

# *Materialflyt, resirkulering og økologisk effektivitet for aluminium i Norge*

Jan Ari Christensen, Siv. ing.

Senter for miljø og utvikling, NTNU

## 1 Bakgrunn

Det rettes stadig mer fokus på materialstrømmene i samfunnet, ettersom forbruksvekst og "bruk og kast"-mentalitet fører med seg uønskede avfallsproblemer og utarming av energi- og materialressurser. I nye retningslinjer fra myndighetene heter det for eksempel at metall skal bort fra fyllingene, og i samarbeid med næringslivet opprettes i disse dager materialselskap som får ansvar for innsamling og gjenvinning av flere typer materialer. Fokus har også beveget seg mer i retning produkters og materialers miljøegenskaper, og mot behovet for en helhetlig og systemanalytisk tilnærming når disse skal vurderes. Konseptet industriell økologi er et forsøk på å utvikle et rammeverk nettopp for slike tilnærmelser, hvor hovedfokus ligger på hvordan material- og energibruk i samfunnet kan effektiviseres ved å innta et system- og livsløpsperspektiv ved design av produkter og materialsystem.

Samfunnets forbruk av aluminium er spesielt egnet for systemanalytiske vurderinger. Aluminium er i dag det mest benyttede metall etter jern, og inngår i et bredt spekter av produkter med store forskjeller i levetid, fra emballasje til bygningsmaterialer. Samtidig er metallet interessant i et materialgjenvinningsperspektiv: Fremstilling av aluminium fra råstoffet bauxitt er meget ressurs- og energikrevende i forhold til andre materialer, men ved en høy gjenvinningsgrad kan bruken av metallet forsvares og *foretrekkes* også fra et økologisk synspunkt. Hovedmotivasjonen for dette ligger i kombinasjonen av en høy energigevinst ved resirkulering og spesielle materialeegenskaper som gjør det mulig med gjentatte omsmeltinger uten forringelse av kvalitet.

Denne analysen er et forsøk på å kartlegge materialflyt og miljøeffektivitet i det norske aluminiumsystemet. I det følgende beskrives først bakenforliggende teori og benyttet metodikk, før resultatene fra analysen av system og materialflyt blir beskrevet og deretter diskutert i en diskusjonsdel. Diskusjonsdelen tar også for seg de generelle problemene som oppstod under kartleggingen av materialsystemet, og mulige potensial for effektivisering med basis i en del hovedelementer fra industriell økologi-konseptet.

## 2 Teoretisk fundament

Her gis en kort presentasjon av industriell økologi (IØ) og industriell metabolisme (IM) som bakenforliggende rammeverk for analyse og forståelse av materialflyt gjennom industriell-økonomiske system.

### **Industriell økologi**

Et økosystem kan defineres som "et fungerende samspill mellom det levende samfunnet og det omsluttende miljøet", og i naturen karakteriseres slike systemer ofte gjennom sykluser av vann, energi eller næringsstoffer. Industrielle enheter som er knyttet til hverandre gjennom strømmer av masse eller energi kan analogt ses på som deltakere i et *industrielt økosystem*, og det er en slik analogi konseptet industriell økologi baserer seg på. Det fremstår som et forsøk på å utvikle et overordnet rammeverk for hvordan industrielle-økonomiske system kan gjøres bærekraftige. Inspirasjon hentes fra naturen for hvordan det er mulig å designe komplekse strukturer for utnyttelse av reststoffer fra industriprosesser, samt bevege seg i retning av en mer effektiv *metabolisme*, dvs. tiltak som tar sikte på å minimere faktorer som entropiproduksjon, forringelse av materialkvaliteter og skade på miljøet. Hovedstrategien er lukking av materialsøyfer og overgang til fornybare energikilder, blant annet ved å innta et *system- og livsløpsperspektiv* ved design av produkter og materialsystem.

### **Industriell metabolisme**

Industriell metabolisme (IM) er den analytiske og deskriptive studien av material- og energiflyt gjennom det industrielle systemet, og er derfor et viktig element innenfor industriell økologi. Begrepet "metabolisme" er hentet fra biologien, og refererer til de interne prosessene i en levende organisme som sørger assimilasjon av mat, oppbygging av komplekse molekyler for vedlikehold og vekst, og at energi lagres og forbrukes. Mekanismene i biologiske organismer og industrielle aktiviteter kan på mange måter ses på som parallelle (Ayres 1997). En IM- analyse beskriver hvordan elementene i et industrielt materialsystem er knyttet sammen og påvirker hverandre ved utveksling av masse eller energi, eller med andre ord hvordan industrielle-økonomiske system omsetter og utnytter "næringsstoffene" de avhenger av. Dette skaper et grunnlag for vurdering av effektivitet og bærekraftighet.

Viktige elementer er *materialstrømanalyser* og *termodynamisk teori*. Det fokuseres både på materialsykluser og de fysiske prosessene som omformer materialene ved hjelp av arbeid og energi.

## **3 Metodikk**

Aluminiumsystemet i Norge er komplisert med mange typer aktører og produktsystemer. Før en kvantitativ beskrivelse av systemet (materialstrømanalyse) er det derfor naturlig med en kvalitativ analyse (systemanalyse) for å få oversikt over struktur, aktører etc. Etter kartlegging av system og materialstrømmer kan resultatene vurderes opp mot definerte ytelseskriterer.

### **Systemanalyse**

En systemanalyse går i all enkelhet ut på å bryte et komplekst system ned til håndterbare bestanddeler. Ved en iterativ prosess deles systemet inn i relevante og oversiktlige elementer eller delsystemer, og egenskapene og interaksjonene mellom disse blir beskrevet. På denne måten kan man tidlig identifisere potensielle "flaskehals" i materialsystemet med tanke på gjenvinning og miljøeffektivitet.

Et system defineres i realiteten av hva slags type interessenter eller aktører man ønsker å ta med, og for å forstå dynamikk og forbedringspotensiale vil det også være viktig å kartlegge deres forskjellige motiv og krav til systemet (Asbjørnsen 1992).

### **Materialstrømanalyse**

Materialstrømanalyser brukes som verktøy for å få overblikk over materialflyten gjennom gitte system. Man baserer seg på loven om massebevaring: Masse kan verken oppstå eller forsvinne.

Dette betyr at masse som føres inn i et system enten vil akkumuleres eller finnes igjen i videre materialstrømmer.

Akkumulasjon i et system:	$\text{Akkumulert masse} = \text{masse inn} - \text{masse ut}$
Forbruk i samfunnet:	$\text{Forbruk} = \text{Produksjon} + \text{Import} - \text{Eksport} - \Delta(\text{lager})$

En materialstrømanalyse består reelt sett av en systematisk anvendelse av massebalanser på enkelt-elementer og delsystem (som definert i systemanalysen) for å beskrive det totale systemet (Miljøministeriet 1993).

#### Ytelseskriterier for økologisk effektivitet

Robert Ayres (1997) har utarbeidet alternative metoder for å sette mål på økologisk effektivitet (alt. bærekraftighet), avhengig av hva slags materialsystem man ønsker å analysere:

1. Resirkuleringsgrad	- Resirkulert materiale / Resirkulert materiale + Deponi
2. "Relativ" resirkuleringsgrad	- Resirkulert materiale / Potensielt resirkulerbart materiale
3. "Materialproduktivitet"	- Økonomisk gevinst / Material- eller ressursforbruk
4. Kvalitetsbetraktninger	- Eksergiinnhold pr. vektenhet i forskjellige deler av syklusen.

Kun meget få bruksområder av metallet umuliggjør resirkulering. På grunn av spesielt resirkuleringsvennlige egenskaper kan aluminium på deponi i høy grad sies å være ressurser på avveie. En generell resirkuleringsgrad ble derfor valgt som det viktigste ytelseskriteriet for materialsystemet.

#### Aluminium og resirkuleringsgrad

Optimal resirkuleringsgrad vil derimot alltid være mindre enn 100%. Et materiale vil delvis inngå i produkter som spres og fortynnes så mye i systemet at gjenvinning blir svært ressurskrevende. Disse forholdene kan vurderes ved hjelp av elementer fra LCA-metodikk, hvor utslipps- og energiforhold knyttet til transport og innsamling av skrap kan tas med i betraktningene, men generelt kan man si at energibesparelsene ved resirkulering av aluminiumskrap vil føre til en høy ønsket resirkuleringsgrad. Omsmelting av aluminium til nye produkter koster bare 5% av energien som kreves for å produsere tilsvarende mengder primæraluminium fra bauxitt. En høy resirkuleringsgrad underbygges ytterligere av andre relaterte miljøgevinster ved resirkulering, som reduksjoner i materialforbruk og utslipp til naturen (tabell 1).

Tabell 1 Miljøgevinster ved substitusjon av primærmessall med sekundæraluminium (Naturvårdsverket 1994)

Miljøgevinst, resirkulering	Reduksjon (%)
Utslipp til luft (CO <sub>2</sub> , Fluorider)	95
Utslipp til vann (PAH)	97
Fast avfall ("Red mud", katodeavfall)	98
Forbruk av vann	98

#### Aluminium og kvalitetsbetraktninger / resirkuleringsstrategier

Resirkuleringsgrad alene er et rent kvantitativt mål for den økologiske effektiviteten i systemet, men også kvalitative forhold ved resirkulering vil kunne ha betydning ved vurdering av effektivitet i et materialsystem. Generelt kan man si at det ved forbruk av et råstoff i samfunnet oppstår en

degradering av kvalitet, som termodynamisk kan uttrykkes ved tap av eksergi (Connelly et al. 1997). I følge termodynamikkens lover vil en fullverdig gjenvinning av et material kreve tilførsel av minst like mye energi som den påførte nedgangen i eksergiinnhold etter prosessering og forbruk i samfunnet. Dette forholdet vil blant annet favorisere så korte materialsøyfer som mulig i et materialsystem (Brattebø 1995).

Resirkuleringsstrategier for aluminium kan deles inn i gjenvinning av produkt og gjenvinning av material (Schemme 1994).

#### Gjenvinning av produkt

Her dreier det seg om ombruk av produkter til samme formål eller i et nytt bruksområde, etter eventuell demontering og reparasjon. Denne strategien er den mest fordelaktige med tanke på miljøeffektivitet: Den karakteriseres av en kort materialsøyfe med få prosessstrinn og lite potensial for miljøpåvirkninger.

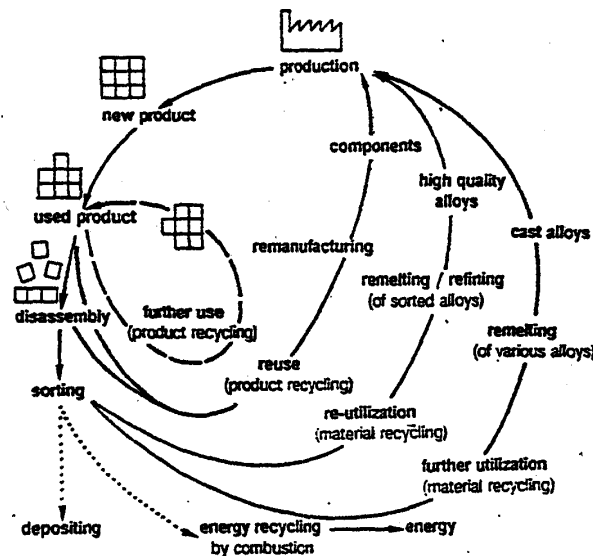
#### Gjenvinning av material

Ren aluminium (99,9%) er meget duktil, og avhengig av bruksområde må metallet legeres opp med forskjellige legeringselementer for å oppnå ønskede egenskaper. Det skilles normalt mellom *smilegeringer* og *støpelegeringer*. På grunn av støpeprosessene må støpelegeringer generelt inneholde en betydelig større andel legeringselementer enn smilegeringer, slik at det ved materialgjenvinning er snakk om to hovedstrategier:

- Omsmelting til samme kvalitet (eks: smilegering til smilegering)
- Gjenvinning til annen kvalitet (eks: smilegering til støpelegering).

Omsmelting til samme kvalitet kan regnes som det mest aktuelle og gunstige alternativet sett fra et økologisk perspektiv, fordi man unngår degradering av kvalitet (evt. "sløsing med eksergi") når skrap smeltes om til produkter med samme legeringsspesifikasjon. I praksis betyr dette at det vil være ønskelig å holde spesielt smi- og støpelegeringer separert i systemet. Ved omsmelting av blandede kvaliteter til støpelegeringer er konsekvensen "downcycling" for smilegeringene.

Strategiene for lukking av materialsyklusen er skissert i fig. 1.



Figur 1. Alternative livsløp for aluminiumsprodukter (Schemme 1994)

Aluminiumets høye *skrapverdi* og gode egenskaper ved materialgjenvinning gjør at ombruk er lite benyttet, selv om dette er den mest fordelaktige i et økologisk perspektiv. Ut fra økonomiske og praktiske hensyn regnes normalt omsmelting til nye produkter som den mest effektive gjenvinningsstrategien.

## 4 Resultater fra system- og materialstrømanalyse

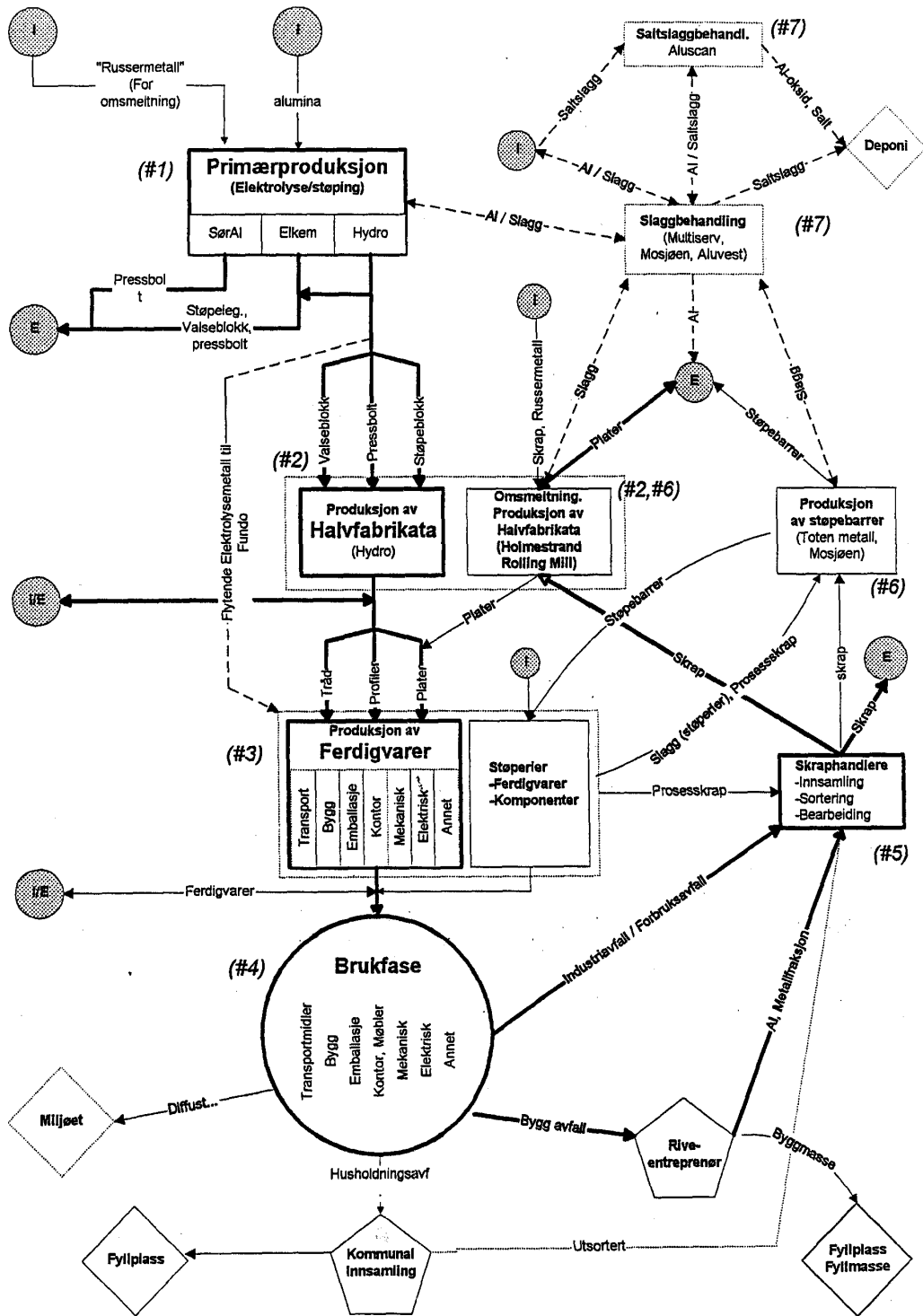
I dette kapittelet beskrives hovedtrekkene ved materialsystemet og de viktigste tallene som kom frem under kartlegging av materialstrømmene.

Den kvalitative *systemanalysen* ble gjennomført ved hjelp av litteratursøk og intervjuer med forskjellige aktører. Figur 2 viser en grov skisse av det overordnede aluminiumsystemet i Norge oppdelte i elementer og underelementer slik det fremstod etter denne fasen. I figuren visualiseres hovedstrømmene av *aluminium* som forbinder elementene med hverandre. Andre materialstrømmer knyttet til syklusen er ikke inkludert (f.eks. legeringselementer, biprodukter som ikke inneholder aluminium etc.).

For *materialstrømanalysen* ble data for produksjon, import, eksport og forbruk for de ulike elementene og enderelementene samlet inn. Forskjellige datakilder ble benyttet under denne kartleggingsfasen:

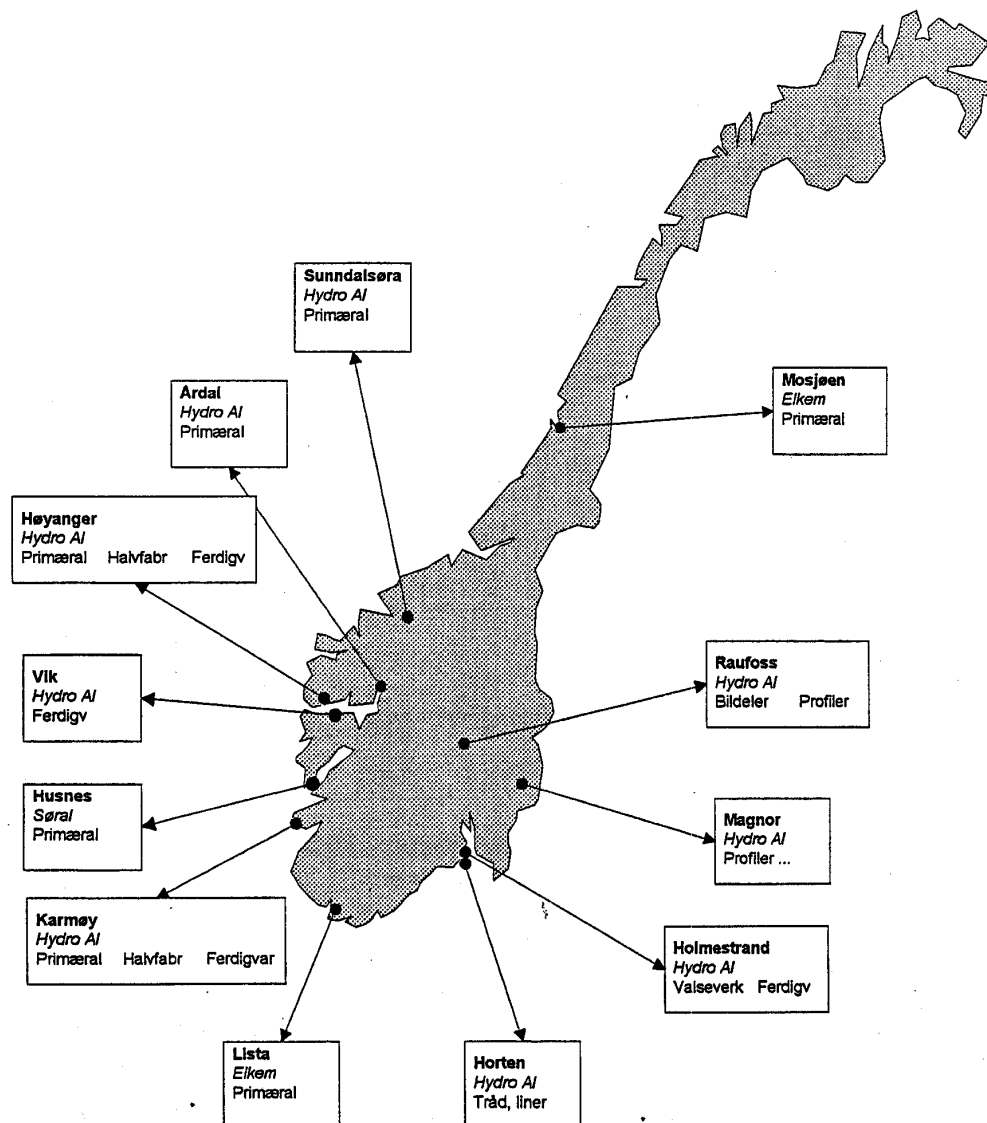
• Statistisk Sentralbyrå	(Utenrikshandel og industristatistikk, diverse statistikker)
• Intervju med aktørene	(Markedsforhold, produksjonsstatistikker)
• Bransjeforeninger	(Markedsforhold, produksjon/import/eksport)
• Litteratursøk	(Eksisterende forbruksundersøkelser og materialstrømanalyser)

1994 ble valgt som referanse, men i utgangspunktet forsøkte vi å dekke et tidsrom så langt tilbake i tid som mulig under datasøket. Det viste seg derimot at det skulle bli vanskelig å sette kvantitative mål på mange av de viktige materialstrømmene i systemet (se diskusjonsdel). I det følgende beskrives de viktigste resultatene, med utgangspunkt i elementene (eller aktørene) slik de er visualisert i figur 2.



Figur 2. Aluminiumsystemet i Norge.

I=import, E=eksport. Tykke linjer indikerer de viktigste materialstrømmene



Figur 3. Plassering av en del hovedaktørene i materialsystemet

### Primær- og halvfabrikataindustri (#1, #2 (fig.2))

Tilgangen på vannkraft la tidlig grunnlag for en omfattende energiintensiv industri i Norge, som i dag har hele 5% av den samlede verdensproduksjonen av primæraluminium. I alt syv primærverk produserer råaluminium ved hjelp av vannkraft og importert aluminiumoksid (figur 3), og disse er fordelt på tre aktører: Hydro Aluminium, Elkem Aluminium og Sør-Norge Aluminium. Søral og Elkem produserer primærmetall for det utenlandske markedet, mens Hydro Aluminium har en integrert halvfabrikatavirksomhet i Norge, hvor deler av produksjonen bearbeides videre for det norske eller internasjonale markedet. En liten andel av primærmetallet går direkte til produksjon av støpte komponenter, som f.eks. ved Hydro Fundos produksjon av bilfjelger for bilprodusenter i Europa.

Tabell 2 og tabell 3 viser de viktigste tallene knyttet til materialstrømmene av primæraluminium og halvfabrikata i 1994.

Tabell 2. Primæraluminium i Norge, 1994.  
(Skandaluminium<sup>1</sup>, SSB<sup>2</sup>, Metalgesellschaft<sup>3</sup>)

	<i>Tonn</i>
Elektrolyseproduksjon (ulegert) <sup>1</sup>	858.000
Import <sup>2</sup>	198.700
Eksport <sup>2</sup>	866.700
Lagerendring <sup>3</sup>	-37.000
<b>Primærmetall til videreforedling i Norge</b>	<b>227.000</b>

Tabell 3. Produksjon og forbruk av aluminium halvfabrikata i Norge, 1994 (tonn)  
(Skandaluminium<sup>1</sup>, bedriftsopplysninger<sup>2</sup>, SSB<sup>3</sup>)

	<i>Plater</i>	<i>Profiler</i>	<i>Tråd</i>	<i>Totalt</i>
Total Produksjon <sup>1)</sup>	117202	43900	<sup>2)</sup> 60168	221270
Import <sup>3)</sup>	14503	9979	5002	29484
Eksport <sup>3)</sup>	105499	22793	46046	174338
<b>Halvfabrikata til videreforedling i Norge</b>	<b>26206</b>	<b>31086</b>	<b>19124</b>	<b>76416</b>

Som det fremgår av tabell 3 gikk rundt 76000 tonn halvfabrikata videre til forbruk i norsk ferdigvareindustri i 1994, hvorav nesten 40% ble dekket av import.

#### Skrapbehandling

Aktørene i denne delen av materialsyklusen opererer på et konkurranseutsatt internasjonalt marked, og kravene til optimal kost- og energieffektivitet i produksjonen er høye. Aluminiumskrapet blir derfor godt tatt vare på pga. energibesparelsene knyttet til omsmelting. Hydro Aluminium satses spesielt på industriell økologi-konseptet, og arbeider bl.a. aktivt med å oppnå så korte materialsøyfer som mulig. Skrap fra halvfabrikataproduksjonen holdes separert og går i lukkede sløyfer tilbake til primærstøperiene for omsmelting, med en gjenvinningsgrad nær 100%. Her blir også skrapets *kvalitet* ivaretatt, da skrap som regel smeltes om til samme legeringsspesifikasjon og bruksområde.

Betydelige skrapmengder går i slik sirkulasjon. I tilknytning til den norske produksjonen av halvfabrikata i 1994 har vi beregnet at ca. 101.000 tonn aluminium gikk til intern omsmelting i systemet (Christensen 1998).

Metallsvinnet ved primærproduksjon og omsmelting ligger på rundt 1% (EAA 1996). Av dette er det meste knyttet til *slagging* i støperiene. Slagget går til ekstern behandling hos slaggseltere (#7), som trekker ut ca. halvparten av slaggtonnasjen som rent metall. Metallkvaliteter (legeringer) holdes separert også i dette systemet, slik at gjenvunnet aluminium kan gå tilbake til de opprinnelige prosessene ved primærverkene. *Restfraksjonen* fra slaggbehandling (salt, aluminiumoksid og mindre mengder metallisk aluminium) går i dag for det meste til kontrollerte deponi.

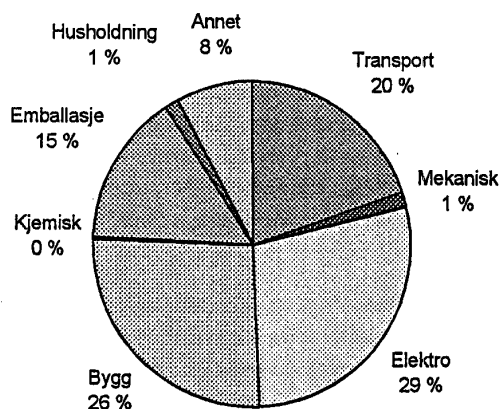
#### Ferdigvareproduksjon (#3)

Sviktende datagrunnlag gjorde at elementet *ferdigvareproduksjon* (#3) i denne undersøkelsen måtte vurderes som en "black box". Det var spesielt vanskelig å finne dekkende data for



materialstrømmens fordeling på forskjellige produksjonssektorer, samt mengdene aluminium som krysser landegrensene som del av importerte eller eksporterte produkter (se diskusjonsdel).

En indikasjon på sektorfordelingen gis av Metalgesellschaft i Tyskland som årlig gir ut såkalte "sluttbruksstatistikker" for halvfabrikata produsert i forskjellige land. Disse statistikkene er basert på innsamlede opplysninger fra aluminiumprodusenter og viser hvordan *innenlandsprodusert* halvfabrikata fordeler seg på forskjellige sektorer. *Importert* halvfabrikata tas med andre ord ikke med. Norske tall for 1992 er vist i figur 4.



Figur 4 Forbruksfordeling av norskprodusert halvfabrikata i sektorer(norske ferdigvarebedrifter), 1992 (Metalgesellschaft 1994).

Det er knyttet noe usikkerhet til tallene, men de kan regnes som gode indikatorer for hvilke forbrukssektorer som er betydelige. Import vil sannsynligvis føre til at sektorene transport og bygg beslaglegger mer av det reelle forbruket. Det produseres f.eks. ikke plater over 4 mm tykkelse i Norge, slik at spesielt skips- og offshoreprodusenter vil måtte basere deler av produksjonen på innførsel fra utlandet.

#### Aluminiumskrap fra ferdigvareproduksjon

Den totale inngående massestrømmen av aluminium (hovedsakelig halvfabrikata) til norsk ferdigvareproduksjon er tidligere estimert til rundt 76000 tonn. Dermed er det mulig å *anslå* størrelsesorden på de resulterende skrapmengdene fra produksjonen. Vi har beregnet at det hvert år genereres ca. 10-11.000 tonn aluminiumskrap i denne delen av aluminiumsyklusen (Christensen 1998). Dette er såkalt *nytt skrap*, eller produksjonsskrap, for det meste rent, kappet materiale med kjent legeringssammensetning som enkelt kan smeltes om igjen til samme type kvalitet. Slikt skrap gir en høy pris på skrapmarkedet og en tilhørende høy resirkuleringsgrad. Noe resirkuleres internt i Hydro-systemet, men de største mengdene går gjennom skraphandlere.

Skrap av smilelegeringer og støpelegeringer holdes generelt godt separert i systemet, men bedrifter sorterer som regel ikke smilelegeringer (plate og profilskrap) etter type med mindre de er større forbrukere av metallet. Plate- og profillegeringer går som regel samlet i container til skraphandlere som sorterer skrapet manuelt. En betydelig andel av smilelegeringene, hovedsakelig valeskrap, går via skraphandlerne til bedriften Holmestrand Rolling Mill for omsmelting til nye valsede halvfabrikata.

#### Forbruk av ferdigvarer (#4)

Manglende informasjon på mengdene importert eller eksportert aluminium som del av ferdigvarer gjorde det vanskelig å estimere sluttforbruket i samfunnet ut fra vanlig materialstrømanalysemetodikk. Ved å relatere til gjennomsnittlige levetider for produktgrupper ville det med et dekkende datagrunnlag vært mulig å estimere mengdene kasserte aluminiumsprodukter fra forskjellige forbrukssektorer i dag og i årene fremover. Det ble i stedet søkt etter eksisterende forbruksstatistikker (norske og nordiske), siden forbruk av aluminium i samfunnet er knyttet til produktene det inngår i, og ikke materialet i seg selv. Det ble valgt å fokusere på materialsystem innen de fire viktigste forbrukssektorene av aluminium: *Bygg, Transport, Emballasje og Elektro*. Her ble det lagt vekt på produkter med høyt aluminiuminnhold og/eller stor gjennomstrømnings-hastighet.

#### Transport

Kun person- og varebiler ble vurdert i denne sektoren, da de største mengdene aluminium går i sirkulasjon i denne produktgruppen. Aluminiuminnholdet i biler har økt betydelig de siste tiårene: I 1975 inneholdt en gjennomsnittlig europeisk personbil rundt 30 kg aluminium, mens det tilsvarende tallet i dag er 60-70 kg (Sellesbakk 1993). Dette betyr at mengdene brukt aluminiumskrap fra denne sektoren vil øke etterhvert som dagens biler når enden av livsløpet. Gjennomsnittlig vrakalder for biler i Norge er for tiden 14 år (OFV 1997).

Innsamlingssystemet for bilvrak består av et nettverk av ca. 130 oppsamlingsplasser og 3 fragmenteringsanlegg. SFT regner med en *innsamlingsgrad* av bilvrak på nær 100% som et resultat av det eksisterende vrakpantssystemet, men bare 75% av disse går til *materialgjenvinning* ved fragmenteringsanlegg i Norge eller utlandet. Dette fører til en gjenvinningsgrad for aluminium på rundt 73% (Christensen 1998). Av totalt 1800 tonn aluminium i innsamlede bilvrak i 1995 ble rundt 1300 tonn gjenvunnet. Av dette inngår noe i aluminiumkomponenter som demonteres ved oppsamlingsplassene og går til ombruk (motorblokker o.l.), men det meste finnes igjen i shredderskrap som sendes til eksport og omsmelting til støpeprodukter i Europa (hovedsakelig komponenter som går tilbake til bilindustrien).

#### Emballasje

En oversikt over emballasjeforbruk i samfunnet blir komplisert fordi store mengder importeres og eksporteres sammen med emballerte produkter (transportemballasje) uten å bli registrert som emballasje. To undersøkelser har blitt gjennomført i Norge for å estimere det reelle forbruket av metallemballasje.

- Matforsk (1994) baserte seg på produksjon-, import- og eksportstatistikker fra SSB, samt i mindre grad innhentede opplysninger fra produsenter og aktører i materialkjeden.
- Miljøverndepartementet (1995) samlet en prosjektgruppe med representanter fra handel, emballasjebrukere, råvareleverandører, emballasjeprodusenter og gjenvinningsindustri, og baserte undersøkelsen på import- og eksportstatistikker og samt industriens egne erfaringer.

Miljøverndepartementets prosjektgruppe behandlet kun forbruksemballasje som tuber, hermetikk og aerosolbokser. Resultatene avviker noe fra Matforsk-undersøkelsen, og vi har valgt å bruke prosjektgruppens tall der dette er mulig da disse virker mest pålitelige (usikkerheter knyttet til SSB Produksjonsstatistikk kommenteres i diskusjonsdelen). Hovedresultater er vist i tabell 4.

Tabell 4 Brukt aluminiumskrap fra emballasjesektoren (<sup>1</sup>Miljøverndepartementet, <sup>2</sup>Matforsk)

	Tonn AL/år
Drikkebokser <sup>1</sup>	250
Skrukork (Ø) <sup>1</sup>	115
Forbruksemballasje <sup>1</sup>	1776
Folie <sup>2</sup>	988
Laminater <sup>2</sup>	1640

Forbruksemballasje og folie har til i dag i sin helhet gått til deponi eller forbrenningsanlegg. En viss andel av drikkeboksene resirkuleres fordi de inngår i systemer med innsamlingsrutiner (flyselskap o.l.), mens noe laminatavfall inngår i resirkuleringssystemet som er opprettet for drikkekartong (fra 1994).

#### Elektrisk og elektronisk avfall

Elektroniske og elektriske produkter favner nødvendigvis meget vidt - Her er det snakk om alle typer varer som fungerer ved tilførsel av elektrisitet. Denne forbrukskategorien omfatter så forskjellige produkter som kaffetraktere, lysarmatur og kabler til e-verkene.

I 1995-96 ble det gjennomført en undersøkelse i Norge over forbruk og avfallsmengder fra produkter innenfor denne kategorien (Miljøverndepartementet 1996,I), som en del av myndighetenes forberedelser for å opprette systemer for innsamling og gjenvinning av EE-avfall. Datamaterialet i underlagsrapporten (Miljøverndepartementet 1996,II) gjorde det mulig å gjøre beregninger spesielt for aluminium.

Totalt oppstår minst 6 400 tonn brukt aluminiumskrap i denne sektoren hvert år, og av dette materialgjenvinnes ca. 25%. Resirkulering skjer innen følgende kategorier:

- Hvitevarer (Ca. 85 % av totalt Al-innhold i produktgruppen shreds og eksporteres)
- Isolerte kabler (Ca. 43 % av totalt Al-innhold gjenvinnes ved kabelgranulering)
- Uisolerte høyspentlinjer av aluminium (Nær 100% materialgjenvinnes ved omsmelting)
- Elektriske motorer og generatorer (Ombruk, shredding ved fragmenteringsanlegg)
- Elektroavfall (Shreds og eksporteres)

Hele 4800 tonn aluminiumavfall går til norske fyllinger og forbrenningsanlegg, som regel som del av komplekskrap.

Over tid kan det spesielt ventes en stor økning av brukt aluminiumskrap fra høyspentledninger. I dag skrotes mindre mengder, men store deler av elektrisitetsnettet i Norge består av aluminiumliner som er i ferd med å nå endt levetid (Hydro Aluminium Conductor 1997)

#### Bygninger

Aluminium brukes sjelden i bolighus på grunn av høye pris i forhold til konkurrerende materialer som PVC og plastbelagt stål. Men metallet har funnet en nisje i nærings- og industribygg, hvor det hovedsakelig benyttes i ytterveggskonstruksjoner som vinduer, dører og fasader. Som regel dreier det seg om "rene" konstruksjoner som lett vil kunne materialgjenvinnes.

Det finnes ingen dekkende tall for norske forhold, men i Sverige har det vært gjennomført beregninger av forskjellige mengder og typer material i bygninger og bygningsavfall (Naturvårdsverket 1996). Byggeskikkene i Norge og Sverige er ganske like med hensyn til materialbruk og type hus<sup>1</sup>, og vi har tatt utgangspunkt i de svenske resultatene for å få indikasjoner på norske forhold. Tabell 5 viser tall for Norge hvis man forenkler og justerer for folketall. Tallene i

den svenske undersøkelsen er i seg selv heftet med usikkerhet, slik at det her ikke dreier seg om annet enn grovt veiledende tall.

Tabell 5. *Estimat for aluminium i bygg (1995)*

	<u>Sverige (tonn)</u>	<u>Norge (tonn)</u>
Totalt innebygd i hus	628000	314000
Mengder til ombygg./renov. (pr. år)	7000	3500
Mengder til nyproduksjon (pr. år)	3000	1500
Skrap fra riving/ renovering (pr. år)	900	450
<i>Deponi, metaller</i>	<i>20-50%</i>	
<i>Materialgjenvinning, metaller</i>	<i>50-80%</i>	

Verdt å legge merke til er den store mengden totalt *innebygd* aluminium i hus sammenliknet med den relativt lille tonnasje som går ut som skrap hvert år. Dette har sammenheng med bygningsproduktenes lange levetid, og at aluminium i denne sektoren ikke kom i særlig utstrakt bruk før etter krigen. Det er derfor grunn til å vente en sterk økning i mengdene brukt aluminiumskrap etterhvert som førstegenerasjons byggeprodukter av aluminium når enden av livsløpet.

På grunn av manglende registrering og en uoversiktlig bransje har det i denne undersøkelsen vist seg vanskelig å si noe om den reelle resirkuleringsgraden i Norge. I intervjuer med riveentreprenører har det kommet frem at det drives forskjellig praksis, spesielt ved riveprosjekter. Ofte eksisterer et tidspress, slik at kun aluminium i større, lett tilgjengelige mengder tas ut. Dette kan være himlinger, takplater og lysarmaturer. Lister og rammer i vinduer og dører går ofte til fylling med knusemassene. I Europeisk sammenheng regnes det med en resirkuleringsgrad av aluminium på ca. 80% (Hydro Aluminium 1993).

#### Sammendrag for forbruksfasen

Tabell 6 gir en oversikt over estimerte mengder aluminiumskrap og gjenvinningsgrad i de vurderte forbrukssektorene. Som allerede kommentert må tallene kun vurderes som grove estimat på grunn av den varierende kvaliteten på datamaterialet.

Tabell 6 *Avfallsmengder og resirkulering av aluminium i utvalgte forbrukssektorer i Norge.*

	<b>Vurdert produktgruppe</b>	<b>Brukt avfall (tonn Al / år)</b>	<b>Resirkuleringsgrad av Al (%)</b>
<i>Transport</i>	Person- og varebiler	1818	73
<i>Emballasje</i>	Forbruksemballasje	2141 <sup>1</sup>	≈0
<i>Elektro</i>	EE-produkter	6410 <sup>2</sup>	25
<i>Bygg</i>	Bygninger	450	80 <sup>3</sup>

<sup>1</sup>Folie og laminater ikke med i mengdetall

<sup>2</sup>Høyspentledninger av aluminium er ikke tatt med

<sup>3</sup>Europeisk gjennomsnitt (EAA)

<sup>1</sup> Det er forskjeller. Det vil f.eks være en større andel boligblokker i Sverige),

### ***Skrapsektoren (#5 , #6)***

I Norge er det registrert 75 anlegg hvor metall mottas og bearbeides i varierende grad (Norsas 1995). Det finnes derimot ingen samlet oversikt over bransjen. Skrapssystemet består av flere småbedrifter som samler inn, bearbeider og selger skrap til større "skrapgrossister". Disse bedriftene bearbeider og omsetter større volum til industri i Norge eller Europa.

Bearbeidingsgrad og -type varierer mellom anleggene, men hovedvirksomheten er sortering/separering, kapping/ fragmentering, og komprimering for transport og gjenvinning av metall ved sekundære smelteverk.

Blandet aluminiumskrap sorteres i den grad det gir økonomisk avkastning (manuelt). Incentivet er den høyere prisen som oppnås for rene aluminiumfraksjoner. Spesielt store kvanta av skrap med homogene legeringsspesifikasjoner sorteres for omsmelting (til samme kvalitet).

Fra skraphandlerne følger aluminiumskrapet tre hovedstrømmer i Norge. Grad av behandling (sortering) og hvor skrapet ender opp avhenger noe av markedsprisene:

#### ***1. Omsmelting til samme kvalitet***

- Produksjon av valsede halvfabrikata ved Holmestrand Rolling Mill. Bedriften oppgraderer ca. 7000 tonn plate- og profilskrap fra det norske markedet (HRM 1997)

#### ***2. Omsmelting til støpelegeringer***

- Produksjon av støpebarrer ved Toten Metallgjenvinning. Bedriften omsatte ca 1600 tonn i 1994 og 2900 tonn i 1996<sup>1</sup> (Toten Metallgjenvinning 1997). Mosjøen Metall produserer også støpebarrer, men her inngår kun meget små mengder brukt aluminiumskrap fra det norske markedet.

#### ***3. Eksport for gjenvinning ved utenlandske sekundærverk***

- Det finnes ingen sekundærmeltere i Norge som behandler blandet aluminiumskrap. På kontinentet finnes en del store aktører som produserer støpeprodukter hovedsakelig for bilindustrien. Alt shreddet skrap, og blandet aluminium skrap generelt, blir eksportert.

## **5 Diskusjon.**

I det følgende gis først en diskusjon av datakvalitet og problemer knyttet til den praktiske gjennomføringen av analysen. Deretter følger en generell diskusjon av effektiviteten i materialsystemet, før en del potensielle tiltak for effektivisering vurderes med utgangspunkt i elementer fra idustriell økologi-konseptet.

### ***Datakvalitet. Problemer med kartlegging av systemet***

For å kunne gi en total vurdering av miljøeffektivitet og forbedningspotensiale i et materialsystem er det ønskelig å ha kjennskap til størrelse og dynamikk knyttet til de viktigste materialstrømmene. Dette var også utgangspunktet da arbeidet med denne analysen ble påbegynt. Det viste seg derimot etterhvert at det skulle bli vanskelig å bestemme størrelsen på flere av de viktigste materialstrømmene. Dette hadde forskjellige årsaker:

---

<sup>1</sup> Noe primæraluminium inngår i denne tonnasjen.

#### *Datakvalitet: Mangelfulle / usikre statistikker*

Et viktig utgangspunkt for datainnsamling er Statistisk Sentralbyrå (SSB), da de samler inn og bearbeider nasjonale data på en rekke viktige områder. Men det viste seg at disse statistikkene i liten grad kunne brukes til våre formål.

SSB Industristatistikk samler informasjon om forbruk av innsatsfaktorer i industrien hvert år, men kun for felleskategorien "metaller". Det publiseres også *produksjonsstatistikk*<sup>2</sup>, men disse blir mangelfulle fordi de bare omfatter bedrifter med mer enn 10 ansatte og er underlagt regler som hindrer offentliggjøring av tall for produkter med tre eller færre produsenter. Med noen års mellomrom foretas også utvidede *materialregnskap* blant større norske bedrifter, som skulle kunne gjøre det mulig å vurdere forbruket av produkter (registrert på varenummer) i forskjellige næringsgrupper. Men her inkluderes bare bedrifter med over 20 sysselsatte, samtidig som statistikkene er preget av generell usikkerhet på grunn av ufullstendig innrapportering og *dobbelttelling* av produkter. Hvis bedrift A produserer komponenter som igjen brukes som innsatsfaktorer i bedrift B, vil det i statistikkene registreres produksjon av to aluminiumsprodukter og *dobbel* tonnasje.

SSB Utenrikshandelsstatistikk viste seg også vanskelig å bruke. Aluminium inngår som nevnt i et vidt spekter av ferdigvarer, hvilket betyr at det er et omfattende og vanskelig arbeide å dekke materialflyten av aluminium over landegrensene. Når det gjelder innførsel/utførsel av rene aluminiumsprodukter finnes dekkende statistikker, men også disse kan være for generelle: Skanaluminium, aluminiumindustriens bransjeforening i Norge, opplyser at skrapstatistikkene i utenrikshandelen er for usikre til å kunne brukes.

#### *Komplisert materialstrøm og mange aktører*

De mange produktene og aktørene gjør det vanskelig å få oversikt spesielt over sluttforbruket av ferdigvarer i samfunnet. Det ble gjort forsøk på å kontakte de største produsentene for å samle informasjon om markedsforholdene, men de fragmenterte markedene gjør at det er få som har oversikt. Flere personer innen aluminiumsindustrien frarådet dessuten en slik metodikk - En kartlegging ville ta mer tid og ressurser enn det som var innenfor denne oppgavens ramme.

#### *Konkurransforhold*

Ofte holder aktørene kortene tett til brystet på grunn av konkurranse på markedet. Dette viste seg spesielt å gjelde grossister og skraphandlere. Som regel var det de største aktørene som viste tilbakeholdenhet med å gi informasjon om mengdene de omsatte. I skrapbransjen har dette sammenheng med aluminiumskrapets høye verdi på markedet og konkurransen mellom gjenvinnerne for å inngå kontrakter med de beste "skrapkildene". Denne hemmeligholdelsen kompliserte arbeidet med analysen i høy grad.

#### *Mangelfull registrering*

I en vurdering av resirkuleringsgrad i aluminiumssystemet er det nødvendig å differensiere mellom *brukt* skrap (kasserte aluminiumsprodukter) og *nytt* skrap (produksjonsskrap). Som regel er det mest interessant å få vite noe mengdene brukt skrap til gjenvinning, siden nytt skrap i stor grad blir tatt hånd om på grunn av høy kvalitet. I den grad det var mulig å få oppgitt aluminiumtonnasje hos gjenvinnere var den normalt ikke inndelt inn etter type.

#### → Konsekvenser for analysen

Materialflyt fra og med primærproduksjon (#1) til forbruk av halvfabrikata i ferdigvarebedrifter (#3) kunne dekkes noenlunde kvantitativt. Mangelen på informasjon gjaldt spesielt eksport og import av aluminium i ferdigvarer, fordeling på forbrukssektorer (#4), og mengdene skrap som faktisk samles inn og bearbeides av skraphandlere/gjenvinnere (#5). Det var med andre ord ikke praktisk mulig

---

<sup>2</sup> Rene aluminiumsprodukter samles i 7600-serien i SSB's varenomenklatur

innenfor denne oppgavens rammer å gi en kvantitativ oversikt over de totale massestrømmene i systemet. Det ble nødvendig å gjøre forenklinger og søke etter alternative fremgangsmåter.

Det sviktende datagrunnlaget gjorde det også umulig å beregne en *total* resirkuleringsgrad for systemet. Dette ville også blitt ytterligere vanskeliggjort fordi man for å kunne beregne *reell* gjenvinningsgrad må kjenne til historiske forbruksdata i de sektorene hvor produkter har lang brukstid.

### **Effektivitet i materialsystemet**

På grunn av det manglende datagrunnlaget må materialeffektiviteten i systemet kommenteres på et noe generelt grunnlag.

Primær- og halvfabrikatproduksjonen i Norge er karakterisert av få aktører med innarbeidede rutiner for skrapbehandling, og material- og energieffektiviteten har vist seg å være høy i denne delen av materialsyklusen. Skrap og avfallstoffer går generelt i lukkede sløyfer internt innen bedriftene eller konsernene. Fra og med ferdigvareproduksjonen fordeles derimot materialstrømmen på et stort antall aktører og produkter, med en tilhørende økning av entropiinnhold i systemet. Små skrapvolum fra ferdigvarebedriftene, ofte med blandet kvalitet, gjør at kun en liten andel av prosessskrapet fra ferdigvarebedrifter føres tilbake til primærleverandørene for resirkulering i lukkede sløyfer.

Dette prosessskrapet er likevel sikret en høy resirkuleringsgrad på grunn av skrapets egenverdi. Markedet for handel med aluminiumskrap er lukrativt, og det eksisterer konkurranse i gjenvinningsbransjen for å inngå kontrakter med de beste skrapkildene. Dette "selvregulerende" innsamlingsystemet ser ut til å virke tilfredsstillende med hensyn til en kvantitativ resirkuleringsgrad, mens det fremdeles er noe å hente når det gjelder det kvalitative -separering av legeringskvaliteter ved kilden. Her må derimot kostnadsperspektiver og nytteverdi tas med i vurderingene. Fra et miljøperspektiv er en høy resirkuleringsgrad det viktigste i første omgang.

Flaskehalsen i systemet er ikke uventet forbruksfasen, hvor ferdigvarene ender opp som brukt avfall etter endt levetid. Dette har sammenheng med den meget store spredningen forbruksvarer utsettes for i systemet, som gjør at innsamling og oppkonsentrering ofte blir kostbart. I tillegg er brukt aluminiumskrap mindre attraktivt enn nytt skrap - Kvaliteten er ofte lavere da det som regel er snakk om blandede aluminiumlegeringer, gjerne iblandet andre typer metallskrap eller forurensninger.

Resirkuleringsgraden avhenger generelt av hvilken form metallet opptrer i. Produkter hvor aluminium inngår i større, homogene komponenter eller konstruksjoner har som regel en høy resirkuleringsgrad (bygg, høyspentledninger), mens aluminium i kompleksskrap (f.eks. EE-avfall) og mindre enheter (emballasje) frem til i dag har blitt gjenvunnet i liten grad. Denne situasjonen er i ferd med å endre seg noe gjennom de planlagte materialselskapene for metallemballasje og EE-avfall. Disse selskapene er ventet å sikre en effektiv innsamlings- og gjenvinningsstruktur for produktgruppene som berøres.

I skrapsektoren sikrer de større skrapgrossistene for den viktigste omsetningen av sortert aluminiumskrap til videre omsmelting. Tendensen er en vridning mot stadig større, færre og etterhvert internasjonale aktører på dette markedet. Dette sikrer en kostnadseffektiv behandling av aluminiumskrapet, men det kan også gi utslag i noe rigide strukturer. Små omsmeltere i Norge kan vanskelig konkurrere i pris med de store aktørene på kontinentet.

Av de tre alternative sluttbehandlingsalternativene for innsamlet aluminiumskrap i Norge vil den beste resirkuleringsstrategien for *smilegeringer* være omsmelting til valsede halvfabrikata ved HRM. Kvaliteten opprettholdes, samtidig som det forbrukes lite primærmetall til oppgradering i

produksjonen. Hvis man tar i betraktning at så mye som 95% av sekundær aluminium i Europa går til produksjon av støpelegeringer (EAA 1996), er det grunn for å si at materiaeffektiviteten i denne delen av materialsyklusen er meget høy i Norge. I underkant av 50% av innsamlet aluminiumskrap (produksjonsskrap og kassert materiale som faller utenom de interne systemene i primær- og halvfabrikata industrien) smeltes om ved Holmestrand Rolling Mill (HRM 1997). En viss andel av dette vil være liografplater av aluminium fra trykkerier, som har en høy gjennomstrømnings-hastighet i systemet.

### Potensial for effektivisering

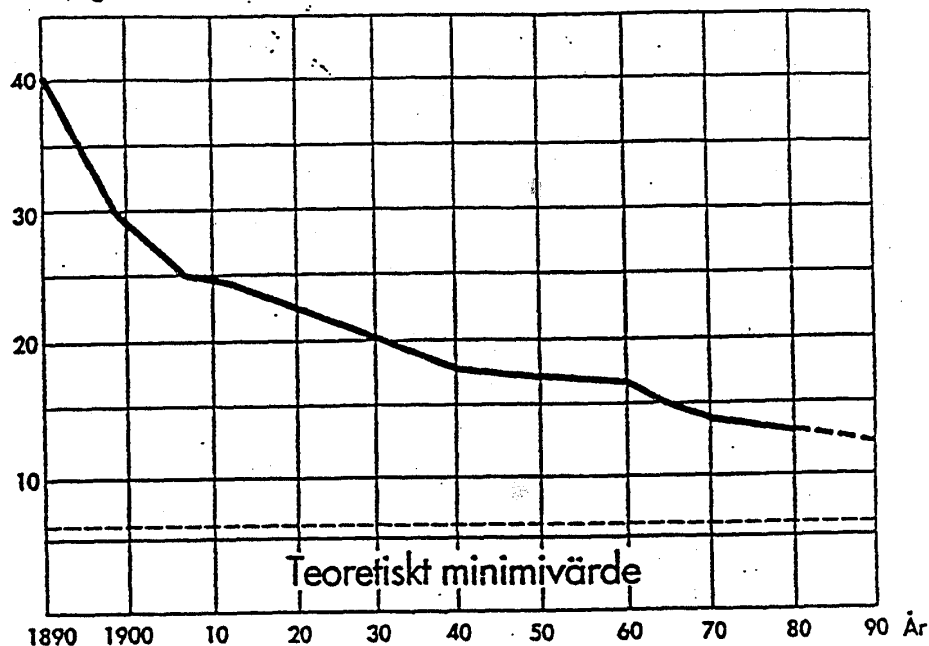
I det følgende tas det utgangspunkt i en del hovedelementer innen industriell økologi for vurdering av mulige tiltak for effektivisering av systemet.

### Forbedring av prosesser (primærproduksjon)

#### Energibruk i elektrolysen

På grunn av energiforbruket er elektrolysen den mest belastende prosessen i systemet. I Norge benyttes *vannkraft* i fremstillingen og produksjonen kan derfor i seg selv kalles miljøvennlig. Norskprodusert aluminium basert på vannkraft kan erstatte aluminium basert på kullenergi i utlandet. Men uansett er det ønskelig å forbruke minst mulig energi i prosessene. En måte å vurdere forbedringspotensiale, er å sammenlikne energiforbruket med en teoretisk minste mengde energi som må til for bryte bindingene i aluminiumsoksidet. Figur 5 viser at det har vært en jevn effektivisering over tid, og at man er i ferd med å nærme seg et minimum. Det er følgelig lite forbedringspotensial med tanke på energibruk generelt. I Norge er derimot 42% av elektrolysekapasiteten basert på eldre søderberg-teknologi, som er mindre energieffektiv enn den nyere prebake-teknologien.

Elförbrukning, likström  
kWh/kg Al



Figur 5. Energiforbruk ved elektrolysefremstilling over tid. (Naturvårdsverket 1994)



#### Reduksjon av utslipp fra elektrolysen

Et annet aspekt ved elektrolyseprosessen er forbruket av kull til anoder. På grunn av dette forbruket står norsk aluminiumsindustri for så mye som fire prosent av Norges CO<sub>2</sub>-utslipp. Det ville vært en enorm fordel om en konsumerbar anode kunne skiftes ut med en såkalt inert elektrode, som ikke forbrukes og heller ikke avgir uheldige gasser. I dag forskes det i flere fagmiljøer for å utvikle en slik elektrode.

#### Resirkulering

##### Kortere / mer effektive materialsøyfer

Skrap fra ferdigvareproduksjonen blir allerede tatt vare på og gjenvunnet ved hjelp av innsamlingssystemet. Det er derimot mulig å gjøre materialsøyfen kortere hvis produsentene av halvfabrikata leverer tilpassede dimensjoner til ferdigvareproduksjon. Som regel leveres for eksempel profiler i standard lengder på 6 meter. Ved å levere i ønskede dimensjoner kan kapp gå i de integrerte skrapstrømmene tilbake til primærverkene i stedet for å ende på skrapmarkedet og muligens utsettes for nedgradering ved blanding med annet skrap.

##### Resirkuleringsvennlig design

Design av lett demonterbare produkter. Spesielt vil dette kunne være viktig for produkter hvor det inngår forskjellige typer material, for eksempel for bildeler eller EE-produkter. På denne måten kan man stimulere til bruk av den mest miljøvennlige gjenvinningsstrategien, nemlig ombruk av produkter eller komponenter i stedet for omsmelting.

Et annet moment er at det finnes et utall legeringer til forskjellige bruksområder. Færre legeringstyper (og metaller) i produkter vil gjøre omsmelting uten degradering av kvalitet mindre komplisert.

##### Bruk av biprodukter som innsatsfaktorer i annen type industri:

Det finnes et marked for aluminiumoksid i slaggesten som i dag hovedsakelig går til deponi.. Bedriften *Aluscan* har spesialisert seg på å utnytte de siste restene av aluminium i sekundært saltslagg, og har om ikke lenge planer om også å nyttiggjøre aluminiumoksidet. Aluminiumoksid brukes som deoksidant i jernindustrien, og gir god avkastning på det internasjonale markedet. (Aluminiumoksid er også selve råstoffet ved elektrolyseprosessen). Her har man et godt eksempel på en aktør som har funnet seg en "nisje" i markedet og utnytter et stoff som ellers vil gå tapt på deponi. Det er med andre ord potensial for ytterligere effektivisering av skrapbehandlingen fra primærindustrien.

##### Prosesser

Blandet aluminiumskrap f.eks. fra shredding går i dag hovedsakelig til eksport og gjenvinning ved sekundærverk som produserer støpelegeringer. Manuell separasjon av slikt skrap er ineffektivt og lite aktuelt. Metallgesellschaft AG har utviklet en automatisk sorteringsteknikk som analyserer atomspektre ved å la en laserpuls evaporere deler av overflaten på skrapfragmentene (Schemme 1994). På denne måten er det mulig å differensiere mellom fire smilegeringer og fire støpelegeringer, og tillater en omsmelting til samme kvalitet også for denne typen skrap.

#### Organisatoriske elementer

##### Produsentansvar

Produsentansvar er allerede i ferd med å innføres gjennom de planlagte materialselskapene for metallemballasje og EE-avfall. Produsenter og importører får ansvaret for en forsvarlig sluttbehandling etter forbruk av produktene de fører. Ved at driften skal finansieres ved hjelp av

vederlag (belastes konsument) blir det også snakk om en riktigere prising av produktene: Miljøkostnaden inkluderes.

Tabell 7. *Materialselskap og målsetninger.*

	<i>Materialselskap</i>	<i>Målsetning</i>
<i>Drikkebokser</i>	Norsk Resirk	90% material-gjenvinning
<i>Forbruksemballasje</i>	Materialselskapet for metallemballasje	60% material-gjenvinning innen 1999
<i>Drikkekartong</i>	Norsk Returkartong	60% gjenvinning (generelt) innen 1997
<i>EE-avfall</i>	Materialselskapet for EE-avfall	80-100% gjenvinning (generelt)

Ren aluminiumsfolie kommer ikke til å komme inn under noen av de planlagte innsamlings-systemene for emballasje (tabell 7). Det blir regnet som mer samfunnsøkonomisk å energigjenvinne denne fraksjonen i forbrenningsanlegg. Innsamlet emballasjeskrap (valselegeringer) vil i fremtiden inngå i produksjonen ved Holmestrand Rolling Mill, mens aluminium fra EE-avfall hovedsakelig vil inngå i shredderavfall til behandling i utlandet.

#### Miljøavgifter

Sauar (1997) beskriver en type skattelegning på energibruken i industrien som skaper incentiv for å effektivisere prosessene. Systemet baserer seg på beregning av hvor mye energi som er *nødvendig* i produksjonen, og en skattlegging av unødvendig energibruk over dette nivået. Dette vil motivere til forbedringer og effektivisering i produksjon, *samtidig* som konkurranseevnen ikke svekkes for bedriftene på et internasjonalt marked. Overfor primærprodusenter av aluminium vil for eksempel figur 5 gi en indikasjon på hva som kan regnes som realistisk å skattelegge.

#### Lovgivning

Det har ikke eksistert lover eller forskrifter som direkte regulerer håndtering av metallskrap i Norge. For aluminium har oppfatningen vært at markedskreftene selv vil stimulere til en høy resirkuleringsgrad på grunn av skrapets høye egenverdi. I arbeidet med denne analysen har det kommet frem at det spesielt i byggsektoren eksisterer forskjellig, og ofte ikke tilfredsstillende, praksis ved riveprosjekter. Det er også i denne sektoren man kan vente den mest markerte økningen i mengdene aluminiumskrap i årene som kommer. Det vil være viktig å ha en struktur som sikrer effektiv innsamling og resirkulering.

Miljøverndepartementet har delegert myndighet til enkelte kommuner å utarbeide egne forskrifter for kommunal styring av produksjonsavfall, som også omfatter avfall som fra byggprosjekt. Oslo kommune har som første kommune i landet vedtatt en forskrift som regulerer behandlingen av byggavfall: Gjenvinning og gjenbruk skal ut fra en samfunnsøkonomisk vurdering prioriteres foran forbrenning og deponi. Sortering skal pålegges, og entreprenørene skal kunne fremvise detaljerte avfallsplaner ved bygg- og riveprosjekt. De nye byggeforskriftene ble innført i Oslo juli 1997, og skal ha resultert i betydelige reduksjoner i avfallsmengdene til deponi. For å sikre en høy gjenvinningsgrad av aluminium i denne sektoren vil det være viktig å introdusere forskrifter på linje med de som er innført i Oslo også i resten av landet.

#### Informasjonsflyt

Materialsystemet er komplekst, og generelt er det meget liten kunnskap om materialflyten i enkelte av elementene. Dette gjelder spesielt for eksport og import av aluminium som del av ferdigvarer og

det som skjer i skraphandlervirksomheten. Hvis systemanalyse skal brukes effektivt for å effektivisere systemet, bør det være mer *åpenhet* og registrering knyttet til de forskjellige materialstrømmene. SSB er for tiden i gang med etablering av materialstrømsanalyser for forskjellige typer material i Norge, og det er mulig at slik fokusering kan åpne for bedre rutiner for registrering og informasjonsutveksling i fremtiden.

Det kan også synes som det er en viss mangel på generell informasjonsflyt i deler av systemet. Noen av de kontaktede ferdigvarebedriftene hadde ikke kjennskap til at det var en gevinst knyttet til det å holde legeringer separat.

#### Substitusjon

Hvis man ser de forskjellige *materialsistem* i samfunnet under ett, vil man også kunne vurdere selve bruksfasen med hensyn til bærekraftighet. Aluminium kan for eksempel substituere kopper i de fleste elektriske ledere. Tabell 8 viser forskjellige mål (indekser) på bærekraftighet ved bruk av en del metaller i teknosfæren.

Tabell 8. Antropogene lagre og materialflyt av metaller (Holmberg 1995)

Element	Amount in Continental Crust Tton	Static Reserve Life (Year) <sup>a</sup>	Static Sink Life (Year) <sup>b</sup>	Global Future Contamination Index (FCI) <sup>c</sup>	Global Mining Index (GMI) <sup>d</sup>
<b>Abundant metals</b>					
Aluminium	1200000	220	2400	0.01	0.02
Iron	720000	120	29	1.0	1.4
Titanium	82000	70	710	0.02	0.06
Magnesium	15000	9500	15000	<0.01	<0.01
<b>Scarce metals</b>					
Zinc	1200	21	4.9	6.9	8.1
Chromium	1200	100	2.5	2.6	16
Nickel	920	55	13	2.0	3.0
Copper	760	36	1.7	23	24
Lead	200	20	3.4	19	12
Molybdenum	17	50	5.3	4.2	7.5
Cadmium	8.3	27	11	3.0	3.8
Mercury	1.2	25	10	17	3.8

<sup>a</sup>Static Reserve Life is the number of years the economically extractable material in the reserve base will last with present mining rate.

<sup>b</sup>Static Sink Life is the number of years it should take to double the amount of the metal in the top soil layer (to 0.2m depth) of land used for the technosphere if all mined metal should be spread there. Vitousek et al [1986] call this 2 million km<sup>2</sup> area 'the human area'.

<sup>c</sup>Future Contamination Index is the ratio of accumulated global mining to the natural abundance of the same metal in the top soil layer of land used for the technosphere [Wallgren 1992].

<sup>d</sup>Global Mining Index is the ratio of global mining to global weathering.

SOURCES: Crowson 1992, Wallgren 1992, Nriagu 1990, Sposito 1989, Skinner 1987.

Indeksene er beregnet ut fra materialmengdene som finnes i naturen og de totale mengdene som er trukket ut og sirkulerer i samfunnet (her inkluderes med andre ord ikke energiaspektet). Det kommer frem at aluminium og magnesium generelt kommer best ut på grunn av de store forekomstene i naturen, mens kopper befinner seg helt i den andre enden av skalaen. Med andre ord vil det være ønskelig å substituere kopper med aluminium i en så høy grad som mulig for å gi en høy bærekraftighet i det *totale* systemet.

Et annet aktuelt aspekt knyttet til aluminium og substitusjon er energibesparelser. Substitusjon for stål i biler eller emballasje fører vektbesparelser og redusert energibehov ved transport. Effekter av en slik substitusjon må vurderes ut fra livsløpsanalyser (LCA), men anses generelt å være fordelaktig i praksis.

#### Energibetraktning for personbiler (Hydro Aluminium 1993)

Bruken av 100 kilo aluminium vil normalt kunne erstatte 200 kilo stål. Vektreduksjonen på 100 kg vil redusere bilens bensinforbruk med ca. 0,05 liter pr. mil, eller rundt 5 liter bensin for hver 1000

kilometer bilen kjører. Hvis man regner med at bilen kjører 15.000 km i 10 år, vil bensinforbruket reduseres med ca. 750 liter - som tilsvarer en energimengde på rundt 7.500 kWh. Men hvis man antar at ståldelene erstattes av 100 kg *primær*aluminium, må man trekke 2.000 kWh fra denne energibesparelsen (tilsvare ekstra produksjonsenergi i forhold til stål). Nettogevinsten blir da 5.500 kWh. I Europa resirkuleres derimot rundt 85% av aluminiuminnholdet i biler, slik at den reelle energigvinsten vil være betydelig høyere.

## 6 Konklusjon

Store deler av aluminiumsystemet i Norge viser høy økologisk effektivitet etter prinsipper innen industriell økologi og industriell metabolisme. Det finnes systemer som samler inn og behandler aluminiumskrap på en tilfredsstillende måte for elementer i materialsyklusen fra primærproduksjon til og med ferdigvareproduksjon. "Flaskehalsen" i systemet er forbruksfasen, hvor det i dag er knyttet en lav resirkuleringsgrad til produkter i to av de undersøkte forbrukssektorene, emballasje og elektronisk og elektrisk avfall. Med etablering av materialselskap og de kravene som knytter seg til dette forventes resirkuleringsgraden i disse delsystemene å øke betydelig.

Det kan ventes markert økte skrapmengder av aluminium fra bygg, elektro- og transportsektoren i årene fremover. Spesielt i byggsektoren er det viktig med et etablert og effektivt gjenvinningssystem i fremtiden.

Under arbeidet har det kommet frem at de største hindringene mot effektivisering fra et systemanalytisk ståsted er manglende informasjonsflyt og registrering av kvalitetssikrede data for kvantitative mengder i systemet. En viktig oppgave for myndighetene i samarbeid med aktørene i bransjen vil i denne forbindelse være utvikling og etablering av rutiner for materialregnskap og registrering for viktige materialer.

## Referanser

Asbjørnsen, O.A. (1992): *Systems engineering principles and practices*, Skarpoed, Arnold Maryland, USA

Ayres, R. (1997): *Industrial Metabolism: Work in progress*, INSEAD, Fontainebleau, Frankrike

Brattebø, H. (1995): *Industrial Production and Sustainability, A conceptual framework for making environmental improvements in industry*, Rapport nr. 4/95. Senter for Miljø og Utvikling, NTNU, Trondheim

Christensen, J.A. (1998): *Materialflyt, resirkulering og økologisk effektivitet for aluminium i Norge*, Hovedoppgave, Inst. for geologi og bergteknikk, NTNU, Trondheim

Connelly, L. and Koshland, C. P. (1997): *Two aspects of consumption: using an exergy-based measure of degradation to advance the theory and implementation of industrial ecology*, Resources, Conservation and Recycling, nr 19

EAA - European Aluminium Association (1996): *Environmental Issues in the Aluminium industry*. Informasjonshefte, Brussel

HRM (1997): Tore Hybertsen, Personlig telefonsamtale, høsten 1997

Hydro Aluminium (1993): *Aluminium og økologi*. Informasjonshefte.

- Hydro Aluminium Conductor (1997): Gunnar Andersen, personlig telefonsamtale
- Holmberg, J. (1995): *Socio-Ecolocial principles and indicators for sustainability* Institute of physical Resource Theory, Göteborg
- Matforsk (1994): *Kartlegging av emballasjeforbruket i Norge i 1991*, Norsk Institutt for Næringsmiddelforskning, Ås.
- Metalgesellschaft AG (1994): *Metalstatistiek*. Frankfurt am Main. Tyskland
- Miljøverndepartementet, (1995): *Innsamling og gjenvinning av emballasje av aluminium og stål*, Rapport fra prosjektgruppe.
- Miljøverndepartementet (1996, I): *Innsamling og behandling av avfall fra elektriske og elektroniske produkter*, Rapport T-1135
- Miljøverndepartementet (1996, II): *Elektrisk og elektronisk avfall. Omsetningstall, avfallsmengder og håndtering*. Underlagsrapport utarbeidet av Hjeltnes COWI, Oslo.
- Miljøministeriet i Danmark (1993): *Paradigma for massestrømsanalyser*, Arbejdsrapport 57
- Naturvårdsverket i Sverige (1994): *Viktiga materialflöden. Förutsättningar för aktionsplaner*. Rapport 4384
- Naturvårdsverket i Sverige (1996): *Kartlegning av materialflöden - inom bygg- och anleggningssektorn*, Rapport 4659
- NORSAS (1995): *Sortert avfall - marked og aktører*, Rapport
- OFV - Opplysningsrådet for Veitrafikken AS (1997): *Bil- og veistatistikk 1997*, Oslo
- Sauar, E. (1997): *Taxing energy losses in industry*, Dept. of Physical Chemistry, NTNU, Trondheim
- Schemme, K (1994): *Recycling of Aluminium - General aspects*, The 4<sup>th</sup> International conference on Aluminum alloys Sept. 11-16, (1994), Atlanta, U.S.A
- Sellesbakk, R. H. (1993): *Konstruksjon av lette mekanismer*, Hovedoppgave, Inst. for maskinkonstruksjon og materialteknikk, NTH, Trondheim
- Toten Metallgjenvinning 1997: Terje Lofthus, personlig samtale, høsten 1997

