnytter inputs af indenlandske ressourcer og importerede varer – når der også tages hensyn til de indirekte materialestrømme i ind- og udland – så er mål 3 at foretrække.

Effektivitetsmål for den samlede økonomi tager udgangspunkt i den samlede endelige anvendelse, dvs. endelig anvendelse af såvel indenlandsk producerede varer som importerede varer. Betragtningen er, at formålet med den økonomiske aktivitet i sidste ende er at tilfredsstille efterspørgslen i form af endelig anvendelse. Det er således denne, der er i fokus på outputsiden. Målene udtrykker på den baggrund, hvor effektivt der fremskaffes materialer til endelig anvendelse. Det mest simple mål (mål 4) for den samlede økonomis materialeeffektivitet fås ved at dividere den samlede mængde varer, der går til endelig anvendelse, med den samlede materialetilgang til økonomien, DMI (Direct Material Input). En økonomi, der har en relativ stor import af varer til endelig anvendelse, vil have en høj indenlandsk materialeeffektivitet svarende til, at der ikke indenlands dannes store mængder affald og emissioner i forbindelse med forsyningen af varer til endelig anvendelse. Erstattes DMI med TMR, fås et mål for økonomiens totale effektivitet med hensyn til naturressourcer på globalt plan (mål 5). Målet angiver, hvor stor en andel af de primære ressourcer inkl. ubrugte strømme (TMR), der ender som endelig anvendelse. En variant (mål 6) af dette mål fås ved at trække eksporten og dens indirekte strømme fra på passende vis i tæller og nævner. Hermed sættes fokus på den indenlandske endelige anvendelse.

Afkoblingsmål fås som en slags variant af effektivitetsmålene, men hvor effektivitetsmålene har en teknisk karakter (tons pr. tons), har afkoblingsmålene en økonomisk karakter (tons pr. krone). Afkoblingsmålene fokuserer på, hvordan en uønsket sideeffekt – materialeforbruget i tons – ved den økonomiske aktivitet udvikler sig i forhold til den økonomiske aktivitet fx målt ved BNP. MFA-indikatorer kan direkte bruges – og bliver ofte brugt sådan – som udgangspunkt for beregningen af afkoblingsmålene. Således er beregningen af TMR/BNP næsten standard i MFA-sammenhæng. Man skal være opmærksom på, at et fald i en afkoblingsindikator er udtryk for en **relativ** afkobling, og at dette ikke siger noget om de **absolutte** miljøpåvirkninger. En pragmatisk fortolkning af afkoblingsindikatorerne kan lægges til grund, hvis

tælleren og nævneren afspejler målsætninger indenfor miljøpolitikken hhv. den økonomiske politik. Man ønsker, at tælleren skal falde, og nævneren skal stige. OECD har i sin publikation *Indicators to Measure Decoupling of Environmental Pressure from Economic Growth* udviklet et sæt indikatorer, der sætter fokus på, hvorvidt der i en national økonomi eller dele heraf sker en afkobling af økonomisk udvikling fra udviklingen i miljøbelastning og ressourceforbrug. OECD slår til lyd for, at spørgsmålet om afkobling bedst vurderes ved at sammenholde udviklingen i såkaldte "Driving Forces" (økonomisk udvikling, befolkningudvikling m.m.) med udviklingen i en "Pressure"-indikator inden for ressourceforbrug, da ændringer hurtigere ses i "Pressure"-indikatorer end i "State"-indikatorer, der belyser selve miljøtilstanden eller i "Impact"-indikatorer, der belyser konsekvenser for sundheden af ændringer i miljøtilstanden.

OECD peger på, at vurderinger af afkobling ikke kan stå alene i en vurdering af, hvorvidt en udvikling er acceptabel. Afkoblingsindikatorer siger således noget om en ændring over tid, men siger ikke noget om det absolutte niveau af presset på miljøet – altså hvorvidt der er sket en absolut afkobling af vækst og belastning, således at belastningen på naturen er faldet. Ydermere siger de relative ændringer ikke noget om (og heller ikke de absolutte), hvorvidt presset på naturen skal reduceres, eller om det er i orden, at presset på den pågældende del af naturen stiger yderligere – herunder om der er en grænse, som det absolutte niveau kan vurderes op imod. Det kunne fx være et spørgsmål om, at forbruget af fornyelige ressourcer skal vurderes op imod disse ressourcers fornyelsesrate. Der peges ydermere på, at der bør udvikles mål for afstanden til realiseringen af eventuelle mål (såkaldte "distance-to-target" vurderinger).

OECD peger på vigtigheden af at udvikle intermediate indikatorer gennem en dekomponering af primære afkoblingsindikatorer med henblik på at kunne vurdere baggrunden for udviklingen i en afkoblingsindikator. Et eksempel på dekomponering af en indikator er en opdeling af indikatoren for udviklingen i emission af drivhusgasser i relation til GDP i indikatorer for:

- emissioner pr. forbrug af primær energienhed
- forbruget af primær energi pr. forbrug af energi i forbrugsleddet
- forbruget af energi i forbrugsleddet i forhold til den økonomiske omsætning

Levetiden for materialer i en sektor af samfundet defineres som mængden af materialer i sektoren divideret med den materialestrøm, som forlader sektoren. Der opstilles udtryk for levetiden af materialer dels i hele samfundet og dels i hver sektor af samfundet.

Ud fra kriterierne for bæredygtig udvikling, sektormodellen og definitionerne på ressourceeffektivitet og levetid findes nødvendige – men ikke tilstrækkelige – betingelser for bæredygtig udvikling, hvad angår fysiske strømme. Vejen til bæredygtig udvikling findes således at gå gennem detoxificering, øget ressourceeffektivitet, øget levetid af produkter, beskyttelse af naturlige ressourcer mod forurening, defragmentering og destruktion samt dematerialisering af velfærden og en mere lige fordeling af ressourceforbruget mellem mennesker.

Vedr. kapitel 8 Overordnet forslag til indikatorsystem

Ordet "indikator" kommer af latin, "indicator, indicare", og betyder "pege på", "angive" eller "vise indirekte". I nærværende sammenhæng skal indikatorerne angive, om samfundets materialestrømme over tid går i retning af bæredygtig udvikling.

En indikatorns værdi kan sammenlignes med det politisk fastsatte mål eller delmål for bæredygtig udvikling, og differencen mellem indikatorværdi og målet bestemmes.

Der skal stilles krav til indikatorerne vedrørende deres relevans, kvalitet, målemetode, validitet, usikkerhed (nøjagtighed), sammenlignelighed, forståelighed, datatilgængelighed og frekvens. Der tages udgangspunkt i FN's metodologi (UN 2001).

Det anbefales at strukturere et indikatorsystem som en indikatorpyramide. Øverst i pyramiden er få topindikatorer, mens der nederst i pyramiden er mange detaljerede indikatorer. Indikatorpyramiden består af følgende niveauer oppe fra og ned:

- Niveau A: Topindikatorer
- Niveau B: Nøgleindikatorer
- Niveau C: Hoved materialestrøms- og arealindikatorer
- Niveau D: Brancheindikatorer
- Niveau E: Detaljerede indikatorer

Indikatorpyramiden struktureres yderligere ved hjælp af et generelt indikatorsystem, som relateres til sektormodellen. Det formelle indikatorsystem er en matrix med følgende indikatorer:

- Massestrømme/effektivitet/levetid
- Tryk på økologisk råderum/intensitet af velfærd
- Ressourceintensitet/økonomisk dekobling
- Ressourceforbrug/emissioner/materiel velfærd pr. indbygger

Der foreslås således et indikatorsystem bestående af en indikatorpyramide struktureret ved hjælp af formelle indikatorer:

Tabel 8.2
Forslag til indikatorer i indikatorpyramiden.

A. Topindikatorer Antal: 4			B. Nøgleindikatorer Antal: 22			C. Hoved materialestrøms- og arealindikatorer Antal: 69		
Navn	Symbol	Enhed	Navn	Symbol	Enhed	Navn	Symbol	Enhed
Aggregeret materialeforbrug	MFA: TMR	t/per/år	DMI	r	t/år	GD1 - GI11 (se tabel 9.1)	r	t/år
			NAS	Δ	t/år		Δ	t/år
			DPO	w	t/år	GE, GA1-GA4 (se tabel 9.1)	w	t/år
			DMC	r	t/år		r	t/år
			TMR	r	t/år	TMR1, TMR2	r	t/år
			TMC	r	t/år		r	t/år
Brutto energiforbrug	TEC	PJ/per/år	Forbrug af fossile brændsler	r	t/per/år	Kul	r	t/per/år
						Olie	r	t/per/år
						Benzin, diesel	r	t/per/år
						Gas	r	t/per/år
			Emissioner fra fossile brændsler	w	t/per/år	Drivhusgasser (CO ₂ -ækvivalenter)	w	t/per/år
						Eutrofierende stoffer	w	t/per/år
						Forsurende stoffer	w	t/per/år
						Slagge og flyveaske	w	t/per/år
			Produktion af fornyelig energi	r	PJ/per/år	Sol	r	PJ/per/år
						Vind	r	PJ/per/år
						Vand	r	PJ/per/år
						Jordvarme	r	PJ/per/år
			Elproduktion	r	PJ/per/år	Biomasse	r	PJ/per/år
El fra fossile brændsler	r	PJ/per/år						
Elforbrug	r	PJ/per/år	El fra fornyelige kilder	r	PJ/per/år			
			Elforbrug husholdninger	p	PJ/per/år			
			Elforbrug produktion	r	PJ/per/år			
Areal af næsten upåvirket natur	A _i /A	%	Næsten upåvirket terrestisk natur	A/A	%	Skov	A/A	%
						Heder	A/A	%
						Moser og andet	A/A	%
			Lidt domineret land	A/A	%	Kultiveret skov	A/A	%
						Enge, moser, klitter og andet	A/A	%
						Økologisk landbrug	A/A	%
			Næsten upåvirkede søer, vandløb og kystzoner	A/A	%	Søer	A/A	%
						Vandløb	A/A	%
						Tidevandsområder	A/A	%
						Kystzoner	A/A	%
Forbrug af farlige materialestrømme	DFC	g/per/år	Forbrug af farlige kemikalier	r/N	g/per/år	Høj risiko farlige kemikalier	r	g/per/år
						Middel risiko farlige kemikalier	r	g/per/år
						Lav risiko farlige kemikalier	r	g/per/år
			Emissioner af farlige kemikalier	w/N	g/per/år	Sprøjtmidler	w	g/per/år
						I spildevand	w	g/per/år
						Til luft	w	g/per/år
						I affald til deponi og forbrænding	w	g/per/år
						Farligt kemikalieaffald	w	g/per/år
			Forbrug af tungmetaller	r/N	g/per/år	Høj risiko tungmetaller	r	g/per/år
						Middel risiko tungmetaller	r	g/per/år
						Lav risiko tungmetaller	r	g/per/år
			Emissioner af tungmetaller	w/N	g/per/år	Høj risiko tungmetaller	w	g/per/år
						Middel risiko tungmetaller	w	g/per/år
Lav risiko tungmetaller	w	g/per/år						
			Forbrug af radioaktive stoffer	r	g/per/år			
			Forbrug af risiko GMO	r	g/per/år			
			Vandforbrug	r/N	t/per/år	Husholdninger	r	t/per/år
						Erhverv	r	t/per/år
			Kvælstofforbrug	r	t/år	Forbrug i landbrug	r	t/år
						Forbrug i fossile brændsler	r	t/år
			Kvælstofemissioner	w	t/år	Fra landbrug	w	t/år
						Fra forbrænding	w	t/år
			Øvrige drivhusgasser (CO ₂ -ækvivalenter)	w	t/per/år	Fra landbrug	w	t/per/år
						Fra industri og husholdninger	w	t/per/år

Ud fra risikovurderingen er valgt følgende grupper af indikatorer med hver deres topindikator i tabel 8.2:

- Aggregeret materialeforbrug, MFA
- Brutto energiforbrug, TEC
- Areal af næsten upåvirket natur, A_n
- Forbrug af farlige materialestrømme, DFC
- Øvrige: Vand, kvælstof, øvrige drivhusgasser (uden topindikator)

Hver af disse grupper søges så vidt muligt beskrevet ved balancer/regnskaber for ressourcer og emissioner og søges opdelt (disintegreret) ned gennem indikatorpyramiden.

I toppen af indikatorsystemet er således indikatorer for aggregeret materielt forbrug, TMR, brutto primær energiforbrug, TEC, arealanvendelsen, A_n , og farlige materialestrømme, DFC. I bunden af pyramiden (niveau D og E) er der indikatorer for de specifikke materialestrømme i specifikke brancher.

Bevæger vi os oppe fra og ned gennem indikatorpyramiden fra niveau A til niveau C (fra venstre mod højre i tabel 8.2), gælder for hver af de 4 topindikatorers disaggregering ned gennem pyramiden:

- Aggregeret materialeforbrug udtrykt ved hoved MFA-indikatorer disintegreres ved deling, således at summen af materialestrømme i niveau C er lig med materialestrømmene i niveau B
- Total primær energiforbrug, TEC, opdeles i forbrug af fossil energi og produktion af fornyelig energi samt den del af energien, der går til elproduktion og elforbrug. I materialeregnskabet for de fossile brændsler opgøres de samlede emissioner fra fossile brændsler. (Disse bør være lig med forbruget af fossile brændsler). De fossile brændsler opdeles på typer af brændsler (kul, olie, benzin+diesel, gas). Emissionerne opdeles på typer af emissioner (drivhusgasser, eutrofierende gasser, forsurende stoffer slagge og flyveaske). Produktion af fornyelig energi opdeles på energityper (sol, vind, vand, jordvarme og biomasse). Elproduktionen opdeles på el fra fossile brændsler og el fra fornyelige kilder, og elforbruget opdeles på elforbrug i husholdninger og elforbrug i produktionen. Der gås frem efter lovene om massebevarelse og energibevarelse efter sektormodellen
- Areal af næsten upåvirket natur A_n/A opdeles i niveau B i næsten upåvirket terrestisk natur og næsten upåvirkede fjorde og kystzoner. Herudover er tilføjet arealet af lidt domineret land. Summen af arealer i niveau C er lig med summen af arealer i niveau B
- Forbrug af farlige materialestrømme, DFC, opdeles i forbrug og emissioner af farlige kemikalier og tungmetaller i niveau B og videre i høj, middel og lav risiko materialestrømme i niveau C. I niveau C er tilføjet forbrug af radioaktive stoffer og risiko-GMO. Der gås frem efter loven om massebevarelse efter sektormodellen
- Øvrige materialestrømme – vand, kvælstof og øvrige drivhusgasser – opdeles efter deres kilder ud fra samfundssektorer: Husholdninger, landbrug, industri og erhverv samt ud fra forbrændingsprocesser/ikke-forbrændingsprocesser. Der gås frem efter loven om massebevarelse efter sektormodellen

Indikatorerne i tabel 8.2 findes enten i forvejen eller kan i vid udstrækning beregnes ud fra eksisterende statistiske informationer. Der vil imidlertid blive tale om, at en stor del af indikatorerne skal beregnes ud fra data, som ligger spredt i forskellige statistikker, hos flere forskellige myndigheder, statistikkontorer og private organisationer.

Vedr. kapitel 9

Forslag til et dansk MFA-baseret regnskabssystem med tilknyttede indikatorer

I kapitel 9 opstilles et forslag til et dansk MFA-baseret regnskabssystem med tilknyttede indikatorer. Der skelnes mellem to niveauer: Et "præsentationsniveau" og et detaljeret regnskabs- og databaseniveau.

Præsentationsniveauet er det niveau, hvorpå hovedstørrelser fra det detaljerede regnskab sammenfattes, og hvorfra indikatorer kan udvælges med henblik på offentliggørelse og kommunikation til omverdenen. Præsentationsniveauet balancerer mellem ønsket om flere detaljer på den ene side og ønsket om overskuelighed på den anden side. Præsentationsniveauet opererer på inputsiden med en opdeling på ressourcer og varetyper, mens det på outputsiden er forholdsvis aggregeret.

På det detaljerede regnskabs- og databaseniveau bør det være muligt – i forbindelse med analyser af udviklingen i forskellige indikatorer – at dykke ned bag præsentationsniveauets aggregerede poster og indikatorer.

Der er et åbenlyst behov for, at et dansk MFA-baseret indikatorsystem indeholder indikatorer på et mere detaljeret niveau end de traditionelle MFA-systemer, men på en sådan måde, at forbindelsen til de overordnede indikatorer og mulighederne for international sammenlignelighed ikke mistes.

Et dansk MFA-baseret indikator- og regnskabssystem for materialestrømme bør derfor opbygges med udgangspunkt i den traditionelle informationspyramide, hvor de traditionelle MFA-indikatorer (DMI, DMC, TMR, TMC, DPO og NAS) ligger i toppen af informationspyramiden. Herunder bør der ligge en række indikatorer på et mere detaljeret niveau, dvs. med en opdeling efter hovedgrupper af materialer og varer og eventuelt med en brancheopdeling. Længst nede ligger regnskabssystemets grunddata. Data og indikatorer bør opbygges, således at der er indbyrdes konsistens og på en sådan måde, at det er gennemskueligt, hvilke tal og begreber der indgår i hvilke indikatorer. Regnskabssystemet bør så vidt muligt baseres på bogholderimæssige sammenhænge (materialebalancer) med mulighed for tjek af, om data er konsistente.

På indikatorsystemets overordnede præsentationsniveau opereres på økonomiens inputside med 6 og 11 grundindikatorer for hhv. dansk ressourceudvinding og importerede varer. Den danske ressourceudvinding er opdelt på forskellige typer ressourcer, herunder landbrugets høstudbytte, skovbrugets hugst, fiskeri, vand, olie og gas, sten, grus, ler mv. Importvarerne er opdelt i grupper som vegetabiliske produkter, animalske produkter, gødningsstoffer, kemikalier, maskiner og transportmidler mv.

Indikatorerne på inputsiden (DMI og TMR) tager udgangspunkt i den samlede økonomiske aktivitet, og der skelnes ikke mellem, hvilke dele af økonomien, der er ophav til materialestrømmene. I systemet medtages dog også de afledte indikatorer DMC og TMC, hvor eksporten er fraregnet.

De MFA-indikatorer, der indregner materialestrømme i udlandet, opfylder strengt taget ikke de basale krav, man må stille til statistiske oplysninger og officielle indikatorsystemer. TMR og TMC må derfor betragtes som resultater af en slags modelberegninger og som nogle meget grove overslag over, i hvilken grad der flyttes materialer i udlandet. På grund af den store interesse for TMR og TMC og deres pædagogiske kvaliteter er de medtaget i det foreslåede indikatorsystem, men en offentliggørelse af sådanne indikatorer må ledsages af et par advarende ord om, at opgørelserne er forbundet med betydelig usikkerhed.

Økonomiens *outputside* foreslås præsenteret ved hjælp af fem grundindikatorer (eksport, fast affald, luftemissioner, spildevand og andet). Årsagen til det beskedne antal indikatorer er til dels, at der på en lang række områder ikke er noget datagrundlag til rådighed, og i de tilfælde, hvor der er data til rådighed, findes der i forvejen ganske udbyggede informationssystemer. Det gælder fx for luftemissioner og fast affald. Formålet med at inddrage outputsiden på dette overordnede plan er derfor først og fremmest eksplicit at vise, at der er en sammenhæng mellem det, der strømmer ind i økonomien og det, der strømmer ud af økonomien. I den forbindelse fungerer regnskabet i øvrigt som et redskab til kontrol af, hvorvidt der er sammenhæng mellem de forskellige materialestrøms- og akkumuleringsdata, der eksisterer. I øvrigt kan den samlede indikator for eksporten uden problemer underopdeles på varegrupper på samme måde som importen, såfremt det i visse tilfælde er hensigtsmæssigt. Ud fra grundindikatorerne for affald, emissioner, spildevand og andet kan MFA-indikatoren DPO (Domestic Processed Output) i øvrigt beregnes.

Ved opstilling af et sammenhængende materialeregnskab er det nødvendigt at medtage *akkumuleringen* i økonomien. Ud over at akkumuleringen har betydning for at kunne balancere input og output, kan det have selvstændig interesse at se på, hvor store mængder materialer, der ophobes i økonomien. Det indikerer, hvilke mængder det vil være nødvendigt enten at genbruge eller at behandle som affald på et senere tidspunkt. De enkelte akkumulationsposter specificeres så detaljeret som muligt i det detaljerede materialestrømsregnskab, men som egentlig indikator på præsentationsniveauet medtages kun MFA-indikatoren for nettoakkumulering, NAS (Net Addition to Stock).

I tilknytning til det overordnede indikatorsystem, der er skitseret oven for, kan der suppleres med informationer om de materialestrømme, der er knyttet til enkelte dele af økonomien herunder til de enkelte brancher og kategorier af endelig anvendelse (forbrug, eksport mv.). Materialestrømmene vil i princippet for hver branche og anvendelseskategori kunne opdeles på de samme hovedgrupper som det overordnede MFA-regnskab.

Det første trin vil være at belyse de enkelte branchers materiale *input*. Mere fuldstændige regnskaber for branchernes materialestrømme – altså inkl. akkumulering og output – er også mulige, dog kun med en ganske betydelig arbejdsindsats.

Tilføjelsen af branchedimensionen indebærer, at der åbnes muligheder for, at materialestrømmene kan belyses via input-output modeller. Herved åbnes for at foretage egentlige analyser af sammenhængen mellem centrale økonomiske størrelser som privat konsum og eksport på den ene side og afledte materialestrømme på den anden side.

Et naturligt udgangspunkt for MFA-databasen og -regnskabssystemet er den type data og de kilder, der blev benyttet i forbindelse med den danske brancheopdelte MFA-opgørelse for 1997, jf. (Pedersen 2002). Såfremt der sættes på, at også indirekte strømme skal indgå, er det nødvendigt også at opbygge en systematik og et modul, der indeholder metoder og data for ressourceækvivalenter og ubrugte ressourcer. I første omgang vil det for de indirekte strømme være nødvendigt at benytte data fra Wuppertal Institutet, men der vil være muligheder for gradvist også at inddrage oplysninger fra danske og udenlandske livscyklusvurderinger.

Vedr. kapitel 10

Analyser på baggrund af MFA-data

Kapitlet diskuterer behovet for analyser af ændringer i materialestrømme og af årsagerne hertil og diskuterer gennem eksempler muligheder og begrænsninger for at anvende MFA-studier i sådanne analyser. En vigtig dimension i diskussionen af miljø, sundhed og bæredygtig udvikling er at tematisere, hvilken betydning aktuelle sociale og økonomiske udviklingstendenser har for den fremtidige udvikling mod eller bort fra øget bæredygtighed.

En gennemgang af MFA-studier af en række industrilande konkluderer, at hidtidige Economy-wide MFA-studier ikke viser nogen (begyndende) dematerialisering. Den postulerede sammenhæng mellem udviklingen mod et informations- og servicesamfund og en heraf følgende dematerialisering kan således ikke finde støtte i foreliggende studier. Flere af studierne viser dog en relativ afkobling mellem økonomisk vækst og TMR/DMI, hvilket antyder en stigende ressourceeffektivitet – som dog ikke hidtil har formået at udligne økonomiens vækstrate.

Med baggrund i den hastige udvikling i anskaffelsen og brugen af moderne kommunikationsteknologi diskuteres betydningen for udviklingen i økonomiens samlede ressource- og materialetræk. På den ene side er udviklingen generelt gået mod mindre apparater. Over for dette står nogle andre tendenser, som synes at trække i en modsat retning: Først og fremmest den kraftige stigning i anskaffelse og brug af apparater såsom computer og mobiltelefon. Dernæst den gradvise udtømmning af lettilgængelige metaller, som kan forudses at ville bevirke en betydelig stigning i størrelsen af skjulte materialestrømme knyttet til metaludvinding. Der knytter sig endvidere betragtelige energi- og ressourceforbrug til selve produktionen af mikroelektronik (fx computers mikroprocessorer og computere (og andet elektronisk udstyr)) kræver et løbende forbrug af elektricitet med relaterede materialestrømme.

For et land som Danmark – der ikke selv råder over naturligt forekommende metalressourcer – kan en stigning i anskaffelsen af elektroniske apparater betyde, at landets forbrug giver anledning til stigende miljø- og

sundhedsproblemer **andre steder** på kloden (i de ressourceudvindende lande). Dermed kan der ske en forskydning i retning af øget global ulighed.

Miljødebatten og -forskningen har gennem årene i vid udstrækning taget udgangspunkt i **produktionssiden** af økonomien og fokuseret på de afledede miljøeffekter af denne. Dette har samtidig bevirket en underbelysning af **forbrugssiden**. Den del af det danske TMR, som relaterer sig til produkter produceret i udlandet og importeret til Danmark, udgør mere end halvdelen (54%) af det samlede TMR for 1997. Der er således god grund til at sætte lys på det danske forbrug og dets virkninger på miljøet herhjemme **såvel som** i udlandet.

En mulig indfaldsvinkel til at begrebsliggøre og analysere betydningen af det private forbrug kan bestå i ved at opdele TMR på **forårsagende endelig anvendelse** og herefter bestemme materialeintensiteten for hver forbrugsgruppe som "TMR pr. krone".

En del af forklaringen på at bl.a. elektroniske apparater og køretøjer ved de nuværende opgørelsesmetoder ikke fremstår særlig materialeintensive, kan formodentligt søges i det forhold, at den metode der benyttes af Danmarks Statistik ved opgørelsen af TMR, **ikke** medtager indirekte strømme knyttet til importvarer (men alene ubrugte strømme) og dermed undervurdere det faktiske TMR.

Dertil kommer, at forbruget af energi **opgøres som en særskilt gruppe**. Dette betyder i praksis, at man ikke kan finde oplysninger om de samlede materialestrømme knyttet til fx brugen af en pc eller en bil. Det konkluderes, at hvis MFA-opgørelser skal kunne udgøre et mere brugbart input til diskussionen af forbruget af varer og tjenester, er det nødvendigt at nytænke den nuværende klassificering af TMR på forårsagende endelig anvendelse. Den nuværende opdeling på typer af endelig anvendelse (som tager udgangspunkt i en nationalregnskabsmæssig praksis) bryder radikalt med de fra hverdagslivet kendte sammenhænge mellem forbrug og adfærd. Det giver således ikke megen mening at udskille byggeriet af privat beboelse fra kategorien "boligen" og henføre denne til den generelle kategori "investeringer". Man må i højere grad forstå forbruget som struktureret af en række sammenhængende **forbrugsfelter** (fx transport, fødevarer og bolig), som hver især sammenfatter en række underordnede og afledede forbrug.

I det omfang der udvikles tidsserier for materialeintensiteter, kunne det være en mulighed at dekomponere materialestrømsdata, hvorved man vil få bedre indsigt i, hvilke kræfter der driver udviklingen i materialestrømmene knyttet til forskellige forbrugsfelter/forbrugsgrupper. Ved dekomponering forstås en opsplitning af – i denne sammenhæng – de totale materialeforbrug på forårsagende faktorer. På forbrugssiden peges på følgende tre faktorer som centrale determinanter for størrelsen af det endelige materialeforbrug:

- Forbrugets størrelse: Her tænkes først og fremmest på varer og tjenester til endelig anvendelse, som kan fordeles på privat og offentligt forbrug (opgøres i DKK)
- Forbrugets sammensætning (fordeling på produktgrupper og tjenester)
- Materialeintensiteten af varer og tjenester produceret til endelig anvendelse (opgøres som tons/DKK)

Vedr. kapitel 11

Livscyklusbaserede materialestrømsindikatorer på produktgruppeniveau

I dette kapitel beskrives et forslag til, hvordan data fra et tidligere projekt om miljøvurdering af industriprodukter (Miljøprojekt nr. 281) kan videreudvikles, således at det samlede materialeforbrug knyttet til danskernes forbrug af varer kan opgøres på produktgruppeniveau. Opgørelsen anlægger et livscyklusperspektiv, således at alle materialeforbrug over et produkts livsforløb i princippet opgøres og er beslægtet med den såkaldte MIPS-metode (MaterialeIntensitet Pr. Serviceenhed).

Databasen, som er udviklet i forbindelse med Miljøprojekt nr. 281, rummer detaljerede og righoldige informationer om danske industriprodukters materialesammensætning og energiforbrug, der kan danne grundlaget for detaljerede beregninger af materialeinput over livscyklus og opgjort på produktgruppeniveau for mere end 900 produktgrupper i form af ***livscyklusbaserede materialestrømsindikatorer på produktgruppeniveau, LMI.***

LMI, MIPS-metoden (og livscyklusperspektivet generelt) adskiller sig på flere punkter fra ***Economy-wide MFA*** (TMR, TMC, DMI o.lign.). Mens livscyklusbaserede materialestrømsopgørelser opgør materialeinputtet for ***enkeltprodukter***, tager Economy-wide MFA udgangspunkt i et makroperspektiv og opgør vægten af de ***totale materialestrømme***, som aktiviteterne inden for en given økonomi giver anledning til. Hertil kommer, at Economy-wide MFA fokuserer på en afgrænset tidsperiode (typisk de økonomiske aktiviteter indenfor ét år), mens livscyklusbaserede metoder fokuserer på ***hele*** livsforløbet af produktet (der kan variere fra uger til årtier). Der er således forskelle i niveau og tidsperspektiv.

Problemet med procesorienterede livscyklusopgørelser af det samlede ressourceforbrug for produkter er, at de undervurderer ressourceforbruget, fordi de ikke medtager ressourceforbrug knyttet til f.eks. infrastruktur, der skal muliggøre fremstilling og anvendelse af et produkt, men kun ser på de processer der medgår. Et alternativ er input-output baserede livscyklusopgørelser.

LMI kan opbygges ved at benytte data over materialesammensætningen af industriprodukter indeholdt i databasen knyttet til Miljøprojekt nr. 281 i kombination med Wuppertal Instituttets nøgletal for materialestrømme ved udvinding og produktion af materialer samt Danmarks Statistiks data for produktion og forsyning mv.

LMI vil være kendetegnet ved følgende:

- LMI opgøres på produktgruppeniveau (svarende til de 966 varegrupper, som Miljøprojekt nr. 281 opererer med)
- LMI kan opgøres både aggregeret og disaggregeret (dvs. opgjort som det totale materialeinput eller opgjort på materialekategorier)
- LMI baseres på en livscyklustilgang, hvor hver produktgruppe allokeres de materialestrømme, som direkte eller indirekte er relateret til produktion og brug af denne produkttype (inkl. udvinding og bearbejdning af materialer, videre forarbejdning af disse materialer til endeligt produkt, emballage, distribution af produktet samt forbruget af driftsmidler og reservedele over produktets levetid)

På baggrund af oplysninger fra **Danmarks Statistik** bestemmes (for et givet år) den danske omsætning for hver af de 966 varegrupper, som Miljøprojekt nr. 281 opererer med. Disse tal indgår ved beregningen af LMI, der derfor alene omfatter ressourceforbruget knyttet til de produkter, som er købt inden for dette år. Den samlede livscyklus for disse solgte/købte produkter medregnes i LMI. Dette bevirker, at der i LMI-indikatoren for år X kan medregnes materialestrømme, som ikke finder sted i år X – men som enten er historiske (knyttet til produktets tidligere livsfaser) eller fremtidige (knyttet til produktets kommende livsfaser). Dermed kan LMI også sige noget om "regningen til fremtiden" knyttet til produkter købt/solgt i år X.

Afhængigt af hvilke ønsker man kunne have til en indikator som LMI (og hvilke økonomiske ressourcer man konkret råder over), kan man tænke sig to modeller for udviklingen og brugen af LMI; en "udgiftslet" og en "udgiftstung". Afhængigt af hvilken af disse man vælger, vil man kunne opnå forskellige resultater, og LMI-beregningerne vil kunne anvendes på forskellig måde.

Den "udgiftslette" version kan bestå i, at man i udgangspunktet anvender data, som de foreligger i databasen knyttet til Miljøprojekt nr. 281 (eventuelt suppleret med opdatering af udvalgte varegrupper) – og dermed kun anvender aktuelle data for den danske produktion, import og eksport af industriprodukter indhentet fra Danmarks Statistik. Dette vil dog indebære, at beregningen af LMI baseres på en blanding af opdaterede data (oplysningerne fra Danmarks Statistik) og (delvist) forældede **tekniske data** (data for varegrupperes materialesammensætning og energiforbrug, jf. Miljøprojekt nr. 281).

Den "udgiftstunge" version kan bestå i periodevise opdateringer af de tekniske data (varegrupperes materialesammensætning og energiforbrug) – med opdatering fx hvert 5. eller 10. år.

Hvilke analyser og beslutninger LMI vil kunne danne grundlag for, vil være stærkt afhængigt af, hvilken af disse to versioner man vælger. I tilfælde af førstnævnte – hvor beregningerne baseres på statistiske data for varegruppernes materialesammensætning og energiforbrug – vil det naturligvis ikke være muligt over tid at følge effekterne af ændret teknologi for størrelsen af de materialestrømme, som er knyttet til det danske forbrug og/eller produktion af industriprodukter. Imidlertid vil beregningerne alligevel kunne give vigtige informationer, som kan supplere den eksisterende viden om industriprodukters ressourceforbrug og miljøbelastning. Det vigtigste bidrag i forhold hertil består i tilføjelsen af et materialestrømsperspektiv. Ingen af de tidligere, danske undersøgelser af ressourceforbrug knyttet til industriprodukters fremstilling og brug har tematiseret ressourceforbrug og miljøbelastning i et materialestrømsperspektiv. Dette betyder bl.a., at spørgsmålet om afledede effekter af ressourceudvindingen herhjemme og (især) i udlandet forbundet med fremstilling og brug af industriprodukter i dag er underbelyst.

En variant af den "udgiftslette" version kunne bestå i at gennemføre én samlet opdatering af databasen knyttet til Miljøprojekt nr. 281, med det formål at sikre aktuelle og pålidelige data for materialestrømme knyttet til danske industriprodukter. Dette kunne eventuelt gøres som en del af udviklingen af en international database over materialesammensætningen af færdigvarer.

Den "udgiftstunge" version muliggør – idet man løbende opdaterer de tekniske data – at følge effekterne af tekniske ændringer (og dermed ikke blot "detekterer" ændringer forårsaget af en ændret forbrugssammensætning). Dette gør det muligt at opstille tidsserier over materialestrømme knyttet til specifikke varegrupper eller til hovedgrupper af varegrupper, for herved at følge udviklingen i ressourceforbrug og -effektivitet.

Der beskrives fire typer LMI-miljøindikatorer, som kan etableres:

LMI_{x,y}: Livscyklusbaseret materialestrømsindikator på produktgruppeniveau – opgjort pr. år pr. varegruppe.

LMI_x: Summeres LMI_{x,y} over alle 966 varegrupper, fremkommer et samlet tal for materialestrømme (brugte som ubrugte) knyttet til produktion og forbrug af industriprodukter. LMI_x udgør en overordnet indikator for udviklingen i materialestrømme knyttet til danskernes forbrug af industriprodukter.

LMI_z: Summeres beregningen af LMI_{x,y} over materialetyper (og ikke over varegrupper), kan opnås en indikator over det samlede materialeforbrug knyttet til udvinding, forarbejdning og fremstilling af de materialetyper, der anvendes i industriprodukter.

LMI_{abiot}, LMI_{biot} og LMI_{vand}: *Wuppertal Instituttets* data for materialeinput ved udvinding og fremstilling af materialer gør det muligt at opgøre materialestrømme på et "mellem-aggregeret niveau" som strømme af abiotiske materialer, biotiske materialer samt vand. Disse indikatorer kan igen opgøres enten som nationalt aggregerede tal eller efter materialetype (fx jern) og/eller på produktgruppeniveau (for hver varegruppe).

Summary and conclusions

Chapter 1

Introduction

The focus of the project is the role of natural resources when striving for a more sustainable development. Natural resources are indispensable as the basis for economic activities and human welfare. To achieve sustainable development it is important that natural resources are used carefully to ensure that also future generations have access to natural resources and ensure control of to what extent and in what way natural resources end up as waste and other potential environmental effects.

The aim of the project has been to analyse how it is possible to develop indicators for

- Denmark's consumption of natural resources (the direct and the indirect consumption and also resources which are part of the economy as so-called "used" resources and resources which are not part of the economy as so-called "unused" resources (like soil that is moved as part of extraction of minerals). The resource consumption includes resources consumed in other countries for the extraction and manufacturing of natural resources, semi-manufactured articles and products imported to Denmark.
- The changes in resource efficiency, including considerations about at what levels and for what fields it is relevant measure resource efficiency.
- The direct waste generation in Denmark and material flows linked hereto in Denmark and in other countries.

As part of these analyses overall assessments are done of the economic resources needed for the development, maintenance, updating and analyses of these indicators.

The focus of the project is not only on resource efficiency, but also on the size of the resource consumption, because it is an assumption in the project that a more sustainable development cannot be achieved by only increasing the resource efficiency. It is also necessary to reduce the consumption of a number of non-renewable resources and a number of resources, which imply environmental effects.

It is necessary not only to assess the total resource consumption, but also focus on different types of resources connecting to different aspects of environmental impact and resource consumption. The focus on branches and sectors aims at developing a basis for using material flow accounts as an element in environmental policy.

The Danish resource consumption cannot be regarded as a Danish issue alone. An increasing world population, an increasingly growing consumption in the rich part of the World (including Denmark) and a wish for increased

welfare from the more poor part of the World imply that the global resource consumption and the linked environmental effects are increasing. This is thrown into relief by the fact that the fight about the control of resources historically has led to conflicts and wars.

The project started in 2002. The background of the project was, among others, a wish from the Danish Environmental Protection Agency for obtaining a basis for the development of indicators and data collection in relation to the Danish national strategy for sustainable development.

Of relevance in the Danish national strategy for sustainable development to the focus of this project on material flows are the following objectives:

- A long term reduction of the resource consumption to 25% of the present consumption. "Long term" seems to imply within a generation
- In 2020 no products on the market should contain very hazardous chemicals in relation to health or environment
- A 50% reduction of the CO₂ emissions in Denmark within a generation could be the result of the increasingly stronger demands for reduction of the emissions in the coming years

By now several ways of analysing the activities of a society in an environmental perspective have been developed. Material flow accounts, which this project focuses on, are one example of the efforts to develop the understanding of the environmental aspects of the economy.

The analyses of the environmental aspects of the economy put the natural limits to the societal development on the agenda in a new way. It is becoming more and more obvious that human activities cannot just increasingly grow, when different analyses show how the human activities already now have negative effects on the environment. One could say the scale of the economy is getting on the agenda.

When introducing the concept of "sustainable development" analyses of the effects of the economy on nature gets even more interest. The concept of sustainable development sets the scene for a more overall perspective on the environment, which enables assessments of whether the development is positive or negative. This perspective is different from a perspective where the environmental development is seen as a number of separate environmental problems.

The problem of scale and the natural limits to the economic growth make clear that there are problems of distribution, globally and nationally, with respect to the use of natural resources. The resources, e.g. energy or land, which one person uses, are not available for others, when there are limits to how much we can exploit nature. The environmental discourse implies two kinds of responsibility: the responsibility to produce in an environmentally responsible way and the responsibility to limit the growth of the economy. To the rich countries the latter kind of responsibility implies that the consumption has to be reduced in order to create space for an increasing consumption in the developing countries. Another distribution problem is the difference between the consumption of rich and of poor people in the Western part of the World as well as in the developing countries.

The word “indicator” comes from Latin “indicator, indicare”, which means “pointing at” or “show indirectly”. In this project indicators are developed, which should enable assessments of whether the Danish resource consumption is developing in a more or a less sustainable direction. There is a mutual interaction between the availability of data and the actual policy: If there are no data it is difficult to pursue a policy on a certain field and the other way round there is only demand for data within a certain field. if there is a policy.

The growing interest for the assessment of the sustainability of national economies or their development in a more or less sustainable direction opens unique possibilities for putting the problems of scale and distribution on the agenda. This growing interest is a result of the demand for national strategies for sustainable development for the World Summit in Johannesburg September 2002 (the Rio+10 Summit). The growing interest implies also the risk that the debate drowns in data without thorough analyses of the driving forces behind positive and negative changes in resource consumption and environmental impacts. At the same time, the growing international awareness around sustainable development implies that all countries want to be seen as sustainable, which implies a lot efforts to choose indicators and assess data in a way that actually makes a country look sustainable.

An important element in the development of indicators in the project has been discussions of the total resource consumption (including unused and indirect material flows) as an indicator of whether a country is developing in a more or less sustainable direction. On the one hand calculations of the total resource consumption as one number could be seen as a clear indicator of the resource consumption of a national economy and the related environmental impacts. On the other hand there are so much uncertainty connected to these calculations that such an overall indicator hardly can be the only indicator.

The report emphasises the future need for a stronger debate about the impacts of and driving forces behind resource consumption, about strategies for reduced resource consumption and about the ability of different indicators to contribute to this debate.

Chapter 2

Classification and measuring of physical flows

The physical flows (material-and energy flows) are classified according to their different appearance in the economy:

Natural resources
Commodities
Waste and emissions

Natural resources:

Natural resources can be used or unused resources. The flow of unused resources includes those resources, which are influenced by the economic activity, but which are not brought into the economy. Examples are topsoil, which are moved by mining, or remains of plants in agriculture.

A rough classification of resources can be done by using the classification of environmental assets in the international used SEEA system. The environmental assets are divided into 3 groups: natural resources, land and area and ecosystems.

It is important to measure resources because of:

- value: economical, ethic, health, needs, educational etc.
- scarcity: regeneration of renewable resources, discovery of new resources,
- control: conflicts, distribution of resources and resource use,
- devastation: fragmentation, pollution, protection, sensitiveness
- environment and health during production and consumption

The amount of resources available to man (the reserves) can be defined as:

1. for **renewable resources**: nature's regeneration of new resources (t/year)
2. for **non-renewable resources**:
 - 2.1 **Fossil fuels**: the fossil fuels, which can be exploited by today's available technology at a price less than 3 times the mean price of the last 10 years.
 - 2.2 **scarce metals**: the metals contained in ores in the outer earth crust, which can be exploited by today's available technology at a price 3 times less than the mean price of the last 10 years. The total amount of metals existing in the ores is estimated at 400-2000 times the yearly exploitation amount today. The ores are of varying grade and copper and tin are among the scarce metals with lowest reserves of high-grade ores. Much higher amounts of metals exist scattered in the minerals outside the ores.
 - 2.3 **light metals**: For aluminium and iron the resources are almost indefinite, since 8% of the earth crust consists of aluminium and 5% of iron.
 - 2.4 **Non-metallic minerals**: the non-metallic minerals contained in formations and ores in the outer earth crust. Phosphate is among the scarcest non-metallic mineral, since its highest grade is found as phosphorite, which is accumulated from dead animals. Resources of other non-metallic minerals are almost endless such as granite stone, sand and gravel.

Commodities:

Commodities can be classified according to the Combined Nomenclature (KN), which is the EU-Commodity Nomenclature. The Danish Statistical Bureau uses this nomenclature for the "Industry Commodity Statistic" and the "Foreign Trade Statistic".

Waste and emissions:

At the output side of the national economy you find - apart from the exports - the waste and emissions of different substances. Looking on the whole economy and looking on the physical flows from the economy into the environment, it is necessary to use a broad concept of waste and emissions. For example the classification proposed by Eurostat can be used.

The classification system of Eurostat shows solid waste as a single category. For practical purposes classification of wasteflows can be done according to the categories in the Danish Waste Statistic (ISAG). Doing this one has to consider where to place the borderline between economy and environment. In some contexts (MFA) it will be relevant to consider flows of waste for further treatment (for example for incineration) as flows, which take place inside the economy, by which the only solid wastes leaving the economy are solid waste, which are landfilled or deposited.

The emissions and the effects on the environment and health are described according to the resources and processes from which they origin:

- Fossil fuels: gasses (greenhouse, acidification, eutrofication) particles (small particles, flyash, heavy metals), solid remains (slag's, flyash, heavy metals)
- Radioactive substances (radiation, radioactive dust)
- Chemicals (dangerous chemical substances, dangerous waste)
- Metallic minerals (metals, heavy metals, cyanide, mining waste)
- Non-metallic minerals (topsoil, solid waste)
- Timber (reduction of biodiversity, risk of flooding and erosion)
- Crops and animals (eutrofication, pesticides, nitrate, greenhouse gasses, reduction of biodiversity)
- Solid waste (dioxin, heavy metals, dangerous chemical substances)

Chapter 3

Effects on environment and health

The concept of sustainable development is concretised into criteria's for welfare, health, and non-renewable resources and renewable resources:

- The **basic needs** for food, clean drinking water, housing, clothe, education and social relations shall be met for every human being, and poverty is unacceptable.
- Every human being has the right for a **healthy life**, which means hygienic safe surroundings, healthy food, healthy housing, and access to healthcare and medicine.
- The ecological space (carrying capacity) for **emissions** into nature must not be exceeded (Wuppertal 1995). The ecological space for emissions can be defined as the emissions, which nature can convert and which do not change the quality of nature to an unacceptable degree (Unity: tons/year or tons/person/year).
- The exploitation of **non-renewable resources** shall be less than or equal to new resources, which can be exploited by to day's available technology and prices.
- The exploitation of **renewable resources** shall be less than or equal to nature's regeneration of new resources.

By a risk assessment and by the concepts of "ecological space" and "sustainable development" the material flows, which have the most severe impact on environment and health in Denmark are delimited:

- Fossil fuels
- Heavy metals
- Dangerous chemical substances
- Nitrogen compounds

Further the area-use is found to be a good indicator for ecosystems and biodiversity.

Fossil fuels

IEA, (2002), extrapolated the world's use of fossil fuels and found that CO₂ emissions will increase by among 70% in the period 2000-2030. Increasing emissions of CO₂ will cause increasing concentrations of CO₂ in the atmosphere.

Increasing concentrations of greenhouse gasses in the atmosphere will increase the greenhouse effect and will change the climate (IPCC 2001). Climate changes will very likely cause drought, rising water levels, extreme weather, flooding, melting of the ice at the poles and the high mountains, diseases, poverty, migration and many deaths (IPCC 2001).

Heavy metals

Heavy metals dispersed into nature can be bio-accumulated in the food chain. By the process of bioaccumulation animals and humans can accumulate high concentration of heavy metals, which causes severe sickness in the nervous system, brain, blood, skin and other organs.

Dangerous Chemicals

Still more dangerous chemicals are developed, produced, used and dispersed into nature, and the authorities are not able to assess, classify and regulate all these new substances.

In Denmark and EU among 30.000 different chemicals are in use. The risk of all these chemicals are different and only a few are until now assessed for risk by the EU.

The slow biodegradable and bioaccumulating chemicals will be accumulated in the food chain. By this process mammals and humans accumulates a mixed cocktail of a lot of unhealthy substances. Dangerous chemicals can cause cancer, allergy, hormone disorder, nerve and brain sickness, reduced reproduction capacity, deformed babies etc.

Nitrogen-compounds

Emission of nitrogen-compounds causes:

- eutrofication of inlets, coastal zones and oceans
- percolating of nitrate into the groundwater
- eutrofication of sensitive terrestrial nature as meadows and moors

The main sources of nitrogen emission are agriculture activities. Thus most of the pollution of the groundwater by nitrogen comes from agriculture and

around 80% of the emissions of nitrogen into the Danish inlets and coastal waters come from Danish agriculture (DEPA 1999).

Degradation of ecosystems and reduction of biodiversity

Globally human beings confiscate more and more natural areas for his need, which causes tremendous destruction and reduction of the ecosystems and the biodiversity.

In Denmark natural ecosystems and biodiversity has been tremendous destructed and reduced in two tempi during the last 2.000 years. First transforming forest into medieval agriculture and second transforming medieval agriculture into industrialised agriculture with use of pesticides and fertilisers and transforming handcrafts into energy intensive industrial society based on fossil fuels. The Wilhjelm-Commitee (2001) found that the reduction of Danish nature has continued the last 20 years, and that the quality of Danish nature and the biological variety have never been poorer.

Chapter 4

Levels of analyses and types of models

Since the economy is a part of the ecology and the nature, the natural laws not only applies for the nature but also for the economy. The most relevant natural laws for this context are:

The law of mass conservation

The 1. Law of thermodynamic: the law of energy conservation

The 2. Law of thermodynamic: the law of increasing entropy in a closed system

In both nature and economy you have to distinguish between stocks and flows.

In nature the stocks for examples are the amount of fresh water, the amount of precious wood in the rainforests or the amount of oil-reserves. Stock can also consist of an amount of energy, for example chemical energy stored in the coal-reserves.

In the economy the stocks are the accumulated amounts of materiel and energy. The stocks of materials measured by weight consist mostly of infrastructure and buildings, but also of used resources, machinery, semi-manufactures and products in stocks or in use. The stocks of energy are small and consist mostly of stocks of oil and coal.

The materials flow from natures stocks of resources into the economy through the stocks of the economy in the form of commodities and back to nature as emissions.

The energy flows primarily from the sun-radiation through different paths into thermal heat and reflection back to the universe.

The flows of material and energy between the ecology and the economy are described in 3 dimensions:

- Materials (elements, chemical substances, mixtures)
- The economy (the whole economy, sectors, lines of businesses)
- Material flows (resources, import, export, products, emissions)

Additional are of course the 4 universal dimensions of space and time.

Models in different levels can describe the material and energy flows between the ecology and the economy and inside the economy.

The levels of models can be described by a model-pyramid in which the simplest models are in the top of the pyramid and the most complicated and detailed models are at the ground of the pyramid:

Level 1: Basic model

Level 2: Economy Wide MFA

Level 3: Sector-model

Level 4: Model of main lines of businesses

Level 5: Model of 130 lines of businesses

Chapter 5

Detailed models

The economy is divided by 2 cuts in order to divide the economy into production, consumption and waste-and wastewater treatment. This is the so-called "Sector-model".

Hereby we can look inside the economy and describe and get information about the following essential matters:

- The private consumption
- Waste and waste water treatment
- Recycling of waste
- Emissions disaggregated into their origin from production, consumption and waste-and wastewater treatment
- The accumulated materials in production, consumption and waste-and waste-water treatment

The Sector-model was loaded by data for Denmark 1990. Each Dane used 1,8 tons of materials per year produced in Denmark plus 0,4 tons/year-imported goods - total 2,2 tons/person/year. To procure this consumption 32 tons/person/year of resources were handled inclusive resources in the foreign countries to procure the import. The extracted resources plus the import were transformed into emissions of 23,5 tons /person/year, stocks (investments) of 11,4 tons/person/year and exports of 4,6 tons/person/year.

It is shown that the emissions are biggest in the beginning of the economy and decreasing through the economy. Thus the emissions from unused resources are 8,4 tons/person/year (6,9 tons/person/year from extraction of stone, clay and gravel) and 12,5 tons/person/year from production mostly from agriculture (liquid manure) and combustion of fossil fuels. The amount of green fodder was 4,1 tons/person/year (around 80% water content) and 0,3-

tons/person/year corn for fodder. The major part of the green fodder and corn fodder was transformed to liquid manure.

In the back end of the economy the emissions were relatively small. 1,7 tons/person/year from households direct to nature (mainly greenhouse gasses) and 0,9 tons/person/year from waste-and wastewater treatment (exclusive water itself).

In summary you find that:

- a relatively small material-flow for consumption implies big material-flows for resource-extraction and production (direct and trough import and export)
- Denmark, which is a small open economy, has major material-flows per person linked to import and export, but still are most material flows linked to domestic resource extraction.
- the major emissions per person are from resource extraction and production
- the mean degree of recirculation of waste is among 50%.
- total emissions are 15 times greater, than the material flow for consumption
- total emissions are 18 times greater than the collected waste and substances in wastewater. Thus the collected waste is only "the top of the mountain".

Chapter 7

Resource-efficiency, de-coupling and lifetime

Resource-efficiency expresses how well resources are used for meeting human needs. Resource-efficiency then can be defined as the relation between the meeting of the human needs and the resources used to meet those needs.

Resource-efficiency can be defined purely by material flows and can be calculated for the whole society with and without unused flows and for each sector of the society and for each line of business. Other expressions for efficiency and intensity can be defined by relating material flows to economic turnover, service-units or the number of inhabitants.

Resource-efficiency can be defined in relation to the sector-model. Mathematical expressions for resource-efficiency with and without unused flows are developed for the whole society. Resource-efficiency is calculated as the flow of products into the household's inclusive imports of consumption-products divided by the sum of domestic extracted resources plus the import minus the export.

Furthermore expressions for resource-efficiency is developed for each sector of the society, which means the sectors of resource-extraction, production, consumption and waste-and wastewater treatment. Resource-efficiency is calculated as the direct used physical flows through the sector divided by the corresponding use of resources.

Also expressions for resource-efficiency for different specific flows are lined up. Thus in a matrix-form expressions for energy-efficiency, water-efficiency and the efficiency for the use of dangerous chemicals and heavy metals are set up.

In the DPSIR-model resource-efficiency expresses the relation between the flow of products in the "driving force" category and the flow of resources in the "pressure" category.

Resource-efficiency can be greater than "1", if materials are recirculated back to production. If all resources are recirculated and reused, or lifetime is infinite long, or emissions are zero, resource-efficiency will be infinite great

The resource-efficiency for total material flows was calculated to 0,07 without unused flows and to 0,04 with unused flows for Denmark 1990. To increase resource efficiency and decrease emissions it is most important to reduce use of energy and fossil fuels and to reduce accumulation of materials for constructions.

For the furniture line of business in Denmark the resource-efficiency for materials were calculated to be 0,4 for the furniture line of business itself, but 0,1 for the whole life cycles of furniture including unused flows during resource-extraction. The energy-efficiency was calculated to be 41 tons furniture/TJ for the furniture line of business itself but 140 t furniture/ TJ for the whole life cycle of furniture including regaining of energy by waste incineration.

Chapter 8

Proposal for a superior indicator-system

The word "indicator" comes from Latin, "indicator, indicate", which means "point at" or "show indirectly". In this context the indicators shall show if the material-flows approximates sustainable development.

The value of the indicator can be compared to the political defined target of sustainable development and the distance to target can be calculated.

Demands must be claimed on the indicators for their relevance, quality, and methods of measurement, validity, uncertainty, precision, comparability, understandably, data accessibility and frequency. It is recommended to use the methodology proposed by the UN, (2001) modified for use at national level:

It is recommended to structure the indicator-system as an indicator-pyramid. In the top of the pyramid are few top-indicators, and at the bottom of the pyramid are many detailed indicators. The indicator-pyramid consist of the following levels from the top and downwards:

- Level A: Top-indicators
- Level B: Key-indicators
- Level C: Major flows-and area indicators
- Level D: Line of business indicators
- Level E: Detailed indicators

The indicator-pyramid is further structured by a formal indicator-system, which is related to the sector-model. The formal indicator-system is a matrix with the following types of indicators:

Physical flows/resource-efficiency/lifetime
Pressure on ecological space/ intensity of welfare
Resource-intensity/economic de-coupling
Resource-use/emissions/material welfare per inhabitant

Thus an indicator-system consisting of an indicator-pyramid structured by formal indicators is recommended:

A. Top indicators Number: 4			B. Key indicators Number: 22			C. Major flow- and area indicators Number: 69		
Name	Symbol	Unity	Name	Symbol	Unity	Name	Symbol	Unity
Aggregated material-consumption	MFA: TMR	t/per/year	DMI	r	t/year	GD1 - GI11	r	t/year
			NAS	Δ	t/year		Δ	t/year
			DPO	w	t/year	GE, GA1-GA4	w	t/year
			DMC	r	t/year		r	t/year
			TMR	r	t/year	TMR1, TMR2	r	t/year
			TMC	r	t/year		r	t/year
Total energy consumption	TEC	PJ/per/year	Use of fossil fuels	r	t/per/year PJ/per/year	Coal	r	t/per/year
						Oil	r	t/per/year
						Petrol	r	t/per/year
						Natural gas	r	t/per/year
			Emissions from fossil fuels	w	t/per/year	Greenhouse-gasses (CO ₂ -equivalents)	w	t/per/year
						Eutrofication substances	w	t/per/year
						Acidification substances	w	t/per/year
						Slag's and flyash	w	t/per/year
			Production of renewable energy	r	PJ/per/year	Sun	r	PJ/per/year
						Wind	r	PJ/per/year
						Water	r	PJ/per/year
						Geo-thermal heat	r	PJ/per/year
			Electricity production	r	PJ/per/year	Bio-mass	r	PJ/per/year
El from fossil fuels	r	PJ/per/year						
Electricity consumption	r	PJ/per/year	El from renewable resources	r	PJ/per/year			
			El-consumption households	p	PJ/per/year			
			El-consumption production	r	PJ/per/year			
Area of almost unaffected nature	A _i /A	%	Almost unaffected terrestrial nature	A/A	%	Forest	A/A	%
						Moor	A/A	%
						Bog and other	A/A	%
			Gentle dominated land	A/A	%	Cultivated forest	A/A	%
						Meadow, sand hills and other	A/A	%
						Ecological agriculture	A/A	%
			Almost unaffected lakes, streams, and coastal zones	A/A	%	Lakes	A/A	%
						Streams	A/A	%
						Tidal areas	A/A	%
						Coastal zones	A/A	%
Use of dangerous material flows	DFC	g/per/year	Use of dangerous chemicals	r/N	g/per/year	High risk dangerous chemicals	r	g/per/year
						Medium risk dangerous chemicals	r	g/per/year
						Low risk dangerous chemicals	r	g/per/year
			Emissions of dangerous chemicals	w/N	g/per/year	Pesticides	w	g/per/year
						In wastewater	w	g/per/year
						Into air	w	g/per/year
						Waste for landfilling and incineration	w	g/per/year
						Dangerous waste	w	g/per/year
			Use of heavy metals	r/N	g/per/year	High risk heavy metals	r	g/per/year
						Medium risk heavy metals	r	g/per/year
						Low risk heavy metals	r	g/per/year
			Emissions of heavy metals	w/N	g/per/year	High risk heavy metals	w	g/per/year
						Medium risk heavy metals	w	g/per/year
			Low risk heavy metals	w	g/per/year			
			Use of radioactive substances	r	g/per/year			
			Use of risk GMO	r	g/per/year			
			Water consumption	r/N	t/per/year	Households	r	t/per/year
			Use of nitrogen	r	t/year	Industrial	r	t/per/year
			Nitrogen emissions	w	t/year	Use in agriculture	r	t/year
						Use by fossil fuels	r	t/year
			Emission of other green-house-gasses	w	t/per/year	From agriculture	w	t/year
						From combustion	w	t/year
						From agriculture	w	t/per/year
			From households and industries	w	t/per/year			

By the risk assessment the following groups of indicators and their top-indicators are delimited in the table:

Aggregated material flows, MFA
Total energy consumption, TEC
Area of almost unaffected nature, A_n
Use of dangerous material flows, DFC
Other: Water, nitrogen, other greenhouse gasses

Each of these groups should as far as possible be described by balances/accounts for resources and emissions reflecting the laws of conservation. Each group is further disintegrated down through the indicator-pyramid.

In the top of the pyramid are indicators for total material requirement, TMR, total energy consumption, TEC, area of almost unaffected nature, A_n , and dangerous flow consumption, DFC. In the bottom of the pyramid (level D and E) are indicators for the specific material flows in specific lines of businesses.

Moving from the top to the bottom of the pyramid - from level A to level C (from the left to the right in the table) - the disaggregation of the top-indicators are:

Aggregated material-flows expressed by the head MFA-indicators are disintegrated by partition in such a way, that the sum of material flows in level C is equal to the sum of material flows in level B

Total energy consumption, TEC, is divided into consumption of fossil energy and production of renewable energy and the part of the energy, which is converted into production and consumption of electricity. In the material account for fossil fuels the total emissions from fossil fuels are calculated (These should be equal to the consumption of fossil fuels).

The fossil fuels are divided into the types of fossil fuels (coal, oil, petrol and natural gas). Emissions are divided into the types of emissions (greenhouse gasses, eutroficating gasses, acidification gasses, slag's and flyash).

Production of renewable energy is divided into electricity from fossil fuels and electricity from renewable sources. The electricity consumption is divided into consumption in households and in production. The natural laws of conservation and the sector-model are applied.

The relative area of almost unaffected nature, A_n/A , is divided in level B into almost unaffected terrestic nature and almost unaffected inlets and coastal areas. Furthermore the relative area of gentle dominated land is added. The sum of areas in level C is equal to the sum of areas in level B.

The consumption of dangerous material flows, DFC, is divided into consumption and emissions of dangerous chemicals and heavy metals in level B and further into high, medium and low risk material flows in level C. In level C the consumption of radioactive substances and risk-GMO are added. The flow of mass-conservation and the sector-model are applied.

Other material flows - water, nitrogen and other greenhouse gasses - are divided according to their sector of origin: households, agriculture, industry

and combustion/non-combustion processes. The laws of mass-conservation and the sector-model are applied.

The indicators in the table fall into 3 categories:

Indicators already accounted

Indicators, which can be accounted from existing statistic information

Indicators where statistics are non-existing or scattered

Some of the indicators must be calculated from data, which are scattered between different statistics at different authorities, statistic bureau's and private organisations.

1 Introduktion

1.1 Formål

Dette kapitel beskriver med udgangspunkt i projektets formål de overordnede problemstillinger, som danner baggrund for projektet, og som projektet ventes at kunne bidrage til. Projektets omdrejningspunkt er ressourceforbrugets betydning for at opnå en mere bæredygtig udvikling. Naturressourcer er uundværlige som grundlag for økonomisk aktivitet og menneskers velfærd. For at opnå en bæredygtig udvikling er det vigtigt, at naturressourcer bruges med omtanke dels for at sikre, at fremtidige generationer også kan bruge naturressourcer, dels for at sikre at der er styr på, i hvilket omfang og på hvilken måde naturressourcerne ender som affald og andre potentielle miljøbelastninger.

Formålet med dette projekt er at undersøge, hvordan der kan opstilles indikatorer for:

- Danmarks forbrug af naturressourcer (både det direkte og det indirekte forbrug og både ressourcer der indgår i økonomien som såkaldte "brugte" ressourcer, og ressourcer der ikke indgår i økonomien i form af såkaldte "ubrugte ressourcer" (i form af jord der flyttes ved mineraludvinding m.m.)), inkl. ressourceforbruget, der følger af import af råstoffer, halvfabrikata og produkter. Det vurderes, hvilke ressourcer det vil være relevant at følge, og hvorledes ressourceforbruget kan opdeles på enkelte ressourcer og på brancher og endelig anvendelse fordelt på sektorer
- Udviklingen i ressourceeffektivitet, og på hvilke områder/niveauer det vil være relevant at opgøre ressourceeffektivitet. Kan nationale indikatorer for ressourceeffektivitet fx opstilles for de forskellige industribrancher? Er det nødvendige datagrundlag til stede, eller hvordan kan det skaffes?
- Den direkte affaldsproduktion og materialestrømme knyttet hertil i Danmark såvel som i udlandet

Som led i ovenstående undersøgelser er det også projektets formål at foretage nogle overordnede vurderinger af de økonomiske ressourcer, der er nødvendige for at udvikle, vedligeholde, opdatere og analysere de nævnte indikatorer.

Som det fremgår af ovenstående formål, har projektet både fokus på det danske ressourceforbrug absolut set og på det relative ressourceforbrug i form af effektiviteten i ressourceforbruget. Når fokus i projektet ikke kun er på ressourceeffektivitet, men også på forbrugets absolutte størrelse, skal det ses som en forståelse af, at et dansk bidrag til en mere bæredygtig udvikling kun kan opnås gennem en effektivisering af ressourceforbruget som samtidig indebærer en absolut reduktion af forbruget af en række ikke-fornyelige ressourcer og en række ressourcer, som indebærer miljøbelastning.

Projektets fokus på, hvilke ressourcer det vil være relevant at udarbejde indikatorer for, skyldes et ønske om ikke kun at opgøre et samlet forbrug af ressourcer, men også at fokusere på forskellige typer ressourcer med forskellige miljø- og ressourcemæssige problemstillinger tilknyttet (miljøbelastning, sundhedsbelastning, ressourceknaphed). Fokus på brancher og sektorer har til formål at udarbejde et grundlag for at kunne anvende opgørelser af ressourceforbruget miljøpolitisk, idet en vurdering af, hvilke brancher og sektorer der har relativt og absolut store ressourceforbrug, kan anvendes i en diskussion af berettigelsen af dette forbrug set i forhold til bl.a. nytteværdien af produkter, teknologiske og økonomiske muligheder for reduktion af forbruget og den samfundsøkonomiske betydning.

Spørgsmålet om det danske ressourceforbrug kan ikke betragtes som en isoleret dansk problemstilling. Med en stigende verdensbefolkning, et stadig øget forbrug i den rige verden (herunder Danmark) og et ønske fra den fattige del af verden om øget velfærd, er trækket på ressourcer og den medfølgende belastning af miljøet stigende i globalt perspektiv. Dette sættes yderligere i relief af, at kampen om kontrollen med ressourcer historisk har ført til internationale konflikter og krige. Spørgsmålet om en mere bæredygtig udvikling er således også et fordelingspolitisk og sikkerhedspolitisk spørgsmål. Bl.a. Wuppertal Institutet har som led i projektet Sustainable Europe beregnet det økologiske råderum pr. indbygger og behovet for reduktion af det nuværende forbrug pr. indbygger i EU, hvis det mulige forbrug af de eksisterende naturbeholdninger skal fordeles ligeligt på globalt plan. Men også internt i et land vil der være forskelle mellem ressourceforbruget, som bl.a. afhænger af indkomstfordelingen. Ressourceforbrugets udvikling indeholder således også nationale fordelingspolitiske aspekter (se bl.a. NOAH 2002). Senere i dette kapitel introduceres både spørgsmålet om ressourceforbrugets og økonomiens størrelse og spørgsmålet om ressourceforbrugets fordeling, idet disse problemstillinger er en del af den miljø- og samfundspolitiske diskussion, som nærværende projekt skal ses i.

1.1.1 Projektets målgrupper

Projektet har en række målgrupper. Den primære målgruppe er Miljøstyrelsen. Her vil rapporten kunne anvendes til det fremtidige arbejde med den nationale strategi for en bæredygtig udvikling og en affaldsforebyggelsesstrategi.

Som andre målgrupper for projektet ser vi:

- Øvrige ministerier og styrelser, herunder Økonomi- og Erhvervsministeriet, Ministeriet for Videnskab, Teknologi og Udvikling, Fødevareministeriet og Trafikministeriet
- Kommuner og amter
- Erhvervslivets organisationer
- Erhvervsvirksomheder
- Affaldsselskaber
- NGO'er
- Politikere
- Forsknings- og undervisningsinstitutioner
- Internationale samarbejdspartnere, herunder EU, forskningsinstitutioner og statistikkontorer

Projektets fokus er udviklet i dialog med Miljøstyrelsen og med repræsentanter for de andre målgrupper, dels ved møder i projektets følgegruppe, dels ved afholdelse af to internationale workshops i projektet, hvor der ud over internationale eksperter også deltog personer fra en del af ovennævnte målgrupper. Den ene workshop blev afholdt i projektets indledende fase (7. maj 2002) (sammendraget fra workshoppen findes som bilag C), hvor projektgruppen diskuterede projektets fokus med en bredt sammensat aktørkreds, inkl. projektfølgegruppen. Den anden workshop blev afholdt tæt på projektets afslutning (31. oktober 2002) (sammendraget fra workshoppen findes som bilag D), hvor projektets overvejelser om centrale miljøpolitiske diskussioner i relation til ressourceforbrug og behovet og mulighederne for indikatorudvikling i tilknytning hertil blev diskuteret. Den internationale deltagelse i de to workshops har medvirket til at sikre, at den internationale diskussion om materialestrømme, ressourceforbrug og resourceeffektivitet er udnyttet i projektet samtidig med, at projektet har søgt at bidrage til denne diskussion.

1.2 Projektets baggrund i den nationale og internationale diskussion om bæredygtig udvikling

Projektet har som nævnt bl.a. baggrund i et ønske i Miljøstyrelsen om at tilvejebringe et grundlag for indikatorudvikling og dataindsamling i forbindelse med den danske nationale strategi for bæredygtig udvikling.

I den danske nationale strategi for bæredygtig udvikling (Regeringen 2002a) og den tilknyttede indikatorrapport (Regeringen 2002b) opstilles en række (14) overordnede nøgleindikatorer, en række tværgående (på tværs af sektorer) indikatorer (fx for ressourcer og resourceeffektivitet) og en række indikatorer målrettet forskellige sektorer (fx for fødevarerproduktion).

Rapporterne er karakteriseret ved en række hensigtserklæringer, relativ få konkrete mål og en række indikatorer, der måler inden for de udvalgte indsatsområder. Der peges på behovet for at udvikle indikatorer og datagrundlag på områder, hvor der er opstillet mål, men der synes også at være behov for at opstille mål på områder, hvor der allerede er udviklet indikatorer, og hvor der foretages dataindsamling.

Af relevans for dette projekts fokus på ressourcestrømme er følgende forholdsvis konkrete mål blandt de centrale:

- På lang sigt at begrænse forbruget af ressourcer til ca. 25% af det nuværende forbrug. På lang sigt synes at betyde "inden for en generations tid" (Regeringen 2002b, s. 44)
- I 2020 skal ingen produkter eller varer på markedet indeholde kemikalier med særligt problematiske sundheds- eller miljøeffekter (Regeringen 2002b, s. 33)
- Et indikativt pejlemærke på en halvering af CO₂-udslippet i Danmark inden for en generation kan blive resultatet af fortsat skærpede reduktionsmål i de kommende budgetperioder (Regeringen 2002b, s. 19)

Af mere overordnede mål og hensigtserklæringer af relevans for projektet kan peges på:

- Forøgelse af arealer med natur og skov samt at fremtidige generationer skal have adgang til naturressourcer i et omfang, som mindst svarer til den adgang, der haves i dag (Regeringen 2002b, s. 26)
- Danske virksomheder skal producere effektivt, så der anvendes stadig færre ressourcer pr. produceret enhed (Regeringen 2002a, s. 5)
- I løbet af de kommende år skal ressourcerne udnyttes mere effektivt for at begrænse affaldsmængderne og mindske spredning af forurenende stoffer (Regeringen 2002a, s. 5)
- Specielt forbruget af naturressourcer, som er knappe, særligt følsomme eller særligt forurenende skal begrænses (Regeringen 2002a, s. 28)
- Forbruget skal i højere grad baseres på fornybare ressourcer og genanvendelige materialer (Regeringen 2002a, s. 29)
- Der skal ikke produceres mere affald end højst nødvendigt, og genbruget skal øges. Indsatsen må i første omgang rettes mod de materialer, der giver anledning til mest miljøbelastning eller til det største ressourceforbrug (Regeringen 2002a, s. 30)
- Målet er, at produkternes ressourceforbrug og miljøbelastning afspejles fuldt ud i produkternes pris (Regeringen 2002a, s. 30)

Der er således i rapporterne fokus på en bred vifte af ressourcer, hvor også arealer betragtes som ressourcer. Der er endvidere både fokus på ressourceforbrugets absolutte størrelse i form af målet om en reduktion til 25% og på det relative ressourceforbrug i form af mål om, at ressourceeffektiviteten skal stige. Begrundelserne for at have fokus på ressourcer har ligeledes et bredt fokus, idet der både peges på knaphed, følsomhed og forurening. Flere af disse mål afspejles allerede i de nuværende indikatorer. Blandt de 14 nøgleindikatorer er der således bl.a. fokus på udvalgte ressourcestrømmes absolutte størrelse og deres relation til den økonomiske udvikling eller til en sektors ydelse. Endvidere er der fokus på arealer af forskellige naturtyper. Kemikalieområdet er blandt nøgleindikatorerne kun repræsenteret ved antallet af klassificerede kemikalier. Blandt de detaljerede indikatorer findes en indikator inden for arbejdsmiljø for forbruget af en række kræftfremkaldende stoffer.

Om målet for den fremtidige indikatorudvikling i relation til ressourcer siges, at der skal findes data og metoder til at vurdere produkters og materials samlede ressourcestræk (herunder de skjulte materialestrømme) og miljøbelastning (Regeringen 2002a, s. 30). Dette understøttes af en formulering om, at det er vigtigt at have både det nationale og det internationale ressourceforbrug samt den tilhørende miljøbelastning for øje (Regeringen 2002a, s. 29).

DPSIR-modellen er af *Eurostat* (1999) – Det Europæiske Miljøagentur og OECD – blevet vurderet som den mest velegnede til at strukturere miljøinformation, idet den giver mulighed for at diskutere samspillet mellem samfundsmæssige drivkræfter (D – Driving Forces), miljøbelastning og ressourceforbrug (P – Pressures), miljøets tilstand (S – State), effekter af miljøtilstanden (I – Impacts) og behovet for og effekten af den miljøpolitiske respons i form af offentlig regulering, ændret adfærd m.m. (R – Responses). Eurostat udvalgte 10 politikområder, indenfor hvilke der udvikledes miljømæssige Pressure-indikatorer: **Luftforurening, klimaforandringer, tab af biodiversitet, marine miljø og kystzoner, nedbrydning af ozonlag, udtømmning af ressourcer, dispersion af toksiske stoffer, urbane miljøproblemer, affald, vandforurening og vandressourcer.**

Dette projekt kan også sættes i relation til DPSIR-modellen, idet indikatorer for ressourceforbrug og resourceeffektivitet kan give anledning til vurderinger af både drivkræfter, miljøbelastning og ressourceforbrug samt omfanget og effekten af ændret adfærd.

På **Gøteborg-mødet juni 2001** fremlagde EU-kommissionen forslag til en EU-strategi for bæredygtig udvikling indeholdende det sociale, økonomiske og miljømæssige område. Kommissionen begrænsede problemfeltet til et lille antal områder, som ansås for at udgøre den største trussel mod bæredygtig udvikling. Kriterierne for denne udvælgelse var: Alvorlighed, tidsdimensionen og irreversibilitet, samt hvorvidt problemfeltet indeholdt en europæisk eller international dimension. Baseret på disse kriterier foreslog kommissionen følgende 6 prioriterede emner til EU's strategi for bæredygtig udvikling: 1) folkesundhed, 2) klimaforandringer og ren energi, 3) management af naturressourcer, 4) fattigdom og social udstødelse, 5) aldring og demografi, 6) mobilitet, arealudnyttelse og territorial udvikling. Dette projekt har relevans for flere af disse emner – især 1), 2), 3) og 6).

FN's kommission for bæredygtig udvikling (CSD 2001) har udarbejdet et sæt af indikatorer, som kan vurdere, om et samfund udvikler sig i en mere bæredygtig retning. De opstillede indikatorer har fokus på tre aspekter af bæredygtig udvikling: Miljømæssige, sociale og samfundsøkonomiske. Ifølge (Christensen og Møller 2001) har diskussioner i regi af Det Europæiske Miljøagentur (EEA) dog peget på, at en del af de opstillede indikatorer ikke er relevante for en bedømmelse af bæredygtig udvikling i de europæiske lande.

(OECD 2001) har udviklet et sæt af miljøindikatorer for bæredygtig udvikling. Indikatorerne er organiseret efter miljøproblemer såsom klimaforandringer, luftforurening, biodiversitet, affald eller vandressourcer. Tidligere har OECD udviklet et sæt af miljøindikatorer (OECD's Core Set of Environmental Indicators). Ifølge (Christensen og Møller 2001) er OECD's arbejde bemærkelsesværdigt ved, at der også er udviklet sektorindikatorer (for energi-, transport- og landbrugssektorerne) for at fremme integrationen af miljøhensyn ind i sektorpolitikker.

Det Europæiske Temacenter for affald og materialestrømme (ETC/WMF 2002) er i gang med at udvikle og definere et sæt nøgleindikatorer, som kan bruges af Det Europæiske Miljøagentur (EEA) i dets jævnlige rapportering om fremskridt i de europæiske lande vedrørende affaldsforebyggelse, affaldshåndtering og materialestrømme.

I de følgende afsnit introduceres en række problemstillinger, som har dannet grundlag for projektets analyser og som skal ses som rammen for de efterfølgende kapitlers diskussion om valg af indikatorer:

- 1.3 om menneskelige samfund som naturfænomener
- 1.4 om forskellige tilgange til at opgøre økonomiers fysiske størrelse
- 1.5 om menneskelige samfunds størrelse: Skalaproblemet
- 1.6 om fordelingsproblemet
- 1.7 om politik og data og anvendelsen af indikatorer

1.3 Menneskelige samfund som naturfænomener

Det kan synes indlysende, at menneskelige samfund altid også er natur: Menneskene selv, og alt hvad vi omgiver os med, er altid også natur – selv om menneskenes adfærd er stærkt præget af skiftende samfundsmæssige og kulturelle forhold, og selv om omgivelserne i så høj grad er formet af menneskenes egne aktiviteter. Imidlertid er vores forståelse af menneskelige samfund som naturmæssige fænomener ikke særlig veludviklet. Dette forhold hænger sammen med den institutionaliserede adskillelse mellem naturvidenskaberne på den ene side og samfundsvidenskab og humaniora på den anden. Siden etableringen af de moderne videnskaber og frem til de seneste årtiers miljøproblemer har kun et fåtal overskredet grænsen, eksempelvis fysiokraterne, der beskrev samfundsökonomien med udgangspunkt i jordens produktivitet, og forskellige personer, der tidligt anvendte termodynamikken til at anskue økonomien i energitermer. Men det typiske mønster har været, at samfundsökonomien først og fremmest er blevet beskrevet i termer af penge, priser og varestrømme, og at fx biologer har holdt sig til at beskrive økosystemer så fjernt fra menneskelig indflydelse som muligt. Med gennemslaget for det nye begreb "miljøproblemer" i 1960'erne begyndte dette mønster så småt at blive brudt. Nogle systemøkologer begyndte også at anvende deres begreber for analyse af energi- og materialestrømme i økosystemer på menneskelige samfund, nogle fysikere begyndte at anlægge et energiperspektiv på økonomien, ligesom nogle økonomer begyndte at arbejde med termodynamiske begreber og med analyser af materialestrømme. Begrebet metabolisme (stofskifte) begyndte at blive anvendt på menneskelige samfund. I takt med disse nybrud blev nogle af de tidligere marginaliserede teorier hentet frem fra glemslen.

Det fascinerende – og miljømæssigt problematiske – ved de menneskelige samfund som naturfænomener er menneskenes muligheder for at omsætte langt større mængder af energi og materialer, end de behøver ud fra en somatisk betragtning. Med betegnelsen det endosomatiske energiforbrug henvises til det energiforbrug, der er nødvendigt for at opretholde et menneskes liv under nogle givne klimatiske betingelser, mens det exosomatiske energiforbrug betegner alt det yderligere forbrug, der følger af vores måde at indrette os på. Det er specielt for den menneskelige art at have mulighed for et exosomatisk energiforbrug, der kan være mange gange større end det endosomatiske. Når man sammenligner menneskelige samfund med en myretue, har metaforen således den begrænsning, at den menneskelige "tue" ikke er bundet til en bestemt form, men kan bygges ud på talrige forskellige måder, der øger energi- og materialeomsætningen samt beslaglæggelsen af areal, vand og luft betydeligt pr. person.

Der er en afgrund mellem den nuancerede forståelse og de mange teorier, vi har om samfunds funktionsmåde i økonomiske, sociale og kulturelle termer, og den højst fragmentariske og rudimentære forståelse, vi har af samfunds funktion som naturfænomener. Dermed har vi også en højst mangelfuld forståelse af, hvad økonomiske, sociale og kulturelle forandringer betyder for samfundenes naturmæssige aspekter. Det har betydning for den måde, vi både på privat og politisk niveau forstår og håndterer vores gøremål på – i hvor ringe grad vi tematiserer de naturmæssige aspekter af dem. Der forestår en enorm opgave med at udvikle forståelsen for, at menneskelige samfund altid også er natur, og med at skabe nuancerede begreber for, hvordan menneskelige samfund fungerer som naturmæssige fænomener.

1.4 Forskellige tilgange til at opgøre "økonomiens fysiske størrelse"

Der er efterhånden udviklet mange forskellige bud på, hvordan samfundet kan anskues i naturmæssige termer, og hvordan man kan "regne i natur", fx:

- Analyser af energistrømme, hvor nogle også inddrager betydningen af energiens ændrede kvalitet (exergi, emergi)
- Arealbeslaglæggelse, "økologiske fodspor"
- Materialestrømme, evt. med inddragelse af ubrugte strømme
- Beslaglæggelse af produktet af fotosyntesen (Human Appropriation of Net Primary Production, HANPP)
- Forstyrrelse af livsopretholdende mekanismer og balancer, opgørelse af økosystemtjenester og vurdering af systemers robusthed (resilience)

Materialestrømsanalyser, som dette projekt bl.a. har fokus på, er således ét blandt flere eksempler på bestræbelserne på at uddybe forståelsen af de naturmæssige sider af samfundsøkonomien. De forskellige analyser lapper over hinanden på nogle områder. Fx indgår energi i materialestrømsanalyser i kraft af energiråstofferne, ligesom fodsporsbegrebet indebærer en oversættelse af energiforbruget til arealbeslaglæggelse.

Begreberne supplerer hinanden, og hvilken vinkel der er mest interessant, afhænger af hvad man især ønsker at belyse. Materialestrømsanalyser kan fx være af særlig interesse, når man er optaget af de affaldsstrømme, der genereres i moderne samfund.

1.5 Menneskelige samfunds naturmæssige størrelse: skal aproblem

De forskellige analyser af samfundets naturmæssige aspekter sætter de naturmæssige begrænsninger for samfundets udvikling på dagsordenen på en ny måde. Det bliver mere indlysende, at den menneskelige "tue" ikke bare kan brede sig i det uendelige, når forskellige analyser kan anskueliggøre, hvor meget denne "tue" allerede fylder i biosfæren. Man kan sige, at økonomiens skala – dens størrelse i forhold til biosfæren - kommer på dagsordenen.

Med introduktionen af bæredygtighedsbegrebet får sådanne analyser af den menneskelige økonomi som naturfænomen yderligere interesse. Begrebet lægger op til, at miljøproblemer ikke længere skal ses udelukkende som en lang række af specifikke problemer, men at der også kan anlægges et mere overordnet perspektiv på miljøet med henblik på at vurdere, om det går frem eller tilbage – altså om et samfund udvikler sig i mere eller mindre bæredygtig retning. Her kan bl.a. analyser af økonomiens fysiske størrelse bidrage.

Dette perspektiv adskiller sig fra de traditionelle forestillinger om økonomiens naturgrundlag i økonomisk teori. I økonomers traditionelle beskrivelse af relationerne mellem økonomien og naturgrundlaget beskrives naturen som grundlag for:

- Ressourcer
- Behandling af affaldsstoffer
- Direkte glæde
- De livsopretholdende mekanismer eller systemer

Tidligere var det almindeligt i introduktioner til miljøøkonomi, at man kun havde de tre første funktioner med. Dvs. der var tre centrale typer af

miljøproblemer: Der kunne blive knaphed på ressourcer; der kunne opstå forurening, som oversteg naturens "håndteringskapacitet" og derfor kunne medføre skader; og der kunne ske tab af naturværdier, som blev værdsat af æstetiske grunde eller pga. "eksistensværdi". I de senere år er der blevet stadig mere opmærksomhed omkring de livsopretholdende mekanismer, hvis ødelæggelse kan få langt mere vidtrækkende effekter end knaphed på nogle ressourcer. Selv om økonomisk teori anerkender naturens betydning som råstoflager, behandler af affaldsstoffer, kilde til direkte nytte og efterhånden også betydningen af de livsopretholdende mekanismer, er det karakteristisk, at forholdet til naturen tematiseres som en grænseflade – ikke som noget, der er en del af økonomien selv. Det er ikke muligt at se på relationen til naturgrundlaget som andet end specifikke miljøproblemer – der åbnes ikke for noget overordnet perspektiv.

1.6 Miljø og fordeling

Når skalaproblemet er formuleret, og når de naturmæssige grænser for økonomiens vækst fremstår mere anskuelige, bliver det mere åbenbart, at der er fordelingsproblemer – både globalt og nationalt – i relation til beslaglæggelsen af naturen. Den energi, de materialer, det areal osv., som den ene lægger beslag på, er ikke tilgængeligt for den anden – når der er grænser for, hvor meget vi kan udtrække af naturen. Samtidig peger diskussionen af begrebet "økologisk råderum" også på, at den enes forurening som følge af et ressourceforbrug kan "optage" plads for en andens mulighed for at udnytte ressourcer. Denne diskussion har bl.a. vist sig i forbindelse med diskussioner om behovet for begrænsning af udledning af stoffer med drivhuseffekt.

Når man "regner i natur", bliver det også muligt at begrebsliggøre forskellen på forskellige gruppers naturbeslaglæggelse og diskutere, hvordan ulighederne skabes, fx gennem ulige bytte, forskydning af miljøbelastningen (environmental load displacement) og adgang til brug af råderummet (beslaglæggelse af ressourcer og naturens "rense"-kapacitet).

Hermed synliggøres, at miljøproblematikken indebærer to former for ansvar: Både ansvaret for at producere på en miljømæssig forsvarlig måde og ansvaret for at begrænse væksten i økonomiens skala. For de rige lande i den vestlige verden indebærer den sidste form for ansvar, at forbruget må begrænses for at skabe rum for et stigende forbrug i udviklingslandene. Et andet fordelingspolitisk aspekt er forskellene på rige personers og fattige personers ressourceforbrug – både i den vestlige verden (se bl.a. NOAH 2000) og i udviklingslandene.

1.7 Politik og data: om udvikling og anvendelse af indikatorer

Ordet "indikator" kommer af latin, "indicator, indicare" og betyder "pege på", "angive" eller "vise indirekte". I dette projekt udvikles indikatorer, der skal gøre det muligt at vurdere, hvorvidt det danske ressourceforbrug udvikler sig i en mere bæredygtig retning.

Der er en gensidig vekselvirkning mellem tilgængelighed af data og den politik, der føres: Er der ingen data, er det svært at føre politik på et område, og omvendt bliver der kun en efterspørgsel efter data, når der er et ønske om at føre politik på et område. Hermed sættes fokus på de forskellige miljøpolitiske roller, som indikatorer kan have.

I forbindelse med analyserne af økonomiens naturmæssige aspekter har der været – og er fortsat – et interessant samspil mellem data og politik. Nogle analyser udspringer af en forskningsmæssig interesse, og nogle analyser er udviklet i et samspil med græsrodsaktiviteter, hvor skala- og fordelingsperspektivet har stået centralt. Imidlertid har specielt materialestrømsanalyserne først fået stor opmærksomhed, efter at forskellige dele af "det etablerede system" (nationale myndigheder, internationale organisationer m.m.) har taget emnet op. Den politiske interesse for emnet hos myndighederne udspringer bl.a. af problemet med voksende affaldsmængder, hvorfor der altså opstår en efterspørgsel efter viden om, hvordan disse mængder dannes. Dertil kommer etableringen af internationale monitoringsorganer som Det Europæiske Miljøagentur, der på forskellig måde skal følge landenes indsats på miljøområdet. Ligesom på mange andre områder er benchmarking og "karakterbøger" blevet moderne. De data, der genereres i denne proces, sigter langt fra altid på at øge indsigten i skala- og fordelingsproblemer, men de bidrager til muligheden for at få den type problemer på dagsordenen. Dvs. at spørgsmålet om, hvilke miljøpolitiske diskussioner der rejses på baggrund af miljødata og miljøindikatorer, i høj grad kan være et spørgsmål om, hvilke øjne der vurderer informationerne og dermed, hvilke diskurser informationerne tænkes ind i.

Ud over samspillet mellem data og politik er også andre forhold afgørende for de forskellige tilganges gennemslagskraft. Nogle tilgange har vanskelige vilkår, fordi de er svære at forklare og svære at anskueliggøre (fx exergi), mens andre omvendt har nydt godt af at være koblet til anskuelige metaforer (økologiske fodspor, økologiske rygsække). Det er også afgørende for gennemslagskraften, om der etableres standardiserede opgørelsesmetoder, sådan som Eurostat har gjort for MFA (Material Flow Accounting).

Den voksende interesse for at vurdere bl.a. nationale økonomiers bæredygtighed eller deres udvikling i retning af en mere eller mindre bæredygtig udvikling – fx som følge af kravet om udvikling af nationale strategier for bæredygtig udvikling til Verdens-topmødet i Johannesburg, september 2002 (Rio+10) – åbner enestående muligheder for at sætte bl.a. skalaproblemet og fordelingsproblemet på dagsordenen. Der er i en række lande, herunder som tidligere nævnt Danmark, iværksat udvikling af overordnede målsætninger for samfundets udvikling, og der er udviklet indikatorer og iværksat dataindsamling for at belyse udviklingen i de pågældende indikatorer. Denne udvikling rummer imidlertid også en fare, som det er vigtigt at være opmærksom på: Risikoen for, at diskussionen drukner i data uden grundige analyser af drivkræfterne bag ændringer (både positive og negative ændringer) i bl.a. ressourceforbrug og miljøbelastning. Samtidig indebærer den store internationale opmærksomhed om begrebet "bæredygtig udvikling" en risiko for, at alle lande vil fremstå som bæredygtige og dermed en risiko for, at der vil blive gjort meget for, at et land fremstår som bæredygtigt gennem valget af indikatorer og de tolkninger, der søges lagt ned over dataene.

Hvilke vurderinger der foretages – og hvilke det er muligt at foretage – afhænger bl.a. af, hvorvidt der analyseres på tidsserier, og hvorvidt der foretages internationale sammenligninger og sammenligninger med andre relevante områder. Eksempelvis kan man af den tidligere nævnte Indikatorrapport udgivet i 2002 i forbindelse med Danmarks nationale strategi for bæredygtig udvikling (Regeringen 2002b) se, at kvælstofudnyttelsen i

landbruget i Danmark i perioden 1988-1998 er steget fra ca. 28% til ca. 32%. Det fremgår dog ikke af rapporten, at Danmark synes at ligge lavt i kvælstofudnyttelse sammenlignet med en række andre OECD-lande (OECD 2002). Omvendt er vurderingen af fiskeriets udvikling i Indikatorrapporten mere direkte, idet det vurderes, at det danske fiskeri ikke er bæredygtigt, eftersom kun 10% af fiskeriet foregår på fiskebestande, der er inden for "biologisk sikre grænser". Udsagnet forstærkes af, at det af rapporten også fremgår, at 50-60% af bestandene faktisk er inden for biologisk sikre grænser.

Ifølge (Christensen og Møller 2001) vil der på forskellige stadier af en miljøpolitisk diskussion være behov for forskellige indikatorer. Det er således ikke altid sådan, at en miljøpolitisk diskussion er udviklet så langt, at det er muligt at inddrage hele DPSIR-modellen i indikatorudvikling. Når en miljøpolitisk diskussion er i sin vorden, er der først og fremmest behov for indikatorer, der kan overvåge, om der er tale om et miljøpolitisk problem. Det er ikke muligt på dette tidspunkt at fastlægge normer, og dynamiske kæder af Pressure-State-Response-indikatorer kan ikke etableres. På et senere tidspunkt vil der (evt.) ske en politikformulering og -implementering med baggrund i en sandsynliggørelse af et problems omfang og udvikling i tid og rum. Der sker også en mål- og normudvikling, og måske simuleres alternative udviklingsforløb ved hjælp af fremskrivningsmodeller. Endelig vil der senere mere være fokus på kontrol af indsatsens effekt især med fokus på der, hvor effekten af en indsats kan forventes iagttaget først – dvs. i belastningen (Pressure) og i ændringer i adfærden (Response) i de enkelte sektorer.

Man kan diskutere, i hvilken fase af politikudvikling og -implementering diskussionen om ressourceforbrug og ressourceeffektivitet er på nuværende tidspunkt og dermed, hvilke indikatorer der er behov for at udvikle. Med formuleringen af målsætningen om en reduktion af ressourceforbruget med en faktor 4 kunne man sige, at der er sket en mål- og normudvikling, således at vi allerede er på vej over i en fase med kontrol af, om indsatsen har en effekt. Samtidig må man dog nok konstatere, at det fokus, der er i den danske indikatorrapport på relativ afkobling af ressourceforbrug og økonomisk vækst som strategi, peger på, at der ikke nationalt er konsensus om, hvordan de pågældende reduktioner af ressourceforbruget kan opnås mellem fx regeringen og miljøorganisationerne. Som det fremgår af diskussionen i kapitel 7 af ressourceeffektivitet, er der en erkendelse i OECD-kredse (OECD 2002) af, at relativ afkobling ikke nødvendigvis er tilstrækkelig som strategi. Det vil afhænge af miljøets tilstand og af afstanden til de mål og normer, som er opstillet.

Centralt i projektets indikatorudvikling har været en diskussion af det samlede nationale ressourceforbrug (inkl. og ekskl. skjulte strømme) som en indikator for et lands udvikling i retning af en mere bæredygtig udvikling. På den ene side kan opgørelser af det samlede ressourceforbrug som ét tal ses som en overskuelig indikator for samfundets træk på ressourcebeholdninger og samtidig for samfundets miljøbelastning, og på den anden side er der så store usikkerheder forbundet med disse overordnede opgørelser, at en så overordnet indikator vanskeligt synes at kunne stå alene. Som argument for at fokusere på ressourcestrømme kan henvises til (Spangenberg 2001), der peger på to typer af belastninger bag miljøproblemerne:

- De specifikke kemiske karakteristika af små stofmængder
- Den kvantitative virkning af store strømme (materialestrømme, energistrømme og arealanvendelse)

På inputsiden af økonomien er der omkring 20.000 entry-points (inkl. vand men ekskl. luft) og omkring 200 stoffer/materialer ("substances"). På outputsiden skønnes at være omkring 1,5 mio. stoffer/materialer (overvejende fra industrien) og mere end 2 mio. exitpoints. Hvis man ønsker at overvåge og reducere materialestrømme, er det derfor langt det nemmeste at overvåge og regulere på inputstrømme frem for på outputstrømme. Som det vil fremgå af de efterfølgende kapitler, har projektgruppen valgt at arbejde med at udvikle en indikatorpyramide, hvor der som øverste lag haves få "headline indikatorer", og på de underliggende lag i pyramiden foretages disaggregering ud på forskellige samfundssektorer (industri, husholdninger m.m.) og på forskellige brancher.

I projektets indikatorudvikling er der – inspireret af FN – også fokuseret på indikatorernes relevans, kvalitet, målemetode, validitet, usikkerhed (nøjagtighed), sammenlignelighed, forståelighed, datatilgængelighed og frekvens. FN's metodologi (UN 2001) peger således på følgende centrale aspekter i en beskrivelse af en indikator:

- 1. Indikator:** Navn, definition, enhed, placering i indikatorsystemet
- 2. Policy relevans:** Formål, relevans til bæredygtig udvikling, internationale konventioner, internationale mål og standarder, forbindelse til andre indikatorer
- 3. Metodologisk beskrivelse:** Underliggende definitioner og koncepter, målemetoder, begrænsninger, status, alternative definitioner/indikatorer
- 4. Vurdering af data:** Nødvendige data, national og international datatilgængelighed og datakilder, datareferencer
- 5. Institutioner involveret i udvikling af indikatorer:** Ledende institution, andre deltagere
- 6. Referencer:** Litteratur, internetsider

I projektets indikatorudvikling har alle seks punkter været en del af udviklingsarbejdet, om end forslagene til indikatorer ikke er udviklet så langt, at de seks punkter er beskrevet systematisk for de enkelte indikatorer.

Dette afsnits diskussion af stadiet i politikudviklingen og af usikkerheden om tolkningen af meget overordnede opgørelser af samfundsøkonomiers ressourceforbrug peger på, at der i de kommende år både er behov for en forstærket diskussion af ressourceforbrugets virkninger og årsager, af strategier for at nedbringe ressourceforbruget og af forskellige indikatorers mulighed for at bidrage hertil. Det er projektgruppens håb, at nærværende rapport kan være med til både at bringe indikatorudviklingen et skridt videre og også at bringe den miljøpolitiske diskussion på baggrund af udviklingen i indikatorerne et skridt videre.

2 Klassificering og måling af fysiske strømme

Materialestrømme og ressourcestrømme er termer, der ofte anvendes lidt upræcist til at dække en række forskellige fysiske strømme på forskellige steder i økonomien eller miljøet eller på tværs af grænserne mellem økonomi og miljø. I dette kapitel anvendes fysiske strømme i stedet som en bred betegnelse for masse- og energistrømme, mens materialestrømme og ressourcestrømme gives en mere præcis betydning som strømme af netop materialer henholdsvis ressourcer¹.

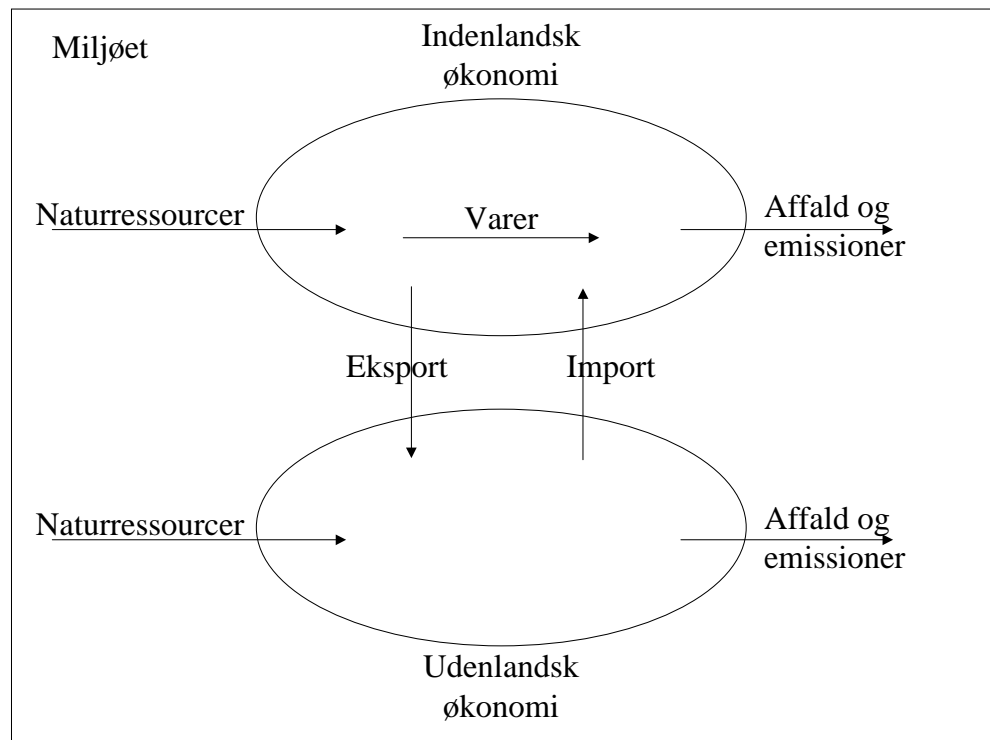
Der redegøres for tre forskellige fremtrædelsesformer af de fysiske strømme svarende til tre forskellige "observationspunkter" for strømmene. Det drejer sig om:

- Naturressourcer
- Varer
- Affald og emissioner

Desuden omtales sidst i kapitlet materialer og kemiske stoffer, som er to alternative "enheder", ved hjælp af hvilke fysiske strømme kan opgøres.

Figur 2.1 illustrerer strømmene af naturressourcer, varer samt affald og emissioner ind i, gennem og ud af økonomien. Også import- og eksportstrømmene mellem den indenlandske økonomi og andre økonomier er illustreret ligesom ressourcetræk og affalds- og emissionsstrømme i udlandet.

¹ Det skal bemærkes, at fysiske strømme strengt taget også kan omfatte stråling, elektromagnetiske strømme, energistrømme, elektriske strømme mv.



Figur 2.1
Fysiske strømme.

2.1 Klassificering af naturressourcer

Naturressourcer defineres her som de dele af miljøet, der leverer eller kan levere input til økonomien i form af materialer og energi til økonomisk aktivitet. I forbindelse med opgørelser af fysiske strømme er observationspunktet for naturressourcestømme grænsen mellem de naturlige omgivelser og økonomien. Strømmene af naturressourcerne observeres således i det øjeblik, naturressourcerne udvindes og inddrages i økonomien. Herved bliver naturressourcerne til varer.

Tilvæksten og fornyelsen af naturressourcer er resultatet af naturlige processer og ikke af menneskelig aktivitet, mens udvindingen af naturressourcerne naturligvis er et resultat af menneskers produktive aktivitet.

I forbindelse med de såkaldte MFA-opgørelser (jf. kapitel 6) skelnes mellem strømme af **brugte og ubrugte ressourcer**. Strømmene af ubrugte ressourcer inkluderer således de naturressourcer, der er påvirket af den økonomiske aktivitet, men ikke inddrages i økonomien. De ubrugte ressourcer bliver – i modsætning til de brugte ressourcer – ikke til varer, og de har umiddelbart ingen økonomisk værdi.

Eksempler på **brugte** ressourcer er fossil energi (råolie, kul, naturgas) mineraler (jernmalm, kobbermalm, sand, grus mv.), biomasse (høst af afgrøder, tømmer, fisk), som udvindes og anvendes i produktionsprocesser for at muliggøre input af alle de rå- og hjælpestoffer, der er nødvendige for at muliggøre produktionen af fx en importvare.

Eksempler på **ubrugte** ressourcer er overjord og sten, der udgraves og flyttes i forbindelse med minedrift samt planterester fra landbruget.

En grov opdeling af naturressourcestrømme kan fås ved at tage udgangspunkt i den klassifikation af miljøaktiver (som beholdninger), der findes i (SEEA 2000)².

Tabel 2.1 viser klassifikationen af miljøaktiver. Ud for hver kategori er anført, hvilke fysiske strømme der er relevante. Miljøaktiverne er overordnet opdelt i tre grupper: *naturressourcer*, *land og overfladevand* samt *økosystemer*.

Den første gruppe af miljøaktiver er naturressourcer i sædvanlig forstand, dvs. de naturressourcer, der udvindes og bringes ind i økonomien til videreforarbejdning og anvendelse som varer. For de enkelte naturressourcer finder der således fysiske strømme fra omgivelserne til økonomien sted.

Den anden gruppe af miljøaktiver omfatter land og overfladevand. Aktiverne opgøres her typisk ved hjælp af flademål (kvadratmeter, ha) og det vil normalt ikke være relevant at knytte fysiske strømme til denne kategori af miljøaktiver.

Den sidste gruppe udgøres af økosystemer opdelt i jord, vand og luft. Kategorierne skal her opfattes som en samling af organismer og de fysiske omgivelser, de lever i. Inkluderingen af økosystemer i klassifikationen bevirker en vis form for dobbeltregning, idet fx en skov medregnes både som en naturressource (tømmer) og som et økosystem. Denne dobbeltregning er helt bevidst, da klassifikationen skal muliggøre en registrering af aktivernes forskellige funktioner. I forbindelse med strømopgørelser er det dog nødvendigt at sikre, at der ikke foretages dobbeltregning. Således må det i enkelte tilfælde besluttes, om fx anvendelsen af vand skal betragtes som et input af naturressourcer eller et input fra økosystemerne.

Hvis vand fx indvindes med henblik på videresalg, vil det være oplagt at betragte vandet som en naturressource, mens vand, der optages direkte fra naturen af landbrugets husdyr, måske snarere skal betragtes som et direkte økosysteminput.

² SEEA 2000, System of Economic and Environmental Accounting er et sæt af internationale anbefalinger og retningslinjer for opstilling af sammenhængende regnskaber for økonomi og miljø i tilknytning til det internationale nationalregnskabssystem, SNA. SEEA 2000 offentliggøres i løbet af 2003 i fællesskab af FN, Eurostat, Verdensbanken og OECD.

Tabel 2.1
Klassifikation af miljøaktiver.

SEEA Klassifikation af ressourcer (uddrag)	Strømme af naturressourcer (brugte og ubrugte)
EA.1 Naturressourcer	
EA. 11 Mineraler og energi	Udvinding
	I forbindelse med energi kan det være relevant at opgøre strømmene i energienheder fx brændværdier (PJ). Dette gælder ikke mindst vand-, vind-, sol- og atomkraftenergi. For strømme af energi kan en klassifikation, der går på tværs af ressourceklassifikationen, desuden komme på tale, idet det kan være relevant at inddrage visse af de biologiske ressourcer (EA.14) ved belysning af energistrømmene. Endvidere kan en eksplicit opdeling i fornybare og ikke-fornybare energiressourcer være relevant.
EA. 12 Jord	Jord der udgraves til fx bygge- og anlægsvirksomhed. Desuden optræder i visse opgørelser (MFA) store mængder jord som ubrugte ressourcer.
EA. 13 Vand	De vandmængder, der indvindes og anvendes i økonomien. En fuldstændig opgørelse bør også inkludere de vandmængder, der indvindes i f.Øm. egne borer.
EA. 14 Biologiske ressourcer	
<i>EA. 141 Tømmer</i>	Ved opgørelse af strømmene af biologiske ressourcer fra omgivelserne til miljøet er det i praksis normalt hensigtsmæssigt at opgøre høstudbyttet af vegetabiliske produkter inkl. tømmer samt fangst af fisk fra havene. Animalske landbrugsprodukter samt fisk fra hav- og dambrug betragtes derimod mest hensigtsmæssigt som en strøm i økonomien.
<i>EA. 142 Planter, andet end tømmer</i>	
<i>EA. 143 Akvatiske ressourcer</i>	
<i>EA. 144 Animalske ressourcer</i>	
EA. 2 Land og overfladevand	For denne kategori af naturressourcer finder der ikke fysiske strømme sted.
EA.3 Økosystemer	
EA. 31 Jord	Strømme af grundstoffer og naturlige kemiske forbindelser (nitrogen, oxygen, kuldioxid, etc.) fra omgivelserne til økonomien kan betragtes som input fra økosystemerne til økonomien. Forbrændingsluft kan også henregnes til den kategori.
EA. 32 Vand	
EA. 33 Luft	

Ved konkrete opgørelser af ressourcestrømme er det nødvendigt med mere fintmaskede opdelinger af strømmene af naturressourcer. I næste afsnit findes en mere detaljeret gennemgang af forskellige ressourcer og forhold ved disse. Her skal blot nævnes nogle hovedgrupper af opdelinger.

I en del tilfælde vil man foretage en opdeling mellem fornybare og ikke-fornybare naturressourcer.

Blandt mineralerne skelnes fx mellem sjældne metaller, lette metaller og ikke-metalliske mineraler.

Mineraler opdeles geologisk ofte i granit og malm (mineralærer) og underopdeles i forhold til deres kemiske og strukturelle sammensætning. For

økonomisk anvendelse, raffinering og slutbrug opdeles mineralerne ofte i metalliske og ikke-metalliske mineraler.

Ressourcer, som er interessante i et dansk perspektiv, kan opstilles og kategoriseres ud fra hvilke sfærer, ressourcerne stammer fra, jf. tabel 2.2. Bemærk, at opdelingen her tager udgangspunkt i ressourcerne som sådan og ikke i strømmene af ressourcer.

Tabel 2.2
Eksempel på konkret klassifikation af udvalgte naturressourcer.

SEEA Klassifikation	Del af naturen	Konkrete ressourcer		
EA.1 Naturressourcer	Litosfæren	Fossilt brændsel	Kul, olie, gas	
		Metalliske mineraler	Tungmetaller	Kviksølv, cadmium, kobolt, tin, zink, bly, krom, nikkel, kobber
			Letmetaller	Aluminium, jern,
		Ikke-metalliske mineraler	Sten, sand, grus, ler Fosfat Potaske, kalk, gips, soda	
	Biosfæren	Tømmer	Hårdt træ, blødt træ	
		Afgroder	Flergangsydende	Frugtplantager
			Engangsydende	Korn, majs, raps
Hydrosfæren	Biologiske	Fisk, skaldyr		
	Ikke biologiske	Vand		
EA. 3 Økosystemer	Jord	Næringsstoffer		
	Vand	(Drikkevand)		
	Luft	Forbrændingsluft		

2.2 Detaljeret gennemgang af ressourcer

Mængden af grundstoffer i og på jordkloden er næsten konstant og øges kun en lille smule pga. nedfald af meteoriter. Jordkloden kan opdeles i de ydre sfærer – atmosfæren, biosfæren, hydrosfæren og litosfæren – og kernen. Biosfæren, atmosfæren, hydrosfæren og litosfæren er meget tynde ydre skaller på jordkloden, mens kernen udgør mere end 99,9% af jordens volumen og masse. Således er målet for bæredygtig udvikling at holde jordens ydre tynde skaller i en god og sund tilstand, hvor der drages omsorg for livet i disse tynde skaller.

Det er væsentligt at måle ressourcer pga. ressourcernes:

- Værdi: Økonomisk og etisk samt betydning for sundhed, behov, uddannelse, forskning mv.

- Knaphed: Genskabelse af fornyelige ressourcer, opdagelse af nye ressourcer
- Behov for kontrol: Konflikter, fordeling af ressourcer og ressourceforbrug
- Ødelæggelse: Fragmentering, forurening, beskyttelse, følsomhed
- Påvirkning af miljø og sundhed under produktion, forbrug og returnering til naturen

Knaphed på ressourcer opstår, når efterspørgslen overstiger udbudet. Mennesker stræber efter kontrol med ressourcerne, og knaphed resulterer i stigende priser og nogle gange i konflikter og krige. Knaphed resulterer på den ene side i stigende priser og på den anden side i økonomisering med ressourcen – som derpå medfører en tendens til at reducere knapheden.

I et bæredygtighedsperspektiv er det i øvrigt vigtigt at måle på ressourcer, fordi ekstraktion af råstoffer før eller senere altid ender som affald og emissioner. Fra et rent måleteknisk synspunkt er det nemmere at måle på ressourcer fremfor at måle på affald og emissioner, fordi antallet af ressourcer og inputsteder er relativt lille, mens antallet af outputsteder, varer og emissioner er umådeligt stort, som vist af (Spangenberg 2002).

Mere end 90% af atmosfæren, hydrosfæren og biosfæren består af de 4 grundstoffer H, O, N og C. Grundstoffer med et højere atomnummer end Fe er sjældne på jordkloden, idet disse grundstoffer stammer fra supernova-eksplosioner og neutronstjerner, hvorimod grundstoffer lettere end Fe – samt Fe – er skabt i normale stjerner som solen.

Således er metallerne Na, Mg, Al, Si, K, Ca og Fe meget almindelige på jordkloden, mens metaller som Cu, Zn, Ag, Cd, Hg og Pb er sjældne. Gennem evolutionen er det organiske liv ikke blot vænnet til de almindelige metaller, men livet har disse metaller som en vigtig forudsætning for – og ingrediens i – livsprocesserne: Fe til binding af O₂, Ca til skelettet, K/Na-pumpen til transport over cellemembraner mv. Derimod kan de sjældne metaller være toksiske over for organisk liv, især hvis de forekommer på ionisk form. Således er Hg og Cd stærkt toksiske i selv små koncentrationer, og ionogent kobber er betydeligt mere toksisk end ikke-ionogent kobber.

For de ikke-metalliske grundstoffer er de lette grundstoffer N, P, S and Cl meget almindelige på jordkloden, hvorimod de tungere grundstoffer As, Se, Br, og I er sjældne. De ikke-ioniske former af halogenerne – F, Cl, Br, og I – har et højt oxidationspotentiale og er meget reaktive over for organiske stoffer. De fleste af deres organiske forbindelser er toksiske over for organisk liv.

Ressourcer kan opdeles i ikke-fornyelige ressourcer (fossile brændstoffer og mineraler) og fornyelige ressourcer (biotiske ressourcer, vand, nitrogen og oxygen). Skelnen mellem fornyelige ressourcer og ikke-fornyelige ressourcer er et spørgsmål om tidsperspektiv. I et meget langt tidsperspektiv – 500 millioner år – er ressourcer som fossile brændstoffer og mineraler fornyelige, mens flora og fauna er ikke-fornyelige. I denne rapport defineres ressourcer som fornyelige, hvis de fornyes af naturen på mindre end 300 år.

Mineraler er den ydre jordskorpes byggesten. Den ydre jordskorpe varierer i tykkelse fra ca. 70 km ved de højeste bjerge til 6-8 km under oceanerne i

overensstemmelse med loven om isostasi. Volumen af den ydre jordskorpe kan estimeres til ca. 10^{10} km³, idet overfladearealet er ca. $5,1 \cdot 10^8$ km², og den gennemsnitlige tykkelse af jordskorpen er ca. 20 km. Der er således ca. 2 km³ mineraler pr. menneske i den ydre jordskorpe. Jordskorpen består af tre forskellige lag, som startende indefra er: Basalt, granit og sediment. Under oceanerne mangler granitlaget, idet granitten skabes ved foldning af oceanbundenes sedimenter til bjergkæder.

Mineraler opdeles geologisk ofte i granit og malm (mineralærer) og underopdeles i forhold til deres kemiske og strukturelle sammensætning i grundstoffer, sulphider, halogenforbindelser, iltforbindelser, carbonater, sulphater, silicater og organiske mineraler. For økonomisk anvendelse, raffinering og slutbrug opdeles mineralerne ofte i metalliske og ikke-metalliske mineraler. Således listes ler som et ikke-metallisk mineral, selvom lermineraler indeholder aluminium og silicium og ofte også andre metaller, idet ler er en god ionbytter.

Mængden af ressourcer, som mennesket på sigt kan udnytte (reserverne), defineres i denne rapport som:

1. Fornyelige ressourcer: Naturens genskabelse af nye ressourcer (tons/år)
2. Ikke-fornyelige ressourcer:
 - 2.1 Fossile brændstoffer: Mængden af fossile brændstoffer, som kan udvindes med dagens kendte teknologi til en pris mindre end tre gange middelpriisen de seneste 10 år.
 - 2.2 Sjældne metaller: Metaller i malme i den ydre jordskorpe, som kan udvindes med dagens kendte teknologi til en pris mindre end 3 gange middelpriisen de seneste 10 år. Den totale mængde metaller, som eksisterer i malmgange, er af geologer estimeret til 400-2.000 gange den årlige udvinding i dag. Malmene er af varierende lødighed, og kobber og tin er blandt de knappe metaller med den laveste reserve af malmgange med høj lødighed. Der findes meget større mængder af metaller "opløst" i granit og sedimenter uden for malmgangene.
 - 2.3 Lette metaller: For aluminium og jern er ressourcerne næsten uendelige, idet 8% af jordskorpen består af aluminium og 5% af jern.
 - 2.4 Ikke-metalliske mineraler: Mineraler indeholdt i formationer i den ydre jordskorpe. Fosfat er blandt de sjældne ikke-metalliske mineraler, idet den højeste lødighed findes i fosforit, hvor fosforen er akkumuleret fra døde dyr. Ressourcerne af andre ikke-metalliske mineraler er næsten uendelige såsom granitsten, sand og grus.

I tabel 2.3 ses verdens produktion af metaller og ikke-metalliske mineraler i 1991.

Tabel 2.3
Verdens produktion af metaller og ikke-metalliske mineraler.

Metaller:		Ikke-metalliske mineraler:	
	Verdens produktion, 1991 1.000 t/år		Verdens produktion, 1991 1.000 t/år
Jern	531.000	Sten	11.000.000
Aluminium	18.500	Sand og grus	9.000.000
Kobber	9.100	Ler	500.000
Mangan	6.700	Salt	186.000
Zink	7.400	Fosfatklippe	160.000
Krom	3.800	Potaske (Kali)	160.000
Bly	3.370	Kalk	135.000
Nikkel	953	Gips	98.000
Tin	210	Soda	33.000
Molybdæn	110		
Titan	82		
Tungsten	39		
Kobolt	34		
Cadmium	20		
Sølv	14		
Kviksølv	6		
Guld	2		
Platinmetaller	0,3		

Af tabel 2.3 ses, at de største mængder af metaller udvundet var letmetallerne jern og aluminium, hvor de største mængder produceret altovervejende var jern (531 mio. t/år), og at der var langt ned til det næste i rækken – aluminium – som produceredes i 29 gange mindre mængder (18,5 mio. t/år) end jern. De mindst producerede mængder var ædelmetallerne med guld på 2.000 t/år og platinmetallerne på 300 t/år. Herimellem lå tungmetallerne med kviksølv på 6.000 t/år op til kobber på 9,1 mio. t/år.

De største mængder ikke-metalliske mineraler var sten med 11 mia. t/år efterfulgt af sand og grus med 9 mia. t/år.

I tabel 2.4 ses verdens produktion af en række mineraler opdelt på malm, spild (ubrugte strømme) og udvundet metal.

Tabel 2.4
Verdens produktion af en række mineraler.

Metalliske mineraler – Verdens produktion (1991)				
Mineral	Malm	Renhed	Spild	Metal
	Millioner tons	%	Millioner tons	Millioner tons
Kobber	1.000	0,91	990	9,1
Guld	620	0,00033	620	0,002
Jern	906	40	540	531
Bly	135	2,5	130	3,4
Aluminium/ bauxit	109	23	84	18,5
Nikkel	38	2,5	37	0,95
Tin	21	1,0	21	0,21
Mangan	22	30	16	6,7
Tungsten	15	0,25	15	0,039
Krom	13	30	9	3,8
Fosfat	160	9,3	140	15
Potaske	160	17	130	27

Af tabel 2.4 ses, at spildet – de ubrugte ressourcer – totalt set var størst for kobber med 990 mio. t/år og relativt størst for guld med 300.000 t spild/t metal. De mindste ubrugte ressourcemængder var totalt set krom med 13 mio. t/år og relativt set jern med 2,5 t spild/t metal.

De fornyelige ressourcer er:

- biotiske ressourcer, som genskabes ved organisk vækst
- ferskvand, som genskabes ved fordampning fra verdenshavene med efterfølgende nedbør i form af regn eller sne
- frit kvælstof, som genskabes ved mikroorganismers denitrifikation
- organisk kvælstof, som dannes af visse kvælstoffikserende planter
- næringssalte, som udledes med faunaens og floraens affaldsstoffer og optages i muldjord
- ilt, som genskabes ved planternes fotosyntese

De biotiske ressourcer er mangfoldige og består af alle former for planter og dyr samt delvist nedbrudte plante- og dyrerester i form af humus.

Fra de biotiske ressourcer henter mennesket:

- sin føde fra planter og dyr
- en væsentlig del af beklædningen fra plantefibre og uld
- tømmer til bygninger og møbler
- planter til medicin

Mennesket er en del af den levende organiske natur. Når mennesket ødelægger naturen, ødelægger det sig selv. Som sådan er menneskets overlevelse betinget af en velfungerende organisk natur. Den levende organiske natur sørger for, at:

- CO₂ optages i planterne og bliver til nyt liv, hvorved klimaet på jorden stabiliseres

- nedbøren opmagasineres og langsomt afstrømmer, således at oversvømmelser og erosion undgås
- den frodige jordbund bevares
- det vrimler med planter og dyr til gavn for alle arter inkl. mennesket
- affaldsstoffer renses og bliver til grundlag for nyt liv

Herudover udgør den levende natur en stor værdi for mennesket til oplevelse, rekreation, kunst, kultur, videnskab og forskning. Uden den biotiske natur vil mennesket ikke kunne forstå sig selv, og hvor det kommer fra.

Den levende natur har ud over den instrumentelle værdi for mennesket en værdi i sig selv. Den levende natur er således en uhyre vigtig del af hele skaberværket. En klode som jorden, hvor der eksisterer en sådan mangfoldighed og overdådighed af liv, er noget ganske enestående i universet. Sandsynligvis er jorden et enestående sted i universet, hvis mere ikke findes. Derfor påhviler der mennesket et stort ansvar for at passe på den levende natur og dens mangfoldighed af arter.

Biodiversiteten er et udtryk for arternes mangfoldighed. Biodiversiteten er et udtryk for både antallet af forskellige arter og for antallet af individer i hver enkelt art, hvor antallet af forskellige arter indgår med den største vægt. En høj biodiversitet svarer til en lav entropi, mens en lille biodiversitet svarer til en høj entropi. For biodiversiteten gælder det, som ved stoffer og energi: Det er nemt at nedbryde, men vanskeligt og måske umuligt at genskabe. Uden energitilførsel vil systemerne bevæge sig fra lav entropi til høj entropi – fra liv til død. Mange arter er truet af udryddelse, enten fordi der drives rovjagt på dem, eller fordi deres livsbetingelser forringes eller forsvinder.

Hele biotoper trues og forringes af mennesket: Urskovene, de tropiske regnskove, koralrevne, søer, floder og kystnære vandområder. Selv det tidligere varierede danske agerland med en vis biodiversitet, de senere år, med ødelæggelse af levende hegn, fældning af skove, opdyrkning af enge, tørlægning af vådområder, dyrkning næsten til kanten af vandløbene og udgravning af snoede naturlige vandløb til lige kanaler eller rørlægning. Det gik alvorligt tilbage for naturen i Danmark efter nederlaget i 1864 med Dalgas's slogan "Hvad udad til tabes skal indad til vindes" og videre med industrialiseringen og kemigørelsen af landbruget i 1960'erne og den enorme udvidelse af svineproduktionen i 1990'erne til deciderede svinefabrikker med centraliseret produktion og dannelse af store gyllemængder.

2.3 Klassifikation af varer

For at blive klassificeret som en vare – i modsætning til en naturressource – skal en enhed være resultatet af produktionsaktivitet. Strømme af varer finder som sådan udelukkende sted internt i økonomien. Varer anvendes dels som **forbrug i produktionen** (rå- og hjælpestoffer), dels finder der en **endelig anvendelse** af varer sted, når varer anvendes i husholdninger (privat forbrug), akkumuleres (investeringer og lagerændringer) eller eksporteres til andre lande³. Tilgangen af varer kommer fra den indenlandske produktion og via import.

³ Begreberne *forbrug i produktionen* og *endelig anvendelse* stammer fra nationalregnskabet og anvendes her til at beskrive anvendelsen af varer. Begreberne er praktiske i forbindelse med den senere gennemgang af MFA-regnskaber, jf. kapitel 6.

Overgangen fra naturressourcer til varer finder sted i det øjeblik, naturressourcerne er inddraget i økonomien og bliver genstand for bearbejdning eller omsætning på markedet. Det betyder, at fysiske strømregnskaber, der både omfatter naturressourcestrømme ind i økonomien og varestrømme i økonomien udviser dobbeltregning. Som eksempel kan nævnes et fysisk strømregnskab, der både redegør for udvindingen af naturgas (som naturressource) og input af naturgas (som vare) i energiforsyningen.

Varer kan fx klassificeres efter den Kombinerede Nomenklatur (KN), som er EU's varenomenklatur. Denne nomenklatur anvendes af Danmarks Statistik i forbindelse med såvel *Varestatistik for Industrien* som *Udenrigshandelsstatistikken*.

Tabel 2.5
Den Kombinerede Nomenklatur.

I	Levende dyr; animalske produkter
II	Vegetabiliske produkter
III	Animalske og vegetabiliske fedtstoffer og olier
IV	Produkter fra næringsmiddelindustrien; drikkevarer, ethanol (ethylalkohol) og eddike; tobak og fabrikerede tobakserstatninger
V	Mineralske produkter
VI	Produkter fra kemiske og nærstående industrier
VII	Plast og varer deraf; gummi og varer deraf
VIII	Huder, skind, læder, pelsskind og varer deraf; sadelmagerarbejder; rejseartikler, håndtasker og lignende varer; varer af tarme
IX	Træ og varer deraf; trækul; kork og varer deraf; kurvemagerarbejder og andre varer af flettematerialer
X	Papirmasse af træ eller andre celluloseholdige materialer; genbrugspapir og -pap (affald; papir og pap samt varer deraf)
XI	Tekstilvarer
XII	Fodtøj, hovedbeklædning, paraplyer, parasoller, spadserestokke, siddestokke, piske, ridepiske samt dele dertil; bearbejdede fjer og dun samt varer af fjer og dun; kunstige blomster; varer af menneskehår
XIII	Varer af sten, gips, cement, asbest, glimmer og lignende materialer; keramiske produkter; glas og glasvarer
XIV	Naturperler, kulturperler, ædel- og halvædelsten, ædle metaller, delmetaldubløbe samt varer af disse materialer; bijouterivarer; mønter
XV	Uædle metaller og varer deraf
XVI	Maskiner og apparater samt mekaniske redskaber; elektrisk materiel; dele dertil; lydoptagere og lydgendivere samt billed- og lydoptagere og billed- og lydgendivere til fjernsyn; dele og tilbehør dertil
XVII	Transportmidler
XVIII	Optiske, fotografiske og kinematografiske instrumenter og apparater; måle-, kontrol- og præcisionsinstrumenter og -apparater; medicinske og kirurgiske instrumenter og apparater; ure; musikinstrumenter; dele og tilbehør dertil
XIX	Våben og ammunition samt dele og tilbehør dertil
XX	Diverse varer
XXI	Kunstværker, samlerobjekter og antikviteter

I nogle sammenhænge arbejdes med andre klassifikationer af varer. Således er Eurostat's indfaldsvinkel i forbindelse med MFA (jf. kapitel 6) en opdeling, hvor varer klassificeres på det overordnede plan efter forarbejdningsgrad: Råstoffer (raw materials), halvfabrikata (semi-manufactured goods) og færdigvarer (finished goods). Hver af disse grupper er opdelt mere detaljeret efter varetyper (Eurostat 2000).

2.4 Klassifikation af affald og emissioner

For den indenlandske økonomi finder vi på outputsiden – ud over eksporten af varer – affald og emissioner af forskellige stoffer. Når hele økonomien

betragtes, og der anlægges et overordnet syn på de fysiske strømme fra økonomien til miljøet, er det nødvendigt med et bredt affalds- og emissionsbegreb. I tabel 2.6 ses en overordnet klassifikation af affald og emissioner:

Tabel 2.6
Klassifikation af affald og emissioner m.m. (output).

Emissioner og affald

- Emissioner til luft
 - CO₂
 - SO₂
 - NO_x
 - etc.
- Emissioner til vand
 - N
 - P
 - Andre stoffer
 - Dumping og klapping af materialer
- Fast affald

Spredning af varer og spredte tab

- Spredning af varer på landbrugsarealer
 - Handelsgødning
 - Husdyrgødning
 - Slam
 - Kompost
 - Pesticider
 - Såsæd
- Spredning af varer på veje
 - Saltning og grusning af veje
- Spredte tab
 - Dæk- og bremseslud
 - Kemikalieudslip ved uheld
 - Lækager (naturgas, etc.)
 - Korrosion af bygninger og anlæg

Eventuelt memoposter (til brug ved balancering af input og output)

- Vanddamp fra forbrænding
- Vandfordampning fra produkter
- Respiration fra mennesker og husdyr

Ubrugte ressourcer

- Ubrugte ressourcer fra minedrift
- Ubrugte ressourcer fra biomassehøst
- Jord m.m.

Kilde: Baseret på Eurostat, 2001

Klassifikationen af strømmene af affald og emissioner mv. inkluderer en række strømme af varer (spredning af varer), der normalt ikke opfattes på linje med fast affald og emissioner mv. Det virker måske i første omgang ulogisk, men da formålet med denne klassifikation er at redegøre for de fysiske strømme fra økonomien til miljøet, er det nødvendigt at medregne strømmene af de varer, der tilsigtet eller utilsigtet spredes i miljøet. Modstykket til at fx gødningsstoffer medregnes på økonomiens outputsiden er, at en del af næringsstofferne i princippet medregnes på inputsiden i forbindelse med opførelse af høstudbyttet.

I konkrete tilfælde må klassifikationen af strømmene af affald og emissioner mv. naturligvis gøres mere detaljeret, således at den kommer til at afspejle det formål, der er knyttet til opførelsen af de fysiske strømme ud af økonomien og således, at der er konsistens mellem det niveau, der findes for de fysiske

strømme ind i og internt i økonomien på den ene side og strømmene ud af økonomien på den anden side.

Fast affald er i klassifikation vist som en enkelt kategori. I praksis kan der fx foretages en kategorisering af affaldsstrømmene efter de kategorier, der findes i affaldsstatistikken (ISAG). Man skal dog her være opmærksom på, hvor man lægger skillelinjen mellem økonomi og miljø. I visse sammenhænge (MFA) vil det således være relevant at opfatte strømme af affald til videre behandling – fx forbrænding – som strømme, der foregår *i* økonomien, hvorved de eneste strømme af fast affald **ud af** økonomien vedrører affald, der deponeres.

2.5 Detaljeret gennemgang af affald og emissioner

2.5.1 Emissionernes dannelse

Udnyttelse, bearbejdning og brug af råstoffer medfører emissioner retur til naturen. Således ender alle råstoffer i sidste ende som emissioner.

I affalds- og spildevandsbehandlingen søges de skadelige virkninger af emissionerne begrænset ved at omdanne de enkelte stoffer gennem fysisk, kemiske og biologiske metoder til mindre skadelige stoffer og/eller udledning til en anden sfære. Ved biologisk aerob og anaerob nedbrydning – respiration og forgæring – omdannes de organiske affaldsstoffer til højentropi kuldioxid, methan, kvælstof- og fosforforbindelser, mineraler og mellemtropi humus.

2.5.2 Opdeling af emissioner

Emissionerne kan opdeles på forskellige måder efter:

- den del af økonomien, der udleder dem: Råstofekstraktion, produktion, forbrug eller affalds- og spildevandsbehandling
- hvilken type emissioner: Stoffer, energi eller entropi
- hvilke råstoffer de stammer fra, såsom fossile brændsler, mineraler, tømmer og afgrøder
- hvilke grundstoffer de består af, såsom kvælstof, kulstof og tungmetaller
- hvilke sfærer i naturen, de udledes til: Atmosfæren (luftforurening), hydrosfæren (vandforurening), litosfæren (jordforurening) og biosfæren (biodiversitet, farlige stoffer)

I det følgende beskrives fortrinsvis udledning af stoffer. Beskrivelsen er organiseret efter opdelingen på, hvilke råstoffer emissionerne stammer fra.

2.5.3 Emissioner fra fossile brændstoffer

Ved udvinding af olie og gas fra havbunden skabes emissioner (ubrugte ressourcer) i form af flaring, boremudder og produktionsvand. Ved brydning af kul skabes emissioner (ubrugte ressourcer) i form af overjord og mineaffald.

Under transport og brug sker emissioner i form af direkte tab som fx: Oliespild fra skibe samt olie- og benzinspild fra olietanke og benzinstationer. Der sker spild både til havmiljøet, jordmiljøet og grundvandet.

De væsentligste emissioner fra fossile brændstoffer dannes ved forbrændingen i form af:

- Gasformige emissioner: Drivhusgasser (CO₂, CO), forsurende gasser (SO₂, NO_x) og eutrofierende gasser (NO_x)
- Partikulære emissioner: Partikler, flyveaske, tungmetaller
- Restprodukter: Slagge, flyveaske og tungmetaller

Der er mængdemæssigt tale om meget store emissioner fra forbrændingen.

2.5.4 Emissioner fra radioaktive stoffer

Ved udvinding af uran og plutonium dannes mineaffald, ligesom der dannes affald under oparbejdningsprocessen til atomart brændsel. Noget af dette affald er radioaktivt.

Fra atomreaktorer består emissionerne primært af det radioaktive brugte brændsel, mindre skadeligt kølevand, spildvarme samt radioaktive konstruktionsdele ved skrotning af forældede atomkraftværker. Såfremt radioaktivt materiale har været uhensigtsmæssigt opbevaret, kan jorden under atomkraftværket være radioaktivt forurenet. Brugt atombrændsel kan delvist oparbejdes til nyt brændsel. Oparbejdningsprocessen er imidlertid også behæftet med radioaktive emissioner og affaldsstoffer. Radioaktivt affald må i sidste ende deponeres dybt i undergrunden for ikke at medføre alvorlige risici for miljøet i biosfæren.

En særlig risiko er uheld på atomkraftværker – som i Tjernobyl – der kan forårsage luftbåren radioaktiv forurening i meget store områder og alvorlige helbredsrisici i nærområder.

Den væsentligste risiko ved atomkraft er imidlertid anvendelsen til atombomber. Således er den ultimative trussel mod menneskeheden og livet på jorden en altødelæggende atomkrig. Der findes i dag kernevåben nok til at slå hele menneskeheden ihjel adskillige gange og ødelægge alt liv på jorden. Det er ikke for ingenting, at atombomben fra første færd blev døbt "dommedagsbomben".

Den væsentligste risiko ved atomkraftværker er risikoen for, at spredningen af kernevåben øges dels mellem de enkelte stater og dels i forbindelse med terrororganisationer.

Da mennesket historisk altid har anvendt de våben, det har udviklet, er kontrollen med kerneenergien menneskehedens største problem.

2.5.5 Emissioner fra kemiske produkter

I den kemiske industri syntetiseres et utal af kemiske forbindelser ud fra olieprodukter, metaller og andre råstoffer. I den kemiske industri omdannes således råstofferne til nye stoffer – nye kemiske forbindelser. Nogle af disse kemiske stoffer kendes ikke i miljøet og kaldes miljøfremmede stoffer.

Mange af disse miljøfremmede stoffer har skadelige virkninger på miljøet og livet. Emissioner af farlige kemiske stoffer kan opdeles efter arten og styrken af deres skadevirkning. Der kan være tale om toksiske stoffer, hormonforstyrrende stoffer, cancerogene stoffer, allergifremkaldende stoffer, persistente og bioakkumulerende stoffer.

Emissionerne af farlige kemikalier sker kun i begrænset mængde under og lige efter syntesen, mens de største mængder frigives under anvendelsen i produktion og forbrug. Dog er der sommetider en særlig lokal risiko ved kemiske anlæg i form af uheld og bortskaffelse af kemikalieaffald.

De farlige kemiske stoffer kan påvirke mennesker og dyr ved direkte overførsel eller ved indirekte overførsel, hvor de farlige stoffer er blevet bioakkumuleret gennem fødekæden.

2.5.6 Emissioner fra metalliske mineraler

Ved udvinding af mineraler sker emissioner i form af overjord og mineaffald.

Ved selve udvindingen af metaller fra malmen dannes betydelige mængder emissioner af dels malm og dels energi- og hjælpestoffer. Disse emissioner under oparbejdning har forskellige grader af skadelige virkninger på miljø og sundhed. Således anvendes cyanid og arsen i store mængder ved udvinding af visse ædelmetaller, store mængder kul forbrændes ved udsmeltning af jern, og store elektricitetsmængder anvendes ved udvinding af aluminium fra bauxit. Store mængder tungmetaller udledes med den ubrugte malm under oparbejdningen af tungmetaller.

Under produktion, forbrug og skrotning af produkter sker en betydelig emission af tungmetaller til naturen.

2.5.7 Emissioner fra ikke-metalliske mineraler

De væsentligste ikke-metalliske mineraler er:

- Sten, sand, grus og ler, som primært anvendes til bygge og anlæg
- Fosfat, potaske, kalk, gips og soda, som anvendes til forskellige formål, især jordforbedring og bygge og anlæg

Emissionerne fra udvinding af sten, sand, ler og grus er primært overjord ved udvinding på land. I selve udvindingen er emissionerne ikke det væsentligste problem, men derimod ødelæggelsen af det naturområde, som udvindingsstedet udgør. Der kan være tale om udgravning af en smuk landskabsværdi, som en ås, eller af havbund og havmiljø ved ralgravning.

Under oparbejdning af ler til tegl, sand til glas og kalk til brændt kalk anvendes store energimængder, som giver emissioner af drivhusgasser. Gips dannes i dag primært ud fra afsøvlingen af kraftværksrøg: Et eksempel på, at en industriel affaldsstrøm kan bruges som råstof til nyttige produkter (industriel symbiose).

Ved nedrivning af bygge- og anlægskonstruktioner dannes store affaldsmængder. I Danmark genanvendes imidlertid i dag størstedelen af affaldet fra bygge og anlæg.

Fosfor kan ved overdreven gødskning give betydelige emissioner af fosfor til søer og fjorde. Herved kan der opstå alvorlige problemer med eutrofiering, som kan forårsage iltmangel og fiskedød.

2.5.8 Emissioner fra tømmer

Ved hugst af tømmer dannes emissioner (ubrugte ressourcer) i form af afhugget løv. De væsentligste skader på miljøet fra hugst af tømmer er imidlertid ikke de ubrugte ressourcer, men:

- reduktionen i biodiversitet
- ødelæggelse af oprindelige folks livsbetingelser
- hugst af langsomt voksende træarter, som mahogni, teak og lignende
- hugst af tropisk regnskov
- fragmentering af økosystemer
- reduktionen i optaget af kuldioxid
- risiko for erosion
- risiko for oversvømmelser

Under oparbejdning af tømmer til møbler, byggetræ eller papir sker emissioner af drivhusgasser fra energiforbruget og vandforurening fra papirproduktionen. Et særligt problem er tilsætningsstofferne:

- imprægneringsmidler, lak, maling, lim til byggetræ og møbler
- blegningsmidler, hvidtningsmidler, bindemidler, biocider til papir

Disse skadelige virkninger kan reduceres ved at indføre bæredygtig skovdrift og bæredygtig produktion.

2.5.9 Emissioner fra afgrøder og husdyr

Ved høst af afgrøder dannes emissioner (ubrugte ressourcer) i form af høstaffald. Ofte pløjes høstaffaldet ned og medvirker til opbygning af jordens struktur og humuslager. I Danmark indsamles halm til strøelse og energiproduktion på kraftværker. Den væsentligste miljøpåvirkning ved dyrkning og høst af afgrøder er ikke de ubrugte ressourcer men:

- emissioner af gødningsstoffer til grundvand og vandmiljøet (eutrofiering)
- emissioner af sprøjtemidler til grundvand, overfladevand, dyreliv og mennesker via produkterne og drikkevandet
- ødelæggelse af naturområder ved den oprindelige omdannelse til landbrugsjord
- reduktion i biodiversiteten
- øget risiko for oversvømmelser
- erosion
- manglende tilbageholdelse af vand i drænedede engområder
- ødelæggelse af naturområder ved dræning og tørlægning

En betydelig del af høsten anvendes som foder til husdyr. Størstedelen af det fortærede foder kommer retur i form af emissioner i forskellige tilstandsformer:

- gas: Ammoniak, metan
- væske: Gylle
- fast stof: Møg

Disse emissioner er stærkt belastende for vandmiljøet (eutrofiering og fiskedød), grundvandet (højt nitratindhold), sårbare naturområder som lyng

og højmoser, naboer i form af lugtgener samt bygningsværker i form af algebegrøning.

2.5.10 Emissioner fra udnyttelse af fisk

Under selve fangsten er der emissioner i form af udsmid samt emissioner fra fiskerbåde i form af drivhusgasser, afsmitning fra toksisk bundmaling og oliespild. De alvorligste miljøproblemer ved selve fangsten er imidlertid reduktionen af arter i havet, som giver dramatiske tilbagegange i bestandene og reducerer biodiversiteten.

Ved oparbejdningen af fisk på land er der især store emissioner af organisk stof og næringsstoffer til havet fra produktionen af fiskemel. I Danmark renses spildevandet fra størstedelen af fiskeindustrien.

2.5.11 Fast affald

I Danmark indsamles det meste vandige og faste affald, hvorefter det behandles i sektoren for affalds- og spildevandsbehandling. Ved denne behandling returneres og oparbejdes en del af affaldet til genanvendelse, noget forbrændes og bliver til gasser og restprodukter, mens andet deponeres.

I Danmark er problemerne med fast affald især knyttet til:

- stigende affaldsmængder
- emissioner fra affaldsforbrænding: Dioxin, drivhusgasser, forsurende og eutrofierende gasser, tungmetaller
- emissioner fra lossepladser og depoter, især depoter for slagge og flyveaske fra kraftværker og affaldsforbrænding
- emissioner fra gamle lossepladser uden membraner og med organisk affald, der giver emission af metan
- landareal, der optages af lossepladser og forbrændingsanlæg samt deres påvirkning af naboer
- vedrørende genanvendelse: arbejdsmiljø, kvalitet af materialer og emissioner ved genanvendelse

I Danmark er de faste affaldsstrømme, som volumenmæssigt betyder mest:

- Papir og pap
- Bygge og anlæg
- Slagge og flyveaske samt røggasreningsprodukter

En stor del af disse affaldsstrømme bliver genanvendt.

Ved forbrænding af affald dannes røggasser, som forurener med drivhusgasser, dioxin, eutrofierende og forsurende stoffer, tungmetaller samt partikler. Udledningen af dioxin, eutrofierende og forsurende stoffer samt tungmetaller og partikler søges i EU minimeret ved rensning af røggasserne. Herved overføres en stor del af stofferne til flyveasken. Drivhusgasserne kan imidlertid ikke fjernes ved traditionel røggrensning. Som restprodukter fra forbrændingen er endvidere slagger, som indeholder forskellige salte med let- og tungmetaller.

Deponering af affald på kontrollerede lossepladser kan forurene omgivelserne primært gennem udsivning af perkolat til afledning eller til grundvand. Dette medfører en vis forurening af grundvand og overfladevand.

Ofte ledes det opsamlede perkolat til kommunalt renseanlæg før udledning, hvilket begrænser forureningen. Nedsivning af perkolat til grundvand søges hindret ved foring af lossepladser med plastmembraner og/eller en lermembran. Over lang tid vil plastmembranerne imidlertid perforeres. Lermembraner er aldrig helt tætte, upolære kemikalier passerer lige gennem leren, og der vil over tid formodentlig dannes revner og sprækker i lermembranerne. Perkolatets indhold af tungmetaller og små mængder af farlige kemikalier er den primære risiko ved perkolatdannelsen.

Nogle steder i udlandet (og tidligere også i Danmark) deponeres brændbart organisk affald på lossepladser, ligesom lossepladserne ofte ikke har en ordentlig membran og ikke er ordentligt kontrollerede. Sådanne lossepladser udgør en betydelig miljø- og sundhedsrisiko pga. smitstoffer, farlige kemiske stoffer, udsivning af methangas og stærkt forurenede perkolat.

Ved affaldshåndtering er det vigtigt, at arbejdsmiljøet sikres over for tunge løft, smitstoffer, skadedyr, lugt, farlige kemikalier og farlige gasser. Dette gælder både indsamling, sortering, behandling, oparbejdning og genbrug af affald.

Ved genanvendelse af affaldet skal der tages hensyn til både arbejdsmiljøet, forbrugersikkerheden og skæbnen for tungmetaller og farlige stoffer i det genanvendte affald. Der kan i denne forbindelse være behov for "detoxificering" af affaldet.

Konsekvenserne for miljø og sundhed vedrørende affald er således meget afhængig af, hvordan affaldet håndteres.

2.6 Materialer og stoffer

I de foregående afsnit har fokus været på strømmene af naturressourcer, varer, og brede grupper af affald og emissioner, dvs. at strømmene har været beskrevet ved hjælp af de "enheder", som strømmene normalt observeres i. Det er bl.a. de enheder, som dataindsamling og statistiske opgørelser benytter.

Ved vurdering af knaphed og/eller miljø- og sundhedseffekter kan det dog være mere hensigtsmæssigt at udtrykke strømmene i **materiale-** eller **stofenheder**, som er mere homogene enheder med mere ensartede fysiske karakteristika end de førnævnte. Når dette kan være ønskværdigt, kan det være, fordi strømmene af stoffer momentant er et problem, eller fordi akkumulering af stofferne i miljøet eller organismer udgør et problem. Som eksempler kan nævnes, at kvælstofstrømme giver anledning til eutrofiering, CO₂ giver anledning til drivhuseffekt, og tungmetalakkumulering giver helbredsskader. Interessen for at belyse strømmene af enkelte materialer (eller enkelte varer) kan også være knyttet til specifikke miljø- og helbredsproblemer, fx er interessen for at følge energivarer i høj grad knyttet til de afledte miljøproblemer. Men interessen for materialestrømmene kan naturligvis også være afledt af ønsker om at optimere eller effektivisere brugen af materialerne ud fra økonomiske hensyn.

Selvom materialer således kan være et mere hensigtsmæssigt begreb som udgangspunkt for en vurdering af strømmenes betydning, er det dog også – generelt set – et mindre veldefineret begreb end fx naturressourcer og varer. I (Hansen 1995) (Miljøprojekt nr. 281 om miljøvurdering af industriprodukter) defineres materialer, som de "byggesten", som industriprodukter er sammensat af, og det nævnes, at materialer reelt set er et mellemstadium mellem kemiske stoffer og produkter. Et mellemtrin som ikke kan defineres entydigt, men som alligevel er meningsfuldt (Hansen 1995, s. 23).

I tabel 2.7 vises den overordnede pragmatiske klassifikation af materialer, som (Hansen 1995) opstiller. Hver af disse overordnede grupper er dog underopdelt i en række mere homogene materialer.

Tabel 2.7
Materialeliste.

- Jern og stål
- Andre metaller
- Glas
- Stenmaterialer
- Vegetabiliske materialer
- Animalske materialer
- Gummimaterialer
- Plastmaterialer
- Overfladematerialer
- Kemiske materialer
- Diverse
- Sekundære materialer

Materialelisten er opstillet ud fra et ønske om, at materialerne skal afspejle væsentlig forskellige ressourcemæssige, energimæssige og miljømæssige forhold samtidigt med, at det skal være muligt at skelne mellem materialerne i industriprodukter. Desuden er listen opstillet således, at antallet af forskellige materialer er begrænset (Hansen 1995, s. 44).

Den sidste gruppe, sekundære materialer, består af materialer, der indeholder en væsentlig andel af genanvendte materialer. På et mere detaljeret plan er der tale om fx støbejern, aluminium, papir, pap, asfalt og emballageglas.

Ønsker man at opgøre fysiske strømme af egentlige materialer som defineret oven for, er det nødvendigt, at basisdata og statistiske oplysninger for naturressourcer og varer mv. konverteres til materialeindhold. Der kan således være tale om, at fx importen af en støvsuger skal konverteres til import af materialer ud fra den mængdemæssige materialesammensætning af støvsugeren. Konverteringen kan fx ske ud fra oplysninger om, at en støvsuger indeholder 11% støbejern og konstruktionsstål, 4% aluminium, 12% polystyren osv. (jf. Hansen 1995, s. 43). (Hansen 1995) indeholder en detaljeret database, der kan bruges til omregning fra varer til materialer, jf. beskrivelsen i kapitel 11.

I tilfælde hvor materialesammensætningen ikke er detaljeret nok til belysning af de miljømæssige konsekvenser af de fysiske strømme, kan strømmene (i visse tilfælde) opgøres som stofstrømme, dvs. at opgørelsen af de fysiske strømme konverteres til stofstrømme fx strømme af kulstof, strømme af nitrogen, strømme af fosfor osv. På samme måde som for materialernes vedkommende er det nødvendigt at omregne fra de statistiske enheder til rene stoffer. Dette kan eventuelt ske ved, at man går en omvej via en materialestrømsopgørelse og videre derfra til stoffer.

I visse tilfælde er der et helt eller delvist overlap mellem de forskellige opgørelser. Således er der materialer eller stoffer, som i mere eller mindre ren form handles, og dermed er en vare. Det gælder fx for jern, ilt og brint.

3 Miljø- og sundhedseffekter

3.1 Bæredygtig udvikling

For at afgrænse materialestrømme, som har væsentlig indflydelse på miljø og sundhed, er det nyttigt at tage udgangspunkt i begrebet om bæredygtig udvikling ifølge Brundtland-Kommissionens rapport om miljø og udvikling (World Commission on Environment and Development 1987). Begrebet "bæredygtig udvikling" udfoldes videre i det følgende ved brug af begrebet "økologisk råderum", som introduceredes i Wuppertal Instituttets rapport til Friends of the Earth "Mod et bæredygtigt Europa" (1995). Idet der fokuseres på velfærd, miljø og sundhed, kan bæredygtig udvikling her udmøntes i følgende kriterier:

Vedrørende velfærd:

- A) Velfærdskriteriet skal overholdes: Ethvert menneske skal have tilfredsstillet sit grundlæggende behov for føde, rent vand, bolig, tøj, uddannelse og sociale behov, og fattigdom er uacceptabelt. Imidlertid er velfærden i dag globalt ulige fordelt med omkring 1,2 mia. mennesker, der tjente mindre end 1 \$ om dagen i 1998 (World Bank 2000/2001).

Vedrørende sundhed:

- B) Sundhedskriteriet: Ethvert menneske har ret til et sundt liv, det vil sige har ret til at leve under hygiejnisk betryggende forhold, sund kost, sund bolig, adgang til behandling i et velfungerende sundhedsvæsen og ret til nødvendig medicin.

Vedrørende miljø:

Emissioner:

- C) Det økologiske råderum (naturens bæreevne eller tålegrænse) for emissioner til naturen må ikke overskrides (Wuppertal 1995). Det økologiske råderum kan defineres som den udledning af emissioner til naturen, naturen kan omsætte, og som ikke ændrer tilstanden i naturen i uacceptabel grad. Enhed: tons/år eller tons/person/år.

Ikke-fornyelige ressourcer:

- D) Det økologiske råderum for ikke-fornyelige ressourcer må ikke overskrides (Wuppertal 1995). Udnyttelsen af ikke-fornyelige ressourcer skal være mindre end eller lig med tilvæksten i mængden af kendte ekstraherbare ikke-fornyelige ressourcer, som kan ekstraheres med dagens til rådighed værende teknik og til mindre end tre gange de sidste 10 års gennemsnitspris. Ikke-fornyelige ressourcer skal beskyttes mod forurening, nedbrydning og fragmentering.

Fornyelige ressourcer:

- E) Det økologiske råderum for fornyelige ressourcer må ikke overskrides: Udnyttelsen af fornyelige ressourcer skal være mindre end eller lig med naturens genskabelse af de fornyelige ressourcer. De fornyelige ressourcer skal beskyttes mod forurening, nedbrydning og fragmentering (i en sådan grad, at naturens kapacitet til at regenerere ikke-forurenede fornyelige ressourcer ikke reduceres).

Dele af naturen, ressourcer og økosystemer, som er alvorligt truede, udnyttet eller forurenede ud over naturens bæreevne er (kriterierne A-E er i parentes):

- atmosfæren i relation til temperatur, klima og ozonlaget (A, B, E)
- luftkvaliteten i byerne (B, E)
- biodiversiteten (D)
- skove, især upåvirkede skove og regnskove (A, B, C, D, E)
- anden terrestisk upåvirket natur
- frugtbare arealer, som er truet af erosion og ørkendannelse (A, B, C, D, E)
- olie- og gasfelter (A, B, D)
- værdifulde metaller (A, B, D)
- rent ferskvand til forsyning af husholdninger, industri og landbrug (A, B, C, E)
- vandområder: Søer, vandløb, floder, kystzoner og oceaner (A, B, C, E)
- fiskebestandene (A, B, C, E)

Som det ses af ovenstående, er de fleste dele af naturen både vigtige for velfærd, sundhed, ressourcer og emissioner (recipienter). Interaktionen mellem mennesket og naturen er ekstremt kompleks og kræver – og har krævet – en stor videnskabelig indsats for at finde sammenhængen mellem materialestrømmene og deres mangfoldige påvirkninger af velfærd, miljø og sundhed.

3.2 Risikovurdering

Massestrømmenes påvirkning af miljø og sundhed kan evalueres ved en **risikovurdering**. **Risikoen** defineres som **sandsynligheden for, at en hændelse indtræffer ganget med konsekvenserne af hændelsen (Miljørådet, ATV 2002).**

Konsekvenserne vedrørende bæredygtig udvikling vedrører menneskeheden og plante/dyrelivets skæbne og livsbetingelser på kloden. Konsekvenserne kan søges opgjort som antal dødsfald, sygdomstilfælde, epidemier, flygtninge, hungersnød, fattigdomstilfælde, velfærdstab, tab af biodiversitet, tab af oprindelig natur som regnskov og koralrev, tab af heder, enge og bøgeskov, eutrofieringen af havet, globale klimaforandringer, ozonlagets tykkelse mv. I forhold til bæredygtig udvikling, skal der vurderes på konsekvenserne over mange fremtidige menneskegenerationer. Jo længere ud i fremtiden konsekvenserne estimeres, desto større bliver usikkerheden, hvilket er et velkendt resultat af kaosteorien. Tidsperspektivet bør – afhængig af hændelsens type – strække sig op til 500 år frem i tiden.

Her bør **forsigtighedsprincippet** bringes i anvendelse. Hvor konsekvenserne af en handling er delvis ukendte og usikre, skal usikkerheden komme livet og miljøet til gode.

Det er således vigtigt at bestemme:

- mulighederne for at reducere de pågældende skadelige materialestrømme og i hvilket tidsperspektiv
- årsagsvirkningsforholdet og sandsynligheden for den pågældende sammenhæng

Sandsynligheden for, at hændelsen indtræffer, kan således opdeles i sandsynligheden for at materialestrømmene vokser/falder og sandsynligheden for, at en bestemt virkning indtræffer som følge af materialestrømmens påvirkning.

Årsagsvirkningsforholdet er vigtigt at analysere og vurdere sandsynligheden for. At finde sammenhængen mellem årsag og virkning er imidlertid en vanskelig øvelse i forskningen vedrørende bæredygtig udvikling pga. den store grad af kompleksitet i de involverede systemers gensidige dynamik. Da den heraf opståede usikkerhed begrænser forudsigeligheden, bliver forsigtighedsprincippet så meget desto mere vigtigt.

Endnu et forhold bør inddrages i risikovurderingen: Er hændelsen og konsekvensen **reversibel eller irreversibel**? Irreversible konsekvenser er mere alvorlige end reversible hændelser og må derfor tillægges betydeligt større vægt på konsekvenssiden end reversible hændelser (alt andet lige). I nærværende kontekst skal irreversible forandringer ikke forstås strengt termodynamisk, men skal forstås som forandringer, som mennesket ikke er i stand til at reversere, fx:

- 1) indfange toksiske stoffer, som er spredt i naturen
- 2) genskabe oceanstrømme, hvis de først er ændret
- 3) genskabe levende arter, hvis de først er uddøde

Konsekvenserne af de menneskeligt igangsatte materialestrømme kan vurderes i forhold til **naturens bæreevne**. Den belastning, som ikke går ud over naturens bæreevne, udtrykkes ofte som det **økologiske råderum** (Wuppertal 1995). Jo mere naturens bæreevne eller det økologiske råderum er overskredet, desto større er påvirkningen og dermed ændringen af naturen. Jo større ændring af naturforholdene, desto større er konsekvenserne i risikovurderingen. I en risikovurdering vil en undersøgelse af materialestrømmene og ressourcernes ødelæggelse i forhold til naturens bæreevne derfor være væsentlig.

I tabel 3.1 vises nogle **eksempler** på ressourcernes og materialestrømmenes påvirkning af miljø og sundhed:

Tabel 3.1
Ressourcer og materialeflows med forårsagede miljø- og sundhedsbelastninger.

Ressourcer	Forny F/I *)	Miljøbelastning	Sundhedsbelastning
Kul Olie	I I	Restprodukter forbrænding Luftforurening (partikler) Forsuring (SO ₂ , NO'er) Eutrofiering (NO'er)	Luftvejssygdomme Tungmetaller Sygdomme som følge af klimaændringer: Smitsomme sygdomme, sult, vandmangel, mv.
Naturgas Biomasse	I F	Klimaændringer (drivhusgasser: CO ₂ , CO, CH ₄ , mv.)	
Uran, Plutonium	I	Restprodukter atomkraft, atombomber	Cancer, strålesyge, udslettelse
Sølv Kviksølv Cadmium Kobber Chrom Nikkel Tin Bly	I I I I I I I I	Opkoncentreres i fødekæden Angriber organer og nervesystem i dyr	Påvirkning af organer: Hjerne, nervesystem, nyrer, lever, kønsorganer
Aluminium Jern	I	Energiforbrug til ekstraktion og oparbejdning	
Fosfor	I	Eutrofiering	Giftige alger
Kvælstof	F	Eutrofiering NO ₃ +NO ₂ i drikkevand Biodiversitet	Giftige alger Udrikkeligt: Mavecancer, blå babyer
Ædelt træ	F/I	Ødelæggelse af regnskov Biodiversitet	Livsbetinger for urskovsfolk
Biodiversitet	I/F	Biodiversitet	Reduceret genpulje og antal individer til fødevarer, medicin, fibre mv.
Rent drikkevand	F/I	Forurening fra landbrug, spildevand og forbrændingsgasser	Kolera, hepatitis, tyfus Cancer, blå babyer Farlige kemikalier
Rent fiskevand	F	Forurening fra landbrug, spildevand og forbrændingsgasser	Tungmetaller i fisk og skaldyr Farlige kemikalier i fisk og skaldyr Smitsoffer i skaldyr Iltmangel - udryddelse
Flow af syntetiserede stoffer:			
Farlige kemikalier		Toxiske, hormonforstyrrende, persistente og bioakkumulerbare	Cancer, hormonforstyrrelser, allergi, organskader

*) F = Fornyelige ressourcer. I = Ikke-fornyelige ressourcer.

3.3 Afgrænsning af væsentlige materialestrømme

Der foretages nu en simpel kvalitativ risikovurdering af væsentlige danske materialestrømmes direkte effekt på miljø og sundhed i Danmark og globalt. De materialestrømme, som har den mest alvorlige direkte påvirkning af miljø og sundhed og er relateret til dansk forbrug af materialer og energi, afgrænses således ved en risikovurdering:

Materialestrømme:

- Fossile brændstoffer
- Tungmetaller
- Farlige kemikalier

- Kvælstofforbindelser

Arealanvendelsen har også en væsentlig påvirkning af miljø og sundhed som påvist af (Spangenberg 2002). For Danmark afgrænses den arealanvendelse, der forårsager:

- Ødelæggelse af økosystemer og reduktion af biodiversitet

3.3.1 Fossile brændstoffer

I Danmark er de centrale kraftværker primært baseret på importeret kul, mens hovedparten af den dansk producerede olie eksporteres. Centrale kraftværker, trafik, huse og industri er de væsentligste forbrugere af fossile brændstoffer i Danmark.

Dansk udvinding af råolie og naturgas har fundet sted siden starten af 1980'erne. Danmark er herved i dag selvforsynende med energi. Ressourcen har stor samfundsøkonomisk betydning – ikke mindst i relation til betalingsbalancen. En fortsat udvinding af råolie og naturgas mindsker alt andet lige importen af energi, herunder importen af kul.

Brugen af olie og naturgas fører til luftforurening og CO₂-udslip. Dog er brug af naturgas – og til dels olie – fordelagtig i forhold til fx brugen af importeret kul. I forbindelse med udvindingen finder der afbrænding af naturgas sted (flaring), ligesom der med boremudder mv. sker en vis forurening af havmiljøet.

Olie er en knap global ressource, og ressourcen er fordelt ulige på få nationer. Olie er en vigtig ressource i industrialiserede økonomier, og olie har været årsag til konflikter og krige i de sidste 100 år.

(IEA 2002) ekstrapolerede verdens forbrug af fossile brændstoffer og fandt, at CO₂-emissionerne vil øges med omkring 70% i perioden 2000-2030. Stigende emissioner af CO₂ vil forårsage stigende koncentrationer af CO₂ i atmosfæren. Stigende koncentrationer af drivhusgasser i atmosfæren vil øge drivhuseffekten og skabe klimaændringer. Klimaændringer vil sandsynligvis skabe tørke, vandstandsstigninger, ekstremt vejr, oversvømmelser, sult, sygdomme, fattigdom, flygtninge og mange dødsfald (IPCC 2001).

De væsentligste drivhusgasser er: CO₂, CH₄, HFC-CFC-CF-gasser, ætere, O₃ og N₂O (IPCC 2001). CO₂ har den største betydning for drivhuseffekten på grund af de store mængder, mens HFC-gasser, CF-gasser og ætere har det største drivhuspotentiale (Global Warming Potential-GWP) pr. kg. De enkelte drivhusgassers drivhuspotentiale over en 100 årig periode er (IPCC 2001): CO₂ (1), CH₄ (23), N₂O (296), HFC-gasser (12-12.000), CF-gasser (8.600-12.000), ætere (1-15.000). CO₂ står for ca. 64% af den menneskeskabte globale opvarmning, CH₄ for ca. 20%, N₂O for ca. 6% og industrigasserne for ca. 10% af opvarmningen (Statistisk Årbog 2002).

Koncentrationen af drivhusgasser i atmosfæren er fra det før industrielle niveau i 1750 til 1998 steget som følger (IPCC 2001):

Tabel 3.2
Stigende koncentrationer af drivhusgasser i atmosfæren.

	Enhed	CO ₂	CH ₄	N ₂ O	CFC-11	HFC-23	CF ₄
1750	ppm	280	700	270	0	0	40ppt
1998	ppm	365	1745	314	268ppt	14ppt	80ppt
Hastighed	ppm/år	1,5	7,0	0,8	÷1,4ppt	0,55ppt	1ppt/år
Atm.levetid	år	5-200	12	114	45	260	>50.000

I 2000 færdiggjorde IPCC en "Special Report on Emissions Scenarios, (SRES)" til erstatning for de 6 scenarier, der udvikledes for IPCC i 1992. Disse nye scenarier – se tabel 3.3 – modellerer perioden 1990 til 2100 og inkluderer forskellige socioøkonomiske antagelser (fx vedrørende befolkningsvæksten og bruttonationalproduktet).

Tabel 3.3
SRES scenarier og effekten på temperatur og vandstand.

År	Global befolkning	Global GDP	Per capita indkomst-forholdet	CO ₂ -koncentrationen	Global temperaturstigning	Global stigning af vandstanden
	milliard	10 ¹² \$/år		ppm	°C	cm
1990	5,3	21	16,1	354	0	0
2000	6,1-6,2	25-28	12,3-14,2	367	0,2	2
2050	8,4-11,3	59-187	2,4-8,2	463-623	0,8-2,6	5-32
2100	7,0-15,1	197-550	1,4-6,3	478-1099	1,4-5,8	9-88

Sandsynligheden for, at de målte stadig stigende koncentrationer af drivhusgasser i atmosfæren vil resultere i temperaturstigninger, er meget stor (IPCC 2001). Hvordan luft- og havstrømme samt temperaturfordelingen vil udvikle sig, er relativt usikkert, men der er stor sandsynlighed for, at luft- og havstrømme vil ændres i både styrke og retning, når der opstår globale temperaturændringer (IPCC 2001). Stigende globale temperaturer og ændrede hav- og luftstrømme vil med stor sandsynlighed skabe klimaforandringer (IPCC 2001). Klimaforandringer vil med stor sandsynlighed skabe tørke, stigende vandstand, afsmeltning af is på polerne og i bjergene, spredning af sygdomme, fattigdom og mange dødsfald (IPCC 2001).

FN's klimapanel (IPCC 2001) beskriver eksempler på følgerne af de fremskrevne ændringer i ekstreme klimabegivenheder som følge af drivhuseffekten:

Tabel 3.4
Ændring af ekstreme klimafænomener.

Fremskrevne forandringer i løbet af det 21. århundrede i ekstreme klimafænomener	Eksempler på fremskrevne effekter (67-95% sandsynlighed)
Stor sandsynlighed (90-99%):	
Højere maksimumstemperaturer, flere meget varme dage og hedebølger over næsten alle landarealer	Øgede tilfælde af død og alvorlige sygdomme blandt ældre mennesker og fattige byboere Skift i turismedestinationer Øget risiko for skader på mange afgrøder
Højere minimumstemperaturer, færre kolde dage, frostdage, kuldebølger over næsten al landareal	Faldende kulde relateret til sygdom og død Større forekomst og aktivitet for nogle skadedyr og sygdomme
Mere intense regnvejrshændelser over mange landområder	Flere oversvømmelser, jordskred, laviner og mudderskred Øget jorderosion
Betydelig sandsynlighed (66-90%):	
Stigende sommertørke over de fleste midt-kontinentale områder på små breddegrader	Faldende ydeevne for afgrøder Ødelæggelse af bygningers fundering Mindsket kvantitet og kvalitet af vandressourcer Øget risiko for skovbrande
Øget tørke og oversvømmelser i forbindelse med El Nino	Faldende produktivitet i landbruget i udsatte områder
Øget variation i nedbør under den asiatiske sommermonsun	Øget størrelse af oversvømmelser og tørke og ødelæggelser i tempereret og tropisk Asien
Øget intensitet af storme på midt-breddegrader	Øget risiko for liv og helbred Øget fattigdom og ødelæggelse af infrastruktur Øget ødelæggelse af økosystemer i kystzoner

Klimaforandringer og ændringer af havstrømmene er formodentlig delvis **irreversible** inden for utallige generationer (IPCC 2001). Det er tvivlsomt, om havstrømme – som Golfstrømmen – kan bringes tilbage til deres oprindelige forløb, hvis de først er vendt (IPCC 2001). Golfstrømmen stabiliserer klimaet i Europa, og at fremprovokere ændringer af Golfstrømmen er at spille hasard med Europa. Menneskeheden foretager i øjeblikket et fuldskalaeksperiment med hele klodens og livets fremtid, hvor konsekvenserne er enorme og delvis ukendte.

Da således sandsynligheden for hændelsen er stor, og konsekvenserne er uhyggeligt store og delvis irreversible, er **udledning af drivhusgasser de højst prioriterede materialestrømme**.

Ud over at forårsage klimaforandringer medfører den stigende globale temperatur en nedbrydning (blegning) af koralrevne. Koralrevne er de biotoper i oceanerne, der har den største og mest værdifulde biodiversitet.

Forbrændingen af kul og olie foranlediger også andre emissioner ud over kuldioxid: Emissioner af partikler, svovldioxid, kvælstofforbindelser og tungmetaller. Selvom danske kraftværker renses røggasserne for en betydelig del af partikler, svovldioxid og kvælstofforbindelser, forårsager forbrændingen af kul og olieprodukter også andre alvorlige påvirkninger af miljø og sundhed:

- emission af kvælstofforbindelser medvirker til eutrofieringen af havet og næringsfølsomme terrestiske biotoper som heder og højmoser
- emission af svovldioxid og kvælstofforbindelser medvirker til forurening af skove, søer og bygninger

- små partikler forårsager åndedrætssygdomme hos byboerne
- tungmetaller spredes via røggasser og fra slagge og flyveaske
- store mængder slagge og flyveaske dannes ved forbrænding af kul
- olieforurening af have, kyster og grundvand
- forurening af grundvand med benzinkomponenter

Reservernes størrelse – udtømmningstiden – for den danske olie og naturgas skønnes til omkring 30 år. Da der således ikke vil være dansk olie- og naturgasreserver til de næste generationer, er bæreevnen for disse ressourcer overskredet på det nationale plan. De globale olie- og gasreserver skønnes til omkring 50 år, hvilket også fortæller, at bæreevnen er overskredet, idet der globalt ikke vil være tilstrækkelige olie- og gasreserver til de næste generationer.

Energibesparelser og fornyelige energikilder er derfor essentielle for at opnå bæredygtig udvikling.

3.3.2 Tungmetaller

Tungmetaller, som spredes i naturen, kan opkoncentreres i fødekæden. Gennem denne bioakkumulation kan dyr og mennesker akkumulere høje koncentrationer af tungmetaller, hvilket kan fremkalde meget **alvorlige og dødelige sygdomme** i nervesystem, hjerne, blodbane, nyrer, hud og andre organer.

Spredningen af disse stoffer i naturen og fødekæden er **irreversibel** – disse stoffer kan aldrig indsamles igen. Selvom produktionen af disse stoffer standsede øjeblikkeligt, vil de fortsætte med at være i biosfæren i mange år fremover.

Konsekvenserne af en spredning af disse stoffer i miljøet og eksponering af mennesker og dyr har derfor alvorlige konsekvenser **Af den grund må reduktion af anvendelsen og spredningen af tungmetaller have meget høj prioritet.**

Mange dyr har akkumuleret så høje koncentrationer af tungmetaller i deres væv, at deres sundhed og reproduktionskapacitet er forringet. Især fisk i tungmetalforurenede vandområder, dyr og mennesker i de arktiske områder og mennesker i luftforurenede byer har for høje koncentrationer af tungmetaller i deres væv. I mange lande opfordres gravide kvinder og børn til ikke at spise for meget fisk pga. helbredsrisikoen fra tungmetallerne, selvom fisk er meget sundt.

Pr. gram tungmetal kan der opskrives følgende omtrentlige rækkefølge for farlighed: Kviksølv, cadmium, bly, tin, zink, nikkel, kobber. Farligheden afhænger dels af, hvilken organisme der betragtes og dels af, i hvilken form tungmetallerne forekommer: Ionogent, kompleksbundet, fast bundet og hvilken kemisk forbindelse.

Flere tungmetaller har en relativ **kort forsyningshorisont**. Således vurderes forsyningshorisonten af (World Watch Institute 2002) for **tin til omkring 20 år** og forsyningshorisonten for **kobber til omkring 30 år**. Efterhånden som metallerne på den ene side bliver sværere at finde og lødigheden forringes og efterspørgslen på den anden side forøges, **vil priserne stige væsentligt.**

Minimering af spild, substituering af tungmetaller med uskadelige stoffer, mere ressourceeffektiv produktion og forbrug, øget genanvendelse og forlænget levetid for produkter indeholdende tungmetaller bliver derfor nødvendig.

3.3.3 Farlige kemiske stoffer

Der udvikles, fremstilles og anvendes stadig flere farlige kemiske stoffer, og myndighederne kan ikke følge med i vurderingen, klassificeringen og reguleringen af alle disse nye stoffer.

Der er i dag omkring 30.000 forskellige kemiske stoffer i omløb i Danmark og EU. Stofferne har vidt forskellig farlighed, og kun nogle få er vurderet af EU for farlighed.

De svært- eller ikke-nedbrydelige og bioakkumulerbare stoffer vil ophobes og opkoncentreres i fødekæden. Herved kan højerestående dyr og mennesker komme til at indeholde en blandet cocktail af et væld af sundhedsskadelige stoffer. Farlige kemiske stoffer giver ***sygdomme som cancer, allergi, hormonforstyrrelser, nerve- og hjernesygdomme, nedsat reproduktionsevne, misdannede fostre mv.***

Sprøjtmidler – som pesticider – er en særlig gruppe kemikalier, der dels spredes i naturen i store mængder og dels eksponerer fødevarer og grundvand, som indtages direkte af mennesket. Således må stadig flere drikkevandsboringer lukkes på grund af for højt indhold af pesticider.

Spredningen af disse stoffer i naturen og fødekæden er ***irreversibel*** – disse stoffer kan aldrig indsamles igen. Selvom produktionen af disse stoffer standsede øjeblikkeligt, vil de persistente af disse stoffer fortsætte med at være i biosfæren i mange år fremover.

Da konsekvenserne for miljø og sundhed er meget alvorlige, og dispersionen af stofferne er irreversibel, ***må reduktion af produktion, anvendelse og spredning af farlige kemiske stoffer have meget høj prioritet.***

3.3.4 Kvælstofforbindelser

Emissioner af kvælstofforbindelser forårsager:

- eutrofiering af fjorde, kystnære områder og havet
- nedsivning af nitrat til grundvandet
- eutrofiering af næringsfølsom terrestisk natur såsom heder og højmoser

De væsentligste kilder til kvælstof er landbruget og forbrændingsprocesser. Også spildevand er en kilde til kvælstof, men i Danmark renses spildevand for kvælstof.

Fra landbruget kommer kvælstof fra handelsgødning og husdyrgødning. Især den store danske svineproduktion forårsager emissioner af kvælstof. Fra forbrændingsprocesser kommer kvælstof fra fossile brændsler og biobrændsler, og udledningerne stammer således fra kraftværker, fyring i huse og fra transport.

De største og væsentligste kvælstofemissioner kommer fra landbruget. Således stammer nitratforureningen af grundvandet i langt overvejende grad fra

landbruget, og omkring 80% af tilførslen af kvælstof til Danmarks fjorde og kystnære områder stammer fra dansk landbrug (Danmarks Miljøundersøgelser 1996).

I Danmark er grundvandet kilden til vandforsyning. Nitratkoncentrationerne i det danske grundvand er stigende, og flere og flere kilder har vand med forhøjede nitratkoncentrationer, som overstiger WHO's grænseværdier. Et for højt indtag af nitrat forårsager mavecancer og blodsygdommen med betegnelsen "blå babyer".

Eutrofieringen af fjorde og kystnære områder forårsager iltsvind, hvilket fører til mere hyppige perioder og større arealudbredelse af fiskedød og svovlbrintedannelse i bundlagene – det såkaldte liglagen.

Landbruget er det mest subsidierede erhverv i Danmark. Ca. halvdelen af landbrugets indtægter er EU-tilskud, som dækkes af produktionen i byerhvervene. Den store landbrugsstøtte i EU og USA hæmmer fattige lande i at producere og eksportere landbrugsvarer. Herved fastholdes den 3. verden i fattigdom med millioner af syge og dødsfald til følge.

Ved husdyrproduktion udnyttes næringsstofferne og energien i plantematerialet 4-10 gange så dårligt som ved tilsvarende produktion af plantenæringsmidler til mennesker. Herved bidrager den overdrevne animalske produktion til fødemangel i den 3. verden.

Årsagsvirkningsforholdet for, at kvælstofemissioner medfører stigende koncentrationer af nitrat i grundvandet og eutrofiering af fjorde og kystnære havområder, er et 100% videnskabeligt faktum. Og da konsekvenserne af kvælstofemissioner er meget alvorlige for både miljø og sundhed, ***må reduktionen af kvælstofemissioner – og især landbrugets kvælstofemissioner – have en meget høj prioritet.***

For at opnå bæredygtighed skal kvælstofemissionerne ca. halveres. Dette skønnes at kunne opnås gennem en kombination af reduceret svineproduktion, teknisk fjernelse af kvælstof fra gyllen, mindre gødskning, omlægning til økologisk landbrug samt omdannelse af landbrugsareal til naturområder og våde enge.

Den danske landbrugsproduktion er ikke bæredygtig pga.:

- emissioner af kvælstof og pesticider
- ødelæggelse og beslaglæggelse af naturområder
- landbrugsstøtten, som er medårsag til fattigdom og sult i den 3. verden

For at opnå bæredygtighed må bl.a. landbrugsstøtten afvikles. En fjernelse af landbrugsstøtten vil positivt medvirke til, at udviklingslandene stilles lige på markedet, og at arealer med ringe udbytte i Danmark tages ud af drift og omdannes til naturområder.

3.3.5 Ødelæggelse af økosystemer og reduktion af biodiversiteten

Mennesket inddrager mere og mere naturareal til eget behov med en voldsom ødelæggelse af økosystemer og reduktion af biodiversiteten til følge. Inddragelsen af areal under menneskelig dominans fører også til øget ekstraktion af ressourcer og øgede emissioner retur til naturen. De

væsentligste årsager til reduktion af biodiversiteten er destruktions og fragmenteringen af økosystemer, deres transformation fra naturområder til landbrug og by/transport samt økosystemernes forurening og ressourceudnyttelse, især jagt på sjældne arter.

Fældning, fragmentering og kultivering af skovene ødelægger skovens økosystemer, reducerer biodiversiteten, forøger risikoen for oversvømmelser og reducerer optaget af kuldiioxid. Omdannelse af naturarealer til industriel landbrugsdrift forårsager forurening af grundvandet med pesticider og kvælstof, eutrofiering af søer, fjorde og havet, omdanner naturlige vandløb til kanaler og forøger risikoen for oversvømmelser og erosion. Gennemskæring af landområder med transportsystemer fragmenterer land- og naturområderne med betydelig reduktion af biodiversiteten til følge.

I Danmark er de naturlige økosystemer og biodiversiteten blevet omfattende ødelagt og reduceret i to perioder i løbet af de sidste 2.000 år. I den første periode omdannedes urskoven til middelalderligt landbrug, og i den anden periode omdannedes middelalderlandbruget til industrielt landbrug med brug af pesticider og kunstgødning til afgrøder og masseproduktion af grise samt omdannelse af håndværk til energiintensiv industrisamfund baseret på fossile brændstoffer og motorisering af transportsystemerne. (Wilhelmudvalget 2001) konstaterede, at tilbagegangen i den danske natur er fortsat de sidste 20 år, og at kvaliteten af Danmarks natur og biologiske mangfoldighed i dag aldrig har været ringere.

Således er det økologiske råderum for økosystemer og biodiversitet voldsomt overskredet i Danmark. Arealet med naturlige økosystemer – som skove – er alt for småt. Der er et alt for stort areal med landbrugsdrift, hvor der overgødes og bruges pesticider. Også særlige fugleområder og tidevandsarealer er truede. ***Derfor må en betydelig forøgelse af økosystemernes og biodiversitetens størrelse og kvalitet have en meget høj prioritet.***

4 Analyseniveauer og modeltyper

4.1 Genstandsfelt og analysemetoder

Hovedemnet for nærværende projekt er forholdet mellem økologi og økonomi, hvor økonomien betragtes som et åbent delsystem af økologien. Der fokuseres især på materiale- og energistrømme, og især på de materiale- og energistrømme, som økonomien påvirker naturen med. Det søges bestemt, hvilke materialestrømme der har den alvorligste påvirkning af naturen, og det søges at udvikle indikatorer for disse materialestrømme og for, hvorledes udnyttelsen af ressourcerne kan effektiviseres.

Observationer, iagttagelser, betragtninger og modeller kan opdeles i to forskellige typer:

- a) Lagringsmodeller, hvor observatøren følger et objekt i dets skæbne. Observatøren kan enten være placeret på objektet, eller observatøren kan befinde sig et fast sted og følge objektet.
- b) Eulerske modeller, hvor observatøren er placeret et fast sted, og iagttager/måler den strøm der passerer forbi gennem et defineret areal.

Disse to iagttagelsesmåder er vidt forskellige og giver forskellige oplysninger og viden. Ofte kan det være nyttigt at bruge begge typer observationer for at få en mere fyldestgørende iagttagelse og beskrivelse af virkeligheden.

Livscyklusanalyser tilhører type a) observationer, mens materiale- og energistrømsanalyser tilhører type b) observationer. Dette projekt omhandler overvejende materialestrømsanalyser (type b), men kommer også ind på livscyklusanalyser (type a).

4.2 Masse, energi og entropi

Da økonomien er en del af økologien og naturen, gælder naturlovene ikke blot for naturen, men også for økonomien. De væsentligste naturlove er i den her beskrevne sammenhæng:

- loven om massens bevarelse
- termodynamikkens 1. hovedsætning: loven om energiens bevarelse
- termodynamikkens 2. hovedsætning: loven om, at entropien stiger i et lukket system

Et grundlæggende argument for at beskæftige sig med materiale-input-opgørelser er det grundlæggende faktum, at alle materialer, der er input i økonomien, på et eller andet tidspunkt forlader økonomien igen. Det gælder uanset, om der er tale om udvundne mineraler, fossil energi, eller fornybare ressourcer fx i form af biomasse fra landbrug, skovbrug eller fiskeri. Som hovedregel er gennemstrømningstiden i økonomien forholdsvis kort –

strækkende sig fra få uger til nogle år. Kun for bygge- og anlægsmaterialer finder vi en generel lang opholdstid i økonomien (op til flere hundrede år). Et grundlæggende princip i materialestrømsregnskaber er, at materialerne ikke forsvinder, uanset hvilke fysiske processer materialerne og energien indgår i. Heraf følger, at når der optræder et input, skal der i et dækkende og konsistent regnskab også redegøres for, hvordan dette input enten akkumuleres i økonomien eller forlader systemet igen. Materialer, der inddrages i økonomien, forsvinder altså ikke igen, de transformeres blot gradvis til former, hvor de som hovedregel er sværere at genanvende.

4.3 Beholdninger og strømme

Der skelnes mellem beholdninger og strømme både i naturen og i økonomien.

I naturen er beholdninger fx mængden af ferskvand, mængden af ædelt træ i regnskove eller mængden af oliereserver. En beholdning kan også være en energimængde, fx kemisk energi lagret i kulreserverne.

I økonomien er beholdningerne de akkumulerede mængder materialer eller energi. De ophobede materialemængder er i forhold til vægt primært infrastruktur og bygninger, men også udvundne ressourcer, maskiner, halvfabrikata og produkter lagret eller under brug i økonomien. De ophobede energimængder er små og består primært af olie- og kullagre.

Materialestrømmene flyder fra naturens beholdninger som ressourcer ind i økonomien, gennem økonomiens beholdninger som varer og retur til naturen som emissioner.

Energistrømmene løber primært fra solindstrålingen ad forskellige veje til termisk varme og refleksion retur til universet. Den modtagne strålingsenergi bliver altovervejende reflekteret direkte eller indirekte via varme retur til universet i en lavere frekvens og højere entropi. En lille del af solenergien bliver via planternes fotosyntese til energi bundet i organisk stof, mens anden solenergi bliver til kinetisk energi i vind og havstrømme eller energi bundet i fordampning af havvand med efterfølgende nedbør.

Forholdet mellem beholdninger og strømme udtrykker opholdstiden af den pågældende strøm i den pågældende beholdning. Således fås fx udtømmningstiden for ressourcer i naturen eller levetiden for materialer i økonomien.

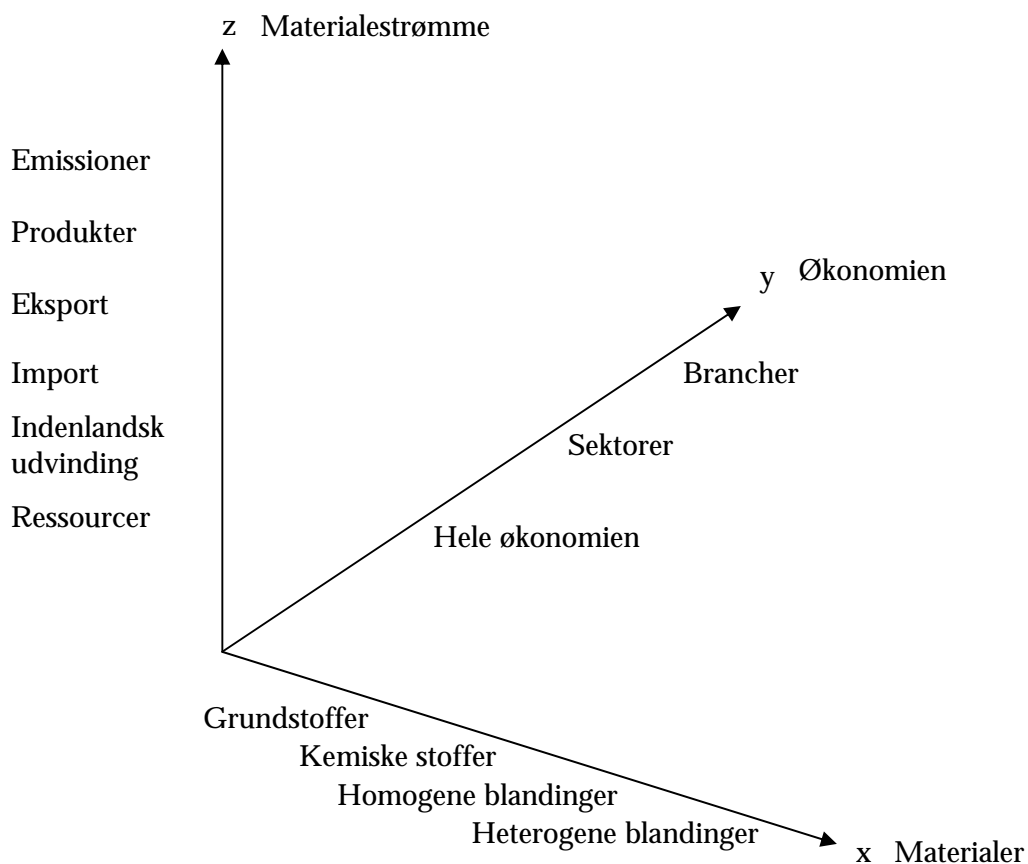
Den egentlige rigdom og velfærd udgøres af beholdningernes størrelse – dels naturens beholdninger og dels beholdningerne i økonomien. Imidlertid sker en øgning af entropien ved at flytte beholdningerne fra naturen til økonomien. Processen er ofte irreversibel, således at der ofte ikke kan skabes nye naturlige ressourcer ud fra varer i økonomien.

Indkomsten er derimod knyttet til strømmene af ressourcer og varer gennem økonomien. Men det er beholdningerne – både dem i naturen og dem i økonomien – som skaber mulighederne for indkomsterne.

Bæredygtig udvikling kan med hensyn til velfærden da udtrykkes som, at både naturbeholdningerne og økonomiens beholdninger pr. menneske skal være lige så store – eller større – ved periodens slutning som ved periodens start.

4.4 Dimensioner

Til beskrivelse af masse- og energistrømme mellem økologien og økonomien er det nyttigt at foretage denne beskrivelse i 3 dimensioner, som vist på figur 4.1.



Figur 4.1
Projektets 3 dimensioner.

Ud af x-aksen er vist materialerne, fra deres byggesten – grundstofferne – over mere og mere komplekse sammensætninger af grundstoffer til heterogene blandinger, som de fleste industriprodukter består af.

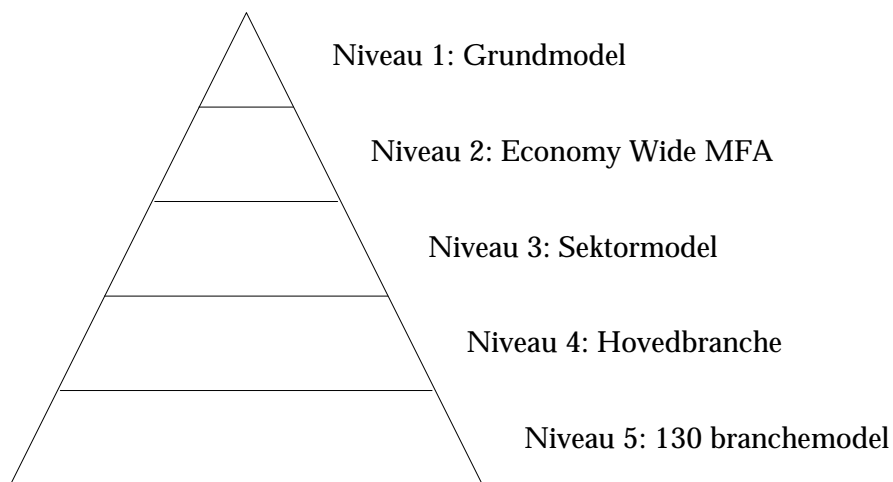
Ud af y-aksen er vist økonomien fra den simpleste beskrivelse af en udelt økonomi som en "black box" over en opdeling af økonomien i sektorer til en opdeling på 130 brancher.

Ud af z-aksen er vist materialestrømmene fra ressourcerne over import/eksport, varer og produkter til emissionerne.

En beskrivelse af materialestrømme må finde sted i et område af dette 3-dimensionale rum. I det følgende omtales forskellige beskrivelsesmodeller og de områder, som de dækker i dette rum.

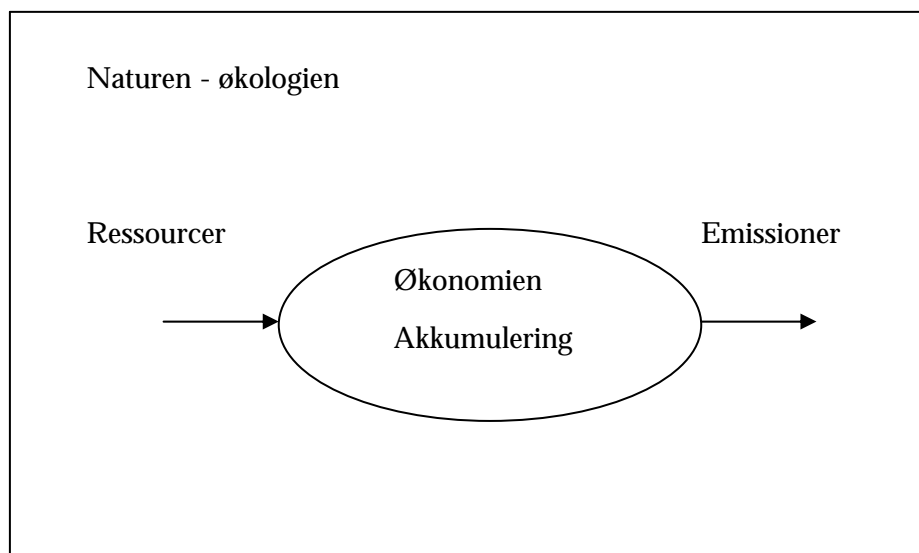
4.5 Modelpyramide

Modelniveauerne kan anskueliggøres ved en modelpyramide, se figur 4.2:



Figur 4.2
Modelpyramiden.

Øverst i modelpyramiden er den simpleste model – en 1-boksmodel, se figur 4.3. Når vi bevæger os ned gennem pyramiden, bliver modellerne mere og mere komplicerede, idet samfundet opdeles mere og mere. I bunden af pyramiden er 130 brancher med et stort antal materialestrømme imellem disse og mellem dem og naturen.



Figur 4.3
Grundmodel.

I tabel 4.1 ses de modeltyper, der svarer til niveauerne i modelpyramiden:

Tabel 4.1
Modelpyramiden.

Økonomiens niveauer					
Niveau	1	2	3	4	5
Antal dele/bokse	1	2	4	12	137
Antal materialestrømme/ indikatorer	1-4	1-10 (eventuelt med underopdeling på materiale typer)	13-15	144	17.161
Modelnavn	Grundmodel	MFA	Sektormodel	Input-output for hovedbrancher	Input-output 130 brancher
Opdeling af økonomien	Ingen opdeling	Ingen opdeling	Råstofekstraktion- produktion, forbrug, affaldssektor	Råstofekstraktion 8 hovedbrancher, off. forbrug, privat forbrug, affaldssektor	130 brancher
Materialestrømme	Ressourcer, emissioner, import, eksport	Alle inkl. ubrugte ressourcer	+ produkter, affald, genanvendelse	Alle	Alle

I grundmodellen betragtes økonomien som 1 del/boks.

I Economy Wide MFA-modellen bliver udvundne ressourcer opdelt i ubrugte og brugte strømme. Økonomien betragtes som en helhed, dvs. der foreligger ingen opdeling af denne. Vægten af alle materialer, der strømmer ind eller ud af økonomien, lægges sammen, og på indikatorniveauet samler interessen sig om de samlede materialestrømme.

I forbindelse med MFA-opgørelserne har der været mest opmærksomhed omkring TMR (Total Material Requirement) som udtryk for den samlede (globale) ressource mængde, som økonomien lægger beslag på⁴. MFA er bl.a. via Eurostat's retningslinjer udviklet til et forholdsvis entydigt og veldefineret indikatorsystem, hvor en række input- og output indikatorer for materialestrømmene er specificeret, ligesom der er redegjort for, hvilke strømme/ressourcer/materialer der skal medtages, og hvilke der ikke skal.

Den grundlæggende tankegang i MFA-systemet er på den ene side, at alle materialestrømme skal lægges sammen, således at der opnås en overordnet indikator. På den anden side lægger systemet op til beregning af flere typer indikatorer, således at materialestrømmene belyses ud fra forskellige synsvinkler, dvs. om der er tale om strømme ind i økonomien, ud af økonomien eller akkumulering i økonomien.

⁴ TMR og øvrige MFA-indikatorer defineres i kapitel 6.

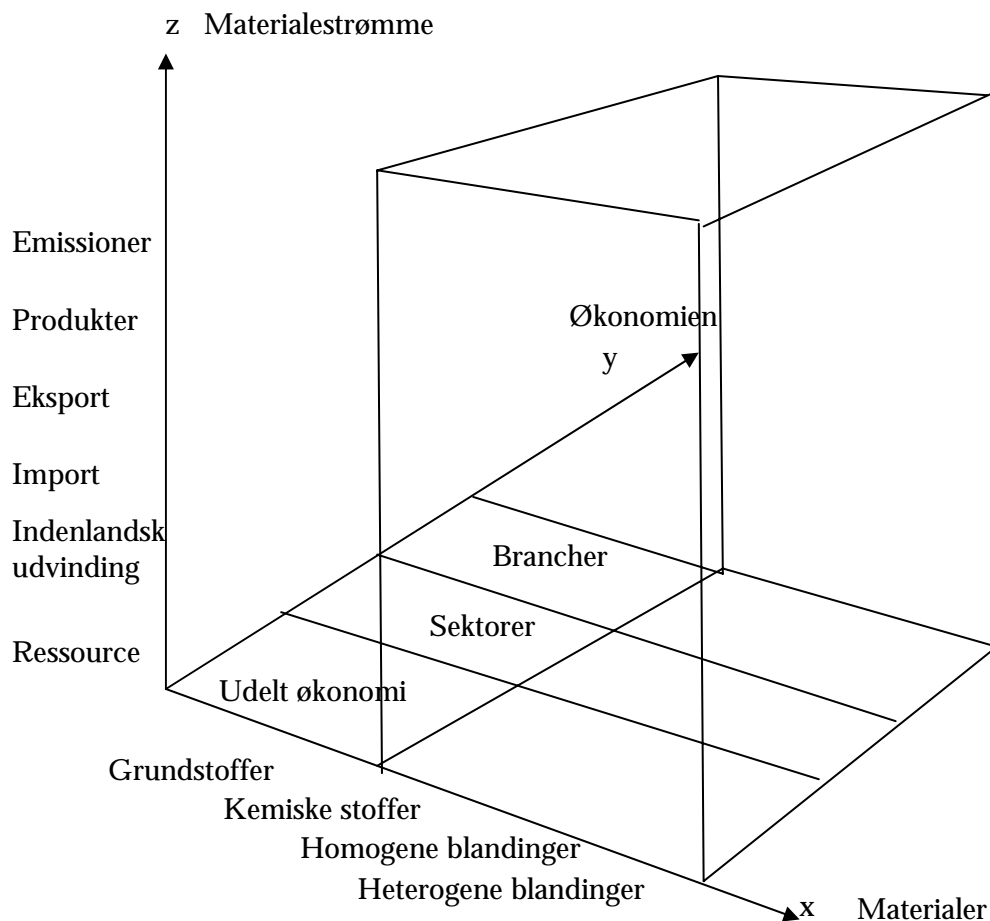
Samtidigt specificerer systemet indikatorer for forskellige niveauer af økonomisk aktivitet, dvs. om der er tale om den samlede økonomiske aktivitet, eller om der er tale om den del af den økonomiske aktivitet, som direkte bruges i den indenlandske økonomi, de såkaldte forbrugsindikatorer.

Sektormodellen betragtes tilsvarende som bestående af 4 dele: råstofekstraktion plus 3 sektorer.

Jo længere vi bevæger os fra venstre mod højre i tabellen, desto mere stiger kompleksiteten, og desto mere fokuseres på enkelte dele af økonomien. At måle på disse forskellige modeller svarer til at opstille indikatorer for forskellige niveauer af indikatorpyramiden (se kapitel 9).

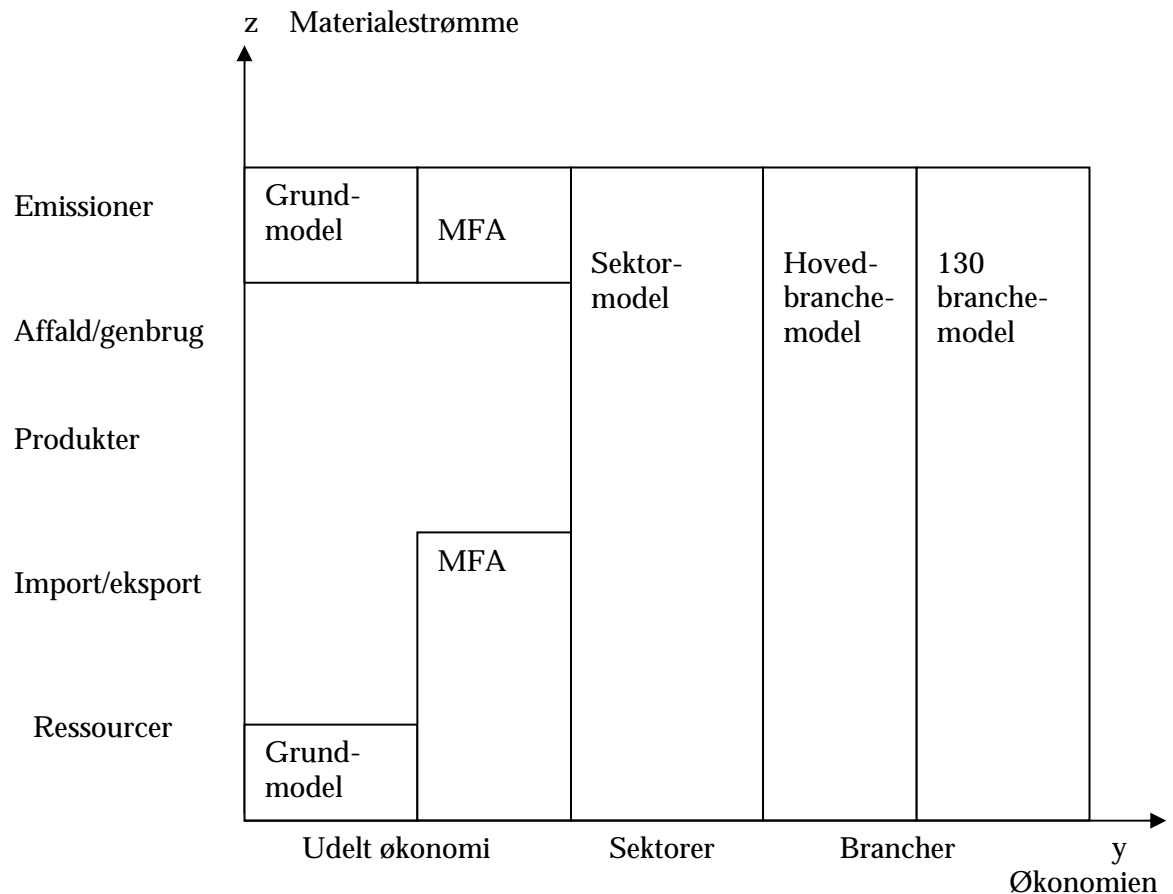
De enkelte modeller med tilhørende indikatorer beskrives mere indgående senere i rapporten.

De her omtalte modeller kan vises som områder i det 3-dimensionale rum i figur 4.1, se figur 4.4 neden for:



Figur 4.4
Modellerne i modelpyramiden.

I figur 4.5 er vist projektionen af modelområdet ind på y-z-planet:



Figur 4.5
Niveauer for modeller.

4.6 Analyseniveau og formål

Ved valg af det detaljeringsniveau, som de fysiske strømregnskaber skal opstilles for, er det nødvendigt at overveje, hvad formålet med strømregnskaberne er.

Nogle helt generelle formål med fysiske strømregnskaber kan opregnes uafhængigt af det detaljeringsniveau, hvormed strømregnskaberne opstilles. For det første kan regnskaberne – forudsat at de er udbygget i tilstrækkelig grad – være et redskab til at kontrollere, om de data, der foreligger for de fysiske strømme, er konsistente. Regnskaberne kan bidrage til at belyse, om der er materialestrømme i opgørelserne, om de mangler, eller om de er af forkert størrelsesorden. Det kan fx være relevant i tilfælde, hvor der er fysiske strømme, der falder uden for de sædvanlige statistiske opgørelser. Inkonsistens i de aggregerede tal kan spores tilbage til fejl i de enkelte data, der indgår.

Tilsvarende kan de fysiske strømregnskaber generelt medvirke til at belyse, om der er strømme, som kan give anledning til store problemer, og de kan bruges til trinvist at spore strømmene til deres oprindelse i samfundet/økonomien. Fx vil et fuldstændigt regnskab for kvælstof vise, hvilke brancher der har et stort overskud af kvælstof, når input og output sammenlignes.

Inddrages de fysiske strømme i økonomien, kan regnskaberne være med til at belyse, i hvilken grad økonomien er lineær eller cirkulær, altså i hvilken grad

der finder genanvendelse sted. Og det kan belyses, i hvilken grad forureningsbegrænsende tiltag er effektive, eller om de blot giver omallokering af materialestrømme, fx skift fra et miljøproblem til et andet. For at sidstnævnte skal kunne belyses meningsfuldt, kræves det dog normalt, at det fysiske strømregnskab er forholdsvis detaljeret.

Ud over de mere generelle formål, der i almindelighed kan knyttes til de fysiske strømregnskaber, har de forskellige typer regnskaber og analyseniveauer hver deres formål.

For de helt overordnede opgørelser og aggregerede indikatorer – fx MFA og de tilknyttede indikatorer – er formålet at belyse, "hvor meget økonomien fylder". Der ligger heri nogle – oftest implicite – antagelser om, at det er skidt, når økonomien fylder meget. Et højt totalt materialebehov – TMR pr. capita – er således tegn på en mindre bæredygtig udvikling end et lavere TMR pr. capita. Der er tale om at fokusere på kvantitet frem for kvalitet, dvs. at det er de samlede mængder, der er afgørende – ikke hvorledes sammensætningen af den samlede mængde relaterer sig til fx knaphed, miljødelæggelser eller sundhedseffekter. Med en passende detaljeringsgrad – men stadig for økonomien som helhed – kan denne type regnskaber bruges til også at sige noget om den specifikke sammensætning af materialestrømmene fx forholdet mellem brugen af fornybare ressourcer og ikke-fornybare ressourcer.

MFA-opgørelser – selv med en opdeling på visse materialetyper – siger derimod ikke meget om virkningen af materialestrømmene. Vægtopgørelser kan således ikke umiddelbart bruges til at vurdere, om miljøet har fået det bedre eller værre, ligesom det heller ikke umiddelbart er muligt at udtale sig om eventuelle sundhedspåvirkninger som følge af materialestrømmene.

Et argument for de aggregerede opgørelser går imidlertid på, at det er umuligt at overvåge og opgøre økonomiens outputs i detaljer. Derfor kan de aggregerede input indikatorer fungere som en slags advarselslampe for eksisterende eller potentielle miljøproblemer. Generelt må man nok sige om de aggregerede opgørelser og de generelle bæredygtighedsbetragtninger, at de er baseret på en antagelse om, at en fortsat "vægtmæssig" vækst i økonomien er problematisk, eller at en sådan i hvert fald må give anledning til, at der er noget, der må undersøges nærmere. Indikatorer på dette niveau har desuden et pædagogisk sigte, nemlig at gøre opmærksom på, at vi alle sammen gennem vores forbrug trækker på ressourcerne og potentielt medvirker til miljødelæggelser.

Overordnede opgørelser af enkelte ressourcer for et enkelt land, flere lande eller verden som helhed hænger også sammen med generelle bæredygtighedsbetragtninger, herunder betragtninger om resourceknaphed og økonomisk bæredygtighed i relation til fremtidige indtægts- og velfærdsmuligheder.

Indikatorer for fysiske strømme på et detaljeret niveau, dvs. på sektor- eller brancheniveau⁵ og for specifikke vare- eller materialegrupper er tættere knyttet til konkrete overvågnings- og styringsopgaver i miljøpolitikken. Viden om, hvilke dele af økonomien der bruger hvilke materialer, varer og ressourcer, og

⁵ Brancher benyttes her som en aktivitetsbaseret gruppering af enheder ud fra de produktionsprocesser, som enhederne udfører. Nationalregnskabets opdeling af produktionen i 130 brancher er et eksempel. Sektorer benyttes som en mere overordnet opdeling, der i visse tilfælde kan gå på tværs af brancherne.

hvor effektiv udnyttelsen er, er væsentlig i den sammenhæng. Fremskrivninger af økonomien via økonomiske modeller og beregninger af fremtidige ressourcetræk og miljøpåvirkninger er ligeledes knyttet til dette niveau.

På virksomhedsniveau og procesniveau er aggregeringsgraden minimal. Fokus har her traditionelt været en effektiv udnyttelse af inputs i processerne. I de senere år er aspekter som miljøhensyn som konkurrenceparameter samt krav til listevirksomheder om grønne regnskaber desuden kommet til.

4.7 Systemafgrænsninger

Da fysiske strømregnskaber i sagens natur beskriver strømme fra et delsystem til et andet, er det nødvendigt at definere de enkelte delsystemers afgrænsning nærmere.

Her skal nævnes:

- 1) Afgrænsning af samfundsmæssige aktiviteter: Territorial vs. økonomisk afgrænsning
- 2) Miljø- og ressourcemæssig afgrænsning: National vs. global synsvinkel
- 3) Kausal afgrænsning: Direkte vs. direkte og indirekte strømme
- 4) Tidsmæssig afgrænsning: Enkel periode vs. alle perioder

Ad 1. Afgrænsning af samfundsmæssige aktiviteter

Ved nationale strømregnskaber i form af "regnskaber for Danmark" kan Danmark defineres enten ud fra **territoriet** eller ud fra den **danske økonomiske aktivitet**. I visse tilfælde – men langt fra alle – vil de to opgørelsesmåder føre til ganske forskellige resultater. Det skyldes, at udenlandske økonomiske enheder kan være aktive i Danmark, mens danske økonomiske enheder kan være aktive i udlandet. Som eksempel på et område, hvor de to opgørelsesmåder giver ganske forskellige resultater, kan nævnes strømregnskaber for energiforbrug og emissioner, hvor man i det ene tilfælde (den økonomiske afgrænsning) eksempelvis bør indregne danske skibe i udlandet, mens man i det andet tilfælde ikke skal gøre det.

På et mere detaljeret plan er det også nødvendigt at overveje, om der skal foretages en opdeling af de økonomiske aktiviteter. En mulighed er at se på de strømme, der vedrører de samlede produktionsaktiviteter. Hertil hører også de økonomiske aktiviteter, der er nødvendige af hensyn til den danske eksport. En anden mulighed er at begrænse sig til de fysiske strømme, der vedrører danskernes indenlandske "forbrug", dvs. at de fysiske strømme, der vedrører eksportaktiviteter, ikke medtages.

Ved opdelinger af de forskellige produktionsaktiviteter må det ligeledes overvejes, hvordan denne skal foretages, fx om man vil belyse sammenhænge mellem overordnede "sektorer", eller om man vil fokusere på enkelte brancher, som de kendes fra bl.a. nationalregnskabet.

Ad 2. Miljø- og ressourcemæssig afgrænsning

Når formålet med at opgøre de fysiske strømme er at belyse ressourcemæssige og miljømæssige konsekvenser, står valget ofte mellem en national eller en global synsvinkel. Den nationale synsvinkel vil – når det kommer til de miljømæssige og ressourcemæssige forhold – fx føre til en afgrænsning ud fra det nationale territorium, således at man ser på, hvad givne samfundsmæssige aktiviteter giver anledning til af ressourcetræk og emissioner på området. Ved den globale betragtning inddrages de ressourcetræk og de emissioner, der finder sted i indland såvel som udland. Oftest vil ressourcetrækkene og emissionerne i udlandet blive betragtet som **indirekte** fysiske strømme, jf. pkt. 3 neden for. DMI-opgørelserne svarer til førstnævnte og TMR til sidstnævnte tilgang.

Mere generelt kan systemet være økologisk/miljømæssigt afgrænset, som fx i forbindelse med et afstrømningsområde for vand, og det kan naturligvis også omfatte lokale eller regionale områder.

Ad 3. Kausal afgrænsning

En given afgrænset aktivitet giver umiddelbart anledning til **direkte** strømme ind i det system, hvor aktiviteten foregår. Således giver den samlede danske økonomiske aktivitet anledning til direkte strømme ind i den danske økonomi af indenlandske naturressourcer og importerede varer fra udlandet. Ud fra betragtninger om kausalitet mellem aktiviteter i Danmark og i udlandet kan man imidlertid også sige, at den danske økonomiske aktivitet giver anledning til **indirekte strømme** i udlandet, fordi der dér skal udvindes naturressourcer og importeres varer for at muliggøre eksporten til Danmark. Tilsvarende vil man for forskellige andre delsystemer kunne identificere indirekte strømme, der ligger uden for delsystemet.

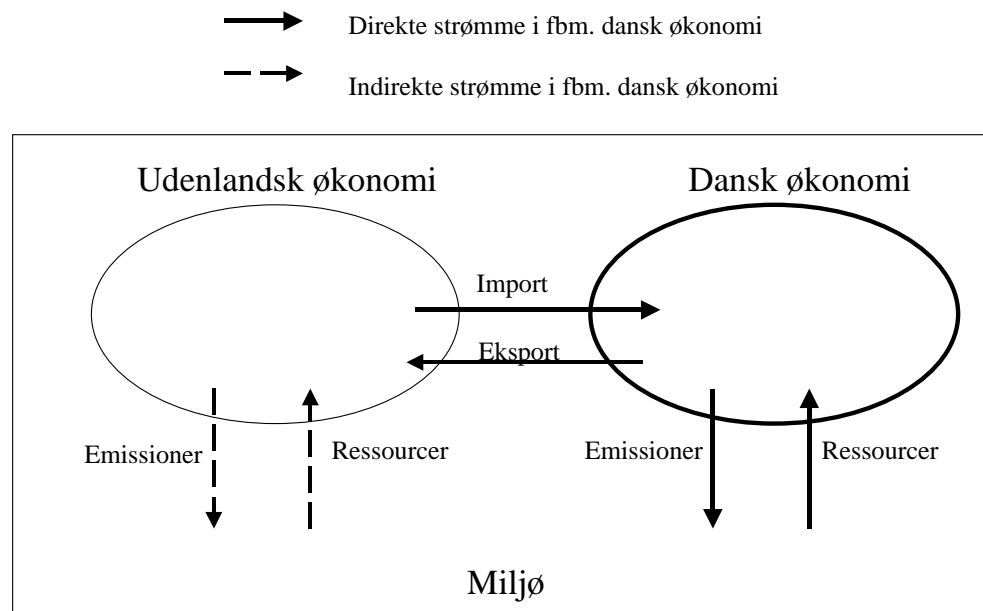
Systemafgrænsningen er naturligvis af afgørende betydning for, hvad der kaldes direkte strømme, og hvad der kaldes indirekte strømme. Hvis den danske økonomi betragtes som ét system, vil alle indirekte strømme finde sted i udlandet. Hvis fokus derimod er på en enkelt dansk branche eller på fx eksporten, vil de indirekte strømme også omfatte danske vare- og materialestrømme uden for det delsystem (den enkelte branche eller eksporten), der umiddelbart betragtes, men inden for den danske økonomi.

Figur 4.6 og 4.7 viser to eksempler på direkte og indirekte strømme. I det første eksempel betragtes den danske økonomi under ét som hoveddelsystemet, og de direkte strømme, der beskrives, er strømmene mellem økonomien og det danske miljø samt import og eksport. De indirekte strømme er strømmene ud og ind af de sekundære delsystemer, i dette tilfælde strømmene af emissioner og naturressourcer mellem miljøet og den udenlandske økonomi.

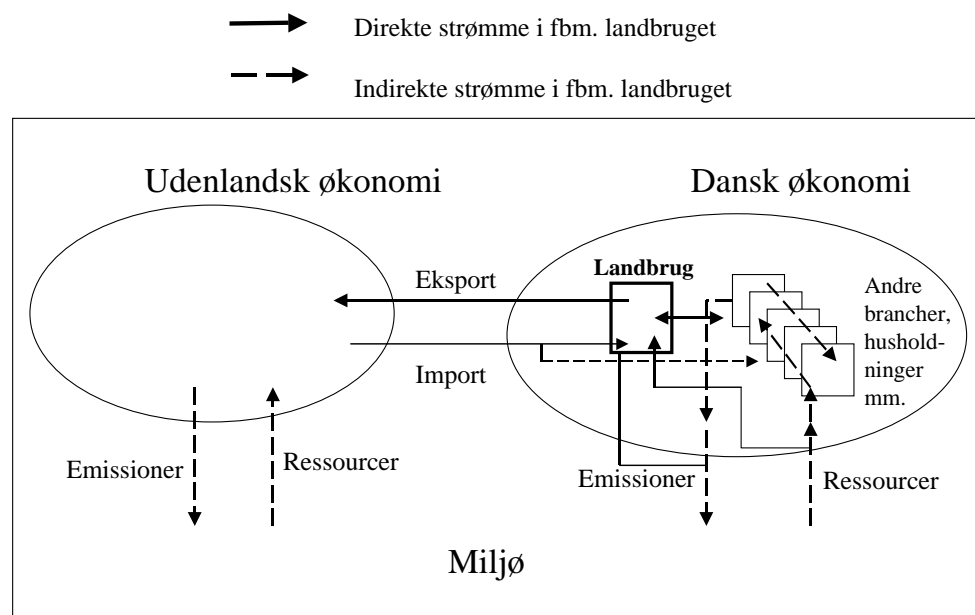
I det andet eksempel er der fokus på det danske landbrug. De direkte strømme udgøres her af import og eksport af landbrugsvarer, leverancer mellem landbruget og andre brancher og leverancer fra landbrug til privat konsum m.m. (indenlandsk endelig anvendelse). Også landbrugets ressourcetræk samt affald og emissioner fra landbruget karakteriseres som direkte materialestrømme. Aktiviteten i landbruget giver anledning til aktivitet i andre brancher – danske såvel som udenlandske – via produktion af rå- og

hjælpestoffer til landbruget. Dette medfører indirekte strømme af varer og tjenester samt indirekte strømme af naturressourcer og emissioner, som antydnet på figur 4.6 og 4.7.

Afgrænsning af direkte strømme i forhold til de indirekte kan gøres mere snæver, hvis man fx udvælger en del af en branches aktivitet som det primære. Fx kan landbrugets eksport betragtes som den direkte strøm, mens øvrige strømme ind og ud af branchen betragtes som afledt heraf og dermed som indirekte strømme.



Figur 4.6
Direkte og indirekte strømme fra dansk økonomi.



Figur 4.7
Direkte og indirekte strømme fra landbruget.

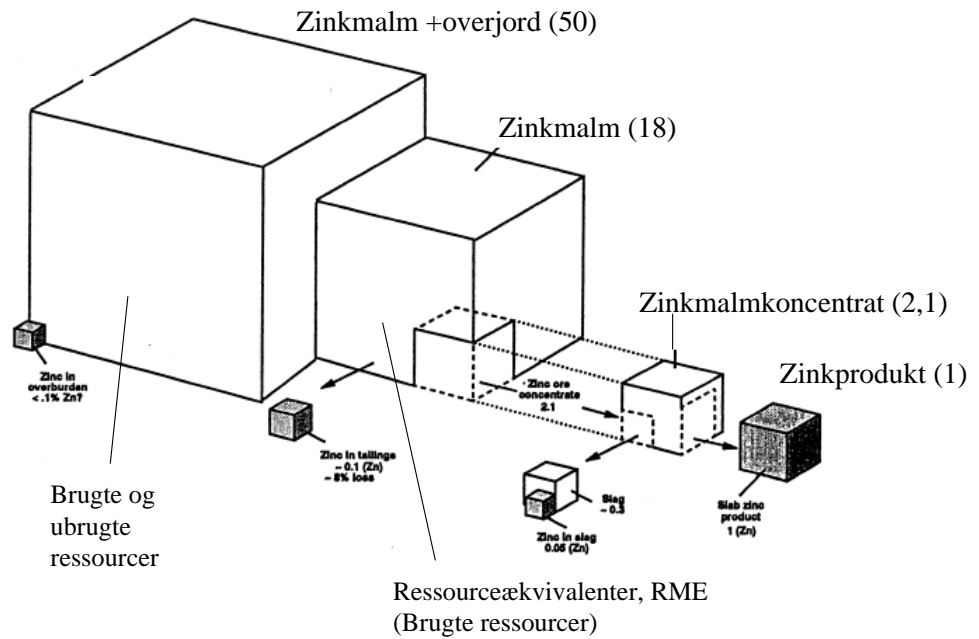
En fuldstændig opgørelse af ressourceinputtene opstrøms kræver anvendelse af metoder kendt fra livscyklusanalyser og input-output modeller.

Indirekte strømme opgøres i praksis mere eller mindre snævert. I MFA-sammenhæng er der således – af pragmatiske grunde – praksis for, at man i en række tilfælde følger materialet/ressourcen forholdsvis snævert og kun medtager de ressourcemængder i udlandet, som direkte er knyttet til de importerede varer (fx udvundet jernmalm i tilknytning til en importeret bil). Derimod medtages ikke – i alle tilfælde – de indirekte strømme af rå- og hjælpestoffer (fx energi), der er medgået ved oparbejdningen af ressourcen og produktionen af bilen i øvrigt. Der anvendes således en pragmatisk tilgang, hvor man tager udgangspunkt i, dels hvad man har viden om, dels hvad man anser, har størst betydning.

I MFA-sammenhæng opgøres de indirekte strømme af **brugte ressourcer** (jf. afsnit 2.1) ved at opregne vægten af (nogle af) de importerede produkter til de importerede produkters ressourceækvivalenter, RME (Raw Material Equivalent).

For nogle importvarers vedkommende og for dele af indenlandske ressourceudvinding foretages der desuden et tillæg for de **ubrugte ressourcer**. Opregningen til RME sker på produktgruppeniveau ved at multiplicere den statistisk registrerede vægt med faktorer for RME og/eller de ubrugte ressourcestrømme. Faktorerne opgøres af Wuppertal Institutet i Tyskland, og afspejler typisk forholdene i Tyskland eller i EU-15.

Figur 4.8 illustrerer, at niveauforskellen i opgørelserne kan være betydelig. Figuren viser, at et kg zinkprodukt svarer til 2,1 kg zinkkoncentrat eller 18 kg zinkmalm eller 50 kg ressourcer inkl. overjord (ubrugte ressourcer). Det fremgår, at der undervejs i forløbet sker et tab af zink til omgivelserne. Dels er der et lille zinkindhold i overjorden (ubrugte ressourcer), dels bortføres der zink med restprodukter fra oparbejdningsprocesserne (brugte ressourcer). Tabet er i størrelsesordenen 10% eller 100 gram pr. kg. færdigt produkt. De samlede direkte og indirekte strømme er således 50 kg, mens de direkte strømme er 1 kg eller eventuelt 2,1 kg.



Figur 4.8
Udvinning og bearbejdning af zink.

Kilde: Ayres og Ayres: Accounting for Resources, 1, Edward Elgar, Cheltenham 1998

Ad 4. Tidsmæssig afgrænsning

Fysiske strømme opgøres som **mængde pr. tidsperiode**. Afhængigt af det system, der betragtes, kan tidsperioden strække sig fra dele af sekunder til år eller flere år. Når det drejer sig om at belyse strømmene i forhold til økonomiske aktiviteter på det nationale plan, vil tidsperioden i næsten alle tilfælde være et år. Importen som fysisk strøm vil eksempelvis være opgjort som tons/år.

Man skal være opmærksom på, at de tidsperioder, der knytter sig til direkte strømme på den ene side og indirekte strømme på den anden side, kan være forskellige, idet der via lagertræk, lange produktionstider m.m. kan være tidsforskydninger mellem fx eksporten af en vare og den ressourceudvinning, der indirekte ligger bag eksporten af den pågældende vare.

5 Detaljerede modeller

5.1 Opdeling af økonomien

Vi har i det tidligere betragtet grænsefladen mellem den totale økonomi og naturen. Økonomien som sådan har i disse betragtninger nærmest været en sort boks, som vi kun har betragtet på overfladen i dens samspil med økologien. Med det formål nærmere at analysere økonomiens materielle og energimæssige funktionsmåde vil vi nu kigge ind i økonomien.

Dette gøres ved først at lægge nogle enkelte snit – synsflader – gennem økonomien.

Der lægges i starten 2 snit gennem økonomien for at kunne anskue produktionen og forbruget samt affalds- og spildevandsbehandlingen hver for sig. Dette er den her benævnte "sektormodel".

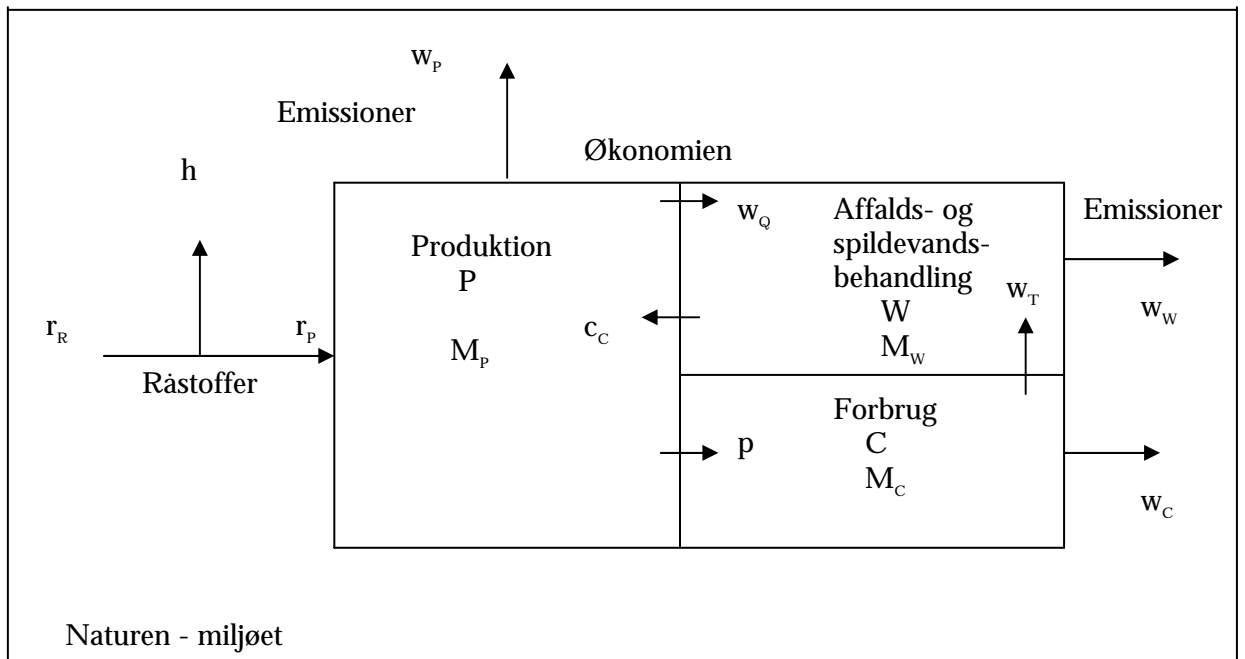
Herefter kan der lægges flere og flere snit gennem de enkelte dele af økonomien. Produktionen kan således opdeles i hovedbrancher, og hver hovedbranche kan opdeles i enkeltbrancher. Med en total opdeling på 130 brancher når vi de såkaldte input-output tabeller med de tilhørende residualregnskaber.

5.2 Sektormodel

I figur 5.1 er vist en model for materiale- eller energistrømmene i den globale økonomi omsluttet af naturen/miljøet. Modellen i figur 5.1 er dannet ved at lægge 2 snit gennem den totale økonomi: Et snit, der adskiller produktionen fra forbruget og affalds- og spildevandsbehandlingen samt et snit, der adskiller forbruget fra affalds- og spildevandsbehandlingen.

Herved kan vi kigge ind i økonomien og beskrive og få oplysninger om følgende væsentlige forhold:

- Det materielle privatforbrug
- Affalds- og spildevandsmængder
- Genanvendelsen af affald
- Emissionerne opdelt på produktion, forbrug samt affalds- og spildevandsbehandling
- De ophobede mængder i produktion, forbrug samt affalds- og spildevandsbehandling



Figur 5.1
Model for globale materialestrømme.

Økonomien opdeles således i 3 sektorer: Produktion (P), konsumtion (C) samt affalds- og spildevandsbehandling (W). De materialer, der akkumuleres i hver af økonomiens sektorer, symboliseres med "M" og et index, der symboliserer sektoren:

M_p : Materialer ophobet i produktionssektoren (tons)

M_c : Materialer ophobet i forbrugssektoren (tons)

M_w : Materialer ophobet i sektoren for affalds- og spildevandsbehandling (tons)

Δ : De årligt akkumulerede materialer i sektorerne (t/år)

Forbrugssektoren defineres her som husholdningerne, hvis forbrug svarer til det private forbrug. I forbindelse med materialemodellen placeres det offentlige forbrug i produktionssektoren, da det offentlige forbrug betragtes som en tjeneste, der er produceret i særskilte brancher. Således betragtes de fysiske varestrømme, der er knyttet til det offentlige forbrug i sin helhed, som input i disse brancher.

Materialestrømmene i modellen kan opdeles i 2 grupper:

- Materialestrømme i ressourcelinien (r_R , r_P), produktlinien (p) og i affalds- og spildevandslinien (w_T , w_Q , c_C)
- Emissioner (residualer, outputs) til naturen (h , w_P , w_C , w_W)

Ressource-produkt-affalds-linie (RPW-linie):

- r_R : ressourceekstraktion fra naturen (t/år)
 r_P : ressourcer ind i produktionssektoren (t/år). Nettoflowet efter subtraktion af flowet fra produktionen retur til ressourceekstraktionen
 p : produkter produceret (t/år)
 w_T : affald og spildevand (kun indholdsstoffer) fra forbrugssektoren ind i behandlingssektoren (t/år)
 w_Q : affald og spildevand fra produktionssektoren ind i behandlingssektoren (t/år)
 c_C : recirkulerede materialer fra affalds- og spildevandssektoren til produktionssektoren (t/år)

Emissioner:

- h : ubrugte (eller skjulte) strømme fra ressourceekstraktion (t/år)
 w_p : emissioner fra produktion til naturen (t/år)
 w_C : emissioner fra forbrugssektoren til naturen (t/år)
 w_w : emissioner fra affalds- og spildevandsbehandling til naturen (t/år)

Ressourcestrømmen (r) og produktstrømmen (p) består af to forskellige materialestrømme:

- r_{Pa} , p_a : primære ressourcer, som er materialerne til det endelige produkt
- r_{Pb} , p_b : sekundære ressourcer, som er energi- og hjælpestoffer til produkternes fremstilling og brug

Alle disse variable er tidsafhængige. Hver materialestrøm i figur 5.1 kan opdeles i 3 strømme efter deres tilstandsform: Fast, væske og gas. Materialestrømmene kan også opdeles og mærkes efter, hvilken ressource de stammer fra.

Modellen er defineret i massestrømme og masser, men kan også defineres i enheder som massestrøm pr. person ved at dividere alle massestrømme og masser med verdensbefolkningens størrelse. Hvis modellen defineres som pr. person, kan variablene defineres som en statistisk fordeling og således fx beskrive, hvor stor en del af verdensbefolkningen der bruger de fleste eller mindste mængder af ressourcer.

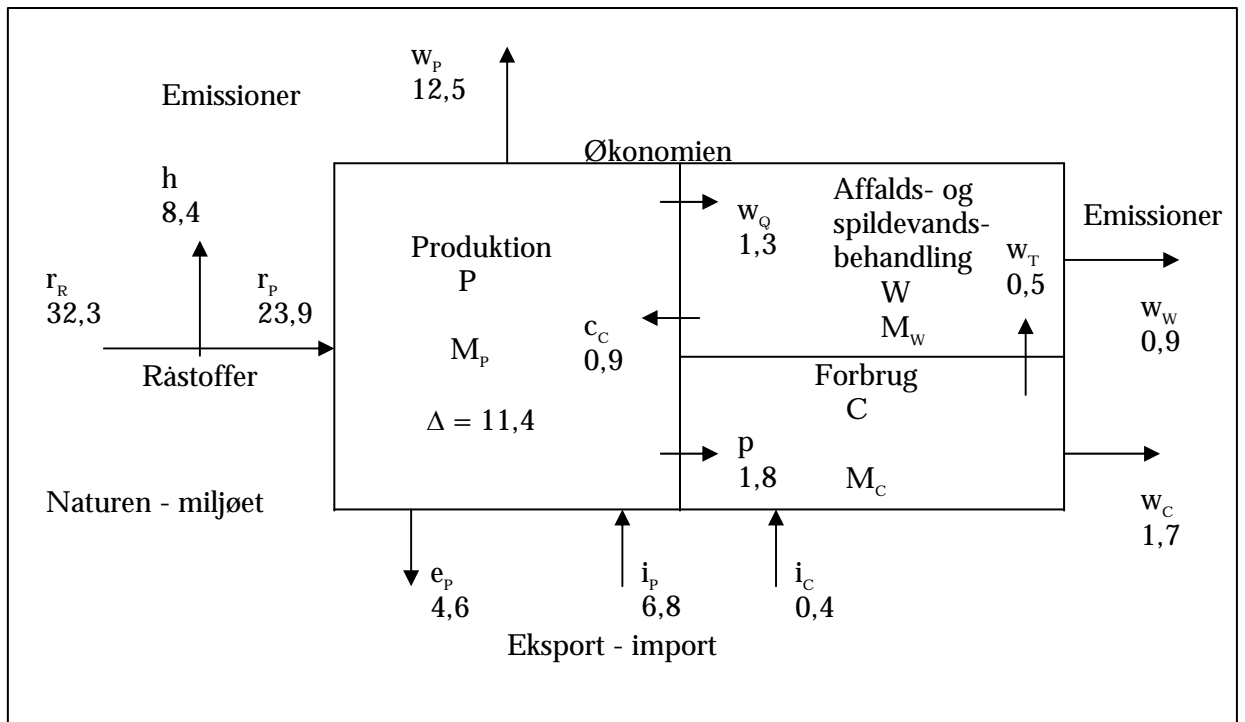
Modellen kan endvidere defineres i termer for energi og entropi. Massestrømmene erstattes da af energistrømme, og ophobningen af materialer erstattes af lagret energi. Energi kan forekomme som kemisk bundet i fx organiske brændsler, som kerneenergi i atombrændsler, som strålingsenergi i solenergi, som mekanisk energi i vind- og vandkraft, som elektrisk energi eller som termisk energi.

Anvendes modellen med massestrømme, skal modellen opfylde loven om massebevarelse, mens modellen skal følge termodynamikkens 1. og 2. hovedsætning, hvis den anvendes med energi og entropi samt naturlovene for elektromagnetisk stråling og kernekrafter, hvis strålingsenergi og atomenergi medregnes. Termodynamikkens 1. hovedsætning er loven om energibevarelse, mens 2. hovedsætning siger, at entropien (uorden) vokser i et lukket system uden tilførsel af energi. Entropisætningen medfører bl.a., at energistrømmene kun kan flyde fra laventropiformer til højentropiformer uden ekstern energitilførsel. Til slut ender al energi som termisk varme.

Udvides modellen i figur 5.1 med import og eksport, gælder modellen for en national eller regional økonomi. Antages det, at:

- import og eksport er rettet mod resten af verden
- intet affald importeres eller eksporteres

fremkommer modellen i figur 5.2 for en national eller regional økonomi:



Figur 5.2
Model for national eller regional økonomi med import og eksport og tons/person/år for Danmark 1990.

Hvor:

- e_p : eksport fra produktionssektor
- i_p : import til produktionssektor
- i_c : import til forbrugssektor

I figur 5.2 er de totale danske materialestrømme pr. person ekskl. vand og luft angivet (målt i tons/person/år for 1990).

På figur 5.2 ses, at hver dansker brugte 1,8 tons materialer pr. år fra den danske produktion plus 0,4 tons materialer importerede forbrugsvarer pr. person – i alt et forbrug på 2,2 tons pr. person pr. år. Til fremskaffelse af dette forbrug håndteredes 32,3 tons danske råstoffer pr. person inkl. ubrugte ressourcer samt råstoffer i udlandet til fremstilling af importen. De udvundne ressourcer plus importen blev til emissioner på i alt 23,5 tons materialer pr. person, ophobede materialer (investeringer) på 11,4 tons pr. person og en eksport på 4,6 tons pr. person pr. år.

Det bemærkes af figur 5.2, at emissioner er størst i starten af økonomien, hvorefter de aftager hen gennem økonomien.

Således er emissionerne fra de ubrugte ressourcer på 8,4 tons person pr. år (hvoraf 6,9 tons/person/år fra udvinding af sten, ler og grus) og fra

produktionen på 12,5 tons pr. person pr. år, hvoraf de største tab er fra landbruget (gylle) samt fra forbrænding af fossile brændsler. Således var mængden til grøntfoder på 4,1 tons pr. person pr. år (omkring 80% vandindhold) og til foderkorn på 0,3 tons pr. person pr. år. Størstedelen af grøntfoderet og foderkornet blev til gylle.

I den anden ende af økonomien var emissionerne relativt små med 1,7 tons/person/år fra husholdningerne direkte til naturen og med 0,9 tons/person/år fra affalds- og spildevandsbehandling.

Vand, som er brugt og indeholdt i produkter (0,6 t/per/år) og i affald, er inkluderet.

Det bemærkes i øvrigt, at denne model ikke eksplicit beskriver de fysiske strømme til akkumulation i økonomien. Strømmene af investeringsvarer og lagerændringer er således kun implicit belyst ved betegnelsen M i modellen. Forbruget C – det private forbrug – i figur 5.2 udgør således kun en del af det, der i nationalregnskabssammenhæng betegnes som endelig anvendelse.

Hele ophobningen af materialer – herunder den relativt lille ophobning i affalds- og spildevandsbehandlingen – er allokeret til produktionen i figur 5.2. Der er ikke regnet med ophobning i forbrugssektoren.

De ubrugte ressourcer, h, ligger helt up-front i råstofudvindingen. De ubrugte ressourcer er fx overjord ved grusgravning, udsnid fra fiskekuttere eller afskåret løv ved skovhugst. Råstofekstraktionen er således en slags afskrælning af stoffer uden om råstofferne i starten af hele processen. Selve forædlingen i landbruget og råstofudvindingen hører således under produktionssektoren. Endvidere hører energiforsyningen under produktionen.

Sammenfattende viser figur 5.2 således, at:

- en relativt lille materialestrøm til forbrug pr. person igangsætter meget store materialestrømme især ved råstofekstraktion og produktion, men også gennem import og eksport
- Danmark som en lille åben økonomi har væsentlige materialestrømme pr. person knyttet til import og eksport, men dog stadig mest til hjemlig råstofekstraktion
- de største emissioner pr. person er ved ressourceekstraktion og produktionen
- kun omkring 20-25% af materialestrømmene til forbruget ender som affald og stoffer i spildevandet
- den gennemsnitlige recirkulationsgrad for de indsamlede affaldsstrømme (inkl. stoffer i spildevand) er ca. 50%
- emissionerne pr. person til naturen er meget store og ca. 15 gange større end materialestrømmene til forbrug pr. person
- emissionerne pr. person til naturen i alt er omkring 18 gange større end de indsamlede affaldsmængder fra husholdninger og erhverv. De indsamlede affaldsmængder er således kun toppen af isbjerget

Data fra danske input-output tabeller, (Pedersen 2002), og den danske affaldsstatistik, ISAG, blev brugt.

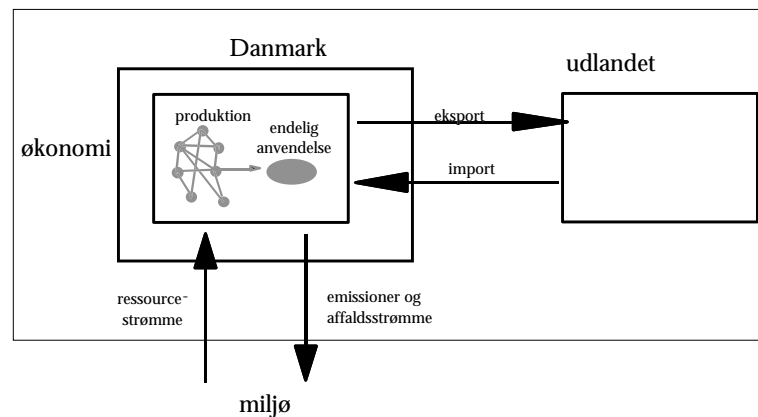
Sidst i afsnit 6.1 om MFA-indikatorer er i øvrigt en oversigt over, hvorledes begreberne og betegnelserne i dette afsnit relaterer sig til MFA-indikatorerne.

5.3 Fysiske input-output tabeller

Til at belyse hvorledes ressourcer og varer bringes ind i den nationale økonomi, hvordan de strømmer rundt i økonomien, og hvordan de til sidst forlader økonomien igen i form af eksportvarer, affald og emissioner, kan såkaldte fysiske input-output tabeller benyttes. De fysiske input-output tabeller er tæt knyttet til monetære input-output tabeller og til nationalregnskabet. Derfor anvendes termer og metoder herfra.

Fokus er den nationale økonomi, som den er afgrænset i nationalregnskabet. Økonomien består af en række **brancher** og forskellige kategorier for såkaldt **endelig anvendelse**, som består af eksport, privat konsum, offentligt konsum, investeringer og lagerændringer. Formålet med input-output tabeller er at belyse strømmene af varer mellem de forskellige brancher på den ene side og leverancerne af varer fra brancher til endelig anvendelse på den anden side.

Figur 5.3 illustrerer de fysiske strømme, som fysiske input-output tabeller søger at belyse.



Figur 5.3
Illustration af fysiske strømme, der belyses i fysiske input-output tabeller.

Forbindelsen mellem den danske økonomi og omverdenen består dels af import og eksport af varer, dels af ressource-træk fra det danske miljø og strømme af affald og emissioner fra økonomien.

Tabel 5.1 viser en fysisk input-outputtabel for Danmark 1990.

Den danske økonomi er her opdelt i tre brancher: **Landbrug, Industri og Tjenester** samt de tre kategorier for endelige anvendelse: **Husholdninger** (privat konsum), **Eksport** og **Akkumulering** (investeringer og lagerændringer).

De celler, der er skraveret i tabellen, svarer til varestrømme, mens cellerne under det skraverede svarer til strømme af danske naturressourcer ind i økonomien. Cellerne til højre for det skraverede område svarer til strømme af affald og emissioner fra den danske økonomi – under ét betegnes de her som **residualer**.

Hver celle repræsenterer en fysisk strøm fra den kategori, der er angivet i forspalten (rækken) til den kategori, der er angivet i tabellens hoved (søjlerne).

Eksempelvis viser tabellen en strøm på 53 mio. tons varer fra dansk landbrug til industrien, mens strømmen den anden vej udgjorde 5 mio. tons i 1990. Landbruget eksporterede 10 mio. tons varer, mens det private konsum af danske industrivarer vejede 6 mio. tons. Det private konsum af importerede varer udgjorde 2 mio. tons. Strømmen af naturressourcer ind i landbruget var i alt 59 mio. tons, mens der var strømme af residualer fra industrien på i alt 22 mio. tons. Heraf udgjorde energirelaterede residualer 14 mio. tons.

Et væsentligt træk ved input-output tabeller er, at der er balance mellem input og output. Det viser sig ved, at søjlesummer og rækkesummer er ens.

Eksempelvis er det samlede input og output i landbruget 75 mio. tons. Søjlerne for de tre brancher viser, hvordan inputtet er sammensat på leverancer fra andre brancher, import og egen ressourceudvinding. Rækkerne for brancherne viser, hvordan branchernes produktion leveres til andre brancher og til endelig anvendelse. Balancen udgøres af residualer, der altså svarer til det input i brancher, som ikke ender som leverede varer fra branchen. For husholdningerne ender hele inputtet som residualer, idet der ikke regnes med nettoakkumulation af varige forbrugsgoder.

Tabel 5.1
Fysisk input-output tabel – Alle varer – Danmark 1990, mio. tons.

	Input i brancher				Endelig anvendelse				Residualer			Output i alt
	A.	B.	C.	I alt	Husholdninger	Eksport	Akkumulering	I alt	Fra energi	Andet	I alt	
A. Landbrug mv.	6	53		59	2	10	-1	11	1	4	5	75
B. Industri mv.	5	26	3	34	6	13	58	77	14	9	22	133
C. Tjenester mv.					1			1	3	2	5	6
Brancher i alt	11	79	4	94	9	23	56	88	17	14	32	214
Husholdninger									4	7	11	11
Import i alt	4	28	2	35	2	2		4				38
Dansk ressourceudvinding mv.	59	25		85								85
Input i alt	75	133	6	214	11	25	56	92	21	22	43	348

Kilde: Pedersen, 1999

Tabel 5.1 inkluderer samtlige fysiske strømme: Leverancerne af varer fra brancherne dækker hele den danske produktion af samtlige varer. Importrækken og eksportsøjlen redegør udtømmende for den danske udenrigshandel med varer. Rækken for dansk ressourceudvinding inkluderer samtlige ressourcer, der udvindes fra den danske natur. Og søjlerne for residualer inkluderer samtlige fysiske strømme af affald og emissioner (i bred forstand), der forlader økonomien.

Opstilling af de fysiske strømme i en input-output tabel med krav om, at rækkesummer og søjlesummer skal være ens, sikrer dels et overblik over sammenhænge i økonomien, dels at de fysiske strømme behandles konsistent. Det vil hurtigt blive klart, om der fx er meget store residualer, der ikke kan forklares ved hjælp af traditionelle affalds- og emissionsopgørelser, eller om der på anden vis mangler informationer om visse typer af strømme.

Principielt kan tabellen opstilles med en opdeling af brancherne svarende til den opdeling, der findes i nationalregnskabet, dvs. med 130 brancher. Tilsvarende er det muligt at opdele rækken for dansk ressourceudvinding i forskellige typer af ressourcer, ligesom de to residualsøjler kan opdeles på forskellige typer af affald og emissioner.

Tabel 5.1 viser aggregerede strømme i den forstand, at vægten af alle varer og naturressourcer er lagt sammen. Tabellerne kan imidlertid også opstilles for mere homogene vare- eller materialegrupper.

Tabel 5.2 viser således en fysisk input-output tabel for kvælstofstrømme. Cellerne i tabellen viser, hvor mange tusinde tons kvælstof (N), der strømmer fra kategorien i forspalten (rækker) til kategorien i hovedet (søjler). Der er tale om det kvælstof, der er indeholdt i varer og naturressourcer.

For de enkelte brancher og husholdningerne viser tabellens søjler, hvor store mængder kvælstof de modtager fra brancher, import og naturen i forbindelse med ressourceudvinding.

For brancherne viser rækkerne, hvor stort kvælstofindholdet er i de varer, der leveres fra de tilsvarende brancher. Kvælstofoverskuddet svarer til forskellen mellem den mængde kvælstof, der strømmer ind i brancherne og den mængde kvælstof, der leveres ud af brancherne igen i forbindelse med producerede varer.

Kvælstofoverskuddet må således forlade branchen på anden måde fx i forbindelse med spildevand og slam eller i form af direkte udslip til naturen. For husholdningerne ender hele inputtet af kvælstof som kvælstofoverskud.

Tabellen balancerer i den forstand, at søjlesummer og rækkesummer er ens.

Tabel 5.2
Fysisk Input-outputtabel for kvælstofstrømme – Danmark 1990 – 1.000 tons.

	Input i brancher				Endelig anvendelse				Kvælstof-overskud	Output i alt
	A.	B.	C.	I alt	Hus- hold- ninger	Akku- mu- lering	Eksport	I alt		
A. Landbrug mv.	52	156	1	209	6	87	8	101	446	755
B. Industri mv.	187	90	10	288	32	195	56	283	24	595
C. Tjenester	-	-	-	-	8	-	-	8	7	15
Brancher i alt	239	246	11	496	46	282	63	391	477	1 365
Husholdninger									59	59
Import i alt	419	349	4	771	12	14	-14	12	-	784
Danske ressourcer	98	-	-	98						98
Input i alt	755	595	15	1 365	59	296	49	404	536	2 305

Kilde: Pedersen, 1999

Konstruktion af detaljerede fysiske input-output tabeller, der dækker samtlige varestrømme, er meget krævende mht. datagrundlag og viderebearbejdningen af basisdata. Det kræver således en betydelig indsats at opstille fysiske input-output tabeller, der dækker alle fysiske strømme i forbindelse med økonomien. Jo flere detaljer – fx antal brancher eller kategorier af affald og emissioner –

man vil have med i tabellen, jo mere arbejde er nødvendigt ved opstilling af tabellen. Årsagen er, at ikke alle de nødvendige data findes, at de ikke findes på det rigtige aggregeringsniveau, og at der er inkonsistens mellem de basisdata og statistikker, der må lægges til grund for arbejdet. En væsentlig del af arbejdet består således i at samle og bearbejde de forskellige informationer til et konsistent og afbalanceret billede af de fysiske strømme. Men belønningen af indsatsen er, at man får et mere fuldstændigt billede, end de enkeltstående informationer og statistikker kan give.

Fuldstændige fysiske input-output tabeller findes for Danmark (1990) og Tyskland (flere år). Fysiske input-output tabeller for udvalgte vare- og materialegrupper, fx stål og træ, findes for Finland og Holland.

I (Pedersen 1999) findes en detaljeret gennemgang af de danske fysiske input-output tabeller.

5.4 Ressourceregnskaber og emissionsregnskaber

Fysiske input-output tabeller er den mest komplette form for fysiske strømregnskaber, der kan opstilles på nationalregnskabets brancheniveau. Som nævnt kræver konstruktionen af fysiske input-output tabeller imidlertid en betydelig arbejdsindsats. Derfor kan det være hensigtsmæssigt at opstille **udvalgte dele** af de fysiske input-output tabeller, dvs. ressource- og/eller emissionsregnskaber, der viser branchernes og den endelige anvendelses ressourceforbrug og/eller emissioner. Opstilling af sådanne regnskaber svarer til, at man fx kun specificerer rækken for ressourceudvinding eller søjlerne for affald og emissioner i de fysiske input-output tabeller, jf. tabel 5.1 og 5.2. Man beskriver derimod ikke de fysiske materialestrømme rundt i økonomien, ligesom man ikke foretager en fuldstændig balancering af input og output for de enkelte brancher eller økonomien som helhed.

Som eksempler indeholder tabel 5.3 en opgørelse af de forskellige branchers og husholdningernes indvinding af grundvand og overfladevand, mens tabel 5.4 viser et emissionsregnskab for Danmark. For begge tabeller gælder, at brancheopgørelsen er baseret på en aggregering af nationalregnskabets 130 brancher. Når ressource- og miljøregnskaberne knyttes til nationalregnskabet via fælles klassifikationer, som det er tilfældet med de viste tabeller, går det samlede regnskab bl.a. under betegnelsen NAMEA (National Accounting Matrix including Environmental Accounts). Regnskaber af denne type offentliggøres løbende af Danmarks Statistik som led i det Miljøøkonomiske Regnskab for Danmark.

For de fleste naturressourcer er brancheplaceringen af udvindingen uproblematisk, da udvindingsaktiviteterne er placeret i brancher, der er karakteristiske for aktiviteten, fx er udvinding af råolier og naturgas mv. placeret i en særskilt branche, ligesom udvinding af grus, ler, sten salt mv. er det. For andre naturressourcer kræver brancheplaceringen mere information og bearbejdning. Således er den viste brancheplacering af vandindvindingen ikke uden vanskeligheder, da de fleste brancher og husholdningerne har egen indvinding af vand. Det har derfor været nødvendigt at inddrage informationer om betalte og refunderede vandafgifter samt oplysninger fra virksomheders grønne regnskaber for at foretage branchefordelingen.

Som andre ressourcegnskaber viser opgørelsen af vandindvindingen, tabel 5.3, hvilke brancher der umiddelbart foretager ressourceindvindingen.

Brancherne kan selv anvende vandet, eller de kan levere vandet videre til andre brancher og husholdninger, som vandforsyningsbranchen typisk gør det. Som nævnt viser regnskabet – i modsætning til de fysiske input-output tabeller – ikke disse leverancer i økonomien.

Tabel 5.3
Indvinding af grundvand og overfladevand 1998.

	Grundvand	Overfladevand	I alt
	1000 kubikmeter		
I alt	734 020	24 431	758 451
Husholdninger	11 673	0	11 673
Brancher i alt	722 347	24 431	746 778
Landbrug, fiskeri og råstofudvinding	216 960	3 867	220 827
Industri	55 041	15 198	70 239
Energi- og vandforsyning	448 174	5 306	453 480
heraf vandforsyning	445 157	4 315	449 472
Bygge- og anlægsvirksomhed	0	0	0
Handel, hotel- og restaurationsvirks. mv.	418	0	418
Transportvirks., mv.	0	0	0
Finansieringsvirks. mv., forretningsserv.	0	0	0
Offentlige og personlige tjenesteydelser	1 754	60	1 814

Kilde: Danmarks Statistik, 2001

For de forskellige typer af stoffer viser emissionsregnskabet, tabel 5.4, hvor store emissioner der er fra de forskellige brancher. Også emissioner fra husholdninger, ikke-branchefordelte emissioner, naturlige udslip og grænseoverskridende emissioner fra udlandet er vist i tabellen.

Tabel 5.4
Luftemissioner, Danmark 1999.

	CO ₂	N ₂ O	CH ₄	SO ₂	NO _x	NH ₃
	1000 tons					
Husholdninger	11 542	1	6	4	54	2
Landbrug, fiskeri og råstofudvinding	5 624	20	173	5	50	94
Industri	7 453		1	18	15	
Energi- og vandforsyning	30 856	1	29	37	54	
Bygge- og anlægsvirksomhed	1 127			1	12	
Handel, hotel- og restaurationsvirks. mv.	1 374				8	
Transportvirks. mv.	5 551			10	52	
Finansieringsvirks. mv., forretningsservice	342				2	
Offentlige og personlige tjenesteydelser	846				5	
Udslip der ikke er branchefordelt:						
Diverse processer	1 522					
Spildevandsrensning og lossepladser			53			
Emissioner fra danske skibe i udlandet	15 277	1		330	417	
Menneskeskabte udslip i alt	81 515	24	263	406	669	96
Naturlige udslip		8	354			
Grænseoverskridende emissioner fra udlandet				59	68	14
Emissioner i alt	81 515	31	618	465	737	110

Kilde: Pedersen, Møller og Christensen, 2002

Da der kun undtagelsesvist findes dækkende basisdata for, hvor store emissioner de enkelte brancher udsender, er det nødvendigt at beregne branchernes emissioner eller at fordele kendte totaler ud på brancher. En brugbar metode til dette vil ofte være at anvende information om branchernes fysiske input, fx kan energirelaterede emissioner beregnes ud fra de energivarer, som brancherne anvender under brug af tekniske oplysninger om

sammenhængen mellem input og output. I det nævnte tilfælde med energirelaterede emissioner forudsætter emissionsregnskabet således et regnskab for forbrug af energi.

6 MFA

6.1 Begreber og indikatorer

MFA er forkortelsen for Material Flow Accounts, dvs. regnskaber for materialestrømme. MFA dækker strengt taget over en lang række tilgange til opgørelser af materialestrømme. Her bruges betegnelsen imidlertid for det, der også hedder Economy Wide Material Flow Accounts, altså materialestrømme for økonomien på det overordnede niveau. Der er tale om en beskrivelse af de samlede materialestrømme og om at se på økonomien som en helhed.

Gennem internationalt samarbejde er der efterhånden opstået en bestemt tradition for, hvorledes MFA skal udarbejdes, og Eurostat (Eurostat 2001) har opstillet retningslinjer herfor og defineret en række MFA-indikatorer.

MFA-princippet er illustreret i figur 6.1, hvor den mørke firkantede boks repræsenterer økonomien i bred forstand, dvs. alle økonomiske aktiviteter i form af produktion, forbrug og investeringer.

Tilgangen af materialer fra omgivelserne til økonomien udgøres dels af indenlandsk råstofudvinding, dels af importerede varer. Dette er de to eneste former for oprindelse for materialerne, der kan være. Opgjort for hele økonomien og for alle indenlandske ressourcer og importerede varer under ét kaldes denne materialetilgang for **det direkte materialeinput – Direct Material Input - DMI**.

TMI, Total Material Input fås ved at lægge mængden af indenlandske ubrugte ressourcer til DMI (se afsnit 2.1 vedrørende definition af ubrugte ressourcer).

Suppleres yderligere med tal for de såkaldte **indirekte materialestrømme i udlandet** (jf. afsnit 4.7 vedrørende indirekte strømme) fås indikatoren **TMR, Total Material Requirement**. Denne indikator er udtryk for den samlede mængde af materialer i naturen, der – på globalt plan – påvirkes af den økonomiske aktivitet i landet. Som dansk betegnelse for TMR kan **totalt materialebehov** benyttes. TMR indregner materialestrømmene i udlandet, men fratrækker ikke de strømme i Danmark og udlandet, der er betinget af den danske eksport. Opgørelsesmetoden indebærer i øvrigt en dobbeltregning, når forskellige landes TMR lægges sammen, fordi de samme ressourcer derved kan blive talt med flere gange.

I praksis foretages beregningen af TMR ud fra DMI ved at tillægge dels de ubrugte ressourcer ved indenlandsk ressourceudvinding, dels ved at omregne importen til såkaldte primære ressourceækvivalenter, RME, og tilknyttede ubrugte ressourcer. Hvis IF **betegner de indirekte brugte og ubrugte ressourcestrømme** i udlandet og i Danmark (dvs. de strømme, der ikke direkte er registreret i ressourceudvindingsstatistikken og Udenrigshandelsstatistikken) fås:

$$\text{TMR} = \text{DMI} + \text{IF}$$

hvor

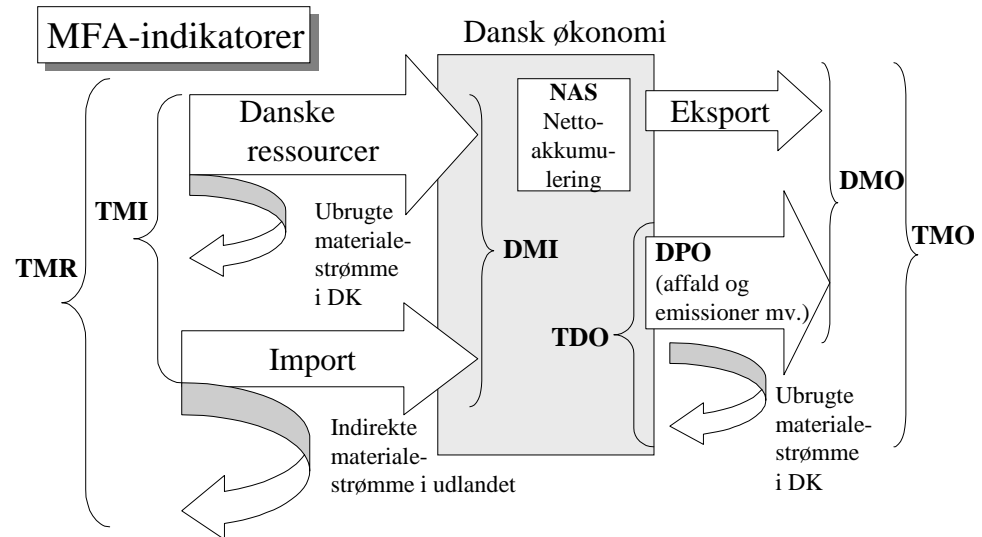
IF (indirekte ressourcestrømme)

= ubrugte ressourcer ved dansk ressourceudvinding

+ RME (primære ressourceækv.) for importen (brugte ressourcer)

+ ubrugte ressourcer ved udvinding af RME for importen

= importerede varer



Forbrugsindikatorer:

DMC = DMI – eksport

TMC = TMR – eksport og eksportens indirekte strømme

PTB = import – eksport

NAS = DMC - DPO

Figur 6.1

MFA-indikatorer.

Som supplement til disse tre **inputindikatorer** (DMI, TMI og TMR) kan forskellige indikatorer, der går under betegnelsen **forbrugsindikatorer** (jf. Eurostat 2001, p. 38) opstilles.

DMC, Direct Material Consumption (direkte materialeforbrug) beregnes ved at trække eksporten fra DMI. Indikatoren udtrykker det direkte ressourceforbrug, som det indenlandske forbrug giver anledning til. Forbruget inkluderer her også forbrug i produktionen, dvs. alle de rå- og hjælpestoffer, der medgår til den samlede produktion (herunder også den produktion, der eksporteres).

NAS, Net Addition to Stock (nettoakkumulering) er udtryk for, hvor stor en mængde materialer, der i løbet af året ophobes i økonomien. Der er tale om nye bygninger og anlæg, transportmidler og maskiner, lageropbygninger samt om varige forbrugsgoder. Opgørelsen foretages netto, hvilket vil sige, at vægten af de kapitalgoder mv., der skrottes i løbet af året, fratrækkes.

TMC, Total Material Consumption (totalt materialeforbrug) fås ved at lægge de indirekte materialestrømme til de enkelte komponenter i DMC. TMC fås også ud fra TMR ved at fratække eksporten og dens indirekte materialestrømme.

Den sidste forbrugsrelaterede materialestrømsindikator er **PTB, *Physical Trade Balance*** (fysisk handelsbalance), som fremkommer ved at trække eksporten fra importen. PTB kan opgøres inkl. eller ekskl. indirekte strømme.

Efter brug i økonomien forlader materialerne den indenlandske økonomi igen enten i form af varer, der bliver eksporteret, eller som affaldsstoffer (residualer) der ledes ud i omgivelserne (luftemissioner, vand- og jordforurening mv.). På outputsiden opstilles således forskellige **outputindikatorer**.

Som mål for mængden af residualer, der forlader økonomien i et givet år, benyttes indikatoren **DPO, *Domestic Produced Output*** (produceret indenlandsk output). DPO består af direkte strømme af affald og emissioner i bred forstand herunder også de varer (fx gødning), der bevidst eller ubevidst spredes i naturen. Genanvendte materialer indgår ikke i DPO.

TDO, *Total Domestic Output* (totalt indenlandsk output) er summen af DPO og de indenlandske ubrugte ressourcer. Der er tale om en indikator for den samlede mængde af output til miljøet som følger af den økonomiske aktivitet. Indikatoren inkluderer de ressourcer, der egentlig ikke har været brugt i økonomien, men som alligevel er blevet "forstyrret" af den økonomiske aktivitet (ubrugte ressourcer).

DMO, *Direct Material Output* (direkte materialeoutput) er defineret som summen af DPO og eksporten. DMO udtrykker den samlede vægt af de (brugte) materialer, der forlader økonomien.

TMO, *Total Material Output* (totalt materialeoutput) er summen af TDO og eksporten. TMO er udtryk for den samlede mængde af (brugte og ubrugte) materialer, der forlader økonomien.

Med henvisning til den detaljerede model i afsnit 5.2 og figur 5.2 og de betegnelser, der benyttes dér, kan følgende sammenhænge i øvrigt opstilles:

Inputindikatorer:

$$\text{DMI} = r_p + \sum i$$

$$\text{TMI} = r_r + \sum i = r_p + h + \sum i$$

Forbrugsindikatorer:

$$\text{DMC} = r_p + \sum i - e_p$$

$$\text{NAS} = \sum M = r_p + \sum i - e_p - \sum w$$

$$\text{PTB} = \sum i - e_p$$

Outputindikatorer:

$$\text{DPO} = \sum w$$

$$\text{TDO} = \sum w + h$$

$$\text{DMO} = \sum w + e_p$$

$$TMO = \sum w + h + e_p$$

hvor:

$$\sum i = i_p + i_c$$

$$\sum M = M_p + M_c + M_w$$

$$\sum w = w_p + w_c + w_w$$

6.2 Fortolkning og sammenligning af MFA-indikatorer

MFA bidrager først og fremmest med en belysning af overordnede sammenhænge på makroniveau, dvs. af størrelsen og arten af de materialestrømme, der sættes i værk af de økonomiske aktiviteter i et samfund. MFA kan danne baggrund for indikatorer, der viser noget om, hvordan det går med at afkoble væksten i de materielle strømme fra den økonomiske vækst (jf. afsnit 7.4), og hvorvidt det giver mening at tale om, at der foregår en dematerialisering. Sådanne makroindikatorer kan bidrage til at øge forståelsen af økonomiens materielle aspekter, og de kan have en væsentlig debatskabende funktion ved at skabe opmærksomhed om overordnede miljø- og fordelingsmæssige problemstillinger. Hvis der bliver politisk grundlag for det, kan sådanne indikatorer også anvendes i et meget overordnet styringsøjemed, idet de kan belyse, hvilke aktiviteter der i særlig grad sætter materialestrømme i gang hjemme og i udlandet, og hvilke former for økonomisk vækst der måske skal vurderes mere kritisk. På længere sigt kan sådanne indikatorer også understrege behovet for i højere grad at styre inputsiden af økonomierne fx ved – på internationalt plan – at beskatte ressourceudvinding.

Ved vurdering af MFA-indikatorernes anvendelighed til belysning af udviklingen kan det være nyttigt at sammenligne med anvendelsen af BNP, bruttonationalproduktet. BNP er en samlet indikator for den økonomiske vækst. Det er bredt accepteret, at BNP benyttes som en overordnet indikator for den økonomiske aktivitet. Heri ligger ikke, at BNP siger noget entydigt om udviklingen i velfærden. Det samlede BNP er en meget grov indikator, som på ingen måde kan stå alene som mål for den økonomiske udvikling. Forhold som betalingsbalance, beskæftigelse, skattetryk, offentligt underskud mv. må også indgå i en vurdering af om udviklingen er fornuftig. Ligeledes vil egentlige analyser af den økonomiske udvikling tage udgangspunkt i, hvordan enkelte branchers eller sektors økonomiske udvikling har været.

Tilsvarende er MFA-indikatorer helt overordnede indikatorer, der ikke retter sig direkte mod at belyse miljøpåvirkninger. MFA er derfor heller ikke egnet som redskab i forbindelse med direkte styring eller løsning af specifikke miljøproblemer. Derimod vil det være muligt at benytte de grundlæggende og/eller supplerende informationer fx om branchefordelte materialestrømme som del af beslutningsgrundlaget ved styring, løsning og kontrol.

Overvejelser om MFA-indikatorernes anvendelighed må også knyttes til spørgsmålet om, hvorvidt der skal sættes nogle mål op for, hvor store (visse af) materialestrømmene skal være, eller hvor meget de skal reduceres med. Regeringen har opstillet som pejlemærke, at forbruget af ressourcer på lang sigt skal begrænses til ca. 25% af det nuværende forbrug (Regeringen 2002b, s. 44).

Som helt overordnet redskab til måling af om denne reduktion faktisk finder sted, vil TMR i princippet kunne benyttes som udgangspunkt, men mere hensigtsmæssigt vil det dog nok være på baggrund af MFA-principperne at opstille delmål og delindikatorer for forskellige typer af ressourcer, da dette i højere grad vil muliggøre en analyse af udviklingen.

MFA-indikatorer er formentlig mest interessante i et langsigtet perspektiv. På kort sigt vil MFA-indikatorerne være påvirket af konjunkturerne, herunder ikke mindst om der er stor eller lille byggeaktivitet. Ved sammenligning af fx DMI eller TMR for to år, skal man således være opmærksom på, at indikatorerne vil være påvirket i betydelig grad heraf. Derfor er gennemsnit over flere år eller tidsserier, der belyser udviklingen mere velegnet end indikatorer opgjort med flere års mellemrum - i hvert fald når det drejer sig om at fange strukturelle skift og udviklingstendenser.

MFA-indikatorerne omfatter ud over output indikatorerne som nævnt både **inputindikatorer** og **forbrugsindikatorer**. Forskellen på de to sidste sæt af indikatorer udgøres af eksporten og de indirekte strømme knyttet til eksporten. De to sæt af indikatorer kan til en vis grad - men også kun til en vis grad - siges at være knyttet til to forskellige opfattelser af, hvilket ansvar landet har for materialestrømmene.

I det første tilfælde ses på samtlige indgående materialestrømme svarende til, at landet har ansvaret for samtlige økonomiske aktiviteter. Når der således tales om, at TMR er materialebehovet knyttet til den samlede økonomiske aktivitet i et land, skelnes der ikke mellem produktion og forbrug, idet der med den økonomiske aktivitet blot menes "det der foregår i landet".

I det andet tilfælde justeres for de materialestrømme, der forlader landet i form af varer. Derved afspejler forbrugsindikatorerne kun den materialemængde, der "forbruges" i landet svarende til, at landet ikke har ansvaret for de materialer, der eksporteres til udlandet. Når der her tales om forbrug, drejer det sig om forbrug i bred forstand dvs. både forbrug i produktionen og indenlandsk endelig anvendelse i form af privat forbrug og investeringer. Der er således ikke tale om, at MFA-forbrugsindikatorerne udtrykker materialeforbruget knyttet til husholdningernes forbrug alene.

Specielt DMC er det problematisk at knytte en snæver forbrugsansvarsbetragtning til, fordi en del af det inkluderede forbrug i produktionen går til at producere varer, der i sidste ende eksporteres. TMC, der også fratækker de indirekte strømme ved eksporten, kan derimod betragtes som et mål for, i hvor høj grad den indenlandske endelige anvendelse (forbrug og investeringer) har givet anledning til materialestrømme - dvs. et mere begrænset udgangspunkt for ansvaret. Denne fortolkning af TMC forudsætter dog, at beregningen af de indirekte materialestrømme ved eksporten også omfatter samtlige materialeinput, der er medgået ved produktionen af eksporten.

Der er således ikke nogen af MFA-indikatorerne, der direkte kan belyse, hvordan vi løfter produktionsansvaret henholdsvis forbrugsansvaret. Derimod siger input indikatorerne på den ene side noget om de samlede materialestrømme knyttet til den samlede økonomiske aktivitet (inkl. eksporten), og TMC kan på den anden side sige noget om materialestrømme knyttet til privat forbrug og investeringer under ét. Det sidste kræver dog, at de indirekte strømme knyttet til eksporten er korrekt og dækkende beregnet.

Ønsker man indikatorer, der mere præcist er rettet mod at belyse materialestrømmene knyttet til dele af den økonomiske aktivitet – fx for at fordele ansvaret for materialestrømmene – er det nødvendigt at benytte input-output baserede modelberegninger til bestemmelse af de indirekte strømme knyttet til de enkelte økonomiske aktiviteter. Derved vil det fx være muligt at opgøre de direkte og indirekte materialestrømme, der er knyttet til det private konsum, til det offentlige konsum, til eksporten og til investeringerne. I (Pedersen 2002) er resultatet af sådanne beregninger for 1997 vist. Se også afsnit 10.2. Man skal dog være opmærksom på at sådanne beregninger kræver, at materialestrømsopgørelserne og MFA-indikatorerne tilknyttes en branchefordeling, således at de nødvendige input-output beregninger kan foretages.

6.3 Analyse og fortolkning af materialestrømsopgørelser: Behov og problemer

I lyset af, at arbejdet med MFA gennem de seneste ti år *især* har fokuseret på udviklingen af metode og datagrundlag, synes der i dag at være behov for at diskutere og konkretisere fortolkningen af de mange tal. Det hidtidige fokus på metode- og dataudvikling ses bl.a. af opgørelser såsom EEA's ***Total material requirement of the European Union*** (Bringezu & Schütz 2001b & 2001c), der rummer detaljerede diskussioner og redegørelser af datagrundlaget og metoden for udviklingen af tal for bl.a. DMI og TMR og opgørelsen af disse i forhold til BNP, indbyggertal og på materialekategorier – men kun sporadiske og næsten usystematiske analyser og fortolkninger af de opnåede resultater.

En årsag til den manglende analyse og fortolkning af MFA-opgørelser kan formodentlig søges i det forhold, at data- og metodegrundlaget hidtil har været (og fortsat er) præget af stor usikkerhed og manglende konsensus. Denne mangel på datasikkerhed og metodekonsensus kom bl.a. til udtryk på projektets workshop 31. oktober 2002 på DTU (se bilag D). Dog er der med udgivelsen af Eurostat-guiden (Eurostat 2001) udviklet et første forsøg på en "international metodestandard" for arbejdet med Economy-wide MFA (i Eurostat-guiden er – for inputsiden – indikatorerne DMI, TMI, TMR, DMC, TMC, NAS og PTB beskrevet). Som følge af Eurostat's retningslinjer for MFA-opgørelser er det overvejende sandsynligt, at MFA-indikatorer for de forskellige EU-lande fremover vil være sammenlignelige på det definatoriske plan. Derimod er det ikke sikkert, at der vil være fuld overensstemmelse med fx fremtidige opgørelser for USA og Japan, ligesom der ikke vil være fuld konsistens ved sammenligning med tidligere opgørelser for EU-lande. Endvidere synes der at være problemer med datagrundlaget i form af, hvorvidt de grundlæggende tal (som indgår i metodestandarden) er konsistente på tværs af landene.

Et springende punkt i forhold til overvejelserne om at gennemføre detaljerede analyser og fortolkninger af resultater af MFA-opgørelser er, hvorvidt det på det nuværende data- og metodegrundlag ***overhovedet*** kan give mening at gennemføre sådanne analyser. Med andre ord: Er de nuværende usikkerheder og den hidtidige manglende metodekonsensus så udtalt, at usikkerhederne på resultaterne af MFA-opgørelser ***overstiger*** de forskelle (fx mellem lande, mellem sektorer, mellem brancher eller over tid), som man ønsker at bestemme og analysere?

I de tilfælde, hvor Wuppertal Institutet i Tyskland eller IFF (Interuniversitäres institut für interdisziplinäre Forschung und Fortbildung) i

Østrig har stået for de internationale opgørelser, må det formodes, at data langt hen ad vejen er konsistente.

Ulempen ved sådanne opgørelser er imidlertid, at et enkelt institut næppe har kendskab til alle forhold og til alle datakilder for de enkelte lande. Også af tidsmæssige årsager er det derfor nødvendigt, at man baserer sig på internationale databaser samt en lang række skøn og antagelser, når de enkelte landes MFA-indikatorer skal beregnes. Dette gør uden tvivl, at MFA-indikatorerne bliver noget mere summariske og mindre præcise.

Opgøres MFA-indikatorerne nationalt, rejser der sig derimod umiddelbart problemet om international sammenlignelighed, da forskellige datasæt og beregningsmetoder uvilkårligt vil blive brugt. En sammenligning af de to opgørelser af DMI for Danmark, som er foretaget af hhv. Danmarks Statistik for Miljøstyrelsen, jf. (Pedersen 2002) og IFF i Østrig, viste således, at IFF's brug af de internationale databaser medførte en række faktuelle datafejl i opgørelsen (dog uden større betydning for det samlede DMI), og at de to opgørelser fx adskilte sig definatorisk med hensyn til beregning af græs- og grøntfoderudbytte.

De definatoriske og datamæssige forskelle er det med tiden nok muligt at få styr på, således at indikatorerne for DMI, DMC m.m. bliver internationalt sammenlignelige. Et langt større arbejde tilbagestår med hensyn til de indirekte strømme. Ved beregning af de indirekte strømme er det i dag næsten udelukkende nødvendigt at basere sig på de faktorer for indirekte strømme, som Wuppertal Institutet ligger inde med. Hertil kommer, at afgrænsningen af de indirekte strømme og udvælgelsen af de varer, for hvilke de indirekte strømme skal beregnes, må være præget af pragmatiske løsninger og skøn. Det er derfor klart, at "decentrale" beregninger i de enkelte lande af fx TMR vil indebære store afgrænsningsmæssige og definatoriske forskelle, som uvilkårligt vil hæmme internationale sammenligninger.

Projektets workshop 31. oktober 2002 (bilag D) gav ikke noget entydigt svar mht. størrelsen af problemerne med datausikkerheder. Det synes dog at fremgå af workshoppens indlæg og diskussion, at datausikkerhederne især knytter sig til opgørelser af **skjulte strømme** samt bestemte materialekategorier. Skjulte strømme defineres af Wuppertal Institutet som dels nationale og udenlandske ubrugte strømme, dels udenlandske indirekte, brugte strømme, mens Eurostat i sin MFA-guide ikke medtager indirekte strømme i sin definition af skjulte strømme. Mht. materialekategorier knytter der sig især problemer til opgørelsen af **biomasse**, hvor valg af vandindhold (frisk vægt eller tørvægt) har afgørende betydning for det endelige resultat – ligesom der i nationale statistikker benyttes forskellige tilgange ved opgørelse af biprodukter ved høst (fx halm) og udbytte af græsningsarealer. Et tilsvarende problem gælder endvidere malmudvinding, hvor forskellige metoder anvendes til opgørelse af størrelsen af skjulte strømme. På andre felter er datausikkerheden dog rimelig; dette gælder især ved opgørelser af materialestrømme knyttet til fossile brændsler, industrielle mineraler og bygningsmineraler.

Opsummerende må det konstateres, at **på den ene side** vanskeliggøres international sammenligning af MFA-opgørelser af det usikre datagrundlag og den hidtidige manglende internationale konsensus i forhold til metodologi. Stor forsigtighed må derfor udvises mht. at drage konklusioner på baggrund af internationale sammenligninger. **På den anden side** synes behovet for sådanne sammenligninger (og en mere substantiel analyse af resultaterne i det hele

taget) at øges i takt med de gradvise forbedringer af data- og metodegrundlaget for Economy-wide MFA. Dels for at resultaterne af sådanne analyser kan bidrage til vores viden om sammenhænge mellem økonomisk aktivitet, materialestrømme, ressourceeffektivitet mv. (og dermed kan indgå i udviklingen af et miljøstrategisk informationsgrundlag for politisk handling), dels som et bidrag til en videreudvikling og forbedring af MFA-metoden. Sidstnævnte argument gælder, hvis forbedringen af data og metode forstås som den ene komponent i en vekselvirkning, hvor den anden komponent består i arbejdet med at analysere og fortolke frembragte data. Således vil analyse og fortolkning af MFA-resultater synliggøre metodiske og datarelaterede problemer og dermed bidrage til at orientere arbejdet med at forbedre grundlaget for MFA. Samtidig vil erfaringer fra arbejdet med at forbedre og udvikle datagrundlag og metode være et input til at kvalificere fortolkningerne af de frembragte resultater.

6.4 internationale analyser og fortolkninger af materialestrømsopgørelser

Vi sætter i det følgende fokus på, i hvilket omfang og hvordan hidtidige MFA-studier indeholder forsøg på fortolkning af resultater. Eksemplerne danner desuden grundlag for nogle mere overordnede betragtninger.

6.4.1 Eksempel 1: Total Material Requirement of the European Union (EEA/Wuppertal Institutet)

Wuppertal Institutet har for EEA gennemført et studie af TMR for EU (se Bringezu & Schütz 2001b). Overordnet set er studiet mangelfuldt på fortolkninger af forskelle dels mellem EU-landene indbyrdes, dels mellem EU og andre lande (fx USA og Japan). Der er dog undtagelser herfra; bl.a. rummer rapporten en diskussion af forskelle i tilknytning til en opsplitning af TMR på følgende materialekategorier: Fossile brændsler, Mineraler, Metaller, Biomasse og Erosion (Bringezu & Schütz 2001b, p 14). Heraf fremgår det, at:

Fossile brændsler: Materialestrømme knyttet til fossile brændsler udgjorde 29% af TMR for EU-15 i 1995 – eller 14,2 ton/indbygger. En sammenligning med USA viser, at EU-landenes materialestrømme knyttet til fossile brændsler kun udgjorde 43% af de tilsvarende amerikanske strømme i 1994. Som forklaring på denne forskel peger forfatterne på EU-landenes **lavere energiforbrug** og **det reducerede forbrug af kul** i Europa (overgang til andre energiformer).

Mineraler: Forbruget af mineraler er tæt knyttet til byggeri og anlæg, og udgør i EU 10,7 tons pr. indbygger – hvilket svarer til forbruget i USA. På et mere detaljeret plan viser opgørelserne, at Tyskland og Finland har den højeste andel af mineraludvinding, hvilket forklares ved Tysklands udvinding af sand, grus og natursten og Finlands udvinding af grus. Forfatterne går dog ikke ind i en nærmere diskussion af, hvilke årsager der er til denne forskel mellem Tyskland/Finland og det øvrige EU.

Metaller: Resultaterne viser, at EU's materialeforbrug knyttet til metaller er lidt højere end USA's (10,1 hhv. 9,4 ton/indbygger for EU hhv. USA) og betydeligt højere end det japanske (som er mere end 50% lavere end det europæiske). Disse forskelle kommenteres imidlertid ikke yderligere. Derimod bemærkes det, at indenfor EU er materialeforbruget – knyttet til metaller – betydeligt højere for Finland (21,5 ton/indbygger) end for resten af EU,

hvilket forklares ved det forhold, at metalfremstilling udgør en betragtelig del af den finske produktion.

Biomasse: EU's materialestrømme knyttet til biomasse er – opgjort som ton/indbygger – på samme niveau som USA's (ca. 6 ton/indbygger). Finland udgør i denne sammenhæng en undtagelse, idet de biomasserelaterede materialestrømme – igen opgjort som ton/indbygger – er næsten dobbelt så store som gennemsnittet for EU. Input af biomasse udgør for Finland 23% af TMR (mod 12% for EU som helhed) og er domineret af skovhugst, som udgør en betragtelig del af den finske eksport af varer.

Erosion: Den af landbrugsproduktionen forårsagede jorderosion udgør 10% af EU's samlede TMR – hvilket er næsten tre gange lavere end størrelsen af USA's jorderosion. Holland ligger i denne sammenhæng væsentlig højere end EU-gennemsnittet, hvilket af forfatterne forklares ved Hollands omfattende import af landbrugsprodukter fra især ikke-europæiske lande. Her er det især importen af produkter fra lande i Syd (såsom kaffe og kakao) – som handles og forarbejdes i Holland – der vejer tungt, idet der er knyttet store erosionsrater til produktionen af disse (se også efterfølgende diskussion af den såkaldte "Rotterdam-effekten").

Samme undersøgelse som den oven for beskrevne har endvidere dannet grundlag for udgivelsen (Bringezu & Schütz 2001a), som dog er udbygget med mere detaljerede analyser og opgørelser af EU's materialestrømme end førnævnte. Men trods den mere detaljerede gennemgang og præsentation af undersøgelsens resultater afstår forfatterne også her fra at gå ind i en nærmere analyse og tolkning af internationale forskelle i TMR. Forfatterne begrænser sig til følgende kommentar om disse forskelle:

”There are some differences in the methods for estimating the TMRs across countries. However, detailed analysis suggests that these differences have a rather small impact on the results. Other factors such as industrial structure or the openness of an economy towards international trade are likely to be much more important. Extensive research into the factors that explain why the levels and movements of TMR differ across countries is beyond the objectives of this study. A first step towards a better understanding of these factors is the analysis of the detailed components of TMR [...]” (Bringezu & Schütz 2001a, p 22)

Det bemærkes i øvrigt, at forfatterne anlægger et optimistisk syn mht. mulighederne for at benytte MFA-opgørelser til analyse og fortolkning af forskelle mellem landes materialestrømme (og årsagerne hertil). Dette står i nogen kontrast til andre forskeres mere kritiske syn på dette (se bl.a. Helga Weisz's kommentarer refereret i sammendraget af workshoppen den 31. oktober 2002; bilag D).

6.4.2 Årsager til forskelle i TMR skal søges i et kompleks af faktorer

Eksemplet i det foregående afsnit viste, at en række faktorer må indgå i analyser af forskelle mellem forskellige landes TMR. Der er ikke tale om, at disse faktorer skal "bortforklare" forskelle mellem forskellige landes TMR, men bevirke til at forstå forskellene. Som det vil fremgå, er nogle forskelle knyttet til naturmæssige forskelle i landene, mens det i andre tilfælde er forskelle, som skyldes de pågældende landes produktionsstrategi og forbrugsniveau:

Størrelsen af det enkelte lands forbrug: Dette illustreres med forskellen mellem EU og USA i størrelsen af materialestrømme knyttet til **fossile brændsler**, som delvist kan forklares ved det lavere energiforbrug (pr. indbygger) i EU.

Forbrugets sammensætning: Også dette kan illustreres ved forskellen mellem EU og USA i forhold til fossile brændsler, hvor det (relativt) lave forbrug af kul i Europa er en del af forklaringen på de tilsvarende lavere materialestrømme (sammenlignet med USA). Kul har – som brændselstype – tilknyttet store økologiske rygsække, og vejer derfor "tungere" sammenlignet med andre fossile brændsler.

Forekomsten af naturlige ressourcer: Også forekomsten og sammensætningen af naturlige ressourcer har betydning, idet disse indgår som faktorer i landets produktion. Oven for peges i en række tilfælde på dette som en forklaring på forskelle; eksempelvis bevirker forekomsten af metaller i den finske undergrund en – sammenlignet med andre EU-lande – betydelig industri inden for udvinding og fremstilling af metal, som forklarer, at materialestrømme knyttet hertil er væsentlig større for Finland sammenlignet med EU som helhed. Et andet eksempel er den betydelige finske eksport af tømmer og træprodukter, som har årsag i forekomsten af store skovarealer i Finland. Et tilsvarende eksempel vil sandsynligvis være den danske produktion af landbrugsprodukter.

Industriens sammensætning og specialisering: Delvist i sammenhæng med ovennævnte spiller industriens sammensætning og specialisering en vigtig rolle. Dette illustreres ved Holland, hvor erosion af jord udgør en (relativ) stor andel af TMR, idet Holland har en omfattende import af udenlandske landbrugsprodukter (såsom kaffe og kakao), som efter videre forarbejdning bl.a. eksporteres til udenlandske markeder.

Det ses heraf, at man må tage hensyn til et kompleks af faktorer, som hver især har betydning for størrelsen af TMR. Hertil kommer, at man kan pege på flere faktorer, end der nævnes i (Bringezu & Schütz 2002b). Eksempelvis vil størrelsen af den økonomiske aktivitet have en vigtig betydning, idet høj økonomisk aktivitet – alt andet lige – vil følges af et højt materialeforbrug.

Foruden de ovennævnte faktorer (som alle knytter sig til substantielle forskelle mellem lande i økonomiens størrelse og struktur) er der naturligvis en række andre forhold med relation til metode og datausikkerhed, som må tages i betragtning. En række af disse forhold (fx usikkerheder knyttet til opgørelsen af skjulte strømme) er beskrevet tidligere i dette kapitel.

Ved fortolkningen af forskelle i landes TMR (og andre MFA-indikatorer) har den såkaldte "Rotterdam-effekt" en særlig vigtig betydning. Rotterdam-effekten vedrører opgørelsen af materialestrømme knyttet til de produkter, et land importerer til senere eksport. I det foregående afsnit blev Hollands høje værdi for jorderosion netop forklaret ved, at Holland har en omfattende import (bl.a. via Rotterdam – heraf navnet "Rotterdam-effekten") af bl.a. landbrugsprodukter (med relateret jorderosion), som dels udgør transitvarer til andre lande, dels videreføres til senere eksport. I (Adriaanse et al. 1997) beskrives Rotterdam-effekten på følgende måde:

"As the international trade and transport functions play an important role in the Dutch economy, both the export and the transit flows are relatively large.

[...] the Netherlands is an intermediary in international flows and a major exporter in its own right.” (Adriaanse et al. 1997, pp 51-52)

Konkret håndteredes Rotterdam-effekten i (Adriaanse et al. 1997) ved at opdele Hollands import i to kategorier: direkte transitstrømme (**direct transit flows**), som umiddelbart omlades til andre destinationer og indirekte transitstrømme (**indirect transit flows**), som omfatter varer opbevaret i Holland for en tid før forsendelse. Ved beregningen af TMR for Holland medtog (Adriaanse et al. 1997) alene indirekte transitstrømme, hvorved Rotterdam-effekten begrænsedes delvist.

6.4.3 Eksempel 2: The Material Basis of Industrial Economies (World Resources Institute)

WRI (World Resources Institute 1997) publicerede et studie af TMR for landene: Tyskland, Holland, Japan og USA. Disse lande sammenlignes her i forhold til deres totale TMR, TMR opgjort på seks materialekategorier, opgjort på direkte materialeinput og skjulte strømme samt fordelingen mellem indenlandske og udenlandske komponenter af TMR.

Sammenligningen af landenes TMR (og udviklingen i denne over perioden 1975-1994) viser ligheder og forskelle. Ligheder består i, at TMR (målt som TMR/indbygger) over perioden generelt har været stigende for alle lande med undtagelse af USA. Den faldende tendens for USA tilskrives store reduktioner i den samlede jorderosion som følge af en målrettet indsats (the Conservation Reserve Program), hvor amerikanske jordbrugere blev betalt for ikke at opdyrke arealer med høje erosionsrater. Endvidere lå TMR for Tyskland, Holland og USA mod slutningen af perioden på næsten samme niveau (75-85 tons/person/år). Imidlertid ligger TMR for Japan bemærkelsesværdigt lavere end dette (omkring 45 ton/indbygger/år) og udgør derfor en vigtig undtagelse. Som forklaring på denne betydelige forskel, anfører forfatterne:

- Japans relativt lave energiforbrug (målt som energiforbrug/indbygger) er den primære årsag til, at TMR for Japan er væsentligt lavere end for de øvrige lande
- Bidraget til TMR fra den indenlandske erosion er for Japan relativt lavt, hvilket henføres til den risdyrkning, som er en dominerende fødevarerproduktion i Japan. Uden at det dog eksplicit er anført, må dette betyde, at risproduktionen må have tilknyttet en væsentlig lavere erosionsrate pr. person som følge af naturgivne forhold og dyrkningsmetoder. Dette kan forstærkes af det større arealkrav, der til sammenligning er ved en europæisk og amerikansk kost, som er baseret på et højere indtag af animalske produkter med deraf følgende arealbeslaglæggelse til dyrkning af foder

6.4.4 Opdeling af TMR på materialekategorier som led i sammenlignende analyse

En nyttig måde at indlede analysen af årsager til forskelle mellem lande i det overordnede TMR synes at være at opgøre TMR på hovedkategorier af materialestrømme. Denne fremgangsmåde har været benyttet af forfatterne til ovennævnte studie. Til illustration kan man – på baggrund af tallene fra ovennævnte studie – opstille følgende oversigt over TMR opdelt på materialekategorier, hvoraf det er muligt at sammenligne Japan, USA, Tyskland og Holland:

Tabel 6.1
TMR fordelt på materialekategorier.

TMR fordelt på materialekategorier Sammenligning af USA, Holland, Tyskland og Japan (1991)				
Materialekategorier	USA (ton/capita)	Holland (ton/capita)	Tyskland (ton/capita)	Japan (ton/capita)
Metals and industrial minerals	10	18 (*)	19 (*)	12 (*)
Fossil fuels	32	25	38	12
Construction minerals	8	9	16 (*)	9
Renewables	6	30	4 (*)	3
Infrastructure excavation	14	3	5 (*)	9
Erosion	15	0	5 (*)	1 (*)

Baseret på Adriaanse et al. 1997, pp 23-25

* NOTE: Der er for flere lande og materialekategorier fundet uoverensstemmelser mellem de tal, der kan udledes af tabellerne side 23-25 i Adriaanse et al. 1997 og de værdier, der kan aflæses på figur 2 i samme. I disse tilfælde har vi valgt at benytte aflæste værdier, da det antages, at figur 2 udtrykker mere gennemarbejdede analyser end førnævnte tabeller. Dette bevirker dog, at de med * markerede tal er behæftet med en vis usikkerhed.

Kategorien Renewables (fornyelige strømme) – der svarer til det, som andre steder betegnes biomasse – omfatter plantebiomasse fra landbrugsproduktion, skovning og høst af uopdyrkede arealer samt animalsk biomasse fra fiskeri, jagt og dyrehold.

I tabel 6.1 kan man udpege interessante forskelle landene imellem, som det vil være oplagt at forfølge og søge en forklaring på. Resultaterne af en sådan analyse kan bidrage til bl.a. at udpege ressource-ineffektive aktiviteter i de enkelte lande – men vil nok i ligeså høj grad kunne sige noget om landenes forskelligheder mht. størrelse og sammensætning af naturligt forekommende ressourcer, produktionens sammensætning og størrelse (herunder eksport) samt størrelse og sammensætning af det private og offentlige forbrug.

Af tabellen kan man umiddelbart udpege følgende interessante forskelle, som kræver en nærmere forklaring:

- Materialestrømme knyttet til kategorien **metal og industrielle mineraler** er relativt lave for USA og Japan (og modsvarende relativt høje for Holland og Tyskland)
- Materialestrømme knyttet til kategorien **fossile brændsler** er for Japan bemærkelsesværdig lave – og for USA og (især) Tyskland høje
- Materialestrømme knyttet til kategorien **bygningsmineraler** er bemærkelsesværdig høje for Tyskland
- Materialestrømme knyttet til kategorien **fornyelige strømme** er bemærkelsesværdig høje for Holland
- Materialestrømme knyttet til kategorien **Infrastruktur jordarbejde** er bemærkelsesværdig høje for USA og Japan – og modsvarende lave for Holland og Tyskland
- Materialestrømme knyttet til kategorien **jorderosion** er bemærkelsesværdig høje for USA og lave for Holland og Japan

Der peges i (Adriaanse et al. 1997) på forklaringer på flere af disse forskelle (jf. bl.a. de nævnte forklaringer på Japans lave TMR).

7 Ressourceeffektivitet, afkobling og levetider

7.1 Generelt om ressourceeffektivitet

Ressourceeffektiviteten udtrykker, hvor godt de ressourcer, der bruges til at opfylde menneskets behov, udnyttes. Ressourceeffektiviteten kan da defineres som forholdet mellem tilfredsstillelsen af de menneskelige behov, og de ressourcer der bruges til at tilfredsstille disse behov:

$$\text{Ressourceeffektivitet} : \gamma = \frac{\text{tilfredsstillelse af menneskelige behov}}{\text{ressourceforbruget}}$$

som også kaldes "ressourceproduktiviteten".

I kapitel 3 defineredes det såkaldte velfærdskriterie i forbindelse med bæredygtig udvikling: "Ethvert menneske skal have tilfredsstillet sit grundlæggende behov for føde, rent vand, bolig, tøj, uddannelse samt sociale behov, og fattigdom er uacceptabelt". Tælleren i udtrykket for ressourceeffektivitet – det menneskelige behov – er netop et udtryk for den velfærd, som ressourceforbruget skal sørge for.

Ligesom velfærden i velfærdskriteriet kan behovene opdeles i forskellige hovedbehov: Behovet for føde, rent vand, bolig, tøj mv. Disse hovedbehov søges tilfredsstillet gennem produktionen i sektorer/hovedbrancher såsom fødevarersektoren, byggebranchen, beklædningsbranchen osv. Hver sektor kan opdeles videre i egentlige brancher såsom mejeribranchen, møbelbranchen, osv. For hele samfundet, såvel som for hver hovedbranche og enkeltbranche kan ressourceeffektiviteten søges udtrykt.

I litteraturen findes flere forskellige måder, hvorpå ressourceeffektiviteten kan udtrykkes:

- A) ressourcer pr. person (tons/person*år), også kaldet **pr. person ressourceintensitet**, fx tons fossilt brændstof brugt pr. person pr. år
- B) ressourcer sat i forhold til de **service-enheder**, der tilfredsstiller behovene (tons/service-enhed), også kaldet **materiale-intensitet pr. service-enhed** (MIPS) fx materialer brugt pr. person transporteret pr. år
- C) **rene fysiske termer**, som ressourcer sat i forhold til de **varer**, der tilfredsstiller behovene
- D) ressourcer sat i forhold til **økonomiske indikatorer** (tons/BVT), som kaldes **økonomisk ressourceintensitet**, fx: Brændstof brugt pr. BVT (bruttoværditilvækst). Den reciproke værdi af den økonomiske ressourceintensitet er **ressourceproduktiviteten** (BVT/tons) eller **øko-effektiviteten**

- E) ressourcer sat i forhold til **areal**, (tons/(areal*år), som kaldes **areal ressourceintensitet**, fx tons pesticider brugt pr. ha pr. år
- F) % eller del af, fx % farlige kemikalier i produkter, som ender i affald eller % fornyelig energi af total energi

Ad A)

Ressourcer pr. person er et vigtigt udtryk, men er ikke et egentligt mål for ressourceeffektivitet, idet udtrykket ikke fortæller, hvor effektivt ressourcerne udnyttes, men kun, hvor mange ressourcer hvert enkelt menneske lægger beslag på. Sådanne mål kan for det enkelte land sammenlignes over tid for at få et billede af, om gennemsnitsborgeren foranlediger mobilisering af en mindre eller større mængde materialer over tid. Tilsvarende kan sammenligning af materialestrømme pr. indbygger naturligvis foretages på tværs af lande.

Ad B)

Materialestrømme pr. service-enhed (MIPS) er det mål, som kommer tættest på definitionen af ressourceeffektivitet, idet det er et mål for ressourceforbruget i forhold til den service, som opfylder behovet. Skønt MIPS er meget nyttigt på niveauet for specifikke produkter og serviceydelser, er det vanskeligt at aggregere MIPS-beregninger til hele nationen.

Ad C)

Tilnærmede de tilfredsstillende behov med de varer, der tilfredsstiller behovene, kan ressourceeffektiviteten udtrykkes i rene fysiske termer bestående udelukkende af materialestrømme. Dette er en grov tilnærmelse, idet det langt fra er givet, at de menneskelige behov tilfredsstilles af produkterne til forbrug. I afsnit 7.2 opstilles udtryk for ressourceeffektivitet ud fra sektormodellen, i afsnit 7.3 opstilles et udtryk for ressourceeffektiviteten på baggrund af Economy Wide MFA, og i afsnit 7.4 opstilles flere forskellige udtryk for ressourceeffektiviteten ud fra MFA-modellen af hele økonomien med endelig anvendelse.

Ad D)

En faldende økonomisk ressourceintensitet kaldes også økonomisk afkobling og viser, i hvilken grad økonomisk vækst er afkoblet fra ressourcebruget. Dette behandles i afsnit 7.5.

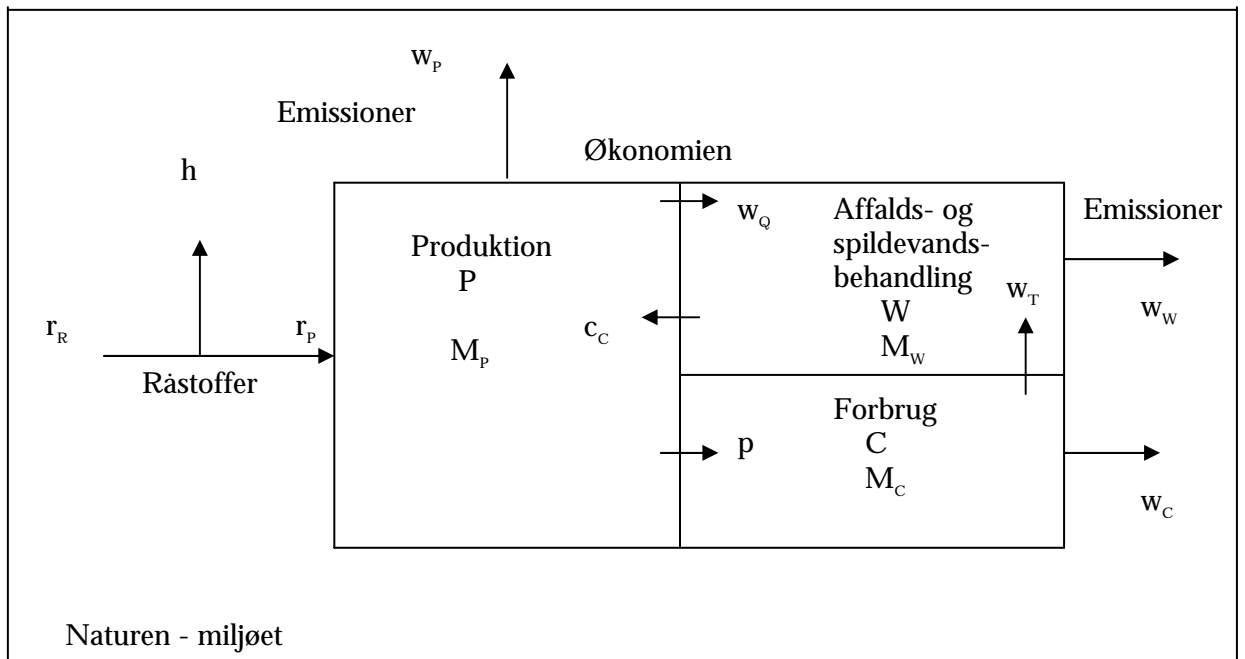
Ad E)

Areal ressourceintensiteten udtrykker, hvor meget et givet areal er belastet med materialestrømme.

Disse relative eller normerede indikatorer udtrykker relationen mellem 2 variable i forskellige kategorier i DPSIR-modellen. Eksempelvis udtrykker ressourceintensiteten (r/BNP) forholdet mellem ressourcestrømmen i "Pressure"-kategorien og bruttonationalproduktet i "Driving Force"-kategorien.

7.2 Sektormodellen

Ressourceeffektiviteten søges nu udtrykt i rene fysiske termer og i materialestrømme ifølge sektormodellen, figur 7.1.



Figur 7.1
Model for globale materialestrømme.

Ressourceeffektiviteten defineredes i afsnit 7.1 som forholdet mellem tilfredsstillelsen af de menneskelige behov, og de ressourcer der bruges til at tilfredsstille disse behov:

$$\text{Ressourceeffektivitet} : \gamma = \frac{\text{tilfredsstillelse af menneskelige behov}}{\text{ressourceforbruget}}$$

Idet de menneskelige behov tilnærmes med den produktmængde, p , som bruges til at tilfredsstille behovet ud fra ressourceforbruget, r , fås af sektormodellen for den globale økonomi (figur 7.1):

$$\text{Ressourceeffektivitet} : \gamma = \frac{p}{r}$$

hvor:

- p : materialestrømmen fra produktionen ind i forbrugssektoren
- r : strømmen af jomfruelige ressourcer ind i produktionssektoren

Ressourcerne kan være ressourcer ekskl. eller inkl. ubrugte materialestrømme under ressourceekstraktionen. Herved fås 2 forskellige måder, hvorpå ressourceeffektiviteten kan udtrykkes:

$$\text{Ressourceeffektivitet ekskl. ubrugte materialestrømme: } \gamma_P = \frac{p}{r_P}$$

$$\text{Ressourceeffektivitet inkl. ubrugte materialestrømme: } \gamma_B = \frac{p}{r_R}$$

I tabel 7.1 er vist udtryk for ressourceeffektiviteten for hver af verdenssamfundets sektorer samt for hele verdenssamfundet.

Tabel 7.1
Ressourceeffektivitet for verdensøkonomien.

		Ressourceeffektivitet γ	
Ressourceekstraktion	γ_R	$\frac{r_P}{r_R}$	<u>Ressourcer ind i produktionen</u> Ressourceekstraktion
Produktion	γ_P	$\frac{p}{r_P}$	<u>Produkter ind i konsumtionen</u> Ressourcer ind i produktionen
Konsumtion	γ_C	$\frac{p}{w_C}$	<u>Produkter ind i konsumtionen</u> Emissioner fra konsumtionen
Affalds- og spildevandsbehandling	γ_W	$\frac{c_C}{w_T + w_Q}$	<u>Recirkuleret affald ind i produktionen</u> Affald og spildevand til behandling
Total inkl. ubrugte strømme	γ_B	$\frac{p}{r_R}$	<u>Produkter ind i konsumtionen</u> Ressourceekstraktion
Total efter ressourceekstraktion	$\gamma_N = \gamma_P$	$\frac{p}{r_P}$	<u>Produkter ind i konsumtionen</u> Ressourcer ind i produktionen

Ressourceeffektiviteten, γ , kan også udtrykkes som funktion af emissionerne, w , og ressourceforbruget, r :

Ved stationaritet (ingen akkumulation):

$$\gamma = \frac{\text{produktstrømmen}}{\text{ressourcestrømmen}} = \frac{p}{r} = 1 \div \frac{w}{r}$$

hvor w = emissionerne fra produktionen.

Ved dynamiske forhold fås (med akkumulation Δ i produktionen):

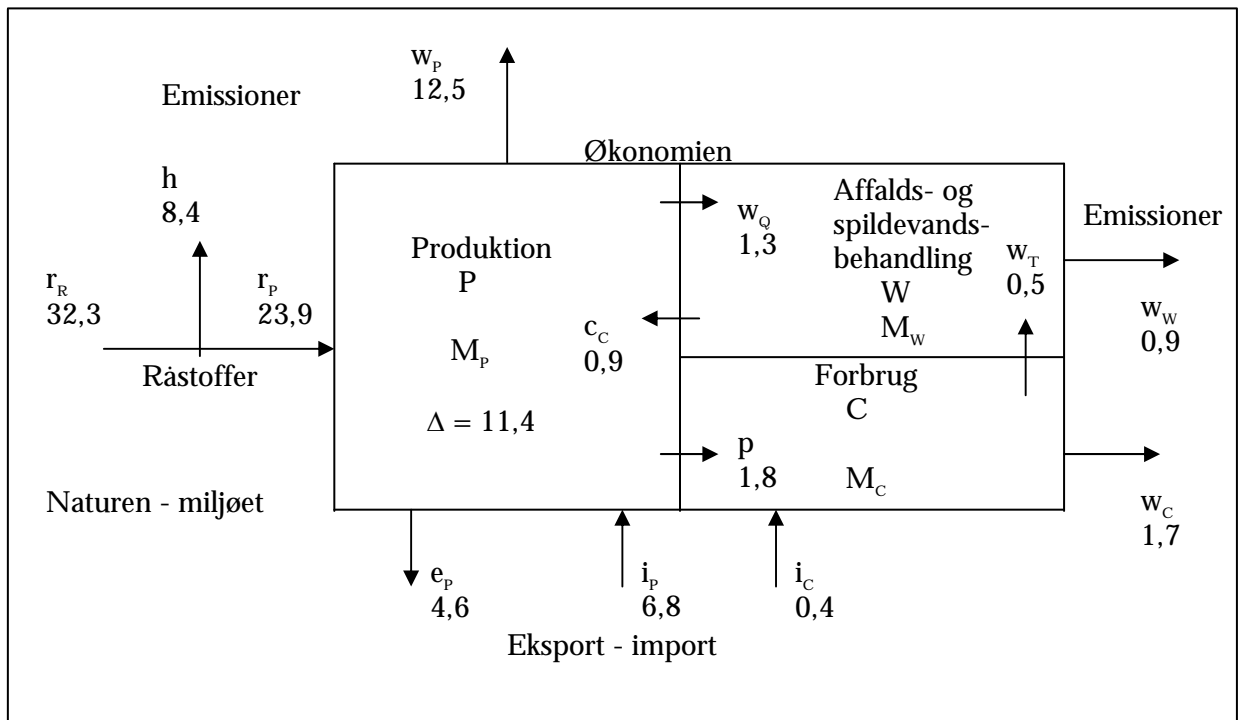
$$\gamma = \frac{p}{r} = 1 \div \left(\frac{w + \Delta}{r} \right)$$

Ressourceeffektiviteten γ kan have værdier af alle positive reelle tal, altså:

$$\gamma \geq 0$$

Ressourceeffektiviteten kan blive større end "1", såfremt materialet genanvendes. Såfremt alle ressourcer genanvendes (eller levetiden er uendelig lang) og emissionerne er nul, vil ressourceeffektiviteten blive uendelig stor. Ressourceeffektiviteten, γ , er således meget følsom ved store effektiviteter, men kun lidt følsom ved lave effektiviteter.

Ressourceeffektiviteten søges nu udtrykt for en national eller regional økonomi med import og eksport ifølge sektormodellen, figur 7.2.



Figur 7.2
 Model for national eller regional økonomi med import og eksport og tons/person/år for Danmark 1990.

For verdensøkonomien gjaldt – som før vist – følgende 2 udtryk for ressourceeffektiviteten:

$$\text{Ressourceeffektivitet ekskl. ubrugte materialestrømme: } \gamma_P = \frac{p}{r_P}$$

$$\text{Ressourceeffektivitet inkl. ubrugte materialestrømme: } \gamma_B = \frac{p}{r_R}$$

Heraf fås for den nationale eller regionale økonomi ved addition af importen og subtraktion af eksporten (se figur 7.2):

Ressourceeffektiviteten ekskl. ubrugte strømme:

$$\gamma_P = \frac{p + i_c}{r_P - \eta e_p + \phi(i_p + i_c)}$$

Ressourceeffektiviteten inkl. ubrugte strømme:

$$\gamma_B = \frac{p + i_c}{r_R \left(1 - \frac{\eta e_p}{r_P}\right) + \varepsilon \phi(i_p + i_c)}$$

hvor:

- φ : Middel IF-faktor for emissioner ved produktion af importvarer i udland
 η : Middel IF-faktor for emissioner ved produktion af eksportvarer i Danmark
 ε : Middel IF-faktor for ubrugte ressourcer under resourceekstraktion i udlandet

IF-faktoren er den faktor, som ganget på de direkte strømme giver summen af indirekte og direkte strømme.

I disse to udtryk for ressourceeffektivitet inkl. import og eksport er importen adderet til produktstrømmen og ressourcestrømmen, mens eksporten er subtraheret fra produktstrømmen og ressourcestrømmen. Faktoren, φ , transformerer import af forbrugsvarer tilbage til det materialeforbrug, som medgik til fremstillingen af den pågældende import i udlandet ud fra råstoffer. Faktoren, η , transformerer eksporten tilbage til det råstofforbrug, der medgik til fremstillingen af eksportvarerne i Danmark. Faktoren, ε , transformerer importens indhold af råstoffer tilbage til de jomfruelige ressourcer, altså inkl. ubrugte ressourcer.

Ressourceeffektiviteten for en hel nation inkl. import og eksport kan også udtrykkes ved hjælp af en kombination af modellen i figur 7.2 og MFA-indikatorerne:

Ressourceeffektiviteten ekskl. ubrugte strømme:

$$\gamma_P = \frac{p + i_c}{DMI - \eta e_p + (i_p + i_c)(\varphi - 1)}$$

Ressourceeffektiviteten inkl. ubrugte strømme:

$$\gamma_B = \frac{p + i_c}{TMR - \eta e_p \frac{r_R}{r_P}} \approx \frac{p + i_c}{TMC}$$

Som for verdensøkonomien kan der for den nationale eller regionale økonomi opstilles udtryk for ressourceeffektiviteten for hver sektor i samfundet ved at addere importen og subtrahere eksporten (tabel 7.2):

Tabel 7.2
Ressourceeffektivitet for verdensøkonomien.

		Ressourceeffektivitet γ
Ressourceekstraktion	γ_R	$\frac{r_P}{r_R}$
Produktion	γ_P	$\frac{p + ic}{r_P - \eta e_P + \phi(i_P + i_C)}$
Konsumtion	γ_C	$\frac{p + ic}{w_C}$
Affalds- og spildevandsbehandling	γ_W	$\frac{c_C}{w_T + w_Q}$
Total inkl. ubrugte strømme	γ_B	$\frac{p + ic}{r_R(1 - \frac{\eta e_P}{r_P}) + \varepsilon \phi(i_P + i_C)}$
Total efter ressourceekstraktion	$\gamma_N = \gamma_P$	$\frac{p + ic}{r_P - \eta e_P + \phi(i_P + i_C)}$

Udtrykkene for ressourceeffektivitet i tabel 7.2 for produktionen og total inkl. ubrugte ressourcer og ekskl. ubrugte ressourcer kan også anvendes for enkelte brancher i økonomien. I så fald skal import og eksport fortolkes som import og eksport til branchen, således at import og eksport indeholder de varer, der udveksles med andre brancher i den indenlandske økonomi.

Ressourcestrømme såvel som produktstrømme kan opdeles i forskellige strømme, som påvirker miljø og sundhed. Opdeler man i strømme af energi, vand, farlige kemikalier og tungmetaller fås følgende matrice:

Energieffektivitet	$\gamma_{ep} = \frac{P}{r_{energy}}$	$\gamma_{er} = \frac{P_{energy}}{r}$	$\gamma_{ee} = \frac{P_{energy}}{r_{energy}}$
Vandeffektivitet	$\gamma_{qp} = \frac{P}{r_{water}}$	$\gamma_{qr} = \frac{P_{water}}{r}$	$\gamma_{qq} = \frac{P_{water}}{r_{water}}$
Brug af farlige kemikalier	$\gamma_{tp} = \frac{P}{r_{toxic chem}}$	$\gamma_{tr} = \frac{P_{toxic chem}}{r}$	$\gamma_{tt} = \frac{P_{toxic chem}}{r_{toxic chem}}$
Brug af tungmetaller	$\gamma_{hp} = \frac{P}{r_{heavy met}}$	$\gamma_{hr} = \frac{P_{heavy met}}{r}$	$\gamma_{hh} = \frac{P_{heavy met}}{r_{heavy met}}$

Såfremt produktstrømmen, p, eller ressourcestrømmen, r, ikke har noget indeks, betyder dette, at hele produktstrømmen eller ressourcestrømmen betragtes. Hvis produktstrømmen, p, eller ressourcestrømmen, r, er indekseret med fx "energi", betyder det, at kun de energibærende materialestrømme som kul, olie, benzin og gas betragtes.

Indekseringen af ressourceeffektiviteten, γ_{ii} , er:

Første indeks: effektivitet for pågældende materialestrøm:

- e: energi
- q: vand
- t: farlige kemikalier

- h: tungmetaller

Andet indeks: Typen af ressourceeffektivitet:

- p: Hele produktstrømmen i tælleren
- r: Hele ressourcestrømmen i nævneren
- e, q, t, h: Den pågældende produktstrøm i tælleren og den tilsvarende ressourcestrøm i nævneren

Fx er energieffektiviteten for produktstrømmen:

$$\text{Energieffektivitet for produkter: } \gamma_{ep} = \frac{\text{produktstrømmen}}{\text{energiressourcestrømmen}}$$

Ressourcestrømmen for farlige kemikalier er materialestrømmen af jomfruelige syntetiserede farlige kemikalier.

I stedet for ressourceeffektiviteten, γ , bruges ofte den reciprokke værdi, κ , som benævnes produkteffektiviteten:

$$\text{Produkteffektiviteten: } \kappa = \frac{1}{\gamma} = \frac{\text{ressourcer}}{\text{produkt}}$$

som også kaldes "produktets ressource intensitet".

Fx: Produkteffektiviteten for vand: $\kappa_q = \text{vandforbrug/produkt}$

Ressourceeffektiviteten, γ , udtrykker i DPSIR-modellen forholdet mellem produktstrømmen, p, i "Driving Force"-kategorien og ressourcestrømmen, r, i "Pressure"-kategorien.

7.3 Overordnede MFA- og national regnskabsbaserede effektivitetsmål

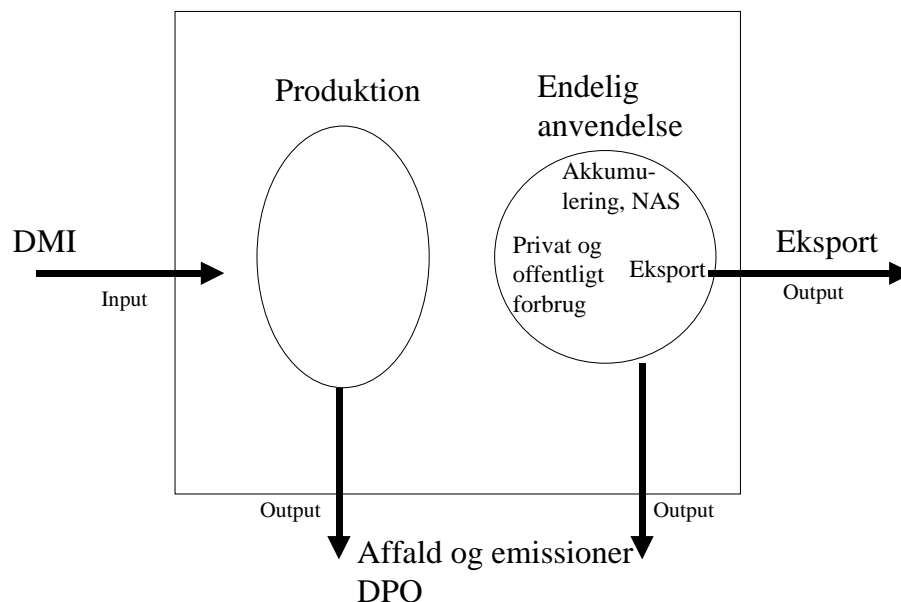
I dette afsnit ses på effektivitetsmål med udgangspunkt i de termer og begreber, der er indeholdt i nationalregnskabet, og disse kobles så vidt muligt til MFA-indikatorerne. Den fysiske input-output tabel, som er vist i tabel 5.3, er en summarisk udgave af et "fysisk nationalregnskab" og vil således langt hen ad vejen kunne benyttes som udgangspunkt for en konkret beregning af effektivitetsmålene – i hvert fald for så vidt angår de direkte strømme.

Måling af hvor effektivt indsatsfaktorer udnyttes, foretages generelt ved at beregne forholdet mellem relevante output og input for det system, hvis effektivitet skal måles. Det er også dette, der ligger bag opstillingen i afsnit 7.2 af ressourceeffektiviteten som p/r , altså som produktstrøm divideret med ressourceinput. Princippet er det samme i dette afsnit. Men fokus rettes nu mere direkte mod at koble effektivitetsmålene til de fysiske strømme, der korresponderer til nationalregnskabet begreber, samtidigt med at det klargøres, hvorledes de indgående strømme relaterer sig til de fysiske strømme, der optræder i MFA-opgørelserne.

På det helt overordnede plan og for landet som helhed kan vi se på forholdet mellem samlet output og samlet input, som også kan udtrykkes ved hjælp af

MFA-indikatorerne (for forklaring af de benyttede MFA-termer, se afsnit 6.1):

$$\begin{aligned} \text{output/input} &= \\ &= (\text{DPO} + \text{Eksport}) / \text{DMI} \\ &= (\text{DMI} - \text{NAS}) / \text{DMI} \\ &= 1 - (\text{NAS} / \text{DMI}) \end{aligned}$$



Det ses, at denne indikator blot er en simpel funktion af, hvor stor nettoakkumuleringen er det pågældende år. Indikatoren falder således med stigende nettoakkumulering, mens den stiger med øget materialeinput i økonomien (alt andet lige). Dette mål siger noget om **omsætningen** af materialer i økonomien, men da der ikke på outputsiden skelnes mellem, om materialerne er ønskværdige eller ikke, er målet næppe særligt relevant bortset fra, at det udtrykker graden af akkumulering i økonomien (0 svarer til, at hele inputtet akkumuleres, 1 svarer til, at der ingen akkumulering finder sted).

Til brug for egentlige mål for ressourceeffektiviteten er det nødvendigt at foretage opdelinger af de forskellige materialestrømme og at skelne mellem forskellige former for økonomisk aktivitet.

I nationalregnskabet opdeles økonomien i produktion (brancherne) på den ene side og endelig anvendelse på den anden side. Den endelige anvendelse består – som nævnt tidligere – af privat forbrug, offentligt forbrug, investeringer og eksport (jf. også tabel 5.3 og figur 5.3).

I relation til effektivitetsmål kan der skelnes mellem den indenlandske produktions effektivitet og den samlede økonomis effektivitet.

Lad os først se på **produktionens effektivitet**. Denne beregnes – når vi ser på alle brancher under et⁶ – ud fra forholdet mellem den mængde varer, som leveres fra brancherne til endelig anvendelse på den ene side og relevante inputs på den anden side. På outputsiden er der altså tale om, at vi fraregner den del,

⁶ Ses der kun på en enkelt branche eller en gruppe af brancher, bør output fra branchen måles som den produktion, der netto leveres ud af branchen eller branchegruppen, dvs. at interne leverancer af egne varer (forbrug i produktionen) fraregnes ved opgørelsen af produktionen.

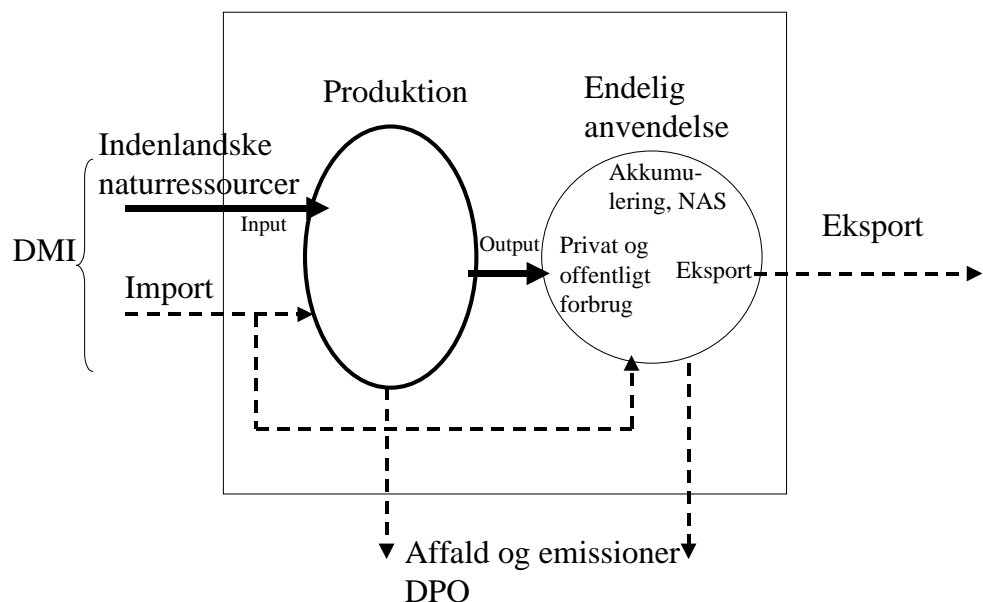
der går til forbrug i produktionen (rå- og hjælpestoffer). Målene for produktionens effektivitet siger noget om, hvor effektivt brancherne udnytter deres input til at levere produkter til endelig anvendelse.

Hvis produktionen i økonomien udelukkende er baseret på landets egne naturressourcer (ingen import af varer) – eller hvis fokus kun er på de indenlandske naturressourcer – kan **(indenlands-)ressourceeffektiviteten** beregnes som forholdet mellem produktionen af varer til endelig anvendelse på den ene side og input af indenlandske naturressourcer på den anden side. Her betragtes leverancerne til endelig anvendelse som det ønskværdige (i modsætning til forbrug i produktionen, affald, emissioner m.m.) og de indenlandske naturressourcer som det input, der skal udnyttes bedst muligt. Da samtlige indenlandske naturressourcer udvindes af brancherne, er det ikke nødvendigt at skelne mellem den del af ressourcerne, der benyttes af brancherne og den del, der går direkte til endelig anvendelse. Både output og input regnes i tons.

Effektivitetsmål 1.

Produktionens indenlandske ressourceeffektivitet

= $\frac{\text{produktion af varer til endelig anvendelse}}{\text{input af indenlandske naturressourcer}}$ (tons/ton)



Da der i praksis er import til økonomien, vil denne indikator være påvirket af skift i forholdet mellem input af indenlandske ressourcer og importerede varer. Med mindre fokus specifikt på forholdet mellem den endelige anvendelse og den mængde indenlandske ressourcer, der bruges, er dette effektivitetsmål næppe særligt nyttigt.

Ønskes et mål for hvor effektiv økonomien er til at udnytte den samlede mængde materialer, der benyttes som input i økonomien, må importen inddrages. Et effektivitetsmål kan således opstilles ved at dividere den samlede produktion til endelig anvendelse opgjort i tons med vægten af det samlede direkte materialeinput til forbrug i produktionen, dvs. ekskl. den import, der går direkte til de endelige anvendelser. Dette mål er et egentligt direkte **materialeffektivitetsmål for produktionen**. Der skelnes ikke mellem, hvilke type materialer der anvendes som input. Således vil materialeffektivitetsmålet udvise en stigende udnyttelsesgrad, hvis der sker en substitution væk fra

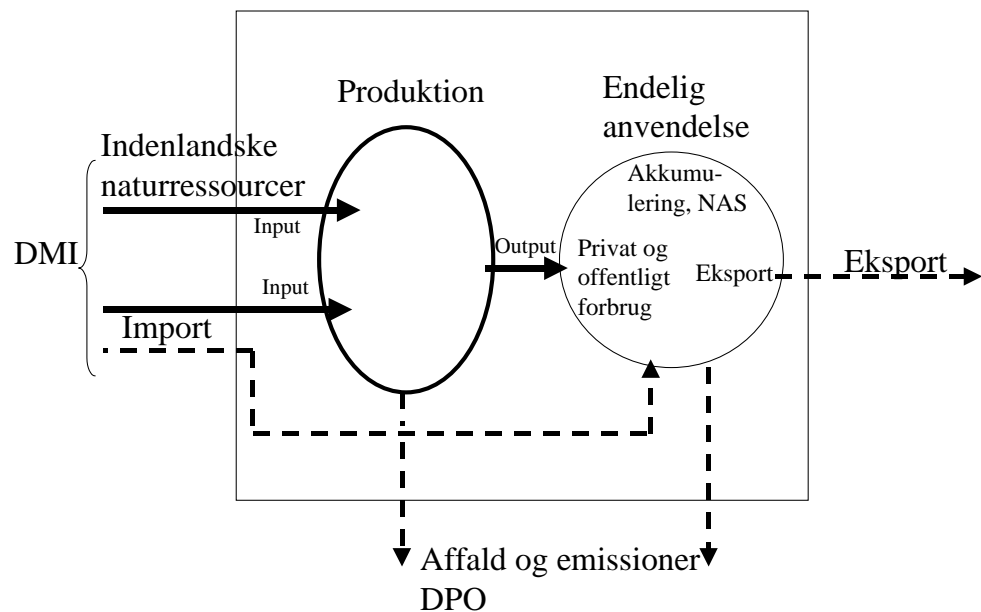
naturressourcer i rå form over mod import af mere forarbejdede varer, der blot skal have en sidste bearbejdning, inden de leveres til slutforbrugerne. Et materialeeffektivitetsmål for produktionen, der ligger tæt på 1, indikerer, at der ikke er meget *indenlandsk* spild fra produktionen (problemerne er henlagt til udlandet), mens et mål, der ligger i nærheden af nul, indikerer en lav materialeudnyttelse i produktionen og dermed en høj indenlandsk spildprocent, dvs. store affaldsmængder.

Effektivitetsmål 2.

Produktionens direkte materialeeffektivitet

= produktion af varer til endelig anvendelse / samlet direkte materialeinput i produktionen

= produktion af varer til endelig anvendelse /
(input af indenlandske naturressourcer + forbrug i produktionen af importerede varer) (tons/ton)



Nævneren kan i MFA-sammenhæng kaldes MRP: Material Requirement for Production. MRP kan også ses i forhold til de økonomiske indikatorer for produktionen fx BNP eller samlet produktionsværdi, jf. afsnit 7.4 vedrørende afkoblingsmål.

Samler interessen sig om naturressourcer og et mål, der i højere grad er uafhængigt af, om ressourceudvindingen og den indledende materialebearbejdning og -intensivering flyttes til udlandet, er det nødvendigt at omregne de importerede varer til ressourceækvivalenter, altså omregne importen til de primære ressourcer, der ligger bag de importerede varer (fx jernmalm i stedet for biler). Omregningen til ressourceækvivalenter kan alene omfatte de materialer, der indgår i importvarerne, eller de kan også omfatte alle de rå- og hjælpestoffer (fx energi), der er medgået ved produktionen i udlandet. Vælges sidstnævnte synsvinkel, og inkluderes desuden alle de ubrugte ressourcer, der er knyttet til det direkte materialeinput, fås en egentlig ressourceeffektivitetsindikator baseret på den del af TMR, der er knyttet til input i brancherne (se i øvrigt afsnit 6.1 vedrørende ressourceækvivalenter m.m.).

Effektivitetsmål 3.

Produktionens totale ressourceeffektivitet

$$= \frac{\text{produktion af varer til endelig anvendelse}}{\text{produktionen}} \cdot \text{TMR for forbrug i produktionen} \quad (\text{tons/ton})$$

Dette mål angiver for produktionen, hvor stor en andel af den samlede mængde primære ressourcer der ender som produkter til endelig anvendelse. Dette mål er nok det mål, der bedst giver et billede af, hvor effektiv den indenlandske produktion direkte og indirekte har udnyttet de globale ressourcer i forhold til den tilsvarende "behovstilfredsstillelse" i form af endelig anvendelse.

Lad os dernæst se på mål for **den samlede økonomis effektivitet**. Her tages der udgangspunkt i den samlede endelige anvendelse, dvs. endelig anvendelse af såvel indenlandsk producerede varer som importerede varer. Betragtningen er, at formålet med den økonomiske aktivitet i sidste ende er at tilfredsstille efterspørgslen i form af endelig anvendelse. Det er således denne, der er i fokus på output siden. Målene udtrykker på den baggrund, hvor effektivt der fremskaffes materialer til endelig anvendelse.

Det første effektivitetsmål for den samlede økonomi beregnes ved at dividere den samlede mængde varer, der går til endelig anvendelse med den samlede materialetilgang til økonomien, DMI. Hvis importen af varer, der går direkte til endelig anvendelse, ikke er stor, kan dette mål også betragtes som et tilnærmet mål for produktionens materialeeffektivitet (effektivitetsmål 2), idet importen af varer til endelig anvendelse blot er adderet i tæller og nævner. Under alle omstændigheder – altså også når importen til endelig anvendelse er stor – kan målet betragtes som en indikator for, hvor effektiv den samlede økonomi er med hensyn til at frembringe varer til endelig anvendelse. En økonomi, der har en relativ stor import af varer til endelig anvendelse, vil have en høj indenlandsk materialeeffektivitet svarende til, at der ikke indenlands dannes store mængder affald og emissioner i forbindelse med forsyningen af varer til endelig anvendelse.

Effektivitetsmål 4.

Økonomiens direkte materialeeffektivitet

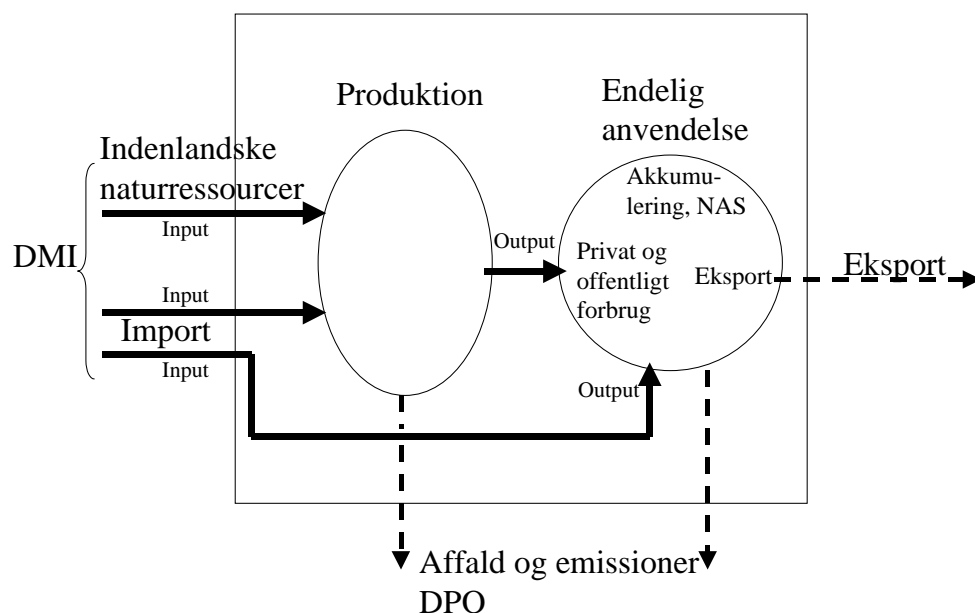
$$= \frac{\text{Samlet endelig anvendelse}}{\text{DMI}}$$

$$= \frac{\text{(produktion af varer til endelig anvendelse + import til endelig anvendelse)}}{\text{(input af indenlandske naturressourcer + forbrug i produktionen af importerede varer + import til endelig anvendelse)}}$$

$$\approx \frac{\text{Produktionens direkte materialeeffektivitet}}{\text{(input af indenlandske naturressourcer + forbrug i produktionen af importerede varer + import til endelig anvendelse)}}$$

$$\approx \text{Produktionens direkte materialeeffektivitet} \quad (\text{tons/ton})$$

hvor sidste \approx gælder, hvis importen til endelig anvendelse er lille.



Erstattes DMI i effektivitetsmål 5 med TMR, fås et mål for økonomiens totale effektivitet med hensyn til naturressourcer på globalt plan.

Effektivitetsmål 5.

$$\begin{aligned} & \text{Økonomiens totale ressourceeffektivitet} \\ & = \text{samlet endelig anvendelse} / \text{TMR} \end{aligned} \quad (\text{tons/ton})$$

Målet angiver, hvor stor en andel af de primære ressourcer inkl. ubrugte strømme (TMR), der ender som endelig anvendelse.

Såfremt interessen samler sig om den **indenlandske endelige anvendelse**, altså den endelige anvendelse fraregnet eksporten, kan følgende ressourceeffektivitetsmål opstilles:

Effektivitetsmål 6.

$$\begin{aligned} & \text{Den indenlandske endelige anvendelses ressourceeffektivitet} \\ & = (\text{endelig anvendelse} \div \text{eksport}) / (\text{TMR} \div \text{eksportens TMR}) \\ & = \text{indenlandsk endelig anvendelse} / \text{TMC} \end{aligned} \quad (\text{tons/ton})$$

I princippet forudsætter beregningen, at eksportens TMR bestemmes fuldt dækkende således, at fx også hele det indenlandske forbrug i produktionen afledt af eksporten fraregnes i nævneren.

Ingen af de ovenstående egentlige effektivitetsmål kan direkte beregnes på baggrund af de traditionelle MFA-indikatorer. De forudsætter alle en opdeling af materialestrømmene efter, hvilken anvendelse i økonomien (brancher eller endelig anvendelse) materialerne har.

Effektivitetsmålene 1-3 kan også opstilles for enkelte brancher eller branchegrupper, idet udtrykkene dog så må modificeres lidt for at tage hensyn til leverancerne til forbrug i produktionen, jf. fodnoten i afsnit 7.3.

Effektivitetsmål er – som navnet antyder – udelukkende mål for, hvor effektivt økonomien eller dele af denne fungerer. Effektivitetsmålene indikerer således på ingen måde, i hvilken grad der sker en påvirkning af miljøet eller sundheden. En stigende effektivitet er en forudsætning for, at

miljøpåvirkninger kan mindskes eller undgås, men det er ikke en tilstrækkelig betingelse, at effektiviteten stiger. Derfor kan effektivitetsmål heller ikke stå alene. De må suppleres med andre indikatorer, der i højere grad relaterer sig til miljø- og sundhedspåvirkningerne.

Når vi måler effektiviteten i relation til produktionens eller økonomiens input, kan vi naturligvis heller ikke afspejle, hvad der sker på outputsiden med hensyn til sammensætningen af affaldsmængder og emissioner mv. Der kan således ske skift i behandlingen af affaldsstrømme – fx et skift fra luftemissioner til fast affald eller omvendt.

7.4 Afkoblingsmål på basis af MFA

En slags variant af effektivitetsmålene fås ved at fokusere på afkobling dvs. på, hvordan en uønsket sideeffekt ved den økonomiske aktivitet udvikler sig i forhold til den økonomiske aktivitet.

Da materialestrømmene i MFA-sammenhæng anses for uønskede – eller i hvert fald forbundet med uønskede sideeffekter – er det sædvanligt i MFA-sammenhæng at betragte materialestrømmene i forhold til økonomiske størrelser som fx BNP.

Forskellige varianter af MFA-baserede afkoblingsmål kan således opstilles, fx:

TMR/BNP
TMC/BNP
DPO/BNP

Disse afkoblingsmål relaterer sig til den samlede økonomi dvs. produktion og endelig anvendelse under ét. Der er dog ikke noget i vejen for, at afkoblingen kan måles i relation til produktionen alene – det kan være den samlede produktion eller enkelte branches produktion. I afsnit 7.3 indførte vi betegnelsen MRP for det samlede input i produktionen. Et mål for den samlede produktions afkobling kan derfor udtrykkes som:

MRP/BNP

Det er klart, at afkoblingsmålene afspejler, hvilken type produktion der foregår i landet, herunder branchesammensætningen. En økonomi, der bevæger sig fra produktion af varer over mod produktion af tjenester, kan måske resultere i en afkobling mellem de fysiske strømme og den økonomiske vækst (se diskussionen heraf i kapitel 10).

BNP anvendes oftest som den økonomiske indikator, afkoblingen måles i forhold til. Man skal her være opmærksom på, at BNP som sådan ikke er et mål for velfærd. Derfor er afkoblingsindikatorerne strengt taget størrelser, hvor noget, der ikke siger noget om miljøpåvirkninger, divideres med noget, der ikke siger noget om velfærd. Hvor relevant afkoblingsindikatorerne er i forbindelse med miljø og velfærd, afhænger derfor af, hvor godt man mener, at indikatorerne trods alt afspejler miljøpåvirkninger og velfærd.

Mere pragmatiske fortolkninger af afkoblingsindikatorerne kan dog også lægges til grund, idet man kan hævde, at tælleren og nævneren afspejler målsætninger indenfor miljøpolitikken hhv. den økonomiske politik. Man ønsker, at tælleren skal falde, og nævneren skal stige.

7.5 OECD-indikatorer for afkobling af økonomisk udvikling og miljøbelastning og ressourceforbrug

OECD har i sin publikation *Indicators to Measure Decoupling of Environmental Pressure from Economic Growth* udviklet et sæt indikatorer, der sætter fokus på, hvorvidt der i en national økonomi eller dele heraf sker en afkobling af økonomisk udvikling fra udviklingen i miljøbelastning og ressourceforbrug. Samtidig giver publikationen en oversigt over andre internationale organisationers arbejde med indikatorer inden for området. OECD har arbejdet med afkoblingsindikatorer siden organisationens første runde af vurderinger af medlemslandene miljømæssige præstation (OECD Environmental Performance Reviews i årene 1992-2000). Her var fokus på sammenhængen mellem økonomisk vækst og udviklingen i luftforurening (luftemissioner). I næste runde vil flere afkoblingsindikatorer blive medtaget. Den pågældende rapport skal ses i lyset af dette ønske om i højere grad at kunne vurdere afkobling mellem økonomisk vækst og belastningen af natur og miljø.

I publikationen slås til lyd for, at spørgsmålet om afkobling bedst vurderes ved at sammenholde udviklingen i såkaldte "Driving Forces" (økonomisk udvikling, befolkningsudvikling m.m.) med udviklingen i en "Pressure"-indikator inden for ressourceforbrug eller miljøpåvirkning (jf. EEA's DPSIR model). Argumentet er, at ændringer hurtigere ses i Pressure-indikatorer end i State eller Impact.

OECD's rapport præsenterer i alt 31 indikatorer, som har været vurderet i en OECD peer review process. 10 af disse er fundet konceptuelt i orden og med data for mindst 20 lande siden i hvert fald 1990. Andre 12 indikatorer er også godkendt konceptuelt, men her er data ikke tilgængelige i tilstrækkeligt omfang. De sidste 9 indikatorer er blevet bedømt til at mangle yderligere udviklingsarbejde i form af definition, måleenheder el.lign.

Nogle af indikatorerne er nationale indikatorer, mens andre er sektorspecifikke indikatorer for sektorerne energi, transport, landbrug og fremstillingsindustri. En oversigt af de foreslåede indikatorer og en sammenligning med forslag fra FN's CSD-arbejde (Commission for Sustainable Development) og fra EEA fremgår af tabel 7.3.

Som det fremgår af oversigten, er det kun en del af indikatorerne, der fokuserer på selve ressourceforbruget (DMI, økologisk fodspor (ekskl. fodspor for energi), vandforbrug, træ, fisk og biodiversitet), mens andre indikatorer fokuserer på miljøbelastning fra ressourceforbrug i form af emission af drivhusgasser (og enkelte andre luftemissioner, nitratudvaskning og affaldsmængder).

Rapporten peger på, at vurderinger af afkobling ikke kan stå alene i en vurdering af, hvorvidt en udvikling er acceptabel. Afkoblingsindikatorer siger således noget om en ændring over tid, men siger ikke noget om det absolutte niveau af presset på miljøet – altså hvorvidt der er sket en absolut afkobling af vækst og belastning, således at belastningen på naturen er faldet. Ydermere siger de relative (og heller ikke de absolutte) ændringer ikke noget om, hvorvidt presset på naturen skal reduceres, eller om det er i orden, at presset på den pågældende del af naturen stiger yderligere – herunder om der er en grænse, som det absolutte niveau kan vurderes op imod. Det kunne fx være et spørgsmål om, at forbruget af fornyelige ressourcer skal vurderes op imod disse ressourcers fornyelsesrate. Der peges ydermere på, at der bør udvikles

mål for afstanden til realiseringen af eventuelle mål (såkaldte "distance-to-target" vurderinger).

En anden problemstilling drejer sig om internationale sammenligninger, der kan være vanskelige, fordi udgangspunktet i forskellige lande kan være forskelligt, og fordi lande benytter sig af forskellige tidsplaner i deres eventuelle bestræbelser på at reducere et eller andet pres på naturen.

Det gennemgående vurderingsgrundlag i OECD's publikation er vurderinger af belastning sammenholdt med økonomisk udvikling i form af GDP eller tilsvarende størrelser for en sektor. I enkelte tilfælde vurderes op mod udviklingen pr. person eller for befolkningen som helhed. Hvis udviklingen vurderes i forhold til udviklingen i GDP, siger vurderingen ikke noget om, hvorvidt presset på naturen er blevet mindre, men kun noget om, hvordan økonomien har udviklet sig i forhold til det pågældende område. Således kan et stigende forbrug af fossil energi blive skjult af en stigning i en endnu voldsommere stigning i olieprisen (måske netop pga. knaphed), der vil få GDP til at stige og dermed skjule udviklingen i ressourcetrækket.

Bl.a. rapportens vurdering af udviklingen i Danmark viser vigtigheden af at diskutere, hvad afkoblingen skal vurderes op imod, idet der for udviklingen i emission af drivhusgasser (både totalt og for CO₂) nok ses en afkobling, hvis der vurderes op mod udviklingen i GDP, men ikke hvis der vurderes op mod befolkningsudviklingen – altså hvis der ses på belastningen pr. person.

Rapporten peger på vigtigheden af at udvikle intermediate indikatorer gennem en dekomponering af den primære indikator – netop med henblik på at kunne vurdere baggrunden for udviklingen i afkoblingsindikatoren. Dette arbejde er kun gennemført for nogle få indikatorer. For andre indikatorer er udviklet såkaldte kontekst indikatorer ("context indicators"), der skal ses som baggrund for at vurdere udviklingen i afkoblingsindikatoren.

Et eksempel på dekomponering af en indikator er opdelingen af indikatoren for udviklingen i emission af drivhusgasser i relation til GDP i indikatorer for:

- emissioner pr. forbrug af primær energienhed, der bl.a. afhænger af udviklingen i anvendelsen af forskellige typer fossil energi
- forbruget af primær energi pr. forbrug af energi i forbrugsleddet, der bl.a. afhænger af typerne af fossil energi og effektivitet i omdannelsen til forskellige energiformer
- forbruget af energi i forbrugsleddet i forhold til den økonomiske omsætning, der bl.a. afhænger af energi-intensiteten i end-use, typen af fossil energi samt ændringer i de økonomiske aktiviteter og økonomiens struktur (fx forskydning mellem forskellige typer industri)

Dataene for de europæiske OECD-lande peger på en absolut afkobling mellem emission af drivhusgasser og økonomisk udvikling for nogle landes vedkommende i perioden 1980-1998, mens der for andre lande kun er tale om et relativt fald. Denne udvikling dækker over en stigning i anvendelsen af elektricitet, der giver et større omdannelsesstab og dermed større tab pr. forbrugt energi i forbrugsleddet og fald på henholdsvis 20% i emissioner pr. primær energienhed især som følge af et relativt lavere forbrug af kul og olie (og en stigning i forbruget af naturgas og vedvarende energi) og et fald på 20-25% i energiforbrug pr. GDP, der dækker over både stigninger og fald i energieffektivitet (fx mere effektivt udstyr, men samtidig mere tab som følge af mere forbrug af elektricitet) samt ændringer i branchesammensætning,

hvilket kan skyldes udflytning af mere energitung industri til lande uden for Europa.

Dermed peger OECD-rapporten på, at analyser af materialestrømme ikke er et spørgsmål om at finde *den* rigtige indikator, men et spørgsmål om ved hjælp af en række forskellige indikatorer at kunne belyse en problemstilling for dermed at give grundlag for politikudvikling.

Tabel 7.3
Decoupling indicators and other indicator sets⁷.

	OECD		UN	EU	
	Core set of env. indicators ^a	Sets of sectoral env. indicators ^b	UNCSD Sustainable Development indicators	EU Env. Pressure indicators ^d	EEA Environmental Themes/Signals ^e
ECONOMY-WIDE DECOUPLING INDICATORS					
CLIMATE CHANGE					
Total greenhouse gas (GHG) emissions per unit of GDP and per capita	+		+	+	+
Total CO ₂ emissions per unit of GDP and per capita	+			+	+
AIR POLLUTION					
Total NO _x emissions per unit of GDP	+	+	+	+	+
Total SO _x emissions per unit of GDP	+	+	+	+	+
Total emissions of fine particulate matter per unit of GDP				+	+
Total VOC emissions per unit of GDP				+	+
WATER QUALITY					
Population NOT connected to sewage treatment plants versus total population	+	+		+	+
Discharges of nutrients from households into the environment versus total population	+			+	+
WASTE MANAGEMENT					
Municipal waste going to final disposal versus private final consumption (PFC)		+		+	
1. <i>Municipal waste going to final disposal per unit of municipal waste generated</i>	+	+		+	
2. <i>Municipal waste generation versus PFC and population</i>	+	+		+	+
Amount of glass NOT collected for recycling versus PFC	+	+	+	+	
MATERIAL USE					
Direct Materials Input (DMI) per unit of GDP	+				+
Ecological Footprint (minus energy component) per unit of GDP.					
NATURAL RESOURCES					
Water resources					
Total freshwater abstraction per unit of GDP	+	+	+	+	+
3. <i>Freshwater abstraction as a share of available resources</i>	+	+	+		
Forests and forest products					
Amount of paper/cardboard NOT recycled versus GDP	+			+	
4. <i>Intensity of use (harvest/annual growth)</i>	+	+		+	
5. <i>Share of plantation & sustainably managed forests in total forest area</i>	+				
Fisheries					
6. <i>Context information, fisheries sector</i>	+	+		+	
Biodiversity					
Pressure version of the Natural Capital Index per unit of GDP					
DECOUPLING INDICATORS FOR SPECIFIC SECTORS					
ENERGY					
CO ₂ , SO _x , and NO _x emissions from energy use per unit of GDP		+			+
7. <i>Emissions versus total primary energy supply (TPES)</i>		+			+
8. <i>TPES versus total final consumption (TFC)</i>			+	+	+
9. <i>TFC versus GDP</i>		+	+	+	+
Energy-related CO ₂ emissions from the residential and commercial sectors per square metre of floor area					
10. <i>Emissions per unit of TFC by the residential and commercial sectors</i>					

7. Note: *Intermediate and context indicators are in italic font / ~*: → + indicators that are based on identical or similar variables

a) OECD Core set of environmental indicators; b) OECD sets of sectoral environmental indicators (transport, energy, agriculture, household consumption); c) UN-CSD List of indicators of sustainable development; d) European Commission/Eurostat Environmental pressure indicators for the European Union (2001); e) European Environment Agency Themes for indicators and Environmental Signals (2000 and 2001 edition)

	OECD		UN	EU	
	Core set of env. indicators ^a	Sets of sectoral env. indicators ^b	UNCSD Sustainable Development indicators	EU Env. Pressure indicators ^b	EEA Environmental Themes/Signals ^c
11. TFC by the residential and commercial sectors per square metre of floor area					
CO ₂ emissions from electricity generation					+
12. CO ₂ emissions per unit of fossil fuels (FF) input					
13. FF input per unit of electricity generated from FF			+	+	
14. Share of fossil fuels in electricity generation					
TRANSPORT					
Emissions of CO ₂ , NO _x , VOCs from passenger cars and freight vehicles (combined) per unit of GDP				+	+
15. Emissions per vehicle-kilometre		+			+
16. Vehicle-kilometres per unit of GDP		+			+
Passenger car-related emissions of NO _x and VOCs per unit of GDP					
17. Emissions from passenger cars per private passenger-kilometre					+
18. Share of private passenger transport in total passenger-kilometres					+
19. Total passenger-kilometres per unit of GDP		+			+
Freight road transport-related emissions of NO _x and VOCs per unit of GDP					+
20. Emissions from freight vehicles per road tonne-km					+
Share of road freight transport in total freight transport		+			+
21. Total tonne-kilometres per unit of GDP		+			+
AGRICULTURE					
Soil surface nitrogen surplus versus agricultural output	+	+			+
22. Nitrogen efficiency: share of uptake to input		+			
Methane and nitrous oxide emissions from agriculture versus agricultural output		+			+
Water intensity: total agricultural water use versus agricultural output				+	+
Fertiliser intensity: apparent consumption of commercial fertiliser (NPK) versus final crop output	+	+	+	+	+
Pesticide intensity: apparent consumption of pesticide versus final crop output	+	+	+	+	+
23. Share of the total agricultural area under organic farming		+			+
MANUFACTURING					
NO _x emissions from manufacturing industry versus manufacturing value-added				+	+
Waste generated by manufacturing industry versus manufacturing value-added	+				
CO ₂ emissions from energy-intensive industries versus value-added					
24. CO ₂ emissions versus energy consumption					
25. Energy consumption of energy-intensive industry versus value-added					
Freshwater abstraction by manufacturing industry versus manufacturing value-added				+	

7.6 Levetid

Levetiden, T, for materialer i en sektor af samfundet er defineret som mængden af materialer, M, i sektoren divideret med den materialestrøm, m, som forlader sektoren. For stationære forhold fås:

$$T = \frac{M}{m}$$

hvor:

M: Mængden af materialer i den pågældende sektor

m: Materialestrømmen ud af sektoren

For ikke stationære forhold, som jo er det almindelige, må udtrykket for levetiden integreres hen over hele materialets/produktets levetid (livscyklus) i den pågældende del af økonomien eller hele økonomien:

$$T = \int \frac{M(t)}{m(t)} dt$$

Som en tilnærmelse kan levetiden under ikke-stationære forhold beregnes som:

$$T = \frac{\bar{M}}{\bar{m}}$$

hvor:

\bar{M} : Middelmængden af materialer ophobet i sektoren beregnet over ca. 3 opholdstider

\bar{m} : Middelstrømmen ud af sektoren beregnet over ca. 3 opholdstider

Levetiden af materialer i økonomien er en vigtig faktor for at opnå bæredygtig udvikling, se næste afsnit. Jo længere levetid produkterne har, desto mindre bliver den årlige kasserede mængde produkter. Derfor anbefales levetiden som indikator, se kapitel 9.

Lidt mere kompliceret er det, når der ses på de samlede emissioner fra produktion og drift af produkterne. Skal emissionerne minimeres, bør produkter med store mængder forbrug af driftsmidler – især energiforbrug – skiftes ud med produkter med lavere forbrug af driftsmidler. For hvert produkt findes et optimum for udskiftningstidspunktet afhængig af forholdet mellem det gamle og det nye produkts ressourceforbrug ved produktion og anvendelse.

For at opnå en bæredygtig udvikling er det således bl.a. nødvendigt dels at forlænge selve levetiden, T , af produkter og bygninger, dels at reducere deres forbrug af energi – og hjælpestoffer, det vil sige øge ressourceeffektiviteten, γ . For en mere fyldestgørende beskrivelse af dette, se afsnit 7.7.

Levetiden for materialer i økonomien kan beregnes for hver sektor i samfundet såvel som for hele samfundet: Anvendes sektormodellen fås:

Tabel 7.3
Levetider for materialer i verdensøkonomien.

Sektor	Levetid, T		
Produktion	T_P	$\frac{M_P}{p + w_P + w_Q}$	<u>Materialer i produktionssektor</u> Produkter + emissioner + affald til behandling
Konsumtion	T_C	$\frac{M_C}{w_T + w_C}$	<u>Materialer i konsumtionsektor</u> Affald til behandling + emissioner
Affalds- og spildevandssektor	T_W	$\frac{M_W}{c_C + w_W}$	<u>Materialer i affalds- og spildevandssektor</u> Recirkulerede materialer + emissioner
Total inkl. ubrugte strømme	T_Σ	$\frac{\Sigma_M}{h + w_P + w_C + w_W}$	<u>Alle materialer i samfundet</u> Alle emissioner
Total efter ressourceekstraktion	T_N	$\frac{M_P + M_C + M_W}{w_P + w_C + w_W}$	<u>Materialer i produktion, forbrug og affaldssektor</u> Emissioner fra produktion, forbrug og affaldssektor

Fx er levetiden (år) for byggematerialer i forbrugssektoren lig med materialer i alle boliger (tons) divideret med nedrivningshastigheden (tons/år).

Ved at subtrahere eksporten kan de tilsvarende levetider efter sektormodellen udtrykkes for hver sektor i den nationale eller regionale økonomi samt for hele den nationale eller regionale økonomi, tabel 7.4:

Tabel 7.4
Levetider for materialer i den nationale eller regionale økonomi.

Sektor	Levetid, T		
Produktion	T_P	$\frac{M_P}{p - e_P + w_P + w_Q}$	<u>Materialer i produktionssektor</u> Produkter + emissioner + affald til behandling
Konsumtion	T_C	$\frac{M_C}{w_T + w_C}$	<u>Materialer i konsumtionsektor</u> Affald til behandling + emissioner
Affalds- og spildevandssektor	T_W	$\frac{M_W}{c_C + w_W}$	<u>Materialer i affalds- og spildevandssektor</u> Recirkulerede materialer + emissioner
Total inkl. ubrugte strømme	T_Σ	$\frac{\Sigma_M}{h - e_P + w_P + w_C + w_W}$	<u>Alle materialer i samfundet</u> Alle emissioner
Total efter ressourceekstraktion	T_N	$\frac{M_P + M_C + M_W}{w_P - e_P + w_C + w_W}$	<u>Materialer i produktion, forbrug og affaldssektor</u> Emissioner fra produktion, forbrug og affaldssektor

7.7 Vejen til bæredygtig udvikling

Som beskrevet i kapitel 1 skal indikatorerne angive, om samfundets materialestrømme går i retning af bæredygtig udvikling. Derfor er det væsentligt at finde indikatorer, som i en teoretisk og praktisk sammenhæng

indikerer vejen til bæredygtig udvikling. I det følgende udvikles en række indikatorer ud fra begrebet om bæredygtig udvikling. Det bliver således vist, hvordan økologisk råderum, ressourceudnyttelse, emissioner, ressourceeffektivitet og levetider indgår i vejen til en bæredygtig udvikling.

Der tages udgangspunkt i begrebet om bæredygtig udvikling. Som tidligere omtalt kan kriterierne for miljø- og velfærdsdimensionen i bæredygtig udvikling udtrykkes formelt som:

C) Kriteriet for emissioner: Emissionerne, w , skal være mindre end eller lig med det økologiske råderum for emissioner, e_e :

$$w \leq e_e \Leftrightarrow \frac{w}{e_e} \leq 1$$

$\frac{w}{e_e}$ er ***emissionstrykket på det økologiske råderum for emissioner***

og ved differentiering: $\delta w \leq \delta e_e$

som viser den alarmerende dobbelte hastighed, hvormed den ikke bæredygtige udvikling foregår, fordi " δe_e " ofte er negativ pga. reduktionen i kvalitet og størrelse af økosystemer, og " δw " ofte er positiv pga. stigende emissioner. Dette er specielt alarmerende i forhold til drivhuseffekten: reduktionen i CO_2 -optaget pga. reduktionen i arealet af terrestisk planteklorofyl kombineret med stigende emissioner af CO_2 vil forårsage en kraftigt stigende koncentration af CO_2 i atmosfæren. Dog er produktion af alger ved fotosyntese i oceanerne delvist et dræn og en buffer for denne proces, såfremt algevæksten ikke er begrænset af næringssalte, temperatur og solindstråling. En øget algevækst i kystnære områder kan skabe iltvind, mens effekterne af en øget algevækst i oceanerne er mere ukendte.

D and E) Kriterier for ressourcer: Ressourceudnyttelsen, r , skal være mindre end eller lig med det økologiske råderum for ressourcer, e_r , (= opdagelsen af nye ikke-fornyelige ressourcer eller regenerering af fornyelige ressourcer):

$$r \leq e_r \Leftrightarrow \frac{r}{e_r} \leq 1$$

$\frac{r}{e_r}$ er ***ressourcetrykket på det økologiske råderum for ressourcer***

og ved differentiering: $\delta r \leq \delta e_r$

som viser den dobbelte hastighed for den ikke bæredygtige udvikling for nogle fornyelige ressourcer såsom fisk, tropisk tømmer og langsomt dannende grundvand. Regenereringen af disse fornyelige ressourcer er reduceret pga. forurening, tab af biodiversitet, defragmentering, eller destruktion, hvorimod udnyttelsen af disse ressourcer er forøget. For ikke-fornyelige ressourcer er " δe_r " for flere ressourcer nær nul, da tilgængeligheden af ressourcer af høj lødighed er faldende, hvorimod " δr " er stigende pga. øget forbrug af ikke-fornyelige ressourcer.

A) Kriterium for materiel velfærd: Mængden af forbrugsvarer, M_C , skal være større end eller lig med den politisk bestemte minimum materielle levestandard, MSL_{min} :

$$M_C \geq MSL_{min}$$

Da $M_C = p \cdot T_C$ og $\gamma_P = \frac{P}{I}$ fås:

$$P \cdot T_C \geq MSL_{min} \Leftrightarrow \frac{MSL_{min}}{(p \cdot T_C)} \leq 1 \Leftrightarrow \frac{MSL_{min}}{(\gamma_P \cdot r \cdot T_C)} \leq 1$$

$\frac{MSL_{min}}{(\gamma_P \cdot r \cdot T_C)}$ er intensiteten af den materielle velfærd. Udviklingen i den reciprokke værdi af intensiteten af den materielle velfærd udtrykker graden af dematerialisering

Ved differentiering fås:

$$\delta MSL_{min} \leq \delta M_C \Leftrightarrow \delta MSL_{min} \leq (\gamma_P r \delta T_C + T_C \gamma_P \delta r + T_C r \delta \gamma_P)$$

som fortæller, at for at eliminere den globale materielle fattigdom og øge den globale materielle levestandard er det nødvendigt – men ikke tilstrækkeligt – at øge ressourceeffektiviteten, $\delta \gamma_P$, levetiden af produkter, δT_C , eller ressourceekstraktionen, δr . En øget ressourceekstraktion kan dog være problematisk (afhængig af ressource typen).

Opfattes mængden af forbrugsvarer til rådighed for befolkningen som en statistisk fordeling i forhold til indkomstfordelingen, bliver et yderligere kriterium for at eliminere global fattigdom, at fordelingen af ressourcer globalt og nationalt skal udjævnes.

Kombinering af kriterierne A), C), D) og E) giver bæredygtighedskriterierne for både materiel velfærd og miljøet:

$$\frac{MSL_{min}}{\gamma_P \cdot T_C} \leq r \leq e_r \wedge r = w \leq e_e$$

hvis det for simpelhedens skyld antages, at der ikke forekommer ophobning af materialer ($\Delta = 0$).

Hvis vi definerer det almene økologiske råderum, e , som det mindste af råderummene for ressourcer og de tilsvarende emissioner, fås:

$$e = \min(e_r, e_e)$$

hvoraf fremkommer:

$$\frac{MSL_{min}}{\gamma_P \cdot T_C} \leq r \leq e$$

som fortæller, at forbruget af ressourcer skal være større end eller lig med behovet for materiel velfærd samt mindre end eller lig med det økologiske råderum for emissioner og ressourcer. Disse grænser kaldes også for gulvet og loftet for forbruget af ressourcer. Det kombinerede kriterium fortæller også, at vejen til bæredygtig udvikling går gennem øget ressourceeffektivitet, γ , øget levetid af produkter, T , samt dematerialisering af velfærden, $\frac{MSL_{min}}{(\gamma_P \cdot r \cdot T_C)}$, og herunder en mere jævn fordeling af ressourceforbruget mellem mennesker.

Ved differentiering fås:

$$\delta MS L_{min} \leq (\gamma_P r \delta T_C + T_C \gamma_P \delta r + T_C r \delta \gamma_P) \leq (\gamma_P e \delta T_C + T_C \gamma_P \delta e + T_C e \delta \gamma_P)$$

hvilket viser, at vejen til bæredygtighed går gennem øget ressourceeffektivitet, $\delta\gamma$, øget levetid af produkter, δT , øget kvalitet og kvantitet af naturlige økosystemer, δe , samt dematerialisering af velfærden, $\delta MS L_{min}^{<0}$, og herunder en mere jævn fordeling af ressourceforbruget, $\int \frac{r}{N} \delta N$, mellem mennesker.

Da

- loftet for bæredygtighed allerede er overskredet for nogle væsentlige ressourcer og emissioner
- fattigdom og ulige fordeling af velfærden er udbredt
- tendensen til ikke bæredygtig udvikling øges for nogle væsentlige ressourcer og emissioner
- vejen til bæredygtig udvikling er snæver

må nationerne, EU og verdenssamfundet gøre sit yderste for at føre menneskeheden ind på den snævre vej til bæredygtig udvikling ved at:

- eliminere fattigdom og sikre en mere lige fordeling af materiel velfærd
- øge energibesparelser og skifte fra fossile brændsler til fornyelige energikilder
- dematerialisere og afgifte de industrielle og post-industrielle økonomier
- forøge ressourceeffektiviteten og levetiden af produkter betydeligt
- beskytte naturlige ressourcer mod forurening, defragmentering, overudnyttelse og destruktions
- øge kvaliteten og kvantiteten af naturlige økosystemer

7.8 Eksempler på beregning af ressourceeffektivitet ud fra sektormodel I en

I dette afsnit beregnes den nationale ressourceeffektivitet i Danmark og for møbelbranchen som illustration af formlerne for ressourceeffektivitet udviklet i afsnit 7.1.

Indikatorer for totale materialestrømme i Danmark i 1990 beregnes ved hjælp af tallene i figur 5.2 i sektormodellen:

IF-faktorerne sættes skønsomt til:

$$\eta = 2$$

$$\varphi = 2,2$$

$$\varepsilon = 2$$

Ressourceeffektivitet ekskl. ubrugte strømme beregnes til:

$$\gamma_P = \frac{\mathbf{p} + \mathbf{i}_C}{\mathbf{r}_P \div \eta \mathbf{e}_P + \phi(\mathbf{i}_P + \mathbf{i}_C)} = \frac{1,8 + 0,4}{23,9 \div 2 * 4,6 + 2,2(6,8 + 0,4)} = 0,07$$

Ressourceeffektivitet inkl. ubrugte strømme beregnes til:

$$\gamma_B = \frac{\mathbf{p} + \mathbf{i}_C}{\mathbf{r}_R(1 \div \frac{\eta \mathbf{e}_P}{\mathbf{r}_P}) + \varepsilon \varphi(\mathbf{i}_P + \mathbf{i}_C)} = \frac{1,8 + 0,4}{32,3(1 \div \frac{2 \cdot 4,6}{23,9}) + 2 \cdot 2,2(6,8 + 0,4)} = \frac{2,2}{46,2} = 0,04$$

En analyse af de disintegrerede data viser, at for at forøge ressourceeffektiviteten for tons materialer i Danmark er det mest vigtigt at reducere energiforbruget, brugen af kul og olie samt materialeforbruget ved bygge og anlæg.

Eksempler på beregning af indikatorer for ressourceeffektivitet i niveau D i indikatorpyramiden vises for møbelbranchen i Danmark:

For **selve møbelbranchen** i Danmark ekskl. ubrugte strømme og genanvendelse fås ved hjælp af data fra (Pommer 2002):

Ressourceeffektiviteten udregnet som **materialeffektiviteten**, γ_{mP} for møbelbranchen beregnet for tons totalt aggregerede strømme (enhed: 1.000 tons) er:

$$\gamma_{mP} = \frac{\mathbf{p}}{\mathbf{r}_P} = \left(\frac{\mathbf{Møbelproduktion}}{\mathbf{råstofforbrug i produktionssektor}} \right) = \frac{385}{940} = 0,41$$

Alternativt kan ressourceeffektiviteten γ_{mP} for møbelbranchen beregnes ved hjælp af emissionerne i stedet for ved hjælp af produktstrømmene. Ved indsættelse af tons totalt aggregerede strømme fås (enhed: 1.000 tons):

$$\gamma_{mP} = 1 + \left(\frac{\mathbf{genanvendelse} - \mathbf{emissioner} - \mathbf{akkumulation}}{\mathbf{råstofforbrug}} \right) = 1 + \frac{28 \div 531 \div 0}{940} = 0,46$$

Forskellen mellem de beregnede ressourceeffektiviteter på 0,41 og 0,46 skyldes unøjagtighed i datamaterialet. Det vurderes, at ressourceeffektiviteten ligger nærmere 0,41 end 0,46, idet beregningen af emissioner og akkumulation er behæftet med betydelig usikkerhed. Faktisk er det forbavsende, så ens de to beregninger falder ud, når man betænker usikkerheden på tallene.

Den således beregnede ressourceeffektivitet for selve møbelproduktionen udtrykker den tidligere nævnte materialeeffektivitet, γ_m , som her er på et totalt aggregeret niveau for møbelbranchen. Det vil sige, at alle materialestrømme er adderet, og således er fx tons lim, lak og kemikalier lagt sammen med tons møbeltræ. Lim, lak og kemikalier har visse negative sundheds- og miljøeffekter, mens træet dels har betydning for biodiversiteten i skovene,

fikseringen af kuldioxid i skovene samt udledning af forbrændingsgasser – især drivhusgasser – ved endelig destruktion. Lim, lak og kemikalier udgør imidlertid kun en forsvindende lille del af de indgåede tons. Herved kommer materialeeffektiviteten primært til at udtrykke, hvor effektivt de store indgåede ressourcemængder som træ, stål og energiråstoffer anvendes i produktionen.

Beregningen for **energieffektiviteten**, γ_{eP} i produktionssektoren, altså i selve møbelbranchen, er:

$$\gamma_{eP} = \frac{p}{r} = \left(\frac{\text{Møbelproduktion}}{\text{energiforbrug i P - sektor}} \right) = \frac{385}{5,6 + 3,8} = 41 \text{ tons møbler/TJ}$$

Beregning for **hele økonomien** i Danmark inkl. råstofudvinding vedrørende møbler – en livscyklusberegning – giver:

Beregning af materialeeffektiviteten, γ_{mB} , giver ved indsættelse af totalt aggregerede materialestrømme:

$$\gamma_{mB} = \frac{p}{r} = \left(\frac{\text{Møbelproduktion}}{\text{råstofforbrug i R, P, C og W sektor}} \right) = \frac{385}{940 \cdot 3,7} = 0,11$$

Det ses, at materialeeffektiviteten er betydeligt mindre for hele livscyklus (0,11) end blot for møbelbranchen (0,41). Dette skyldes primært den store materialeomsætning ved råstofekstraktionen.

Beregning for **energieffektiviteten** giver:

$$\gamma_{eB} = \frac{p}{r} = \left(\frac{\text{Møbelproduktion}}{\text{energiforbrug - genvinding}} \right) = \frac{385}{5,6 + 3,8 \div 6,6} = 138 \text{ tons møbler/TJ}$$

Det ses, at energieffektiviteten er betydeligt større for møbler i hele livscyklus (138 tons møbler/TJ) end for selve møbelbranchen (41 tons møbler/TJ). Dette skyldes, at energien i træet udnyttes ved forbrænding af affaldet. Det skal dog bemærkes, at råstoffernes energiindhold ikke er medregnet i de foreliggende data, hvilket betyder, at den beregnede energieffektivitet er for høj.

8 Overordnet forslag til indikatorsystem

8.1 Oversigt

Kapitlet giver en overordnet oversigt over et generelt system for materialestrømme, samt et overordnet indikatorsystem, der indeholder indikatorer på forskellige niveauer, som i vid udstrækning kan opstilles ved anvendelse og bearbejdning af eksisterende miljø- og energistatistik.

I kapitel 9 ses på en konkret delmængde af dette overordnede system: Et MFA-baseret indikatorsystem, som i praksis vil kunne opstilles ved udnyttelse og viderebearbejdning af foreliggende data og statistik om ressource- og varestrømme.

8.2 Mål og krav til indikatorer

Ordet "indikator" kommer af latin, "indicator, indicare" og betyder "pege på", "angive" eller "vise indirekte". I nærværende sammenhæng skal indikatorerne angive, om samfundets materialestrømme over tid går i retning af bæredygtig udvikling.

Indikatoren værdi kan sammenlignes med politisk fastsatte mål eller delmål for bæredygtig udvikling, og differencen mellem indikatorværdi og målet bestemmes. Denne afstand til målet kan anvendes til at bestemme den politiske regulering af økonomien, ressourceanvendelsen og emissionerne for hermed at mindske afstanden til målet. Herved bliver indikatorerne output-signal i en reguleringssløjfe til bestemmelse af fejlen (afstanden til målet) for hermed at kunne indregulere systemet.

Der skal stilles krav til indikatorerne vedrørende deres relevans, kvalitet, målemetode, validitet, usikkerhed (nøjagtighed), sammenlignelighed, forståelighed, datatilgængelighed og frekvens. Der tages udgangspunkt i FN's metodologi (UN 2001):

- 1. Indikator:** Navn, definition, enhed, placering i indikatorsystemet
- 2. Policy relevans:** Formål, relevans til bæredygtig udvikling, internationale konventioner, internationale mål og standarder, forbindelse til andre indikatorer
- 3. Metodologisk beskrivelse:** Underliggende definitioner og koncepter, målemetoder, begrænsninger, status, alternative definitioner/indikatorer
- 4. Vurdering af data:** Nødvendige data, national og international datatilgængelighed og datakilder, datareferencer
- 5. Institutioner involveret i udvikling af indikatorer:** Ledende institution, andre deltagere
- 6. Referencer:** Litteratur, internetsider

I projektets udvikling af indikatorer er så vidt muligt anvendt indikatorer, som anbefales af FN, OECD og EU for herved at opnå sammenlignelighed mellem indikatorer for Danmark og internationalt anvendte indikatorer. Herudover anbefales særlige nationale indikatorer som supplerende indikatorer.

Det anbefales at anvende en klassifikation af ressourcer, energi og materialestrømme som foreslået af FN i bl.a. (UN SEEA 2000).

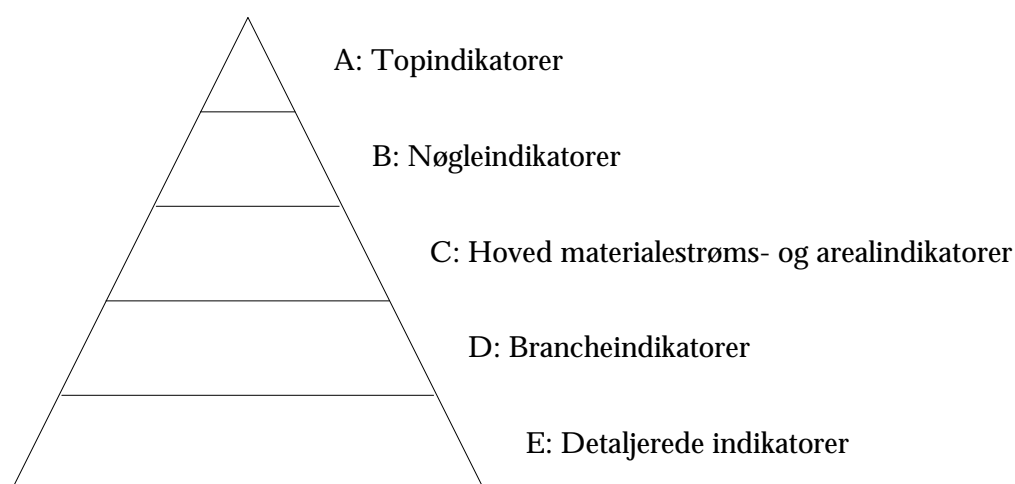
I en del af indikatorerne sættes materiale- og energistrømme i forhold til:

- **Befolkningstallet:** verdensbefolkningen eller den nationale befolkning eller
- Den **økonomiske omsætning** svarende til BNP, BNI eller BFI

i den pågældende økonomi.

8.3 Indikatorpyramiden

Det anbefales at strukturere et indikatorsystem som en indikatorpyramide. Øverst i pyramiden er få topindikatorer, mens der nederst i pyramiden er mange detaljerede indikatorer:



Figur 8.1
Indikatorpyramide.

I toppen af pyramiden er et lille antal indikatorer for de materialestrømme og den arealanvendelse, som forårsager den mest alvorlige påvirkning af miljø og sundhed. I bunden af pyramiden er et stort antal indikatorer for specifikke materialestrømme i specifikke brancher.

I toppen af pyramiden anbefales følgende typer af indikatorer:

- indikatorer for de ressourcer og emissioner, som har den mest alvorlige påvirkning af miljø og sundhed målt i tons/person/år (eller PJ/person/år eller g/person/år)
- indikatorer for areal af næsten upåvirket natur målt i % af total areal

Materialestrømme, ressourceeffektivitet og ressourceintensitet kan opdeles i 3 dimensioner (se kapitel 4, figur 4.1):

- strømme af forskellige grundstoffer, kemiske forbindelser og sammensætninger af kemiske forbindelser (homogene og heterogene, legeringer, blandinger, strukturer og produkter)
- strømme af ressourcer, produkter, affald og emissioner
- hele samfundet, sektorer, brancher, virksomheder og husholdninger

Indikatorpyramiden kan yderligere struktureres ved hjælp af et formelt indikatorsystem, som relateres til:

- sektormodellen, figur 5.2
- definitionerne af ressourceeffektivitet og levetider i kapitel 7
- brug af areal

8.4 Generelt indikatorsystem

I tabel 8.1 ses forslaget til et generelt indikatorsystem ud fra sektormodellen, figur 5.2, med følgende symboler:

- r: totale ressourcestrømme
- r_a : primære ressourcestrøm, som er ressourcerne til det endelige produkt
- r_b : sekundære ressourcestrømme bestående af energi og hjælpestoffer
- w: summen af emissioner
- p: produktstrømmen
- c: recirkulering af affald retur til produktionen
- M: mængden af materialer i forbrugssektoren
- e_r : økologisk råderum for ressourcer
- e_e : økologisk råderum for emissioner
- BFI: bruttofaktoriindkomsten
- N: indbyggertallet
- K: total kapital (flydende plus fast)

Primære ressourcer kan betragtes som enten før eller efter råstofekstraktionen. Hvis primære ressourcer er før råstofekstraktionen, skal de skjulte strømme medregnes i de aggregerede emissioner.

Tabel 8.1
Generelt indikatorsystem.

	Primære ressourcer	Total ressourcer	Emissioner	Ressource-effektivitet	Levetid	Emissioner pr. produkt	Gen-anvendelses-forholdet	Materiel velfærd
	r_a	r	w	γ	T	α	β	M
Masse-strømme, effektivitet, levetid	r_a	r	w	$\frac{p}{r}$	$\frac{M}{p}$	$\frac{w}{p}$	$\frac{c}{w}$	M
Tryk på økologisk råderum og intensitet af velfærd	$\frac{r_a}{e_r}$	$\frac{r}{e_r}$	$\frac{w}{e_e}$					$\frac{MSL_{\min}}{\gamma \cdot T_c \cdot r}$
Ressource-intensitet, økonomisk dekobling	$\frac{r_a}{BFI}$	$\frac{r}{BFI}$	$\frac{w}{BFI}$					$\frac{M}{K}$
Pr. indbygger	$\frac{r_a}{N}$	$\frac{r}{N}$	$\frac{w}{N}$					$\frac{M}{N}$

Samt indikatorer for **arealanvendelse** A, som foreslået af (Spangenberg 2002):

1. By, boligområder, transport, befæstede arealer, A_c
2. Konventionelt landbrug, A_a
3. Økologisk landbrug, enge og brugsskov, A_f
4. Upåvirkede eller næsten upåvirkede naturområder, A_n

Til de i tabel 8.1 viste indikatorer skal tilføjes de tidlige ændringer af disse indikatorer. Herved kan det indikeres, om der er stigninger eller fald i indikatorerne, altså om hastigheden og bevægelsen af indikatorens udvikling er i overensstemmelse med mål og delmål.

8.5 Forslag til overordnet indikatorsystem

Der foreslås konkrete indikatorer organiseret som indikatorpyramidens forskellige niveauer, figur 8.1, og det formelle indikatorsystem i tabel 8.1, MFA-modellen og sektormodellen:

Tabel 8.2
Forslag til indikatorer i indikatorpyramiden.

A. Topindikatorer Antal: 4			B. Nøgleindikatorer Antal: 22			C. Hoved materialestrøms- og arealindikatorer Antal: 69		
Navn	Symbol	Enhed	Navn	Symbol	Enhed	Navn	Symbol	Enhed
Aggregeret materialeforbrug	MFA: TMR	t/per/år	DMI	r	t/år	GD1 - GI11 (se tabel 9.1)	r	t/år
			NAS	Δ	t/år		Δ	t/år
			DPO	w	t/år	GE, GA1-GA4 (se tabel 9.1)	w	t/år
			DMC	r	t/år		r	t/år
			TMR	r	t/år	TMR1, TMR2	r	t/år
			TMC	r	t/år		r	t/år
Brutto energiforbrug	TEC	PJ/per/år	Forbrug af fossile brændsler	r	t/per/år	Kul	r	t/per/år
						Olie	r	t/per/år
						Benzin, diesel	r	t/per/år
						Gas	r	t/per/år
			Emissioner fra fossile brændsler	w	t/per/år	Drivhusgasser (CO ₂ -ækvivalenter)	w	t/per/år
						Eutrofierende stoffer	w	t/per/år
						Forsurende stoffer	w	t/per/år
						Slagge og flyveaske	w	t/per/år
			Produktion af fornyelig energi	r	PJ/per/år	Sol	r	PJ/per/år
						Vind	r	PJ/per/år
						Vand	r	PJ/per/år
						Jordvarme	r	PJ/per/år
			Elproduktion	r	PJ/per/år	Biomasse	r	PJ/per/år
El fra fossile brændsler	r	PJ/per/år						
Elforbrug	r	PJ/per/år	El fra fornyelige kilder	r	PJ/per/år			
			Elforbrug husholdninger	p	PJ/per/år			
			Elforbrug produktion	r	PJ/per/år			
Areal af næsten upåvirket natur	A _i /A	%	Næsten upåvirket terrestisk natur	A/A	%	Skov	A/A	%
						Heder	A/A	%
						Moser og andet	A/A	%
			Lidt domineret land	A/A	%	Kultiveret skov	A/A	%
						Enge, moser, klitter og andet	A/A	%
						Økologisk landbrug	A/A	%
			Næsten upåvirkede søer, vandløb og kystzoner	A/A	%	Søer	A/A	%
						Vandløb	A/A	%
						Tidevandsområder	A/A	%
						Kystzoner	A/A	%
Forbrug af farlige materialestrømme	DFC	g/per/år	Forbrug af farlige kemikalier	r/N	g/per/år	Høj risiko farlige kemikalier	r	g/per/år
						Middel risiko farlige kemikalier	r	g/per/år
						Lav risiko farlige kemikalier	r	g/per/år
			Emissioner af farlige kemikalier	w/N	g/per/år	Sprøjtmidler	w	g/per/år
						I spildevand	w	g/per/år
						Til luft	w	g/per/år
						I affald til deponi og forbrænding	w	g/per/år
						Farligt kemikalieaffald	w	g/per/år
			Forbrug af tungmetaller	r/N	g/per/år	Høj risiko tungmetaller	r	g/per/år
						Middel risiko tungmetaller	r	g/per/år
						Lav risiko tungmetaller	r	g/per/år
			Emissioner af tungmetaller	w/N	g/per/år	Høj risiko tungmetaller	w	g/per/år
						Middel risiko tungmetaller	w	g/per/år
Lav risiko tungmetaller	w	g/per/år						
			Forbrug af radioaktive stoffer	r	g/per/år			
			Forbrug af risiko GMO	r	g/per/år			
			Vandforbrug	r/N	t/per/år	Husholdninger	r	t/per/år
						Erhverv	r	t/per/år
			Kvælstofforbrug	r	t/år	Forbrug i landbrug	r	t/år
						Forbrug i fossile brændsler	r	t/år
			Kvælstofemissioner	w	t/år	Fra landbrug	w	t/år
						Fra forbrænding	w	t/år
			Øvrige drivhusgasser (CO ₂ -ækvivalenter)	w	t/per/år	Fra landbrug	w	t/per/år
						Fra industri og husholdninger	w	t/per/år

Indikatorerne i de øverste niveauer, A, B og C (tabel 8.2) er indikatorer for:

- materialestrømme, som blev afgrænset ved risikovurderingen (se kapitel 3) plus
- aggregerede og disaggregerede indikatorer for materialeforbrug (MFA), energi, arealanvendelse og vandforbrug

I risikovurderingen (kapitel 3) afgrænsedes de materialestrømme, som har den mest alvorlige direkte påvirkning af miljø og sundhed i Danmark til:

- fossile brændsler
- tungmetaller
- farlige kemikalier
- kvælstofforbindelser

Herudover fandtes arealanvendelsen at have en væsentlig påvirkning af miljø og sundhed i relation til ødelæggelse af økosystemer og reduktion af biodiversiteten.

Ud fra risikovurderingen er derfor valgt følgende grupper af indikatorer med hver deres topindikator i tabel 8.2:

- aggregeret materialeforbrug, MFA
- brutto energiforbrug, TEC
- areal af næsten upåvirket natur, A_n
- forbrug af farlige materialestrømme, DFC
- Øvrige: Vand, kvælstof, øvrige drivhusgasser (uden topindikator)

Hver af disse grupper søges så vidt muligt beskrevet ved balancer/regnskaber for ressourcer og emissioner og søges opdelt (disintegreret) ned gennem indikatorpyramiden.

Størstedelen af den energi, som forbruges i Danmark, produceres ud fra fossile brændsler. Da drivhuseffekten i risikovurderingen afgrænses som en af de væsentligste trusler mod miljø og sundhed, er emissionerne af drivhusgasser og det bagvedliggende energiforbrug og energiproduktion væsentlige indikatorer.

De totale aggregerede materialestrømme, MFA, siger ikke noget specifikt om belastningen af miljø og sundhed, men indikerer, hvor meget økonomien fylder (se kapitel 9). De disaggregerede MFA-indikatorer på lavere niveauer (niveau C, D og E) er mere ensartede materialestrømme med mere specifikke effekter på miljø og sundhed, som fx nogle af materialestrømmene i niveau C:

Inputsiden:

- fossil energi (G15), gødningsstoffer (G16) og kemikalier (G17)

Outputsiden:

- fast affald (GA1) og spildevand (GA2)

Indikatorerne i de nedre niveauer i indikatorpyramiden er:

- niveau "D": Indikatorer for brancher, som er struktureret ved det formelle indikatorsystem, tabel 8.1 og sektormodellen, figur 5.2

- niveau "E": Indikatorer for specifikke materialestrømme i specifikke brancher struktureret ved det formelle indikatorsystem, tabel 8.1 og sektormodellen, figur 5.2

Anvendelsen af det formelle indikatorsystem i tabel 8.1 og sektormodellen, figur 5.2 medfører, at der på niveau D og E også beregnes ressourceeffektivitet, γ , levetiden, T , for produkter, emissioner pr. produkt, α , genanvendelsesforholdet, β , samt bidraget til den materielle velfærd, M .

INiveau "A" er 4 topindikatorer anbefalet for påvirkningen af miljø og sundhed i Danmark.

Det totale materiale input (TMR) er defineret som:

TMR = de hjemlige ekstraherede råstoffer, r_R , (inkl. ubrugte ressourcer) + importerede varer + importerede indirekte strømme.

TMR udtrykker således de totale mængder af materialer, der håndteres ved ressourceforbruget.

TMR indikerer, hvor meget økonomien fylder inkl. den afledte fylde i udlandet, mens forbruget af farlige materialestrømme, DFC, indikerer mere specifikke skadelige påvirkninger af både miljø og helbred ifølge risikovurderingen.

TMR er udvalgt som topindikator blandt flere MFA-indikatorer, idet:

- TMR er bedre til at udtrykke dematerialiseringen end DMI og DMC, idet et faldende DMI og DMC blot kan være et udtryk for, at den tunge produktion flytter til udlandet
- TMR er bedre til at udtrykke det økologiske fodspor globalt, idet TMR medtager ressourceforbruget i udlandet, som importen forårsager
- indikatorer for det totale ressourcetræk er bedst, idet:
 - 1) forbruget af ressourcer er den drivende kraft for materialestrømmene
 - 2) TMR er nyttigt for politikere, virksomheder og forbrugere, som er i stand til at ændre produktions- og forbrugsmønstre
- vejen til bæredygtig udvikling går gennem øget ressourceeffektivitet, øget levetid for produkter og dematerialisering af velfærden, hvilket vil mindske TMR

Til gengæld er de primære ulemper for anvendelse af TMR i stedet for DMI eller DMC:

- usikkerheden ved beregning af ubrugte materialestrømme er relativ høj
- forskellige landes TMR kan ikke adderes, hvilket er tilfældet for DMI og DMC
- der er større omkostninger forbundet med dataindsamling for TMR og TMC end DMC

Det vurderes, at fordelene ved at bruge TMR som topindikator mere end opvejer ulemperne.

For det i næste kapitel foreslåede indikatorsystem for MFA-indikatorer har det imidlertid ikke den store økonomiske betydning vedrørende omkostninger til udvikling af indikatorerne, hvilken indikator der anvendes som topindikator.

Forklaringen herpå er, at alle MFA-indikatorerne for brugte strømme må beregnes for at afstemme balancerne, ligesom alle indirekte og ubrugte strømme må beregnes for at afstemme de totale balancer. Således får man alle indikatorerne med ved de 2 beregningsomgange.

Da drivhuseffekten indebærer den største risiko for miljøet – ifølge risikovurderingen – er det totale energiforbrug en meget vigtig indikator. Det totale energiforbrug, TEC, defineres som:

TEC = bruttoenergi produceret ud fra hjemlige ressourcer + energi stammende fra import ÷ energi stammende fra eksport ÷ energi oplagret.

Ved forbrænding af fossile brændsler og biomasse er der tale om den samlede energi, der frigøres ved forbrændingen svarende til brændværdien. Forbrændingen af fossile brændsler sker i kraftværker, i industrien, i bygninger og i transportmidler.

Den i brændslerne bundne kemiske energi bliver i kraftværker til el-energi, fjernvarme, intern varme og varmetab til omgivelserne. El-energien bliver til transformationstab og anvendt energi hos brugerne. Den anvendte energi hos brugerne bliver videre til mekanisk energi, potentiel energi, kemisk energi, varme og varmetab. Til slut bliver al den producerede energi til varmetab til omgivelserne og endelig til udstråling til verdensrummet. Under hele denne proces forøges entropien.

Ved vindkraft omdannes kinetisk vindenergi til el-energi og varmetab til omgivelserne. Ved vandkraft omdannes potentiel vandenergi til el-energi og varmetab til omgivelserne.

For opstilling af energi-indikatorerne i tabel 8.2 lægges følgende snit med balancer og målinger gennem og uden om økonomien, se sektormodellen, figur 5.2:

Fossile brændsler og biomasse:

Ressourcer ind i økonomien efter ressourceekstraktion + import ÷ eksport ÷ oplagret, hvor masseflowet måles dels i tons/år som fossile brændsler og biomasse på inputsiden og emissioner på outputsiden og dels i Tjoule/år som brændværdien af fossile brændsler og biomasse på inputsiden.

El-energi målt i Tjoule:

Produceret el fra kraftværker baseret på fossile brændsler og vedvarende energi + importeret el ÷ eksporteret el. Elforbruget opdeles i elforbrug i husholdninger og elforbrug i produktionen.

Fossile brændsler beregnes dels i tons/person/år, dels i CO₂-ækvivalenter/person/år og dels i Joule/person/år.

Arealet af næsten upåvirket natur er en god indikator for reduktionen af biodiversitet og økosystemer. Arealet består af arealet af næsten upåvirket terrestisk natur + arealet af næsten upåvirket aquatisk natur. Den aquatiske natur omfatter dels overfladevand i landområder (søer, vandløb) og dels kystområder. Arealet af næsten upåvirket natur sættes i forhold til det samlede areal i Danmark inkl. aquatiske kystområder. Opgørelsen gælder for Syddanmark, men kan også udføres særskilt for Grønland og Færøerne. Da

der ikke findes helt upåvirket natur i Syddanmark defineres næsten upåvirket natur, som:

- terristisk natur, der ikke kultiveres og plejes, og som har et rigt dyreliv, og
- aquatisk natur, som er næsten upåvirket af spildevand og afstrømning fra landbruget og med et rigt dyreliv

Forbruget af farlige materialestrømme er en sum af strømmene af farlige kemikalier, tungmetaller, radioaktive stoffer og risiko-GMO. Disse materialestrømme er små, men med en stor effekt på miljø og sundhed. Selvom de indgående stoffer er mangfoldige og har vidt forskellige skadevirkninger, er de alligevel lagt sammen for hermed at få én indikator for den samlede strøm af farlige stoffer. Indikatoren skal naturligvis tages med et forbehold, idet der eksempelvis kan ske et utilsigtet fald i indikatoren, såfremt lavrisiko farlige stoffer substitueres med højrisiko stoffer i mindre mængde. Ved at bevæge sig fra niveau A i indikatorpyramiden til niveau B og især niveau C, vil sådanne fejl gøres betydeligt mindre.

INiveau "B" er indikatorerne fra niveau "A" disaggregerede til væsentlige typer af ressourcer, materiale- og energistrømme samt arealanvendelser. MFA er opdelt i hoved MFA-indikatorerne, se næste kapitel.

Energiproduktionen er opdelt i fossile brændsler og fornyelig energi. Fossile brændsler er opdelt i forbruget af fossile brændsler på inputsiden og emissioner fra fossile brændsler på outputsiden. El-energien opdeles i elproduktionen og elforbruget. Der gås frem efter lovene om massebevarelse og energibevarelse, således at der opstilles regnskaber efter sektormodellen, figur 5.2.

Arealanvendelse er indikeret med næsten upåvirket terrestisk natur, svagt domineret land og næsten upåvirkede fjorde og kystnære havområder.

Forbrug af farlige materialestrømme er opdelt i forbrug af farlige kemikalier, emission af farlige kemikalier, forbrug af tungmetaller og emission af tungmetaller. Der gås frem efter loven om massebevarelse, og der opstilles regnskaber for input og output efter sektormodellen, figur 5.2.

Forbrug af vand og kvælstof er tilføjet som indikatorer for påvirkningen af det danske grundvand og overfladevand. Emission af øvrige drivhusgasser er tilføjet som indikator for klimaforandringer sammen med drivhusgasser fra fossile brændsler højere oppe i tabel 8.2. Også her gås frem efter loven om massebevarelse, og der opstilles regnskaber efter sektormodellen, figur 5.2.

INiveau "C" er hver indikator fra niveau "B" videre disaggregeret til materiale- og energistrømme samt arealanvendelse.

Bestanddele af hoved MFA-indikatorerne er videre disaggregeret, se næste kapitel.

Forbrug af fossile brændsler er disaggregeret til forbrug af kul, olie, benzin+diesel og gas. Emissionerne fra forbrænding af fossile brændsler er opdelt på drivhusgasser, eutrofierende stoffer, forsurende stoffer samt slagge og flyveaske.

Produktion af fornyelig energi er disaggregeret til forskellige slags fornyelige energier som sol, vind, vand, jordvarme og biomasse.

Elproduktionen er opdelt på el fra fossile brændsler og el fra fornyelige energikilder. Elforbruget er opdelt på elforbrug i husholdninger og elforbrug i produktionen.

Arealet af næsten upåvirkede specifikke økosystemer såsom skov og tidevandsarealer er foreslået som indikatorer for biodiversitet.

Forbrug af farlige kemikalier samt forbrug og emissioner af tungmetaller er opdelt på hver 3 kategorier: Høj risiko, middel risiko og lav risiko. Her kan anvendes eksisterende klassifikationer for kemikalier såsom A-B-C systemet, R-sætninger eller prioriterede listestoffer.

Emissioner af farlige kemikalier er opdelt efter, hvilke betydelige emissioner der kan skaffes data for: Sprøjtemedler, i spildevand, til luft, til deponi og forbrænding samt farligt kemikalieaffald. Farligt kemikalieaffald indsamles og behandles og er således ikke nogen direkte emission, men en indikator på outputtet fra økonomien af farlige kemikalier.

Vandforbrug er opdelt i forbrug i husholdninger og industri. Forbrug af kvælstof er opdelt i forbrug i landbrug og fossile brændsler. Kvælstofemissioner er opdelt i emissioner fra landbrug og fra forbrænding.

Øvrige samfundsskabte kilder til drivhusgasser opdeles i drivhusgasser fra landbrug og fra husholdninger og industri. De øvrige samfundsskabte kilder for drivhusgasser består primært af metan fra husdyr og CFC-gasser fra industri og industriprodukter.

Bevæger vi os oppe fra og ned gennem indikatorpyramiden fra niveau A til niveau C, gælder for hver af de 4 top-indikatorers disaggregering ned gennem pyramiden:

- Aggregeret materialeforbrug udtrykt ved hoved MFA-indikatorer disintegreres ved deling, således at summen af materialestrømme i niveau C er lig med materialestrømmene i niveau B
- Total primær energiforbrug, TEC, opdeles i forbrug af fossil energi og produktion af fornyelig energi samt den del af energien, der går til elproduktion og elforbrug. I materialeregnskabet for de fossile brændsler opgøres de samlede emissioner fra fossile brændsler. (Disse bør være lig med forbruget af fossile brændsler). De fossile brændsler opdeles på typer af brændsler (kul, olie, benzin+diesel, gas), emissionerne opdeles på typer af emissioner (drivhusgasser, eutrofierende gasser, forsurende stoffer, slagge og flyveaske), produktion af fornyelig energi opdeles på energityper (sol, vind, vand, jordvarme og biomasse), elproduktionen opdeles på el fra fossile brændsler og el fra fornyelige kilder, og elforbruget opdeles på elforbrug i husholdninger og elforbrug i produktionen. Der gås frem efter lovene om massebevarelse og energibevarelse efter sektormodellen
- Areal af næsten upåvirket natur A_n/A opdeles i niveau B i næsten upåvirket terrestrisk natur og næsten upåvirkede fjorde og kystzoner. Herudover er tilføjet arealet af lidt domineret land. Således er summen af arealer i niveau

B ikke lig arealet af næsten upåvirket natur i niveau A. Derimod er summen af arealer i niveau C lig med summen af arealer i niveau B

- Forbrug af farlige materialestrømme, DFC, opdeles i forbrug og emissioner af farlige kemikalier og tungmetaller i niveau B og videre i høj, middel og lav risiko materialestrømme i niveau C. Som for TEC defineres DFC ved: $DFC = \text{hjemlig produktion af farlige stoffer} + \text{import} \div \text{eksport} \div \text{oplagrede stoffer}$. I niveau C er tilføjet forbrug af radioaktive stoffer og risiko-GMO. Der gås frem efter loven om massebevarelse efter sektormodellen, figur 5.2
- Øvrige materialestrømme – vand, kvælstof og øvrige drivhusgasser – opdeles efter deres kilder ud fra samfundssektorer: Husholdninger, landbrug, industri og erhverv samt ud fra forbrændingsprocesser/ikke forbrændingsprocesser. Der gås frem efter loven om massebevarelse efter sektormodellen, figur 5.2

Den store mængde fast affald fra 1) papir and pap, 2) bygge- og anlægsmaterialer samt 3) slagge og flyaske kan indikeres med ressourceforbruget af tømmer, ikke-metalliske mineraler og fossile brændsler. Disse specifikke materialestrømme kan beregnes ud fra en yderligere disaggregering af DMI (GD6, G13, G14 og G15) samt ved tilbageregning af importerede/eksporterede varer til deres ækvivalente ressourceforbrug.

Indikatorsystemet i tabel 8.2 kan også bruges af andre lande, hvis nogle af indikatorerne bliver flyttet til et højere eller lavere niveau afhængig af, hvilke miljø- og sundhedsproblemer der er mest alvorlige i det pågældende land. Fx bør "vandforbrug" i varme og tørre lande placeres i niveau "A" i stedet for i niveau "C".

8.6 Beregning af indikatorer

Beregning af indikatorerne i tabel 8.2 kan ske ved følgende indhentning og bearbejdning af data. Aktiviteterne opdeles i 4 delaktiviteter svarende til de 4 topindikatorer i tabel 8.2:

MFA, aggregeret materialeforbrug:

Dette er nærmere beskrevet i kapitel 9. Der opstilles et regnskab for aggregerede materialestrømme efter Eurostat's anvisninger. Der hentes data fra Udenrigshandelsstatistikken, råstofstatistikken, Wuppertal Institutet mv.

TEC, brutto primær energiforbrug:

Der opstilles 2 sammenhørende regnskaber for dels energi målt i TJoule/år og dels energiråstoffer målt i tons/år efter sektormodellen, figur 5.2. Der opstilles således 2 regnskaber for forbruget af energi til den danske økonomi:

- $\text{Forbrug} = \text{indenlandsk produktion} + \text{import} \div \text{eksport} \div \text{oplagret}$

Der regnes kun på de direkte strømme.

Der hentes data fra energistatistikken, råstofstatistikken, Udenrigshandelsstatistikken, input-output tabellernes satellitregnskaber, Risø

og Energistyrelsen. En betydelig del af tallene findes allerede i energistatistikken.

Areal af næsten upåvirket natur:

Der hentes data fra DMU, Kort & Matrikelstyrelsen (nu en del af Miljøministeriet) og Skov- og Naturstyrelsen. En stor del af tallene skønnes allerede at findes.

DFC, forbrug af farlige materialestrømme:

Der opstilles 2 hovedregnskaber ud fra sektormodellen for henholdsvis:

- Farlige kemikalier: Forbrug og emissioner
- Tungmetaller: Forbrug og emissioner

Hvert hovedregnskab består af en lang række delregnskaber – ét for hvert tungmetal og kemikalie. Disse enkeltregnskaber nærmer sig egentlige massestrømsanalyser. Det foreslås, at der startes med indikatorer for væsentlige tungmetaller og kemikalier, hvor der allerede er udført massestrømsregnskaber. Hvor massestrømsregnskaber ikke er udført, startes med forbruget af det pågældende stof ud fra produktionsstatistik, kemikaliereregistrering og Udenrigshandelsstatistikken.

Endvidere opregnes forbruget af radioaktive stoffer og GMO'er.

Forbruget beregnes som:

- $\text{Forbrug} = \text{dansk produktion} + \text{import} \div \text{eksport} \div \text{oplagret}$

Der regnes kun på de direkte strømme.

Der hentes data fra Miljøstyrelsen, Udenrigshandelsstatistikken, Varestatistikken, den kemiske industri, Produktregisteret, RISØ, eksisterende materialestrømsanalyser og Miljøprojekt nr. 281 om miljøvurdering af industriprodukter (Hansen 1995) samt tilhørende baggrundsmateriale (se også kapitel 11).

Vand, kvælstof og øvrige drivhusgasser:

Der opstilles regnskaber for vand, kvælstof og øvrige drivhusgasser ud fra sektormodellen, figur 5.2.

Det samlede vandforbrug til erhverv og husholdninger fås fra vandforsyningsstatistikken.

Forbrug af kvælstof beregnes som:

- $\text{Forbrug} = \text{dansk produktion} + \text{import} \div \text{eksport}$

Forbrug og emissioner beregnes allerede af DMU, hvorfra tallene til indikatorerne hentes.

Data fra øvrige drivhusgasser kan formodentlig findes hos Energistyrelsen, Landbrugsstatistikken og Miljøstyrelsen.

Indikatorsættet kan beregnes en gang om året, hvert andet år eller hvert tredje år.

8.7 Anbefalet trinvis beregning af indikatorerne, tabel 8.2

Alternativt til beregning af hele indikatorsættet med det samme, kan beregningerne udføres trinvist, således at der startes med beregning af nogle af indikatorerne med små omkostninger. En sådan trinvis beregning af indikatorerne i tabel 8.2 kunne være:

- Trin 1: MFA, niveau A+B+C, direkte strømme
Sprøjtmidler, farligt affald
Kvælstof, vand
- Trin 2: MFA med branchefordeling
TEC, niveau A+B+C
Areal af næsten upåvirket natur
- Trin 3: DFC 1, Forbrug og emissioner af tungmetaller
- Trin 4: DFC 2, Forbrug og emissioner af farlige kemikalier
- Trin 5: DFC 3, Forbrug af radioaktive stoffer og risiko-GMO
- Trin 6: Hele indikatorsættet

Alternativt til trin 3, 4 og 5 kan der vælges ét stof for hver risikokategori som indikator for den pågældende kategori. Herved vil tidsforbrug og omkostninger til trin 3, 4 og 5 kunne reduceres betydeligt.

9 Forslag til et dansk MFA-baseret regnskabssystem med tilknyttede indikatorer

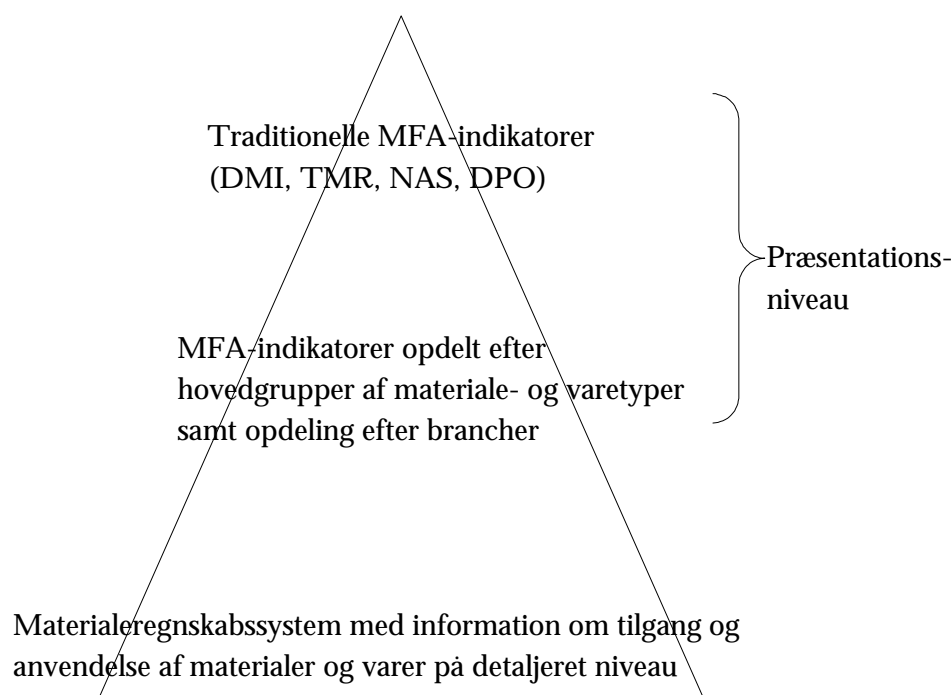
Udvikling af MFA-indikatorer er i øjeblikket en international trend. En række lande er i gang med MFA-arbejde, og Eurostat, EEA og det europæiske Temacentrum for affald og materialestrømme arbejder med denne type indikatorer. I Danmark har politikere og presse også interesseret sig for MFA-opgørelserne. Baggrunden er, at indikatorerne har en åbenbar appel og nogle pædagogiske kvaliteter.

Ulempen er, at de helt overordnede MFA-indikatorer ikke siger noget specifikt om ressourceknaphed, miljøbelastninger eller sundhedseffekter. Det betyder, at man i realiteten lægger nogle generelle og ganske udefinerede bæredygtighedsbetragtninger eller miljøhensyn til grund.

Der er derfor et åbenlyst behov for, at et dansk MFA-baseret indikatorsystem indeholder mere disaggregerede indikatorer, men på en sådan måde, at forbindelsen til de overordnede indikatorer og mulighederne for international sammenlignelighed ikke mistes.

Formålet med de helt overordnede indikatorer er af pædagogisk art (de synliggør, "at økonomien fylder"), men en opadgående eller nedadgående tendens i disse indikatorer vil også fremprovokere ønsker om forklaring på udviklingen. Hertil kan mere detaljerede indikatorer være et redskab. Den mest detaljerede forståelse af udviklingen fås først, når et fuldstændigt materialestrømsregnskab inddrages.

Et dansk MFA-baseret indikator- og regnskabssystem for materialestrømme bør derfor opbygges med udgangspunkt i den traditionelle informationspyramide, jf. figur 9.1. De traditionelle MFA-indikatorer (DMI, DMC, TMR, TMC, DPO og NAS) ligger i toppen af informationspyramiden. Herunder bør der ligge en række indikatorer på et mere detaljeret niveau, dvs. med en opdeling efter hovedgrupper af materialer og varer og eventuelt med en brancheopdeling. Længst nede ligger regnskabssystemets grunddata. Data og indikatorer bør opbygges, således at der er indbyrdes konsistens og på en sådan måde, at det er gennemskueligt, hvilke tal og begreber der indgår i hvilke indikatorer. Regnskabssystemet bør så vidt muligt baseres på bogholderimæssige sammenhænge (materialebalancer) med mulighed for tjek af, om data er konsistente.



Figur 9.1
MFA-baseret indikator- og regnskabssystem.

Det vil være hensigtsmæssigt, at man søger at supplere systemet med målsætninger om, inden for hvilke grænser strømmene bør ligge. Grænserne kan være naturvidenskabelige eller politisk fastsatte niveauer for, hvad der er tilladeligt/bæredygtigt. Som et første skridt kan en kvantitativ beskrivelse benyttes – altså en beskrivelse af, hvor problematiske (i dansk og global sammenhæng) materialestrømmene er, og hvorfor de er det. Målsætningerne bør knyttes til de forskellige niveauer i systemet.

I afsnit 9.1 skitseres, på hvilket detaljeringsniveau de øverste niveauer i systemet kan sammenfattes og præsenteres for offentligheden, dvs. præsentationsniveauet. I afsnit 9.2 behandles det detaljerede niveau – materialeregnskabssystemet – summarisk. Endelig gennemgås i afsnit 9.3 nogle muligheder for at udnytte Miljøprojekt nr. 281 til opbygning af en del af datagrundlaget for det detaljerede MFA-baserede system.

9.1 Præsentationsniveau

9.1.1 Hele økonomien

Opdelingen af materialestrømmene bør ideelt set tage udgangspunkt i de knapheds-, miljø- og sundhedseffekter, der er knyttet til materialestrømmene. Det må dog erkendes, at dette er yderst vanskeligt, da materialestrømmene under alle omstændigheder skal betragtes på det overordnede plan, hvor der til enkelte grupper af materialer kan være knyttet mange problemer. Hertil kommer, at sammenhænge mellem materialestrømme på den ene side og problemer på den anden side i mange tilfælde kun er delvis kendte eller helt ukendte.

Derfor er det nødvendigt at opdele ud fra nogle overordnede betragtninger af, hvad der kendetegner samfundets relation til naturgrundlaget:

- De industrielle samfund er baseret på udnyttelsen af fossil energi
- Stadig mere biomasse beslaglægges både fra jorden og havet. I en række tilfælde sker der en overudnyttelse i forhold til regenereringhastigheden eller udnyttelsen er forbundet med miljøbelastninger af den benyttede natur
- Infrastrukturen udbygges til stadighed. Der akkumuleres fortsat materialer i økonomien til udbygning af de materielle strukturer. Mere areal beslaglægges, og de akkumulerede materialer vil en gang i fremtiden blive til affald, der skal tages hånd om
- De udtømmelige ressourcer graves ud/indvindes fortsat i stort omfang
- Nye teknologier udvikles langt hurtigere end forståelsen af deres negative bieffekter: Miljøfremmede stoffer kommer i omløb, genteknologi sætter økosystemerne på prøve

Disse overordnede aspekter kan søges belyst ved en opdeling af materialestrømmene på inputsiden i nogle grupper, der adskiller sig ved karakteren af de aktuelle eller potentielle problemer, de giver anledning til:

- Fossil energi (drivhuseffekt, luftforurening, landskabsødelæggelse)
- Biomasse (beslaglæggelse af areal, overudnyttelse, trussel mod økosystemer og biodiversitet)
- Sten, ler, grus, sand mv. (landskabsødelæggelse, trussel mod økosystemer)
- Metaller og mineraler (landskabsødelæggelse, udledning af farlige stoffer)
- Gødningsstoffer (vandmiljø, luftforurening)
- Kemikalier og kemiske produkter (drikkevand, sundhedsskader)

I tabel 9.1 er disse grupper vist adskilt, idet der dog er foretaget en yderligere opdeling af visse af materialerne ud fra et ønske om at kunne belyse de pågældende materialer lidt mere indgående.

I opdelingen er desuden bibeholdt den logiske opdeling i indenlandsk ressourceudvinding og importerede varer, som der er tradition for inden for MFA-regnskaber (jf. Eurostat 2001).

På **inputsiden** aggregeres grundoplysningerne til 6 og 11 grundindikatorer for hhv. dansk ressourceudvinding og importerede varer. Ved udeladelse af vand (GD4) kan de øvrige 16 indikatorer lægges sammen til den velkendte DMI-indikator (Direct Material Input).

På inputsiden optræder i øvrigt også forbrændingsluft. Dette er nødvendigt for at kunne balancere regnskabets materialeinput på den ene side med akkumulering og materialeoutput på den anden side. Forbrændingsluften indgår dog ikke ved beregningen af input indikatorerne.

Indikatorerne på inputsiden (DMI og TMR) tager udgangspunkt i den samlede økonomiske aktivitet, og der skelnes ikke mellem, hvilke dele af økonomien der er ophav til materialestrømmene. Nederst i tabellen er dog medtaget de afledte indikatorer DMC og TMC, hvor eksporten er fraregnet.

Som illustration af størrelsesordenerne af de forskellige poster og den bogholderimæssige sammenhæng mellem inputsiden og outputsiden indeholder tabel 9.1 tal for de forskellige regnskabsposter og indikatorer. Det skal bemærkes, at en del af tallene er fiktive. Dog er tallene for DMI, TMR, DMC og TMC baseret på opgørelsen i (Pedersen 2002).

Tabel 9.1

Forslag til præsentation af regnskab for materialestrømme med grundindikatorer og overordnede MFA-indikatorer – hele økonomien, mio. tons (delvis fiktive tal).

	Regnskab	Grundindikatorer	Overordnede MFA-indikatorer	
			Direkte strømme	Direkte og indirekte (globale strømme)
Materialeinput til økonomien				
<i>Dansk ressourcudvinding:</i>				
Landbrugets høstudbytte	43	GD1	43	
Hugst i skovbruget	1	GD2	1	
Fiskeri	2	GD3	2	
Vand (grundvand og overfladevand)	934	GD4		
Olie og naturgas	17	GD5	17	
Råstofproduktion (grus, sten, ler)	66	GD6	66	
Andet (bl.a. jord) – ubrugte ressourcer				
Forbrændingsluft	73			
<i>Importerede varer:</i>				
Vegetabiliske produkter	7	G11	7	
Animalske produkter		G12		
Træ	4	G13	4	
Papir		G14		
Fossil energi (og elektricitet)	29	G15	29	TMR1 = 100
Gødningsstoffer	4	G16	4	
Kemikalier		G17		
Mineraler, malm, keramiske varer mv.	5	G18	5	
Maskiner, metaller	5	G19	5	TMR2 = 39
Transportmidler		G10		
Andet	1	G11	1	
Input i alt	1191		DMI = 185	TMR = 369
Akkumulering i økonomien				
<i>Bruttoakkumulering</i>				
Bygninger	50			
Anlæg	30			
Maskiner og transportmidler	1			
Varige forbrugsgoder (husholdninger)	0,2			
Andet (lagerændringer, netto)	-3			
Bruttoakkumulering i alt	78			
- Skrotning af kapitalapparat mm.	3			
- Skrotning af varige forbrugsgoder	0,1			
= Nettoakkumulering i alt	75		NAS = 75	
Output fra økonomien				
Eksport af varer (med opdeling på varegrupper)	34	GE		144
Fast affald deponeret (affaldsstatistikken)	2	GA1		
Luftemissioner (CO2 mv.)	92	GA2		
Vanddamp mv. fra forbrænding	84			
Spildevand, ekskl. indsvivende grundvand og regnvand	900	GA3		
Andet (bl.a. spredning af materialer)	4	GA4		
<i>Emissioner, affald og andet i alt</i>	1082		DPO = 98	
Output i alt (= input i alt - nettoakkumulering)	(1191-75=) 1116			
Genanvendelse (memopost)				
Genanvendelse af materialer (evt. opdeling på typer)	8	GG1		
Afledte indikatorer			DMC = 185-34 = 150	TMC = 225

De MFA-indikatorer, der indregner materialestrømme i udlandet, opfylder strengt taget ikke de basale krav, man må stille til statistiske oplysninger og officielle indikatorsystemer – og der er ikke udsigt til, at de vil gøre det i en

overskuelig fremtid. Hertil kommer, at beregningen af de indirekte strømme indtil videre er afhængig af et enkelt instituts (Wuppertal Instituttets) data, som det for udenforstående er ganske vanskeligt at gennemskue. TMR og TMC må derfor betragtes som resultater af en slags modelberegninger og som nogle meget grove overslag over, i hvilken grad der flyttes materialer i udlandet.

TMR- og TMC-indikatorerne har på den anden side nogle åbenlyse debatskabende kvaliteter, og de formår at kaste lys på det faktum, at importen til Danmark er forbundet med store materialemobiliseringer i udlandet. Det må også tages i betragtning, at **udviklingen** formentlig kan belyses med betydeligt større sikkerhed end de faktiske **niveauer** kan. Hvis man derfor lægger til grund, at det overordnet set drejer sig om at belyse, om der sker en reduktion i brugen af ressourcer, kan man til en vis grad se bort fra, at der er stor usikkerhed forbundet med niveauerne.

Derfor er indikatorerne TMR og TMC medtaget her, men det må anbefales, at en eventuel offentliggørelse ledsages af et par (eller helst flere) advarende ord om, at opgørelserne er forbundet med betydelig usikkerhed.

Med ovenstående forbehold for pålideligheden af indikatorer for totalt materialebehov er TMR og TMC vist i tabel 9.1 sammen med de øvrige indikatorer. Det foreslås som udgangspunkt, at enkeltkomponenterne i TMR og TMC ikke vises pga. den meget store usikkerhed. Dog foreslås det, at nogle af de mest betydningsfulde komponenter i det totale materialebehov og materialeforbrug vises. TMR1 angiver således det totale materialebehov ved importen af fossil energi (kul er en meget betydelig del af det samlede TMR, og de indirekte strømme er formentlig ikke tilknyttet helt så stor usikkerhed). TMR2 angiver det totale materialebehov knyttet til importen af metal, maskiner og transportmidler – dette er en anden stor gruppe, som desuden er i vækst.

Som eksempel på en opgørelse af inputindikatorer viser tabel 9.2 en opgørelse af DMI og TMR fordelt på materiale-/varetyper. Opdelingen på varetyper er her noget mere grov end foreslået oven for.

Tabel 9.2
DMI og TMR – Danmark 1997.

	DMI	TMR
	Mio. tons	
Danske ressourcer		
1.1 Råolie og naturgas	17	19
1.2 Grus, sten, ler mv.	66	102
1.3 Biomasse	46	49
Importerede varer		
2.1 Animalske og vegetabiliske produkter	7	17
2.2 Mineraler, malm, keramiske varer, glas, ædelstene mv.	5	16
2.3 Energi	29	100
2.4 Kemiske produkter, plast, gummi mv.	4	8
2.5 Træ, papir mv.	4	16
2.6 Metal, maskiner, transportmidler mv.	5	39
2.7 Møbler, tekstiler, legetøj, kontorudstyr og andet	1	1
I alt	185	369

Kilde: Pedersen, 2002

Økonomiens *outputside* præsenteres ved hjælp af fem grundindikatorer. Årsagen til det beskedne antal indikatorer er til dels, at der på en lang række områder ikke er noget datagrundlag til rådighed, og i de tilfælde, hvor der er data til rådighed, findes der i forvejen ganske udbyggede informationssystemer. Det gælder fx for luftemissioner og fast affald. Formålet med at inddrage outputsiden på dette overordnede plan er derfor først og fremmest eksplicit at vise, at der er en sammenhæng mellem det, der strømmer ind i økonomien og det, der strømmer ud af økonomien. I den forbindelse fungerer regnskabet i øvrigt som et redskab til kontrol af, hvorvidt der er sammenhæng mellem de forskellige materialestrøms- og akkumuleringsdata, der eksisterer.

Den samlede eksport af varer indgår i tabel 9.1 som én post i regnskabet, og dermed som en indikator, men det vil naturligvis være muligt at foretage en opdeling på varegrupper, fx de samme varegrupper som importen er opdelt i. Fast affald, luftemissioner og spildevand er tre andre grundindikatorer. Den 5. grundindikator på outputsiden er *andet*, som bl.a. dækker over materialer, der tilsigtet eller utilsigtet spredes i naturen. Det gælder fx gødningsstoffer og slid fra dæk og bremsebelægninger (jf. klassifikationen af affald og emissioner i afsnit 2.4). Hertil kommer fx fordampning af vand fra produkter. Ved addition af de fire grundindikatorer for affald, emissioner, spildevand og andet fås MFA-indikatoren DPO (Domestic Processed Output).

Ved opstilling af et sammenhængende materialeregnskab er det nødvendigt at medtage *akkumuleringen* i økonomien. Ud over at akkumuleringen har betydning for at kunne balancere input og output, kan det have selvstændig interesse at se på, hvor store mængder materialer der ophobes i økonomien. Det indikerer, hvilke materialemængder det vil være nødvendigt enten at genbruge eller at behandle som affald på et senere tidspunkt.

Det er nødvendigt at adskille to typer akkumulering: Bruttoakkumulering og nettoakkumulering. Bruttoakkumuleringen består af det tillæg til beholdningen af materialer, der foregår i løbet af året. Tillægget består af nyopførte bygninger, nye maskiner og transportmidler, nye varige forbrugsgoder og lageropbygning. Nettoakkumuleringen fremkommer ved at trække skrottede kapitalgoder og varige forbrugsgoder samt lagertræk fra

bruttoakkumuleringen. Nettoakkumuleringen udtrykker forskellen mellem den ophobning af materialer, der var ved årets start og den ophobning af materialer, der er ved årets udgang.

De enkelte akkumulationsposter specificeres så detaljeret som muligt i det detaljerede materialestrømsregnskab, men som egentlig indikator på præsentationsniveauet medtages kun MFA-indikatoren for nettoakkumulering, NAS (Net Addition to Stock).

I en driftsfase vil indikatorsystemet på det overordnede niveau kunne offentliggøres med ca. et års forsinkelse i forhold til det år, det vedrører.

9.1.2 Brancher og endelig anvendelse

I tilknytning til de overordnede indikatorer for den danske økonomi som helhed kan der suppleres med informationer om de materialestrømme, der er knyttet til enkelte dele af økonomien herunder til de enkelte brancher og kategorier af endelig anvendelse (forbrug, eksport mv.). Materialestrømmene vil i princippet for hver branche og anvendelseskategori kunne opdeles på de samme hovedgrupper som det overordnede MFA-regnskab.

Det første trin vil være at belyse de enkelte branchers materiale *input*. Mere fuldstændige regnskaber for branchernes materialestrømme – altså inkl. akkumulering og output – er også mulige, dog kun med en ganske betydelig arbejdsindsats.

Tilføjjelsen af branchedimensionen indebærer, at der åbnes muligheder for, at materialestrømmene kan belyses via input-output modeller. Herved åbnes for at foretage egentlige analyser af sammenhængen mellem centrale økonomiske størrelser som privat konsum og eksport på den ene side og afledte materialestrømme på den anden side. Jf. beskrivelsen i afsnit 10.2.1 og (Pedersen 2002).

Brancheopdelingen af økonomiens materialeinput indebærer, at strømmene af materialer ind i økonomien (dvs. dansk ressourceudvinding og import) henføres til de brancher, der i første omgang kommer i kontakt med materialerne. Den danske ressourceudvinding henføres således til de brancher (landbrug, skovbrug, fiskeri og udvinding af ressourcer), der står for udvindingen. Importen henføres til de brancher, der anvender inputtet i produktionen. Også de direkte materialestrømme til den endelige anvendelse registreres, dvs. at det private konsum tilordnes de varer, der importeres og går direkte til privat konsum. Tilsvarende tilordnes eksporten de importvarer, der reeksporteres.

Brancherne og de endelige anvendelseskategorier følger nationalregnskabets opdeling, dvs. at der som udgangspunkt er 130 brancher og en række endelige anvendelseskategorier.

Som eksempel viser tabel 9.3 en brancheopdeling af DMI. I bilag A er den mest detaljerede brancheopdeling vist.

Tabel 9.3
Brancheopdeling af direkte materiale input, DMI – Danmark 1997.

	DMI i alt	Danske ressourcer	Import
1 Landbrug, fiskeri og råstofudvinding	134 396	129 275	5 121
0109 Landbrug, gartneri og skovbrug	48 468	44 218	4 250
0500 Fiskeri mv.	2 059	1 813	246
1009 Råstofudvinding	83 869	83 244	625
2 Industri	18 407	-	18 407
1509 Nærings- og nydelsesmiddelindustri	2 608	-	2 608
1709 Tekstil-, beklædnings- og læderindustri	166	-	166
2009 Træ-, papir- og grafisk industri	2 038	-	2 038
2309 Mineralolie-, kemisk- og plastindustri mv.	7 140	-	7 140
2600 Sten-, ler- og glasindustri mv.	2 545	-	2 545
2709 Jern- og metalindustri	2 995	-	2 995
3600 Møbelindustri og anden industri	914	-	914
3 Energi- og vandforsyning	12 069	-	12 069
4 Bygge- og anlægsvirksomhed	3 550	-	3 550
5 Handel, hotel- og restaurationsvirks. mv.	908	-	908
5000 Handel m. biler, autorep., servicestationer	160	-	160
5100 Engros- og agenturhandel undt. m. biler	331	-	331
5200 Detailh. og reparationsvirks. undt. biler	102	-	102
5500 Hotel- og restaurationsvirksomhed mv.	316	-	316
6 Transportvirks., post og telekommunikation	4 761	-	4 761
6009 Transportvirksomhed	4 721	-	4 721
6400 Post og telekommunikation	40	-	40
7 Finansieringsvirks. mv., forretningservice	145	-	145
6509 Finansierings- og forsikringsvirksomhed	22	-	22
7009 Udlejning og ejendomsformidling	18	-	18
7209 Forretningservice mv.	105	-	105
8 Offentlige og personlige tjenesteydelser	541	-	541
7500 Offentlig administration mv.	166	-	166
8000 Undervisning	79	-	79
8519 Sundhedsvæsen mv.	62	-	62
8539 Sociale institutioner mv.	136	-	136
9009 Renovation, foreninger og forlystelser mv.	98	-	98
Erhverv i alt	174 776	129 275	45 501
Endelig anvendelse	10 109	-	10 109
Erhverv og endelig anvendelse i alt	184 886	129 275	55 611

Kilde: Pedersen, 2002

I en driftsfase vil et branchefordelt indikatorsystem kunne opstilles med ca. tre års forsinkelse i forhold til det år, det vedrører.

9.2 Detaljeret MFA-regnskab – datagrundlag

Det foreslås, at der bag præsentationsniveauet og indikatorerne opbygges en database og et regnskab for materialestrømme på detaljeret niveau.

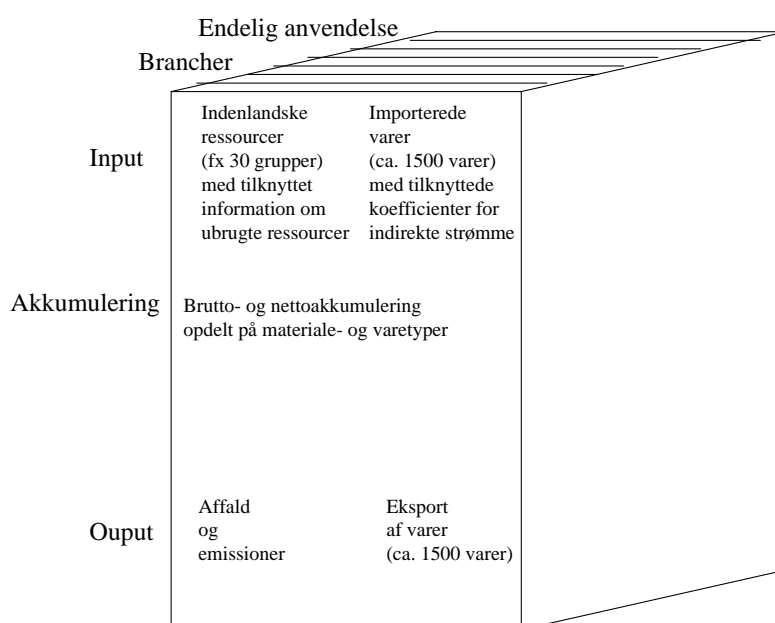
Databasen bør indeholde alle de grundlæggende data, og det skal være muligt at aggregere disse til præsentationsniveauet. Omvendt vil man kunne tage udgangspunkt i de overordnede indikatorer og regnskabet på præsentationsniveauet, og derfra være i stand til at dykke ned i detaljerne, således at det bliver muligt at forklare og analysere den overordnede udvikling.

Alle poster i regnskabet vil dog ikke kunne foreligge på det detaljerede niveau. Det kan således ikke forventes, at det vil være muligt at balancere materialerne (input = akkumulering + output) på alle enkeltbrancher, bl.a. fordi dette også vil kræve, at der inkluderes information om branchernes vareproduktion.

Det detaljerede regnskabs- og databaseniveau kan ses i sammenhæng med det overordnede indikatorsystem, der er skitseret i kapitel 8. I en konkret sammenhæng må det dog overvejes, hvilke muligheder for dataindsamling og bearbejdning, der rent faktisk er til rådighed. Det system, som er skitseret i kapitel 8, er på mange måder langt mere vidtgående med hensyn til detaljeringsgrad, end et rent MFA-baseret system vil være det.

Som udgangspunkt kan det detaljerede regnskab opbygges efter det princip, der er skitseret i tabel 9.1, men naturligvis med en langt større detaljeringsgrad. Det vil være naturligt at vælge et detaljeringsniveau for varerne, der svarer til nationalregnskabets varebalancer, derved kan den information, der ligger i varebalancerne om tilgang og anvendelse (i værdier - 1.000 kr.), udnyttes. For **import og eksport af varer** er der her tale om ca. 1.500 varer.

De **indenlandske ressourcer** kan opdeles noget mere detaljeret end det, der er vist i tabel 9.1. Fx kan der foretages en opdeling på forskellige typer råstofproduktion, høstudbytte og fiskearter.



Figur 9.2
Skitse til detaljeret MFA-regnskabssystem og tilhørende database.

Til brug for danske MFA-regnskaber og MFA-indikatorer er der som hovedregel data i god kvalitet til rådighed, når det drejer sig om de **direkte strømme på inputsiden** (DMI, DMC).

For de **indirekte strømme** inkl. danske og udenlandske ubrugte ressourcer er datagrundlaget betydeligt dårligere. Såfremt det derfor besluttes, at også indirekte strømme skal indgå (TMR og TMC), er det nødvendigt også at opbygge en systematik og et modul, der indeholder metoder og data for bestemmelse af resourcekvivalenter og ubrugte ressourcer. I første omgang vil det være nødvendigt at benytte data fra Wuppertal Institutet, men der vil være muligheder for gradvist også at inddrage oplysninger fra danske og udenlandske livscyklusvurderinger, herunder bl.a. også resultater fra Miljøprojekt nr. 281 (Hansen 1995).

To forskellige principper kan i øvrigt benyttes, når de indirekte ressourcestrømme skal opgøres. Enten kan man lade de indirekte strømme afspejle gennemsnitlige produktions- og ressourceudvindingsforhold, eller man kan lade dem afspejle de faktiske forhold i de lande, der importeres fra. Et argument for at beregne gennemsnitlige indirekte strømme er, at Danmarks import og produktion bør betragtes i en global sammenhæng. Markedskræfterne vil således kompensere for eventuelle omlægninger af den danske import. Hvis Danmark fx holder op med at importere kul fra Colombia, betyder det jo ikke, at brugen af colombianske kul ophører, blot at kullene anvendes i andre lande.

Som udgangspunkt må det dog betragtes som et sundt princip, at opgørelserne afspejler de faktiske forhold, dvs. at der ved opgørelsen ses på, fra hvilke lande Danmark faktisk importerer, og at de indirekte strømme så vidt muligt afspejler forholdene i disse lande. Det synes da også at være princippet i alle de foreliggende opgørelser af TMR, selvom mangel på data vedrørende de indirekte strømme i mange tilfælde gør, at beregningerne afspejler gennemsnitlige forhold eller blot forholdene i de lande, for hvilke der findes oplysninger.

For den **fysiske akkumulering** eksisterer der ingen samlede opgørelser. Med noget arbejde, en del antagelser og en del tilnærmelser vil det dog være muligt at estimere bruttoakkumuleringen. Fx kan tilgangen af bygninger og anlæg estimeres ud fra inputtet i bygge- og anlægsbranchen. Oplysninger kan også tilvejebringes for tilgangen af maskiner og transportmidler mv. Der findes også økonomiske data (opgørelse i faste priser, der fx belyser bygningsinvesteringerne). Disse kan bruges som tjek af udviklingen eller direkte som grove indikatorer for udviklingen. Kombineres med affaldsstatistik og økonomiske data, kan nettobeholdningen estimeres.

På **outputsiden** er en række affaldsstrømme og emissioner kendte og velbelyste, men der mangler data og viden på en række områder. Ud fra massebalancer og input af forskellige materialer vil det dog være muligt at anslå de resterende mængder af affald og emissioner.

I (Pedersen 2002) og i (Pedersen 1999) findes mere udførlige beskrivelser af datagrundlaget og de beregningsmetoder, der kan benyttes som udgangspunkt for det skitserede indikatorsystem.

9.3 Videreudvikling af MFA-datagrundlag ved brug af Miljøprojekt nr. 281

COWI gennemførte i 1993 projektet **Miljøprioritering af industriprodukter** for Miljøstyrelsen (Miljøprojekt nr. 281). Projektet, der blev finansieret af **Rådet vedrørende genanvendelse og mindre forurenende teknologi**, havde til formål at rangordne alle industriprodukter, som omsættes i Danmark, ud fra det ressourcetab og energiforbrug, der er knyttet til disse produkter. Projektet fokuserede udelukkende på færdigvarer (industriprodukter) og medtog derfor ikke råvarer, halvfabrikata og varer fremstillet ved håndværk (medmindre disse indgik som dele af industrielt fremstillede færdigvarer).

Projektets resultater baserer sig på indsamlingen af en omfattende mængde af data om materialesammensætningen af industriprodukter, energiforbrug ved fremstilling af materialer og genanvendelse af materialer, etc. Disse data er samlet i en database, som kan udgøre et vigtigt grundlag for opgørelser af

materialestrømme knyttet til produktionen og forbruget af industrielle produkter. Projektets (og databasens) detailrigdom er så omfattende, at denne – så vidt vides – er ganske unik i international sammenhæng. Det unikke består også i, at databasens oplysninger om materialesammensætning på en systematisk måde etablerer en forbindelse mellem industrielle færdigvarer (opdelt i 966 grupper) (eksempelvis forskellige former for køretøjer, køleskabe m.m.) og indholdet af materialer i disse. På denne måde kan projektets database bl.a. benyttes til at "oversætte" statistiske opgørelser af den importerede/eksporterede mængde af færdigvarer til mængder af materialer. Projektet kan således udgøre grundlaget for en kobling fra varer til materialer.

Denne og andre muligheder for at benytte data fra Miljøprojekt nr. 281 i en materialestrøms- og MFA-sammenhæng vil blive beskrevet i det følgende. Der indledes dog med en overordnet beskrivelse af, hvilke muligheder og begrænsninger der er knyttet til en tænkt anvendelse af projektets data inden for en MFA-sammenhæng. Særligt beskrives de væsentligste begrænsninger og problemer knyttet til disse data (i forhold til anvendelse inden for MFA), som der må tages højde for i de videre overvejelser om databasens anvendelsesmuligheder. I øvrigt henvises til Bilag B, som udgør en detaljeret beskrivelse og diskussion af projektets metode, data og resultater.

Efterfølgende beskrives to forslag til, hvorledes data fra Miljøprojekt nr. 281 kan tænkes anvendt i en MFA-sammenhæng. Forslagene har karakter af at være en videreudbygning og forbedring af det eksisterende datagrundlag for beregning af MFA-indikatorer.

9.3.1 Muligheder og begrænsninger for anvendelse af Miljøprojekt nr. 281 i MFA-sammenhæng

Det blev beskrevet oven for, at den righoldige information om færdige industriprodukter indsamlet i forbindelse med Miljøprojekt nr. 281 kan være et interessant bidrag til at udbygge og forbedre datagrundlaget for MFA-beregninger. Især er projektets data om varegrupperes materialesammensætning og energiforbrug interessante, og dette vil være i fokus for det følgende.

9.3.1.1 Data om varegrupperes materialesammensætning

Miljøprojekt nr. 281 opererer som nævnt med en opdeling af færdige industriprodukter på 966 varegrupper. For hver af disse varegrupper er bestemt den gennemsnitlige materialesammensætning af de industriprodukter, som tilhører varegruppen. Industriproduktets materialeindhold er bestemt ud fra en materialeliste omfattende 173 materialetyper (fordelt på 12 materialegrupper). Varegruppernes materialesammensætning opgøres ved vægtprocent og opgøres ud fra summen af følgende komponenter: Materialeindholdet i det færdige produkt + forbruget af emballagematerialer + forbruget af driftsmidler over produktets levetid (dog ekskl. energiforbruget, som opgøres særskilt) + forbruget af reservedele over produktets levetid.

I forhold til en eventuel anvendelse af disse data inden for et materialestrømsperspektiv må man gøre sig det klart, at Miljøprojekt nr. 281 ikke oprindeligt har været tænkt inden for rammerne af MFA. Projektets database rummer derfor ikke oplysninger om **ubrugte** materialestrømme, som i MFA-sammenhænge er af central betydning. I forhold til de videre overvejelser om muligheder for at benytte projektets data, bør man især bemærke:

- Ved bestemmelsen af materialeindhold og -sammensætning er benyttet en tærskelværdi på 1%, således at indholdet af materialer, som hver for sig udgør mindre end 1% af den samlede materialemængde, ikke er opgjort særskilt. Disse materialeforbrug opgøres samlet under betegnelsen "Andet". I et MFA-perspektiv kan denne afgrænsning være problematisk, idet størrelsen af den økologiske rygsæk forbundet med udvindingen af råstoffer varierer meget
- Materialesammensætningen skal forstås som den **samlede materialesammensætning** af en række materialeinput knyttet til produktet og dets levetid (brugstid). Materialesammensætningen dækker derfor følgende komponenter: 1) Materialeindholdet i det færdige produkt **såvel som** 2) materialeforbruget ved emballering samt 3) forbruget af driftsmidler og 4) reservedele over produktets levetid. I projektets database er indtastet den **aggregerede/samlede materialesammensætning**. Det er derfor ikke muligt at adskille de fire komponenter og eksempelvis udtrække data om materialesammensætningen af det færdige industriprodukt alene⁸
- En række materiale- og ressourceforbrug er ikke medtaget ved fastlæggelsen af varegruppernes materialeindhold og -sammensætning. Dette gælder eksempelvis det materialeforbrug ved produktionen, der ikke indgår i det endelige produkt (fx procesvand, smøremidler, spild i produktionsleddet, etc.) og ubrugte materialestrømme ved udvinding og forarbejdning af råmaterialer. Ligeledes er indirekte materialeforbrug knyttet til udvinding og forarbejdning af driftsmidler, reservedele og emballage ikke medtaget

Det ses af ovennævnte, at der til data indeholdt i projektets database om materialesammensætning knytter sig en del metodiske og datamæssige afgrænsninger, som kan have afgørende betydning for mulighederne for at anvende disse data i andre sammenhænge.

9.3.1.2 Data om energiforbrug knyttet til varegrupper

For hver af de 966 varegrupper, som Miljøprojekt nr. 281 opererer med, er opgjort energiforbruget ved 1) udvinding og fremstilling af materialer, 2) videre forarbejdning af materialer til færdigt produkt (hvis dette er skønnet relevant), 3) energiindholdet (den bundne energi i materialet – hvis relevant), 4) energiforbruget i driftsfasen for varegruppens produkter (hvis relevant) samt 5) energiindholdet, som nyttiggøres ved afbrænding af ressourceetabet. I sammenligning med opgørelsen af varegruppernes materialesammensætning er projektets data for energiforbrug væsentlig mere fuldstændige. Hertil kommer, at de indsamlede energidata er indtastet i projektets database i disaggregeret form, således at det er muligt at udtrække data for hver af de oven for nævnte komponenter.

I forhold til en eventuel brug af projektets energidata inden for et MFA-perspektiv, bør følgende især bemærkes:

- Energiforbruget knyttet til "færdigvareproduktionen" er kun medregnet i et meget begrænset omfang. Det såkaldte **forarbejdningsstillæg** (som er

⁸ Det bør bemærkes, at det er praktisk muligt at adskille materialesammensætning på de fire bidrag (det færdige produkt, emballage, driftsmidler og reservedele) ved at benytte projektets *Dokumentationsbilag 5*. Dette vil dog indebære en del „håndregning“, da materialesammensætningen fordelt på disse fire bidrag ikke kan aflæses direkte af nogen tabel.

materialespecifikt og kun medtages for varegrupper, hvor dette skønnes relevant) repræsenterer alene det energiforbrug, som medgår til den **direkte forarbejdning** af materialerne. Alle øvrige, sekundære energiforbrug knyttet til fremstillingen af færdige produkter (herunder opvarmning, belysning, transport af delkomponenter og markedsføring) er således **ikke** medtaget – ligesom energiforbruget relateret til den bygnings- og infrastruktur, som produktionen forudsætter, heller ikke medregnes. Endelig er energiforbruget ved distributionen af færdige produkter ikke opgjort. I praksis **underestimerer** energiberegningerne for varegrupperne derfor det reelle energiforbrug – i nogle tilfælde med måske op til 50% (jf. Bilag B, afsnit B.5) ⁹.

- Ved beregningen af bruttoenergiforbruget medtager Miljøprojekt nr. 281 ikke energiforbrug og -tab ved **udvinding og transport** af kul, olie og naturgas. Miljøprojekt nr. 281 medregner alene energitabet knyttet til raffinering af olie og ved konvertering af primære brændsler til elektricitet. Dette medfører en yderligere underestimering af det **reelle** energiforbrug med skønsmæssigt 1,5-4%

9.4 Forslag til hvorledes Miljøprojekt nr. 281 kan bidrage til forbedring og videreudvikling af datagrundlaget for MFA-indikatorer

I dette afsnit fokuseres på følgende to forslag til, hvorledes Miljøprojekt nr. 281 (og den tilknyttede database) kan bidrage til en forbedring/videreudvikling af datagrundlaget for MFA-indikatorer:

- Oplysninger om varegrupperes materialesammensætning kan benyttes til at forbedre beregningen af indirekte materialestrømme knyttet til import/eksport. Denne mulighed beskrives i afsnit 9.4.1.
- Oplysninger om energiforbruget knyttet til udvinding og bearbejdning af (rå-)materialer (den såkaldte ASF-værdi) kan benyttes til at forbedre data om indirekte brugte strømme knyttet til import af råvarer. Denne mulighed beskrives i afsnit 9.4.2.

9.4.1 International database over materialesammensætning af færdigvarer

I sine kommentarer til projektet nævner John Hille (deltager i projektets workshops og fra Idébanken, Norge), at han ser muligheder for at anvende projektets database i internationale sammenhænge:

”Når jeg mener at verktøyet [Hille henviser til databasen] burde kunne gjøres internasjonalt anvendelig, er det selvfølgelig fordi vi lever i en globalisert økonomi der materialsammensetningen av ’en bil’ eller ’en PC’ [...] er nokså lik i alle nasjonale markeder. Vi er bare et lite stykke lenger fra å kunne si det samme om ’et gjennomsnittlig polstret møbel’ eller ’en gjennomsnittlig jakke’. For mange vareslag er energiforbruket noe mer variabelt produksjonsland imellom enn materialsammensetningen, men når andelene av forbruket som dekkes ved innenlandsk produksjon er

⁹ Input-output analyser af materialeleverancer mellem brancher kan i denne sammenhæng benyttes til at supplere projektets energidata. Gennem input-output analyser kan „højere ordens energiforbrug“ (dvs. indirekte energiforbrug) opgøres og adderes til energiforbruget bestemt i projektet.

små, blir heller ikke dette så vesentlig når en vil analysere energiforbruget bak de varene som **forbrukes** i et land.

Dersom jeg har rett i at verktøyet kan gjøres internasjonalt anvendelig, er det også naturlig å tenke seg raffineringen og den 5- eller 10-årige oppdateringen som et internasjonalt prosjekt. Det kan være enklere å få finansiert det ved at kilder i flere land, eller EU, bidrar, enn om alle pengene skal skaffes i Danmark.” (personlig korrespondance, 11.11.2002)

Hille peger i sin kommentar på, at det – i kraft af den internationale handels (stigende) udbredelse – vil være tilnærmelsesvis korrekt at benytte en international database over materialesammensætning til at fastlægge materialesammensætningen af import- og eksportvarer. En sådan international database over materialesammensætning (og energiforbrug) vil kunne udgøre et kærkomment værktøj for arbejdet med bestemmelsen af landes materialestrømme. Ved beregninger af TMR og TMC er der generelt store problemer med at håndtere de færdigvarer, som importeres/eksporteres. Dette skyldes bl.a., at den eksisterende viden om materialesammensætningen af disse varer er meget ringe. Dette resulterer i, at importen af mange færdigvarer i opgørelser af TMR og TMC ofte medregnes alene ved vægten af færdigvarerne. Herved medregnes ikke de indirekte strømme (indirekte ubrugte såvel som indirekte brugte strømme), som kan associeres til de importerede varer – hvorfor beregningerne underestimerer den faktiske størrelse af TMR og TMC endog ganske betydeligt.

Ved at benytte databasens oplysninger om materialesammensætning af varegrupper (i en revideret og opdateret udgave), vil det være muligt at kvalificere MFA-beregningerne, idet det bliver muligt at opgøre færdigvareimporten fordelt på enkeltmaterialer. Herefter kan – bl.a. med brug af Wuppertal Instituttets nøgletal for materialer – de indirekte brugte og ubrugte strømme knyttet til denne import bestemmes ved at anvende relevante faktorer for enkeltmaterialerne. Herved kan databasen bidrage til løsningen af et af de for nuværende største problemer ved beregningen af TMR og TMC. Hvad der ydermere understøtter mulighederne for at benytte (og udvikle) databasen internationalt, er det forhold, at databasens opdeling af industriprodukter på varegrupper i sin hovedstruktur er baseret på samme struktur som HS-standarden, der er international standard for import- og eksportstatistikker (se også Bilag B, afsnit 2).

Det væsentligste problem i forhold til at benytte databasen som beskrevet oven for, består i, at databasens oplysninger om varegruppernes materialesammensætning fremstår aggregeret. I materialesammensætning er medregnet såvel materialeindholdet i det færdige industriprodukt som forbruget af materialer til emballage, driftsmidler og reservedele. Det er derfor en nødvendig forudsætning, at materialesammensætningen for det færdige industriprodukt opgøres særskilt, hvilket kræver en nøje (og dermed arbejdskrævende) gennemgang af projektets omfattende dokumentationsmateriale.

9.4.2 Forbedret datagrundlag for indirekte brugte strømme knyttet til import/eksport

Et andet felt, hvor oplysningerne i databasen knyttet til Miljøprojekt nr. 281 kan tænkes at kvalificere MFA-datagrundlaget, er opgørelsen af **indirekte brugte strømme** knyttet til import/eksport af færdigvarer.

Ved bestemmelsen af den såkaldte ASF-værdi (Akkumulerede materialeSpecifikke energiForbrug) medtog projektet en bred vifte af energiforbrug knyttet til udvinding og fremstilling af (rå-)materialer. ASF-værdier er bestemt for hver af de 173 materialetyper, som projektet opererer med. Det er tænkeligt, at Miljøprojekt nr. 281 (og den tilknyttede database) i denne henseende er (internationalt) unik, og at oplysningerne om materialers ASF-værdier kan være et brugbart input til bestemmelsen af indirekte brugte materialestrømme knyttet til import af produkter. Det skal dog bemærkes, at ASF alene opgør **energiforbruget** knyttet til **udvinding og forarbejdning** af (rå-) materialer. Dette betyder, at 1) energiforbruget knyttet til færdigvareproduktionen ikke er medtaget (og i øvrigt som nævnt er dårligt belyst i projektet), og at 2) der skal finde en omregning sted mellem energimængde (ASF-værdien opgøres i GJ/ton) og den modsvarende mængde (i ton), der mobiliseres ved tilvejebringelsen af denne energimængde.¹⁰ Endelig dækker ASF-værdien kun "den halve sandhed", idet alle øvrige indirekte brugte ressourcer ud over energiforbruget ikke er beskrevet ved ASF (dette gælder fx forbruget af vand).

¹⁰ I forhold til sidstnævnte bemærker Helmut Schütz (deltager i projektets 2. workshop og fra Wuppertal Institutet, Tyskland) dog, at arbejdet med at „omregne“ fra GJ til ton kan vise sig at være (mindst) ligeså arbejdskrævende som at bestemme det faktiske materialeinput.

10 Analyser på baggrund af MFA-data

Dette kapitel diskuterer behovet for analyser af ændringer i materialestrømme og årsager hertil og diskuterer via en række eksempler muligheder og begrænsninger for at anvende MFA-studier hertil.

10.1 Eksempel: Hvilken betydning har tendenser i den overordnede samfundsudvikling for materialestrømme, bæredygtighed og dematerialisering?

En vigtig dimension i diskussionen af miljø, sundhed og bæredygtig udvikling må være at tematisere, hvilken betydning aktuelle sociale og økonomiske udviklingstendenser har for den fremtidige udvikling mod eller bort fra øget bæredygtighed.

En central tankefigur har gennem en årrække været, at samfundet – og her tænkes nok især på de moderne, industrialiserede samfund USA, Europa (Vesteuropa?) og Asien – bevæger sig mod det, der betegnes informations-samfundet. Der er da heller ingen tvivl om, at brugen af informationsteknologier i omfang er tiltaget kraftigt over de sidste år. Inden for de seneste 10-15 år har vi således set en kraftig stigning i virksomheders og privates anskaffelse og brug af computere og mobiltelefoner – og over et længere tidsperspektiv fjernsyn, radio, telefon mv.

Servicesamfundet udgør en anden tankefigur, som har udviklet sig parallelt med diskussionen om informationssamfundet. Heri ligger bl.a. forestillingen om, at produktion og forbrug i stigende grad bevæger sig fra materielle goder (varer) mod immaterielle tjenesteydelser og service.

I forskellige sammenhænge har diskussionerne om miljø og bæredygtighed (på den ene side) og informationssamfundet/servicesamfundet (på den anden side) da også være bragt sammen, og det har bl.a. været fremført, at informationssamfundet/servicesamfundet ville indebære en dematerialisering. Den konkrete udvikling i ressourceforbruget peger dog i flere retninger – bl.a. har indførelsen af nye kommunikationsteknologier ikke medført et fald i transporten (som forudsagt af mange). Tværtimod er denne fortsat i stigning i de fleste lande.

Spørgsmålet er nu, om MFA-studier vil udgøre et bidrag til at kvalificere diskussionen af aktuelle sociale og økonomiske udviklingstendensers betydning for miljø og bæredygtighed. Med udgangspunkt i tankerne om informations- og servicesamfundet kan man spørge mere konkret: Hvordan vil udviklingen mod et informations- og servicesamfund påvirke materialeforbruget? Dette er temaet for det følgende, hvor vi først vil se på overordnede tendenser i de højt industrialiserede landes samlede materialeforbrug (afsnit 10.1.1) og dernæst fokusere mere snævert på betydningen af den øgede brug og anskaffelse af informationsteknologi (afsnit 10.1.2).

10.1.1 Bevæger vi os mod en dematerialisering af økonomien?

Spørgsmålet om dematerialisering blev allerede – på et makroplan – bragt op i forbindelse med WRI's studie ***Resource Flows: The Material Basis of Industrial Economies*** (Adriaanse et al. 1997), hvor det formuleredes på følgende måde:

“A critical question is whether modern industrial economies are becoming less material intensive as they shift, for example, from producing goods to producing services: Is economic activity becoming decoupled from natural resource use?” (Ibid., p 13)

WRI's studie af TMR og DMI for Tyskland, Holland, Japan og USA viste, at materialeintensiteten ganske vist havde været faldende over en længere årrække, men i løbet af første halvdel af 1990'erne udviste en stagnerende tendens. På baggrund af dette konkluderede forfatterne:

“Improvements in technology and industrial practice or structural shifts to a more service-intensive economy, which might be expected to reduce this measure of material intensity, do not seem to be continuous.” (Ibid., p 14)

WRI's studie kan således ikke støtte teorien om en dematerialisering af økonomien som følge af informations- og servicesamfundet.

EEA's/Wuppertal Instituttets studie af udviklingen i TMR for EU (Bringezu & Schütz 2001b) viste, at TMR for EU-15 over perioden 1995-1997 steg med 3% (fra 18,1 til 18,7 mia. tons) – svarende til en stigning fra 49 til 50 tons/capita. TMR for perioden 1988-1994 (før optagelsen af Østrig, Finland og Sverige) viste også en stigende tendens; fra 45 tons/capita i 1988 til 49 tons/capita i 1994. Studiet viser således, at der i perioden 1988-1997 ikke har været nogen absolut afkobling af TMR for EU og dermed heller ikke nogen dematerialisering af den europæiske økonomi. (Bringezu & Schütz 2001b, p 12).

Mht. det ***direkte materialeinput*** (DMI) viser EEA's/Wuppertal Instituttets studie en relativ afkobling mellem væksten i økonomiens størrelse (GDP) og udviklingen i DMI. Over perioden 1988-1997 steg GDP pr. indbygger i EU med 36% (fra 11.440 til 13.482 ECU/capita), mens DMI pr. indbygger i EU reduceredes med 8% (fra 21,2 til 19,5 tons/capita). Det største fald i det totale DMI fandt dog sted i perioden 1990-1992 (og var især forårsaget af et betragteligt fald i importen af varer til EU på ca. 1 ton/capita), mens DMI i den efterfølgende periode (1993-1997) faktisk var svagt stigende. Studiet viser således, at heller ikke mht. DMI har der været nogen absolut afkobling (dematerialisering) – men alene en relativ afkobling mellem GDP og DMI (Ibid., p 24 ff).

OECD publicerede i 2002 en rapport med titlen ***Indicators to measure decoupling of environmental pressure from economic growth*** (OECD 2002). I denne rapport foreslås en række såkaldte ***Economy-wide decoupling indicators***, hvoraf én relaterer sig til materialestrømme. Forholdet mellem det direkte materialeinput (DMI) og størrelsen af GDP benyttes således som indikator for (eventuel) afkobling mellem materialeforbrug og økonomiens størrelse. Om valget af denne indikator skriver forfatterne til rapporten:

“The DMI per unit of GDP is used here as an indicator for the material intensity (measured in tonnes per USD) of the economy. The DMI is easier to

calculate than the TMR, but experience shows that a high DMI is associated with a high TMR and vice versa.” (OECD 2002, p 45)

På baggrund af data udviklet af Eurostat og Wuppertal Institutet konkluderes det i OECD-rapporten, at der for EU-15 har fundet en relativ afkobling sted mellem DMI og økonomisk vækst for perioden 1980-1997. Dette stemmer overens med det før beskrevne. Mens der for EU ikke er tale om nogen absolut afkobling (eller dematerialisering), viser tal for Japan – ifølge rapporten – en absolut afkobling (med afkoblingsfaktor 0,10) over perioden 1995-1999.

I forhold til OECD's valg af DMI som hovedindikator for materialestrømme, kan det indvendes, at brugen af DMI (frem for TMR) har det væsentlige problem, at skjulte strømme ikke medtages. DMI præsenterer dermed et forsimplet billede af de faktiske materialestrømme og deres relaterede miljøproblemer. Dette kan især være et problem i forhold til diskussionen om global ulighed og relationen mellem udviklingslandene og den industrialiserede del af verden. Den rige og industrialiserede del af verden (herunder også EU) synes i stigende grad at basere økonomiens materielle basis på import af ressourcer og (rå-)materialer fra udviklingslandene og den fattige del af verden. Dermed flyttes ressourceudvindingen (og de dermed forbundne miljøproblemer) i stigende grad fra den rige til den fattige del af verden. En sådan udvikling antydes bl.a. i EEA's/Wuppertal Institutets studie (Bringezu & Schütz 2001b), som viser, at den "indenlandske" del af TMR for EU-15 (dvs. den del af TMR, som er relateret til udvinding af ressourcer og materialer inden for EU-15) over de senere år har været faldende, mens den "udenlandske" del har været stigende. Således faldt den indenlandske del af TMR med 13% over perioden 1985-1997, mens den udenlandske del steg med 23% over perioden 1988-1997. I forhold til stigningen i den udenlandske del bemærker forfatterne:

“The expansion of EU-12 to EU-15 led to an increased dependency on foreign resource extraction. From 1995 to 1997, EU-15 requirements for foreign resources increased by 11%. Future analyses will have to prove whether this resulted from metal market variations or reflected a continuous trend. [...] Foreign TMR is significantly influenced by EU-15 demand for luxury and precious commodities.” (Bringezu & Schütz 2001b, p 23)

På baggrund af gennemgangen oven for, synes det rimeligt at konkludere, at hidtidige Economy-wide MFA-studier ikke viser nogen (begyndende) dematerialisering (her ses der bort fra udviklingen i Japan over perioden 1995-1999). Den postulerede sammenhæng mellem udviklingen mod et informations- og servicesamfund og en heraf følgende dematerialisering kan således ikke finde støtte i foreliggende studier. Flere af studierne viser dog en relativ afkobling mellem økonomisk vækst og TMR/DMI, hvilket antyder en stigende ressourceeffektivitet – som dog ikke hidtil har formået at udligne økonomiens vækstrate.

10.1.2 Hvilken betydning har den øgede brug af informationsteknologi?

Især ét forbrugsområde har allerede i dag tæt forbindelse til (og betydning for) den overordnede samfundsudvikling: anskaffelsen og brugen af moderne kommunikationsteknologi (og moderne teknologi mere generelt). Et eksempel på den hastige udvikling er andelen af danske familier i besiddelse af hjemmecomputer, som mere end tredobledes over perioden 1991-2001 (fra 19,4% i 1991 til 66,9% i 2001). En endnu mere markant udvikling ses for

mobiltelefoner; i 1991 blev mobiltelefoner end ikke opgjort særskilt, men kun 10 år senere (i 2001) var $\frac{3}{4}$ af de danske familier (73%) i besiddelse af mindst én mobiltelefon. (Danmarks Statistik 2001, s. 74). Den hastige udvikling i anskaffelsen og brugen af moderne kommunikationsteknologi berettiger i sig selv, at man sætter fokus på dette område i forhold til diskussionen om forbrugets betydning for miljø og sundhed herhjemme såvel som i udlandet. I denne forbindelse kan opgørelsen af materialestrømme være en mulig indgangsvinkel. Dette vil blive diskuteret yderligere i det følgende.

Diskussionen om den positive eller negative betydning af moderne kommunikationsteknologi (og moderne elektronik i det hele taget) for udviklingen i økonomiens samlede ressource- og materialetræk kompliceres af en række modsatrettede tendenser. På den ene side er udviklingen generelt gået mod mindre apparater (nok tydeligst illustreret ved mobiltelefonen), hvilket – ud fra en isoleret betragtning – burde indikere et reduceret træk på ressourcer og materialer. Over for dette står nogle andre tendenser, som synes at trække i en modsat retning: Først og fremmest den kraftige stigning i anskaffelse og brug af apparater såsom computer og mobiltelefon. Dernæst den gradvise udtømmning af lettilgængelige metaller, som kan forudses at ville bevirke en betydelig stigning i størrelsen af ubrugte materialestrømme knyttet til metaludvinding samt øget materiale- og energiforbrug knyttet til oparbejdningen.

Allerede i dag er der forbundet sådanne store skjulte materialestrømme (økologiske rygsække) med udvindingen af de metaller, som indgår i elektroniske apparater. Eksempelvis indebærer udvindingen af 1 ton kobber mobilisering af skønsmæssigt 249 ton brugte og ubrugte materialer (jf. Wuppertal Instituttets tal). Et andet eksempel er kobberudvindingen, som er forbundet med alvorlige effekter på miljø og sundhed – herunder udsendelse af svovlforbindelser, forurening af lokale floder med høje koncentrationer af bly, jern, kobber, krom, mangan og nikkel mv. (Christensen et al. 1999).

Der knytter sig endvidere betragtelige energi- og ressourceforbrug til selve produktionen af mikro-elektronik (fx computeres mikroprocessorer). Dette fremgår af et studie udført af bl.a. Eric D. Williams (*United Nations University*), som har kortlagt inputtet af energi og materiale til produktionen af mikrochips af typen 32MB dynamisk RAM (Williams et al. 2002). Studiet viser, at alene ved produktionen af denne type mikrochip (der i sig selv kun vejer 2 g) kræves et input af sekundær energi og kemiske stoffer svarende til 1,6 kg fossil brændsel, 72 g kemiske stoffer, 32 kg vand og 700 g kvælstof og andre gasser. Forskerne relaterer deres resultater til diskussionen om dematerialisering og bemærker følgende:

“Dematerialization is the idea that technological progress leads to radical reductions in the amount of materials (and/or energy) required to yield goods and services in the economy. The microchip is often assumed to be a prime example of dematerialization since value and utility is high while the weight of the product is negligible. As the relative use of secondary materials is much higher for the microchip than for traditional goods, our analysis suggests that this may not be the case. From a broader perspective, the results indicate the existence of a possible counterforce to dematerialization, a trend we term secondary materialization. Secondary materialization is the proposition that increasingly complex products require additional secondary materials and energy to realize their lower entropy form. While thermodynamic considerations dictate that this trend exists to a certain degree, it is as yet unclear if the additional secondary materials required are significant compared

to savings gained through process improvement. In this work we can only assert a specific case of inter-sector secondary materialization: the semiconductor sector displays much higher economic growth and degree of secondary use of energy and materials compared to many 'traditional' sectors. Further consideration of this issue is a task for future work." (Williams et al. 2002)

Forskernes resultater antyder altså, at der er god grund til at sætte fokus på den ny teknologis (herunder især mikro-elektronikkens) betydning for ressource- og materialeforbrug (og bæredygtighed i et bredere perspektiv). I tilknytning til resultaterne af undersøgelsen skal det bemærkes, at tallene for det sekundære input **ikke** medregner ubrugte strømme, hvorfor den "økologiske rygsæk" derfor er betydelig større end det her angivne. Hertil kommer, at computere (og andet elektronisk udstyr) kræver et løbende forbrug af elektricitet med relaterede materialestrømme.

For et land som Danmark – der ikke selv råder over naturligt forekommende metalressourcer – kan en stigning i anskaffelsen af elektroniske apparater betyde, at landets forbrug giver anledning til stigende miljø- og sundhedsproblemer **andre steder** på kloden (i de ressourceudvindende lande). Dermed kan der ske en forskydning i retning af øget global ulighed. Dette understreger nødvendigheden af, at der udvikles metoder, som på en meningsfuld måde kan anskueliggøre og kvantificere de mangeartede og globale effekter af det danske forbrug af varer og tjenester. I denne sammenhæng kan MFA-baserede opgørelser af materialeintensiteten for elektroniske produkter måske vise sig som et brugbart værktøj.

10.1.2.1 Digital Europe

Afslutningsvis kan det nævnes, at EU gennem programmet **Information Society Technology** finansierer et større forskningsprojekt kaldet **Digital Europe**. Digital Europe projektet løber over perioden primo 2002 til medio 2003 og skal fokusere på tre forskningstemaer (Ebusiness and the environment, Ebusiness and social responsibility samt Ebusiness and sustainable regional development). Et af disse temaer (Ebusiness and the environment) berører spørgsmålet om sammenhængen mellem e-handel og miljøpåvirkning (herunder spørgsmålet om dematerialisering). Indholdet af dette forskningstema beskrives således:

"This theme [Ebusiness and the environment] will involve a comprehensive analysis of the extent to which ecommerce and e-work are contributing to dematerialisation in Europe, and predict some likely trends over the next 10 to 15 years. It will assess the impact of e-commerce on resource productivity and transport, and recommend the blend of policy, innovation, business leadership and market incentives that will be necessary to create a virtuous circle linking e-business to sustainable development." (Digital Europe project 2002, p 7)

Projektet udføres gennem et samarbejde mellem følgende institutioner: Wuppertal Institut (projektledere), Forum for the Future (engelsk tænketank) samt The Fondazione Eni Enrico Mattei (italiensk forskningscenter). Desuden indgår en række private virksomheder (bl.a. Hewlett Packard og EMI) som partnere i projektet. Der vil bl.a. blive gennemført case-studier af konkrete informationsteknologier, hvor MIPS-konceptet (omtalt i afsnit 7.1) vil blive anvendt til på et mikroniveau at analysere informationsteknologiers mulige bidrag til dematerialisering af økonomien.

Projektets foreløbige resultater har bestået i en "state-of-the-art" rapport, hvoraf det bl.a. fremgår, at

"... ICT [information- and communication technology] and its application have the potential to contribute to the decoupling of environmental pressure from economic growth. Nevertheless, the actual contribution to this process remains as unclear as the likelihood that efficiency gains caused by or within the sector will be countered by an increase in overall consumption (rebound effect)." (Ibid., p 17)

På makroniveau vil projektet, gennem brug af materialestrømsopgørelser (MFA), vurdere, i hvilket omfang ICT vil bidrage til en dematerialisering af den samlede europæiske økonomi og inden for enkeltsektorer. Projektets resultater kan tænkes at udgøre et kærkomment bidrag til at kvalificere diskussionen om økonomiens dematerialisering.

10.2 Eksempel: Materialeintensiteter knyttet til det private forbrug

Miljødebatten og -forskningen har gennem årene i vid udstrækning taget udgangspunkt i **produktionssiden** af økonomien og fokuseret på de afledede miljøeffekter af denne. Dette har samtidig bevirket en underbelysning af **forbrugssiden**, selvom der kan fremføres argumenter for, at man i lige så høj grad (eller måske endda i højere grad) bør angribe spørgsmålet fra denne side. (Røpke 2001) peger på to argumenter:

"First, the ultimate purpose of economic activities is consumption, so in the end all environmental effects can be traced back to this. Second, consumption in many rich countries is heavily dependent on imports, and a large part of the environmental impact related to this consumption is felt in other countries."
(Ibid., p 128)

Relevansen af sidstnævnte argument understreges bl.a. af studier udført af Ole Gravgård Pedersen (Danmarks Statistik), som viser, at den del af det danske TMR, som relaterer sig til produkter produceret i udlandet og importeret til Danmark, udgør mere end halvdelen (54%) af det samlede TMR for 1997 (Pedersen 2002a). Der er således god grund til at sætte lys på det danske forbrug og dets virkninger på miljøet herhjemme **såvel som** i udlandet. Vi vil i det følgende sætte særlig fokus på materialestrømme knyttet til det private forbrug i Danmark.

En mulig indfaldsvinkel til at begrebsliggøre og analysere betydningen af det private forbrug kan bestå i at opdele TMR på **forårsagende endelig anvendelse** og herefter bestemme materialeintensiteten for hver forbrugsgruppe som "TMR pr. krone". Denne fremgangsmåde er benyttet ved et nyligt afsluttet studie af det danske DMI og TMR for 1997, hvor Ole Gravgård Pedersen – på baggrund af input-output analyser – har opgjort TMR på forårsagende endelige anvendelser (Pedersen 2002a; se også Pedersen 2002b, s. 33 ff.). TMR er i denne sammenhæng for en given forbrugsgruppe opgjort både som det samlede TMR knyttet til denne forbrugsgruppe og som forbrugsgruppens materialeintensitet (målt som tons pr. mio. DKK). I det følgende afsnit vil vi gengive udvalgte resultater fra dette studie – herunder diskutere, hvilke problemer der er knyttet til fortolkningen af de fremkomne materialeintensiteter.

10.2.1 Materialeintensiteter knyttet til dansk privat konsum (resultater og problemer)

Overordnet viser resultaterne præsenteret i (Pedersen 2002a) og (Pedersen 2002b) høje materialeintensiteter knyttet til forbrugsgrupperne **fødevarer** og **energi**. "Food and especially electricity, gas and other fuels are [...] without comparison the groups that cause the largest TMR within private consumption." (Pedersen 2002b, s. 34). Tabel 10.1 viser TMR og materialeintensiteter for en række overordnede forbrugsgrupper (rangordnet efter størrelse af materialeintensitet).

Tabel 10.1
TMR og materialeintensiteter for en række overordnede forbrugsgrupper.

Groups of products (private consumption)	Caused TMR 1000 tonnes	Material intensity tonnes per mill. DKK
Electricity, gas and other fuels	29383	912
Food	22709	354
Furnishing, household equipment, etc.	4252	134
Recreation and culture	7844	133
Other transport and communication	6317	119
Other goods and services	7752	95
Housing	9907	84
Beverages and tobacco	3048	83
Medical products, health services	724	54
Clothing and footwear	1014	36
Purchase of vehicles	1114	33

From Pedersen 2002b, p 36.

Det er næppe overraskende, at forbruget af energi og fødevarer vejer tungt både mht. forårsaget TMR og materialeintensitet. Mere overraskende er det, at rekreation og kultur ligger så højt placeret – mens anskaffelse af biler og boligbenyttelse har en overraskende lav placering. Vi vil i det følgende sætte fokus på forbrugsgrupperne rekreation og kultur, anskaffelse af biler samt boligbenyttelse.

Et nærmere studie af gruppen **rekreation og kultur** viser, at inden for denne gruppe er det især sportsudstyr, legetøj, kæledyr, bøger, aviser, blade og ferierejser mv., som forårsager et betragteligt bidrag til TMR. Tabel 10.2 viser forårsaget TMR og materialeintensiteter for gruppens underkategorier (rangordnet efter materialeintensitet).

Tabel 10.2
Forårsaget TMR og materialeintensiteter for gruppens underkategorier.

Recreation and culture	Caused TMR 1000 tonnes	Material intensity tonnes per mill. DKK
Sportsudstyr, legetøj, kæledyr mv.	4672	403
Pakkede ferierejser	884	151
Musikinstrumenter, både mv.	165	78
Papir og skriveudstyr mv.	81	66
Forlystelser, tv-licens mv.	1010	61
Bøger, aviser og blade	479	54
Radio- og tv-apparater mv.	234	49
Cd'er, videobånd mv.	105	49
Reparation af radio, tv, pc mv.	24	49
Fotoudstyr, videokameraer mv.	32	36
Pc'er mv.	158	34

From Pedersen 2002a, table B.8.2

I lyset af den tidligere diskussion om informationsteknologi og dematerialisering (se afsnit 10.1.2) kan det forekomme overraskende, at elektroniske apparater (radio- og tv-apparater, fotoudstyr, videokameraer og pc'er) generelt har en lav placering. En del af forklaringen på dette kan dog formodentlig søges i det forhold, at den metode, der benyttes af Danmarks Statistik ved opgørelsen af TMR, **ikke** medtager indirekte strømme (fx energiforbrug knyttet til fremstilling og transport af varer) knyttet til importvarer (men alene ubrugte strømme knyttet til udvinding af materialer i den importerede vare). Da elektroniske apparater kun i begrænset omfang produceres i Danmark og derfor overvejende importeres fra udlandet, vil opgørelsen af TMR knyttet til denne produktgruppe derfor hovedsageligt kun medregne ubrugte strømme og dermed udgøre en undervurdering af det faktiske TMR. For dansk producerede produkter gælder det derimod, at indirekte strømme – i kraft af input-output analysen – er medregnet ved opgørelsen af TMR.

Metodisk bias kan således forklare den lave placering af elektroniske apparater i tabel 10.2. Tænker man sig derfor metode og datagrundlaget forbedret, således at opgørelser af TMR knyttet til import af varer også kunne inkludere indirekte brugte strømme, ville elektronisk apparatur formodentlig få en højere placering end vist i tabellen.

Foruden den metodisk bundne bias knyttet til opgørelsen af TMR for importerede varer, knytter sig også det problem, at forbruget af energi **opgøres som en særskilt gruppe** (jf. tabel 10.1). Dette betyder i praksis, at man ikke kan finde oplysninger om de samlede materialestrømme knyttet til fx brugen af en pc eller en bil. Dette problem har afgørende betydning for, hvordan resultaterne, som de der er vist i tabel 10.1 og 10.2, skal fortolkes. Tidligere studier (fx Hansen 1995) har vist, at set over et produkts livscyklus kan forbruget af driftsmidler udgøre et betydeligt bidrag til produktets samlede ressourceforbrug og miljøbelastning. Opgjorde man derfor TMR efter sammenhængende **forbrugsfelter** snarere end efter traditionelle nationalregnskabsmæssige opdelinger på produktgrupper, ville man sandsynligvis nå til det resultat, at eksempelvis transport (herunder biltransport) har en langt højere placering efter forårsagende TMR og materialeintensitet end det, man umiddelbart får indtryk af ved læsning af tabel 10.1. I tabel 10.1 er **Anskaffelse af køretøjer** placeret som den mindst materialeintensive produktgruppe.¹¹ Noget tilsvarende gør sig øjensynligt gældende for elektroniske apparater.

Et lignende problem gælder boligen som forbrugsfelt, hvor produktgruppen **boligbenyttelse** (Housing i tabel 10.1) – i den kategorisering der benyttes af **Danmarks Statistik** – alene omfatter husleje, reparation og vedligeholdelse, renovation samt vand og vandafledningsafgift. I et forbrugsperspektiv burde TMR for bolig **også** omfatte materialeforbruget knyttet til opvarmning og belysning, boligbyggeri (som sandsynligvis vil udgøre et betragteligt bidrag til TMR for bolig) og måske også boligudstyr og husholdningstjenester. Mht. materialestrømme knyttet til boligbyggeri henføres dette – i overensstemmelse med den nationalregnskabsmæssige praksis – til kategorien **Investeringer i bygninger og anlæg** som inkluderer privat beboelse såvel som erhvervsbyggeri, offentligt byggeri, anlæg af veje mv. Det er derfor ikke umiddelbart muligt ved input-output beregningen (i dens nuværende form) at fordele

¹¹ I øvrigt kan en del af forklaringen på den meget lave materialeintensitet for **anskaffelse af køretøjer** være den danske beskatning af køretøjer, som – sammenlignet med andre Europæiske lande – er ganske høj.

materialestrømmene til byggeri (og investeringer mere generelt) på "forårsagende forbrugsfelter".

10.2.2 Fokus på "forårsagende forbrugsfelter"

På baggrund af diskussionen i det foregående afsnit, kan det konkluderes, at hvis MFA-opgørelser skal kunne udgøre et mere brugbart input til diskussionen af ansvaret for forbruget af varer og tjenester, er det nødvendigt at nytænke klassificeringen af TMR på forårsagende endelig anvendelse. Den nuværende opdeling på typer af endelig anvendelse (som tager udgangspunkt i en nationalregnskabsmæssig praksis) bryder radikalt med de fra hverdagslivet kendte sammenhænge mellem forbrug og adfærd. Det giver således ikke megen mening at udskille byggeriet af privat beboelse fra kategorien "boligen" og henføre denne til den generelle kategori "investeringer" (der desuden omfatter erhvervsmæssig bebyggelse, vejanlæg mv.). Dette giver kun mening i en nationalregnskabsmæssig kontekst – hvilket næppe er foreneligt med et forbrugsperspektiv og diskussionen om forbrugsansvar. Det er derfor vanskeligt at omsætte resultaterne til konkrete anbefalinger og en konkret politik.

Man må i højere grad forstå forbruget som struktureret af en række sammenhængende **forbrugsfelter** (fx transport, fødevarer og bolig), som hver især sammenfatter en række underordnede og afledede forbrug.

10.2.3 Dekomponering af data for forbrugsrelaterede materialestrømme

I det omfang der udvikles tidsserier for materialeintensiteter, kunne det være en mulighed at dekomponere materialestrømsdata, hvorved man vil få bedre indsigt i, hvilke kræfter der driver udviklingen i materialestrømmene knyttet til forskellige forbrugsfelter/forbrugsgrupper. Ved dekomponering forstås en opsplitning af – i denne sammenhæng – de totale materialeforbrug på forårsagende faktorer (jf. også diskussionen heraf i afsnit 7.5 i relation til OECD's udvikling af såkaldte intermediate indicators). På forbrugssiden kan man pege på følgende tre faktorer som centrale determinanter for størrelsen af det endelige materialeforbrug:

- Forbrugets størrelse: her tænkes først og fremmest på varer og tjenester til endelig anvendelse, som kan fordeles på privat og offentligt forbrug (opgøres i DKK).
- Forbrugets sammensætning (fordeling på produktgrupper og tjenester)
- Materialeintensiteten af varer og tjenester produceret til endelig anvendelse (opgøres som tons/DKK)

Disse tre determinanter er sammenlignelige med dem, som tidligere studier af energiforbruget relateret til forbruget har benyttet (se Biesiot & Moll 1995 og Munksgaard et al. 1998).

11 Livscyklusbaserede materialestrømsindikatorer på produktgruppeniveau

I dette kapitel beskrives i detaljer et forslag til, hvordan data fra det tidligere omtalte Miljøprojekt nr. 281 (se afsnit 9.4) kan videreudvikles, således at det samlede materialeforbrug (inkl. ubrugte og indirekte, brugte strømme herhjemme og i udlandet) knyttet til danskernes forbrug af varer kan opgøres på produktgruppeniveau. Denne opgørelse anlægger et livscyklusperspektiv, således at alle materialeforbrug over et produkts livsforløb i princippet opgøres (dog med enkelte praktiske undtagelser; jf. beskrivelsen i de følgende afsnit).

Databasen knyttet til Miljøprojekt nr. 281 rummer detaljerede og righoldige informationer om danske industriprodukters materialesammensætning og energiforbrug. Det er disse data, som kan danne grundlaget for detaljerede beregninger af materialeinput over livscyklus og opgjort på produktgruppeniveau.

Idéen om at udføre livscyklusbaserede opgørelser af materialestrømme på produktniveau er ikke ny – den såkaldte MIPS-metode¹² (udviklet af det tyske **Wuppertal Institute**) er et eksempel på en sådan tilgang. Det nye er i denne sammenhæng, at de righoldige informationer indsamlet i forbindelse med Miljøprojekt nr. 281 giver mulighed for relativt "omkostningslet" at bestemme produktrelaterede materialestrømme for **mere** end 900 varegrupper og **summeret** for hele den danske forsyning af industrielle færdigvarer¹³. Dette vil vi betegne **livscyklusbaserede materialestrømsindikatorer på produktgruppeniveau** – eller blot **LMI**. Denne mulighed – og hvordan den kan udføres i praksis – vil blive uddybet i afsnit 11.2-11.7. Inden da vil vi i det følgende afsnit sætte fokus på MIPS, som udgør et tidligere forsøg på at anvende et materialestrømsperspektiv på produkters livscyklus. Forbindelserne mellem MIPS og MFA vil også blive berørt.

11.1 Produktrelaterede materialestrømme i et livscyklusperspektiv

I begyndelsen af 1990'erne udvikledes ved Wuppertal Institut den såkaldte MIPS-metode. Om metodens ide og indhold skriver (Hinterberger & Schmidt-Bleek 1999):

"In 1992, the concept of material intensity per unit service (or function) – in short MIPS – had been proposed by Schmidt-Bleek as an initial measure for estimating the eco-efficiency (the life-cycle wide environmental impact intensity) of infrastructures, goods, and services. [...] The inverse of MIPS is the resource productivity [...] MIPS is computed in mass (of material input MI) per total

¹² MIPS står for MaterialeIntensitet Pr. Serviceenhed.

¹³ Ved forsyning forstås her den danske produktion af færdigvarer + den danske import af færdigvarer ÷ den danske eksport af færdigvarer.

units of service (S) delivered by the good over its entire life span. Manufacturing, transport, packaging, operating, re-use, re-cycling, and re-manufacturing are accounted for and so is the final waste disposal.” (Ibid., pp 53)

MIPS-metoden har på en række punkter afgørende lighed med andre (procesbaserede) LCA-metoder (herunder UMIP-metoden), idet:

MIPS og LCA begge fokuserer på produktets samlede livsforløb, og MIPS og LCA begge opgør et produkts samlede miljøbelastning/ressourceforbrug i forhold til den "serviceydelse" (MIPS) eller "funktionelle enhed" (UMIP), som knyttes til et givet produkt. Begge metoder skelner herved mellem **selve produktet** (fx en bil eller et tog) og den **ydelse**, som produktet "udfører" (fx transport fra A til B).

En afgørende forskel mellem UMIP og MIPS består i, at UMIP ikke – som MIPS – medregner ubrugte strømme. Endvidere er UMIP – til forskel fra MIPS – udbygget med en vurderingsfase, hvor miljø- og ressourceeffekterne af de enkelte ressourceforbrug vurderes. Herved inddrages det kvalitative perspektiv ved vurderingen af ressourceforbrugets effekter på miljø og ressourceknaphed. For yderligere detaljer om UMIP: se Wenzel et al. 1995.

Hinterberger & Schmidt-Bleek ser MIPS som et instrument, der kan benyttes til dels at følge udviklingen i materialeforbruget (for herigennem at kunne følge fremskridt eller tilbageskridt i forhold til en bæredygtig udvikling, der forudsætter en dematerialisering), dels til at designe "... the optimal eco-efficiency of goods and infrastructures." (Hinterberger & Schmidt-Bleek 1999, p 53) MIPS udgør en forenklet måde at anskueliggøre størrelsen af den miljømæssige belastning forbundet med fremstillingen og brugen af produkter, idet størrelsen af materialeinputtet fungerer som "indikator" for størrelsen af den miljøbelastning, som er forbundet med udvinding og brug af dette materialeinput.

MIPS-metoden (og livscyklusperspektivet generelt) adskiller sig på flere punkter fra **Economy-wide MFA** (TMR, TMC, DMI o.lign.). Mens livscyklusbaserede materialestrømsopgørelser opgør materialeinputtet for **enkeltprodukter**, tager Economy-wide MFA udgangspunkt i et makroperspektiv og opgør vægten af de **totale materialestrømme**, som aktiviteterne inden for en given økonomi giver anledning til. Hertil kommer, at Economy-wide MFA fokuserer på en afgrænset tidsperiode (typisk de økonomiske aktiviteter inden for ét år), mens livscyklusbaserede metoder fokuserer på **hele** livsforløbet af produktet (der kan variere fra uger til årtier). Der er således forskelle i niveau (mikro over for makro) og tidsperspektiv (livscyklus over for fast afgrænset tidsperiode).

Ovennævnte overvejelser gælder også det forslag til indikatorer, som beskrives i dette kapitel. Den **Livscyklusbaserede MaterialestrømIndikator på produktgruppeniveau** (LMI) vil netop benytte et produkt- og livscyklusperspektiv og opgøre – fordelt efter den inddeling på varegrupper, som benyttes i Miljøprojekt nr. 281 – det samlede materialeinput forbundet med danskernes forbrug af produkter.

11.2 Videreudvikling af databasen knyttet til Miljøprojekt nr. 281

Miljøprojekt nr. 281 har som tidligere nævnt ikke oprindeligt været tænkt inden for rammerne af en materialestrømstilgang og medtager derfor ikke

oplysninger om **ubrugte** materialestrømme. Dette problem – og hvordan det kan løses – tages op i afsnit 11.2.1 neden for.

Et andet problem knytter sig til intentionen om at anlægge et livscyklus-perspektiv på materialeforbruget knyttet til industriprodukter. Miljøprojekt nr. 281 opgør kun ressourceforbruget for den af produkternes samlede livscyklus, der omfatter selve produktet (og fx ikke tilhørende infrastruktur, der muliggør anvendelsen af produktet). Dette efterlader et "datahul", som vil blive diskuteret i afsnit 11.2.2.

11.2.1 Udbygning af database med oplysninger om ubrugte materialestrømme

Databasen udviklet i forbindelse med Miljøprojekt nr. 281 rummer ikke oplysninger om de ubrugte materialestrømme, som i en MFA-sammenhæng er af central betydning. Det vil derfor være nødvendigt at udbygge databasen med nøgletal for ubrugte materialestrømme knyttet til udvinding og fremstilling af materialer. I praksis vil dette indebære en bearbejdning af databasens materialeliste.

For en række af materialetyperne vil man med rimelig tilnærmelse kunne gøre brug af Wuppertal Instituttets database over 190 stoffer og materialer. Wuppertal Institutet opretholder til stadighed denne database, som indeholder oplysninger om det samlede materialeinput, der er forbundet med fremstillingen af disse stoffer og materialer. Databasen rummer data for 21 metaller og legeringer, 21 mineralske grund- og råstoffer, 11 energikilder, 60 kemiske stoffer og mellemprodukter, 24 byggematerialer og 13 mellemprodukter¹⁴. Det vil dog for en række af materialetyperne på materialelisten anvendt i Miljøprojekt nr. 281 være nødvendigt at bestemme nøgletal ved brug af andre kilder. Der må her påregnes en betydelig arbejdsindsats.

11.2.2 "Datahul" for opgørelsen af materialeforbrug over produkters livscyklus

Ideelt bør en livscyklusbaseret metode medregne **alle** hoved- og sidestrømme over **hele** produktets livsforløb¹⁵. I praksis er dette imidlertid en umulighed, da en forfølgning af alle sidestrømme (og sidestrømmenes sidestrømme etc.) ville føre til at et nærmest uendeligt antal sidestrømme skulle identificeres, beskrives og kvantificeres. Procesorienterede LCA-metoder foretager derfor en praktisk begrundet afgrænsning. Hertil kommer, at de fleste LCA-metoder ikke medregner materielle strukturer; eksempler på sådanne strukturer er infrastrukturer (bygninger, kontorer, trafik anlæg mv.) og strukturer knyttet til produktudviklingen (fx virksomheders forskningsenheder). Undersøgelser tyder da også på, at mikro- og procesorienterede LCA-metoder generelt undervurder ressourceforbruget knyttet til produkter med op til 50%. Således viser et studie udført på University of Sydney af Manfred Lenzen (Lenzen & Dey 2000), at selv ved LCA-opgørelser, der medregner omkring 10.000 afledede input, vil kun 50-80% af de samlede input være medregnet (Nielsen & Weidema 2001, p 17 ff). Denne forskel betegnes **truncation error**, idet den har sin årsag i den afgrænsning, der finder sted ved procesorienteret LCA.

¹⁴ Wuppertal Instituttets materialeliste kan downloades på internetadressen: <http://www.wupperinst.org/Projekte/mipsonline/download/MIWerte.pdf>

¹⁵ Ved hovedstrømme forstås de strømme af materialer, som *direkte* indføres i det endelige produkt ved fremstilling, brug eller bortskaffelse. Afledt af hovedstrømmene kan identificeres en række sidestrømme, der fungerer som baggrund eller indirekte input til frembringelse af hovedstrømmene. Et eksempel på en sidestrøm er brugen af hjælpesoffer såsom energi, vand o.lign. i produktionsprocessen.

I det konkrete studie, der refereres til her, sammenligner (Lenzen & Dey 2000) et procesbaseret livscyklusstudie af energiforbruget (det direkte såvel som det indirekte) ved britisk stålproduktion med deres egen input-output analyse (IOA) af energiforbruget knyttet til australsk stålproduktion.¹⁶ Det britiske, procesbaserede LCA-studie når til et samlet energiforbrug på 19 MJ/kg stål, mens Lenzens & Deys IOA-baserede studie når til et **total energy requirement** på 40,1 MJ/kg stål.

På baggrund af en diskussion af usikkerheder knyttet til såvel den procesbaserede som den IOA-baserede metode og forskelle mellem Storbritannien og Australien mht. produktionsstruktur mv., når forfatterne til den konklusion, at afgrænsningsfejlen (**the truncation error**) knyttet til det britiske LCA-studie er i størrelsesordenen 50%. Denne fejl tilskrives den manglende medregning af "højere ordens" energiforbrug (såsom bygninger, energiforbruget knyttet til supplerende industri mv.). Artiklen afsluttes med følgende konklusioner:

"Process-based results are consistently lower than results calculated using input-output methods. In the case of aggregated commodity groups, such as basic iron and steel products dealt with in this work as in the study by Michaelis et al. [det britiske procesbaserede studie], the error in input-output-based energy intensities is much lower than the discrepancy between results from input-output and process energy analyses. These discrepancies are hence due to a truncation error in the process analyses. An energy analysis should account for all contributions to the final product. This includes capital, imports, and higher order requirements from supplying industries." (Lenzen & Dey 2000, pp 584-585)

Ovennævnte kritik af procesorienterede LCA-opgørelses undervurdering af det samlede ressourceforbrug gælder de fleste LCA-metoder; herunder også UMIP og Miljøprojekt nr. 281.

Hvad angår Miljøprojekt nr. 281 rummer dette en yderligere afgrænsning, som gør det omtalte afgrænsningsproblem endnu større. Denne afgrænsning består i, at projektet ikke medregner sidestrømme (såsom procesvand) dels ved udvindingen af råstoffer, dels ved fremstillingen af halvfabrikata og færdige produkter (se afsnit 9.3). Energiforbruget opgøres dog for en væsentlig større del af produkternes samlede livsforløb (se afsnit 9.4).

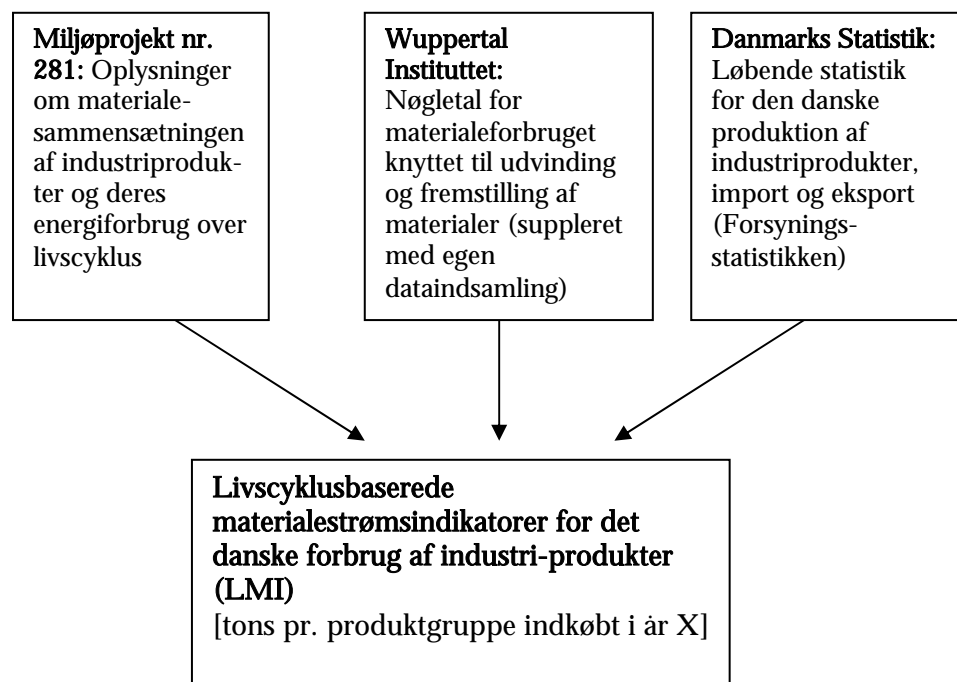
Herved opstår – sammenlignet med andre livscyklusbaserede metoder som UMIP og MIPS – et "datahul" ved opgørelsen af forbruget af ressourcer og materialer over produkternes livsforløb. En del af dette datahul vil imidlertid kunne "dækkes" ind ved brug af Wuppertal Institutets database over materialeinput ved udvinding og produktion af materialer (nævnt i afsnit 11.2.1). Kombineres Wuppertal Institutets nøgletal med de data for materialesammensætning og energiforbrug, der er indeholdt i Miljøprojekt nr. 281, kan materialestrømme for en betydelig del af produkternes samlede livsforløb dermed bestemmes. Tilbage står dog forbruget af sidestrømme ved fremstillingen af produkter, som hverken dækkes ind af Wuppertal Institutets nøgletal eller data indsamlet i forbindelse med Miljøprojekt nr. 281.

¹⁶ IOA adskiller sig fra mikro- og procesorienterede LCA-metoder ved at udgøre en top-down tilgang, hvor statistiske data om produktion og forbrug inden for brancher muliggør en fuldstændig allokering af alle aktiviteter på disse sektorer.

Da det vil være forbundet med en enorm arbejdsindsats at kortlægge forbruget af alle sidestrømme for alle 966 varegrupper bestemt i Miljøprojekt nr. 281, vil det være nødvendigt at opstille principper for, hvad der betegnes som hhv. hovedstrømme og sidestrømme, og hvornår evt. sidestrømme bør medtages (fx hvorvidt ressourceforbruget knyttet til fremstilling af vaskepulver skal opgøres i forbindelse med produktgruppen vaskemaskiner).

11.3 Hvad viser LMI?

Benyttes data over materialesammensætningen af industriprodukter indeholdt i databasen knyttet til **Miljøprojekt nr. 281** i kombination med **Wuppertal Instituttets** nøgletal for materialestrømme ved udvinding og produktion af materialer samt **Danmarks Statistiks** data for produktion og forsyning mv., kan beregnes det samlede ressourcetræk (inkl. ubrugte materialer) knyttet til fremstilling og brug af industriprodukter solgt på det danske marked (LMI). Sammenhængen mellem de ovennævnte datakilder illustreres i figur 11.1:



Figur 11.1
Principskitse over datakilder ved beregning af indikatorer.

Tabel 11.1 viser, hvilke oplysninger de enkelte datakilder bidrager med.

Tabel 11.1
Datakilder og oplysninger.

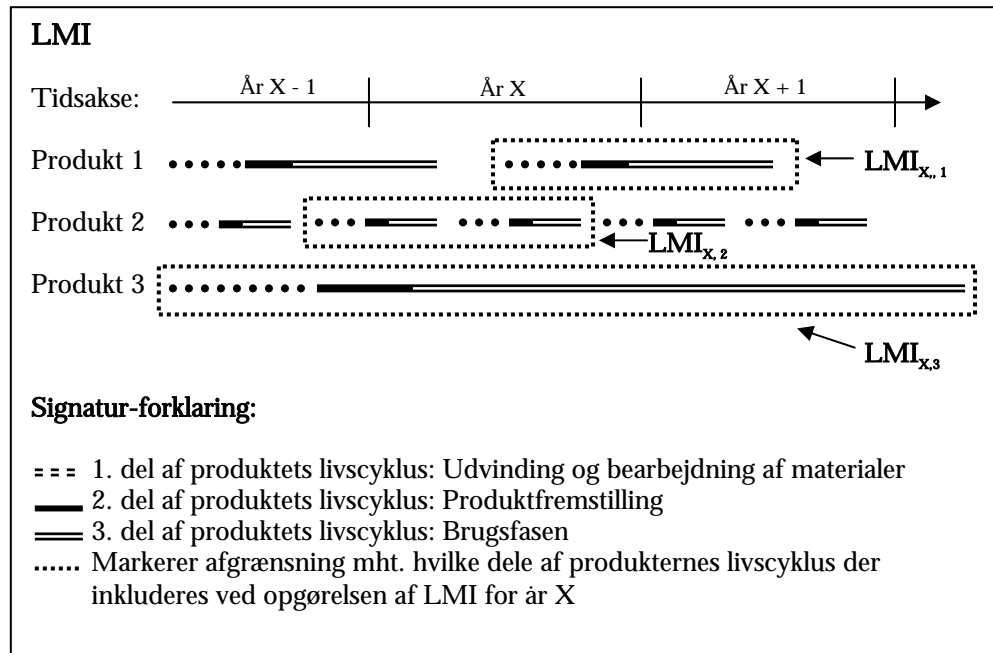
Datakilde	Data (indhold og form)
Miljøprojekt nr. 281	<p>Projektet bidrager primært med data for industriprodukters materialesammensætning og energiforbrug: Materialesammensætningen af et industriprodukt (en varegruppe) opgøres i vægtprocent og inkluderer – foruden de materialer produktet indeholder – også emballage og forbruget af driftsmidler og reservedele over produktets brugstid. Data omfatter ikke ubrugte materialestrømme og forbruget af hjælpestoffer ved fremstilling.</p> <p>Energiforbruget opgøres som det samlede energiforbrug over industriproduktets levetid (inkluderer energiforbrug til udvinding og fremstilling af materialer, videre forarbejdning af materialer samt energiforbruget i produktets driftsfase). Data for energiforbruget opgøres i GJ og skal derfor omregnes til materialeinput i tons.</p>
Wuppertal Institutet	Nøgletal for materialeforbruget (inkl. ubrugte materialer) ved udvinding og fremstilling af en række materialer.
Danmarks Statistik	På baggrund af bl.a. Forsyningsstatistikken bestemmes den danske forsyning af industriprodukter i Danmark (fordelt på de 966 varegrupper og opgjort i tons) for det ønskede år.

Gennem at benytte ovennævnte datakilder og oplysninger, kan LMI bestemmes. LMI er er kendetegnet ved følgende:

- LMI opgøres på produktgruppeniveau (svarende til de 966 varegrupper, som Miljøprojekt nr. 281 opererer med)
- LMI kan opgøres både aggregeret og disaggregeret (dvs. opgjort som det totale materialeinput eller opgjort på materialekategorier)
- LMI baseres på en livscyklustilgang, hvor hver produktgruppe allokeres de materialestrømme, som direkte eller indirekte er relateret til produktion og brug af denne produkttype (inkl. udvinding og bearbejdning af materialer, videre forarbejdning af disse materialer til endeligt produkt, emballage, distribution af produktet samt forbruget af driftsmidler og reservedele over produktets levetid)

På baggrund af oplysninger fra **Danmarks Statistik** bestemmes (for et givet år) den danske omsætning for hver af de 966 varegrupper, som Miljøprojekt nr. 281 opererer med. Disse tal indgår ved beregningen af LMI, der derfor omfatter ressourceforbruget (det direkte såvel som det skjulte) knyttet til de produkter, som er købt inden for dette år. På figur 11.2 vises dette ved, at alle produkter, der er købt/solgt netop inden for år X, medtages ved bestemmelsen af LMI for år X¹⁷. Den samlede livscyklus for disse solgte/købte produkter medregnes i LMI. Dette bevirker, at der i LMI-indikatoren for år X kan medregnes materialestrømme, som ikke finder sted i år X – men som enten er historiske (knyttet til produktets tidligere livsfaser) eller fremtidige (knyttet til produktets kommende livsfaser). Dermed kan LMI for år X også sige noget om den "regning til fremtiden" i form af fremtidigt forbrug af driftsmidler, reservedele m.m. i produkternes estimerede levetid, knyttet til produkter købt/solgt i år X.

¹⁷ Tidspunktet for salg/køb bestemmes i figur 11.2 ved det punkt, der ligger mellem 2. og 3. del af produktets livscyklus.



Figur 11.2

Figuren illustrerer – set i perspektiv af produkters livscyklus – hvorledes LMI medregner materialestrømme knyttet direkte eller indirekte til produkters samlede livscyklus. Her vist for produkter med kort livscyklus (produkt 2), middellang levetid (produkt 1) og lang levetid (produkt 3). Kun produkter handlet i år X medtages ved beregningen af LMI for år X.

Det er med LMI muligt at opgøre materialestrømme knyttet til de færdige industriprodukter (opgjort på 966 varegrupper), der sælges til endelig anvendelse på det danske marked. Dermed giver LMI detailinformation om sammenhængene mellem størrelsen af materialestrømme på den ene side og produktion og brug af industriprodukter på den anden side.

Danmarks Statistik benytter ved udviklingen af Nationalregnskabet en opdeling af endelig anvendelse på sektorerne privat konsum, investeringer (herved forstås erhvervenes indkøb af produkter/anlæg med en levetid på over 1 år), eksport og lagerændring. På baggrund af disse oplysninger vil det være muligt at opgøre LMI fordelt på disse sektorer.

11.4 Hvordan beregnes LMI?

Beregningen af LMI for et givet år X og en given produktgruppe (varegruppe) Y kan symbolsk skrives på følgende måde:

$$LMI_{X,Y} = LMI_{mat, X,Y} + LMI_{energi, X,Y} \quad \Leftrightarrow$$

$$LMI_{X,Y} = M_{X,Y} \cdot K_Y \cdot \sum_{Z=1}^{Z=n} (S_{Y,Z} \cdot (1 + MI_Z)) + (EP'_Y + ED'_Y) \cdot EM \quad \Leftrightarrow$$

$$LMI_{X,Y} = M_{X,Y} \cdot K_Y \cdot \sum_{Z=1}^{Z=n} (S_{Y,Z} \cdot (1 + MI_Z)) + (M_{X,Y} \cdot K_Y \cdot \sum_{Z=1}^{Z=n} (S_{Y,Z} \cdot EP_{Y,Z}) + M_{X,Y} / VG_Y \cdot ED_Y) \cdot EM$$

Der gøres i ligningerne brug af følgende symboler:

Symbol	Beskrivelse	Datakilde
$LMI_{mat. X,Y}$	Materialestrømme (brugte som ubrugte) knyttet til udvinding og forarbejdning af materialer anvendt ved fremstilling, emballering og brug af produkter i varegruppe Y	-
$LMI_{energi. X,Y}$	Materialestrømme (brugte som ubrugte) knyttet til fremstillingen af den mængde energi, som anvendes ved fremstilling og brug af varegruppe Y (heri medregnes energiforbruget knyttet til udvinding og fremstilling af materialer, forarbejdning af materialer, emballering samt brug af produkter i varegruppe Y)	-
$M_{X,Y}$	Mængden af industriprodukter i varegruppe Y, som omsættes i Danmark i år X (opgøres i tons)	Danmarks Statistik
K_Y	Korrektionsfaktor, der tager højde for at oplysningerne fra Danmarks Statistik om produktion og forsyning ikke omfatter emballage samt forbrug af driftsmidler og reservedele gennem produkternes levetid	Database (MP281)
$S_{Y,Z}$	Andelen af materialet Z i varegruppen Y (skønnet gennemsnit for alle industriprodukter i varegruppen – angives i procent)	Database (MP281)
MI_Z	Det materialespecifikke materialeinput ved udvinding og forarbejdning af materialer (= den økologiske rygsæk) opgjort pr. ton af forbrugt materiale. MI_Z udgøres af summen af abiotiske og biotiske materialer samt vand ($MI_Z = MI_{abiot} + MI_{biot} + MI_{vand}$). MI_Z opgøres i tons/tons. I overensstemmelse med sædvanlig praksis i MFA-sammenhænge kan MI_{vand} udelades	Wuppertal Institut
EP'_Y	Energiforbruget til udvinding, fremstilling og forarbejdning af materialer, der er indeholdt i varegruppe Y	Database (MP281)
ED'_Y	Energiforbruget i driftsfasen for produkter i varegruppe Y	Database (MP281)
EM	Faktor, der omregner energiinput til dets ækvivalente materialeinput (den økologiske rygsæk medregnes). Faktorens enhed er tons/GJ	???
$EP_{Y,Z}$	Energiforbruget til udvinding, fremstilling og forarbejdning af materialet Z i varegruppen Y (opgøres i GJ/ton)	Database (MP281)
ED_Y	Energiforbrug i driftsfasen for et gennemsnitsprodukt i varegruppe Y over produktets levetid (opgøres i GJ/stk)	Database (MP281)
VG_Y	Gennemsnitsvægt af industriprodukter i varegruppe Y (opgøres i tons)	Database (MP281)

Ovenstående ligningsudtryk er i stor udstrækning en udbygning af beregningsprincipperne anvendt ved Miljøprojekt nr. 281 (se Hansen 1995, s. 28), hvorved det sikres, at projektets data og database i størst muligt omfang kan anvendes direkte ved beregningen af LMI-indikatoren.

11.5 Hvad kan LMI bruges til?

Ved korrekt programmering af database og beregningsprogram for LMI, vil det være muligt at udtrække forskellige typer af data om materialeforbruget knyttet til produktion og brug af de industriprodukter, danskerne benytter. Herved kan konstrueres forskellige typer af indikatorer, som alle er "afledt" af den livscyklusbaserede materialestrømsindikator på produktniveau ($LMI_{x,y}$). Disse indikatorer vil vise forskellige dimensioner/karakteristika ved materialestrømme knyttet til danskernes forbrug af industriprodukter. Dermed kan indikatorerne danne grundlag for forskellige typer af beslutninger og samlet udgøre grundlaget for en strategisk og målrettet miljøindsats.

Afhængigt af hvilke ønsker man kunne have til en indikator som LMI (og hvilke økonomiske ressourcer man konkret råder over), kan man tænke sig to modeller for udviklingen og brugen af LMI; en "udgiftslet" og en "udgiftstung". Afhængigt af hvilken af disse man vælger, vil man kunne opnå forskellige resultater, og LMI-beregningerne vil kunne anvendes på forskellig måde.

Den "udgiftslette" version kan bestå i, at man i udgangspunktet anvender data, som de foreligger i databasen knyttet til Miljøprojekt nr. 281 (eventuelt suppleret med opdatering af udvalgte varegrupper) – og dermed kun anvender aktuelle data for den danske produktion, import og eksport af industriprodukter indhentet fra Danmarks Statistik. Dette vil dog indebære, at beregningen af LMI baseres på en blanding af opdaterede data (oplysningerne fra Danmarks Statistik) og (delvist) forældede **tekniske data** (data for varegrupperes materialesammensætning og energiforbrug, jf. Miljøprojekt nr. 281).

Den "udgiftstunge" version kan bestå i periodevise opdateringer af de tekniske data (varegrupperes materialesammensætning og energiforbrug) – med opdatering fx hvert 5. eller 10. år (se afsnit 11.7 for en nærmere beskrivelse af, hvorledes en sådan løbende opdatering kan gennemføres og organiseres).

Hvilke analyser og beslutninger LMI vil kunne danne grundlag for, vil være stærkt afhængigt af, hvilken af disse to versioner man vælger. I tilfælde af førstnævnte – hvor beregningerne baseres på statistiske data for varegruppernes materialesammensætning og energiforbrug – vil det naturligvis ikke være muligt over tid at følge effekterne af ændret teknologi for størrelsen af de materialestrømme, som er knyttet til det danske forbrug og/eller produktion af industriprodukter. Imidlertid vil beregningerne alligevel kunne give vigtige informationer, som kan supplere den eksisterende viden om industriprodukters ressourceforbrug og miljøbelastning. Det vigtigste bidrag i forhold hertil består i tilføjelsen af et materialestrømsperspektiv. Ingen af de tidligere, danske undersøgelser af ressourceforbrug knyttet til industriprodukters fremstilling og brug har tematiseret ressourceforbrug og miljøbelastning i et materialestrømsperspektiv. Dette betyder bl.a., at spørgsmålet om afledede effekter af ressourceudvindingen herhjemme og (især) i udlandet forbundet med fremstilling og brug af industriprodukter i dag er underbelyst. Dette perspektiv vil LMI (i den "udgiftslette" såvel som den "udgiftstunge" version) kunne bidrage til at udbygge, idet opgørelserne medregner ubrugte strømme knyttet til ressourceudvindingen. Det vil således være oplagt at sammenholde resultaterne af en LMI-beregning med tidligere resultater og erfaringer inden for området, for herigennem at undersøge, om brugen af et materialestrømsperspektiv på industriprodukters ressourceforbrug og miljøbelastning vil give anledning til konklusioner, som

afviger fra de mere traditionelle, livscyklusbaserede analyser. Beregninger af LMI (også i den "udgiftslette" version) vil endvidere kunne supplere de overordnede opgørelser af materialestrømme (såsom TMR og DMI), som ikke indeholder detaljerede informationer om materialestrømme på produktgruppeniveau.

En variant af den "udgiftslette" version kunne bestå i at gennemføre én samlet opdatering af databasen knyttet til Miljøprojekt nr. 281, med det formål at sikre aktuelle og pålidelige data for materialestrømme knyttet til danske industriprodukter. Dette kunne eventuelt gøres som en del af udviklingen af en international database over materialesammensætningen af færdigvarer, som beskrevet i afsnit 9.4.1.

Den "udgiftstunge" version muliggør – idet man løbende opdaterer de tekniske data – at følge effekterne af tekniske ændringer (og dermed ikke blot "detekterer" ændringer forårsaget af en ændret forbrugssammensætning). Dette gør det muligt at opstille tidsserier over materialestrømme knyttet til specifikke varegrupper eller til hovedgrupper af varegrupper, for herved at følge udviklingen i ressourceforbrug og -effektivitet.

Vi vil følgende beskrive fire typer af miljøindikatorer, som kan etableres på baggrund af det datagrundlag og de beregningsudtryk, der blev skitseret i det foregående afsnit. Gennem brug af disse fire typer af miljøindikatorer opnås et detaljeret informationsgrundlag, som – især – forskere og administratorer vil kunne gøre brug af.

LMI_{x,y}: Livscyklusbaseret materialestrømsindikator på produktgruppeniveau – opgjort pr. år pr. varegruppe (som præsenteret i afsnit 11.3). Denne indikator vil kunne indgå som en del af en produktorienteret indsats, hvor målet er at nedbringe ressourceforbruget (og den hertil hørende miljøbelastning) for de mest ressourcetunge industriprodukter. Indikatoren kan dermed blive et vigtigt element i Regeringens ambition om at undersøge, om målene om ressourceeffektivitet og affaldsforebyggelse mest effektivt kan nås gennem en mere målrettet anvendelse af markedsbaserede virkemidler – herunder opfyldelse af målet om, at produkters ressourceforbrug og miljøbelastning skal afspejles fuldt ud i produkternes pris (Regeringen 2002a, s. 30).

LMI_x: Summeres LMI_{x,y} over alle 966 varegrupper, fremkommer et samlet tal for materialestrømme (brugte som ubrugte) knyttet til produktion og forbrug af industriprodukter. LMI_x udgør en overordnet indikator for udviklingen i materialestrømme knyttet til danskernes forbrug af industriprodukter.

LMI_z: Summeres beregningen af LMI_{x,y} over materialetyper (og ikke over varegrupper), kan opnås en indikator over det samlede materialeforsøg knyttet til udvinding, forarbejdning og fremstilling af de materialetyper, der anvendes i industriprodukter. Denne indikator kan opgøres som en samlet indikator (fx for jern) og kan dermed vise, hvilken belastning danskernes forbrug af jern medfører i form af materialestrømme. Indikatoren kan også opgøres på produktgruppeniveau, således at det inden for hver materialetype vil være muligt at opstille en rangorden af varegrupper – en sådan rangordning kan bl.a. anvendes som baggrund for en produktorienteret indsats, der fokuserer på at nedbringe forbruget af udvalgte materialer/ressourcer.

LMI_{abiot}, LMI_{biot} og LMI_{vand}: *Wuppertal Instituttets* data for materialeinput ved udvinding og fremstilling af materialer gør det muligt at opgøre materialestrømme på et "mellem-aggregeret niveau" som strømme af abiotiske materialer, biotiske materialer samt vand. Disse indikatorer kan igen opgøres

enten som nationalt aggregerede tal eller efter materialetype (fx jern) og/eller på produktgruppeniveau (for hver varegruppe).

Disse livscyklusbaserede materialestrømsindikatorer vil – hvis den "udgiftstunge" version vælges – have en dynamisk karakter, idet de afspejler miljøkonsekvenserne af dels **aktuelle forbrugsvalg** dels den **aktuelle teknologi**. Heri ligger en væsentlig styrke ved at vælge den "udgiftstunge" version af LMI, idet ændringer i forbrugsvalg og/eller ressourceeffektiviteten af den aktuelle teknologi umiddelbart vil "detekteres" af indikatoren.

11.6 Hvilke begrænsninger er knyttet til LMI?

En umiddelbar begrænsning ligger i de afgrænsninger, som man valgte ved gennemførelsen af Miljøprojekt nr. 281, der ligger til grund for databasen. Projektet omfatter således alene **færdige industriprodukter**. Herved udelukkes følgende produktkategorier fra opgørelsen:

- Råvarer
- Halvfabrikata
- Håndværksprodukter

Råvarer og halvfabrikata indgår imidlertid i væsentligt omfang som dele af færdige industriprodukter, hvorfor en stor del af disse indirekte vil være medtaget i projektets opgørelser af materialesammensætning og energiforbrug.

En anden begrænsning er den af (Lenzen & Dey 2000) beskrevne **afgrænsningsfejl** (se afsnit 11.2.2). Denne skyldes, at de oplysninger om materialesammensætning og energiforbrug, som blev indsamlet i forbindelse med Miljøprojekt nr. 281, ikke medregner en række indirekte materiale- og energiforbrug knyttet til fremstillingen af færdigvarer (bygninger, infrastruktur, forbrug i supplerende industri mv.). Afgrænsningsfejlen har Miljøprojekt nr. 281 (og dermed LMI) dog tilfælles med de fleste LCA-studier i øvrigt.

Endelig opgøres forbruget af sidestrømme (fx procesvand) ved fremstillingen af produkter ikke i LMI, idet hverken Wuppertal Instituttets nøgletal eller data fra Miljøprojekt nr. 281 dækker disse.

11.7 Vedligeholdelse af baggrundsdata for LMI

For at sikre valide, opdaterede og brugbare resultater, skal baggrundsdata for LMI løbende opdateres. I dette afsnit vil vi give et indtryk af arbejdsomfanget knyttet til den løbende opdatering og vedligeholdelse af systemet og skitsere en mulig fremgangsmåde for denne

11.7.1 Data for industriprodukters materialesammensætning og energiforbrug

Vælges den "udgiftstunge" version af LMI, vil den største arbejdsbelastning i forbindelse med vedligehold og opdatering af baggrundsdata for LMI være knyttet til opdateringen af de omfattende oplysninger om industriprodukters materialesammensætning og energiforbrug. Det er ganske urealistisk at forestille sig en årlig opdatering af disse oplysninger. Et mere realistisk alternativ består i følgende, todelte opdateringsstrategi:

Målrettet (prioriteret) udvælgelse af varegrupper til opdatering: Hvert år udpeges et mindre antal **højtprioriterede varegrupper** til opdatering. Udvælgelsen af disse højtprioriterede varegrupper foretages ud fra et skøn (foretaget af kompetente forskere), hvor der udvælges netop de varegrupper, indenfor hvilke det vurderes, at der er sket væsentlige ændringer i den gennemsnitlige materialesammensætning og/eller energiforbrug siden sidste opdatering af varegruppen¹⁸. I praksis kan der etableres en ekspertgruppe, der vil have til opgave årligt at give sin vurdering af, hvilke varegrupper der bør udpeges til opdatering (højtprioriterede varegrupper). Denne ekspertgruppe kan bestå af et antal forskere/ressourcepersoner, som hver især besidder en stor viden om produktionsprocesser og aktuell teknologiudvikling inden for hver sit produktområde (fx elektronik, transportmidler, tøj, etc.). Ekspertgruppen kunne endvidere være en nyttig ressource for **Miljøstyrelsens** øvrige arbejde med at udvikle en produktorienteret miljøstrategi.

Løbende opdatering af databasen: Sideløbende med den årlige, målrettede opdatering af højtprioriterede varegrupper foretages en **løbende opdatering**. Den løbende opdatering sikrer, at alle varegrupper – som minimum – opdateres fx hvert 10. år, og opdateringen har to primære formål: For det første sikres det, at varegrupper med betydelige ændringer i materialesammensætning/energiforbrug – som kan være blevet overset af ekspertgruppen – opdateres. For det andet vil den løbende opdatering sikre, at alle data er (nogenlunde) opdaterede og dermed være med til at sikre indikatorsystemets validitet.

På lang sigt vil det også være relevant at videreudvikle og udbygge databasens oplysninger om indholdet af farlige stoffer, idet varegruppernes indhold af miljøfarlige stoffer kun opgøres kvalitativt og ikke mængdemæssigt i databasen. Endvidere er kun et begrænset antal af miljøfarlige stoffer omfattet. Det bør derfor overvejes, om indholdet af miljøfarlige stoffer (eventuelt med tilføjelse af flere til listen) i takt med den løbende opdatering af databasen kan opgøres kvantitativt, således at LMI med tiden også vil kunne opgøres for miljøfarlige stoffer.

11.7.2 Løbende opdatering af opdeling af industriprodukter i varegrupper

Oplysninger om det danske forbrug af industriprodukter indhentes fra **Danmarks Statistiks** Forsyningsstatistik (der i sin struktur er baseret på HS-standard). Der sker årligt ændringer i Forsyningsstatistikens systematik (gamle positionsnumre udgår og nye tilføjes). Det vil derfor være nødvendigt med en årlig opdatering af datatabel VAREPOSITION i databasen knyttet til Miljøprojekt nr. 281, hvor relationen mellem Forsyningsstatistikens positionsnumre og databasens varegrupper fastlægges.

Ændringerne i Forsyningsstatistikken medfører også, at det løbende – ved den årlige revision – bør overvejes, om opdelingen i varegrupper fortsat er hensigtsmæssig og tidssvarende. I takt med ændrede forbrugsvaner og indførelsen af nye, teknologiske løsninger vil det være nødvendigt at tilpasse varegruppeopdelingen. Dette kan fx ske ved tilføjelse af nye varegrupper (ved introduktionen af helt nye produkttyper på markedet), opsplittning af tidligere varegrupper (kan fx være relevant i tilfælde, hvor produkterne inden for én varegruppe tilhører to eller flere "undertyper", som i stigende grad divergerer

¹⁸ Væsentlige ændringer kan fx bero på indførelsen af ny produktionsteknologi (såvel til udvinding/-bearbejdning af råmaterialer, produktion af halvfabrikata, delkomponenter og færdigvarer eller til distribution) eller markedsføring af nye produkter indenfor varegruppen.

mht. funktionalitet, materialesammensætning og/eller energiforbrug) samt "lukning" af utidssvarende varegrupper (vil typisk gælde for produkter, der enten udgår af markedet, eller hvor omsætningen er faldet til et minimalt niveau).

11.7.3 Opdatering af nøgletal for materialeforbruget

Det fremgik tidligere, at **Wuppertal Institutet** udgør en vigtig kilde for nøgletal for materialeforbruget knyttet til udvinding og fremstilling af materialer. Imidlertid kan denne kilde ikke stå alene men må suppleres med andre kilder (fx EEA, World Resources Institute og Eurostat) samt egen dataindsamling og -bearbejdning.

Nøgletal for materialeforbruget knyttet til udvinding og fremstilling af materialer vil ændre sig over tid, bl.a. som følge af:

- Ændrede udvindings- og fremstillingsteknologier
- Ændrede lokaliteter for udvinding (gennem lukning af tidligere udvindingssteder og etablering af nye)
- Ændret ressourcetilgængelighed (bl.a. vil den fortsatte ressourceudvinding for en række knappe ressourcer medføre faldende lødighed af den udvundne malm og dermed øget energiforbrug og øgede mængder af ubrugte strømme)
- Forbedret datagrundlag/ny viden (der arbejdes kontinuerligt med indsamling og bearbejdning af data om materialeforbrug, og dette vil medføre en løbende forbedring af nøgletallene)

Den materialeliste, som Miljøprojekt nr. 281 gør brug af, omfatter i sin nuværende form 173 materialetyper fordelt på 12 materialegrupper. En løbende revidering af nøgletal for materialestømme knyttet til udvinding og fremstilling af disse materialetyper vil indebære, at nøgletal for alle materialetyper gennemgås og revideres med en passende tidsperiode (fx hvert 5. eller 10. år). Opdateringen kan gennemføres som én samlet hovedrevision (hvert 5. eller 10. år) – eller som en "rullende" opdatering, hvor et mindre antal materialetyper opdateres hvert år.

12 Referencer

Adriaanse et al., 1997

Adriaanse, Albert, Stefan Bringezu, Allen Hammond, Yuichi Moriguchi, Eric Rodenburg, Donald Rogich, Helmut Schütz: *Resource Flows: The Material Basis of Industrial Economies*. World Resource Institute, Washington, D.C., Wuppertal Institute, Netherlands Ministry of Housing, Spatial Planning, and Environment, National Institute for Environmental Studies, Japan

Berkhout, F., 1997

Policy Implications of Substance Flow Analysis. I Bringezu et. al. (1997)

Berkhout, Frans, 1999

Industrial Metabolism. Eurostat Working Papers, IPRA, 7. June 1999

Biesiot & Moll, 1995

Biesiot, W & H. C. Moll (ed.): *Reduction of CO₂ emissions by lifestyle changes*. IVEM research report no. 80 (revised), Groningen-Utrecht

Bringezu, 1994

Strategien einer Stoffpolitik, Paper 14, Wuppertal Institute

Bringezu, S., Fisher-Kowalski, M. Kleijn, R and Palm, V., 1997

Regional and National Material Flow accounting: From paradigm to practice of Sustainability. Proceedings of the ConAccount workshop 21-23 January, 1997 Leiden, The Netherlands. Wuppertal Institute for Climate, Environment and Energy. Science Center North Thine-Westphalia

Bringezu & Schütz, 2001a

Bringezu, Stefan & Helmut Schütz: *Material use indicators for the European Union, 1980-1997*. Eurostat Working Papers, 2/2001/B/2, European Commission 2001

Bringezu & Schütz, 2001b

Bringezu, Stefan & Helmut Schütz: *Total material requirement of the European Union*. Technical report No. 55, European Environment Agency, Copenhagen. (Download fra: http://reports.eea.eu.int/Technical_report_No_55/en/tech55.pdf)

Bringezu & Schütz, 2001c

Bringezu, Stefan & Helmut Schütz: *Total material requirement of the European Union: Technical part*. Technical report No. 56, European Environment Agency, Copenhagen. (Download fra http://reports.eea.eu.int/Technical_report_No_56/en/tech56.pdf)

Christensen et al., 1999

Christensen, Tom Elmer (among others): *Er der miljømæssigt råderum at hente i skraldespanden?* Miljøsk nr. 18, 1999, s. 8-17. Miljøbevægelsen NOAH, København

Christensen, N. & Møller, F., 2001

Nationale og internationale miljøindikatorsystemer. Metodeovervejelser. Danmarks Miljøundersøgelser. Faglig rapport fra DMU nr. 347

CSD, UN Commission for Sustainable Development, 2001
Indicators of Sustainable Development: Guidelines and Methodologies

Danmarks Miljøundersøgelser, 1996
Kvælstofbelastning af havmiljøet. TEMA-rapport fra DMU, 1996/9
ISBN 87-7772-284-1

Danmarks Statistik, 2001
Statistisk Tiårsoversigt 2001, Danmarks Statistik, København

Danmarks Statistik, 2001b
Miljøøkonomisk regnskab for Danmark – en udbygning. Statistiske Efterretninger, Miljø og Energi, 2001, s. 24

Danmarks Statistik, 2002
Input-output tabeller og analyser, Danmarks Statistik 2002

Digital Europe project, 2002
Digital Europe: ebusiness and sustainable development – State of the Art Review. Kan downloades fra projektets hjemmeside: www.digital-eu.org.

EU-Commission, 2000
First report on the Harmonisation of Risk Assessment Procedures

EU-Commission, 2001
Consulting paper for the preparation of a European Union strategy for Sustainable Development

Eurostat, 1999
Towards environmental pressure indicators for the EU

Eurostat, 2000
Economy-wide material flow accounts and derived indicators, A methodological guide. European Commission & Eurostat, Luxembourg

ETC/WMF, European Topic Centre of Waste and Material Flows, 2002
Towards a core set of indicators on waste and material flows

Hansen 1995
Hansen, Erik, 1995
Miljøprioritering af industriprodukter: Miljøprojekt nr. 281, Miljøstyrelsen, København. (Download fra: <http://www.mst.dk/udgiv/Publikationer/1995/87-7810-301-0/pdf/87-7810-301-0.PDF>)

Helgweg, Arne, 1998
Kemiske stoffer i landbrugsmiljøer, Teknisk Forlag

Helias A. Udo de Haes, Ester van der Voet and René Kleijn, 1997
Substance Flow Analysis (SFA), an analytical tool for integrated chain management. I Bringezu et. al (1997)

Hinterberger & Schmidt-Bleek, 1999

Hinterberger, Friedrich & Schmidt-Bleek: ***Dematerialization, MIPS and Factor 10: Physical sustainability indicators as a social device*** ELSEVIER, Ecological Economies 29 (1999), p 53-56

Hille, 1995

Hille, John: ***Bil og miljø***. Idébanken, Oslo

Huetting, Rueffy et.al, 1992

Methodology for the calculation of Sustainable National Income. WWF international Publication, June 1992

IEA, 2002

OECD World Energy Outlook

INTRASTAT, 2001

Den Kombinerede Nomenklatur 2001. Danmarks Statistik

IPCC, 2001

Climate Change 2001, The Scientific Basis, Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press

IPCC, 2001

Climate Change 2001, Mitigation, Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press

IPCC, 2001

Climate Change 2001, Impacts, Adaption and Vulnerability, Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press

IPCC, 2001

Climate Change 2001, Synthesis Report, Intergovernmental Panel on Climate Change, Cambridge University Press

Lenzen & Dey, 2000

Lenzen, Manfred & Dey, Christopher: ***Truncation error in embodied energy analyses of basic iron and steel products. I: Energy*** 25 (2000), pp 755-585. Elsevier Science Ltd.

Lorek Sylvia & Spangenberg Joachim, 2001

Environmentally Sustainable Household Consumption, Wuppertal Papers

Miljø- og Energiministeriet, DMU, 1999

Emissionsfaktorer for tungmetaller 1990-1996, Faglig rapport fra DMU, nr. 301

Miljø- og Energiministeriet, 1999

Natur- og miljøpolitisk redegørelse 1999

Miljøriskorådet, ATV, 2002

Risikoterminologi

Miljøstyrelsen, 1985

Forbrug og forurening med arsen, chrom, cobalt og nikkel. Orientering fra Miljøstyrelsen nr. 7

Miljøstyrelsen, 1990
Notat om chlor og tungmetaller i affald. Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen

Miljøstyrelsen, 1993
Forbrug af og forurening med cadmium. Miljøprojekt nr. 213

Miljøstyrelsen, 1994
Miljøbelastende stoffer i affald. Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen, nr. 43

Miljøstyrelsen, 1995
Kilder til dioxinforurening og forekomst af dioxin i miljøet. Arbejdsrapport fra Miljøstyrelsen, nr. 81

Miljøstyrelsen, 1995
Environmental Exposure Assessment of Chemicals. Project no. 306

Miljøstyrelsen, 1995
Nationale og industrielle emissioner af 38 stoffer. Arbejdsrapport nr. 64

Miljøstyrelsen, 1996
Massestrømsanalyse for kobber. Miljøprojekt nr. 323

Miljøstyrelsen, 1996
Massestrømsanalyse for bly. Miljøprojekt nr. 327

Miljøstyrelsen, 1996
Massestrømsanalyse for nikkel. Miljøprojekt nr. 318

Miljøstyrelsen, 1996
Massestrømsanalyse for kviksølv. Miljøprojekt nr. 344

Miljøstyrelsen, 1996
Massestrømsanalyse for phtalater. Miljøprojekt nr. 320

Miljøstyrelsen, 1996
Miljøfremmede stoffer i spildevand og slam. Miljøprojekt nr. 325

Miljøstyrelsen, 1997
Dioxins, Working Report, no. 50

Miljøstyrelsen, 1997
Bekæmpelsesmiddelstatistik. Orientering fra Miljøstyrelsen, nr. 10

Miljøstyrelsen, 1997
Massestrømsanalyser for tin med særligt fokus på organotinforbindelser. Arbejdsrapport nr. 7

Miljøstyrelsen, 1998
Karakterisering af affald. Miljøprojekt nr. 414

Miljøstyrelsen, 2002
Massestrømsanalyse af chrom og chromforbindelser. Miljøprojekt nr. 738

Munksgaard et al., 1998

Munksgaard, Jesper (among others): **Miljøeffekter af privat forbrug** AKF rapport, Amternes og Kommunernes Forskningsinstitut, København.

Nielsen & Weidema, 2001

Nielsen, Anne Merete & Bo Pedersen Weidema (red.): **Input/Output analysis – Shortcuts to life cycle data?** Environmental Project No. 581, Miljøstyrelsen, København

NOAH, 2002

Indkomst. Forbrug og miljø. Pjece

OECD, 2001

OECD Environmental Indicators. Towards Sustainable Development

OECD, 2002

OECD: **Indicators to Measure Decoupling of Environmental Pressure from Economic Growth**. Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD), SG/SD(2002)1/FINAL

Payer, H., Hüttler, W. og Schandl, H., 1997

MFA Austria: Methods, Empirical Results and Reflexions on Delinking between Economic Growth and Materials Turnover. I Bringezu et. al. (1997)

Pedersen, Ole Gravgård, 1999

Fysiske input-output tabeller for Danmark, varer og materialer 1990, energirelaterede emissioner til luft 1990-92

Pedersen, Ole Gravgård, 2002

DMI and TMR Indicators for Denmark 1981, 1990 and 1997: An Assessment of the Material Requirements of the Danish Economy. Danmarks Statistik, København

Pedersen, Ole Gravgård; Møller, Flemming og Christensen, Niels, 2002

Informationsgrundlaget for integreret miljøplanlægning. Danmarks Statistik, 2002

Pommer, Kirsten, 2002

Beregning af ressourceeffektivitet. Danish Environmental Agency

Regeringen, 2002a

Regeringen: **Danmarks nationale strategi for bæredygtig udvikling: Fælles fremtid – udvikling i balance** Regeringen, juni 2002

Regeringen, 2002b

Danmarks nationale strategi for bæredygtig udvikling: FÆLLES FREMTID – udvikling i balance Indikatorrapport

Röpke, 2001

Röpke, I.: **The environmental impact of changing consumption patterns: a survey**. I: International Journal on Environment and Pollution, Vol. 15, No. 2, pp 127-145

S. Saki, 1999

World trends in municipal solid waste management

- Spangenberg, Joachim et.al., 1998
Material Flow-based Indicators in Environmental Reporting. Wuppertal Institute, EEA, Environmental Issues Series, No 14
- Spangenberg, Joachim, 2001
The environmental Kuznets Curve A methodological Artefact?
- Spangenberg, Joachim, 2002
Environmental space and the prism of sustainability: frameworks for indicators measuring sustainable development. Elsevier, Ecological Indicators 57 (2002) 1-14
- Spangenberg, Joachim et.al., 2002
Sustainable Growth Criteria, Minimum benchmarks and scenarios for employment and the environment
- Statistisk Årbog 2002
Danmarks Statistik, dst@dst.dk
- Teknologirådet, 2000
Industriens brug af kemikalier
- UN SEEA, 2000
System of Environmental and Economic Accounting SEEA 2000.
- UN, 2001
Indicators of sustainable development: Guidelines and methodologies
- Wenzel et al., 1995
Wenzel, Henrik m.fl.: **Miljøvurdering af produkter**. Miljøstyrelsen, København
- Wilhelmudvalget, 2001
En rig natur i et rigt samfund
- Williams et al., 2002
Williams, E. D., Ayres, R. U. & Heller, M.: **The 1.7 Kilogram Microchip: Energy and Material Use in the Production of Semiconductor Devices**. American Chemical Society (ASC Publications), web release date: 25.10.2002
- World Bank 2000/2001
World Development Report 2000/2001: Attacking Poverty
Published August 2000 by Oxford University Press , World Bank ISBN: 0-19-521129-4 ISBN-13: 978-0-19-521129-0
- World Commission on Environment and Development, 1987
Our Common Future. Brundtland-Kommissionens rapport om miljø og udvikling. Oxford University Press/Mellemfolkeligt Samvirke
- World Resources Institute et.al., 2000
The Weight of Nations. Material Outflows from Industrial Economies
- World Watch Institute, 2002
The limits to growth
- Wuppertal Instituttet og Friends of the Earth, 1995

Mod et bæredygtigt Europa
Young, John E., 1992
Mining the earth. Worldwatch paper 109

BILAG A Detaljeret brancheopdeling af DMI

Direkte materiale input, DMI – Danmark 1997

	DMI I alt 1000 tons
01109 Landbrug	46 755
01129 Gartnerier, planteskoler og frugtplantager	437
01400 Maskinstationer, anlægsgartnere mv.	82
02000 Skovbrug	1 193
05000 Fiskeri mv.	2 059
11000 Udvinning af råolier og naturgas mv.	17 421
14009 Udvinning af grus, ler, sten, salt mv.	66 448
15009 Nærings- og nydelsesmiddelindustri	2 608
151000 Slagterier mv.	228
152000 Forarb. og konserv. af fisk og fiskeprod.	394
153000 Forarb. og konserv. af frugt og grøntsager	150
154000 Fremst. af veg. og anim. olier og fedtstof.	271
155000 Mejerier og isfabrikker	106
156009 Fremst. af stivelsesprod., choko. og suk.v.	809
158109 Fremst. af brød, kager og kiks	123
158120 Bagerforretninger	71
158300 Sukkerfabrikker og – raffinaderier	164
159000 Drikkevarerindustri	261
160000 Tobaksindustri	32
17009 Tekstil-, beklædnings- og læderindustri	166
170000 Tekstilindustri	135
180000 Beklædningsindustri	23
190000 Læder- og fodtøjsindustri	8
20000 Træindustri	1 012
21009 Papir og grafisk industri	1 026
210000 Papirindustri	545
221200 Udgivelse af dagblade	102
221309 Udgiver- og forlagsvirks. ekskl. dagblade	56
222009 Trykkerier	323
23000 Mineralolieindustri mv.	4 554
24000 Kemisk industri	2 114
241109 Fremst. af industrigas og uorg. basiskemi	21
241209 Fremst. af farvestof og org. basiskemik.	166
241500 Fremst. af kunstgødning	632
241617 Fremst. af basisplast og syntetisk gummi	63
242000 Fremst. af pesticider og andre agrokem. prod.	185
243000 Fremst. af maling, trykfarver mv. samt tætn.mat.	189
244000 Medicinalindustri	330
245070 Fremst. af reng.midler samt øvrige kemiske prod.	527
25000 Gummi- og plastindustri	472
251122 Fremst. af gummiprod. samt plastemballage m.v	320
252300 Fremst. af bygningsartikler af plast	36
252400 Fremst. af andre plastprod.	117
26000 Sten-, ler- og glasindustri mv.	2 545
261126 Glas- og keramisk industri	190
263053 Fremst. af cement, mursten, tagsten, fliser mv.	783
266080 Fremst. af prod. af beton, asfalt, stenuld mv.	1 572
27009 Fremstilling og forarbejdning af metal	1 494
271000 Jern- og stålværker	336
272030 Forarb. af jern- og stål	225
274000 Fremst. af ikke-jernholdige metaller	82
275000 Støbning af metalprod.	63
281009 Fremst. af byggematerialer af metal	480
286009 Fremst. af håndværktøj, metalemballage mv.	309

29000 Maskinindustri	759
291000 Fremst. af skibsmotorer, kompressorer mv.	195
292000 Fremst. af maskiner til generelle formål	222
293000 Fremst. af landbrugsmaskiner	95
294009 Fremst. af maskiner til industri mv.	133
297000 Fremst. af husholdningsapparater	115
30009 Elektronikindustri	339
300000 Fremst. af kontormaskiner og edb-udstyr	6
310000 Fremst. af andre elektriske maskiner og app.	194
320000 Fremst. af telemateriel mv.	79
330000 Fremst. af medic. udstyr, instrumenter, ure mv.	60
35009 Transportmiddelindustri	404
340000 Fremst. af biler mv.	207
351000 Skibsværfter og bådebyggerier	158
352050 Fremst. af transp.mdl. ekskl. skibe og biler mv.	39
36000 Møbelindustri og anden industri	914
361000 Møbelindustri	696
362060 Fremst. af legetøj, guld- og sølvvarer mv.	88
370000 Genbrug af affaldsprod.	130
40009 Energi- og vandforsyning	12 069
401000 Elforsyning	11 139
402000 Gasforsyning	5
403000 Varmeforsyning	925
410000 Vandforsyning	0
45000 Bygge- og anlægsvirksomhed	3 550
450001 Nybyggeri	719
450002 Reparation og vedligeholdelse af bygninger	627
450003 Anlægsvirksomhed	1 512
450004 Materialer	691
50000 Handel m. biler, autorep., servicestationer	160
501009 Handel med biler, motorcykler mv.	36
502000 Autoreparation	121
505000 Servicestationer	3
51000 Engros- og agenturhandel undt. m. biler	331
52109 Detailhandel med fødevarer mv.	38
52299 Varehuse og stormagasiner	5
52300 Apoteker, parfumerier og materialister mv.	1
52419 Detailhandel m. beklædning og fodtøj	4
52449 Detailhandel i øvrigt, reparationsvirksomhed mv.	53
55000 Hotel- og restaurationsvirksomhed mv.	316
551009 Hoteller mv.	63
553009 Restauranter mv.	253
60000 Landtransport, rørtransport	364
601000 Jernbaner	51
602100 Bustrafik mv., rutefart	41
602223 Taxi- og turistvognmænd	31
602409 Fragtvognmænd mv., rørtransport	241
61000 Skibsfart	3 910
62000 Luftransport	416
63000 Godsbehandling, havne mv., rejsebureauer	31
631130 Hjlpv. i forb. m. transport, rejsebureauvirks.	17
634000 Anden transportformidling	14
64000 Post og telekommunikation	40

65000 Finansieringsvirksomhed	14
651000 Pengeinstitutter	8
652000 Realkreditinstitutter mv.	6
66000 Forsikringsvirksomhed	4
660102 Livs- og pensionsforsikring	1
660300 Anden forsikringsvirksomhed	3
67000 Servicevirksomhed for finanssektoren mv.	5
70000 Ejendomsudlejning og –formidling	14
701109 Ejendomsmæglervirksomhed mv.	4
702009 Boliger	4
702040 Udlejning af erhvervsejendomme mv.	7
71000 Udlejning undtagen af fast ejendom	3
72000 Databehandlingsvirksomhed	13
721009 Databeh.virks. bortset fra lev. af software mv.	5
722000 Lev. af program og kons.bist. i.f.b.m. software	8
73000 Forskning og udvikling	6
730001 Forskning og udvikling (markeds-mæssig)	1
730002 Forskning og udvikling (anden ikke-markeds-mæssig)	5
74000 Rådgivningsvirks. mv., rengøringsvirksomhed	86
741100 Advokatvirksomhed	2
741200 Revisions- og bogføringsvirksomhed	4
742009 Rådgivende ingeniører, arkitekter mv.	13
744000 Reklame- og markedsføring	24
747000 Rengøringsvirksomhed	28
748009 Anden forretningsservice	16
75000 Offentlig administration mv.	166
751100 Generel offentlig administration	25
751209 Off. sektoradm. excl. vedr. erhv. og infrast. mv.	11
751300 Off. administration vedr. erhv., infrast. mv.	46
752000 Forsvar, politi og retsvæsen	84
80000 Undervisning	79
801000 Folkeskoler	38
802000 Gymnasier, erhvervsfaglige skoler	17
803000 Videregående uddannelsesinstitutioner	11
804001 Voksenundervisning mv. (markeds-mæssig)	1
804002 Voksenundervisning mv. (anden ikke-markeds-mæssig)	12
85109 Sundhedsvæsen mv.	62
851100 Hospitaler	50
851209 Læger, tandlæger, dyrlæger mv.	12
85319 Sociale institutioner mv. for børn og unge	48
85329 Sociale institutioner mv. for voksne	88
90000 Renovationsvæsen	31
900010 Kloakvæsen og rensningsanlæg	8
900020 Renovation og renholdelse	17
900030 Lossepladser og forbrændingsanstalter	7
91000 Organisationer og foreninger	5
92000 Forlystelser, kultur og sport	43
920001 Forlystelser, kultur og sport (markeds-mæssig)	26
920002 Forlystelser, kultur og sport (ikke-markeds-mæssig)	17
93009 Anden servicevirksomhed	19
930009 Anden servicevirksomhed	19
950000 Private husholdninger med ansat medhjælp	-
Erhverv i alt	174 776
Endelig anvendelse	10 109
Erhverv og endelig anvendelse i alt	184 886

Kilde: Pedersen, 2002a

BILAG B Miljøprojekt nr. 281 – metode, data og resultater

Dette bilag sætter fokus på fremgangsmåden ved gennemførelsen af Miljøprojekt nr. 281. I det følgende beskrives projektets bestemmelse af varegrupper over industrielle færdigvarer og materialesammensætningen af disse (afsnit B.1 og B.2), opstillingen af en materialeliste (afsnit B.3) og opgørelse af ressourcetab og energiforbrug (afsnit B.4-B.5). Endelig omtales i afsnit B.6 projektets hovedresultater og i afsnit B.7 projektets håndtering af miljøfarlige stoffer som en særlig gruppe af materialer.

Flere steder knyttes der kommentarer og kritik til gennemgangen af Miljøprojekt nr. 281. Denne kritik og disse kommentarer har relevans i forhold til en vurdering af projektets anvendelsesmuligheder indenfor en materialestrøms- og MFA-sammenhæng. Kommentarer og kritik er baseret på projektgruppens egne diskussioner samt input fra projektets følgegruppe og andre eksperter (først og fremmest John Hille, Idébanken, og Helmut Schütz, Wuppertal Institutet, som begge deltog i projektets anden workshop).

B.1. Bestemmelse af varegrupper

På baggrund af data fra *Danmarks Statistik* (Forsyningsstatistikken) opdelte Miljøprojekt nr. 281 det danske forbrug af industriprodukter i 966 varegrupper. Forsyningsstatistikken omfatter i alt 10.376 positionsnumre. Heraf valgte man at frasortere 3.729 positionsnumre (svarende til 36%), som blev vurderet til at dække rene råvarer, halvfabrikata eller håndværksprodukter, mens de resterende 6.647 blev fordelt på 966 varegrupper. Miljøprojekt nr. 281 omfatter således alene **færdige industriprodukter** og ikke råvarer, halvfabrikata og håndværksprodukter. Et industriprodukt defineredes som "en vare, der har gennemgået en forædlingsproces, der har karakter af masseproduktion, og hvis videre anvendelse ikke indebærer en yderligere industriel sammenføjning eller bearbejdning." (Hansen 1995, s. 20) I praksis indebærer dette dog, at en række produkter medtages som færdige industriprodukter, selvom disse i praksis ofte vil indgå som komponenter i andre industrielle processer (eksempelvis varegrupperne: pakninger af blød gummi, offsetplader, maskiner til påfyldning af væsker, tørtransformere, startmotorer, NPK-gødning mv.). Ønsker man derfor at benytte projektets data i andre sammenhænge, kan det være nødvendigt at foretage en revidering af opdelingen af industriprodukter i varegrupper.

Ved opdelingen af industriprodukter i varegrupper søgte man at tage flere hensyn; herunder især at fastholde Forsyningsstatistikken systematik og sikre homogenitet indenfor varegrupperne mht. industriprodukternes funktion, materialesammensætning og energiforbrug i driftsfasen.

Forsyningsstatistikken kategoriseringer af varer er baseret på den såkaldte **Kombinerede Nomenklatur** (KN). Det fremgår således af *Danmarks Statistiks* hjemmeside, at "Oplysningerne [over det danske markeds forsyning af varer]

beregnes pr. vare, der defineres ved sit 8-cifrede KN-nummer". KN-standarden (og dermed også Forsyningsstatistikken) omfatter ca. 10.000 underpositioner (hvilket i Miljøprojekt nr. 281 omtales som "positionsnumre").

Ifølge publikationen *Den Kombinerede Nomenklatur 2001* (INTRATSTAT 2001) er KN-nummereringen endvidere baseret på den såkaldte HS-standard (det Harmoniserede System). I publikationen kan man bl.a. læse følgende om KN og HS:

"Den Kombinerede Nomenklatur (KN) er Det Europæiske Fællesskabs varenomenklatur, og den opfylder kravene til statistik over udenrigshandelen (såvel mellem Fællesskabets medlemsstater indbyrdes som mellem Fællesskabet og tredjelande) og til Toldtariffen, således som fastlagt i artikel 9 i Traktaten om Oprettelse af Det Europæiske Økonomiske Fællesskab. KN er baseret på HS og er opbygget på fuldstændigt samme måde. HS-strukturen er kun underopdelt yderligere, når det er nødvendigt af hensyn til udenrigshandelsstatistikken, lovgivningen på landbrugsområdet eller Toldtariffen."

HS-standarden er – ved siden af den såkaldte SITC-standard – én af de to standarder, som stort set alle lande benytter ved opgørelsen af import-/eksportstatistikker. Ifølge Helmuth Schütz (personlig korrespondance), benyttes HS-standarden bl.a. af *Eurostat* ved udarbejdelsen af statistikker over udenrigshandel, og det er denne standard, som benyttes af de statistikker *Wuppertal Institutet* benytter ved opgørelser af landes TMR og TMC. Den opdeling på varegrupper som blev anvendt i Miljøprojekt nr. 281 (og som projektets database dermed er struktureret efter) er derfor allerede tilpasset en internationalt anvendt struktur (HS-standarden), hvilket forbedrer mulighederne for at benytte databasen i international sammenhæng. Det skal dog bemærkes, at der kan være sket betydelige ændringer i Forsyningsstatistikken og HS-standarden siden 1993, hvorfor det vil være nødvendigt nøje at gennemgå den opdeling af industriprodukter på varegrupper, som er anvendt i databasen knyttet til Miljøprojekt nr. 281.

B.1.1 Problemer og manglende konsistens

Afslutningsvis bør følgende bemærkes: Den opdeling af industriprodukter på varegrupper, der blev anvendt i Miljøprojekt nr. 281, omfatter tilfælde, som antyder et problem med manglende konsistens og som ud fra en gængs livscyklustilgang kan virke problematisk. Et eksempel på dette er projektets håndtering af *vaskemidler*. På den ene side medregnes vaskemidler som en del af materialesammensætningen for vaskemaskiner – hvilket stemmer overens med fremgangsmåden indenfor traditionel LCA. Men på den anden side opgøres vaskemidler *også* som en selvstændig varegruppe; nemlig som en del af varegruppen "Vaske-, rengørings- og rensningsmidler". Det danske forbrug af vaskemidler optræder således "to steder" i projektets data og resultater.

Et andet eksempel er *køretøjer*, hvor forbruget af diesel/benzin *ikke* medregnes ved opgørelsen af det samlede energiforbrug knyttet til varegrupperne for køretøjer. Dette strider mod gængs LCA-praksis og er bl.a. forklaringen på, at varegruppen "Personbiler og vans under 3.500 kg" har et betydeligt *lavere* samlet energiforbrug end fx varegruppen "Køleskabe, fryseskabe og -bokse". Når forbruget af diesel/benzin ikke medregnes i energiforbruget for køretøjer, skyldes det, at forbruget af benzin og diesel henføres til de særskilte varegrupper "Olie til forbrænding" hhv. "Benzin og petroleum" (som begge har

en høj placering i den samlede rangordning efter energiforbrug). Foruden at være i modstrid med gængs LCA, afslører eksemplet med køretøjer en manglende konsistens i projektets fremgangsmåde, idet drifts-energiforbruget medregnes for en række **andre** varegrupper (fx de varegrupper, der omfatter elartikler såsom vaskemaskiner, opvaskemaskiner, støvsugere etc.).

Ovennævnte eksempler antyder, at der kan være behov for en revidering af projektets opdeling af industriprodukter på varegrupper. I den forbindelse ville det være interessant at undersøge, om det er muligt at samle de 966 varegrupper i et mindre antal "forbrugsfelter", således at der kan sikres højere grad af overblik og sammenhæng.

B.2. Bestemmelse af varegruppernes materialesammensætning

Efter bestemmelsen af de 966 varegrupper estimerede man efterfølgende – ud fra vægtopgørelser – for hver af disse varegrupper materialesammensætningen af et "gennemsnitsprodukt". Datagrundlaget bestod i oplysninger indhentet fra danske producenter og importører, videntcentre og litteraturstudie. Ved estimeringen af materialesammensætningen blev emballage og forbruget af driftsmidler og reservedele over produktets levetid indregnet, idet disse betragtedes som en integreret del af produktet. Om fremgangsmåden ved kortlægningen af varegruppernes materialesammensætning skriver Hansen 1995:

"[For hver varegruppe er det vurderet], hvilke materialer, der indgår i varegruppen og andelen (i %) af de enkelte materialer. Det er her valgt at betragte varegruppens produkter incl. den emballage, som produktet leveres i samt de reservedele og driftsmidler, som bruges gennem produktets levetid. Således er for en vaskemaskine også medregnet sæbe, blødgøringsmidler og vand." (Ibid., p 8)

Materialesammensætningen af varegrupperne, som denne fremgår af projektets database, inkluderer således materialer indeholdt i det færdige industriprodukt **såvel som** forbruget af driftsmidler/reservedele og emballage. Dette indebærer, at det ikke er muligt at udtrække data alene for de færdige industriprodukters materialesammensætning. I en række tilfælde vil den angivne materialesammensætning dog være tilnærmelsesvis lig materialesammensætningen af det færdige produkt; dette gælder for de produkter, som enten 1) ikke indebærer brug af driftsmidler over levetiden (fx termokander, bordservice, aviser mv.) eller 2) udelukkende benytter energi som driftsmiddel (idet energiforbruget opgøres selvstændigt og **ikke** som en del af materialesammensætningen). I begge tilfælde må det dog opstilles som kriterium, at forbruget af emballage og reservedele over produktets brugstid er yderst begrænset eller helt fraværende – hvilket udelukker en række produkter såsom personbiler og cykler.

B.2.1 Tærskelværdier og tilknyttede problemer

Af praktiske årsager var det ikke muligt i forbindelse med Miljøprojekt nr. 281 at opgøre **alle** typer af materialeforbrug. Således anvendtes en generel tærskelværdi på 1%, således at "[i]ndholdet af materialer, som hver for sig udgør mindre end 1% af den samlede materialemængde i produktet, er ikke forsøgt estimeret. Denne tærskelværdi er indført som en konsekvens af, at mange industriprodukter er sammensat af et meget stort antal forskellige materialer, hvoraf mange kun indgår i meget små mængder i produktet. [...]

Hertil kommer, at materialer, der kun optræder i så små mængder, i praksis ikke påvirker det samlede ressourcetab eller energiforbrug for produktet." (Ibid., p 42).

Indførelsen af en tærskelværdi på 1% kan dog – set i et materialestrømsperspektiv – være problematisk, idet størrelsen af den økologiske rygsæk forbundet med udvindingen af råstoffer varierer meget fra råstof til råstof. Selv et ganske lille forbrug af eksempelvis guld, sølv, zink eller kobber kan give anledning til betydelige ubrugte strømme sammenlignet med selv ganske store forbrug af jern, sten og grus o.lign. (se eksempelvis Christensen et al. 1999). Tærskelværdien kan desuden – som det bemærkes af John Hille – være problematisk i forhold til bestemmelsen af energiforbruget:

Konsekvenserne af at udelade materialer med under 1% indhold kan være "...merkbare ikke bare mtp. 'rygsækker' men også mtp. energiforbrug. For en tænkt vare som består af 98,2% tre, 0,9% stål og 0,9% aluminium kan fx energiforbruget til fremstilling af metallerne, dersom ressurstabet er 100%, være af samme størrelsesorden som for trelasten." (personlig korrespondance, 11.11.2002).

Særskilt er der for emballagematerialer i princippet anvendt en tærskelværdi på 5%, som begrundes i et praktisk hensyn, idet "... at der nemt kunne anvendes en uforholdsmæssig stor indsats på at kortlægge emballagematerialer, uden at disse materialer alligevel havde væsentlig betydning for det samlede resultat." (Hansen 1995, s. 42). For mange varegrupper viste det sig imidlertid muligt i praksis at estimere indholdet af emballagematerialer helt ned til et niveau på 1%. Derfor er tærskelværdien på 5% for emballagematerialer ikke anvendt konsekvent for alle varegrupper.

Den samlede andel af materialer, der hver for sig er mindre end tærskelværdien, varierer betydeligt fra varegruppe til varegruppe. For at undgå at disse materialer "gik tabt" ved opgørelsen af materialeforbrug og ressourcetab, defineredes et "fiktivt materiale" (kaldet "Andet") til at repræsentere summen af alle de materialer, der falder for tærskelværdien.

Den valgte fremgangsmåde i Miljøprojekt nr. 281 indebærer en høj grad af forsimpning af problematikken omkring miljø- og resourceffekter i tilknytning til produktionen af industriprodukter. Ved udelukkende at benytte den relative materialemængde som kriterium for, hvorvidt en given materialekomponent opgøres særskilt eller henregnes til gruppen "Andet", tager projektet ikke hensyn til det konkrete materiales miljøeffektpotentiale (herunder størrelsen af den økologiske rygsæk).

B.2.2 Drikkevand som driftsmiddel behandles særskilt

Afslutningsvis bør følgende tekniske detalje nævnes: Ved opgørelsen af varegruppernes materialesammensætning behandles drikkevand, når dette anvendes som driftsmiddel, på en ganske særlig måde. Herom skrives der:

Ved bestemmelsen af materialesammensætningen er det for de "...industriprodukter, hvor vand indgår som driftsmiddel valgt at bestemme sammensætningen, således at summen af alle andre materialer end vand bliver 100%. Herefter beregnes så det relative indhold af vand, som således kan nå op på mange tusinde procent." (Ibid., p 46)

Når man har valgt denne fremgangsmåde skyldes det, at for industriprodukter, hvor vand indgår som driftsmiddel, er forbruget af vand over produktets levetid ofte så stort, at det relative indhold af alle andre materialer ville komme under 1% og dermed falde for den førnævnte tærskelværdi. For at undgå dette, opgøres forbruget af vand derfor særskilt.

B.3. projektets materialeliste

Ved opgørelsen af varegruppernes materialesammensætning og senere kodning af data til database er der benyttet en materialeliste, som omfatter i alt 173 materialetyper fordelt på 12 materialegrupper. Ved opstillingen af materialelisten har følgende kriterier været anvendt (Hansen 1995, s. 44):

Der skelnes mellem materialer, som er/antages at være væsentligt forskellige, hvad angår ressourcemæssige, energimæssige og miljømæssige forhold. Det skal være muligt at identificere materialerne i industriprodukter. Det tilstræbes at begrænse antallet af forskellige materialer mest muligt.

En konsekvens af sidstnævnte kriterium er, at der i mange tilfælde er samlet materialer under samme navn, som – givet andre kriterier – ville have været adskilt. Det noteres desuden i rapporten, at "[m]ange af de angivne materialer har således mere karakter af materialegrupper end af specifikke materialer." (Ibid., p 44). Tabel B.1 viser en oversigt over de 12 materialegrupper, som de 173 identificerede materialetyper fordeler sig på:

Tabel B.1

Materialegrupper (i parentes er angivet gruppekode som anvendt af Miljøprojekt nr. 281).

Jern og stål (j)	Gummimaterialer (u)
Andre metaller (m)	Plastmaterialer (p)
Glas (g)	Overfladematerialer (o)
Stenmaterialer (s)	Kemiske materialer (k)
Vegetabiliske materialer (v)	Diverse (d)
Animalske materialer (a)	Sekundære materialer (x)

Materialegruppen "Sekundære materialer" omfatter materialer, som indeholder en væsentlig andel af genanvendte materialer. Om baggrunden for etableringen af denne materialegruppe, kan man læse i hovedrapporten: "Formålet med at medtage sekundære materialer, er at kunne godskrive industriprodukter, der indeholder sekundære materialer, den energigevinst, der beror på, at sekundære materialer typisk er energimæssigt billigere end primære materialer." (Ibid., p 44). Forbruget af sekundære materialer er således udskilt af hensyn til en mere præcis energiberegning.

B.4. Opgørelse af ressourcetab

Ved beregningen af ressourcetabets størrelse, defineredes for alle materialer et "gennemsnitligt materialebestemt ressourcetab", som knyttedes til det specifikke materiale (fx aluminium) og *ikke* til det specifikke produkt. Dog blev det for visse industriprodukter vurderet, at ressourcetabet for et givent materiale (som udgjorde en komponent i industriproduktet) ville afvige væsentligt fra det gennemsnitlige materialebestemte ressourcetab. For disse produkter (fx armbåndsure og kuglepenne) estimeredes et "produktspecifikt"

ressourcetab, som benyttedes ved de efterfølgende beregninger. (Hansen 1995, s. 47ff.:)

Størrelsen af det gennemsnitligt materialebestemte ressourcetab angives som den andel (i vægt-procent) af materialet, som antages vil blive tabt ved slid og korrosion (i distributions-, forbrugs- og genanvendelses/bortskaffelsesfaserne) og tabt til affald (den del af materialet der ikke genanvendes, men ender i affald og deponeres eller forbrændes).

Ved bestemmelsen af ressourcetabet for varegrupper skelnede man i Miljøprojekt nr. 281 i princippet mellem, hvorvidt et materiale er en **fornyelig ressource** hhv. en ressource, som **genskabes** i takt med forbruget, idet alene forbruget af fornyelige ressourcer, som **ikke** genskabes i takt med forbruget, blev medtaget som ressourcetab. I praksis er det dog kun ædlere (tropiske) træsorter, som man vurderede til **ikke** at genskabes i takt med forbruget. Denne skelnen mellem materialers fornyelighed og grad af genskabelse har derfor en negligerbar betydning for projektets endelige resultater og konklusioner. Man kan derfor formulere fremgangsmåden ved bestemmelsen af ressourcetabet i Miljøprojekt nr. 281 på følgende, forenkede måde: **Ressourcetabet bestemmes som den mængde af ikke-fornyelige materialer i et industriprodukt, som ikke genanvendes (undtagelsesvis medregnes forbruget af ædlere, tropiske træsorter dog som et ressourcetab).**

Miljøprojekt nr. 281 kan i denne sammenhæng kritiseres for ikke at medregne forbruget af en række truede fornyelige ressourcer som ressourcetab. Et eksempel på dette kunne være forbruget af fisk, som vurderedes til at være en ressource, der genskabes i takt med forbruget, og som derfor ikke medregnes i ressourcetabet. Dette svarer imidlertid dårligt overens med den faktiske situation, hvor bl.a. EU's fiskeriministre diskuterer nødvendige tiltag for at nedbringe overfiskningen af eksempelvis torsk.

Det forhold, at forbruget af fornyelige ressourcer ikke medregnes som en del af ressourcetabet, indebærer, at der ved den endelige miljøprioritering (se kapitel 6) af varegrupper **ikke** tages hensyn til dette forbrug og dets afledede miljøeffekter. Dette kan – som bl.a. John Hille bemærker – betragtes som et alvorligt, metodisk problem.

Ifølge projektets hovedrapport, blev størrelsen af det materialespecifikke ressourcetab fastsat ud fra "... tilgængelig viden i litteraturen, oplysninger fra eksperter herunder genanvendelsesbranchen i Danmark samt sund fornuft. Det angivne ressourcetab anses for at dække situationen i Danmark i starten af 1990'erne." (Hansen 1995, s. 48) Det synes derfor at være den **praktiske genanvendelsesprocent**, som ligger til grund for bestemmelsen af ressourcetabets størrelse.

B.5. Opgørelse af energiforbrug

For hver varegruppe opgjorde man i Miljøprojekt nr. 281 energiforbruget **E** som summen af følgende komponenter (Hansen 1995, s. 28 & 56 ff.):

Tabel B.2
Komponenter af energiforbruget

+	Energiforbruget til udvinding og fremstilling af materialerne (betegnes ASF = det Akkumulerede materialeSpecifikke energiForbrug)
+	Energiforbruget til videre forarbejdning af materialerne (hvis relevant)
+	Energiindholdet, som er den bundne energi i materialet (hvis relevant)
+	Energiforbruget i driftsfasen for varegruppens produkter (hvis relevant)
÷	Energiindholdet, som nyttiggøres ved afbrænding af ressourcetabet
=	Samlet energimængde, E

Det kan i tilknytningen til tabellen bemærkes, at det **Akkumulerede materialeSpecifikke energiForbrug** (ASF) medregner energiforbrug til følgende formål (Ibid., p 56):

- Udvinding af råstoffer
- Forarbejdning af råstoffer
- Opvarmning, belysning og sikring af miljø og arbejdsmiljø på forarbejdningssteder
- Transport af råstoffer og materialer (dog kun medregnet i det omfang energiforbruget til transport er væsentligt set i forhold til energiforbruget til andre formål)
- Konvertering og raffinering af energi

I de tilfælde, hvor den **videre** (industrielle) forarbejdning af materialer resulterer i et væsentligt energiforbrug, er dette opgjort som det såkaldte **forarbejdningstillæg**. Heri ligger en kraftig forenkling, idet forarbejdningstillægget bestemmes som et materialespecifikt tillæg – der tages med andre ord ikke hensyn til variationen fra produkt til produkt (varegruppe til varegruppe). Forarbejdningstillægget udgør et forsøg på at kvantificere energiforbruget knyttet til forarbejdningen af de "rene materialer" (eksempelvis tilskåret kød eller rå træbjælker etc.) til færdige produkter (eksempelvis tilberedte gryderetter eller møbler etc.).

En anden forenkling består i, at forarbejdningstillægget kun medtager energiforbrug ved den **direkte forarbejdning** (fx stansning, udskæring af træ, nedfrysning af fx grøntsager o. lign.). Alle øvrige, sekundære energiforbrug knyttet til fremstillingen af færdige produkter (herunder opvarmning, belysning, transport af delkomponenter og markedsføring) er således ikke medtaget. Dette gælder desuden energiforbruget ved transport af færdige produkter. Projektets beregninger af energiforbruget til forarbejdning af (rå-)materialer til færdige produkter undervurderer derfor det reelle energiforbrug betydeligt. Jf. beregninger udført af John Hille, kan det antages, at beregningerne udført i Miljøprojekt nr. 281 i en række tilfælde underestimerer det reelle energiforbrug med op til (måske endda over) 50% (Hille 1995). Dog skal det bemærkes, at underestimeringen vil være (betydelig) mindre for produkter/varer, som benytter energi som driftsmiddel (fx biler, computere, støvsugere mv.), idet driftsenergiforbruget er medregnet og ofte udgør en betragtelig del af det samlede energiforbrug.

Miljøprojekt nr. 281 opgør energiforbruget som forbruget af **primær energi** (også kaldet **bruttoenergiforbruget**). Opgørelsen inkluderer, med andre ord, ikke blot det endelige energiforbrug (netto energiforbruget) men også det energitab, som er forbundet med raffinering af olie og konvertering af primære brændsler til elektricitet (Ibid., p 57). Bruttoenergiforbruget er

bestemt på baggrund af opgørelser af netto energiforbruget og ved brug af følgende energieffektivitet:

Tabel B.3

Energieffektiviteter benyttet i Miljøprojekt nr. 281 (Hansen 1995, s. 57).

Elektricitet (anvendt til opvarmning og procesenergi):	35%
Olie og olieprodukter (anvendt til transport, opvarmning og procesenergi):	90%
Naturgas og kul (anvendt til opvarmning og procesenergi):	100%

Det bemærkes, at energieffektiviteterne i tabel B.3 ikke inkluderer energiforbrug og -tab ved udvinding og transport af fossile brændsler, som skønmæssigt varierer mellem 1,5% og 4% for de enkelte brændselstyper (kul, olie og naturgas).

B.6. Projektets resultater

På baggrund af detailoplysninger om varegrupperes materialesammensætning og hertil knyttede ressource- og energiforbrug, beregnedes det **samlede danske ressource- og energiforbrug fordelt på varegrupper**. Ved beregningen benyttedes dels et gennemsnit af den danske produktions- og forsyningsmængde, dels den danske forsyningsmængde alene. Ved **produktionsmængden** forstås den danske produktion af en given varegruppe, mens **forsyningsmængden** udgøres af dansk produktion + import - eksport af de pågældende varer. Forsyningsmængden er dermed et udtryk for det danske forbrug. Oplysninger for den danske produktions- hhv. forsyningsmængde fordelt på varegrupper indhentes fra Danmarks Statistik (Forsyningsstatistikken) og udgjorde et middeltal for årene 1990-1992. (Hansen 1995, s. 8).

På baggrund af denne beregning rangordnedes varegrupperne efter deres gennemsnitlige placering i forhold til det samlede ressource- og energiforbrug. Projektet benytter herved en forsimplet tilgang, hvor varegruppernes enkeltvise placering efter ressource- og energiforbrug ligeværdigt ligger til grund for bestemmelsen af varegruppernes endelige placering i rangordenen. Eksempelvis rangordnedes varegruppen **Stenkul** som nr. 1 efter størrelsen af det samlede ressource- og energiforbrug hhv. som nr. 8 efter størrelsen af det samlede energiforbrug – mens varegruppen **Olie til forbrænding** rangordnedes som nr. 2 hhv. 7. Hermed rangordnedes både **Stenkul** og **Olie til forbrænding** som nr. 1 i den samlede placering, da de begge havde en "gennemsnitlig rangordning" på 4,5 og da ingen af de øvrige varegrupper nåede en højere "gennemsnitlig rangordning". Efter **Stenkul** og **Olie til forbrænding** fulgte som nr. 2 **Benzin og petroleum** (rangordnet som nr. 3 efter ressource- og 13 efter energiforbrug), som nr. 3 **Jordolie og naturgas** (rangordnet som nr. 4 hhv. 14) etc.

Resultaterne af rangordningen viste, at de industriprodukter, som fik en høj, samlet placering, var karakteriseret ved en eller flere af følgende egenskaber (Ibid., p 9):

- Produktet har et aktivt energiforbrug (fx en bil, som bruger energi i form af benzin)
- Produktet har et stort forbrug af driftsmidler (fx en vaskemaskine, som bruger sæbe og vand)
- Produktet omsættes i meget store mængder og består især af ikke-fornyelige materialer (fx cement og asfalt)

Men også produkter, der overvejende består af fornyelige materialer (fx aviser og tidsskrifter) kan komme højt i rangordenen, idet disse produkter omsættes i så store mængder, at selv et beskedent indhold af **ikke-fornyelige materialer** medfører et betydeligt ressourcetab.

Blandt de 50 varegrupper, som rangeres højest på rangordenen, kan en betydelig del henføres til samfundssektorerne energi (stenkul, olie, naturgas, benzin, petroleum og jordoliekok), transport (skibe, personbiler, lastbiler og tog), landbrug (gødning, foderstoffer, kød og ost) samt byggeri og anlæg (cement, beton, asfalt, gips, stenuld og armeringsjern mv.). (Ibid., p 9)

B.7. Miljøfarlige stoffer

Varegruppernes indhold af miljøfarlige stoffer udgør i reglen mindre end 1% af den samlede materialesammensætning. Af denne grund henføres miljøfarlige stoffer ved opgørelsen af materialesammensætningen almindeligvis til kategorien "Andet" og opgøres derfor sjældent som selvstændige materialer. For at miljøfarlige stoffer ikke skulle falde helt ud af opgørelserne, blev det for hver enkelt varegruppe vurderet, om denne indeholdt miljøfarlige stoffer. Ved denne vurdering fokuseredes der imidlertid alene på de miljøfarlige stoffer cadmium, bly, nikkel, kobber og phthalater. Der er her alene tale om en kvalitativ angivelse, idet mængden af disse stoffer indeholdt i varegrupperne ikke er vurderet. (Hansen 1995, s. 62ff.)

BILAG C Workshop on material flows, use of resources and indicators

Tirsdag den 7. maj 2002 afholdtes en workshop med titlen "Workshop on material flows, use of resources and indicators" på **DHI – Institut for Vand og Miljø** i Hørsholm. Workshoppen, som var arrangeret af projektgruppen, var et led i projektets vidensindsamling og kortlægningen af **state-of-the-art** indenfor området materialestrømme, indikatorer og bæredygtighed. Hensigten med workshoppen var bl.a. at give fagligt input til afgrænsningen af undersøgelsens fokus gennem danske og udenlandske eksperters præsentation af deres erfaringer indenfor området. Samtidig gav workshoppen også et indblik i en del af det arbejde, der udføres herhjemme og i udlandet, indenfor emnet (herunder aktuelle projekter der på forskellig vis berører dette projekts tema).

Ved workshoppen deltog fra udlandet John Hille (Idébanken, Norge) og Joachim Spangenberg (Sustainable Europe Research Institute, Tyskland) og fra Danmark en række indbudte eksperter og ressourcepersoner.

Det følgende er et sammendrag af workshoppens indlæg og diskussioner. Sammendraget er holdt i en kronologisk form og følger dermed workshoppens program. Programmet bestod af en række indlæg af varierende længde og var organiseret således, at indlæggene om formiddagen orienterede sig mod en diskussion af materialestrømsopgørelser som idé og metode (afsnit C.1.1-C.1.6), mens eftermiddagens indlæg behandlede emnet mere bredt (afsnit C.1.7-C.1.11).

Ved workshoppen var fremmødt: Henrik Wejdling (DAKOFA), Lennart Emborg (DMU), Line Block Christoffersen (AKF), Kim Ejlertsen (NOAH), Jacob Sørensen (NOAH), Bo P. Weidema (2.-0 LCA Consultants), Søren Nors Nielsen (Danmarks Farmaceutiske Højskole), Karin Blix (Danmarks Statistik), Ole Dall (COWI A/S), Lone Lykke Nielsen (Miljøstyrelsen), Lone Kielberg (Miljøstyrelsen), Jacob Juul (European Topic Centre on Waste and Material Flows), Kirsten Pommer (Teknologisk Institut), John Hille (Idébanken, Norge), Joachim Spangenberg (Sustainable Europe Research Institute, Tyskland), Ole Gravgård Pedersen (Danmarks Statistik), Karsten Krogh Andersen (DHI – Institut for Vand og Miljø), Inge Røpke (DTU), Michael Søgaard Jørgensen (DTU) samt Toke Haunstrup Christensen (DTU).

C.1. Sammendrag af workshoppen

C.1.1 Karsten Krogh Andersen (KKA): Welcome and the background of the workshop

KKA præsenterer projektgruppen og fortæller om projektets formål, metode og foreløbige resultater – præsenterer herunder et første udkast til et sæt af indikatorer.

KKA's oplæg afføder kommentarer og spørgsmål fra flere deltagere: John Hille spørger, hvilket perspektiv projektet vil anlægge (globalt eller nationalt), og om projektet medtager "skjulte strømme". Hertil svarer KKA, at projektet vil tage udgangspunkt i den danske økonomi og medregne skjulte strømme og aktiviteter udenfor Danmark, i det omfang, data er tilgængelige.

Joachim Spangenberg (JSP) stiller tre spørgsmål:

- Første spørgsmål tager udgangspunkt i idéen om at kvantificere det tilgængelige miljømæssige råderum for affald og ressourcer (som KKA omtalte ved sin præsentation). Hertil spørger JSP: Hvordan vil projektet kvantificere det tilgængelige miljømæssige råderum for affald og ressourcer? JSP selv mener, at en sådan kvantificering mere vil være udtryk for en normativ snarere end en videnskabelig øvelse.
- JSP efterlyser, at arealanvendelse ("land-use") medtages ved opgørelserne på linje med energistrømme og materialestrømme. Han opfatter opgørelsen af arealanvendelse som værende en vigtig forklarende kraft ("important explanatory power").
- JSP refererer til erfaringer fra opgørelser af materialestrømme på europæisk niveau, hvor man udvalgte en række materialer såsom cement, som man anså for at være karakteristiske for hoved-erhvervssektorer ("major business sectors"). Eksempelvis var cement vigtigt for byggerisektoren (den anden største producent bag materialestrømme). Er de valgte materialer/stoffer i det danske projekt repræsentative (karakteristiske) for den danske business-sector?

KKA medgiver i sit svar på det første spørgsmål, at bestemmelse af det miljømæssige råderum indebærer en normativ stillingtagen. I sit svar på JSP's andet spørgsmål, henviser KKA til, at opgørelse af arealanvendelse har været diskuteret i projektgruppen, men at ingen konklusion endnu er taget. Han henviser til *Miljøstyrelsen*, som i forhold til nærværende projekt har ønsket et hovedfokus på materialestrømme. Med hensyn til JSP's tredje spørgsmål svarer KKA, at landbrug er en central sektor i Danmark (og at udvalgte indikatorer til belysning af landbrugets betydning dermed kunne være en idé).

C.1.2 Ole Gravgård Pedersen (OGP): Material flows of the Danish Economy

Med sit indlæg giver OGP et overblik over de overordnede materialestrømme i den danske økonomi. OGP præsenterer resultaterne fra bl.a. et igangværende projekt ved Danmarks Statistik, finansieret af Miljøstyrelsen og Eurostat, hvor formålet er at bestemme DMI og TMR for Danmark.

OGP indleder med at præsentere en oversigt over det materielle import, output og eksport fra den danske økonomi (genereret ved dansk produktion og udenrigshandel). Opgørelsen, der er fra 1990, opererer med en opdeling af materialer i fire kategorier: Byggematerialer, landbrugsprodukter,

energiprodukter og alle andre produkter. Af disse udgør byggematerialer den største andel af det danske output. Herefter følger landbrugsprodukter og energiprodukter. Sammenlignet med andre lande, er det danske output (målt pr. indbygger) relateret til landbrugsprodukter ganske høj, hvilket afspejler, at Danmark har en intensiv og omfattende landbrugsproduktion. På inputsiden udgør energiprodukter en høj andel, og på eksport-siden er landbrugsprodukter en hovedkomponent.

Siden opgørelsesåret (1990) er der sket mindre ændringer, idet energiproduktionen er steget samtidig med, at eksporten af energi er øget.

Gennem at kombinere ovennævnte statistik med informationer om ressource-ekstraktion, affaldsstrømme og residual-strømme har Danmarks Statistik opstillet en massebalance for den danske økonomi, 1990. På inputsiden opgøres dansk ressourceudvinding og import, der tilsammen udgør DMI (123 mio. tons). Dansk ressourceudvinding udgør 2/3 af DMI. På outputsiden opgøres eksport og residualmængden (samlet 68 mio. tons). Residualmængden udgør den største andel (omkring 2/3 af det samlede output), hvoraf den energirelaterede del udgør omkring halvdelen af det totale residual-output. Residualgruppen er defineret bredt og omfatter eksempelvis også dele af udledningen af vanddamp o.lign. Massebalance mellem input- og outputsiden opnås ved akkumulationen af materiale i den danske økonomi, som udgør omkring 55 mio. tons.

OGP har ydermere forsøgt at allokere det totale DMI på økonomiens enkeltsektorer/komponenter eller "the causing final demand". Heraf fremgår bl.a., at den danske eksport af varer og tjenesteydelser svarer for halvdelen af det totale danske DMI, hvoraf en betragtelig del udgøres af biomasse ved produktionen af eksporterede fødevarer og energi (hvoraf en betydelig del af energiproduktionen anvendes ved produktionen af eksporterede varer). OGP har endvidere opgjort DMI - relateret til det private forbrug - på forbrugskategorier.

Jacob Sørensen og John Hille stiller efterfølgende nogle opklarende spørgsmål omkring valget af definitioner for DMI og termerne "indirect flows" og "direct flows", som OGP benytter. OGP benytter Eurostat's definition af DMI, således at indirect flows (i TMR forstand) ikke er medtaget. Når der i forbindelse med DMI alligevel tales om indirect flows er det i relation til input-output beregninger af indirekte DMI-materialestrømme knyttet til forskellige økonomiske aktiviteter.

Joachim Spangenberg stiller spørgsmålet, om der har været gjort forsøg på at indsamle/etablere data til brug for en egentlig opgørelse af TMR for endelige produkter ("finished goods"). I sit svar henviser OGP til, at når man ikke opgør TMR for endelige produkter, skyldes det et "nødvendighedens valg" ("a decision made out of necessity"), idet man ikke har de nødvendige data for de endelige produkter. OGP henviser også til det aktuelle arbejde ved Wuppertal Institut og Eurostat's anvisninger ("guidelines"), hvor der er nået konsensus om, at hvad angår endelige produkter, medtager man kun "vægten" af de endelige produkter og ikke "upstreams materials" associeret med produkterne. På dette punkt slår OGP desuden til lyd for et pragmatisk valg, idet en ensartet opgørelsesmetode (som den anbefalet af Eurostat m.fl.) landene imellem sikrer sammenlignelighed mellem landenes resultater. Udbygningen af datagrundlaget for at kunne lave egentlige TMR for endelige produkter bør udvikles – efter OGP's overbevisning – gennem internationalt samarbejde.

C.1.3 Henrik Wejdling (HW): Experiences from a Danish project on material flows

HW fortæller om erfaringerne fra et studie, udført for Miljøstyrelsen, af Wuppertal Instituttets arbejde (herunder arbejdet med udformningen af begreber som "økologisk rygsæk" o.lign.). Studiet baserer sig på litteraturstudie og besøg på Wuppertal Institutet (herunder interview med Bringezu og Moll). Projektets resultater vil indenfor den kommende tid blive gjort offentligt tilgængelig på Miljøstyrelsens hjemmeside.

I det følgende vil vi i udpluk referere HW's oplæg og den efterfølgende diskussion og i øvrigt henvise til rapporten, der er udarbejdet på baggrund af studiet (vil kunne downloades fra Miljøministeriets hjemmeside senere dette år).

Diskussionen affødt af OGP's oplæg viste, at arbejdet og diskussionen indenfor MFA-feltet er præget af mange forskellige begreber, som ofte enten er overlappende eller bruges forskelligt de enkelte forskningsmiljøer imellem. En af disse begrebmæssige uklarheder er knyttet til ordene "økologisk rygsæk" (benyttet af Wuppertal Institutet) og "skjulte strømme" (ofte benyttet af økonomer). Disse to begreber dækker det samme (nemlig materialestrømme knyttet primært til udvindingen af ressourcer, men som ikke på noget tidspunkt indgår i økonomien). HW ironiserer i denne forbindelse over begrebet "skjulte strømme", idet disse strømme kun er "skjulte" i forhold til økonomien – men på ingen måde forekommer "skjulte" for de mennesker og områder, der direkte berøres af flytningen af disse materialer.

Som milepæle indenfor udviklingen af MFA-metoder og -opgørelser peger HW på to udgivelser fra World Resources Institute: Adriaanse et al., *The Material Basis of Industrial Economies*, 1997 og *The Weight of Nations*, 2000. Førstnævnte indeholdt materialestrømsopgørelser for USA, Holland, Tyskland og Japan og fokuserede på "inputsiden", mens sidstnævnte fokuserede på "outputsiden". Undersøgelserne viser, at betragtelige mængder materiale årligt passerer gennem økonomierne (eksempelvis i USA udgør det årlige outflow fra USA's økonomi 86 tons pr. person, og mellem 50-75% af det samlede materiale-input til den amerikanske økonomi passerer ud af økonomien indenfor det samme år). Fra et bæredygtighedsperspektiv er det ikke ønskeligt at have hverken et højt, årligt "throughput" gennem økonomien eller en høj, årlig akkumulation af materialer. I forbindelse med spørgsmålet om den årlige akkumulation af materiale i økonomien bemærker Joachim Spangenberg, at ikke nok med at det akkumulerede materiale udgør et miljøproblem i sig selv, idet disse materialer før eller siden skal "ud" af økonomien (og herved bidrager til økonomiens output), men samtidig vil en øget mængde akkumuleret materiale indebære behov for yderligere input af ressourcer til vedligeholdelse af den akkumulerede mængde materiale. Herved kommer den (øgede) mængde akkumuleret materiale til at udgøre en betydende forhindring for at opnå dematerialisering af økonomien.

HW peger på, at ønskes en bæredygtig økonomi, bør den samlede materiale gennemstrømning reduceres betragteligt (bl.a. gennem øget genanvendelse) samtidig med, at yderligere akkumulation af materiale undgås ved etablering af massebalance mellem input- og output-strømmene. Det er en fremherskende forståelse, at den generelle teknologi-udvikling fører til frembringelsen af renere, og dermed mindre miljøbelastende, teknologier. Denne forståelse er – ifølge HW – kun delvis korrekt, set i et MFA-perspektiv. Ser man nemlig på processerne og teknologien knyttet til udvinding af

råstoffer og ressourcer, gør det modsatte sig gældende; Bringezu har gennemført et studie, som viser, at den økologiske rygsæk forbundet med udvindingen af ressourcer er stigende i takt med, at der udvikles forbedrede mineteknologier, der muliggør at udvinde ønskede metaller o.lign. fra malme mv. af en stadig ringere lødighed. Dette bekræftes ligeledes af et finsk studie. Bo P. Weidema kommenterer, at en sandsynlig årsag til stigningen i mængden af "flyttet jord" pr. enhed udvundet metal/ressource kan være øget brug af åbne miner (i modsætning til tidligere tiders hyppigere brug af "lukkede miner"). Hertil kommenterer Joachim Spangenberg, at for tysk minedrift gælder det, at **også** ved "open mining" øges ressourcetrækket over årene, idet der i dag graves dybere end tidligere. Hertil kommer, at med stigende dybde øges mængden af oppumpet dræningsvand, hvilket øger ressourcetrækket på rent drikkevand.

Et finsk studie viser, at det er muligt at afkoble udviklingen i TMC (Total Material Consumption) fra den økonomiske vækst. Medregner man imidlertid skjulte strømme, viser historiske data for Finland, at en sådan afkobling ikke har fundet sted. Samme studie viser, at de skjulte strømme (ubrugte materialer) knyttet til produkter importeret til Finland er stigende. Heraf udleder HW, at de industrialiserede lande i stigende grad importerer "rene" råstoffer/ressourcer, hvorved store dele af genereringen af skjulte strømme "flyttes" til udlandet. Dette fører frem til en diskussion af, hvilket niveau det er relevant at benytte ved opgørelsen af materialestrømme, idet et snævert fokus på det nationale ikke vil indfange de globale miljø- og ressourcemæssige konsekvenser ved en stadig mere globaliseret handel. Globaliseringen betyder - på dette felt - at ressourcekrævende aktiviteter (såsom minedrift) i stigende grad flyttes fra de højest industrialiserede lande til mindre industrialiserede lande. Dette fører ind på en geopolitisk dimension, der bør "indregnes" i udviklingen af indikatorer for materialestrømme.

Kommissionen arbejder i øjeblikket på at udarbejde "a white paper" om strategi for bæredygtig ressource management. I tilknytning til dette arbejde er der etableret en hjemmeside, hvor et antal rapporter er lagt frem om, hvordan en bæredygtig ressource management kan udformes. HW henviser til hjemmesiden:

<http://www.europa.eu.int/comm/environment/enveco/studies2.htm>.

John Hille stiller efterfølgende et spørgsmål om kvaliteten og fuldstændigheden af det nuværende datagrundlag for at foretage opgørelser af materialeforbrug, som medregner forbruget af skjulte/ubrugte strømme. I Norge er der store problemer knyttet til fremskaffelsen af data for sådanne beregninger. Hertil svarer OGP, at vi har ganske gode data for den ressourceekstraktion, der finder sted i Danmark. HW henviser til Wuppertal Institutet, som på sin hjemmeside har en liste over ca. 200 "basic materials" med data om materialeforbruget ved udvindingen af disse "basic materials". HW understreger dog, at disse data udgør en generalisering og ikke kan benyttes til beregning af materialeforbrug knyttet til produktionen/forbruget af specifikke produkter.

C.1.4 Joachim Spangenberg (JSP): Informs about the present follow-up of studies from the Wuppertal Institute regarding material flows

JSP ønsker med sit oplæg bl.a. at pege på nogle af de grundlæggende idéer bag forståelsen af MFA som metode for herigennem at muliggøre diskussionen af forskellige tilgange til MFA.

Om den historiske baggrund for udviklingen af MFA som idé og metode fortæller JSP, at denne oprindeligt udsprang af problemerne med et arbejde i starten af 1990'erne hos OECD og i Tyskland, hvor man forsøgte at udvikle et indeks over kemiske stoffer, som skulle rumme pålidelige oplysninger om stoffernes toksicitet og kunne anvendes uafhængigt af geografisk lokalitet. Det lykkedes imidlertid ikke (og er fortsat ikke lykkedes) at fuldende dette projekt, idet stoffers toksiske effekter afhænger af det konkrete miljø, disse optræder i. Problemerne med at udvikle et sådant indeks foranledigede lederen af OECD's kemiske afdeling, Schmidt-Bleek, til at foreslå, at man – i stedet for at forsøge at detail-kortlægge effekterne på outputsiden, med heraf følgende store dataproblemer – skulle sætte fokus på inputsiden. I de følgende år udvikledes MFA-begrebet som metode – i starten dog med næsten udelukkende fokus på den kvantitative side af materialestrømmene (dvs. på materialestrømmenes fysiske størrelse og uden fokus på de miljømæssige effekter, den kvalitative side). Ifølge JSP er der dog – over de senere år – bragt ligevægt i fokus, idet også den kvalitative side inkluderes i MFA-analyserne.

JSP understreger, at det er nødvendigt at "tegne en linje" mellem opgørelser af materialestrømme (MFA) og miljøeffekterne (en slags "årsagssammenhæng" bestemmelse):

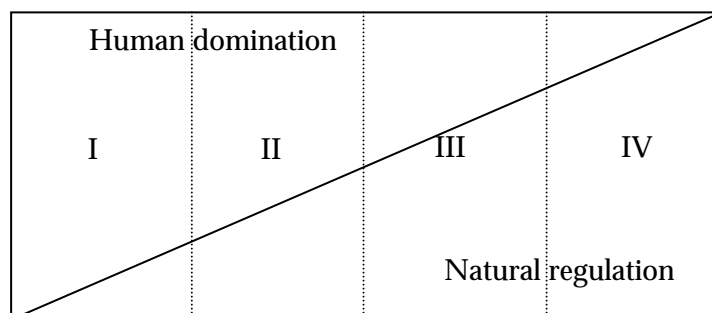
"People do not want to talk about material flows – people want to know about the [environmental] problems. [...] So if you do not manage to draw a line from the material flows to the environmental problems, then you are in a position, where you are talking about important things, nobody wants to listen to, because the relevance is not obvious."

En mulig tilgang, som bevarer MFA-metodens styrke (det forenkede fokus på inputsiden) og kombinerer denne med viden om stoffer/materialers miljømæssige effekter, består i holde fokus på materialestrømme og undersøge, hvilke miljøeffekter der er relateret til disse. Hertil knytter sig dog det problem, at denne tilgang ikke kan medregne den miljøeffekt, som i dag endnu er ukendt og ubeskrevet.

Med ovennævnte problemer in mente, valgte JSP m.fl. derfor en anden tilgang: Man gennemgik nationale rapporter over miljøets tilstand og nationale bæredygtighedsrapporter for en række europæiske lande (omfattede omkring 50 rapporter) og udarbejdede en samlet liste over miljøproblemer identificeret i disse rapporter. På baggrund af dette arbejde forsøgte forskerne at bestemme den bagvedliggende drivkraft for hver af de identificerede miljøproblemer. Eksempelvis kunne den bagvedliggende drivkraft bag genereringen af affald identificeres som den høje mængde af materiale-input i økonomien. Dette arbejde førte frem til bestemmelsen af to "typer" (eller "klasser") af drivkraft bag de identificerede miljøproblemer:

- De specifikke kemiske karakteristika af små stofmængder
- Den kvantitative virkning af store strømme (materialestrømme, energistrømme og arealanvendelse)

Endnu er der ikke international konsensus om, hvordan arealanvendelse ("land use") opgøres. JSP præsenterede sit eget bud på, hvordan de metodiske problemer omkring det at "klassificere" den konkrete brug af arealer kunne imødegås. Han tog udgangspunkt i følgende figur:



Figuren illustrerer, hvorledes arealer i varierende grad kan være "underlagt" "human domination" henholdsvis "natural regulation". JSP knyttede følgende kommentarer angående de valgte fire kategorier: I højre side (kategori IV) finder man arealer, der kun i stærkt begrænset omfang påvirkes af menneskelig indgriben (fx naturreservater), mens man i venstre side finder arealer, der langt overvejende domineres af menneskelige aktiviteter (såsom byer). JSP benytter konventionelt (intensivt) landbrug henholdsvis økologisk (ekstensivt) landbrug til at illustrere forskellen mellem II og III. Indenfor kategorierne II og III forsøger mennesker at styre (kategori II) henholdsvis udnytte (kategori III) naturlige processer; dette ses fx ved intensivt landbrug (II) og ekstensivt landbrug (III).

I tilknytning til figuren fremhæver JSP, at det interessante ikke som sådan er en opdeling af landarealer i klasser, men bevægelserne ("transition") mellem klasserne. Endvidere fremfører JSP, at materiale- og energiinput til et givent landareal øges i takt med bevægelse på figuren fra højre mod venstre (fra kategori IV mod I).

Det omtalte studie satte fokus på miljøbelastningen som "funktion" af tre faktorer: 1) Den totale materialestrøm, 2) energiforbrug og 3) intensiteten af brugen af landarealer (jf. ovennævnte figur). Undersøgelsen demonstrerede, at alle identificerede miljøproblemer (undtagen de miljøproblemer, der forårsages af små strømme af kemisk aktive stoffer) ville blive "signifikant reduceret" gennem 1) minimering af størrelsen af de totale materialestrømme, 2) minimering af energiforbruget og 3) en "sænkning" af intensitetsniveauet for brugen af landarealer. Heraf udleder JSP, at opfyldelsen af det miljømæssige råderum for forbruget af materiale, energi og areal sikrer en reduktion i drivkræfterne bag de fleste af de miljømæssige problemer.

Foranlediget af disse erfaringer lægger JSP op til, at en strategi for bæredygtig udvikling bør rumme to forskellige, men gensidigt komplementerende, delstrategier:

- De-materialisering ("Dematerialization")
- De-toksificering ("Detoxification")

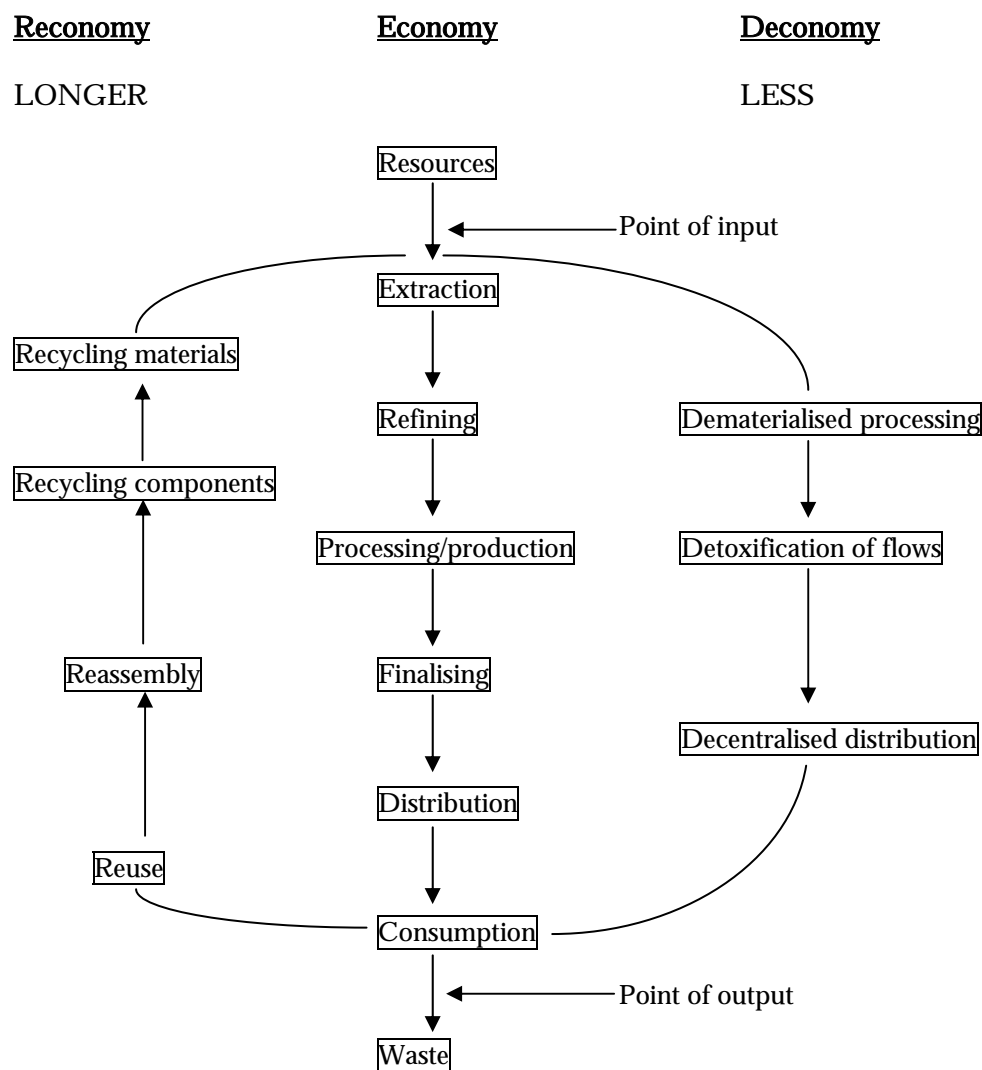
JSP diskuterer brugen af forskellige begreber indenfor MFA og pointerer, at det er vigtigt at overveje den fortolkningsmæssige betydning af de valg, man

foretager sig med hensyn til, hvilke materialestrømme der medregnes ved opgørelsen.

JSP kommer ind på den politiske udfordring, som er forbundet med at benytte MFA-opgørelser som redskab/værktøj til styring af materialestrømme. Miljøpolitik baseres i dag (i al almindelighed) på opstillingen af konkrete reduktionsmål for konkrete stoffer med kendte miljøeffekter. I modsætning hertil sætter brugen af MFA-opgørelser fokus på materialestrømme generelt og lægger op til en reduktion af disse under hensyntagen til en minimering af (delvist) ukendte miljøeffekter forbundet med disse strømme:

”Looking at the material flows, one important thing to understand is that we cannot predict what will be the long term effects of high material flows. The methodology, or the political goal, to reduce the accumulation of heavy metals is something that is a very specific path to solve a specific problem. Whereas reducing material flows is an unspecific approach to solve partly not-yet-known problems – to avoid future problems. (...) So the question that is (...) how do you convince politicians that you should invest money to avoid problems you cannot name? This is a serious policy challenge.”

JSP tager i sin videre diskussion af sammenhænge mellem materialestrømme og bæredygtig udvikling udgangspunkt i følgende figur:



Den midterste strøm repræsenterer den traditionelle forståelse af økonomiens materialestrømme. JSP benytter figuren til at illustrere forskellen i kompleksitet mellem input- og outputsiden. JSP deltog i et projekt, hvor man forsøgte at bestemme antallet af "points of entry" (herved forstår JSP steder/punkter, hvor materialer "træder ind i" økonomien) og antallet af "points of exit" (steder, hvor materialer "forlader" økonomien) for den tyske økonomi. På inputsiden opgjorde man omkring 20.000 entry-points (inkl. vand men ekskl. luft) og omkring 200 stoffer/materialer ("substances"). På outputsiden skønnede man omkring 1,5 mio. stoffer/materialer (overvejende fra industrien) og mere end 2 mio. exit-points. Erfaringerne fra dette projekt peger mod, at hvis man ønsker at reducere materialestrømme, er det langt det nemmeste at regulere på inputstrømme frem for outputstrømme.

Højre side af figuren antyder en strategi for dematerialisering ("Deconomy"), der vil indebære en reduktion af materialestrømmen gennem økonomien. Venstre side af figuren antyder en strategi, der baseres på genanvendelse af produkter, komponenter og materialer ("Reconomy"). JSP pointerer, at en egentlig reduktion af materialestrømmen gennem økonomien kun kan finde sted gennem en kombination af begge strategier.

JSP kommenterer også på betydningen af "tidsfaktoren" for den samlede materialestrøm. JSP definerer en vares/materialers levealder ved ligningen:

$$T_{\text{life}} = T_{\text{use}} + T_{\text{waste}}$$

Levealderen defineres således som summen af den tid, et givent produkt bliver anvendt, og den tid dets materialer optræder som affald. Generelt "lever" produkter længere tid som affald end som egentlig brugsgenstand. Størrelsen T_{waste} kan minimeres gennem eksempelvis brug af bio-nedbrydelige materialer, og herved opnås en reduktion af den totale, akkumulerede mængde affald. Dette er dog en løsning, som har sine praktiske begrænsninger. En omvendt strategi kan bestå i at øge T_{use} gennem udvikling af langtidsholdbare produkter og/eller produkter, der nemmere kan repareres. Denne strategi vil dog også have sine begrænsninger i form af modeskift og det teknologiske systems hastige udvikling, som "tvinger" forbrugeren til løbende at købe nye modeller af eksempelvis computere og mobiltelefoner. "Time management" som tilgang til reduktion af materialestrømme har derfor sin begrænsning:

"This is why we say that 'time management' maybe is one interesting and so far neglected aspect of material flows management, but – on the other hand – it has limited capabilities and still makes the reduction of the total volumes of flows a necessary approach."

Herefter bevæger JSP sig over mod nogle mere abstrakte betragtninger om sammenhænge mellem landes import og eksport af materialer, forholdet mellem økonomisk import og eksport og bæredygtighed. JSP eksemplificerer dette ved Tyskland:

"The German economy is characterised by a situation, like the Danish one, of accumulating a stock [of materials] and, furthermore, we have a significant surplus of physical imports as compared to physical exports. At the same time we have a significant surplus of economic exports as compared to economic imports. We have an economical export surplus in financial terms and an export deficit in physical terms. (...) Since the Earth as a whole is a closed system, this model cannot be generalised. Not everybody can have a surplus in importing materials (...). So we [Germany] earn money at the expense of others, while using their resources to make our money. And that is definitely an unsustainable situation. It cannot be sustained because it cannot be generalised."

Ifølge JSP arbejder *Statistisches Bundesamt Deutschland* ("the German Statistical organisation") på at udvikle et system for Tyskland, der dækker tre hovedfelter:

- The monitor economic system (det traditionelle system der fokuserer på økonomisk aktivitet)
- The physical accounting system (materialestrømme o.lign.)
- A time-based accounting system (der måler befolkningens tidsforbrug – herunder tyskernes tidsforbrug på ikke-betalte aktiviteter)

Sigtet med dette nye system er, at det skal dække de fleste af tyskernes aktiviteter (og altså ikke kun med ensidigt fokus på den økonomiske aktivitet, som tidligere har været dominerende).

C.1.5 Jacob Juul (JJ): The activities regarding material flow indicators at the European Environmental Agency and the European Topic Centre on Waste and Material Flows (ETC/WMF)

ETC/WMF udgør ét af en række europæiske tema-centre. Disse centre arbejder for øjeblikket på at udvikle et sæt af "nøgleindikatorer" ("core indicators"), som vil blive anvendt af EEA ved rapporteringen af "state of the environment" i Europa.¹⁹

På kort sigt er målet at opnå enighed mellem landene knyttet til EEA om et sæt af indikatorer på affald og materialestrømme, som vil blive anvendt af EEA. På længere sigt er målet at udvikle et fælles sæt af indikatorer for hele Europa/EU og – på endnu længere sigt – for EU, OECD m.fl.

ETC/WMF har på baggrund af et studie af en række strategipapirer fra EU defineret tre overordnede politiske mål ("overall policy objectives"). Til hver af de tre overordnede politiske mål har ETC/WMF – på baggrund af en gennemgang af relevante "policy documents" for hver af de politiske mål (lovgivning og strategier) – udviklet et antal "policy questions". Fokus har ved denne gennemgang været på formålet med disse "policy documents", og hvilke mål (kvantitative såvel som kvalitative) disse sætter for udviklingen. Endelig har ETC/WMF til hver af disse "policy questions" knyttet indikatorer. ETC/WMF har udviklet 16 policy questions og et indikatorsæt bestående af 29 indikatorer, som på tidspunktet for workshoppen var til høring hos en række samarbejdspartnere.

De tre overordnede politiske mål indenfor området affald og materialestrømme er:

- Sustainable use of natural resources
- Prevention of waste generation
- Sustainable waste management

ETC/WMF har benyttet følgende kriterier (defineret af EEA) ved bestemmelse og valg af indikatorer for affald og materialestrømme:

- Direct policy relevance
- Relevant to waste and material flows
- Understandable
- Limited in number
- Dependent on data

Sidstnævnte – afhængigheden af data – har vist sig at være et betragteligt problem for udviklingen af realiserbare indikatorer. Datatilgængeligheden udgør derfor en vigtig begrænsende faktor for, hvilke indikatorer ETC/WMF kan foreslå.

Ved arbejdet med at udvikle indikatorer har det vist sig at være nyttigt at udarbejde "description sheets" for hver indikator, som indeholder oplysninger om følgende:

- Navnet på indikatoren
- Hvad er inkluderet i indikatoren?
- Hvilken slags data er nødvendige for at bestemme indikatoren?
- Hvorfra indhentes data?
- Hvad er data-situationen?

¹⁹ Yderligere information om ETC/WMF kan findes på hjemmesiden: <http://waste.eionet.eu.int>

- Dataflow diagram (visualisering af dataflow)
- Tidsplan for udviklingen af indikatoren
- Kriterier for udvælgelse af miljøindikatorer
- Vurdering af data (herunder en vurdering af den udvikling indikatoren viser)

For yderligere information om ETC/WMF's arbejde og første udkast til indikatorsæt henvises til dokumentet: ***Towards a core set of indicators on waste and material flows – Draft paper presenting the core set of indicators prepared by the European Topic Centre on Waste and Material Flows.***

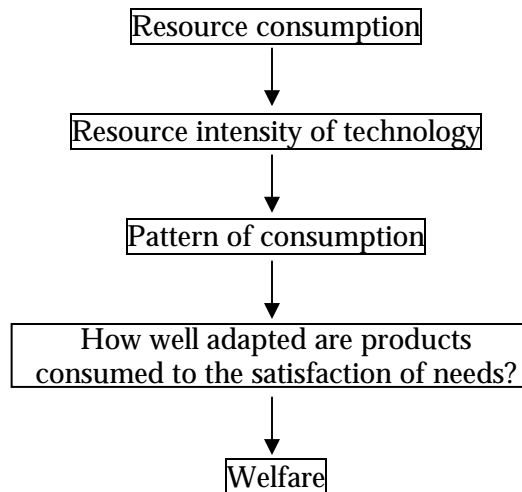
C.1.6 John Hille (JH): Comments on ongoing work on sustainability, indicators, consumption and use of resources from a Norwegian perspective

JH indleder sit indlæg med at omtale nogle af de projekter, han gennem årene har deltaget i, og som har relevans i relation til temaet om materialestrømme. Han nævner i denne forbindelse arbejdet med udgivelsen af bogen ***Sustainable Norway*** (som fulgte i forlængelse af ***Friends of the Earths*** kampagne ***Sustainable Europe***) samt udarbejdelsen af den årlige, norske rapport ***Økologisk Utsyn – Økologiske konsekvenser av Norges økonomiske udvikling det siste år.***

Især sidstnævnte (Økologisk Utsyn) indeholder opgørelser, som ikke direkte kan betegnes som materialestrømsopgørelser (i den forstand at samlede materialestrømme for hele Norge opgøres), men derimod er opgørelser, som baseres på det, JH betegner som ***underrapporterede data***. Herved forstår JH upublicerede, statistiske data, som allerede er tilgængelige, og som kan illustrere udviklingen i ressourceforbrug og ressourceeffektivitet. Brugen af underrapporterede data kan udgøre et supplement til og/eller et alternativ til egentlige materialestrømsopgørelser, hvor sidstnævnte ofte følges af det problem, at der kræves store mængder data, som ofte ikke er tilgængelige.

JH argumenterer for nødvendigheden af at opgøre materialestrømme efter type af materiale (et disaggregeret niveau) – og ikke kun ved opgørelse af ét samlet tal (alle strømme aggregeret). Han henviser til, at stoffers og materialers toksicitet varierer ganske meget, og at en betragtelig del af den samlede materialestrøm for en økonomi udgøres af (relativt) harmløse materialer såsom sten, grus, sand mv.

JH berører også temaet "ressource-effektivitet" og tegner i denne forbindelse følgende figur, som skal illustrere, hvad ressource-effektivitet (målt som "forbruget af ressourcer" pr. "service-enhed" eller "velfærd") er en funktion af:



JH selv har gennem sit arbejde haft særligt fokus på forbrugsmønstre ("patterns of consumption").

I tilknytning til figuren fremhæver JH:

"It is interesting, if we talk about sustainability, to look a bit at these aspects as such, and also at factors that influence both technology [resource intensity of technology] and patterns of consumption. (...) I have suggested a number of things, which might be possible to measure, for example products life time (...), products weight (...) and measures of resource intensity in industries, also split by sectors could be interesting, and things such as relative prices of goods and services."

Med baggrund i sin egen rapport **Hundred effektive år** gennemgår JH for en række ressourcer og typer af forbrug udviklingen i det samlede forbrug og ressource-intensitet. Studiet viser, at selvom ressource-effektiviteten for en lang række af ressourcer har været stigende gennem tiden, er der også en række ressourcer, som har haft konstant eller faldende ressource-intensitet.

Der har ikke i Norge været gennemført egentlige studier af materialestrømme for den norske økonomi, som indregner eksport og import af materiale. Der har dog været enkelte studier af materialestrømme for et mindre antal materialer (fx gennemførte **Statistics Norway** i begyndelsen af 1990'erne et studie af forbruget af tømmer, jern og energi).

JH fortalte også om hans (og Idébankens) arbejde med at beskrive det miljømæssige råderum for byen Stavanger (et projekt affødt af byens arbejde med udviklingen af en lokal agenda 21). Arbejdet tog så vidt muligt udgangspunkt i lokale oplysninger for byen Stavanger (herunder opgørelse af indbyggernes konkrete energiforbrug opdelt på forskellige forbrugskategorier).

Afslutningsvis fortæller JH om sine studier af udviklingen i det norske privatforbrug, og hvorledes viden om denne udvikling kan benyttes til at illustrere vigtige pointer i relation til diskussionen om bæredygtighed. Det er for JH vigtigt at fremhæve, at det er nødvendigt at supplere mere generelle og overordnede indikatorer (såsom indikatorer over materialestrømme) med oplysninger, der kan fortælle noget om de bagvedliggende årsager til udviklingen i de generelle indikatorer. I forhold til dette spiller viden om forbrugets sammensætning og udviklingen indenfor bestemte (især

ressourcetunge) forbrugsområder en vigtig rolle. JH illustrerer dette med en række eksempler på udviklingen i forbruget i Norge over en længere årrække. Heraf fremgår det bl.a., at udviklingen generelt har været karakteriseret ved et dramatisk fald i de reelle priser på forbrugsvarer, mens reelle priser på tjenesteydelser har været stigende. Dette skyldes (blandt flere ting), at produktionen af varer i stigende grad er flyttet udenfor Norge (til lande med lave lønninger), og at produktionen i øget grad er automatiseret. Herved falder priserne på produkter, og dette medfører øget (materielt) forbrug samtidig med, at forbruget af tjenesteydelser falder i takt med stigende priser på disse. Alt i alt resulterer dette i en udvikling med øget resourceforbrug – en ikke-bæredygtig udvikling.

Konkret illustrerer JH forbrugsudviklingen ved udvalgte "indikatorer", som viser udviklingen i den norske bestand af forbrugsgoder såsom mobiltelefoner, vaskemaskiner, opvaskemaskiner, boligareal pr. indbygger etc. JH viste bl.a. følgende tabel, som viser væksten i import af elektriske apparater og andre forbrugsvarer i perioden 1990-2001:

Growth in imports of some appliances in Norway (units)			
	1990	2001	% growth
Washing machines	126	162	29
Dishwashers	57	113	98
Freezers	67	94	40
Refrigerators	134	210	64
Television sets	299	705	136
Radios	618	1044	69
Video recorders	24	279	1065
CD players	96	144	50
Mobile phones	48	1388	2792
Growth in imports of some other consumer goods (tons)			
	1990	2000	% growth
Clothing	37.300	57.600	54
Furniture	101.300	193.506	91
Travel goods	3.800	7.416	95
Toys, games, carnival goods etc.	9.858	15.519	57
Sports equipment	4.148	9.770	136
Cosmetics and toiletries	16.632	27.357	64

JH fremhæver, at brugen af sådanne udvalgte indikatorer har sin styrke ved en høj grad af forståelighed, idet den enkelte borger nemt kan relatere sig selv til tallene (fx stigningen i antallet af mobiltelefoner). Dette står i modsætning til de mere generelle indikatorer for materialestrømme, hvor det er vanskeligt at relatere sine hverdags erfaringer til opgørelser af antallet af flyttet tons materiale. I en efterfølgende kommentar stiller Jacob Juul dog spørgsmålstegn ved, hvorvidt borgere og beslutningstagere reelt kan se en sammenhæng mellem eksempelvis udviklingen i antallet af mobiltelefoner og heraf afledte konsekvenser for miljøet.

C.1.7 Joachim Spangenberg (JSP): The present status in Europe concerning the development of sustainability indicators

JSP fortæller om forskellige internationale institutioners arbejde med at udvikle indikatorer for bæredygtig udvikling, der omfatter materialestrømme:

- I EU-regi er der udarbejdet data bl.a. i forbindelse med EU's ***Integrated policy reporting on economic and social politics*** og arbejdet med udviklingen af en europæisk strategi for bæredygtig udvikling
- United Nations Commission for Sustainable Development (UNCSD): Har udviklet internationale indikatorer, der inkluderer opgørelser af materialestrømme. UNCSD-indikatorerne blev senest opdateret i 2001 og er suppleret med "methodology sheets", der beskriver indholdet af og metoden bag bestemmelsen af disse indikatorer. UNCSD har endvidere udviklet et indikatorsæt, som betegnes CCPP-indikatorer (***Changing Consumption and Production Patterns indicators***). Disse indikatorer, der publiceredes i 1999, omfatter forbruget af energi, materiale og areal og inkluderer input og output forbundet med disse forbrug. JSP anbefaler at kikke nærmere på disse indikatorer
- Eurostat: Det mest fremtrædende Eurostat-projekt indenfor temaet miljø-indikatorer er det såkaldte ***Environmental Pressure Index Project***. Hensigten har i dette projekt været at aggregere den miljømæssige effekt af en række faktorer til et begrænset sæt af nøgleindikatorer

JSP kommenterer, at hovedparten af de oven for beskrevne arbejder i praksis ikke har haft nogen indflydelse på EU Kommissionens arbejde med udviklingen af indikatorer for bæredygtig udvikling (dette gælder eksempelvis også DPSIR-modellen udviklet af EEA).

JSP fortæller om det aktuelle arbejde i EU Kommissionen med udviklingen af et samlet sæt indikatorer for miljø, økonomi og sociale forhold. Dette sæt indikatorer indeholder p.t. 7 indikatorer, der skal dække miljø-aspektet. Der pågår en diskussion om valget af indikatorer og deres funktion, og der foreligger derfor endnu ikke et endeligt udkast. For yderligere oplysninger om EU Kommissionens arbejde mv. henviser JSP til bl.a. dokumentet ***Commission Staff Working Paper: The Lisbon Strategy – Making Change Happen***. Han henviser også til ***Minutes of the Council Meeting in Barcelona*** samt EEA's input til Barcelona-mødet. Sidstnævnte indeholder et interessant studie af EU-landenes indikatorer i dag, og heraf fremgår det, at der er store forskelle landene imellem.

I forlængelse af Barcelona topmødets indikatorer ("Barcelona Summit Indicators") skrev JSP m.fl. et paper, hvori de kritiserede kommissionens arbejde og valget af indikatorer (Spangenberg, J. H. & Hinterberger, F.: ***Post Barcelona – Beyond Barcelona: Recommendations for the integration of Sustainability Indicators***. SERI)²⁰:

"In this paper we said that it is very good that they [the EU Commission] finally begin to integrate the different dimensions of sustainability. But actually they did not integrate them, they added the environmental dimension. But this is a very realistic thing because it reflects the level of integration which is in politics. (...) So what we need now is some immediate improvements of these indicators, for example: We [should] go from the per

²⁰ Paperet kan downloades på:
http://www.seri.at/SERI_next/themes/policy/download/Post_Beyond_BarcelonaEnglish.pdf

GPD units to the absolute units to include a good indicator on resource productivity."

Det er JSP's opfattelse, at på langt sigt må der udvikles indikatorer, som tager et helt andet udgangspunkt end indikatorerne fra Barcelona mødet. "Fremtidens indikatorer" bør baseres på en egentlig integration af bæredygtighedsbegrebets dimensioner og snarere med fokus på **sammenhængen** ("interlinkage") mellem dimensionerne end på dimensionerne hver for sig. JSP uddyber sin pointe ved at tage udgangspunkt i en model, som præsenterer bæredygtighedsbegrebet som et prisme udspændt af fire "hjørner"/dimensioner: det økonomiske, sociale, miljømæssige og institutionelle. Hvor de tre første er velkendte fra Brundtland-rapportens definition af bæredygtighedsbegrebet, repræsenterer den fjerde dimension det institutionelle (herunder temaer som demokrati, politisk deltagelse mv.). Hensigten bag at inddrage det institutionelle som en fjerde dimension er at medtænke magt og politik som en del af bæredygtighedsbegrebet og dermed muliggøre, at spørgsmål om magt og politik kan inddrages i diskussionen om bæredygtighed. JSP opfatter magt og politik som en dimension **i sig selv**, der ikke direkte eller indirekte kan udledes af det økonomiske og/eller det sociale.

I tilknytning til sit "bæredygtighedsprisme" knytter JSP til hver af hjørnerne/dimensionerne aktuelle EU's politiske mål: "Social cohesion" udgør et politisk mål knyttet til den sociale dimension; naturbevarelse knytter sig til den miljømæssige dimension; deltagelse (participation) i beslutningsprocesser knytter sig til den institutionelle dimension; bevarelse af konkurrencedygtighed eller bevarelse af den materielle tilfredsstillelse af behov ("safeguarding the material needs of the population") knytter sig til den økonomiske dimension. I forlængelse heraf siger JSP:

"Unfortunately, for all these objectives, as core orientations, we have policy institutions like ministries. We have a ministry for the economics, for the domestic affairs, social affairs and environmental affairs; but you do not have a ministry for the integration. You have no ministry for resource efficiency or for "justice-distribution". The point is that for sustainability, the most important thing is to make the right compromises or integration on the connecting lines between the different dimensions [af bæredygtighedsprismet]. Everybody is talking about the dimensions but nobody talks about the integration or the interlinkages."

Målet er, for JSP, ikke kun at udvikle en politik, der tager udgangspunkt i sammenhængen mellem bæredygtighedsbegrebets dimensioner, men også at udvikle indikatorer, som kan oplyse om karakteren eller omfanget af integrationen mellem dimensionerne. Med udgangspunkt i bæredygtighedsprismet vil det derfor være nødvendigt at udvikle indikatorer, der ikke blot dækker de fire dimensioner men også de seks relationer mellem dimensionerne.

JSP refererede til en række publikationer, bl.a.:

- Karlsson, S.: ***A Sustainable Baltic Region: Man and Materials Flows***, Chalmers University of Technology, Göteborg University, Sweden
- Bringezu, S. & H. Schütz: ***Total material requirement of the European Union***. Technical Report no. 55 & 56, EEA
- ***Pathways to a Sustainable Future: Results from the Work & Environment Interdisciplinary Project***. Hans Böckler Stiftung, Düsseldorf

- Lorek, S. & J. H. Spangenberg: *Environmentally Sustainable Household Consumption*. Wuppertal paper no. 117

C.1.8 Lennart Emborg (LE): The plans of the National Environmental Research Institute regarding sustainability indicators

LE redegjorde kort for DMU's arbejde med miljøindikatorer og relaterede emner. DMU berører emnet indikatorer ud fra tre vinkler:

- Miljøstatistik: DMU spiller i Danmark en rolle i forhold til at udvikle det statistiske datagrundlag indenfor miljøområdet; herunder forbedre datakvaliteten. Overvejelser om brugen af indikatorer for materialestrømme indgår som en del af dette arbejde
- Kommunikation: Et af målene er for DMU at rapportere om miljøtilstanden mv. på en sådan måde, at det kan forstås og bruges af politikere og andre
- Systemisk tilgang: De enkelte indikatorer skal ses som elementer i indikatorsystemer, der relaterer sig til kausale sammenhænge indenfor fx økosystemer eller systemer, der beskriver sammenhænge mellem miljø- og samfundsudviklingen. Indikatorsystemerne skal samtidig tilpasses til de beslutningsprocesser, som de skal understøtte

Mere konkret behandler DMU spørgsmålet om indikatorer og udviklingen af disse i forbindelse med udarbejdelsen af miljøtilstandsrapporten for Danmark og ved deltagelse i andre projekter med fokus på udviklingen af indikatorer (fx i samarbejde Danmarks Statistik).

Nyligt afsluttede DMU-aktiviteter: DMU har for nylig udgivet en rapport om nationale og internationale miljø-indikatorer og – i samarbejde med Danmarks Statistik – en rapport der omhandler informationsgrundlaget for integreret miljøplanlægning. I sidstnævnte rapport er potentialet for brugen af TMR omtalt. DMU har desuden deltaget i udarbejdelsen af indikatorsættet knyttet til (den tidligere regerings) nationale strategi for bæredygtig udvikling.

Aktuelle DMU-projekter: DMU har nyligt påbegyndt et projekt, der behandler emnet øko-effektivitet. Det er hensigten i dette projekt at angribe emnet gennem begrebsmæssige diskussioner ("conceptual level") og undersøge relevansen af øko-effektivitet som indikator for bæredygtig udvikling. Herunder diskutere begrebets brug på forskellige niveauer (det globale, nationale, sektorielle niveau, for husholdninger o.lign.). En anden dimension af projektet er at diskutere niveauet for aggregering: Hvad er det "rette" niveau for aggregering? Beskriver eksempelvis TMR – brugt som indikator – materialestrømme på et **for** aggregeret niveau.

LE ser muligheder for at udveksle erfaringer mellem DMU's arbejde og nærværende projekt.

C.1.9 Jacob Sørensen (JAS): New Danish study on Income, Consumption and Environmental Deterioration made by NOAH (Friends of the Earth Denmark):

JAS fortæller om erfaringer fra et endnu uafsluttet studie af sammenhænge mellem indkomstniveau og forbrug i Danmark. Projektet er inspireret af John Hille, der i 1996 lavede et tilsvarende studie for Norge. Som udgangspunkt for undersøgelsen har NOAH stillet spørgsmålene: Hvad vil de miljømæssige konsekvenser være af en øget økonomisk ulighed i Danmark (de rige bliver

rigere og de fattige fattigere)? Og hvad vil omvendt konsekvenserne være af en øget lighed?

Med udgangspunkt i data fra Danmarks Statistik, sætter undersøgelsen fokus på forskellige indkomstgruppers faktiske forbrug (opgjort statistisk som forbruget i kroner) indenfor forskellige forbrugskategorier (såsom fødevarer, bolig, transport m.m.). Indkomstgruppernes forbrugsmønstre sammenlignes på tværs, og de miljømæssige konsekvenser forbundet med forbruget forsøges opgjort (fx i form af det relaterede energiforbrug, materialestrømme, beslaglagt areal mv.).

JAS fortalte kort om nogle af undersøgelsens resultater: Det fremgår bl.a. af materialet, at især "forbruget" af transport (og dermed også miljøbelastningen) udviser en stor ulighed, idet rige har et betydeligt større transportarbejde end fattige. Dette antyder, at i et tænkt fremtidsscenario, hvor de rige bliver rigere og de fattige fattigere, vil der ske en betragtelig forøgelse i det samlede transportarbejde (og dermed også i transportens samlede miljøbelastning). Noget lignende vil også kunne forventes i det scenario, hvor alle bliver rigere. Som modbillede hertil fremhæver JAS forbruget af fødevarer, hvor undersøgelsen viser, at forbruget/miljøbelastningen er mere ligeligt fordelt. Man må derfor forvente en begrænset forandring i forbruget af og miljøbelastningen fra fødevarer ved ændringer i indkomstfordelingen.

NOAH forventer at udgive en baggrundsrapport på baggrund af projektet i juni 2002 og et debathæfte til skoler og gymnasier senere på året. Baggrundsrapporten vil kunne læses på NOAH's hjemmeside fra slutningen af juni (på adressen: <http://www.noah.dk/forbrug>).

Bl.a. Joachim Spangenberg kommenterede på projektet: Han pointerede bl.a., at hvis rige belaster miljøet i højere grad end fattige, kan rige mennesker ikke udgøre nogen "rollemodel" for fattige i et miljøperspektiv. I det omfang riges livsstil faktisk udgør en "rollemodel" for fattige kan man derfor spørge, hvordan kan man så sikre, at fattige vil følge et andet eksempel end det, de rige sætter.

C.1.10 Bo P. Weidema (BPW): Can resource depletion be omitted from environmental impact assessments?

BPW fortæller om erfaringerne fra et studie, som BPW udførte for Erhvervsfremme Styrelsen nogle år tidligere.²¹ Studiet satte fokus på, hvorvidt det er relevant at inddrage ressourceforbrug i miljøvurderinger i det hele taget. BPW satte i sit indlæg fokus på relevansen af indikatorer for ressource-udtømmning ("resource depletion").

BPW kritiserer den tilgang, som benytter opgørelsen af ressourcestrømme og -forbrug som en indikator *i sig selv*:

"Material flow or resources as an indicator is not very precise to describe environmental impact or any other specific environmental issue. We have a lot of better indicators for specific environmental issues. What resource and material indicators can be used for is like a very general indicator for unknown

²¹ BPW's indlæg har tidligere været præsenteret som poster på SETACs 3rd World Congress, Brighton 2000.05.21-25. Tekstversionen af denne poster findes på <http://www.lca.dk/publ/resources-postertext.pdf>

environmental problems – and of course they are good indicators for the environmental effects of the extraction process.”

BPW stiller spørgsmålet, om der er behov for en indikator for ressource-udtømmning ("resource depletion") – og hvorfor? Projektet for Erhvervsfremme Styrelsen indledtes med en analyse af, hvorfor ressource-udtømmning kan udgøre et problem, og man pegede på følgende tre årsager:

- Med en gradvis ressource- og materialeudtømmning vil man fremover skulle anvende stigende energimængder på at udvinde ressourcerne
- Udtømmning af irreversible ressourcer (hovedsageligt biodiversitet), som har en meget lang "re-etableringstid" ("recovery time")
- Endelig kan menneskeheden møde en grænse for udnyttelsen af en ressource. Hvad der her har betydning, er ikke det samlede forbrug af ressourcer, men netop grænsen for den ressource, som er begrænset

Det sidste punkt udgør en nøglebetragtning for BPW's oplæg, og han siger bl.a.:

”We have many resources, but what really matters is only the first limit we encounter. [For instance] We do not really care that we run out of gold, if we do not have enough food. So there are some key resources that could be limiting. And the question is, which one will be the ultimate limiting resource – which one will be the one that it is really worth caring about?”

Projektet angreb disse spørgsmål ved at sammenligne tre forskellige typer af arealanvendelse, som basalt set dækker hele menneskeheden behov: Land til dyrkning af fødevarer, land til udvinding af tømmer til fibre (papir) og bygningsmateriale og land til "udvinding" af energi (hovedsagelig solenergi). Som forudsætning for dette scenario sætter BPW, at solenergi i det lange løb vil blive den primære energiform (til erstatning for den fossile energi). Andre materialer vil i princippet kunne produceres, idet energi kan benyttes til at producere materialer i den koncentration, man ønsker.

Ud fra dette forsøgte man i projektet at kvantificere den arealstørrelse, som er nødvendig, hvis alle på kloden opnår samme materielle forbrug som de vestlige, industrialiserede lande. Arealbehovet pr. person fandt man til: 0,24 ha til landbrugsproduktion, 0,25 ha skovareal og 0,35 ha til energiproduktion. BPW sammenligner arealbehovets relative fordeling med den relative fordeling af jordens areal mellem landbrug, skov og andet. Ud fra dette drager BPW den konklusion, at landbrugsareal er den egentlig begrænsede ressource og knytter hertil:

”So basically the conclusion here is: what we have to care about is irreversible depletion of arable land. [...] So my conclusion is that there are actually only two resource indicators that are relevant: The first one is irreversible biodiversity reduction and the second is arable land.”

Joachim Spangenberg efterlyser vand som nødvendig ressource i BPW's præsentation. BPW argumenterer for, at når vand udelades, skyldes det, at der er rigelige mængder af vand på kloden, og at energi kan benyttes til at producere rent drikkevand af havvand.

John Hille gør opmærksom på, at brug af solceller som primær energiproduktionsform vil indebære en kraftig stigning i forbruget af særlige

mineraler og metaller, som derved – i sig selv – kan blive en begrænsende ressource. BPW erkender dette problem, men henviser til, at der kan ske en teknologiuudvikling, som løser problemet.

Kim Ejlertsen spørger til valget af fødevarerammensætning, som ligger til grund for beregningen af det nødvendige areal til landbrugsproduktion. BPW svarer, at man har valgt at tage udgangspunkt i den fødevarerammensætning som karakteriserer de vestlige, industrialiserede lande. Dette indebærer bl.a. – som KE gør opmærksom på – at ved reduktion af forbruget af kød og etablering af en sundere kostdiæt, vil det nødvendige areal til landbrugsproduktion kunne reduceres. KE's kommentar følges op af flere, hvor bl.a. Joachim Spangenberg gør opmærksom på studier, som har vist, at op imod 40% af den udvundne ressource på landbrugsdyrkede arealer går "tabt" på vejen fra jord til bord. Der ligger derfor her et stort potentiale for at udnytte de landbrugsdyrkede arealer bedre.

Karsten Krogh Andersen gør opmærksom på, at substitutionen af ressourcer yderligere komplicerer BPW's fremstilling, idet eksempelvis træ til byggeri kan substitueres med andre materialer.

C.1.11 General discussion

Ole Dall ser flere måder, hvorpå LCA-metoden og -analyser kan bidrage til arbejdet med udvikling og beregning af indikatorer for materialestrømme mv.:

- Ved udarbejdelsen af LCA-metoder og -analyser er der indsamlet omfattende datamateriale for ressourceforbruget ved udvindingen af ressourcer og materialer. Disse data kan benyttes ved beregning af massestrømme
- LCA-studier kan kvalificere TMR-opgørelser, idet LCA-analyser rummer detaljerede data for forbruget af materialer og ressourcer ved produktionen af produkter, og disse data kan benyttes til at opnå større viden om materialestrømme på et mere disaggregeret niveau end TMR
- LCA-studier kan desuden bidrage til en "vægtning" af ressource- og materialeforbrug, som tager højde for effekten af disse forbrug (med hensyn til udtømming af ressourcerne)

Hertil kommenterer Joachim Spangenberg, at han ser et problem i at blande makro- og mikroniveau, som tilfældet ville være, hvis TMR-opgørelser (makroniveau) baseres på livscyklusanalyser af konkrete produkter/processer (mikroniveau).

Bo P. Weidema følger op med at nævne to områder, hvor LCA-analyser kan bidrage:

- Livscyklusanalyser bidrager med en konkret indsigt, som kvalificerer grundlaget for at tage politiske beslutninger. Herved bidrager LCA-metoden til at gøre indikatorer for materialestrømme mere "beslutningsorienterede"
- Livscyklusanalyser tager (i modsætning til MFA-opgørelser) udgangspunkt i en bottom-up tilgang, og kan derfor give mere detaljerede oplysninger om konsekvenserne af de beslutninger, der tages

BILAG D Sammendrag af workshop om materialestrømme mv. (31. oktober 2002)

D.1 Indledning: Workshoppens del tagere, indhold og temaer

Den 31. oktober 2002 afholdtes på DTU den anden workshop i projektet ***Udvikling af indikatorsystem for materialestrømme, ressourceforbrug og -effektivitet samt affaldsstrømme***. Ved workshopen deltog følgende udenlandske eksperter:

- Stefan Bringezu (Wuppertal Institut, Tyskland)
- Helmut Schütz (Wuppertal Institut, Tyskland)
- Helga Weisz (Institute for Interdisciplinary studies of Austrian Universities, Østrig)
- Joachim Spangenberg (Sustainable Europe Research Institute, Tyskland)
- John Hille (Idébanken, Norge)

Desuden deltog: Henrik Wejdling (DAKOFA), Niels Christensen (DMU), Jacob Sørensen (NOAH), Kim Ejlersen (NOAH), Niels Frees (Institut for Produktion og Ledelse, DTU), Pawel Kazmierczyk (European Environment Agency), Caroline Kirkegård (Affaldsteknisk Samarbejde), Henning Jørgensen (Reno-Sam), Ole Dall (COWI A/S), Lone Lykke Nielsen (Miljøstyrelsen), Lone Kielberg (Miljøstyrelsen), Kirsten Pommer (Teknologisk Institut) samt – fra projektgruppen – Karsten Krogh Andersen (Danish Institute for Sustainable Development), Ole Gravgård Pedersen og Karin Blix (Danmarks Statistik), Inge Røpke, Michael Søgaard Jørgensen og Toke Haunstrup Christensen (Institut for Produktion og Ledelse, DTU).

Workshopen havde to temaer: **Formiddagen** bestod af oplæg ved Stefan Bringezu, Helga Weisz og Helmut Schütz. Hovedtemaet for formiddagen var metodologi og datakvalitet. Formiddagen indledtes dog med et mere generelt oplæg ved Bringezu, som talte ud fra emnet ***the concept of material flow analysis, policy relevance and further organisation of international cooperation*** (se afsnit D.1.1). Herefter rettedes fokus mod metode- og datadimensionen af MFA; Weisz talte ud fra temaet ***methodology of physical accounting, data quality and direct accounting*** (afsnit D.1.2) mens titlen på Schütz's oplæg var ***similarities and differences between different kinds of approaches*** (afsnit D.1.3).

Hovedtemaet for **eftermiddagen** var en diskussion af projektets hidtidige resultater. Diskussionen tog udgangspunkt i tre papirer, som var blevet sendt til deltagerne forud for workshopen:

- Discussion paper: MFA – possibilities and problems (Papir 1)
- Development of an indicator-system for material flows, use of resources, resource-efficiency and waste (Papir 2)
- Life cycle-based material flow indicators at product group level (Papir 3)

Papir 1 var udformet som et diskussionsoplæg, hvor en række spørgsmål og problemer blev sat til diskussion, mens papir 2 og 3 præsenterede mere konkrete resultater af projektarbejdet. I fokus for eftermiddagen var de udenlandske eksperters kritik, kommentarer og forslag til de udsendte papirer (se afsnit D.1.4).

D.1.1 Stefan Bringezu: MFA-konceptet, relevans og international samarbejde

Bringezu indledte med en generel introduktion til begrebet materialestrømme og illustrerede dets grundlæggende ide ved den velkendte metabolisme-analogi (hentet fra biologien) for relationen mellem samfund og miljø.

Bringezu sondrer mellem **MFA** og **Economy-wide MFA**. Ved MFA (Material Flow **Analysis**) forstår Bringezu et bredt felt, som strækker sig fra opgørelser af materialestrømsindikatorer på nationaløkonomisk niveau (TMR, DMI etc.) til studier af produkters materialeinput (økologiske rygsække, MIPS mv.). Indenfor dette felt finder man Economy-wide MFA (hvor MFA i denne sammenhæng står for Material Flow **Accounting**), som anlægger et makroøkonomisk perspektiv på materialestrømme (TMR, TMC, DMI etc.). Bringezu efterlyser på dette punkt en mere nuanceret forståelse i papirerne præsenteret ved workshopen. Ifølge Bringezu begås den fejl i papirerne, at MFA forstås som Economy-wide MFA alene.

Mht. indholdet og karakteren af de påvirkninger (impacts) på miljø og sundhed, som er følgevirkninger af materialestrømme, pegede Bringezu på følgende måder at karakterisere disse på:

Toxic, nutritional, mechanical, physio-chemical and structural impacts
Short-term/long-term impacts, direct/indirect impacts, local/global impacts
Predictable/unknown impacts

I forlængelse af dette præsenterede Bringezu følgende relation mellem på den ene side **Impact** (effekter på miljø og mennesker) og på den anden side størrelserne **Volume** (af masse) og **Specific impact**.

$$\mathbf{Impact(s)} = \mathbf{volume} / \mathbf{time} * \mathbf{specific\ impact(s)} / \mathbf{unit\ of\ volume}$$

Bringezu understregede i denne sammenhæng, at det indenfor MFA-terminologien **ikke** er masse eller volumen (absolutte størrelser) der er i fokus – men derimod masse**strømme** ("mass volume per unit of time").

Bringezu skelnede mellem **turnover-based indicators** og **impact-based indicators**, førstnævnte indikatorer udtrykker størrelsen af inputtet af energi, materiale, vand mv. til økonomien/samfundet, mens sidstnævnte udtrykker størrelsen af effekter på miljø og mennesker. Eksempler på impact-based indicators er Global Warming Potential (GWP), Ozon Depletion Potential (ODP), Acidification Potential etc. Bringezu gennemgik desuden en række typer af materialestrømme (med relaterede effekter på miljøet), som han grupperede efter **substances** (fx bly, zink, CFC mv.), **materials** (fx træprodukter, biomasse mv.) samt **products** (fx biler, batterier mv.).

Bringezu bemærkede, at der er en del forvirring omkring begreberne hidden flows, ecological rucksacks, unused og used material flows, direct og indirect flows samt upstream og downstream flows. Med henblik på en afklaring af det for Wuppertal Institutet centrale begreb hidden flows, bemærkede han følgende:

Hidden flows udgøres i Wuppertal Instituttets terminologi af to komponenter:

- **Extraction (unused):** Herved forstås materialer, der ikke indgår i økonomien og som er udvundet indenfor et nationalt miljø (domestic) eller i forbindelse med udvinding af materialer knyttet til importerede produkter.
- **Foreign indirect up-stream material flows:** Herved forstås udenlandske *upstream resource requirements* (brugte ressourcer) forbundet med import af produkter.

Bringezu fremførte endvidere en kritik af *Eurostats* definition af begrebsparret direkte og indirekte strømme, som han finder uheldig og problematisk at anvende i praksis.

Økologiske rygsække refererer alene til materialestrømme forbundet med produktionen af et produkt. Økologiske rygsække anvendes derfor som begreb ved mikro-analyser af materialeforbrug – mens de øvrige MFA-begreber gælder makroperspektivet på den samlede økonomis materialestrømme. Økologiske rygsække omfatter såvel brugte som ubrugte materialestrømme.

Bringezu benyttede følgende kategorisering af MFA-indikatorer efter "type":

- Input indicators (indikatorer med fokus på inputtet af materiale til økonomien)
- Output indicators (indikatorer med fokus på outputtet af materiale fra økonomien)
- Consumption indicators (indikatorer med fokus på de forbrugsrelaterede materialestrømme, fx TMC)
- Balance indicators (physical balance input-output)
- Efficiency indicators (indikatorer der relaterer materialestrømme til fx økonomisk aktivitet)
- Consistency indicators (indikatorer der angiver, i hvilken grad et lands materialestrømme er bragt i overensstemmelse med landets miljø- og naturmæssige "kapacitet"/"tålegrænser")

På baggrund af hidtidige MFA-studier knyttede Bringezu en række kommentarer til ligheder og forskelle mellem landes TMR (og sammensætning af TMR) og sammenhængen mellem TMR og økonomisk vækst.

En relativ afkobling mellem materialestrømme og BNP har fundet sted i en række af de rige lande. Desuden har der været et tilsyneladende (absolut) fald i TMR for USA og Tyskland. Som årsager til dette fald henviste Bringezu for USA's vedkommende til effekten af en effektiv indsats for reduktion af landbrugets jorderosion og for Tysklands vedkommende til en reduktion af den materialeintensive brunkuls-udvinding i det tidligere Østtyskland.

Det er en generel tendens for de rige lande, at der sker en gradvis forskydning mellem domestic og foreign hidden flows, således at foreign hidden flows udgør en *stigende andel* af landenes TMR. Dette gælder eksempelvis for EU-15, hvor foreign hidden flows er steget fra ca. 4700 mio. tons/år i 1980 til ca. 6000 mio. tons/år i 1997, mens domestic hidden flows over samme periode er faldet fra ca. 6500 mio. tons/år til lidt under 6000 mio. tons/år.

Bringezu bemærkede, at **Net Additions to Stock** (NAS) er et centralt begreb for diskussionen om bæredygtighed, idet man – ifølge Bringezu's udsagn – ikke kan forestille sig en bæredygtig økonomi, hvor der sker en stadig akkumulation af materiale (hvor $NAS > 0$). EU-15 studiet viser, at især Sverige og Irland har en høj akkumulation af materiale. Bringezu viste i denne sammenhæng en figur over **akkumuleringen i NAS** for en række lande over perioden 1990-1996. Af figuren kunne det ses, at det akkumulerede NAS for Sverige og Irland over disse seks år udgjorde ca. 165 hhv. 140 tons/capita (svarende til ca. 28 hhv. 23 tons NAS/capita/år). Bringezu nævnte i denne forbindelse, at det høje NAS for Sverige (delvist) kan skyldes, at befolkningen lever forholdsvis spredt, således at der investeres meget i infrastruktur. Til sammenligning var akkumuleringen i NAS for EU-15 som helhed knap 70 tons/capita over perioden 1990-1996 (svarende til ca. 12 tons NAS/capita/år). MFA-studier viser i øvrigt, at størrelsen i det årlige NAS over de seneste år udviser en tiltagende tendens for en række rige lande (bl.a. Sverige, Japan, EU-15 og USA).

Bringezu opridsede det hidtidige internationale samarbejde om udviklingen af MFA. Centralt for det internationale arbejde har stået ConAccount-projektet (siden 1996), projekterne omkring World Resource Institute ("Resource flows" og "Weight of Nations" projekterne) samt Eurostat's arbejde med udviklingen af en metodeguide (som strakte sig over perioden 1999-2000).

Med årene har en række lande indarbejdet MFA-opgørelser som en del af de statistiske rapporteringer. Dette har – ifølge Bringezu – bl.a. været årsag til forskelle landene imellem i forhold til brugen af Eurostat's metodiske anvisninger (forskelle i praksis) og en mangel på ensartethed mht. brugen af koefficienter fx skjulte materialestrømme knyttet til import. Dette vanskeliggør bl.a. sammenligninger af forskellige landes MFA-indikatorer. Som en løsning på disse problemer foreslår Bringezu to ting: Dels etableringen af en **MFA expert group** (som kan arbejde for en harmonisering og videreudvikling af begreber, metode og data), dels etableringen af en **MFA Information Clearing House**, som kan yde teknisk assistance ved de enkelte landes/institutioners arbejde med MFA-opgørelser (herunder også arbejde med udviklingen/forbedringen af datagrundlaget for skjulte strømme mv.).

Kommentarer og spørgsmål til Bringezu's oplæg

Inge Røpke stillede spørgsmålet: Hvorfor benyttes TMR generelt som central MFA-indikator fremfor TMC? Det udsendte debatoplæg (Papir 1) sætter spørgsmålstejn ved TMR som (politisk) relevant indikator i forhold til diskussionen om ansvaret knyttet til forbruget – der argumenteres i papiret for i stedet at benytte TMC til belysning af dette forbrugsansvar.

Til Røpke's spørgsmål bemærkede Bringezu, at han ikke ser valget mellem TMR og TMC som et **enten eller** men som et **både og**. Man benytter begge begreber; TMC refererer til økonomiens "forbrugsdimension", mens TMR refererer til den materielle basis for økonomisk aktivitet. Spangenberg ønskede dog at fremhæve TMR som indikator fremfor TMC, idet TMR kan benyttes til at belyse uligheden mellem rige og fattige lande. Uligheden viser sig i det forhold, at rige lande er "netto-importører" af materiale (hvis indirekte strømme tages i betragtning) og samtidig har overskud på den finansielle samhandel med fattige lande. Med andre ord består uligheden i, at rige lande har økonomisk overskud på samhandlen med fattige lande, mens broderparten af materialestrømmene (relateret til denne samhandel) finder sted i de fattige lande.

I en kommentar til diskussionspapiret (Papir 1) bemærker Bringezu, at TMC (på den ene side) er den mest sigende indikator for lande med omfattende transithandel (som tilfældet er for Holland). Men samtidig (på den anden side) tjener Holland "gode penge" på denne transithandel, hvorfor der kan argumenteres for Holland bør tilskrives materialestrømme knyttet til denne handel (hvilket taler for TMR).

I det hele taget viste diskussionen om TMR og TMC, at der var delte meninger om, hvorvidt TMR eller TMC var at foretrække. Således tilsluttede Hille sig diskussionsoplæggets kritik af TMR's sammenblanding af forbrugs- og produktionsansvaret.

Dall kritiserede den uvægtede sammenlægning af masse, som benyttes ved MFA-opgørelser. Han henviste til LCA-metodernes vægtning af enkeltstrømme i forhold til strømmenes effekter på det omgivende miljø og mente, at MFA-beregninger skulle indarbejde en lignende fremgangsmåde.

I forhold til diskussionen om valg af indikatorer henviste Weisz til, at der politisk efterlyses én "headline indicator" – og valget er her faldet på TMR. Foranlediget af denne bemærkning udspandt der sig en diskussion, som centrerede sig om spørgsmålet: Skal (eller bør) man fremhæve én indikator fremfor andre – eller bør man i stedet satse på et sæt af (mere) disaggregerede indikatorer?

Der blev i diskussionen draget paralleller mellem brugen af TMR i MFA-sammenhæng og BNP i nationaløkonomisk sammenhæng. Et synspunkt (Weisz) bestod i, at BNP i dag – som mål-indikator – spiller en afgørende rolle for fastlæggelsen af den økonomiske politik. I fremtiden kan TMR tænkes at få en lignende rolle ved fastlæggelsen af en "bæredygtighedspolitik". Over for dette bemærkedes det (bl.a. Gravgård Pedersen), at BNP i praksis blot er **én blandt flere** nationaløkonomiske indikatorer, som er bestemmende for den økonomiske politik (andre er fx handelsbalancen). Dette skulle tale for en "flerstrengt" strategi, hvor der i udviklingen af MFA-indikatorer satses på et sæt af indikatorer.

Senere supplerede Weisz med at sige, at hun ikke mente, at headline indicators skulle bruges til miljøpolitisk styring (virke som et styringsredskab), men skal bruges til at vurdere, om udviklingen i et lands materialeforbrug (overordnet) går mod større eller mindre bæredygtighed.

Spangenberg bemærkede, at der i arbejdet med at udvikle MFA som metode er en risiko for at indbygge en metodisk "skævhed" mellem lande og verdensdele. Spangenberg benyttede vand som eksempel: Ofte medregnes vand ikke ved MFA-opgørelser (i overensstemmelse med anbefalingerne fra bl.a. **Eurostat**). Det kan være en rimelig fremgangsmåde for lande, som råder over betydelige ferskvandsressourcer, hvor forbruget af vand ikke i praksis udgør noget problem. Derimod kan denne fremgangsmåde være problematisk for lande, hvor drikkevand udgør en resourceknaphed – her ville det være direkte misvisende ikke at medtage vand. Eksemplet illustrerer, at det ikke er ganske uproblematisk at anvende indikatorer, der er tilpasset én bestemt lokal kontekst, andre steder i verden.

D.1.2 Helga Weisz: Metode og datakvalitet

Weisz satte med sit oplæg fokus på diskussionen af datakvalitet og -usikkerheder (herunder hvilken betydning forskelle i metode har for de opnåede resultater). Hun organiserede sin gennemgang efter de typiske hoved-materialekategorier biomasse, mineraler (herunder industrielle mineraler, mineraler anvendt til byggeri samt malm) og fossile brændsler.

Weisz talte for en pragmatisk tilgang ved arbejdet med at bestemme og udvikle datagrundlaget for MFA-opgørelser. I overensstemmelse med en sådan vil det være fornuftigt at prioritere ressourcerne, således at man overvejende bruger kræfter på at mindske usikkerheden på data for store materialestrømme og tilsvarende gør en mindre indsats mht. data for små materialestrømme. En sådan strategi vil være den mest effektive i forhold til at mindske den samlede usikkerhed på de overordnede (aggregerede) indikatorer, idet effekten af store usikkerheder ved opgørelsen af store materialestrømme er betydelig (og vice versa).

Weisz bemærkede, at usikkerhederne ved MFA-opgørelser er ganske betydelige og derfor vanskeliggør sammenligning (fx af forskellige landes TMR). Løbende forbedringer af datagrundlaget kan endvidere (paradoksalt nok) betyde, at sammenligninger af MFA-indikatorer over tid kompliceres, idet effekten af dataforbedringerne i mange tilfælde kan overskygge effekten af de **faktiske ændringer**, der kan være afledt af ændringer i landets produktion og forbrug. Med andre ord: Usikkerhederne på datagrundlaget (og effekten af ændringer i metode og datagrundlag) vil i en række tilfælde være større end de forskelle, man kan iagttage eller ønsker at bestemme.

Weisz fremhævede i denne forbindelse, at det – givet de nævnte usikkerheder – er det mest fornuftige at opgøre MFA-indikatorerne med længere tidsintervaller end blot 1 år (fx hvert 3. år). Herved bliver effekten af vedvarende tendenser i udviklingen i størrelsen af et lands materialestrømme tydeligere og vil kunne fremstå som signifikante forskelle fra opgørelse til opgørelse.

Der er en række problemer knyttet til bestemmelsen af biomasserelaterede materialestrømme. Bl.a. er der problemer med at finde korrekte data for fodermængder og størrelsen af biprodukter i relation til biomasseudvinding. Weisz nævnte bl.a.:

Biprodukter ved høst: En række lande opgør alene høstudbyttet og medregner ikke mængden af biprodukter (såsom halm). Dette resulterer i en væsentlig underestimering af materialestrømmene for disse lande.

Foder: Ifølge Eurostat-guiden skal foder opgøres som et direkte input, men i praksis er det vanskeligt at finde (pålidelige) data. Det gælder især for græsningsarealer (pastures). Kendskab til størrelsen af græsningsarealer og produktiviteten (produktionen af græs til foder pr. hektar) muliggør dog en grov estimering.

Vandindhold: Ved bestemmelsen af størrelsen af biomasserelaterede materialestrømme har det afgørende betydning, hvilket vandindhold man benytter som udgangspunkt. Eurostat opfordrer til, at man ved opgørelsen af biomasse benytter "frisk vægt" som standard. I en række tilfælde opgøres biomasse imidlertid ved dets "tørvægt", hvilket resulterer i en underestimering.

Til kategorien "minerale" henfører Weisz malm (ores), industrielle mineraler og bygningsminerale (construction minerals). Distinktionen mellem industrielle mineraler og bygningsminerale er primært bestemt ved mineralernes anvendelse. Datatilgængelighed og -pålidelighed varierer:

Ifølge Weisz er datasikkerheden for malm-udvinding relativ høj – men der anvendes forskellige metoder: På området findes *European Mining Statistics*, som dog kun omfatter tal for tiden siden midten af 1980'erne og kun for omkring 10 lande. Hertil kommer at metoden for dataopgørelse varierer fra land til land. Nogle lande bruger faktorer til at medregne de mængder af materialer, der ikke indgår i økonomien, mens andre ikke gør. Det kan betyde, at det samme tal kan optræde med fx både 55 tons og 80 tons.

Ovennævnte forskelle bidrager til metodiske problemer ved opgørelsen af materialestrømme knyttet til udvindingen af malm. Imidlertid udvindes malm kun i begrænset omfang i Europa, hvorfor IFF ikke har lagt væsentlig energi i at udvikle datagrundlaget (jf. den pragmatiske tilgang nævnt indledningsvist i dette afsnit).

For kategorierne industrielle mineraler og bygningsminerale gælder især to problemer: 1) Generelt under-estimerer eksisterende statistiske opgørelser mængden af disse kategorier (særligt hvad angår udvindingen af sand og grus) og 2) statistiske databaser er generelt fyldt med fejl. Især sidstnævnte problem indebærer en del arbejde, idet det er nødvendigt at krydstjekke data fra forskellige databaser for at sikre validitet. Som det mest pålidelige værk på området fremhæver Weisz *European Minerals Yearbook*.

Datakvaliteten er god, om end ikke klar i alle tilfælde. I internationale databaser er der for EU-medlemslande kun data for tiden efter optagelsen i EU. Det betyder fx, at der er et stort spring i opgørelsen for Tyskland efter genforeningen mellem Øst- og Vesttyskland. Problemer med opgørelse af brugte og ubrugte strømme er begrænsede.

Generelt er der for mange materialetyper knyttet store usikkerheder til opgørelsen af skjulte materialestrømme (hidden flows). Disse usikkerheder har bl.a. ført til, at IFF – ved den seneste revision af EEA's/Wuppertal Institutets MFA-opgørelser for EU – har undladt at medtage skjulte strømme.

I forhold til spørgsmålet om, hvorvidt man bør satse på, at MFA-opgørelser for lande udføres af landene selv (decentralt) eller bør ske gennem en international institution (centralt), advokerer Weisz for den decentrale (nationale) løsning. Ifølge Weisz vil dette bevirke, at MFA-opgørelserne bliver bedre og mere præcise (end hvis opgørelserne sker gennem en international institution), da det enkelte lands (statistiske) institutioner har bedst adgang til viden om de konkrete forhold, som gælder specifikt for landet. Imidlertid vil denne strategi sandsynligvis indebære nogen forskelle i metode og fremgangsmåde, hvilket kan vanskeliggøre direkte sammenligning af landenes MFA-opgørelser.

Kommentarer og spørgsmål til Weisz's oplæg

Hille gav Weisz ret i, at der er store problemer med datakvaliteten – ikke mindst for biomasse og sten og grus, men bemærkede at det afgørende må være, om strømme med stor datausikkerhed er miljømæssigt problematiske. Her mente Hille, at biomasse er problematisk, mens det ikke nødvendigvis er tilfældet for sten og grus.

Weisz bemærkede, at IFF ikke medregner hidden flows i deres opgørelser, da datausikkerheden her er endnu større og det samtidig ville betyde, at MFA-opgørelser ville være domineret af "unused extraction".

Spangenberg rejser en diskussion i relation til den metodiske bias og hvilke betydninger denne får for sammenligningen af landes TMR mv.: Ved valget af retningslinjer for MFA-opgørelser foretages en række valg, som kan have afgørende betydning for sammenligneligheden og fortolkningen af forskellige landes MFA-opgørelser. Konkret illustrerer Spangenberg denne problematik med træ, som i de nordeuropæiske lande indgår som et vigtigt materiale i byggeriet. Til forskel herfra anvendes træ kun i begrænset omfang ved byggeriet i de sydeuropæiske lande. Denne forskel indebærer bl.a. at, at der (relativt) anvendes større mængder af bygningsminerale i sydeuropæiske lande end i de nordeuropæiske. Tilsvarende anvendes mere træ i nordeuropæiske lande end i de sydeuropæiske lande. Ud fra en umiddelbar fortolkning af MFA-opgørelser over forbruget af bygningsminerale kan man derfor foranledes til at tro, at byggeriet i Sydeuropa indebærer et større materialeforbrug end det nordeuropæiske. Medregnedes imidlertid forbruget af træ til byggeri, ville man sandsynligvis nå til et andet resultat.

Krogh Andersen foreslog, at man kun regnede biomasse i tørvægt. Weisz svarede, at det havde været overvejet at anvende standarder for vandindhold – fx således at brunkul altid regnes med mindst 50% tørvægt.

Det blev nævnt, at en relevant overvejelse for fx appelsiner er, om man skal medtage det vand, der er medgået til vanding. I MIPS-opgørelser arbejdes altid med tørvægt. Sammenligninger viser at spørgsmålet om tørvægt eller ej betyder en forskel på ca. 9% for DMC og ca. 11% for TMR.

D.1.3 Helmut Schütz: Ligheder og forskelle mellem forskellige tilgange

Schütz mener, at det i fremtiden bør være muligt at sammenligne MFA-opgørelser. Hertil er det nødvendigt at inkludere luft og vand, således at der i højere grad bliver tale om at arbejde med massebalancer. Dette vanskeliggøres af, at der på en række områder er data af dårlig kvalitet. Det gælder bl.a. data for affald, spildevand og diffuse tab.

Supplerende til Weisz's bemærkninger om betydningen af valg af biomassens vandindhold viser Schütz en række opgørelser, hvoraf det fremgår, at antagelsen om vandindhold spiller en afgørende rolle for opgørelsen af biomasse mængden.

Schütz refererer et studie han selv har gennemført, hvoraf det fremgår, at der er store forskelle i resultaterne afhængigt af, hvorvidt opgørelserne baseres på nationale eller internationale data. Selv efter at have krydstjekket data i internationale databaser (for at fjerne de fejkilder Weisz omtalte som et væsentligt problem) kan der være op til 7% forskel mellem MFA-indikatorer baseret på nationale hhv. internationale data. Schütz mener, at der for biomasse og mineralske ressourcer er behov for nationale opgørelser for at forbedre datakvaliteten.

Wuppertal Instituttet har på deres hjemmeside **MIPS-online**, hvor der findes material input (MI) for en række basis materialer og en række byggematerialer. Ligeledes findes der MI for en række produkter og serviceydelser.

Schütz fremhævede, at også transport og infrastruktur giver anledning til materialeforbrug: 17 g pr. tons pr. km til selve transporten og 9 g pr. tons pr. km til infrastruktur. For fødevarer og andre biomasse produkter er det også vigtigt at opgøre hvilken arealtype, der er anvendt og hvor meget jord der er gået tabt. For komælk er tabet af jord således det største ressourceforbrug – sammenlignet med abiotiske og biotiske materialer og vand.

Der er til forbedring af fremtidige opgørelser brug for:

- Specifikke energimoduler, hvor det er muligt at skelne mellem forskellige lande og regioner
- Specifikke transportmoduler – også opgjort efter lande
- Data for koblinger mellem forskellige produktioner, der forarbejder hinandens produkter og spildprodukter, især for forarbejdning af metaller
- Nationale databaser for MFA og LCA eller globale MFA-databaser opdelt efter lande og regioner
- Globale input/output opgørelser

I øvrigt gennemgår Schütz en række datakilder og kvaliteten af disse (herunder nationale og internationale statistikker).

Kommentarer og spørgsmål til Schütz's oplæg

Krogh Andersen bad Schütz om at give et overordnet bud på størrelsen af de usikkerheder, der knytter sig til datagrundlaget for MFA-opgørelser. Schütz fandt det dog vanskeligt at konkludere noget generelt om størrelsen af usikkerhederne. Han mente, at det er nødvendigt, at der i de nationale statistiske opgørelser gøres mere ud af at opgøre "unused extraction".

Som en kommentar til spørgsmålet bemærkede Weisz, at hun planlægger et projekt, som netop skal sætte fokus på størrelsen af usikkerheder knyttet til datagrundlaget. Det ville være godt at komme frem til en enighed om et usikkerhedsniveau for forskellige opgørelser. Det er i øvrigt hendes vurdering, at der til data for skjulte (ubrugte) strømme knytter sig en *stor* usikkerhed.

D.1.4 Kritik og diskussion af udsendte papirer

Eftermiddagens kritik og diskussion af de udsendte papirer bestod hovedsageligt i, at de udenlandske deltagere fik ordet en for en.

Indledningsvis gentog John Hille, at han som MFA-indikator foretrak TMC fremfor TMR (jf. Hille's kommentarer til Bringezu's oplæg; se afsnit D.1.1). Dernæst bemærkede Hille (i en kommentar til Weisz's oplæg), at han ikke delte MFA-folkenes optimisme mht. mulighederne for at opbygge detaljerede, præcise og pålidelige data for skjulte materialestrømme. Hille forholdt sig dermed skeptisk over for ambitionerne for og nytten af MFA-opgørelser i denne sammenhæng.

Hille udtrykte stor interesse for COWI-projektets database over varegrupperes materialesammensætning. Han mente, at disse data kunne være et brugbart input i diskussionen af forbrugets miljøpåvirkning og så gerne, at kendskabet til databasen udbredtes, og at databasen opdateredes i hvert fald hvert 10. år.

Papir 1 (Debatoplægget) sætter til diskussion, hvorvidt man ved MFA-opgørelser bør anvende konkrete (landspecifikke) data for beregningen af materialestrømme knyttet til import af råvarer og produkter – eller om man

snarere bør anvende "verdensgennemsnitlige" tal. I en kommentar hertil bemærkede Hille, at man – ud fra hans vurdering – bør tilstræbe brug af verdensgennemsnitlige tal. Dette begrundede han med to pragmatiske argumenter: Det første argument består i, at man med verdensgennemsnitlige data vil kunne forenkle arbejdet med MFA-opgørelser betragteligt. Det andet argument er af en mere overordnet karakter og kan beskrives ved følgende eksempel: Man kan tænke sig, at Danmark (som er et kul*importerende* land) vælger at skifte fra at importere kul fra et land (en mine) med store økologiske rygsække knyttet til kuludvindingen til et land (en mine) med mindre økologiske rygsække knyttet til udvindingen. Dette vil (hvis MFA opgøres ud fra specifikke data) umiddelbart indebære en forbedring i det danske TMR (og TMC) – hvilket indikerer en reduktion i belastningen af omgivelserne som følge af kuludvinding. Imidlertid vil de internationale markedsmekanismer bevirke (hvis mange lande fravælger kulproduktionen fra steder med store økologiske rygsække) et prisfald på kul fra de lande (miner), der producerer kul med store økologiske rygsække. Som følge af dette prisfald vil andre lande skifte over til at importere kul fra disse (nu billigere) miner, og en balance vil indfinde sig på markedet, hvor der (på verdensplan) reelt ikke er sket en reduktion i den samlede kuludvinding, men blot en *omfordeling* mellem eksportører og importører. Med andre ord: Danmark ville i det tænkte eksempel få godskrevet en handling (skiftet i kuleksportør) som en mijø-mæssig forbedring, uden at dette dog i praksis vil indebære en global forbedring på området – hvilket kan virke paradoksalt. For elektricitet er der tale om et nærmest sammenhængende net, hvorfor det kan være lige så relevant at bruge gennemsnitstal som at bruge nationale tal.

Hille efterlyser indikatorer for det totale energiforbrug. Energiforbruget er et centralt problem (der eksisterer ingen helt "rene" energiformer), og materialestrømme knyttet til energiforbruget bør derfor fremstå mere tydeligt af MFA-opgørelserne.

I en kommentar til Papir 2 (Development of an indicator system for material flows, use of resources, resource-efficiency and waste) bemærker Hille, at det næppe er relevant/interessant at opstille en nøgleindikator for cadmium, der er under udfasning i EU (og dermed gerne skulle nå ned på 0 indenfor en overskuelig fremtid). Mere relevant kunne det være at anvende (forbruget/udledningen) af fx zink. For kemikalier bør strategien være en kombination af specifikke opgørelser for problematiske stoffer og opgørelser for brede kategorier af stoffer. Det samme gælder for materialeforbrug. Her bør fossil brændsel og mineralske ressourcer anvendes som brede kategorier, samtidig med at der udvikles nogle mere specifikke indikatorer.

Hille gjorde opmærksom på, at man i arbejdet med at udvikle indikatorer må være opmærksom på forskellige "politikniveauer". Headline indicators er således én ting (hovedsageligt rettet mod nationalstaten som politisk niveau) – mens fx lokalpolitikere efterspørger andre typer af indikatorer. Ofte er den, der i praksis skal bruge materialestrømsopgørelserne, ikke interesseret i højt aggregerede og generelle indikatorer, men interesserer sig mere for detaljerede (disaggregerede) indikatorer, som "kan bruges til noget".

I en kommentar til en tidligere diskussion af spørgsmålet om, hvorvidt man bør (skal) bestemme et "bæredygtigt" niveau for størrelsen af TMR/TMC, bemærkede Hille: Bestemmelsen af et "bæredygtigt niveau" af TMR/TMC (hvis et sådant niveau overhovedet kan bestemmes) bør ikke være en forudsætning for udviklingen af politiske mål og politisk handling. Det er

tilstrækkeligt at vide, at TMR/TMC skal reduceres, hvis en bæredygtig udvikling er målet.

Joachim Spangenberg mindede om, at intentionen bag MFA er at skabe et overordnet billede af størrelsen af samfundets/økonomiens påvirkning af omgivelserne –og **ikke** at belyse detailproblemer. Der er derfor vigtige begrænsninger mht., hvilken type af problemstillinger MFA-opgørelser kan belyse.

Spangenberg refererede til et europæisk studie, som havde vist, at energiforbrug, materialeforbrug og arealudnyttelse er de tre aktiviteter, som generelt virker som drivkraft bag miljø- og sundhedsproblemer. Det er derfor relevant at sætte fokus på størrelsen af disse tre typer af forbrug som overordnede indikatorer for et samfunds (eller en økonomis) belastning af omgivelserne.

Spangenberg ser et problem i at skelne mellem produktion og forbrug, idet begge udgør centrale elementer af økonomien. Fx bidrager såvel produktionen som forbruget til skabelsen af jobs og dermed til økonomisk aktivitet og vækst. Et ensidigt fokus på forbrugssiden (fx gennem benyttelse af TMC som hoved-indikator) ville således "overse" de miljø- og sundhedsproblemer, der er knyttet til produktionen af produkter (til eksport). Da et lands eksport er med til at skabe økonomisk aktivitet og vækst i landet, bør ressource- og materialeforbrug knyttet til produktionen af produkter/tjenester til eksportmarked derfor tilskrives det eksporterende land. Det er i denne sammenhæng vigtigt at være opmærksom på, at alle flow finder sted for at give anledning til forbrug. Det er således et spørgsmål om bl.a. at sammenligne TMR og TMC.

Den nævnte sondring mellem forbrug og produktion er i Papir 1 (Debatoplægget) knyttet til diskussionen om ansvar, og i forhold til dette bemærkede Spangenberg: For husholdninger er der 10 forbrugsområder, som er vigtige at have fokus på. Bl.a. bolig, ernæring, sundhed og beklædning. I forhold til spørgsmålet om produktions- og/eller forbrugsansvar er det vigtigt at se på hvilken indflydelse forbrugerne reelt har på de forskellige områder. Foruden husholdningernes forbrug bør man – i et forbrugsperspektiv – også sætte fokus på andre aktører (såsom det offentlige/staten), der har betydning for det samlede forbrug. I forhold til samme diskussion stillede Spangenberg spørgsmålet: **Hvem har *hvor meget* ansvar?** Dette er et spørgsmål, som bør underkastes en nærmere analyse og diskussion, men det kan ikke afgøres ved at vælge mellem den ene eller den anden opgørelsesform.

Mht. spørgsmålet om, hvorvidt MFA-opgørelser bør baseres på specifikke eller verdensgennemsnitlige tal for ubrugte strømme mv. er Spangenberg uenig med John Hille, som taler for brug af verdensgennemsnitlige tal. Ifølge Spangenberg vil brug af specifikke tal være at foretrække, idet MFA-opgørelser da afspejler den **reelle** størrelse af de materialestrømme, der knytter sig til det konkrete forbrug. Han sammenligner Hille's synspunkt med det synspunkt, der kunne lyde, at det er uden betydning, om man tager flyveren eller ej, idet flyet jo "ville flyve under alle omstændigheder".

Stefan Bringezu indleder med det synspunkt, at der ikke kun er knyttet usikkerheder til de data, som benyttes som grundlag for MFA-opgørelser. En anden (og vigtig) dimension er forholdet mellem materialestrømme og den miljømæssige effekt af disse; dette felt er underbelyst og er dermed også

præget af "usikkerhed". Bringezu mener, at MFA-indikatorer skal ses som et "groft mål" ("rough measure") for miljøeffektpotentialet knyttet til økonomiens/samfundets ressource- og materialeforbrug. Det afgørende er om usikkerheden i opgørelsen af et materialeflow er mindre end usikkerheden knyttet til om der er tale om en miljøeffekt eller ej.

I sig selv, bemærker Bringezu, er det meningsløst at tale om "den totale vægt" af materialer/materialestrømme. Det interessante spørgsmål er: Den totale vægt **af hvad?** Bringezu taler således for en mere nuanceret tilgang, hvor overordnede materialestrømsindikatorer (såsom TMR og TMC) opdeles i underordnede materialekategorier, som kan belyse de miljømæssige konsekvenser af ressourceforbruget. Det er desuden afgørende, at der foretages systemanalyser – fx ud fra livscyklusperspektivet. Hermed vil det bl.a. være muligt at sammenkoble en række inputs i forhold til en række outputs inden for et beslægtet område.

Bringezu mener, at der – i forhold til diskussionen om MFA – er en række forskellige felter/problemstillinger, som bør tages op til yderligere overvejelse og diskussion. Han nævner selv tre felter: Datatilgængelighed og metodologi, spørgsmålet om politiske mål samt virkemidler. Det er vigtigt, at dataindsamling ikke forsinkes af diskussioner om datausikkerhed. Spørgsmålet om politiske mål er næsten fraværende i de nuværende diskussioner og er meget domineret af eksperter. Med hensyn til virkemidler er det nødvendigt at anvende en blanding af forskellige virkemidler.

Endelige nævnte Bringezu, at der i EU's strategi for bæredygtig udvikling opereres med forskellige indikatorer, der tilsammen skal give et billede af udviklingen. Det gælder bl.a. TMR/TMC, DDMR/DMC og opgørelse af "stock".

I en kommentar til risikovurderingen i Papir 2 stiller Bringezu spørgsmål til graden af individualitet hhv. generalitet, som risikovurderingen er udtryk for: I hvilket omfang er den konkrete risikovurdering udtryk for personspecifikke (individuelle) vurderinger og skøn? Han mener ikke, at man kan vurdere den toksiske virkning alene ved at se på inputsiden. Der er ingen direkte sammenhæng mellem inputsiden og outputsiden. I forhold til papirets udvikling af en indikatorpyramide bemærkede Bringezu, at der allerede er udviklet adskillige sådanne pyramider – bl.a. i EEA-regi. Det vil være godt at se nærmere på EEA's system af top- og underindikatorer.

I tilknytning til papir 3 (LMI-papiret) bemærker Bringezu, at Wuppertal Institutet har gennemført et projekt, som satte fokus på ny informationsteknologi (i et materialestrømspersion). Resultaterne af dette projekt gav dog ikke noget entydigt svar mht. de materialestrømsmæssige konsekvenser af den ny teknologi på det samfundsmæssige niveau, men måske kan der ses effekter på mere disaggreerede niveauer.

I øvrigt finder Bringezu, at MFA-studiet for Danmark "ser godt ud". Det er opgjort på branche/sekter niveau og det kombinerer økonomiske og fysiske opgørelser.

I forhold til diskussion af, hvorvidt man bør benytte TMR eller TMC som "hoved-indikator", bemærker Helga Weisz, at det er nødvendigt at være både pragmatiske og ambitiøse. EU sigter mod at udvælge 5-6 headline indikatorer og én af disse vil sandsynligvis blive en MFA-baseret, som vil "fungere" som

en overordnet og aggregeret indikator for "environmental pressure". Spørgsmålet er, hvilken MFA-indikator der er bedst – og hvorfor?

I forhold til EU's bestræbelser på at begrænse antallet af headline indikatorer til 5-6: Det er formodentligt bedre at have kun én MFA-indikator i kombination med indikatorer for energiforbrug og land-use – sammenlignet med at have flere MFA-indikatorer og ingen for energi og areal.

Ifølge Weisz bør man se aggregerede (overordnede) MFA-indikatorer som et udgangspunkt for at udpege spørgsmål/temaer til videre analyse. Aggregerede MFA-indikatorer kan således benyttes til at indikere, hvor der er noget, der er relevant at studere nærmere.

Det er vigtigt, at et system, der opgør materialeflows for dele af økonomien, er opdelt på samme måde, som de nationaløkonomiske opgørelser, så det er muligt at se, hvor de store flows er.

Weisz finder (med henvisning til MFA-papiret) at det er forkert at snakke om "ansvarlighed" – det er en lidt for naiv betegnelse. Der er adskillige samfundsvidenskabelige tilgange, fx aktør-analyser, der kan belyse spørgsmålet om drivkræfter i udviklingen af materialeflows.

Weisz nævnte, at der kunne være spændende at have en forbrugsrelateret indikator som headline indikator – såsom DMC eller TMC – men mente ikke, at det på nuværende tidspunkt er muligt at "fjerne" den internationale handel fra opgørelserne. Derfor bliver det svært at udvikle en sådan indikator til at være en international headline indikator.

Det er svært at pege på præcise metoder til at analysere MFA-opgørelser. Man må arbejde med mange databaser med store datamængder over materialeflows. Det er et spørgsmål om at kunne se på "det samlede billede" ("the picture") og sammenligne dette med landets miljøproblemer, dets økonomiske opbygning, dets fremtidsmuligheder m.m. Ved hjælp heraf vil det være muligt at generere hypoteser til videre analyse. Det er vigtigt at bruge de landespecifikke tal, fordi det nogen gange er de tal, der for et land ser mærkelige ud, der kan pege på hypoteser til de videre analyser.

Weisz finder risikovurderingen i Papir 2 interessant, men slår til lyd for grundigere overvejelser over spørgsmålet: **Hvem** kan bruge **hvilke indikatorer** og **hvordan**? Det er en god idé at opbygge en indikatorpyramide, som det gøres i papiret. Weisz satte imidlertid spørgsmålstegn ved nødvendigheden af papirets risikovurdering og mente, at man kunne være kommet frem til de samme konklusioner uden en sådan.

Afslutningsvis bemærkede Bringezu, at det er nødvendigt, at vi ser på, hvordan materialeflowene **bør** se ud i fremtiden. For mineralske ressourcer er det nødvendigt med drastiske reduktioner – omkring 90%. For biomasse behøver flowene kvantitativt set måske ikke at blive reduceret, men spørgsmålet om kvalitet er ret afgørende. For affald er det nødvendigt med drastiske reduktioner – omkring 80%. For luftemissioner er det nødvendigt med en reduktion på omkring 30%. Der vil dog ikke kunne ske en reduktion i samme takt som nedgangen i forbruget af ikke-fornyelige ressourcer, da der også kommer en del emissioner fra biomasse.

Spangenberg pegede på den store betydning EUROSTAT's guideline for MFA-opgørelser havde haft for fremdriften i arbejdet. Den har betydet, at der nu er kommet gang i en masse opfølgende arbejde.

msj/ir/thc / 29. november 2002