

# JERNKONTORETS FORSKNING

---

D 812

## Stål och Aluminium - En jämförelse av materialegenskaper, LCI och återvinning

Examensarbete av Ulrica Lindunger, Eric Stark, Kungliga Tekniska Högskolan

**Keywords:** stål, aluminium, materialegenskaper, LCI, återvinning

### **SAMMANFATTNING**

---

Syftet med denna rapport är att förbättra kunskaperna om ståls och aluminiums egenskaper som material, samt ta fram ett underlag som enkelt kan användas för spridning av korrekt och relevant information om materialen i kretsloppssammanhang. Ur informationsmaterialet skall det lätt gå att ”lyfta ur” information och använda i andra sammanhang oavsett om man företräder stål- eller aluminiumbranschen.

---

## INNEHÅLLSFÖRTECKNING

<b>1. SYFTE</b>	<b>3</b>
<b>2. ÖVERSIKT</b>	<b>3</b>
<b>3. GENERELL INTRODUKTION TILL STÅL OCH ALUMINIUM</b>	<b>4</b>
3.1. VAD ÄR UTMÄRKANDE FÖR STÅL OCH ALUMINIUM	4
3.2. HÅLLFASTHET MOT FÖRLÄNGNING	5
3.3. TILLVERKNINGS- OCH KONSUMTIONSVOLYMER I SVERIGE	6
3.4. ENERGIÅTGÅNG VID TILLVERKNING	7
3.5. PRIS MOT VIKT	8
<b>4. PROCESS OCH FRAMSTÄLLNINGSTEKNIK</b>	<b>9</b>
4.1. STÅLETS PROCESSVÄG OCH FRAMSTÄLLNINGSTRUKTUR	9
4.2. ALUMINIUMS PROCESSVÄG OCH TILLVERKNINGSSTRUKTUR	13
4.3. SLUTSATS PROCESSVÄG OCH TILLVERKNINGSSTRUKTUR	17
<b>5. MATERIALENS EGENSKAPER OCH ANVÄNDNINGSSOMRÅDEN</b>	<b>18</b>
5.1. INLEDNING	18
5.2. STÅL	19
5.3. ALUMINIUM	38
5.4. SLUTSATS MATERIALENS EGENSKAPER OCH ANVÄNDNINGSSOMRÅDEN	46
<b>6. APPLIKATIONER</b>	<b>47</b>
6.1. BYGGNADER	47
6.2. FORDON	48
6.3. VITVAROR	49
6.4. SLUTSATS APPLIKATIONER	50
<b>7. LIVSCYKELINVENTERING</b>	<b>51</b>
7.1. INLEDNING	51
7.2. VAD BESTÅR EN LCI AV OCH HUR GÖRS DEN.	52
7.3. SYSTEMGRÄNSER	53
7.4. DEFINITION AV PRODUKTGRUPP	57
7.5. GEOGRAFISKA AVGRÄNSNINGAR	57
7.6. FUNKTIONELL ENHET	58
7.7. AVGRÄNSNINGAR I TID	59

<b>7.8.</b>	<b>SYSTEMUTVIDGNING OCH ALLOKERING</b>	<b>59</b>
<b>7.9.</b>	<b>UPPSTRÖMSDATA</b>	<b>61</b>
<b>7.10.</b>	<b>BERÄKNINGSTEKNISKA VAL</b>	<b>61</b>
<b>7.11.</b>	<b>ENERGI</b>	<b>62</b>
<b>7.12.</b>	<b>ENERGI ALUMINIUM</b>	<b>63</b>
<b>7.13.</b>	<b>ENERGI LÅGLEGERAT STÅL</b>	<b>64</b>
<b>7.14.</b>	<b>ENERGI ROSTFRITT STÅL</b>	<b>66</b>
<b>7.15.</b>	<b>DISKUSSION ELEKTRICITET</b>	<b>67</b>
<b>7.16.</b>	<b>TRANSPORTER</b>	<b>69</b>
<b>7.17.</b>	<b>EMISSIONER</b>	<b>70</b>
<b>7.18.</b>	<b>SLUTSATS OCH DISKUSSION AV SKILLNADER I LCI-RAPPORTER</b>	<b>73</b>
<b>8.</b>	<b><u>ÅTERVINNING OCH SKROTCIRKULATION</u></b>	<b><u>75</u></b>
<b>8.1.</b>	<b>INLEDNING</b>	<b>75</b>
<b>8.2.</b>	<b>SKROTCIRKULATIONEN</b>	<b>75</b>
<b>8.3.</b>	<b>SKROTPRIS OCH SKROTTILLGÅNG</b>	<b>79</b>
<b>8.4.</b>	<b>ÅTERVINNING AV STÅL</b>	<b>80</b>
<b>8.5.</b>	<b>ÅTERVINNING AV ALUMINIUM</b>	<b>84</b>
<b>8.6.</b>	<b>SLUTSATS ÅTERVINNING OCH SKROTCIRKULATION</b>	<b>87</b>
<b>9.</b>	<b><u>KRETSLOPP</u></b>	<b><u>88</u></b>
<b>9.1.</b>	<b>UTHÅLLIGHET</b>	<b>88</b>
<b>9.2.</b>	<b>KRETSLOPPSMEDVETENHET VID PRODUKTUTVECKLING</b>	<b>89</b>
<b>9.3.</b>	<b>ÅTERVINNINGSGRAD</b>	<b>90</b>
<b>9.4.</b>	<b>SLUTSATS KRETSLOPP</b>	<b>92</b>
<b>10.</b>	<b><u>DISKUSSION</u></b>	<b><u>93</u></b>
<b>11.</b>	<b><u>SLUTSATSER</u></b>	<b><u>97</u></b>
<b>12.</b>	<b><u>TACK</u></b>	<b><u>98</u></b>
<b>13.</b>	<b><u>TILLSTÅND BILDER</u></b>	<b><u>98</u></b>

## 1. SYFTE

Syftet med denna rapport är att förbättra kunskaperna om ståls och aluminiums egenskaper som material, samt ta fram ett underlag som enkelt kan användas för spridning av korrekt och relevant information om materialen i kretsloppssammanhang. Ur informationsmaterialet skall det lätt gå att ”lyfta ur” information och använda i andra sammanhang oavsett om man företräder stål- eller aluminiumbranschen.

## 2. ÖVERSIKT

Rapporten är indelad i 6 delar. Efter var del kommer en slutsats för kapitlet. Rapporten innehåller även en slutsats och diskussion som återfinns sist i dokumentet. I slutet av rapporten är samtliga referenser samlade.

De sex delarna är:

### *Processvägar*

En generell beskrivning ges av processvägar och tillverkningsstruktur för stål och aluminium.

### *Materialens egenskaper och användning*

Det ges en jämförande beskrivning av materialgrupper för stål och aluminium och deras mekaniska och fysikaliska egenskaper, samt en översikt av användningsområden för olika materialgrupper genom exempel på applikationer.

### *Applikation*

För tre större användarbranscher diskuteras konkurrenssituationen för stål och aluminium. Under vilka premisser de konkurrerar, samt hur val av material görs. Branscher som studeras är fordons-, bygg- och vitvarubranschen.

### *Livscykelinventering (LCI)*

LCI-delen av denna rapport belyser skillnader och likheter i metod för framtagandet av LCI-data. Rapporten presenterar inte en jämförelse av LCI-data, dvs. faktiska siffror för energikonsumtion eller utsläpp. De tre LCI fall som har studerats är, låglegerat stål (IISI, 1999/2000), rostfritt stål (EUROFER 2000) och aluminium (EAA, 2000). LCI-rapporterna täcker tillverkning av respektive material från råvarubrytning till färdigt halvfabrikat. Rapporten går igenom de tre rapporternas: systemgränser, systemgränsutvidgningar, energiberäkningar och uppströmsdata. I denna rapport granskas inte källor som används i de tre LCI studierna.

### *Skrotcirkulation*

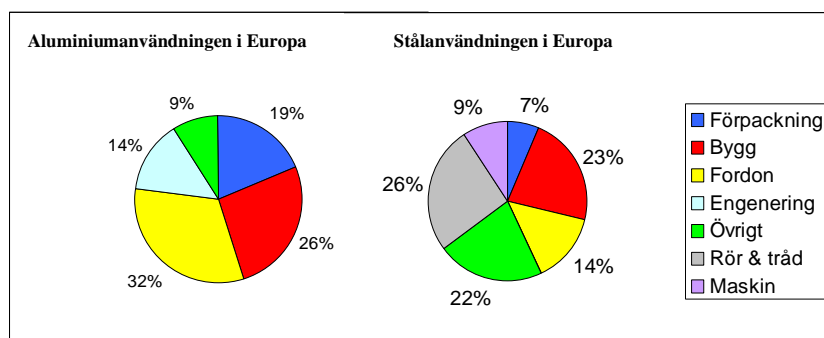
Skrotcirkulation och återvinning diskuteras för stål och aluminium i Sverige. Cirkulationen av skrot i Sverige för respektive material beskrivs genom flödesscheman. Beskrivning ges av möjligheter och problem vid återvinning av stål och aluminium både avseende kvantitet i förhållande till producerade mängder och kvaliteten av det återvunna materialet i förhållande till det primära.

### *Kretslopp*

Uthållighet i materialutvinning och användning diskuteras. Begreppet återvinningsgrad förklaras och diskuteras.

### 3. GENERELL INTRODUKTION TILL STÅL OCH ALUMINIUM

Vanligen associeras stål med broar och järnvägsräls och aluminium med burkar och folie. Men aluminium kan lika väl som stål användas i konstruktioner och stål kan användas inom livsmedelsindustrin. Användningsområdena för de båda materialen är mycket vida, vilket kan ses i Figur 1. För båda materialen utgör byggbranschen ca en fjärdedel av användningen tonnagemässigt. Fordonsindustrin utgör den största branschen för aluminium, men även stål har en stor del av sin försäljning till fordonsindustrin. Tråd och rör utgör den största marknaden för stål.



Figur 1 Aluminiumets<sup>1</sup> och stålets<sup>2</sup> användning per bransch i Europa, tonnagemässigt.

#### 3.1. Vad är utmärkande för stål och aluminium

Stål är en legering med bland annat järn och kol, men även andra legeringsämnen som t.ex. krom, mangan, nickel och kisel tillsätts för att ge stål dess specifika egenskaper. Användningen av olika värmebehandlings- och bearbetningsmodeller gör att egenskaperna för stål går att utveckla ännu mer. Som följd av den kraftiga utveckling som skett inom svensk industri finns idag ett brett utbud av olika stålsorter med olika specifika egenskaper.

Aluminium kan användas både som rent aluminium och som en legering med olika legeringstillsetser. Det rena aluminiumet kallas renaluminium och har obearbetad ett begränsat användningsområde då materialet är mjukt och har låg hållfasthet. Vid bearbetning uppnår renaluminium en högre hållfasthet. För att öka hållfasthetsegenskaperna ännu mer har olika aluminiumlegeringar utvecklats. Både för stål och aluminium gäller det att utvecklingen fortgår hela tiden och i många fall tillsammans med kund för att anpassa egenskaperna till önskade användningsområden.

Begreppet stål i denna rapport innefattar även rostfria stål som är väl kända för allmänheten men vad som ofta kan vara okänt är hur dessa material fungerar rent egenskapsmässigt. Rostfria stål är ett stål som har legerats med krom och i de flesta fall även nickel. Dessa legeringsämnen, i första hand krom, skapar ett skyddande oxidskikt på ytan av stålet vilket skyddar stålet från att rosta, eller korrodera som är det riktiga ordet.

Stål används även inom maskinindustrin och som verktyg. För dessa ändamål finns det material som kallas maskinstål, fjäderstål, nitrerstål och verktygsstål och de har utvecklats för specifika applikationer där kraven på skärbarhet och slitstyrka är stora. Dessa stål är i grunden dock vanliga olegerade- eller låglegerade stål som har härdats, d.v.s. värmebehandlats för att erhålla dessa specifika egenskaper.

För att möta kraven på lättare konstruktioner har även höghållfasta stål utvecklats. Dessa stål har med hjälp av olika typer av härdningar fått helt nya egenskaper som gör att de blir mycket starka med fortsatt god formbarhet. Eftersom hållfastheten är högre för dessa material så krävs det mindre mängd material för att uppnå de krav som ställs på en given applikation

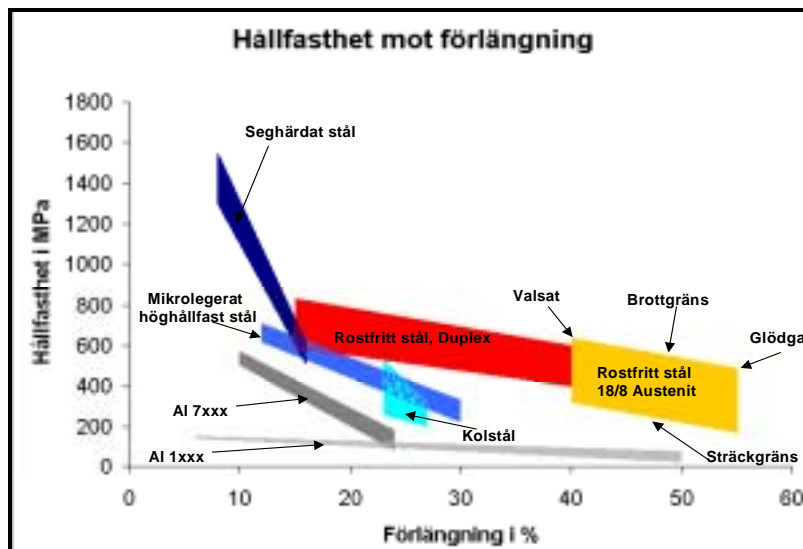
och därmed kan vikten minskas. Det ska även tilläggas att rostfria material kan göras höghållfasta.

Aluminium har en densitet som är ungefär en tredjedel av stålets, och detta gäller för samtliga aluminiumlegeringar, och därför lämpar sig aluminium för applikationer där kravet är att konstruktionen skall vara lätt.

När det gäller korrosionsmotståndet så bildar aluminium ett eget skyddande skikt, ungefär som krom gör för stål. Detta skikt som är av aluminiumoxid skyddar aluminiumet från att korrodera. En annan god egenskap hos aluminium är att materialet är mycket lätt att strängpressa p.g.a. bearbetbarheten för materialet. Det betyder att aluminium kan pressas till färdiga profiler. Denna tillverkningsprocess är nästan omöjligt för stål och fördelen är att konstruktionen inte får några svaga punkter, till skillnad från om konstruktionen gjorts av stål och svetsats ihop. En av svagheter hos aluminium är att även om det har låg densitet så har det också låg E-modul och hållfasthet, vilket gör att detaljer måste tillverkas i tjockare gods då aluminium används istället för stål. E-modulen beskriver hur mycket ett material elastiskt kommer att deformeras<sup>i</sup> när det utsätts för en belastning.

### 3.2. Hållfasthet mot förlängning

Vid val av material till en applikation måste hållfasthetskrav och förlängningskrav uppnås. Generellt kan det sägas att förlängning<sup>ii</sup> och hållfasthet står i omvänd proportionalitet mot varandra dvs. om hållfastheten ökar kommer förlängningen att minska. Förlängningen är viktig vid konstruktion, i vissa konstruktioner t.ex. lyftkranar är en hög förlängning önskvärd. Figur 2 visar hur hållfastheten för olika stål- och aluminiumlegeringar förhåller sig till varandra. Generellt kan det sägas att aluminium ligger lägre i hållfasthet än stål. Det ska dock tilläggas att vissa aluminiumlegeringar konkurrerar med stål i hållfasthet. Figuren visar även förlängning för de olika materialen.



Figur 2 Hållfasthet och förlängning för aluminium och stål.<sup>3</sup>

Figur 2 visar hur sträck- och brottgränser förhåller sig till förlängningen för olika stål- och aluminiumlegeringar. Den nedre linjen för varje material visar materialets sträckgräns och hur den påverkas vid olika typer av bearbetning. Sträckgränser förklarar hur mycket ett material

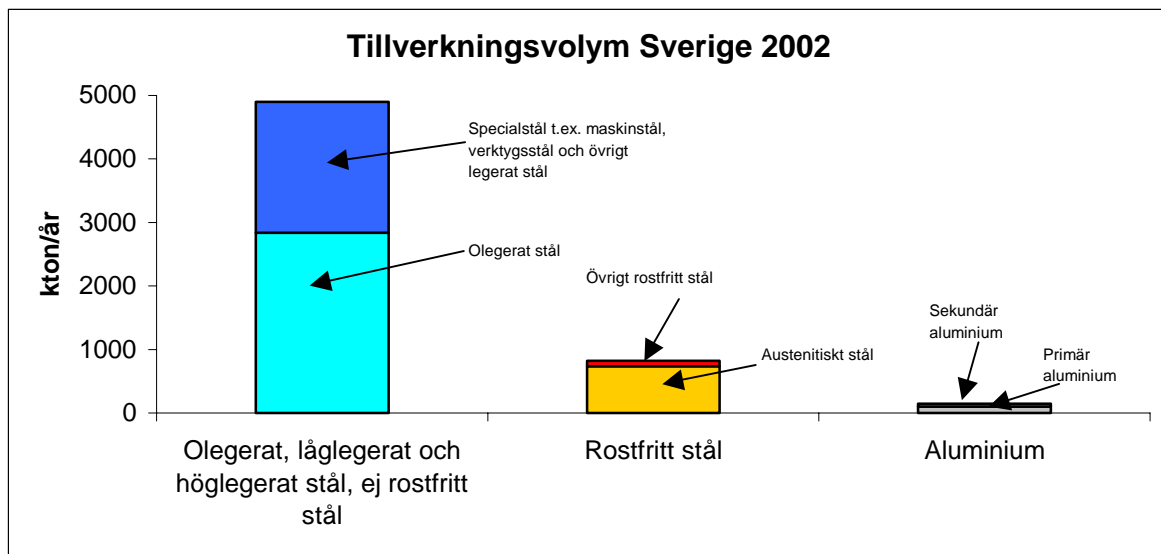
<sup>i</sup> Elastisk deformation betyder att materialet kommer att deformeras men när belastningen tas bort återgår materialet till sin ursprungliga form.

<sup>ii</sup> Förlängning beskriver hur mycket ett material procentuellt kan förlängas innan det går av.

kan belastas innan en plastisk deformation<sup>iii</sup> uppstår. Brottgränsen beskriver vilken kraft som behövs för att materialet ska gå till brott. Den övre linjen visar hur brottgränserna förändras vid olika typer av härdningar och värmebehandlingar, t.ex. genom valsning och glödning. Efter dessa behandlingar kommer också förlängningen att förändras. När ett material bearbetas genom valsning eller någon annan form så kommer materialet att bli hårdare. Detta leder till att sträck- och brottgränser kommer att öka för materialet men även att förlängningen blir lägre. Materialet kommer att tåla en högre belastning men det kommer också att bli sprödare. När materialen glödgas blir de mjukare och får en högre förlängning men lägre hållfasthetsegenskaper.

### 3.3. Tillverknings- och konsumtionsvolym i Sverige

Volymerna för stål- och aluminiumtillverkning i Sverige skiljer sig markant tonnageässigt.

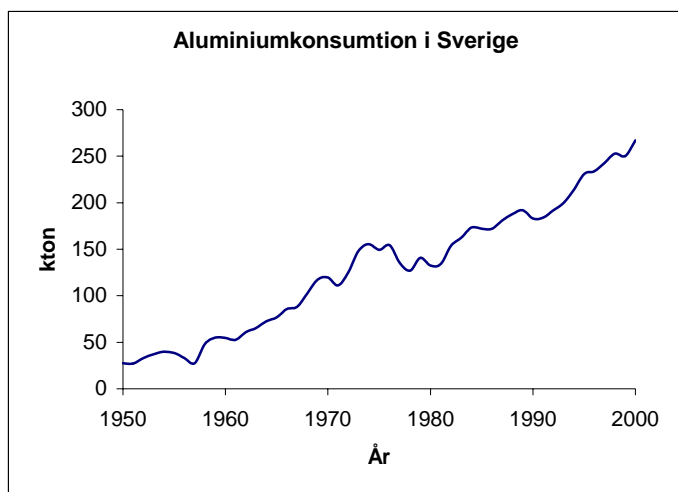


Figur 3 Volym av totalt tillverkade produkter av låglegerat och höglegerat stål, rostfritt stål och aluminium 2002.<sup>4</sup>

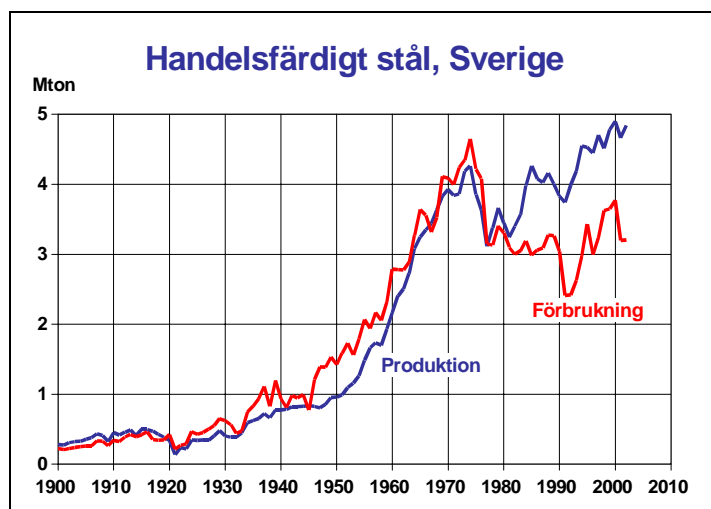
Som visas i Figur 3 tillverkas mycket olegerat, låglegerat och höglegerat stål i Sverige, nästan 5 miljoner ton varav ca 2,8 miljoner ton är olegerat stål. Det som i figuren kallas specialstål är låglegerat stål, höglegerat stål och stål som har genomgått olika bearbetningar för att uppnå högre krav (t.ex. höghållfasta stål, verktygsstål och maskinstål). Nästa stapel visar tillverkningsvolymerna av rostfria stål, denna volym är ca 820 kton varav 90 % är austenitiskt rostfritt stål. Den tredje stapeln är aluminium som tillverkas i en volym på ca 140 kton per år, varav ca 100 kton är primärtillverkat.

Ståltillverkningen har en lång historia i Sverige. Under de senaste 30 åren har svensk stålindustri utvecklats från bulkindustri till en industri med starka nischprodukter och spetskompetens. Aluminium är däremot ett material som är relativt nytt. I Sverige började tillverkningen på 1950-talet och därför kan det vara en intressant aspekt att se hur mycket tillverkningen och konsumtionen av stål och aluminium har ökat senaste 50 åren. Eftersom utvecklingen har gått framåt så har även industrin tillverkat mer material. Figur 4 visar hur konsumtionen av aluminium har ökat och Figur 5 visar hur konsumtionen och produktionen av stål har ökat. Observera att aluminiumkonsumtionen mäts i kton medan stål mäts i Mton.

<sup>iii</sup> Plastisk deformation betyder att materialet blir deformerat och den deformationen kommer att bestå i materialet.



Figur 4 Volymer av total konsumtion av aluminium i kton<sup>5</sup>



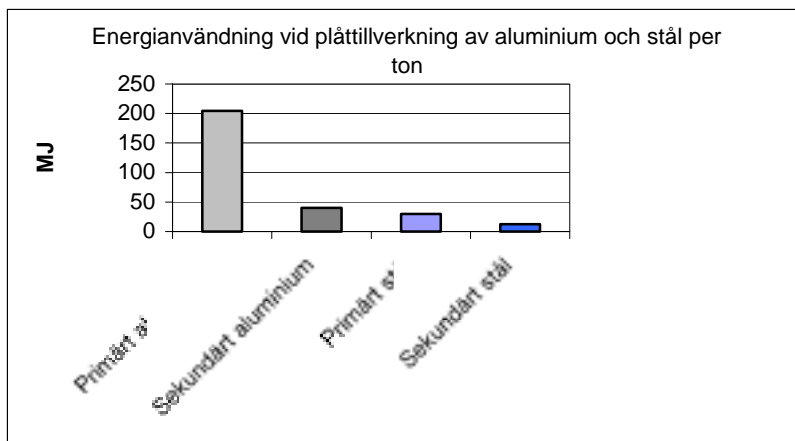
Figur 5 Stålets konsumtion och produktionstillväxt i Mton<sup>6</sup>

När man studerar Figur 4 och Figur 5 så kan man tydligt läsa av hur båda materialen påverkades av oljekrisen i början av 70-talet. Dessutom kan konjunktursvängningar avläsas i figurerna. Generellt kan det sägas att aluminiums tillväxt är betydligt kraftigare. Konsumtionen av stål i Sverige växte kraftigt fram till mitten av 70-talet, medan aluminium som ett nytt material introducerades vid 50-talet och har därför än idag en naturligt hög tillväxt. Tillverkningen av stål är fortfarande på uppgång i Sverige tack vare den stora exporten.

### 3.4. Energiåtgång vid tillverkning

Vid tillverkning av stål och aluminium går det åt olika mängder energi. Energikonsumtionen är lägre vid sekundärtillverkning, än vid primärtillverkning. Genom att studera Figur 6 kan man få en uppfattning om hur mycket energi det går åt för att tillverka 1 ton plåt i stål respektive aluminium primärt och sekundärt. Viktigt att notera med denna figur är det inte är några exakta siffror som anges utan det är till för att visa relativt varandra. Något som också är viktigt att beakta är att 1 ton aluminiumplåt är till ytan mer material än vad 1 ton stålplåt är.

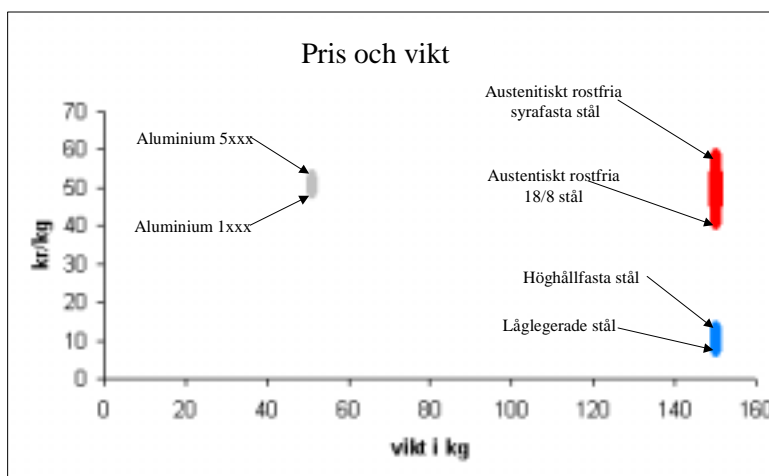




Figur 6 Jämförelse av energianvändning vid tillverkning av plåt för stål och aluminium.<sup>7</sup>

### 3.5. Pris mot vikt

Det kan också vara intressant att se hur mycket en plåt kan kosta. Figur 7 visar vad en plåt<sup>iv</sup> skulle kosta för de olika materialen. Figuren visar att låglegerade stål är det billigaste alternativet och inom denna grupp räknas också de höghållfasta stålen in som är lite dyrare. Det beror på att bearbetningen och härdningen av dessa stål kostar mer. Rostfria stål är mycket dyrare än de låglegerade stålen och det bör också tilläggas att de syrafasta rostfria stålen är dyrare än 18/8 stålen och anledningen är att de har en högre legeringshalt. Aluminium ligger i ungefär samma prisklass per kilo som rostfria stål och som figuren visar så är 5xxx legeringen dyrare än renaluminium.



Figur 7 Pris för plåt med måtten 2500x1250x6 mm, låglegerade stål, rostfria stål och aluminium<sup>8</sup>

Figur 7 visar tydligt upp viktsskillnader mellan materialen. Aluminium är ett material med låg densitet och därför är vikten för plåten mycket lägre än samma plåt i stål eller rostfritt stål. Stålets vikt är mer än 3 gånger så hög.

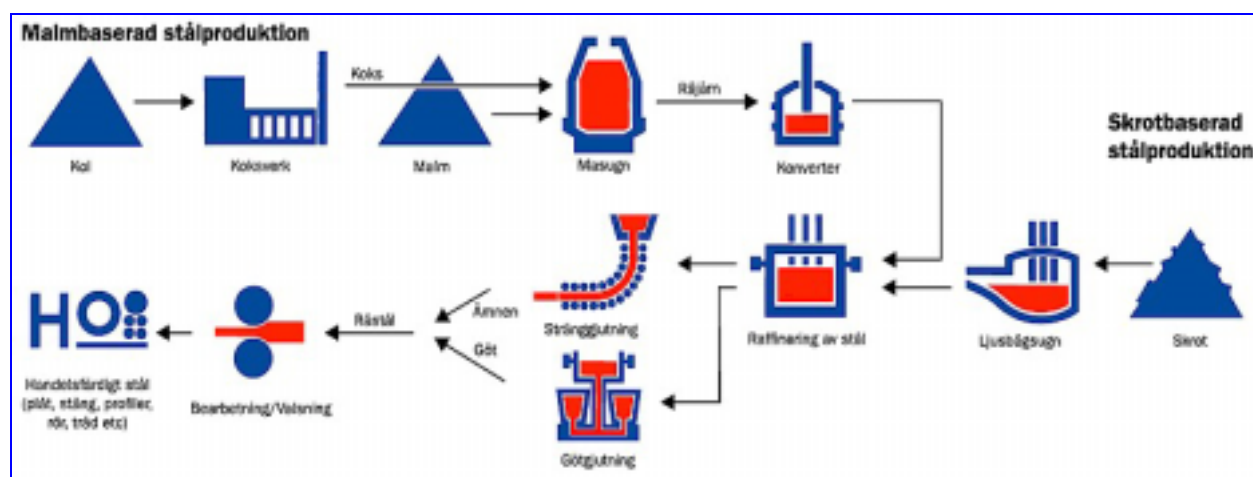
<sup>iv</sup> Plåt med måtten 2500 x 1250 mm och 6 mm tjock.

## 4. PROCESS OCH FRAMSTÄLLNINGSTEKNIK

### 4.1. Stålets processväg och framställningsstruktur

Ståltillverkning sker genom två huvudprocesser: malmbaserad eller skrotbaserad tillverkning. Vid tillverkning av stål krävs järnråvara i form av malm eller skrot samt legeringsämnen för att materialet ska få de rätta egenskaperna. I tillverkningsprocessen behövs även framförallt kol som reduktionsmedel och kalk som slaggbildare.

Här följer en introduktion till hur malmbaserad och skrotbaserad ståltillverkning går till. Processvägarna kan följas i Figur 8 i vilken man kan se malmbaserad och skrotbaserad stålproduktion och dess olika processteg.



Figur 8 Schematisk beskrivning av stålframställning.<sup>9</sup>

#### 4.1.1. Malmbaserad tillverkning av stål

##### 4.1.1.1. Malmbrytning

Järnmineral bryts om den förekommer i tillräckligt stora fyndigheter och koncentrerade former. Koncentrationer ner till 30 % järn kan vara lönsamma att bryta, om andra faktorer som gångartens sammansättning och fyndighetens storlek och åtkomlighet är gynnsamma.<sup>10</sup> Efter brytningen krossas materialet och därefter avskiljs malmen från gångarten, s.k. anrikning. Malm som utvinns består av olika syreföreningar och kallas hematit eller magnetit. När malmen är av magnetit kan anrikningen ske med magnetisk teknik. Den anrikade produkten, som är mycket finkornig, kallas slig. För att kunna reduceras i masugnen måste sligen vara av grövre dimension. Sligen formas och agglomereras därför till pellets, små runda kulor med bestämd sammansättning, storlek och hållfasthet, se Figur 9. I Sverige bryts järnmalm i Kiruna och Malmberget av LKAB. Den svenska järnmalmen består huvudsakligen av magnetiter, vilket innehåller kemisk energi som kan utnyttjas vid pelletstillverkning. När pelletsen bränns oxideras magnetiten vilket frigör energi. Den energi som behövs i processen kommer till 70 % från malmen. Den färdiga pelletsen innehåller ca 65 % järn.<sup>11</sup> I de svenska masugnarna används malm i form av pellets.



Figur 9 Pelletskulor,  
Källa: LKAB,  
Fotograf: Torsten Berglund

#### 4.1.1.2. Masugn

Primärtillverkning av stål sker från råvaran järnmalm. Efter det att malmen anrikats kan reduktion till råjärn göras. Reduktionen sker i en masugn, genom att syret tas bort ur de oxidiska järnmineralerna med hjälp av koks. Masugnen fylls kontinuerligt på från toppen med malmpellets och kol i form av koks från lager. Även kalk, sot och andra ämnen tillsätts. Lagren med pellets reduceras sakta och sjunker nedåt i masugnen. I nedre delen av masugnen blåses varmluft ( $1000^{\circ}\text{C}$ ) in vilket gör att temperaturen i nederdelen är mycket hög. Luften reagerar med koksen och man erhåller en mycket varm reducerande gas. Den varma gasen kyls sedan på sin väg uppåt i masugnen av den kalla pelletsen. Malmen smälter när den närmar sig botten och kan tappas ut som råjärn i botten. Koksen tillförs i stora bitar och förblir osmält under hela processen. De olika storlekarna på den tillsatta pelletsen och kolet gör det möjligt för gasen att stiga uppåt i masugnen. Det så kallade råjärnet från masugnen innehåller förutom järn också 3-4 % kol och mindre halter av andra ämnen. I Sverige finns masugnar i Luleå (SSAB Tunnsplåt) och i Oxelösund (SSAB Oxelösund). Dessa masugnar producerade 2002 ca 3,9 miljoner ton.<sup>12</sup> Världsproduktionen av primärtillverkad råjärn 2002 var 604 miljoner ton.<sup>90</sup>



Figur 10. Slaggavskiljning vid masugn.  
Källa: SSAB Oxelösund AB, Oxelösund  
Foto: Stig-Göran Nilsson (2002)

#### 4.1.1.3. Pulvermetallurgi

Den dominerande tillverkningsvägen för stål avslutas med gjutning till solida ämnen, men produktion kan även ske med pulvermetallurgi, genom att tillverka en pulverformig produkt från det smälta stålet. Det görs genom att blåsa sönder stålstrålen vid gjutningen med en kraftig tillförsel av argon, små pärlor bildas då av det smälta stålet. Pärlorna bildar sedan ett pulver när det stelnat. Pulvret kan sedan pressas till små pulverkroppar, ofta till den form som den slutliga produkten skall ha. Genom påföljande värmebehandling görs produkten fast och hållbar. Pulvermetallurgisk processväg är att föredra när mycket små eller komplexa geometrier skall tillverkas.

#### 4.1.1.4. Svavelrening

Råjärnet går sedan vanligen i flytande form till stålverket, där råjärnet tappas i en skänk. Om råjärnet gjuts i detta skick kallas det galtjärn. Först svavelrenas råjärnet genom att kalciumkarbider injiceras med lans. Svavlet reagerar med kalciumet och går upp i slaggen.

Efter svavelreningen dras slaggen av och går till återvinning. Råjärnet fortsätter till konvertering<sup>v</sup>.

#### 4.1.1.5. Konvertering

Det avsvavlade råjärnet hålls över i en syrekonverter tillsammans med skrot, ca 20 % av chargevikten. I konverteren skall kolhalten sänkas från råjärnets halt på 3-4 % till en halt under ca 0,2 %. Sänkning av kolhalten är nödvändig för att undvika sprödhet i det färdiga stålet.

<sup>v</sup> Konvertering- Sänkning av kolhalten i konverter.

Denna process kallas kolfärskning. Kolhalten reduceras med hjälp av syrgas som blåses med högt tryck mot smältans yta. Genom den omrörning som skapas får syret en mycket stor kontaktyta med smältan. Färskningsreaktionerna ger upphov till en temperaturhöjning. Den värme som utvecklas vid kolfärsningen utnyttjas till att smälta tillsatt skrot och till att höja baddets temperatur. Ämnen som t.ex. fosfor och vanadin binds i slaggen vid färsknigen. Slaggen blir sedan kvar i konvertern när stålet tappas till en skänk för finjustering (skänkmellugi). När smältan hälls över i skänken tillsätts även legeringsämnen vilka kommer få en perfekt inblandning genom den naturliga turbulens som skapas.

#### *4.1.1.6. Skänkmellugi*

I skänken utförs alla slutjusteringar som krävs för att smältan skall få önskade egenskaper. En finjustering av stålets legeringsbild görs för att uppnå önskad sammansättning. En del av skänkmellugin är ofta vakuumavgasning, där oönskade element som kväve, väte, kol och syre kan avlägsnas genom att tillsätta ädelgas och lägga på ett undertryck. Kraftiga omrörningar uppstår vid avgasningen vilket ger en mycket stor kontaktyta mellan stål och slag vilket gynnar svavelrening och avskiljning av slagginneslutningar. En slutjustering av temperaturen görs även innan gjutning.

#### *4.1.1.7. Gjutning*

När stålet har rätt sammansättning gjuts det. Den största delen av allt stål stränggjuts till detaljer med olika dimensioner, men en viss procent av stålproduktionen gjuts i formar (kokiller). För plåt- och bandprodukter används platta format, s.k. slabbs. För stångprodukter används fyrkantiga format med klenare dimensioner, s.k. billets.

### **4.1.2. Skrotbaserad stålframställning; rostfritt stål och låglegerat**

Skrotbaserade stålverk gör stål med skrot som råvara. De flesta stålverk som tillverkar legerade stål använder skrot som råvara i sin tillverkning. I Sverige finns många skrotbaserade stålverk. Av världens produktion är ca 40 % skrotbaserad framställning. I Sverige produceras skrotbaserat råstål på 11 orter som tillsammans tillverkar knappt 2 miljoner ton. I hela världen produceras 330 miljoner ton skrotbaserat stål.<sup>13</sup> Skrotet kommer till stålverken i förbehandlat skick, dvs. redo att sättas in för smältning.

#### 4.1.2.1. Ljusbågsugnen

Vid skrotbaserad ståltillverkning används ljusbågsugnar för smältning. För detta ändamål krävs el-energi. Ljusbågsugnen består av ett eldfast kärl. Genom kärlets lock är tre elektroder nedstuckna. Kraftig ström leds till elektroderna och elektriska ljusbågar bildas mellan skrot och grafitelektroderna. Denna energi smälter det tillsatta materialet, skroten, legeringsämnen och slaggbildare. Genom att även använda oxyfuelbrännare<sup>vi</sup> vid kärlets väggar kan en jämnare temperatur uppnås. Genom syretillsatsen kan även kolmonoxid reagera med syre och bilda koldioxid. Med denna reaktion kommer energi att frigöras och den totala elkonsumtionen kan sänkas.<sup>14</sup>

Efter smältning och legeringstillsats i ljusbågsugn är stålet klart att gå vidare till skänkmetsallurgin, där stålet finjusteras för att uppnå önskad sammansättning och temperatur. I Figur 11 kan tappning av råstål från ljusbågsugnen till skänken ses. Se ovan för beskrivning av skänkmetsallurgi.

#### 4.1.2.2. Konvertering för tillverkning av rostfritt stål

De rostfria stålen har en hög legeringshalt av krom och i de flesta sorter även nickel. För tillverkning av rostfria stål utgår produktionen från skrot och ferrolegeringar som råvara vilka smälts i ljusbågsugn. Le-geringsämnen är mycket kostsamma och stor vikt läggs därför vid minimering av kostnad för tillsats av dessa. Le-geringsämnen tillsätts i högsta möjliga mängd som rostfritt skrot och ferrolegeringar, eftersom denna form av legeringsämnet ger en lägre kostnad än inköp och tillsats av rena legeringsmetaller. Minimeringen av mängd görs t.ex. genom kontroll av oxidation av legeringsämnen till slagg. Konverteringen sker i en s.k. AOD-konverter efter ljusbågsugnen. I konvertern sker tre delprocesser, färskning av kol, reducering av krom i slagg samt raffinering av svavelhalten i smältan. Processtekniskt är skillnaden mellan AOD-konverter och syrekonverter att man förutom syrgas även tillför gaserna argon eller kväve. Genom denna utspädning av syrgasen kan man lättare kontrollera stålets kol- och kromhalt. I början av blåsningen späds syrgasen ut med kväve för att senare spädas med argon. Kväve är en lika bra utspädningsgas som den dyra argongasen, men argon användningen i slutet är nödvändig för att rena ut eventuellt inlöst kväve. Utspädningen justeras under blåsningens gång genom att syrehalten sänks stegvis. Detta ger en effektiv kolrening och värdefulla legeringselement undviks att oxideras och gå förlorade i slaggen. Temperaturen i badet ökar successivt under blåsningen.<sup>15</sup>

Efter konverteringen tappas smältan i en skänk för slutjustering. För det rostfria stålet finjusteras legeringshalterna i skänken, detta sker ofta med rena legeringsämnen för att minimera mängden tillsatt material och risken för temperatursänkning. Syrerening utförs för att minimera syrenivån i smältan. Smältan omrörs kraftigt för att ickemetalliska inneslutningar ska avskiljas, samt temperaturen homogeniseras. (Se skänkmetsallurgiavsnittet för ytterligare information.) Efter skänkbehandlingen går smältan till gjutning.



Figur 11 Tappning av råstål från ljusbågsugn till skänk.

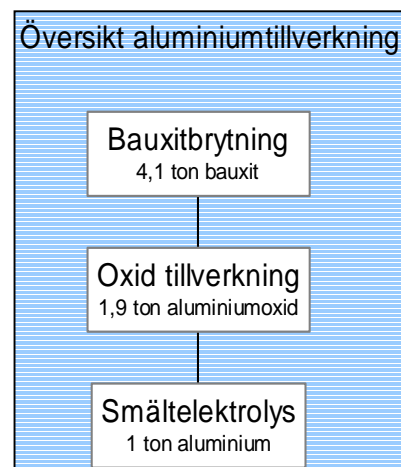
Källa: AB Sandvik SMT, Sandviken  
Foto: Stig-Göran Nilsson (2002)

<sup>vi</sup> I oxy-fuel-brännare ersätts luften med rent syre varvid kväve inte passerar systemet. Detta ger fördubblat energiutbyte. Tack vare den förbättrade värmeöverföringen ökar smälthastigheten. Avgasvolymen minskar. Kvävgas som finns i förbränningsluften (79%), kräver stora mängder energi för att uppvärmas till avgastemperatur.

## 4.2. Aluminiums processväg och tillverkningsstruktur

### 4.2.1. Primäraluminium

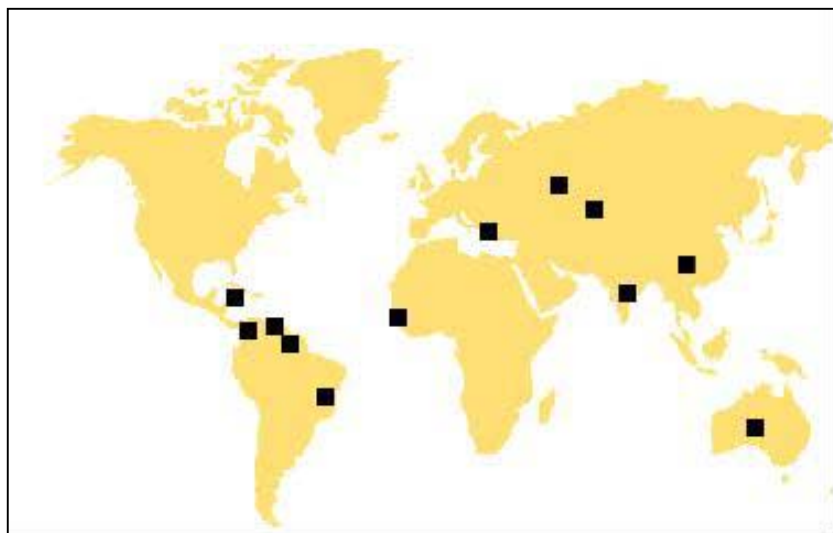
Primärtillverkning av aluminium sker från aluminiumoxid. Tillverkningen sker i tre steg; bauxitbrytning, aluminiumoxidtillverkning och elektrolys. De tre stegen kan tydligt ses i Figur 12 där även mängderna av de råvarorna visas. Anledningen till att aluminium inte kan utvinnas ur sin oxid genom klassisk reduktion i en masugn är aluminiums höga syreaffinitet<sup>vii</sup>. Aluminiums starka förmåga att binda syre skulle i masugn resultera i att alla metalloxider med lägre bildningsvärme skulle reduceras, medan aluminiumoxiden förblir oreducerad eller ofullständigt reducerad. Renaluminium uppvisar dessutom hög affinitet till kol, vilket skulle resultera i karbidbildning vid tillförsel av absolut rent aluminium.<sup>16</sup> Därför reduceras aluminiumoxiden genom elektrolys där upptill 99,9% rent aluminium kan framställas.



Figur 12. Aluminiumtillverkning sker i tre steg.

### 4.2.2. Bauxitbrytning

Aluminiumhalten i jordskorpan är i medel 8 %, halten i brytvärd bauxit är ca 20-30 %. Primärtillverkning av aluminium sker från råvaran bauxit, vilken bildas när vissa aluminiumhaltiga bergarter vittrar under tropiska förhållanden. Figur 13 visar var i världen de största utvinningen av bauxit sker. Bauxiten förekommer vanligen nära markytan, brytning sker därför praktiskt taget alltid i dagbrott.<sup>17</sup> Vanligen mals bauxiten till jämn kornstorlek och torkas i roterugnar före transport till oxidtillverkningsenheten.



Figur 13. Bauxitbrytning i världen

<sup>vii</sup> Förmågan hos ett ämne att binda syre.

### 4.2.3. Aluminiumoxidtillverkning

Från råvaran bauxit framställs aluminiumoxid genom Bayermetoden. Bauxiten består av aluminiumoxid och aluminiumhydroxid, men även järnmineral, titanoxider och aluminiumsilikater. Bauxiten är en jordfärgad mineral som det kan ses i Figur 14. Som första steg tvättas och krossas bauxiten. Den finmalda bauxiten löses sedan upp i varm 25-45 % natriumhydroxidlösning. Upplösningen sker i en autoklav under tryck (6-8 bar).<sup>18</sup> De övriga föreningarna från bauxiten förblir dock oupplösta under processen och kan avskiljas genom filtrering. Avskiljningsprodukten kallas för rödslam. I moderna anläggningar renas rödslammet effektivt från natriumhydroxid och rödslammet kan läggas tillbaka i dagbrottet där bauxiten bröts.



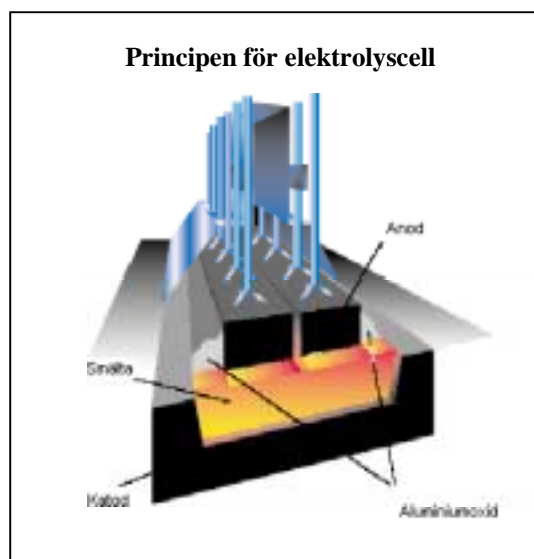
Figur 14. Bauxit.  
Källa: Svenskt Aluminium

Den filtrerade aluminiumhaltiga lösningen späds med vatten och kyls till 60°C i en omrörnings- och fällningstank. Fällning av aluminiumhydroxid bildas, vilken sedan tvättas och kalcineras, dvs. upphettas i en gaseldad ugn till 1200-1300°C. Värmen gör att aluminiumhydroxiden sönderdelas till aluminiumoxid och vatten. Aluminiumoxiden är ett vitt fint pulver.

### 4.2.4. Metallframställning, Elektrolys

Framställning av aluminiummetall i världen görs uteslutande med Hall-Héroult processen. Metallen framställs genom elektrolys av en vattenfri smälta av aluminiumoxid. Smältpunkten för aluminiumoxid är mycket hög (2060°C), vilket gör att det inte är praktiskt möjligt att använda ren oxid vid processen.

Principen för tillverkning bygger på att aluminiumoxid löses upp i saltsmälta av kryolit ( $\text{Na}_3\text{AlF}_6$ ) och aluminiumfluorid ( $\text{AlF}_3$ ). Med ca 5 %  $\text{Al}_2\text{O}_3$  löst i saltlösningen kan processen genomföras vid en temperatur av 960-980°C. Med hjälp av elektrisk ström omvandlas aluminiumoxiden till metall. Strömstyrkan är normalt mycket hög ca 100-300 kA, men spänningen är endast ca 4 V. Vid processen framställs aluminium med en renhetsgrad av 99,7 %. Om krav ställs på en högre renhet måste raffinering utföras efter Hall-Héroult processen. Figur 15 visar en förenklad bild av hur en elektrolyscell ser ut.



Figur 15 Elektrolyscell för aluminiumtillverkning.

Ugnen består av en kolanod och katod i form av en låda i stålplåt, infodrad i tegel och kol. Kolblocken är anslutna till ett strömförsörjningssystem. Aluminiumoxid förs ned i ugnen och löses i det heta saltbadet. Oxid tillförs smältan med jämna mellanrum så att halten oxid i smältan hålls konstant. Elektrisk likström leds genom badet och värmen och spänningen regleras genom att öka eller minska avståndet mellan anod och katod.

Aluminiumoxiden sönderdelas till flytande aluminium och syre. Syret reagerar med kol från anoden och bildar  $\text{CO}_2$  som avskiljs med övriga processgaser, genom utsug. På grund av alu-

miniummetallens högre densitet sjunker metallen och lägger sig på botten. Bildad metall töms med jämna mellanrum från ugnen till en tappskänk, med hjälp av undertryck. Från denna skänk går smältan till en uppsamlingsugn och sedan till götgutning. Det bör också nämnas att vid produktion utsätts både katod och anod för mycket stora påfrestningar, båda på grund av temperatur och kryolitens kemiska aggressivitet.<sup>19</sup>

#### 4.2.4.1. Anoder

Vid tillverkning kan förbakade anoder (prebaked) eller Söderbergsanoder användas. Söderbergsanoden (se nedan) är under utfasning och andelen förbakade ökar.

Förbakade anoder förbrukas successivt i processen och byts med jämna intervaller. Anoderna byts en och en varefter de är uttjänta, bytet innebär en driftstörning. De nya kalla anoderna täcks med kryolyt vid insättning i den varma ugnen för att klara av den stora temperaturpåfrestning som uppstår. Förbakade anoder ger ett bättre strömbyte än Söderbergsanoder. Att använda förbakade anoder innebär en stor initialkostnad eftersom ett anodverk krävs för tillverkning av anoderna.

Till Söderbergsanoder används anodmassa i brikettform istället för förbakade anodkol. I takt med att anoden förbrukas fylls nya briketter på. Av värmen smälter briketterna samman och förkokas till ett fast anodblock. Anoderna behöver därför inte bytas ut och avbrott i driften kan undvikas. Söderbergsanoder ger en låg initialkostnad, eftersom anoden bakas i ugnen. Dock är Söderbergsugnarna mer arbeidskraftsintensiva. Söderbergsanodernas negativa sida är också att de vid drift producerar polyaromatiska kolväten (PAH)<sup>20</sup>, vilket bildas vid förbränning av beck<sup>viii</sup>, bindemedlet i anoden.

#### 4.2.4.2. Primär tillverkning i Sverige

I Sverige tillverkas primäraluminium endast vid en anläggning, Kubal i Sundsvall.<sup>ix</sup> Vid denna elektrolysanläggning sker produktion i två verk ett med förbakade ugnar och ett med Söderbergsugnar. Anläggningen har totalt 56 förbakade ugnar med 16 anoder i varje ugn och 260 Söderbergsugnar med en anod i varje. Årsproduktionen för denna anläggning är 101 000 ton.<sup>21</sup> Den globala tillverkningen av primäraluminium är ca 24 miljoner ton.<sup>1</sup>

#### 4.2.5. Material åtgång

För att framställa 1 ton aluminium krävs ca 4,1 ton bauxit som utgångsmaterial. Utifrån bauxiten kan med tillförd energi och natriumhydroxid, 1,9 ton aluminiumoxid bildas. Aluminiumoxiden omvandlas med tillförsel av kol och energi till ren aluminiummetall. Aluminiumtillverkning är en energikrävande process och efter aluminiumoxid är elenergi den viktigaste råvaran. Primär aluminiumtillverkning utvecklas mot minskat energianvändande. Investeringar och processutveckling görs för att minska elförbrukningen.

Här bör nämnas att den förbakade ugnen är att föredra ur energisynpunkt, förbrukningen är 80 % av en Söderbergsugn.

<sup>viii</sup> Beck- bindemedel i anoden. Tjockflytande ämne från tjära.

<sup>ix</sup> Kubikenborg Aluminium AB, Sundsvall, (KUBAL) ägt av Glencore International AG.



#### 4.2.6. Framställning av sekundäraluminium

Omsmältning av aluminium är energimässigt mycket fördelaktigt jämfört med primäraluminiumtillverkning. Aluminium kan återvinnas obegränsat antal gånger. Föroreningar är komplicerade och kostsamma att rena ur aluminium och en stark kontroll krävs därför på skrotsorteringen. Marknadsvärdet på omsmält (sekundärt) aluminium är högt och efterfrågan stor. I Sverige finns tre omsmältverk för aluminium, ett ägs av Stena aluminium, Älmhult, och två av Sapa (Finspång och Sjunnen).

##### 4.2.6.1. Smältning

Det förbehandlade aluminiumskrotet smälts ner i smältugn. Det finns tre huvudgrupper av ugnstyper flamugn, elektriskugn och roterugn. Dessa ugnstyper finns alla representerade i Sverige genom att Finspång använder elektriska- och flamugnar, medan Älmhult använder roterugn. Figur 16 visar nersmältning av aluminiumskrot utförd i Älmhult. Båda dessa anläggningar använder sig av oxyfuelbrännare för att effektivisera nersmältningen i sina ugnar. Vid nersmältningen tillsätts i de flesta ugnar flussmedel, som i huvudsak består av natrium- och kaliumklorider, vilket skyddar den smälta metallen från oxidation. Vid smältprocessen reagerar saltet tillsammans med oxider och andra föroreningar och bildar en saltslagg som skickas till deponi. Gasol eller eldningsolja används som bränsle i smältugnar.



Figur 16. Aluminiumskrot för omsmältning.

##### 4.2.6.2. Raffinering

Smältan tappas i en konverterugn. I konvertern sker den första provtagningen för att kontrollera analysen och därefter påbörjas raffineringen som slutligen skall ge metallen dess rätta analys. Legeringsämnen tillsätts. Genom att låta kväv- och klorgas strömma genom smältan kan vätgas, oxider och överskott av magnesium avlägsnas. Raffineringen avslutas med ett kontrollprov. Föroreningar och slagg rakas ur och återvinns i processen. I det sista steget gjuts metallen ut i tackformade kokiller eller som slabs. Gjutningen sker i götform inte som stränggjutning Tackor går t.ex. till stålindustrin som legeringsämnen. Om tillverkningen är integrerad med vidare bearbetning skickas slabsen vidare till t.ex. valsverket.

### **4.3. Slutsats Processväg och tillverkningsstruktur**

Strukturen för tillverkning skiljer sig mellan stål- och aluminiumindustrin. Stålindustrin har en produktion där smältverk och bearbetning är integrerad. Ett stort antal smältverk finns i landet och till dessa är bearbetning direkt kopplad genom att tillhöra samma företag och ligga geografiskt nära.

Aluminiumindustrin har en struktur där primärtillverkningen är separerad från bearbetningen. Primärtillverkning vid smältverk producerar, göt, slabs eller tackor som skickas till andra företag för bearbetning. Dessa företag behöver inte ligga geografiskt nära primärtillverkningen.

En annan skillnad i tillverkningsstrukturen är hur långt respektive bransch går i förädling. Aluminiumbranschen producerar halvfabrikat som ofta är bearbetade väldigt nära till slutprodukt t.ex. profiler. Stålindustrins halvfabrikat ligger generellt längre från slutkund genom att en större del går till plåt, band etc.

## 5. MATERIALENS EGENSKAPER OCH ANVÄNDNINGSMOMÅDEN

### 5.1. Inledning

I denna del av rapporten kommer stål och aluminiums materialegenskaper och användningsområden att beskrivas. Under begreppet stål räknas allmänna konstruktionsstål, maskinstål, verktygsstål och rostfria stål in. Rapporten är utformad för att visa hur legeringar och bearbetningar påverkar materialen och därför kommer materialens sträck- och brottgränser samt legeringshalter att illustreras för varje material. Det finns några allmänna egenskaper för stål



**Figur 17** Matförpackningar av stål och aluminium  
Källa: EAA

och aluminium som inte förändras så mycket vid bearbetningar och legeringstillägg. Det är densiteten som för stål i allmänhet är ca  $7,8 \text{ kg/dm}^3$  och för aluminium ca  $2,7 \text{ kg/dm}^3$  samt E-modulen<sup>x</sup> som för stål är ca 208 GPa och för aluminium ca 70 GPa.

För varje material kommer även egenskaper som t.ex. svetsbarhet, korrosionsegenskaper och formbarhet att visas upp. Dessa egenskaper kan vara avgörande för valet av material till en specifik applikation. De olika materialens vanligaste applikationer kommer också att beskrivas.

Syftet är att se om det finns någon konkurrens mellan stål och aluminium med avseende på deras

egenskaper och vad som händer med stål och aluminium när en legering tillsätts och när de bearbetas. De två figurerna som visar högspänningsledningar och matförpackningar är ett bra exempel på den bredden som materialens applikationer har.

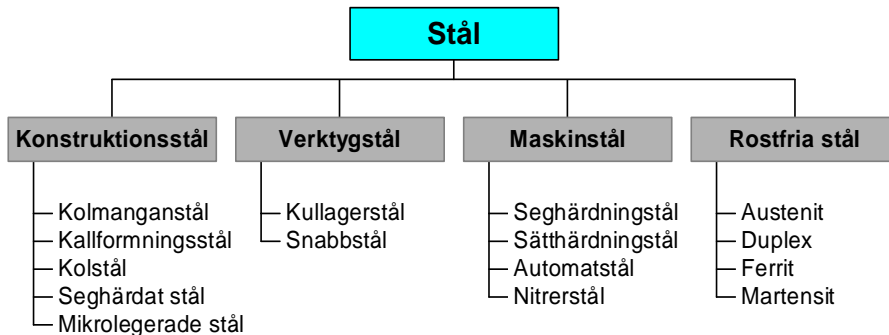
För samtliga stål och aluminium sorter redovisas sträck- och brottgränser i ett diagram. Syftet med dessa diagram är för att visa hur sträck- och brottgränserna har förändrats genom olika legeringstillägg samt olika värmebehandlingar. Därför kommer hållfastheten att presenteras relativt ett annat material i samtliga diagram, i de flesta fall så kommer detta material att vara kolstål. De rostfria stålen kommer att jämföras mot feritiska rostfria stål och aluminium kommer att jämföras mot kolstål och Al 1xxx.



**Figur 18** Högspänningsledningar i renaluminium.  
Källa: Svenskt Aluminium

<sup>x</sup> E-modulen är konstant för ett materiale och beskriver förhållandet mellan sträckgränsen och förlängningen.

## 5.2. Stål



Figur 19 Stålets struktur

### 5.2.1. Allmänna konstruktionsstål

Allmänna konstruktionsstål är en benämning på de låglegerade stål som används för konstruktioner. Kolstål är den enklaste varianten och det är i huvudsak en legering med järn och kol. Andra typer av allmänna konstruktionsstål har ofta låga halter av t.ex. mangan, titan, aluminium som legeringsämnen. Därifrån kommer namnet låglegerat stål.

Konstruktionsstål är anpassade för att kunna svetsas och bearbetas, så det finns krav på god seghet och bockbarhet. Hållfastheten är också en väldigt viktig egenskap. Exempel på användningsområden är bärande element i broar, hus, traverser, kranar, master samt flera andra områden. Konstruktionsstålen levereras som plåt, stång, rör och profil och används normalt i sin ursprungliga form. Figur 20 visar ett exempel på hur stål levereras. Många sorter kan varm- och kallformas och även användas för gjutning.

#### Viktiga materialegenskaper:

- **Hållfasthet**
- **Svetsbarhet**
- **Seghet**
- **Bockbarhet**

Konstruktionsstålen delas in i grupper efter hur de har legerats och hur de har härdats. Detta leder till att egenskaperna för grupperna kommer att vara olika. Det beror på att tillsatserna av legeringsämnen och typ av härdning ger olika effekter på materialens mekaniska och fysikaliska egenskaper. Det som dock kan anses vara gemensamt för dessa grupper är dess densitet är ca  $7,8 \text{ kg/dm}^3$  och dess E-modul är ca 208 GPa.

#### Dessa fem grupper anses vara de vanligaste konstruktionsstålen:

- **Kolstål**
- **Kolmanganstål**
- **Mikrolegerade- eller finkornstål**
- **Seghärdate stål**
- **Kallformningsstål**

Ett flertal av de allmänna konstruktionsstålen har vidareutvecklats mot en allt högre hållfasthet för att möta krav på styrka och minskad vikt i konstruktioner. Dessa kallas höghållfasta stål och idag benämns vissa som extra höghållfasta stål och andra som ultra höghållfasta stål.



Figur 20 Rullar av stål.  
Källa: SSAB Tunnsplåt, Borlänge

### 5.2.1.1. Kolstål

**Egenskaper:** Sträckgräns 200-260 MPa<sup>22</sup>  
Mycket god svetsbarhet  
Mjukt

**Applikationer:** Svetsade byggnadskonstruktioner  
Rör  
Kättingstål  
Bult och skruv



**Figur 21** Ett fackverk tillverkat av kolstål.  
Källa: SBI, Stockholm

	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	N %	Cu %
<b>Kolstål</b>	0,05-0,2	0-0,5	0,2-1	0,01-0,06	0,01-0,05	0-0,3	0,002-0,015	0-0,4

Kolstålets viktigaste ämnen är järn och en låg halt av kol som inte bör överstiga 0,18 %.<sup>23</sup> Detta ger en mjuk legering där hållfastheten kan öka vid en höjning av kolhalten. Problemet med hög kolhalt är att svetsbarheten och segheten försämras då fasen perlit<sup>xi</sup> bildas vid kylning. Kolstål har en låg manganhalt, oftast under 0,4 %.

Dagens stål är alltid tätade<sup>xii</sup>. Det vanligaste desoxidations- eller tättningsmedlet är kisel och kiselhalten är omkring 0,25 % i tätat stål. Tidigare fanns inte tätat stål och då uppstod seg-ringar<sup>xiii</sup> i materialet.<sup>24</sup> En vanlig applikation för kolstål är i byggkonstruktioner som t.ex. fackverk som kan ses i Figur 21.

<sup>xi</sup> Perlit innehåller cementit som har en hög kolhalt och gör materialet sprött.

<sup>xii</sup> Tätat betyder desoxiderad, vilket innebär att man bundit syret som finns i form av koloxid i det flytande stålet.

<sup>xiii</sup> Olikheter i materialets struktur vilket medför ojämna egenskaper

### 5.2.1.2. Kolmanganstål

**Egenskaper:** Sträckgräns 290-310 MPa<sup>22</sup>  
 Mycket god svetsbarhet  
 Mjukt

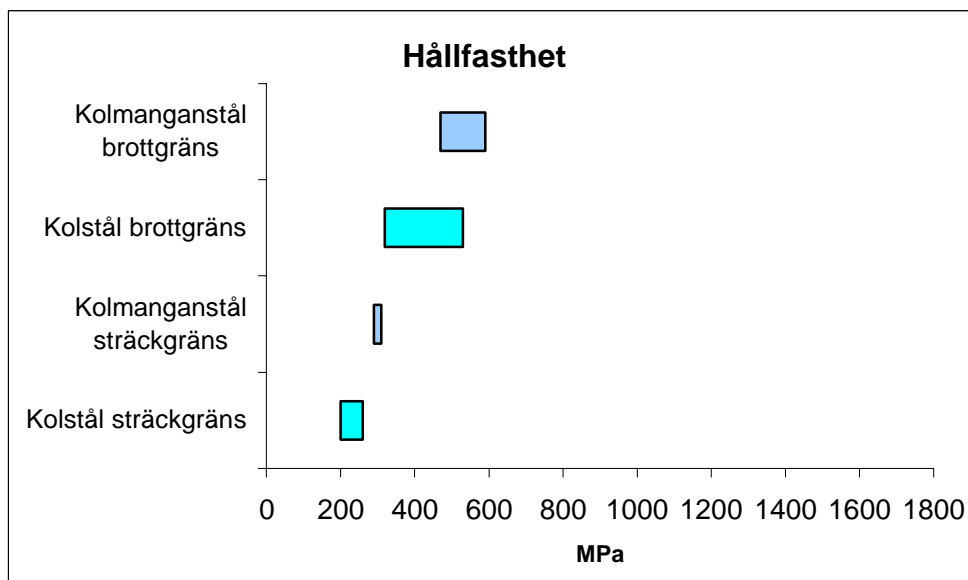
**Applikationer:** Svetsade byggnadskonstruktioner  
 Rör  
 Kättingstål  
 Bult och skruv



Figur 22 Svetsad byggnadskonstruktion.  
 Källa: SBI, Stockholm

	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	N %	Cu %
<b>Kolmanganstål</b>	0,05-0,2	0-0,5	1-1,7	0,01-0,05	0,01-0,05	0,2-0,3	0,002-0,015	0,3-0,4

I kolmanganstålet finns det halter av mangan upp till 1,7 %. Detta ger en höjd sträckgräns till 310 MPa, utan att svetsbarheten försämras. Vid en manganhalt över 1,7 % kommer materialet att få sämre svetsegenskaper. Kolmanganstål kan i det stora hela användas till samma applikationer som kolstål. Skillnaden är att de har en högre hållfasthet och en lägre procentuell förlängning.<sup>24</sup>



Figur 23 Sträckgränser och brottgränser för Kolstål och Kolmanganstål<sup>22</sup>

### 5.2.1.3. Finkorns- eller mikrolegerade stål

**Egenskaper:**      Hög sträckgräns 420-500 MPa.<sup>25</sup>  
 God seghet  
 God svetsbarhet

**Applikationer:**    Svetsade byggnadskonstruktioner.  
 Trafik broar

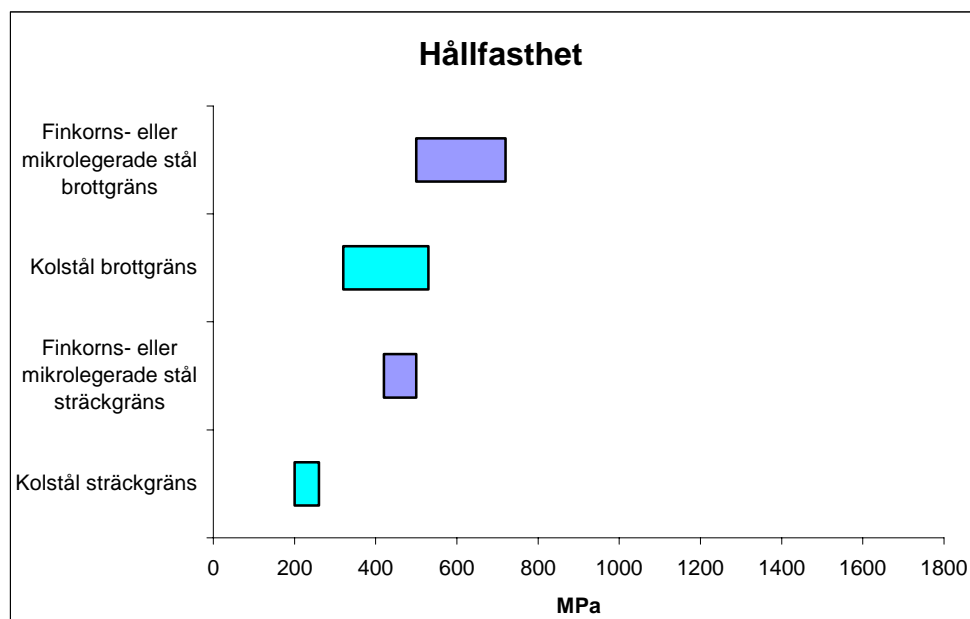


**Figur 24** En bro i höghållfast stål.  
 Källa: SBI, Stockholm

	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Ni %	Mo %	N %	Al %	Nb %	Ti %	V %
<b>Finkorns- eller mikrolegerade stål</b>	0,14-0,17	0,5-0,55	1,7	0,02-0,025	0,015-0,02	0,1	0,05	0,015	0,015	0,05	0,02	0,1-0,12

Finkorns- och mikrolegerade stål har framställts då kraven på hållfasthet har ökat. I jämförelse med kolstål har de finkorns- och mikrolegerade stålen en högre hållfasthet och även en förbättrad seghet. Svetsbarheten för dessa material motsvarar svetsbarheten för kolstål. Hållfasthetsökning sker genom en minskad kristallkornstorlek, dvs. en finkornigare struktur. Strukturen bildas genom en tillsats av finkornbildande legeringsämnen som aluminium, niob, vanadin och titan i kombination med kväve. Dessa kan variera från en halt på 0,01 % till en halt på ca 0,2 %. Ofta används kombinationer av dessa mikrolegeringselement. Genom finkornbildning höjs hållfastheten och segheten förbättras. Aktuella sträckgränser är i allmänhet mellan 420 och 500 MPa. Dessa stål tillverkas ofta som grovplåtar för att kunna användas vid byggnads konstruktioner.

I finkornstål med hög hållfasthet sjunker förmågan att klara utmattningar i svetsar och hållfastheten i svetsen sjunker.<sup>24</sup>



**Figur 25** Sträckgränser och brottgränser för Kolstål och Finkorns- eller Mikrolegerade stål<sup>26</sup>

### 5.2.1.4. Mikrolegerade Höghållfasta stål (HSLA)

**Egenskaper:**      Hög sträckgräns 220-500 MPa<sup>27</sup>  
 Mycket god svetsbarhet  
 God formbarhet

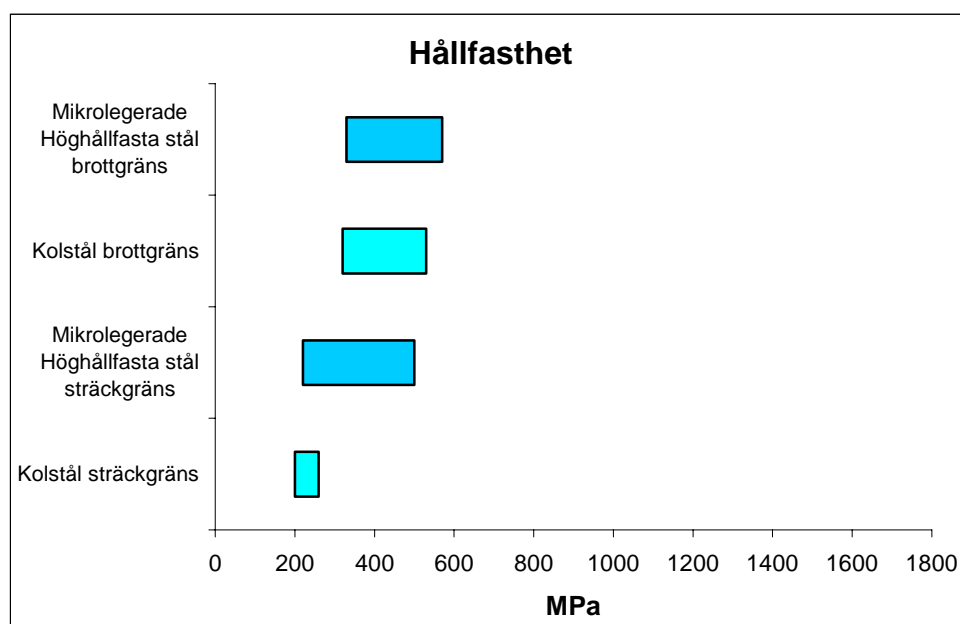
**Applikationer:**    Delar inom bilindustrin  
 Containrar  
 Hyllkonsoler



Figur 26 Tvärbalk i Docol YP.  
 Källa: SSAB Tunnlåt, Borlänge

	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Al %	Nb %
<b>Mikrolegerade Höghållfasta stål</b>	0,05-0,06	0,01-0,4	0,2-1,2	0,01	0,01	0,04-0,05	0-0,05

Mikrolegerade höghållfasta stål kombinerar hög hållfasthet med god formbarhet. De har jämna hållfasthetsegenskaper och passar bra för böckning och kragning, samt även för enklare pressning och formning. En annan god egenskap är att dessa material har fina ytor som lämpar sig för olika typer av ytbehandlingar och lackeringar. Mikrolegerade höghållfasta stål tillverkas ofta som tunnplåt för applikationer som ska ha små dimensioner med hög hållfasthet.<sup>28</sup>



Figur 27 Sträckgräns och brottgräns för höghållfasta Mikrolegerade stål och Kolstål<sup>29</sup>



### 5.2.1.5. Seghärdat stål

**Egenskaper:**      Hög sträckgräns 500-1300 MPa.<sup>30</sup>  
                          God seghet  
                          God svetsbarhet

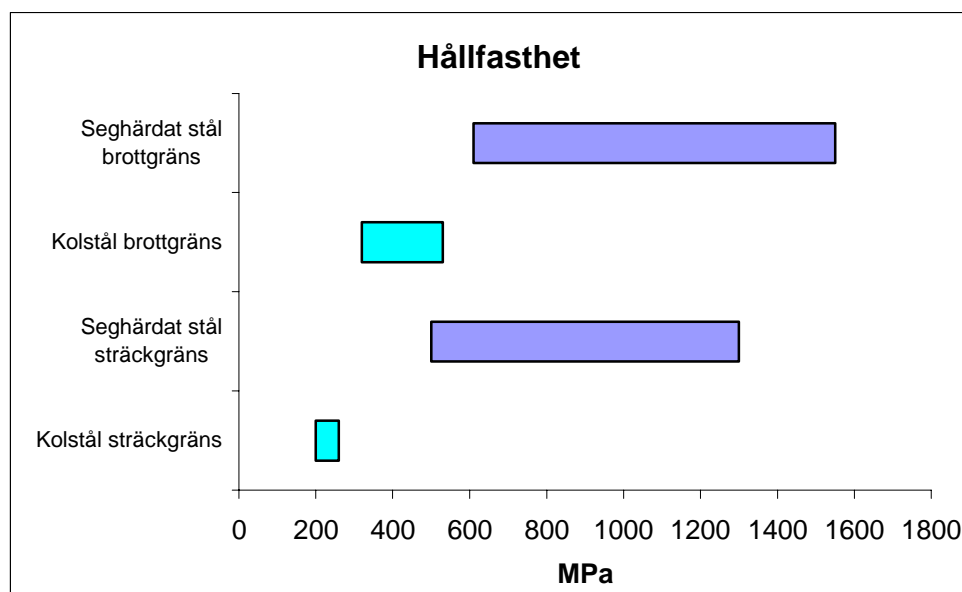
**Applikation:**      Broar  
                          Lyftarmar  
                          Takbalkar



**Figur 28** En lyftkrans arm tillverkat i seghärdat stål.  
 Källa: SSAB Oxelösund, Oxelösund

	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	Ni %	Mo %	N %	Al %	Cu %	Nb %	Ti %	V %
<b>Seghärdat stål</b>	0,18-0,27	0,5-0,7	1,4-1,6	0,02-0,025	0,01	0,25-1	0,25-3	0,25-0,7	0,015	0,015-0,02	0-0,3	0,04	0,02-0,04	0,06-0,09

Seghärdat stål är avsett för svetsade konstruktioner och erbjuder jämfört med icke-värmehandlad eller normaliserad plåt högre hållfasthet. Härigenom kan i många fall en konstruktions godstjocklek minskas och viktbesparingar göras. Genom värmehandling skapas ett stål med hög sträckgräns, god seghet och god svetsbarhet. Det seghärdade stålet har den högsta hållfastheten av de allmänna konstruktionsstålen. Stålet värmehandlas efter varmvalsning så att finkornig cementit och ferrit bildas. På detta sätt är det möjligt att producera stål med sträckgränser på upp till 1 300 MPa med bibehållen god seghet och svetsbarhet.<sup>31</sup>



**Figur 29** Sträckgränser och brottgränser för Kolstål och Seghärdat stål<sup>32</sup>

### 5.2.1.6. Kallformningsstål

**Egenskaper:** Sträckgränsen 240-700 MPa.<sup>33</sup>  
 God svetsbarhet  
 Höga krav på bockbarhet i alla riktningar

**Applikationer:** Kranar  
 Dumprar  
 Lastbilar

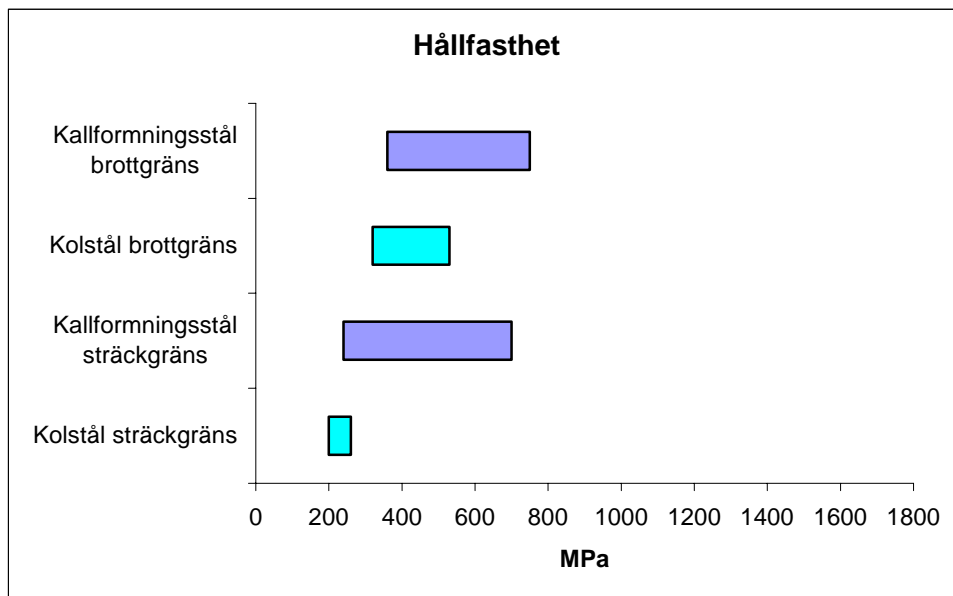


Figur 30 En dumper tillverkad av kallformningsstål.  
 Källa: SSAB Oxelösund, Oxelösund

	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Al %	Nb %	Ti %	V %
<b>Kallformningsstål</b>	0,1-0,12	0,03-0,1	1,3-2,1	0,025	0,01	0,015	0,09	0,15	0,2

Kallformningsstålen är anpassade för att kunna bearbetas i kallt tillstånd och de har högre krav på bockbarhet än vanligt låglegerade stål. Dessa stål är bockbara med små radier oavsett bockningsriktning. Kallformningsstål är en vidareutveckling av konstruktionsstålen och materialet har hög hållfasthet och god svetsbarhet.

De goda bockningsegenskaperna åstadkoms genom att stålet innehåller få och korta sulfidslaggar. Kallformningsstål finns som standardsorter men också som höghållfasta och idag är de kommersiellt tillgängliga med en sträckgräns på ca 700 MPa. Stålet har låg kolhalt och mycket låg legeringshalt. Den låga legeringshalten ger god svetsbarhet.<sup>31</sup>



Figur 31 Sträckgränser och brottgränser för Kolstål och Kallformningsstål<sup>34</sup>

### 5.2.1.7. Tvåfasstål Höghållfasta stål (DP, Dual Phase)

**Egenskaper:**      Hög sträckgräns 230-1150 MPa<sup>27</sup>  
 Deformationshårdnar vid kalldeformation

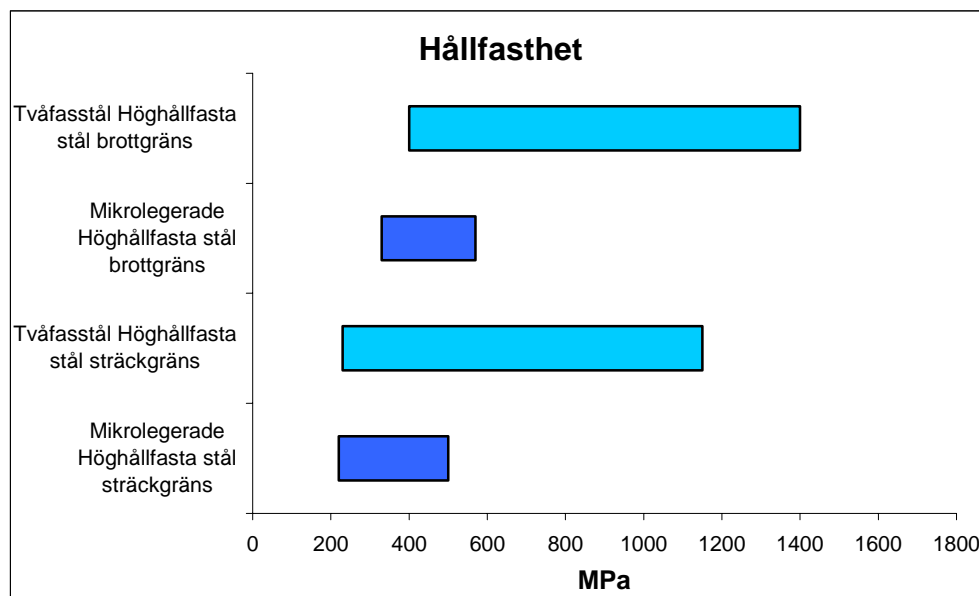
**Applikationer:**    Rör  
 Delar inom bilindustrin  
 Dörrbalkar  
 Laststöd för timmerbilar  
 Cyklar  
 Stegar



**Figur 32** Cykel i ultra höghållfast stål.  
 Källa: SSAB Tunnpå, Borlänge

	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Al %	Nb %
<b>Tvåfasstål Höghållfasta stål (DP, Dual Phase)</b>	0,07-0,18	0,01-0,5	0,4-1,7	0,01-0,06	0,002-0,01	0,04	0-0,015

Tvåfasstålen betecknas DP, Dual Phase och detta för att stålels mikrostruktur består av en hård fas, martensit, och en mjuk fas, ferrit. Hållfastheten ökar när den hårda martensitfasen ökar. Dessa stål har mycket god formbarhet i kombination med hög hållfasthet. DP stålen har en stor differens mellan sträckgräns och brottgräns, vilket innebär att deras förmåga att fördela töjningar under bearbetning är god. Tvåfasstålen har förmågan att deformations- och varmhårdna<sup>xiv 35</sup>.



**Figur 33** Sträckgräns och brottgräns för Mikrolegerade höghållfasta stål och Tvåfas höghållfasta stål<sup>27</sup>

<sup>xiv</sup> Deformations- och varmhårdna betyder att sträckgränsen ökar betydligt vid bockning eller pressning samt vid lackering där lacken bränns.

### 5.2.1.8. Refosstål

**Egenskaper:** Sträckgräns 220-300 MPa.<sup>27</sup>  
Goda dragpressningsegenskaper

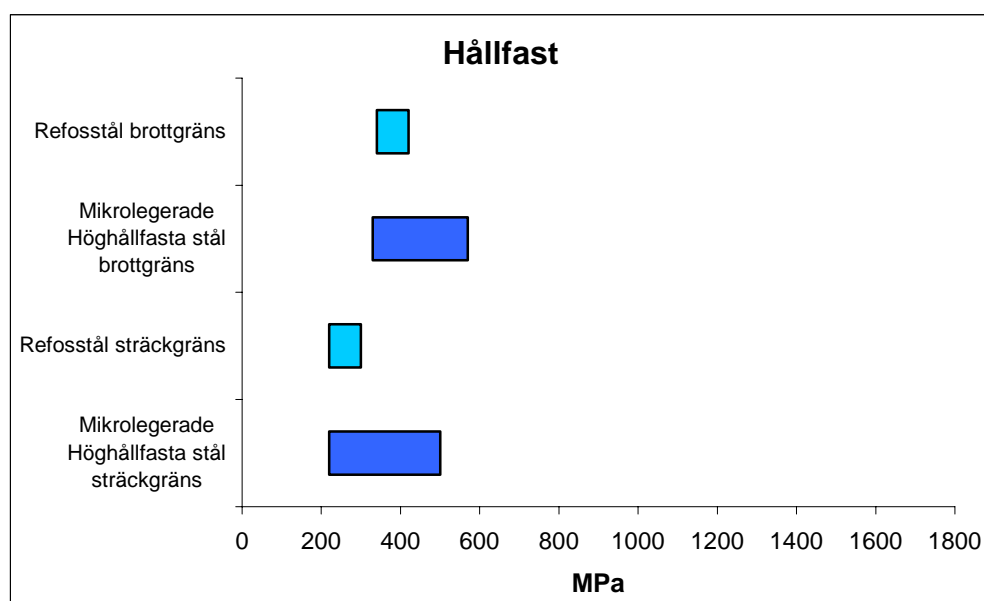
**Applikationer:** Delar till bilindustrin



**Figur 34** Bildetaljer utav Refosstål.  
Källa: SSAB Tunnpålat, Borlänge

	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Al %
<b>Refosstål</b>	0,04	0,01	0,2-0,6	0,5-0,1	0,01	0,04

Refosstål är fosforlegerade höghållfasta stål med mycket goda dragpressningsegenskaper. Fosfor ökar hållfastheten genom lösningshärdning utan att sänka pressbarhetsegenskaperna i någon större skala. Den slutliga hållfastheten i den färdiga detaljen får man genom deformationshärdning vid pressning. Refosstål är väldigt bra anpassad för pressade detaljer och för att öka hållfastheten än mer så låter man detaljerna ligga i en torkugn efter att den har fått sin sista behandling.<sup>36</sup>



**Figur 35** Sträckgränser och brottgränser för Mikrolegerade höghållfasta stål och Refosstål<sup>27</sup>

## 5.2.2. Maskinstål

Maskinstål är i första hand avsedda för maskinbearbetade konstruktionsdetaljer. För maskinstål prioriteras bearbetbarheten och hållfastheten i första hand, medan svetsbarheten inte har så hög prioritet. Ythårdheten är också en väldigt viktig egenskap för dessa material.

Stål som används i maskinkonstruktioner ges vanligtvis den slutliga formen genom skärande bearbetning. Utgångsämnen är varmvalsad stång, smides- eller gjutgods. Stålen får sina speciella mekaniska egenskaper genom kemiska tillsatser samt genom olika härdprocesser (seg-härdning, sätthärdning, nitring m m) antingen före eller efter den skärande bearbetningen. Ofta används kolstål med upp till 0,6 % kol. Maskinstål tillverkas även i rostfritt stål om korrosionsbeständiga material krävs.<sup>37</sup>

### 5.2.2.1. Sätthärtningsstål

**Egenskaper:**      Hög sträckgräns 640-830 MPa<sup>38</sup>  
                         Hård yta 205-480 HB<sup>38</sup>  
                         Mjuk kärna

**Applikationer:**    Kugghjul för växellådor  
                         Axlar

	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	Ni %	Mo %
Sätthärtningsstål	0,12-0,23	0,15-0,40	0,6-1,3	0,035	0,02-0,05	0-1,2	0-1,4	0-0,25

Maskinstål som behandlas med sätthärdning benämns sätthärtningsstål. Sätthärdning betyder att materialet värms upp i en kolrik atmosfär så att kol kan diffundera in i materialets ytskikt. Sätthärdning ger ett hårt, höghållfast ytskikt och en seg kärna. Denna typ av stål förekommer både som kolstål och legerade stål. Låg kolhalt mellan 0,10-0,20 %. Kolstål används vid kläna dimensioner eftersom det finns en risk att ytan brister då kärnan blir mjuk efter behandlingen. Hållfastheten ökar genom att legeringar tillsätts och då minskar risken för bristning. Bra vid detaljer som måste tåla höga yttryck eller vara nötningsbeständiga som t.ex. kugghjul och kamaxlar.<sup>39</sup> (Se Figur 37)

### 5.2.2.2. Automatstål

**Egenskaper:** Sträckgräns 210-500 MPa<sup>38</sup>  
Mindre goda korrosionsegenskaper  
Mindre goda svetsegenskaper  
Mycket god skärbarhet

**Applikationer:** Länkhuvuden  
Skruvar  
Muttrar  
Nipplar



Figur 36 Skruvar i automatstål.  
Källa: Fundia, Smedjebacken

	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Pb %
<b>Automatstål</b>	0,12-0,39	0,05-0,4	0,8-1,4	0-0,11	0,15-0,35	0-0,35

Automatstål är en ståltyp som bearbetas i automatmaskiner. Har korta svarvspån och släta ytor. Automatstål har en kolhalt mellan 0,1-0,5 %. Eftersom stålet har inlegerat svavel ska inte automatstål användas vid varmförzinkning. Automatstål används till stora serier av skruvar, muttrar och nipplar. Stålet har extremt bra skärbarhet och detta innebär att man kan tillåta höga skärhastigheter. Automatstål levereras som kalldragen eller varmvalsad stång och lämpar sig inte för varmsmidning. Automatstål med låg kolhalt kan sätthärdas.<sup>40</sup> (Se Figur 37)

### 5.2.2.3. Fjäderstål

**Egenskaper:** Hög sträckgräns 370-1350 MPa<sup>38</sup>  
Medelgoda korrosionsegenskaper

**Applikationer:** Låsfjädrar  
Tryckfjädrar  
Smycken

	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	V %
<b>Fjäderstål</b>	0,48-1,06	0,1-2	0,3-1	0,035	0,035	0-1,2	0-0,2

Fjäderstål tar i många applikationer upp stor elastisk energi, därför prioriteras hög sträckgräns och/eller låg E-modul. För fjädrar som utsätts för utmattningslast är också kravet på felfri yta hög. Fjäderstål kan seghärdas, anlöpas och kallbearbetas. För grövre dimensioner krävs ett legerat stål för att få en genomhårdning. Det finns även rostfria fjäderstål.<sup>37</sup> (Se Figur 37)

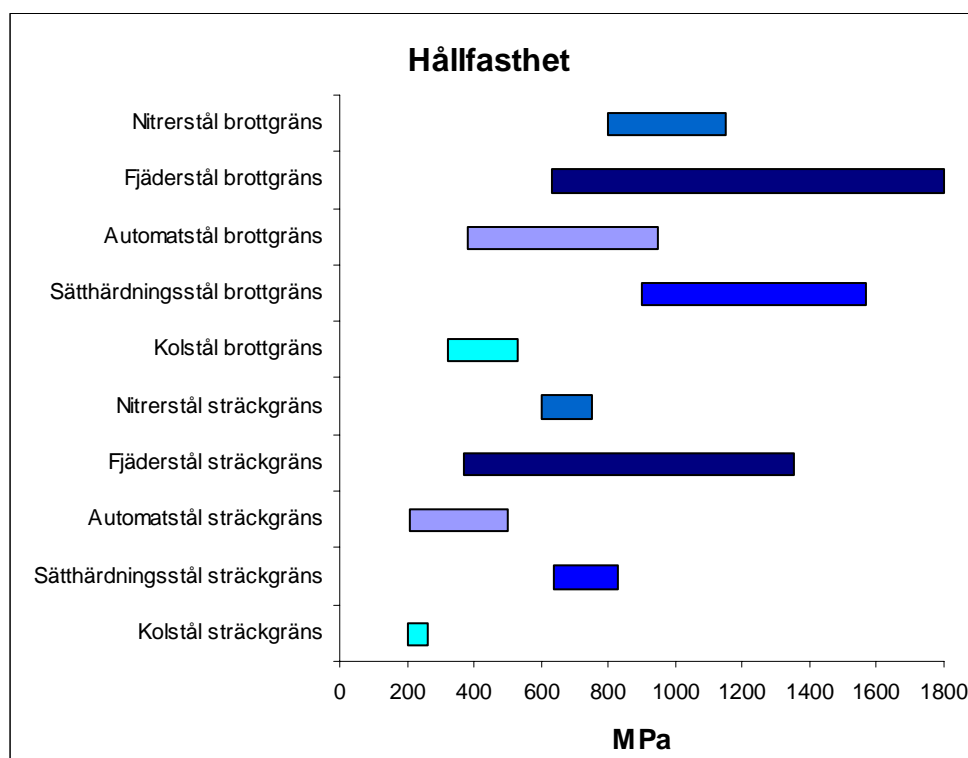
#### 5.2.2.4. Nitrerstål

**Egenskaper:**      Hög sträckgräns 600-750 MPa<sup>38</sup>  
                          Hård yta 250-340 HB<sup>38</sup>  
                          Lättpolerad yta

**Applikationer:**    Axlar  
                          Kugghjul

	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	Mo %	Al %
<b>Nitrerstål</b>	0,38-0,45	0,5	0,5-0,8	0,03	0,035	1,5-1,8	0,25-0,4	0,8-1,2

Nitrerhärdning utförs på fullt färdigt bearbetade komponenter och ger dessa en slitstark och lättpolerad yta, samt en försumbar formförändring. Detta görs i en ugn vid en låg temperatur av 510°C. I denna ugn tillförs en kväveavgivande gas. Enskilda kväveatomer (atomärt kväve) diffunderar in i stålets ytskikt och bildar hårda nitrider. Härdjupet blir mellan 0,2 och 0,7 mm och hårdheten är beror på vilket material som härdas. Eftersom temperaturen är låg blir formförändringarna mycket små. Detaljerna kan bearbetas och slipas till färdig-mått före nitreringen vilket tar bort kostnaden för eventuell efterbearbetning.<sup>41</sup>



Figur 37 Sträckgränser och brottgränser för Kolstål och de fyra Maskinstålen<sup>42</sup>

### 5.2.3. Verktygsstål

Beroende på legeringsämnen och hårdprocess kan produktens egenskaper varieras inom ett brett spektrum inklusive varmhållfasthet och korrosionsbeständighet.

**Egenskaper:**      Hög sträckgräns ca 1080 MPa<sup>38</sup>  
God hårdhet 380-440 HB<sup>38</sup>  
Genomhärdad  
Slitstarkt  
God eggskärpa  
Temperaturtåligt

**Applikationer:**    Mejslar och filar  
Svarvstål  
Slagbackar  
Borrar  
Stansar



**Figur 38 Växellådehus.**  
Källa: Uddeholm Tooling Svenska AB,  
Uddeholm

	C %	Si %	Mn %	P %	S %	Cr %	Ni %	Mo %	Co %	V %	W %
<b>Verktygsstål</b>	0,34-2,4	0,1-1,3	0,2-1,3	0,03-0,05	0,02-0,17	0-14,5	0-3,2	0-10	0-11,5	0-6,7	0-9,1

Verktygsstål används till verktyg. Verktyg är en gemensam benämning på hjälpmedel för tillverkning. Materialet har god slitstyrka, hårdhet och seghet, vilket är egenskaper som krävs för verktygsdelar. Verktygsstål grupperas efter användningsområde i kallarbetsstål, varmarbetsstål och snabbstål. Verktygsstål bedöms efter hårdheten eftersom dragprov aldrig görs. Slitstyrkan och eggskärpan är delvis beroende av hårdheten.

Dessa stål är alltid härdade och krom, nickel, mangan, molybden, volfram och kisel tillsätts för att öka genomhärdförmågan. Vanadin och aluminium används också för att höja härdfältet. Legeringstillsetser kan förbättra önskade egenskaper, t.ex. för borrarstål fordras god anlöpningsbeständighet för att kunna arbeta vid hög temperatur utan att förlora hårdheten. Legerade verktygsstål har många fördelar jämfört med kolstål. De har bl.a. bättre genomhärdförmåga (olja- eller lufthärdade), i vissa fall krympfritt, bättre anlöpningsbeständighet och i vissa fall bättre slitstyrka. Stålen levereras vanligen i glödgat tillstånd som stång, tråd eller smide.<sup>43</sup>



#### 5.2.4. Rostfria stål

Benämningen rostfritt stål kommer av att stålet har en god motståndskraft mot korrosion men materialet är inte helt rostfritt. Rostskyddet bygger på att en passiv film bildas på ytan av stålet. Denna passiva film skapas genom att krom tillsätts till järnet. Vid en kromhalt av 13 % är effekten så stor att materialet kallas rostfritt. För att ge ett skydd även i reducerande miljö krävs tillsatser av nickel och dessutom eventuellt molybden. Den passiva filmen kan skadas av repor men kommer att återbildas helt mellan 18-24 timmar. Rostfria stål har en densitet på ca 7,8 kg/dm<sup>3</sup> och en E-modul på ca 200 GPa.

Med ledning av legeringstillsatser kan de rostfria stålen delas in efter mikrostruktur:

- **Ferritiska rostfria stål**
- **Martensitiska rostfria stål**
- **Austenitiska rostfria stål**
- **Austenit-ferritiska (Duplexa) rostfria stål**
- **Martensit-ferritiska rostfria stål (ej med i denna rapport)**
- **Martensit-austenitiska rostfria stål (ej med i denna rapport)**



I detta kapitel ges en generell översikt av de egenskaper och användningsområden som är typiska för de fyra stora rostfria stålsorterna, Austenit, Ferrit, Martensit och Austenit-ferrit. Dessa rostfria stålsorter har olika egenskaper och användningsområden. Ferritiska rostfria stål är de enklaste och billigaste. Austenitiska rostfria stål har bättre korrosionsegenskaper än vad de ferritiska rostfria har och de martensitiska rostfria stålen har de högsta hållfastheterna. Austenit-ferritiska rostfria stål (Duplexa) är ett rostfritt stål som är under stark utveckling. De har en hög hållfasthet, väldigt goda korrosionsegenskaper och det räknas med att tillväxten av detta stål kommer att bli hög.

**Figur 39 Rostfria produkter.**  
Källa: Sandvik SMT, Sandviken

Det tillverkas ca 820 kton rostfritt stål i Sverige per år och 90 % av detta är austenitiskt rostfritt. De övriga 10 % är jämt fördelade över de övriga rostfria stålen. De rostfria stålen levereras som plåt, band, stång, tråd, rör, smide eller gjutgods.

Under varje sort finns ett stort antal möjliga variationer av legeringsämnen och värmebehandlingar, vilka påverkar materialets egenskaper och därmed användningsområden. Ett exempel är att på bekostnad av korrosionshårdigheten kan ferritiska, martensitiska och austenitiska stål erhålla förhöjd skärbarhet och levereras som automatstål.

### 5.2.4.1. Ferritiska Rostfria Stål

**Egenskaper:** Relativt låg sträckgräns 205-380 MPa<sup>44</sup>  
 God korrosionsbeständighet  
 Relativt duktilt  
 Förhållandevis god svetsbarhet  
 Ej hårdbart  
 Magnetiskt

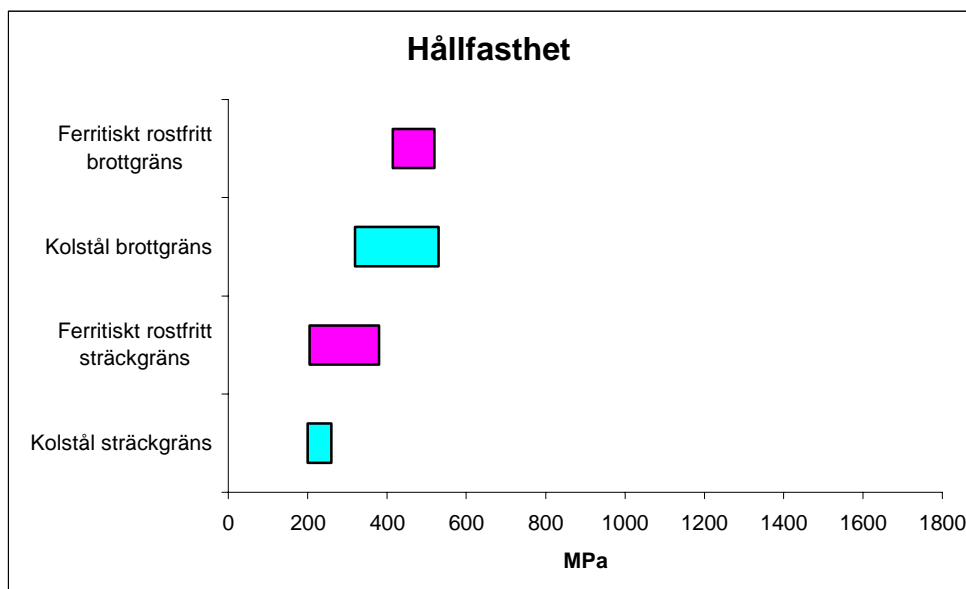


**Figur 40** Avgasrör tillverkat av ferritiskt rostfritt stål.  
 Källa: Outokumpu Stainless, Avesta

**Applikationer:** Plåtkonstruktioner  
 Rör  
 Djuppressade detaljer

	C %	Cr %
<b>Ferritiska Rostfria Stål</b>	0,01-0,08	10,5-30

Ferritiska material framställs genom tillsatser av 10-30 % krom till järnet och är den enklaste sorten av de rostfria. Ferritiska rostfria är de stål som har det lägsta priset av de rostfria stålen, dock kan de ferritiska vara svårare att bearbeta och svetsa. Svetsbarheten blir bättre vid lägre halter av kol och kväve. En risk för kornförstoring finns vid svetsning då det blir en hög värmeutveckling i materialet men med låg värmeförsel kommer materialet att kunna återbilda mindre korn. Materialet används när kravet på rostbeständighet är måttligt. De ferritiska stålen har vid rumstemperatur en lägsta hållfasthet som kan motsvara den för ett kolstål med samma kolhalt. Vid upphettning till hög temperatur, t.ex. glödning, omvandlas strukturen till austenit. Därför är ferritiska stål ej hårdbara.<sup>45</sup>



**Figur 41** Sträckgränser och brottgränser för Kolstål och Ferritiska rostfria stål<sup>46</sup>

### 5.2.4.2. Martensitiska Rostfria Stål

**Egenskaper:**      Hög sträckgräns 450-730 MPa<sup>44</sup>  
 God korrosionsbeständighet  
 Låg duktilitet  
 Förhållandevis dålig svetsbarhet  
 Härdbart  
 Magnetiskt  
 Sprött

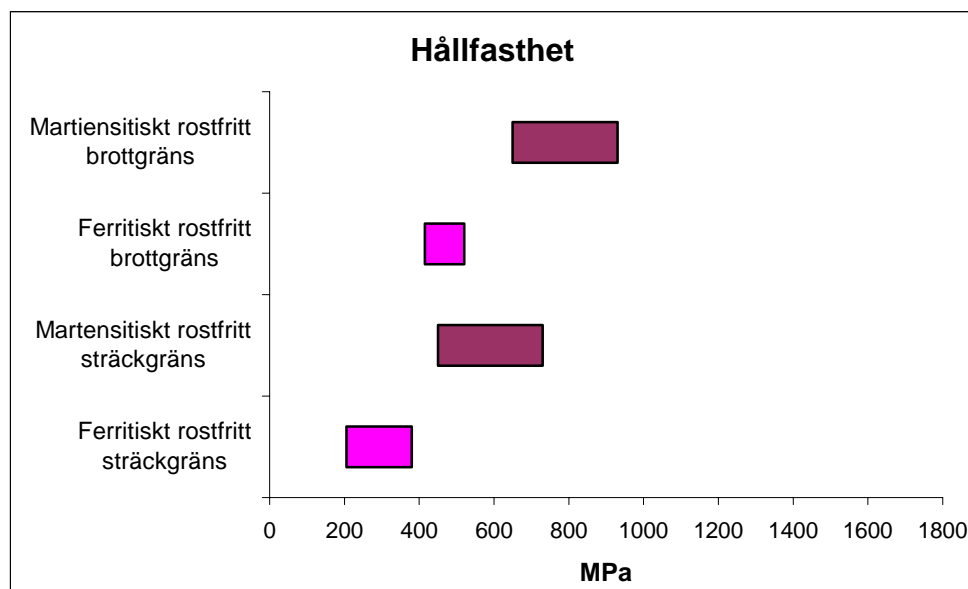
**Applikationer:**    Knivar  
 Rakblad  
 Fjädrar  
 Detaljer i ångturbiner



**Figur 42 Knivar och saxar i martensitiskt rostfritt stål.**  
 Källa: Sandvik SMT, Sandviken

	C %	Cr %	Ni %	Mo %	N %
<b>Martensitiska Rostfria Stål</b>	0,05-0,95	11,5-16	0-11	0-0,8	0-0,02

Martensitiska rostfria stål används när kravet på hårdhet är stort och korrosionsbeständigheten är måttligt. Materialet är hårt och starkt men sprött och kan vara svårt att svetsa och bearbeta. Martensitiska rostfria stål utmärks av höga sträckgränser och att materialet kraftigt påverkas av den värmebehandling de utsätts för. Normalt används martensitiska stål i seghärdat tillstånd. Materialet har i detta tillstånd en hög hållfasthet som ökar med kolhalten. Duktiliteten (deformationskapacitet) är relativt låg.<sup>45</sup>



**Figur 43 Sträckgränser och brottgränser för Ferritiska och Martensitiska rostfria stål<sup>44</sup>**

### 5.2.4.3. Austenitiska Rostfria Stål

**Egenskaper:** Relativt låg sträckgräns 170-450 MPa<sup>44</sup>  
 Mycket god korrosionsbeständighet  
 Duktilt  
 Mycket god svetsbarhet  
 Ej hårdbart  
 Omagnetiskt  
 Mycket god formbarhet  
 Mycket goda djuppressningsegenskaper  
 Deformationshårdnar vid kallbearbetning



Figur 44 Chrysler building i USA.  
 Källa: Outokumpu Stainless, Avesta

**Applikationer:** Diskbänkar och vitvaror  
 Köksartiklar  
 Tryckkärl  
 Cellulosaindustri  
 Byggindustri  
 Plåt och rör i kemiindustri  
 Livsmedelsindustri  
 Fordonsindustri

	C %	Si %	Mn %	Cr %	Ni %	Mo %	N %	Ce %	Cu %
<b>Austenitiska stål 18/8</b>	0,02-0,1			16-19	6-13		0-0,2		
<b>Austenitiska stål syrafast</b>	0,02-0,1			16-19	10-15	2-3	0-0,2		
<b>Austenitiska stål höglegerat</b>	0,015-0,03		0-5	17-27	11-31	0-7	0-0,5		0,5-4
<b>Austenitiska stål högtemperatur</b>	0,04-0,3	1-2	0-10	15-28	9-37		0,4	0-0,1	

De austenitiska rostfria stålerna används för ett stort antal ändamål där kraven på korrosionsbeständighet är stora. Austenitiska material framställs genom tillsatser av ca 18 % krom, samt 7-12 % nickel. En vanlig austenitisk stålsort är ett 18/8-stål med 18 % krom och 8 % nickel. Nickeltillsatsen gör att materialet får ett stort austenitområde och att en fasomvandling till austenit enkelt kan ske. Balansen mellan krom och nickel är avgörande för att fasomvandlingen skall ske. En tillsats av molybden förbättrar korrosionshårdigheten ytterligare. Det finns 18/10-stål med 1,5-3 % molybden och dessa kallas syrafasta och har hög beständighet mot många koncentrerade syror. Materialet är lämpligt för plastisk bearbetning.

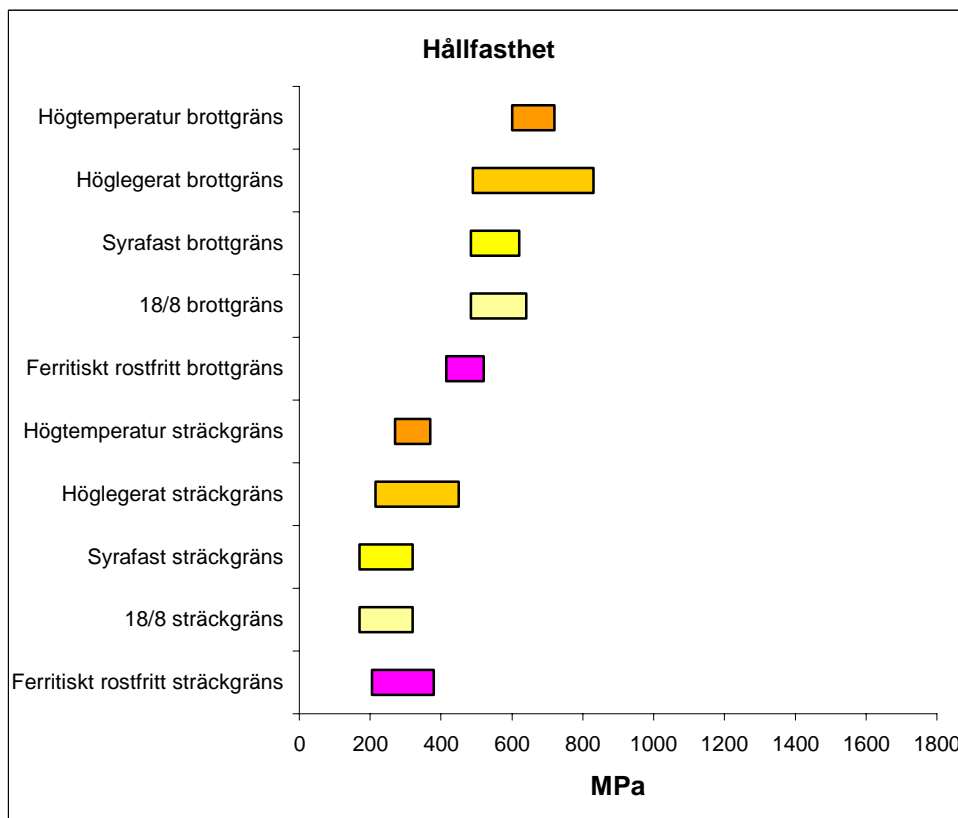
Austenitiska stål kan inte hårdas genom värmebehandling, utan risk för sänkt korrosionshårdighet. Hållfastheten är relativt låg, men kan höjas genom att legera med kväve och kallbearbeta. Seghetsegenskaperna är goda även vid mycket låga temperaturer och säkerheten mot sprödbrott är hög.

För moderna austenitiska stål är svetsbarheten mycket god. De defekter som ibland kan förekomma är stelningssprickor (varmsprickor). Duktiliteten är högre jämfört med övriga rostfria stål.<sup>45</sup>

Austenitiska stål kan delas in i fyra grupper. Den första är den tidigare nämnda 18/8 stålet som även kallades diskbänksstål och används bl.a. just för denna applikation. Den andra det syrafasta stålet som är legerat med krom, nickel och molybden. Den tredje gruppen kallas för höglegerade och innehåller högre halter av krom, nickel och molybden än 18/8 stålen och de syrafasta stålen. Även tillsatser av koppar och mangan kan göras. Koppar tillsätts för att höja korrosionsmotståndet och mangan tillsätts som austenitstabiliserare. Den fjärde och sista gruppen kallas för högtemperatur stål och skall ha egenskaper för att kunna verka i applikationer som utsätts för en högre värme. Dessa legeringar innehåller höga halter av krom, nickel och ibland tillsatser av cerium och kisel.



Figur 45 X 2000 med plåt av austenitiskt rostfritt stål.  
Källa: Outokumpu Stainless, Avesta



Figur 46 Sträckgränser och brottgränser för Ferritiska och Austenitiska rostfria stål<sup>44</sup>

#### 5.2.4.4. Austenit-Ferritiska (Duplexa) Rostfria Stål

**Egenskaper:** Relativt hög sträckgräns 400-650 MPa<sup>47</sup>  
 Mycket god korrosionsbeständighet  
 God duktilitet  
 God svetsbarhet  
 Ej härdbara  
 Magnetiskt



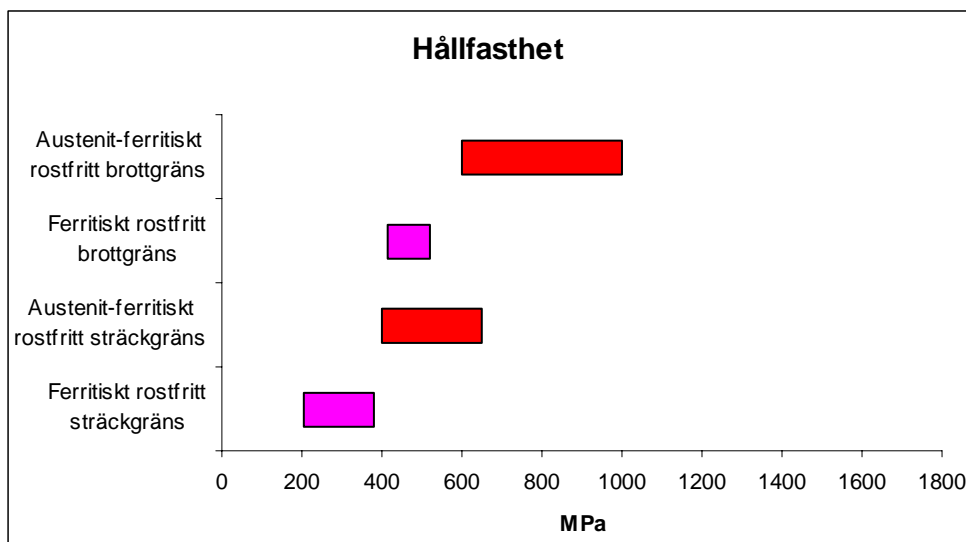
**Applikationer:** Pumpar  
 Varmvattentankar  
 Olje- och gasindustri  
 Kemisk processindustri  
 Cellulosaindustri  
 Tankfartyg

Figur 47 Tankar utav Austenit-ferritiska rostfritt stål.

Källa: Outokumpu Stainless, Avesta

	C %	Mn %	Cr %	Ni %	Mo %	N %	Cu %	W %
<b>Austenit-ferritiskt stål (Duplexa)</b>	0,01-0,04	0-6	18-30	1,35-8	0,1-5	0,05-0,4	0-2	0-2

De austenit-ferritiska stålen är en av de mest korrosionsbeständiga av de rostfria stålen tillsammans med de höglegerade austenitiska stålen. De är speciellt tåliga mot spänningsskorrosion. Strukturen är en blandning av ca 50 % ferrit och ca 50 % austenit. Detta material har en hög kromhalt, men en relativt låg nickelhalt. De används när det finns speciellt höga krav på korrosionsbeständigheten, t.ex. cellulosaindustrin. De austenit-ferritiska stålen har hög hållfasthet, vilket medför viktnedskningar i konstruktioner. Materialet har relativt god formbarhet. Austenit-ferritiska stål har god svetsbarhet. Vid högre legeringshalt måste större försiktighet tas vid svetsning och stelning efter svetsning. Risk för bildning av intermediera faser föreligger vid alltför långsam svalning.<sup>45</sup>

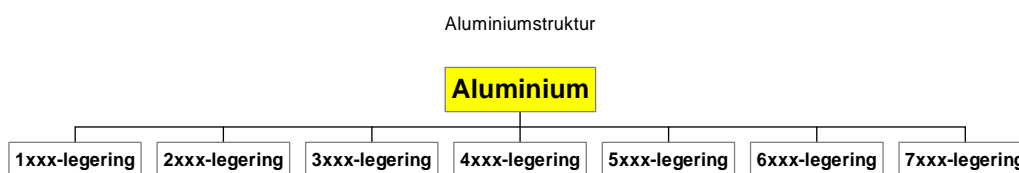


Figur 48 Sträckgränser och brottgränser för Ferritiska och Austenit-ferritiska rostfria stål<sup>47</sup>

### 5.3. Aluminium

Aluminium är liksom stål ofta en legering med olika legeringsämnen. Det finns renaluminium men den är oftast väldigt mjuk och har låg hållfasthet, så det vanligaste aluminiumet som används idag är aluminiumlegeringar. Likväl som för stål så kommer de olika legeringsämnen som tillsätts att ha en specifik inverkan på materialet och kommer att ändra dess mekaniska och fysikaliska egenskaper. Vad som kännetecknar samtliga aluminiumlegeringar är den låga densiteten för materialet som är ca  $2,7 \text{ kg/dm}^3$  för samtliga legeringar och det är betydligt lägre än vad stål har. Aluminium har också en god förmåga att motstå korrosion. Det ska dock tilläggas att alla aluminiumlegeringar inte har samma motståndskraft mot korrosion och detta beror på deras legeringsämnen. Samtliga aluminiumlegeringar har en E-modul på ca 70 GPa vilket är lägre än stål. En annan god egenskap hos aluminium är att de leder värme bra.

Aluminium kan delas upp i fyra grupper: renaluminium, icke-härdbara legeringar, härdbara legeringar och gjutlegeringar. Dessa grupper är uppdelade med avseende på dess legeringsämnen och får därmed olika egenskaper och används för olika applikationer. I Sverige är vi idag stora på profiltillverkningen, men det är fortfarande Norge som är riktigt stora på att tillverka aluminium i Norden. I Sverige så återanvänds det mest aluminiumet till att göra gjutlegeringar. Figur 49 nedan visar tydligt den begränsade mängd legeringar som finns av aluminium. Figuren visar även att det i jämförelse med stål är lättare att få en överblick över materialet.



Figur 49 Schematisk uppdelning av de olika legeringsserierna

De olika härdbara och icke-härdbara grupperna delas upp enligt följande. Al 4xxx kommer inte att tas med i denna rapport eftersom den endast används som svetsmaterial.

Icke härdbara legeringar:

- 3xxx
- 4xxx- ej med i denna rapport
- 5xxx

Härdbara legeringar:

- 2xxx
- 6xxx
- 7xxx



Figur 50 Aluminium används ofta i flygplan.  
Källa: EAA

### 5.3.1. 1xxx-serie (olegerat aluminium)

**Egenskaper:** Låg sträckgräns 25-140 MPa<sup>48</sup>  
 Bra korrosionsegenskaper  
 Svetsbar  
 Bra ledningsförmåga  
 God formbarhet

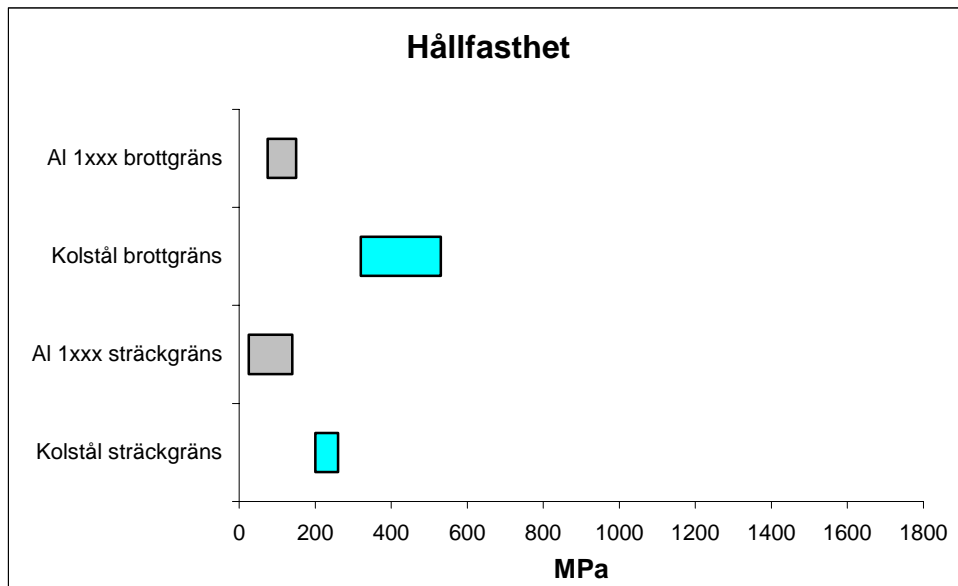
**Applikationer:** Matförpackningar  
 Apparatskåp  
 Kraftledningar  
 Folie



Figur 51 Kraftledningar är en typisk applikation för renaluminium.  
 Källa: EAA

	Al %
Al 1xxx	99-99,7

Renaluminium består av minst 99 % rent aluminium. För att höja hållfastheten kan materialet valsas och hårdbearbetas. En av anledningarna till att renaluminium har så bra korrosionsmotstånd är att den kan bilda ett rent och fint skikt av aluminiumoxid. Detta skikt skyddar sedan materialet från korrosion. Om skiktet skulle bli skadat kommer det att återbildas ganska snabbt. Största användningsområdena för renaluminium är bl.a. elektronik där kravet på bra korrosionsmotstånd är högt och formbarheten bör vara god samt som matförpackningar och folie.<sup>49</sup>



Figur 52 Sträckgränser och brottgränser för Kolstål och Al 1xxx<sup>50</sup>



### 5.3.2. 3xxx-serie - Icke härdbar legering

Legerad med mangan

**Egenskaper:** Sträckgräns mellan 50-185 MPa<sup>48</sup>  
Bra korrosionsegenskaper  
Lite mer svårformad än renaluminium

**Applikationer:** Fasadbeklädnad  
Fordons applikationer, bl.a. kylflänsar  
Burkar  
Byggmaterial



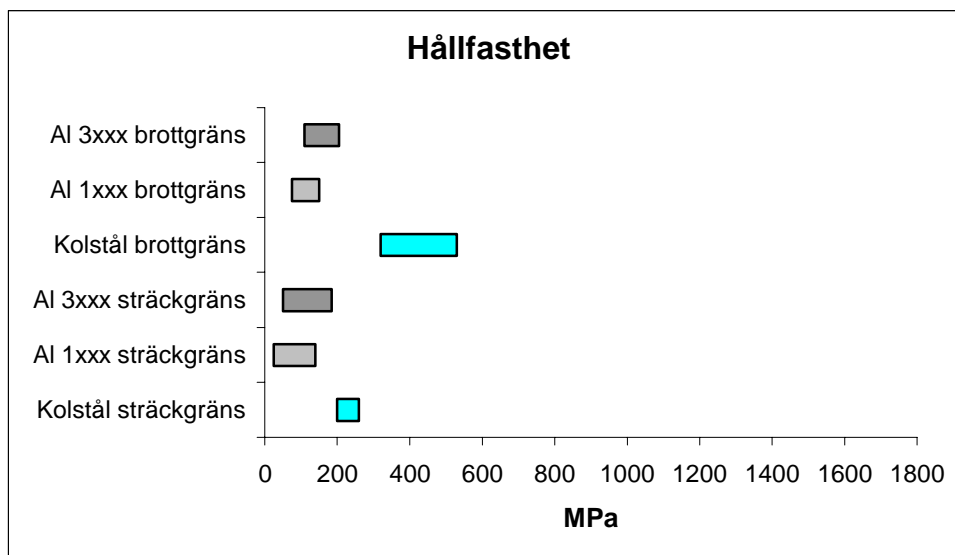
**Figur 53 Aluminiumburkar som bland annat används av Coca Cola.**  
Källa: Coca Cola Company, Stockholm

	Mn %	Cu %	Mg %
Al 3xxx	1,2-1,3	0-0,1	0-1

Denna serie är legerad med mangan. Den har högre hållfasthet än renaluminium och detta beror på att manganet finns som fint dispergerade partiklar i basmaterialet. Detta betyder att det är svårare för atomerna att röra sig och ger därmed en medelgod höjning av hållfastheten. För att höja hållfastheten ännu mer så kan man glödga och hårdbearbeta legeringen. Den är lite mer svårformad än renaluminium. Den har utomordentligt bra korrosionsegenskaper och kan användas som fasadbeklädnader, ytter- och innertak, bilkylare, värmewäxlare och kondensorer. Det kanske mest kända området för denna legering är att den används för att tillverka dryckesburkar. 3xxx-serien tillverkas i stora volymer då den används både inom byggindustrin, fordonsindustrin som bilkylare samt som burkar.<sup>49</sup>



**Figur 54 Aluminiums användning inom byggindustrin.**  
Källa: EAA



**Figur 55 Sträckgränser och brottgränser för Kolstål, Al 1xxx och Al 3xxx<sup>50</sup>**

### 5.3.3. 5xxx-serie - Icke hårdbar legering

Legerad med magnesium

**Egenskaper:**      Hög sträckgräns 90-335 MPa<sup>48</sup>  
 Mycket bra korrosionsegenskaper  
 Bra svetsbarhet  
 Bra formbarhet

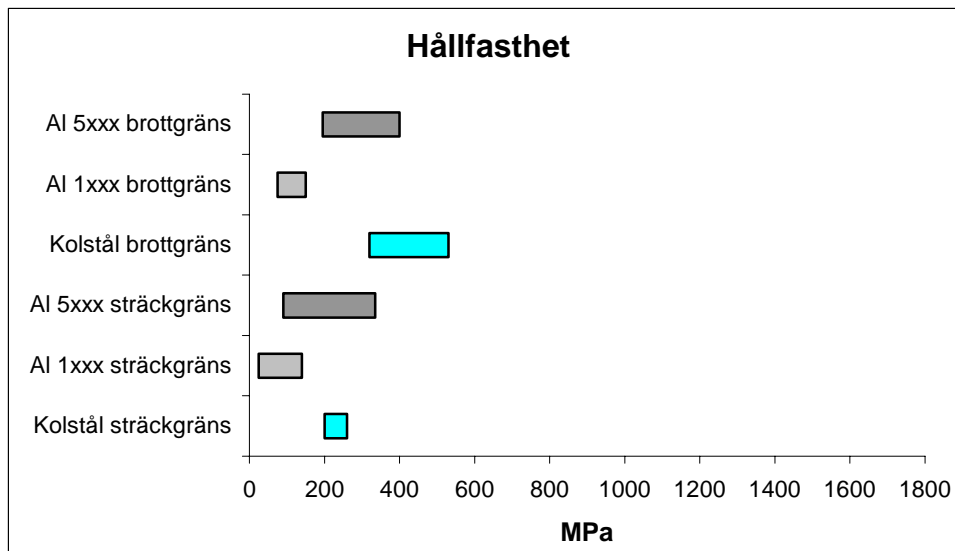
**Applikationer:**    Fartygsskrov och överbyggnader  
 Karosseridelar  
 Tankar och behållare  
 Skyltar  
 Inredningsdetaljer  
 Svetsade konstruktioner



Figur 56 Båtskrov tillverkas ofta av Al 5xxx p.g.a. dess korrosionsegenskaper.  
 Källa: Svenskt Aluminium, Stockholm

	Mg %	Cr %	Mn %
Al 5xxx	0,8-4,5	0-0,2	0-0,8

Denna serie är legerad med magnesium. Legeringen används framför allt i valsade produkter såsom plåt och band. Med en halt av 4-5 % magnesium får legeringen en hög sträck- och brottgräns. Legeringar med mer än 3 % magnesium får goda korrosionsegenskaper och kan därför användas i saltvatten. Just av denna anledning lämpar sig denna legering för användning som båtskrov och tankar för vätskor. Med en halt av mindre än 1 % magnesium så kan legeringen strängpressas med normal presshastighet, med en högre halt blir hastigheten långsammare. Liksom 3xxx och 1xxx så kan hållfastheten höjas om man glödgar och hårdbearbetar materialet.<sup>51</sup>



Figur 57 Sträckgränser och brottgränser för Kolstål, Al 1xxx och Al 5xxx<sup>50</sup>

### 5.3.4. 2xxx-serie – Härdbar legering

Legerad med koppar

**Egenskaper:**      Hög sträckgräns 85-425 MPa<sup>48</sup>  
Bra skärbarhet  
Begränsade korrosionsegenskaper  
Låg pressbarhet  
Höga krav på kylning vid härdning  
Olämplig för MIG- och TIG-svetsning

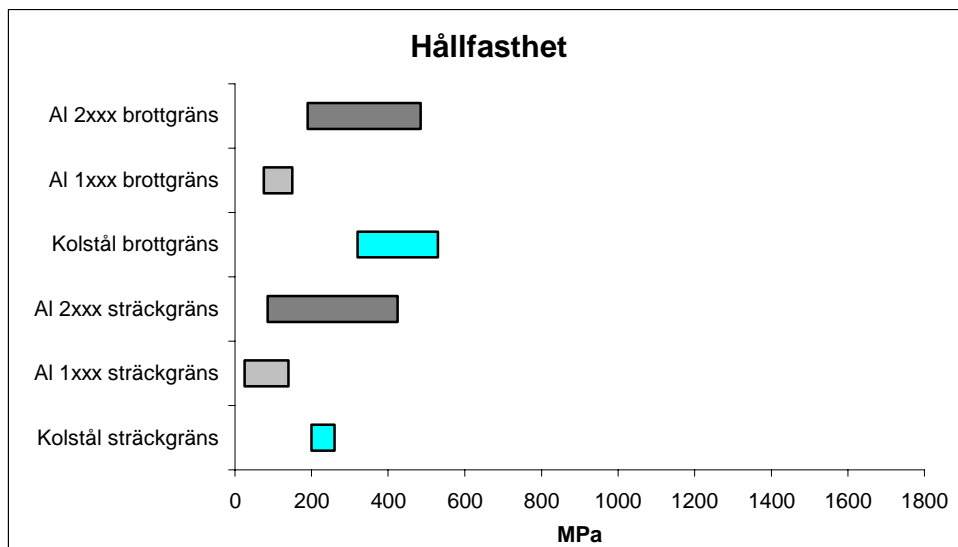
**Applikationer:**    Flygplanskroppar  
Rymdindustrin  
Skruvar och nitar



Figur 58 Al 2xxx används flitigt inom flygplansindustrin.  
Källa: Svenskt Aluminium, Stockholm

	Cu %	Mn %	Si %	Mg %
Al 2xxx	4,5-5,5	0-0,8	0-0,9	0-0,5

Denna serie är legerad med koppar. Al 2xxx är en aluminiumlegering som används flitigt inom flygplansindustrin samt rymdindustrin då den har en kombination av höga hållfasthets-egenskaper och en låg vikt. Den höga hållfastheten som Al 2xxx har kommer av att faserna  $\text{CuAl}_2$  och  $\text{CuMgAl}_2$  utskiljs. En av nackdelarna med denna legering är att dess korrosions-härdighet inte är den bästa.<sup>52</sup>



Figur 59 Sträckgränser och brottgränser för Kolstål, Al 1xxx och Al 2xxx<sup>50</sup>

### 5.3.5. 6xxx-serie – Härdbar legering

Legerad med magnesium och kisel

**Egenskaper:**      Hög sträckgräns 50-310 MPa<sup>48</sup>  
 Bra korrosionsegenskaper  
 Svetsbar  
 Lättbearbetat

**Applikationer:**    Profiler  
 Bilkomponenter  
 Byggmaterial och broar  
 Möbler  
 Fönsterbågar



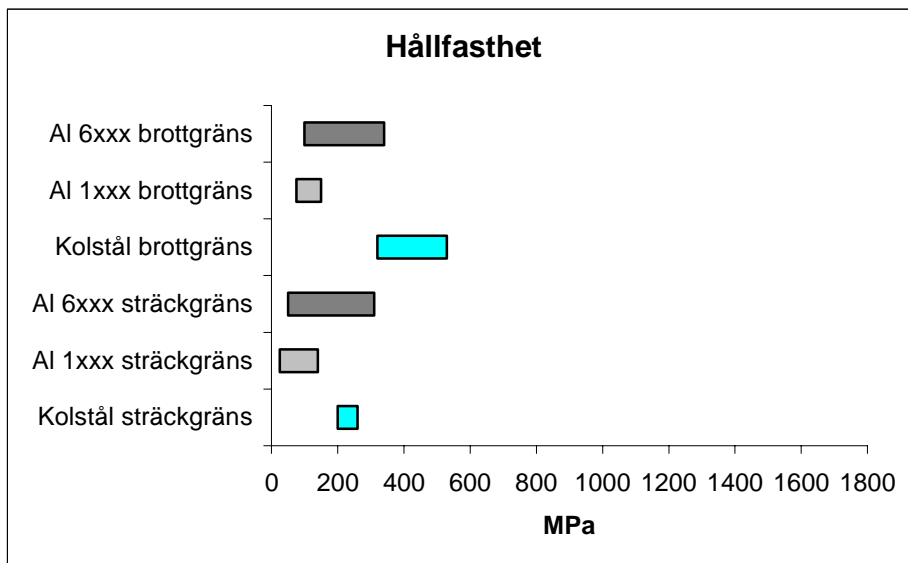
Figur 60 Möbler av aluminium är ofta tillverkade av profiler.  
 Källa: Sapa Technology, Finspång

	Mg %	Si %	Cr %	Mn %	Cu %
Al 6xxx	0,5-1	0,4-1	0-0,2	0-0,7	0-0,3

Denna serie är legerad med magnesium och kisel. 6xxx-serien är den vanligaste serien som strängpressas. Ca 80 % av alla profiler pressas i 6xxx-serien. 6xxx-legeringen har flera bra egenskaper, t.ex. en brottgräns på mellan 100-340 MPa och god seghet och formbarhet. Det går även att svetsa 6xxx-legeringen och då framförallt med den nya metoden FSW (Friction Stir Welding). FSW tillämpar en teknik där svetsmaterialet är formad som en stång och roterar med hög hastighet. Sedan förs stången ner mot materialet som skall svetsas (t.ex. två plattor) och då uppstår en friktion som leder till att både svetsmaterialet och plattorna blir mjuka och bildar metalliska bindningar. Ytterligare en god egenskap hos legeringen är den fina ytfinheten och de goda anodiseringsmöjligheterna. Detta gör att legeringen kan användas för applikationer där utseende är minst lika viktigt som hållfastheten. 6xxx-legeringarna har goda värmebehandlingsegenskaper och måste kylas kontrollerat från upplösningstemperaturen för att uppnå optimala egenskaper.<sup>52</sup>



Figur 61 Bilindustrin använder profiler i ramverket.  
 Källa: EAA



Figur 62 Sträckgränser och brottgränser för Kolstål, Al 1xxx och Al 6xxx<sup>50</sup>

### 5.3.6. 7xxx-serie – Härdbar legering

Legerad med zink

**Egenskaper:**      Hög sträckgräns 80-505 MPa<sup>48</sup>  
                            Känslig för spänningskorrosion  
                            Bra svetsbarhet  
                            Låg kylkänslighet  
                            Låg pressbarhet

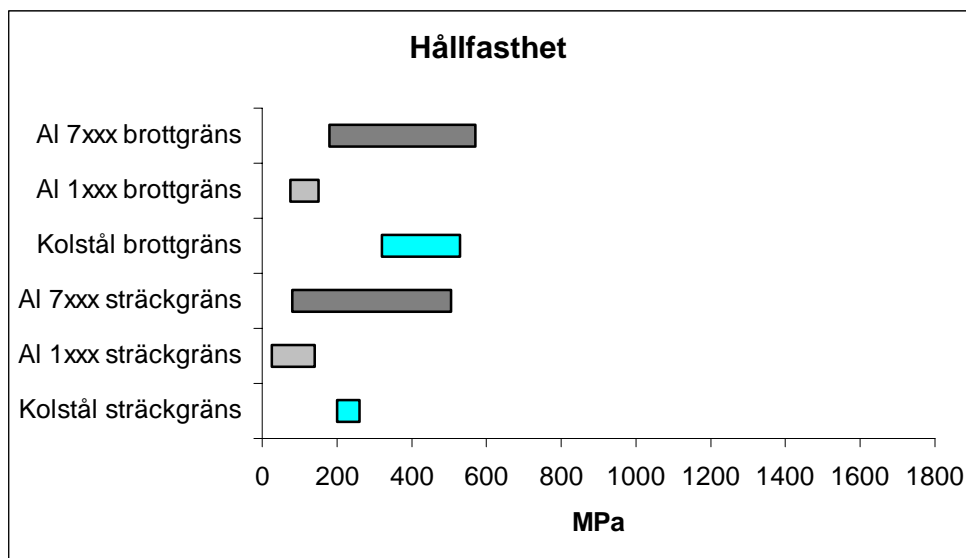
**Applikationer:**    Stötfångare och crashboxar  
                            Svetsade konstruktioner för höga krav  
                            Broar  
                            Kranar  
                            Flyg- och rymdfart  
                            Fordonsdetaljer



Figur 63 I flygplan används 7xxx legeringar.  
Källa: EAA

	Zn %	Mg %	Cr %	Mn %	Cu %
Al 7xxx	4,5-5,6	1,2-2,5	0-0,25	0-0,3	0-1,6

Denna serie är legerad med zink. Även tillsatser av magnesium och koppar görs för att öka hållfastheten ännu mer. Legeringarna får full hållfasthet efter ca en månads förvaring i rumstemperatur, vilket också ger en bättre svetsbarhet. 7xxx-legering med tillsats av koppar (AlZnMgCu) är den starkaste aluminiumlegeringen som finns. Den har den högsta hållfastheten men dock väldigt låg pressbarhet och svetsbarhet. Dessa legeringar används ofta inom flyg- och rymdindustrin samt som stötfångare i bilar och lastbilar.<sup>53</sup>



Figur 64 Sträckgränser och brottgränser för Kolstål, Al 1xxx och Al 7xxx<sup>50</sup>

### 5.3.7. Gjutlegeringar

**Egenskaper:** Medelgod sträckgräns 70-220 MPa<sup>54</sup>  
 Goda korrosionsegenskaper  
 God seghet  
 Låg specifik vikt  
 Goda gjutegenskaper

**Applikationer:** Motorblock till personbilar  
 Varvsindustri  
 Fönsterkarmar  
 Beslag  
 Maskindelar  
 Armaturer och rördelar för kemisk industri  
 Dekorativt anodiserade byggnadsbeslag



Figur 65 Motorblock i gjutlegering.  
 Källa: EAA

	Cr %	Ni %	Mn %	Cu %	Si %	Ti %	Mg %	Zn %	Pb %	Fe %	Sn %
<b>Aluminium</b>											
<b>Gjutlegeringar</b>	0-0,15	0-0,55	0,05-0,65	0,03-4	6,5-13,5	0,05-0,25	0-0,65	0,1-3	0-0,35	0,4-1,3	0-0,25

Aluminiumgjutlegeringar är egentligen flera olika gjutlegeringsgrupper men här är en sammanställning av dessa. Gjutlegeringarna har olika användningsområden och olika egenskaper beroende på dess olika legeringar. Hållfastheten kommer att variera mellan de olika legeringarna men gjutlegeringar innehållande koppar, titan eller magnesium erhåller högre hållfastheter. En negativ sida med att tillsätta koppar är dock att den försämrar korrosionsegenskaperna. Om kisel tillsätts så kommer legeringens gjutbarhet att öka och till viss del även korrosionsegenskaperna. Mycket av det återvunna aluminiumet i Sverige används för att tillverka gjutlegeringar, och då framförallt för tillverkning av motorblock för personbilar.

Skillnaden med gjutlegeringarna är att de gjuts och inte pressas som aluminiumlegeringarna i övrigt kan göras. Gjutlegeringarna har inte heller samma krav på legeringssammansättning som de vanliga aluminiumlegeringarna har. Fördelen med att gjuta detaljer är att man kan få väldigt speciella geometrier som är svåra att uppnå vid övrig bearbetning.<sup>55</sup>

#### 5.4. Slutsats materialens egenskaper och användningsområden

Syftet med denna rapport har varit att undersöka om det finns någon konkurrens mellan stål och aluminium. Som det har visats i detta kapitel så har stål och aluminium ofta ganska olika egenskaper. Stål är generellt ett starkare material som har väldigt goda svetsbarheter och formbarheter. Aluminium är ett lätt material som har goda egenskaper mot korrosion. Stål har ett spann för sträckgränsen mellan 170-1350 MPa och aluminium har sträckgränser mellan 25-505 MPa.

Rapporten visar att det finns stål och aluminium som har egenskaper som ligger mycket nära varandra. Dessa är t.ex. de höghållfasta aluminiumlegeringarna och de austenitiska rostfria stålen som har liknande egenskaper med avseende på god motståndskraft mot korrosion och ganska lika hållfastheter. Detta visar att det finns segment inom vilka konkurrens finns mellan dessa två material.

Stål är ofta böckbara och svetsbara medan aluminium är väldigt lätta att pressa fram profiler av. Detta skapar olika förutsättningar för materialen då aluminium kan tillverkas i färdiga profiler medan stål böckas och svetsas ihop.

En annan viktig aspekt är att produkter som ska kunna marknadsföras inom vissa branscher måste ha ett modernt utseende och detta har skapat nya krav på materialen. Det har skapat en konkurrens som inte är egenskapsbaserad utan där utseende och pris är de viktigaste urvalskriterierna. Detta kan ses i t.ex. vitvarubranschen och möbelindustrin.

Den slutsatsen som kan dras av detta är att konkurrensen inte är så stor mellan stål och aluminium för applikationer som kräver specifika hållfastheter eller speciella konstruktioner. Det beror på att höghållfasta stål har en högre hållfasthet medan aluminium kan konstrueras till speciella och komplicerade profiler. Den konkurrens som finns är väldigt liten och det bör istället nämnas att materialen kompletterar varandra mer än de konkurrerar. Den största konkurrensen för stål och aluminium är mot andra material som t.ex. betong, trä och plast. I nästa kapitel fokuseras diskussionen kring tre branscher där konkurrensen bygger på olika kriterier.

## 6. APPLIKATIONER

Tidigare i denna rapport har mekaniska egenskaper för stål och aluminium givits. Syftet med rapporten har varit att se om dessa material kan konkurrera med varandra inom någon applikation. Stål har god hållfasthet och svetsbarhet medan aluminium är lättare och har bättre korrosionsegenskaper än vad låglegerat stål har. För att kunna välja applikationer måste man se var inom de stora industrierna dessa material konkurrerar med varandra. Tre områden har valts att studeras närmare: byggnader, fordon och vitvaror. Anledningen att dessa valts är att de sammanlagt representerar mer än 50 % av konsumtionen för såväl stål som aluminium.

### 6.1. Byggnader

Inom byggindustrin används både stål och aluminium. Byggsektorn använder sig ofta av låglegerade stål till bärande konstruktioner, se Figur 66. Det är oftast vanligt kolstål som används för dessa applikationer. Anledningen är att kolstål har goda hållfasthetsegenskaper och är tillförlitliga. Men kan då aluminium användas som bärande konstruktioner? En anledning till att byggindustrin skulle vilja använda aluminium är den låga vikten. Det finns starka aluminiumlegeringar men ofta används de inte och detta beror bl.a. på att det inte har funnits några beräkningsstandarder för aluminium. Det material som ofta har används för att sänka vikten är höghållfasta stål. Även om de höghållfasta stålen har samma densitet som övriga stål så krävs det mindre material för varje detalj och därmed minskar vikten.

Det är sällan som rostfria stål används i konstruktioner och detta beror inte på att rostfria stål har dåliga egenskaper utan det är en kostnadsfråga. Rostfria stål kostar ungefär fem gånger så mycket som kolstål och denna kostnad är byggföretagen sällan villiga att betala, även om rostfria stål kan ha en billigare livscykelkostnad då konstruktionerna inte behöver underhållas lika mycket. En större konkurrent inom byggsektorn är istället betong eller trä.

Aluminium har fördelen att det är väldigt lätt att tillverka profiler. Dessa profiler används ofta som fönsterkarmar inom byggindustrin. Fördelen med detta är att profilen får det utseende som önskas och kan tillverkas väldigt lätt, men också för att aluminium inte korroderar på samma sätt som stål gör. För denna applikation används inte stål och anledningen är i första hand att det är svårt att bocka till den plåt som ska användas för detta ändamål och om stål ska användas kommer tillverkningskostnaden att bli hög.

Det enda område där dessa två material egentligen konkurrerar inom är som fasader. Där används såväl stål som aluminium, men denna applikation ställer inte heller några höga krav på de mekaniska egenskaperna utan det handlar om vilket utseende som arkitekten vill ha på byggnaden. Värt att nämna är att stålplåt kan beläggas med t.ex. zink eller legeringar av zink och aluminium som skyddar plåten mot korrosion. I detta fall så konkurrerar inte materialen utan de kan istället komplettera varandra eftersom produkten då kan bli en plåt med stålets hållfasthet och aluminiums korrosionsmotstånd.

Som en kort slutsats av detta kan det nämnas att inom byggindustrin finns det inte någon direkt konkurrens mellan stål och aluminium, i alla fall inte inom de flesta områdena. Orsaken till det är att de mekaniska egenskaperna är så olika. Inom de områden där stål och aluminium konkurrerar med varandra så är den avgörande faktorn ofta kostnaden.

För att lättare få en överblick över de olika materialens för- och nackdelar vid användning som bärande balkar har Tabell 1 tagits fram.



Figur 66 Flervåningsbyggnad där den bärande konstruktionen är i stål.

Källa: SBI, Stockholm



Bärande balkar	Stål	Rostfritt stål	Aluminium
Hållfasthet	+	+	-
Vikt	-	-	+
Korrosionsmotstånd	-	+	+
Pris	+	-	-

Tabell 1 visar fördelar och nackdelar vid användning i byggsektorn

## 6.2. Fordon

Inom fordonsindustrin är konkurrensen mellan stål och aluminium större, detta beror delvis på att kraven på minimering av bilarnas vikt har ökat. Kraven har medfört en kraftig materialutveckling och resulterat i starkare material. Att studera varje detalj av en bil och säga vad som borde vara tillverkad av stål eller aluminium är svårt. Det har gjorts flera försök och det har i flera avseende varit missvisande för båda materialen. För att ge en liten bild av fordonsindustrin sätt att tänka så kommer en relativt enkel detalj som stötfångaren att diskuteras.

Stötfångaren är en viktig detalj inom bilindustrin då den ska se till att inte bilen och föraren får för stora skador vid en kollision. Denna detalj kan och har tillverkats i både stål och aluminium. När den är tillverkad i stål används ett höghållfast stål som sedan har bockats till och punktsvetsats ihop. För aluminium har tillverkarna använt sig av 6xxx- eller 7xxx-legeringar i form av profiler, se Figur 67. Beräkningar av stötfångarens egenskaper har gjorts inom bilindustrin och det visar att dessa detaljer av såväl stål som aluminium fyller samma funktion och vikterna av dessa är också väldigt lika. Det betyder att båda materialen har samma förutsättningar.<sup>56</sup>

Det som dock har en stor betydelse är priset. Vid tillverkningen av en bil måste priset pressas och för denna detalj som har samma egenskaper för såväl stål som aluminium blir priset ofta den avgörande faktorn. Eftersom priset på materialen varierar från år till år, så varierar även valet av material i olika årgångar och modeller. Vissa år dominerar användningen av stötfångaren i höghållfast stål och andra årgångar tillverkas stötfångarna mestadels i aluminium.

En annan intressant aspekt som påverkar bilindustrin är att materialen har blivit bättre. Detaljer som tidigare har tillverkats i stål tillverkas nu i aluminium och detaljer som tillverkades i aluminium kan idag tillverkas i stål. Motorblock tillverkades förut i gjutjärn men eftersom kraven på industrin har varit att göra bilarna lättare har motorblocken börjat tillverkas i gjuten aluminium. Aluminiums starkaste argument mot bilindustrin har varit den låga vikten men i och med utvecklingen av höghållfasta stål har aluminium fått en stor konkurrent. Ett annat exempel är aluminiumfälgar som kallas för lättmetallfälgar. Fälgar kan tillverkas i höghållfast stål och dessa blir lättare än aluminiumfälgarna eftersom det går åt mindre material i de höghållfasta stålfälgarna. Detta gäller inte för lastbilar där aluminiumplåt används för tillverkning av fälgarna och dessa är lättare än stålfälgarna för lastbilar.

Ett viktigt krav från producenter och konsumenter är att detaljerna på bilen inte ska rosta. Aluminium och rostfria stål har mycket bra korrosionsegenskaper men även låglegerade stål kan användas till t.ex. bilplåt, men endast i ytbelagt utförande. Den ytbehandling som utförs är ofta galvanisering dvs. förzinkning.

Som slutsats ska det nämnas att det finns applikationer där stål och aluminium konkurrerar men att egenskaperna kan vara så lika att det blir kostnaden som avgör vilket material som kommer att användas. Priset avgörs av världsmarknadspriset på materialet om man utgår från



Figur 67 Stötfångare tillverkade av Al 7xxx-legering som profil.

Källa: Svenskt Aluminium, Stockholm

befintlig produktion. Det är dock viktigt att tillägga att många faktorer spelar in i valet av material. Hållfastheter, korrosionsmotstånd och seghet är bara några av viktiga egenskaper, och därför sker det hela tiden en utveckling för att få materialen bättre.

För att ge en ytterligare bättre förståelse vid val av material till en stötfångare har Tabell 2 tagits fram.

Stötfångare	Stål	Rostfritt stål	Aluminium
Hållfasthet	+	+	-
Vikt	-	-	+
Korrosionsmotstånd	-	+	+
Pris	+	-	-
Profilpressning	-	-	+
Bockning	+	+	-

Tabell 2 visar fördelar och nackdelar vid användning inom fordonsindustrin

### 6.3. Vitvaror

Inom industrin för vitvaror används både stål och aluminium. Kraven på hållfastheter är inte så stora för dessa applikationer utan det är mer en fråga om design och ytbehandling. Designen är ofta avgörande för vilket material som kommer att användas. Flera produkter anses snygga då de har ett utseende av rostfritt stål eller som aluminium. Inom vitvarubranschen har modet under de senaste åren talat för rostfria detaljer på kyl, frys och andra vitvaror. Detta har resulterat i att det har tillverkats aluminiumdetaljer som har en ytfinish som ser ut som rostfria stål. Det finns även många aluminiumprodukter som säljs på att de har en aluminium-”look”.

Fördelen med aluminium i vitvaror är att man inte får fettfläckar och fingeravtryck på kylskåp, diskbänkar och andra detaljer vilket de rostfria produkterna normalt får. Rostfria kylskåp kan lackas för att undvika fettfläckar, se Figur 68. Rostfria stålprodukter har dock fördelen att de är magnetiska<sup>xv</sup> vilket inte aluminium är. För en del aluminiumkonstruktioner som kräver en magnetisk yta, t.ex. ett kylskåp, har tillverkarna ofta använt en stålplåt bakom för att få dessa magnetiska egenskaper.



Figur 68 Vitvaror utav rostfritt stål.  
Källa: Outokumpu Stainless, Avesta

Kännetecknande för vissa köksinredningar är att de har en lång livslängd men användningen är ofta betydligt mycket kort på grund av att designen blir omodern. Med andra ord så har en diskbänk en livslängd på mer än 50 år men efter kanske 15-20 år så byts diskbänken ut för att den är omodern. Det är inte heller de mekaniska egenskaperna som avgör vilket material som används till applikationerna, utan utseendet avgör till stor del. För att få en vidare uppfattning om hur valet kan gå till så har Tabell 3 skapats.

Vitvaror	Stål	Rostfritt stål	Aluminium
Utseende	-	+	+
Korrosionsmotstånd	-	+	+
Formbarhet	+	+	+
Pris	+	-	-

Tabell 3 visar fördelar och nackdelar vid användning som vitvaror

<sup>xv</sup> gäller ej austenitiska rostfria stål som ej är magnetiskt.

## 6.4. Slutsats applikationer

Den slutsats som kan dras av detta är att i dessa tre branscher bygger konkurrensen på olika kriterier.

Inom byggbranschen är de mekaniska egenskaperna avgörande för materialval. Applikationer inom byggbranschen kan ofta vara krävande för materialen och eftersom viktminimering ofta är viktig för konstruktioner kommer materialens egenskaper att utnyttjas till sin maximala förmåga. Detta ger att konkurrensen kraftigt begränsas eftersom stål och aluminium har så skilda egenskaper.

För stötfångare ifrån fordonsbranschen som vi har diskuterat sker konkurrens i första hand på pris. Stötfångare i aluminium eller stål har samma egenskaper vid kollisioner och därför blir det kostnaden som kommer att avgöra vilket material som kommer att användas.

Inom vitvarubranschen utnyttjas inte materialens egenskaper till max, utan det är utseende och design som är avgörande vid materialval. Produktens livslängd begränsas inte av materialets livslängd utan det är modet som bestämmer livslängden på produkten.

## 7. LIVSCYKELINVENTERING

### 7.1. Inledning

En livscykelanalys, LCA, beskriver den samlade miljöpåverkan av en verksamhet eller en produkt under hela dess livstid, från dess vagg till dess grav. Livscykelstudier kan vara ett effektivt hjälpmedel för ett företag att se vilken produktionsteknik och vilka material som ger den minsta sammantagna miljöpåverkan. Tekniken för LCA är fortfarande under utveckling. Det är t.ex. svårt att värdera olika miljöeffekter mot varandra. En tolkning av inventeringsdata ger ofta en god bild av miljöbelastningen av en produkt eller verksamhet. Det är därför vanligt att man avstår från att göra den samlade bedömningen i en LCA och nöjer sig med en livscykelinventering, LCI.

Syftet med denna genomgång av livscykelinventeringar (LCI) för låglegerat stål, rostfritt stål och aluminium är att sammanställa likheter och skillnader för de rapporter som finns tillgängliga. Systemgränser, systemutvidgningar, samt uppströmsdata för råvaror och energi skall kartläggas. Genom att veta hur LCI utförts kan ett mer korrekt underlag för jämförelser av data göras. Samtliga LCI täcker produktionen av respektive material från ”vaggan till grind”, dvs. från råvarubrytning till att ett färdigt halvfabrikat är redo att lämna verksgrindarna.

#### *Låglegerat stål*

Metodrapportens namn: World steel life cycle inventory, International Iron and Steel Institute (IISI), Committee on environmental affaires, Brussels October 2000

Dokumentet presenterar ett snitt för tillverkning av halvfabrikat för 28 medverkande anläggningar spridda över världen. Rapporten inventerar ståltillverkning via masugn samt ljusbågsugn.

#### *Rostfritt stål*

Metodrapportens namn: European LCI Database for Coiled Flat Stainless Steel Products, - Eurofer, Stainless Product Group, april 2000

Dokumentet presenterar ett europeiskt snitt för tillverkning av halvfabrikat av rostfria stål. Rapporten inventerar tillverkning via ljusbågsugn.

#### *Aluminium*

Metodrapportens namn: Environmental profile report for the European Aluminium industry, European Aluminium Association (EAA), April 2000

Dokumentet presenterar ett europeiskt snitt för tillverkning av halvfabrikat av aluminium. Rapporten inventerar primärtillverkning samt omsmältning av återvunnet material och processkrot. Inventeringen av primärtillverkningen är baserad på den europeiska fördelningen av 15 % söderbergsanoder och 85 % förbakade anoder.

## 7.2. Vad består en LCI av och hur görs den.

Det finns en ISO-standard som redovisar hur en LCA eller en LCI bör utformas, så att inventeringen kan bli ett fungerande hjälpmedel för jämförelser och produktutveckling. Denna standard är utarbetad av ISO, Internationella Standardiseringskommissionen. Det är inte frågan om en detaljerad handledning, utan en struktur, som visar de olika moment som skall ingå i en livscykelstudie.

Denna internationella standard består i huvudsak av fyra dokument, ISO 14040-43 som behandlar de fyra faser som en LCA-studie kan delas in i:

1. Definition av mål och omfattning (ISO 14041)
2. Inventeringsanalys (ISO 14041)
3. Miljöpåverkansbedömning (ISO 14042)
4. Tolkning (ISO 14043)

När en LCI skall göras utförs endast de två första faserna.

I den första fasen definieras avgränsningar med avseende på det studerade systemet. Avgränsningarna beskriver det system som ska studeras och kallas därför för systemgränser. Avgränsningarna kan t.ex. avse tid, geografi och delar av processer. Man beslutar om en funktionell enhet dvs. "basenhet", de allokeringsprinciper som ska gälla för studien samt kraven på datakvalitet.

Fas två, inventerings analysen, är den mest arbetskrävande. I denna fas samlas information om de material- och energiflöden och emissioner som faller inom de valda avgränsningarna. Det behövs för att i andra ändan kunna beräkna utsläppen och den miljöbelastning som dessa ger upphov till. Ett arbete som för vissa data är både kostsamt och komplicerat. Det här tar ofta längre tid än förväntat, bl.a. beroende på att det saknas data, vilket komplicerar arbetet. För uppströmsdata t.ex. råoljetillverkning eller råvarubrytning är ofta de företag som gör LCI:n inte själva producenterna och data måste tas från utomstående företag.

Denna typ av miljödata som efterfrågas kan för vissa företag vara känslig att publicera, vilket försvårar arbetet med informationsinsamling. Bristen på exakta data kan tvinga sammanställaren att ta data från litteratur vilket anses som lägre kvalitet efter som dessa siffror ofta är mer generella. Ett flödesschema som visar de valda avgränsningarna är ett tydligt sätt att visa avgränsningar. Flödesschemat visar de processer som ingår i den studerade produktens livscykel. Processer som kan ingå utöver själva produktionen är ofta uppströmsproduktion, t.ex. råvarubrytning, energiframställning och transporter. När en LCI för en hel livscykel görs ingår även användning, återvinning och deponi.

Målet med LCI är att kunna presentera en sammanställning av alla in- och utflöden till det studerade systemet. I presentationen ingår mängderna för råvaror, energier och utsläpp till luft, vatten och mark.

### 7.2.1. *Transparens*

Ett krav vid rapportering av LCI är att den skall återge alla delar av studien så tydligt och detaljerat att läsaren lätt kan förstå mål och omfattning. Begränsningar och ansatser som gjorts bör redovisas tydligt, liksom vilka data som har utnyttjats, hur beräkningarna genomförts samt naturligtvis resultat och slutsatser. Detta benämns transparens.

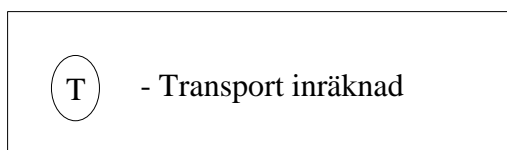
För att en LCI skall komma till riktig nytta bör resultat och arbetssätt vara tydligt dokumenterade. Många publicerade LCI studier har brist i sin transparens.

### 7.3. *Systemgränser*

För varje LCI bestäms gränser för det system som skall studeras. Gränser måste dras för att göra studien tydlig. Inom systemgränserna samlas information om de material- och energiflöden och utsläpp till luft, vatten och mark som faller inom ramen för systemet. Avgränsningarna beskriver det system som ska studeras och kallas därför för systemgränser. Ska två produkters miljöprestanda jämföras måste deras systemgränser och funktionella enhet överensstäm- ma för att ge ett rättvisande resultat.

Genom att rita upp ett flödesschema över systemet kan en överblick över systemgränser och systemutvidgningar lätt ges. Systemutvidgningar beskrivs närmare i stycket ”systemutvidgningar och allokering”. Här följer flödesscheman för att tydligt visa systemgränser och uppströmsdata för respektive inventering.

I dessa flödesscheman för produktionen specificeras det om generell el använts, annars antas den el användas som är specificerad i rapporten, se avsnittet Elmix<sup>xvi</sup> för respektive material.



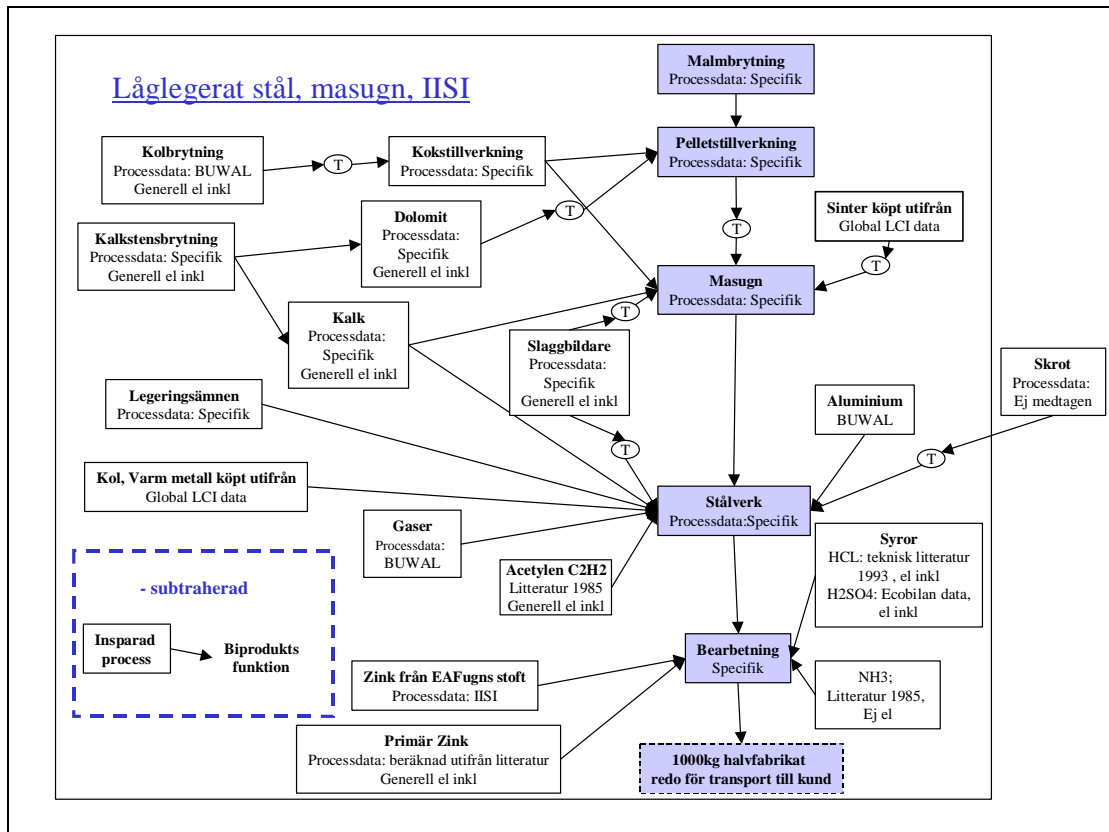
#### 7.3.1. *Låglegerat stål*

Systemgränser för LCI-rapporten för låglegerat stål är tydligt beskrivna i Figur 69 och Figur 70. Data som använts för malmbrytning, pelletstillverkning, kokstillverkning, masugn, stålverk, och bearbetning är specifika värden. Dessutom har specifika<sup>xvii</sup> värden använts för kalkstensbrytning, dolomit, kalk, legeringsämnen och slaggbildare. Resterande data är beräknade eller tagna från litteratur, t.ex. BUWAL<sup>xviii</sup>. För skrot se rubriken Skrot.

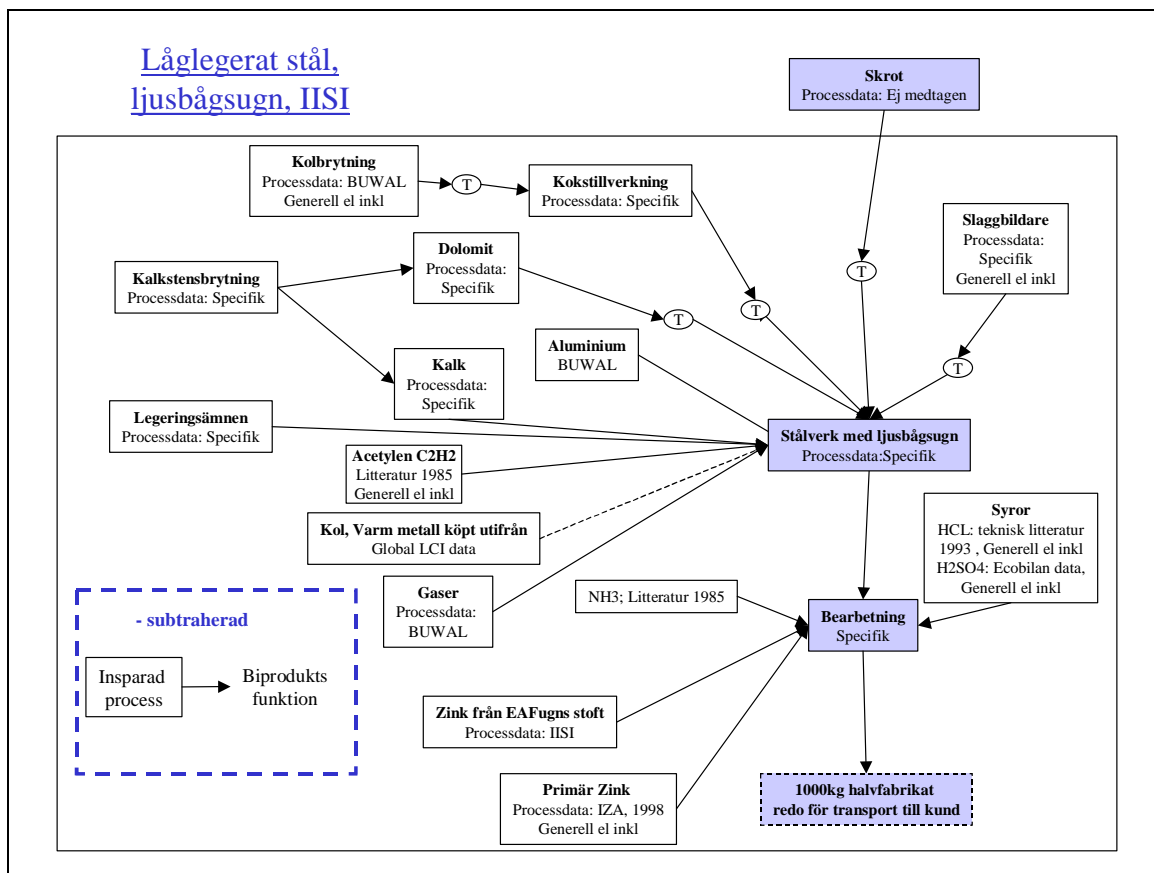
<sup>xvi</sup> Elmix - beskriver fördelning mellan olika energikällor som elektriciteten som en region är producerad av.

<sup>xvii</sup> Specifika värden betyder att data är baserad på data lämnat av ett företag och återger data för det företaget.

<sup>xviii</sup> BUWAL- Environmental series, Swiss Agency for the Environment, Forests and Landscape



Figur 69 Systemgränser i LCI IISI, malmbaserad stålproduktion.

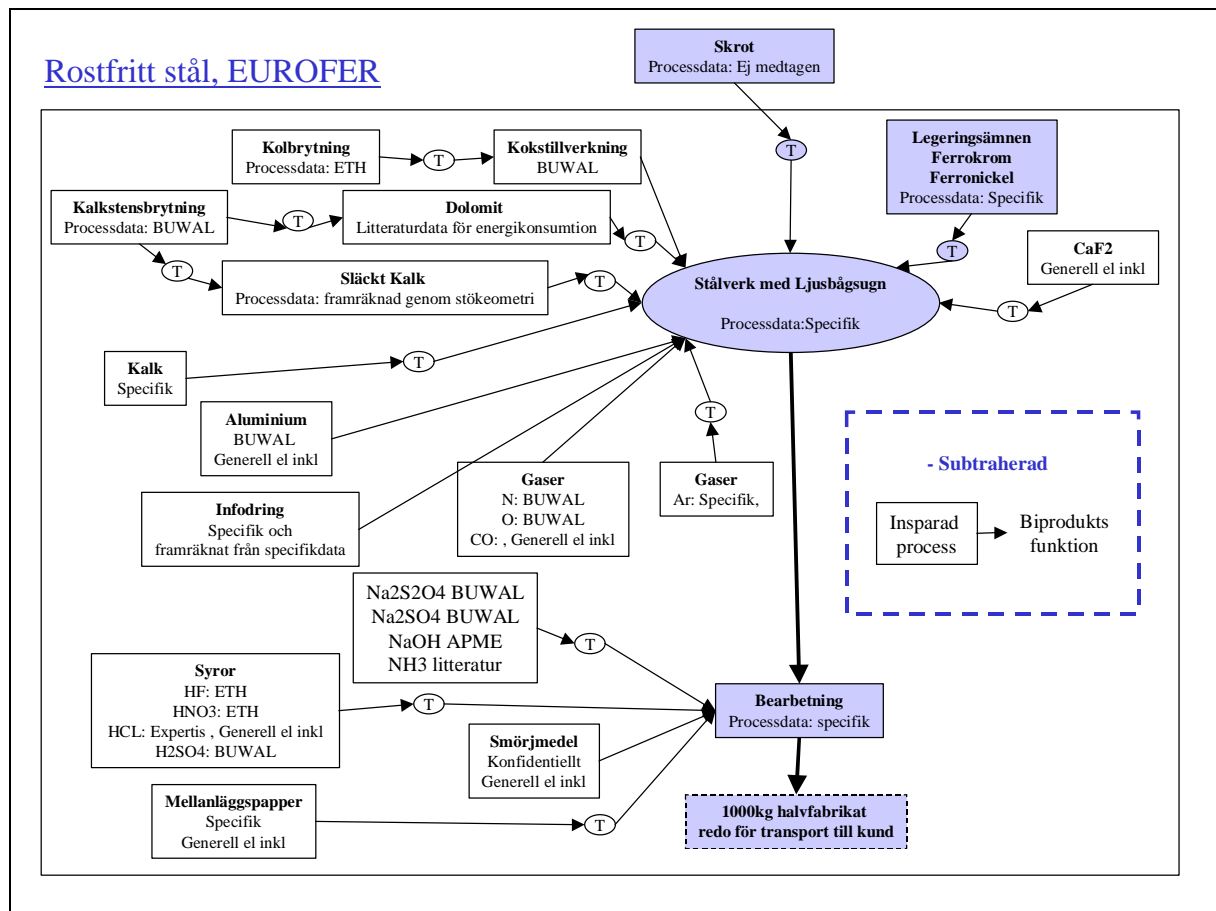


Figur 70 Systemgränser i LCI IISI skrotbaserad stålproduktion.

### 7.3.2. Rostfritt stål

Systemgränser för LCI-rapporten för rostfritt stål är tydligt beskrivna i Figur 71. Data som använts för ferrolegeringsämnen, legeringsämnen, stålverk och bearbetning är specifika. Dessutom är data för infodring, kalk, mellanläggspapper och argongas specifika. Övriga poster är från litteratur eller beräknade.

Mellanläggspappret räknas in i inventeringsberäkningen, eftersom det levereras till kund. Detta ger att för varje ton stål som beräkning görs på räknas 4–8 kg mellanläggspapper in. Inget annat förpackningsmaterial är inräknat i studien.<sup>57</sup> Inventeringen täcker 85 % av den rostfria bandtillverkningen i Europa. Specifika värden för ferrolegeringsämnen och övriga legeringsämnen är inräknade, dock är detta inte skrivet i metodrapporten.<sup>58</sup> För skrot se rubriken Skrot.



Figur 71 Systemgränser skrotbaserad rostfri stål tillverkning.

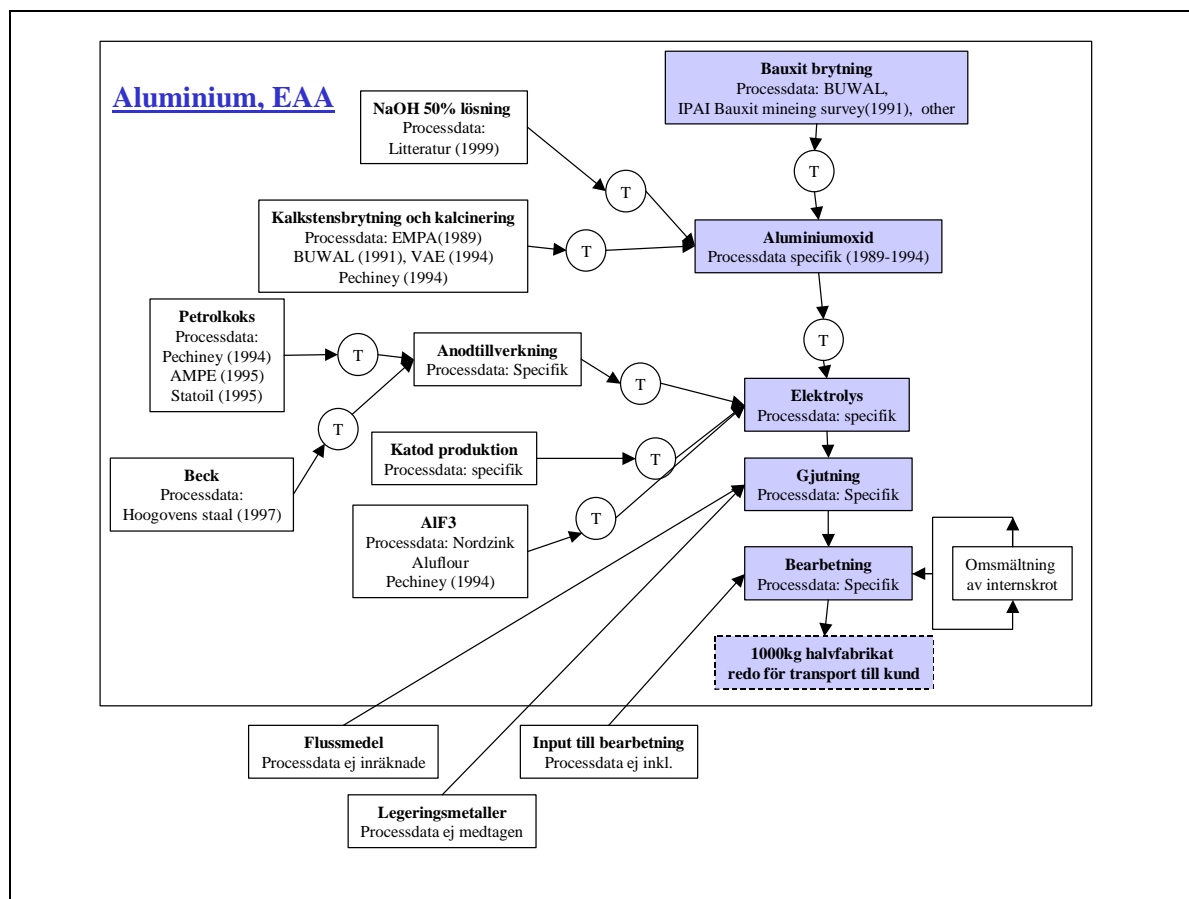


### 7.3.3. Aluminium

Systemgränser för LCI-rapporten för aluminium är tydligt beskrivna i Figur 72. Alla steg i aluminiumtillverkningen<sup>xix</sup> är specifika förutom bauxitbrytningen. Värden för bauxitbrytning är tagna från litteratur. De flesta större posterna på tillförda kemikalier till processen är specifika. Inga uppströmsdata har dock räknats in för de ingående kemikalierna vid bearbetning, detta för att de representerar en mycket liten del av den totala belastningen och anses i rapporten kunna bortses ifrån.<sup>59</sup> Processdata för legeringsämnen och flussmedel är inte inräknade.

För elektrolytproduktionen är alla siffror europeiska. Efter elektrolyt legeras och gjuts aluminium till göt. Dessa gjuterier varierar kraftigt i storlek och ålder. Data för dessa gjuterier är baserad på specifika data, men eftersom det i vissa verk även omsmälts sekundäraluminium i samma gjuterier är data omräknad för att endast representera gjutning av primäraluminium.<sup>60</sup> För återvinning har typiska omsmältverk valts vilka ska vara väl representativa för europeisk produktion.<sup>59</sup>

Rapporterna som använts som underlag baseras för elektrolytverken på 98 % täckning av den europeiska produktionen. Profildragning har en låg täckning, 30 %, dock är denna tillverkning väldigt lika för alla anläggningar, vilket gör att denna del är mindre känslig för en låg täckning.<sup>59</sup> För skrot se rubriken Skrot.



Figur 72. Systemgränser LCI Aluminium, (EAA 2000).

<sup>xix</sup> Aluminiumoxidtillverkning, elektrolys, gjutning och bearbetning

## 7.4. Definition av produktgrupp

De tre inventeringarna täcker olika slutprodukter. Tabellen nedan visar vilka produkter som ingår i respektive inventering.

Tabell 4 Produktgrupper inkluderade i LCI.

Produkter inkluderade i de olika rapporterna.		
Låglegerat stål	Rostfritt stål	Aluminium
Profilstål ( <i>Sections</i> )	Varmvalsade band ( <i>Black hot rolled</i> )	Kallvalsad plåt ( <i>Cold rolled sheet</i> )
Valstråd ( <i>Wire rod</i> )	Varmvalsade och betade band ( <i>White hot rolled</i> )	Folie ( <i>Foil</i> )
Maskinbyggnadsstål ( <i>Engineering Steel</i> )	Blankglödgade band ( <i>Batch annealing pickling, BA</i> )	Profiler ( <i>Profiles</i> )
Plåt ( <i>Plate</i> )	Kallvalsade och betade band ( <i>Continuous annealing pickling, B2</i> )	Göt ( <i>Ingot</i> )
Varmvalsade band ( <i>Hot rolled coil</i> )		
Kallvalsade band ( <i>Cold rolled coil</i> )		
Betade varmvalsade band ( <i>Pickled hot rolled coil</i> )		
Polerade kallvalsade band ( <i>Finished cold rolled coil</i> )		
Elförzinkade band ( <i>Electrogalvanised</i> )		
Varmförzinkade band ( <i>Hot-dip Galvanised</i> )		
Tennfritt stål ( <i>Tin-free steel</i> )		
Tennbelagt stål ( <i>Tinplated steel</i> )		
Organiskt belagd plattstång ( <i>Organic coated flats</i> )		
Svetsade rör ( <i>Welded pipes</i> )		

## 7.5. Geografiska avgränsningar

Geografiska avgränsningar är mycket viktiga att redovisa och belysa, eftersom t.ex. tillverkningsmetoder och miljökrav kan variera mellan olika världsdelar. De LCI studier som studeras i denna rapport är de som var bransch rekommenderat. Därför kommer syftena för varje rapport att variera. Syftet med LCI för aluminium var att presentera en studie som representerar den europeiska aluminiummarknaden, dvs. visa på miljöpåverkan från *saluförd* aluminium i Europa. För låglegerat stål och rostfritt stål var syftet med inventeringen att lyfta fram en LCI för *producerade* stålprodukter i världen respektive Europa. Tabell 5 visar vilka syften och geografiska avgränsningar de olika LCI-rapporterna är gjorda efter.

Tabell 5 Geografiska begränsningar

	Låglegerat stål	Rostfritt stål	Aluminium
<b>Inventering gjord för:</b>	Tillverkad i: Europa Nordost Asien <sup>xx</sup> Resten av världen <sup>xxi</sup>	Tillverkad i: Europa	Saluförd i: Europa

<sup>xx</sup> Kina, Korea och Japan

<sup>xxi</sup> Sydafrika, Mexiko och Nordamerika.

Tabell 6 Antal producerande enheter i undersökningen, samt täckt andel av marknaden.

	Låglegerat stål <sup>61</sup>	Rostfritt stål <sup>62</sup>	Aluminium <sup>63</sup>
<b>Antal producerande enheter deltagande i rapporten:</b>	28	14	Inte angivet.
<b>Andel av undersökt marknad:</b>	Stålproduktionen i; Världen: 39.7% <sup>xxii</sup> Europa: 60% Nordöstra Asien <sup>xxiii</sup> : 72 % Nordamerika: 13 %	Totala europeiska rostfria: Stålproduktionen: 65% Bandprodukter: 85%	Valsat: 71% Folie 32% Profil 30% Profil göt: 18% Folie och valsgöt 46% Processkrotäterving: 37% Omsmältning: 53 %

## 7.6. Funktionell enhet

Funktionell enhet definieras i ISO 14040:1997 som: ”Kvantifierad prestanda hos ett produktsystem som används som en referensenhet i en livscykelanalys.” Förenklat kan den funktionella enheten uttryckas som den enhet som inventeringen dimensioneras efter. Om den funktionella enheten sätts till 1 ton halvfabrikat dimensioneras alla inflöden för vad som behövs tillsättas för att tillverka 1 ton halvfabrikat. Alla utflöden i studien, kommer vara de utflöden som uppstår vid produktion för att tillverka en funktionell enhet, t.ex. 1 ton halvfabrikat. En tillverkande industri som stål- eller aluminiumindustrin kan exempelvis relatera in- och utflödena till enheter av producerad metall. Den funktionella enheten skall vara en tydligt definierad, jämförbar och mätbar enhet.

I de granskade LCI studierna var den funktionella enheten angiven i kg. Den funktionella enheten för tillverkningsdelen för låglegerat stål är 1 kg låglegerat stålprodukt som är färdig för leverans. Den funktionella enheten för tillverkningsdelen för rostfritt stål är 1 kg rostfria stålprodukter som är färdiga för leverans. Den funktionella enheten för tillverkningsdelen av aluminium är 1000 kg aluminiumprodukt färdiga för leverans.

Tabell 7 Funktionell enhet

	Låglegerat stål	Rostfritt stål	Aluminium
Funktionell enhet	1 kg halvfabrikat	1 kg halvfabrikat	1000 kg halvfabrikat

<sup>xxii</sup> Exklusive forna sovjetunionen och Kina.

<sup>xxiii</sup> Kina, Japan och Korea.

## 7.7. Avgränsningar i tid

Datum på när data till inventeringen är insamlat är mycket relevant att redovisa i en LCI. Genom att veta hur uppdaterad inventeringarna är kan korrekta jämförelser göras. För en jämförelse är det bra att välja inventeringar som ligger så nära varandra som möjligt tidsmässigt. Genom att titta på inventeringar som gjorts under samma tidsperiod vet man att samma tekniska kunskapsnivå finns tillgänglig på marknaden. För inventeringar kan det ibland vara många år mellan insamling av data och publicering av rapporten. För de tre inventeringar som granskats har insamling av data gjorts för studien under samma tidsintervall, mellan 1997-2000. Varken rapporten för låglegerat stål eller rostfritt stål har publicerats.

Tabell 8 Tidsmässiga begränsningar.

	Låglegerat stål	Rostfritt stål	Aluminium
Publiceringsår för rapport.	Ej publicerad	Ej publicerad	2000 april
Sammanställning av rapport	2002 oktober	2000 april	2000 april
Insamlings år för statistik	Rapporten redovisar årtal specifikt för varje produkt. Majoriteten av värdena kan härledas till 1998-2000 års data. Vissa data visades oförändrade från tidigare undersökningar 1995.	Rapporten redovisar årtal specifikt för varje produkt. Majoriteten av värdena kan härledas till 1997 års data.	Baseras på insamlade data för rapporter gjorda 1998. Primärtillverkning: Vissa data visades oförändrade från 1995 års undersökningar, dessa har tagits med.

## 7.8. Systemutvidgning och allokering

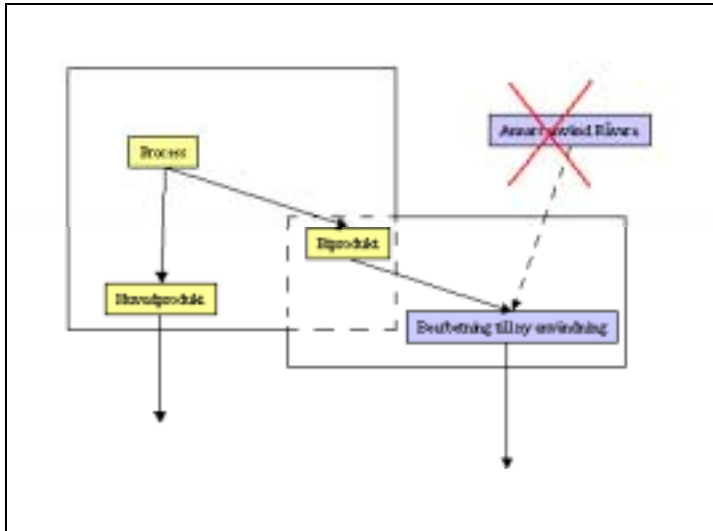
### 7.8.1. Allokering

Allokering betyder fördelning och avser dels fördelning av en miljöparameter mellan olika inflöden till en process och dels mellan olika utflöden från en process. I varje system med multiproduktion<sup>xxiv</sup> måste allokeringsregler definieras så att inflöden och utflöden ska kunna specificeras till varje produkt. Allokering kan även avse en fördelning över materialets eller produktens olika livscyklar, om det går att återvinna eller återanvända de material som ingår i produkten. Allokering kan bli väldigt komplicerat i praktiken och undviks gärna i inventeringar.

### 7.8.2. Systemutvidgning

Genom att systemutvidga kan allokering för biprodukter undvikas. Systemutvidgning betyder att systemet som studeras expanderas så att behandling av biprodukter inkluderas. Även produktionsbesparingar som gjorts möjliga genom användning av biprodukten inkluderas. Principen för systemexpansion är baserad på att biprodukten som systemet producerar har en specifik användning. Förenklat kan man säga att systemutvidgning handlar om att fördela bördan av biprodukter. Eftersom systemet utvidgas till behandling av biprodukten, kommer dessa processers energianvändning och utsläpp räknas in i det totala systemet. Energin och de utsläpp som krävs och bildas för att ta fram den råvara som skulle ha använts i stället för biprodukten kan räknas bort från systemet, se Figur 73.

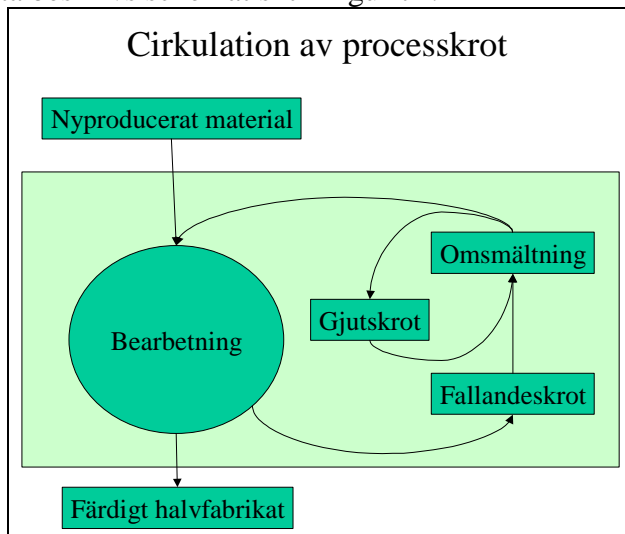
<sup>xxiv</sup> Multiproduktion betyder att flera olika produkter produceras ur samma processteg.



Figur 73 Beskrivande figur av systemutvidgning.

### 7.8.3. Processkrot

Beräkning av mängden metall som behövs för de olika processtegen har beräknats på samma sätt i alla tre LCI. Fallande processkrot har inte tagits upp som input eller output. Fallande material som återanvänts i produktionen har subtraherats från totala materialinsättningen. Detta beskrivs schematiskt i Figur 74.



Figur 74 Internskrotets cirkulation aluminium.

### 7.8.4. Låglegerat stål (IISI)

För låglegerat stål har systemutvidgning använts för behandling av biprodukter, totalt finns 19 biprodukter vars användning tillgodoses systemet. I rapporten redovisas mycket tydligt vilka biprodukter som systemexpansionen omfattar. Det redovisas också tydligt från vilket processteg biprodukten kommer, samt vad den används till. Redovisningen av resultatet för inventeringen finns i två versioner för varje produkt: med systemutvidgning och utan systemutvidgning.

#### 7.8.4.1. Processgaser

Vid ståltillverkning uppstår en stor mängd heta gaser vid processerna. Dessa energirika gaser produceras t.ex. i masugn, koksverk och konvertering. Processgaser från masugnen an-

vänds som bränsle för uppströmsprocesser och även för processer senare i kedjan. I vissa länder representerar masugnsgas och koksugnsgas en stor andel av energikonsumtionen. I studien antas processgaserna från masugnen ersätta energi som annars skulle ha använts vid produktionen, studien antar att nationell elmix har ersatts. Vid uppvärmning med processgaser antas ersättning av annars använt fossilbränsle.<sup>64</sup> Systemexpansionen ger inte missvisande eller för stålindustrin otillbörlig fördel i resultatet.

### 7.8.5. Rostfritt Stål (EUROFER)

Samma systemutvidgningsprincip som stål. Totalt sker 28 systemexpansioner i den rostfria LCI.<sup>65</sup>

### 7.8.6. Aluminium (EAA)

Ingen systemutvidgning har gjorts i studien.

## 7.9. Uppströmsdata

När en LCI görs är kvalitén på insamlad data mycket viktig. Tunga poster i inventeringen bör vara data från specifika anläggningar inom de geografiska gränserna för inventeringen. Dessa data som levereras direkt från tillverkare är mer uppdaterade och specifika. I de fall det inte finns tillgång till specifika data måste beräknade data eller litteratordata användas. Dessa data anses vara mer generella.

### 7.9.1. Skrot

#### 7.9.1.1. Historia

Ingen av de tre LCI rapporterna tar hänsyn till uppströmsdata för skrotinsamling eller sortering.

#### 7.9.1.2. Transporter

- Låglegerat stål: transport från skrothandlaren till stålverk inräknas.
- Rostfritt: transport från skrothandlaren till stålverk inräknas.
- Aluminium: transport från skrothandlaren till verk inräknas *inte*.

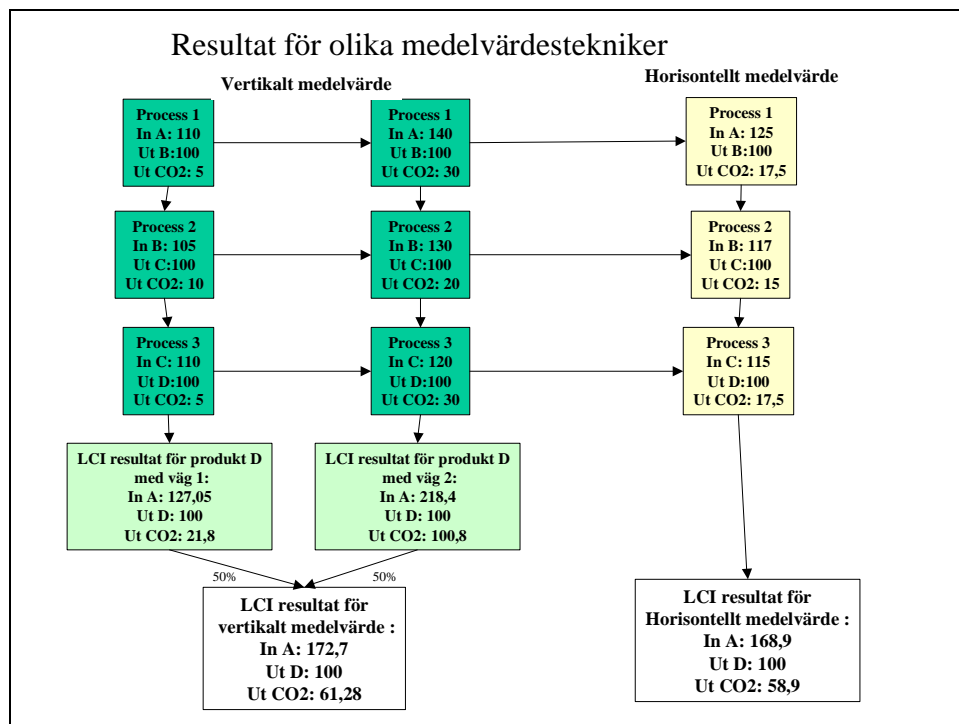
## 7.10. Beräkningstekniska val

### 7.10.1. Medelvärdesteknik och viktning

I de tre rapporterna används två olika medelvärdestekniker, vertikal och horisontell medelvärdesmetod. Ingen viktning sker i någon av rapporterna.

	Låglegerat stål	Rostfritt stål	Aluminium
Medelvärdesteknik	Vertikalt snitt	Vertikalt snitt	Horisontellt snitt

Båda metoderna syftar till att ge ett medelvärde på indata/utdata under livscykeln. Vid den vertikala metoden räknas indata/utdata för alla processkedjor fram, utifrån detta, beräknas ett medelvärde för processkedjorna. För horisontella medelvärden beräknas medelvärden för varje processteg som sedan summeras till en total indata/utdata för systemet. Figur 75 beskriver hur beräkningarna går till. Av figuren framgår också att stor variation i slutsumman uppnås vid de olika metoderna.



Figur 75 Exempel på resultat för olika medelvärdestekniker.

Genom att använda vertikal medelvärdesteknik kan olika anläggningars miljöpåverkan ses lättare, eftersom data för varje produktionsanläggning tas fram. Med horisontell metod kan de olika processtegen input/output belysas och analyseras på ett tydligare sätt.

## 7.11. Energi

Energianvändning ger miljöpåverkan, vilket gör att sättet energi redovisas på är mycket viktigt för energiintensiv industri. Vilken energikälla som används vid tillverkning kan påverka det totala resultatet kraftigt. De olika energikällorna bidrar med olika mängder utsläpp av i första hand CO<sub>2</sub>, men även t.ex. SO<sub>2</sub> och NO<sub>x</sub>.

I denna rapport har en stor del av LCI-arbetet lagts på energidelen. Energianvändning och hur den beräknas kan vara direkt avgörande vid materialval, därför har arbete lagts för att förtydliga likheter och olikheter i inventeringsmetod för energi. Elmixen är mycket viktig vid LCI eftersom mängden utsläpp är tydligt kopplade till energival. Vid granskning och redovisning av energi kommer vissa ord och uttryck att dyka upp. Här följer en kort förklaring till vissa viktiga uttryck.

**Elmix:** Beskriver fördelningen mellan olika energikällor, t.ex. olja, vattenkraft eller kärnkraft, som elektriciteten för en region är producerad av.

**Uppströmsdata för energi:** Kan förklaras som det bränsle som använts för att få energikällan i den form och till den plats den skall användas. För el som producerats av kol skall t.ex. kolbrytning, kolförbränning, koltransport, samt omvandling till el räknas med.

**Termisk energi:** Energi som används genom förbränning. Energikällor är t.ex. kol, gas och olja.

Under rubriken Energi för respektive material kommer uppströmsdata för energi och el, samt vilken elmix som använts att redovisas, även referenser för de olika energikällornas utsläppsdata redovisas.

## 7.12. Energi aluminium

### 7.12.1. Elektricitet

#### 7.12.1.1. Elmix, elektrolytverk.

För aluminiumproduktion är elektrolytverken den absolut största konsumenten av energi. Därför är det viktigt att vid en analys av studien titta på hur dessa beräkningar utförts. Den elmix som använts för elektrolytverk i rapporten är ett snitt av *använd* aluminium i Europa. Detta framräknade snitt benämns sammanvägd europeisk modell, (EAA mix). Ursprungsland för använd aluminium i Europa är som följer<sup>xxv</sup>:

- Europa 61%
- Ryssland 19 %
- Resten av västvärlden<sup>xxvi</sup> 20 %

Alla energikällors uppströmsdata och utsläppsdata kommer från BUWAL 250<sup>xxviii</sup>.

#### *Europa*

Elmixen och utsläpp för europeisk produktion är ett viktat medelvärde för Europa. I kalkylen har anläggningarnas energianvändning viktats, dvs. anläggningar som använder mest totalenergi väger tyngst. Elmixen för europeisk tillverkning har tagits fram genom att för varje producerande enhet ta den nationella elmixen<sup>xxvii</sup> och multiplicera med antalet kWh. Antalet kWh per energikälla har sedan summerats. Ur detta har den europeiska elmixen tagits fram.

#### *Ryssland*

Elektricitetsanvändning för produktion av 1000 kg aluminium och rysk elmix har tagits fram ur GDA 1998<sup>xxviii</sup>.

#### *Resten av västvärlden*

Elmix och energiåtgången för tillverkning av aluminium är hämtat ur 1995-IPAI<sup>xxix</sup>, (Statistic Summery Report).

#### 7.12.1.2. Elmix, övrig produktion.

För all övrig produktion utöver elektrolytverk och dess gjuteri har en europeisk elmix använts. Elmix, uppströmsdata för elproduktion och utsläpp är hämtade ifrån UCPTE 1994<sup>xxx</sup> elektriska energimodellen. UCPTE 1994 är en elmixmodell som beskriver fördelningen mellan olika energikällor använda i Europa 1994. Elanvändning för produktionen är specifik. Värden för transporter och utsläpp har tagits från BUWAL 250.

### 7.12.2. Termisk energi

Utsläpp vid förbränning av termisk energi är hämtade från BUWAL 250<sup>xxxi</sup>, även uppströmsdata för energi är tagen ur denna rapport.

### 7.12.3. Total energi

Ingen total energiåtgång för aluminiumproduktion är framräknad, dock är totalenergi för varje energikälla redovisad, redovisningen sker i olika enheter, (Kg kol, kWh etc.).

---

<sup>xxv</sup> (Fördelningen av ursprungsländer har beräknats som ett snitt för 1993-1997, snittet är representativt för åren 1990-1999.)

<sup>xxvi</sup> Europa ej inkluderat.

<sup>xxvii</sup> Den nationella elmixen är hämtad ur EMPA rapport till EAA 1998 27 april. (Baserad på BUWAL.)

<sup>xxviii</sup> Electricity used in Russian primary aluminum: J.Schäfer, GDA, German aluminum association,

<sup>xxix</sup> The International Primary Aluminium Institute (IPAI)

<sup>xxx</sup> UCPTE (Union for the coordination of production and transmission of electricity)

<sup>xxxi</sup> BUWAL 250. tabell 16.9.



#### 7.12.4. Underlag till energiberäkningar för LCI Aluminium.

Uppströmsdata energi Aluminium				
		Energiåtgång	Uppströmsdata och utsläpp inkl transport	Fördelning mellan energikällor
<b>Termiskenergi</b>			BUWAL 250	
<b>Elektricitet</b>				
<b>Smältverk och gjuteri</b>				
61 %	Europa	Specifik	BUWAL 250	Europasnitt <sup>xxxii</sup>
19 %	Ryssland	GDA 1998 <sup>xxviii</sup>	BUWAL 250	GDA 1998
21 %	Resten av västvärlden	1995-IPAI <sup>xxix</sup> , Statistic Summery Report.	BUWAL 250	1995-IPAI, Statistic Summery Report.
<b>Övrig produktion</b>		Specifik	UCPTE 1994-modellen <sup>xxx</sup>	

### 7.13. Energi låglegerat stål

#### 7.13.1. Elektricitet, elmix

För varje tillverkningsenhet har det aktuella landets elmix använts. Dessa har baserats på referensmaterial:

*OECD-länder:* Statistik från OECD; 'Energy Statistics of OECD countries, 1997-1998, 2000'

*USA och Canada:* Statistik per delstat; 'Energy Agency Statistics- US Department of Energy, North American Electric Reliability Council (NAERC)'

*Sydafrika och Kina:* Nationell Elmix.<sup>66</sup>

#### 7.13.2. Uppströmsdata för energikällor och elproduktion

I LCI för låglegerat stål har antaganden gjorts att el från en viss energikälla produceras på samma sätt i alla länder, Finland undantaget<sup>xxxiii</sup>, till samma effekt och bidrar med samma miljöpåverkan. Resursåtgång, förbränning och transport för tillverkning av elektricitet från de olika källorna är tagna från 'laboratorium für Energiesysteme (ETH), Zürich 1996, och Electricité de France 1994. Elektricitetsframställning från olika källor har beräknats utifrån litteratur: Den litteratur som använts för var energikälla redovisas i Tabell 9.

Tabell 9 Uppströmsdata per energikälla

Energi källa	Uppströms- och utsläppsdata
Kärnkraft	BUWAL <sup>xxxiv</sup>
Vattenkraft	BUWAL
Kol	"Electricité de France". (1994)
Tjockeldningsolja	"Electricité de France" (1994)
Naturgas	BUWAL och OECD-rapport 1989. <sup>xxxv</sup>

xxxii Elmixen för europeiskproduktion är ett viktat medelvärde baserat på mängden primär aluminiumproducerat per land.

xxxiii Landspecifika värden använda.

xxxiv BUWAL Environmental series 32 (1991)

xxxv Energy Technologies for Reducing of Greenhouse Gases, Part III, Greenhouse Gas Emission Factors, OECD 1989.

### 7.13.3. Termisk energi

Uppströmsdata och utsläppsdata för alla energier förutom processgaser har beräknats från BUWAL 132. Värmeenergi från processgaser har givits med specifik information från respektive verk. För kol har avfallet beräknats till 0,05 kg per kg brutet kol för all produktion utom brytning i Tyskland där 0,5 kg avfall beräknats per brutet kg kol. Skillnaden är p.g.a. den låga avfallsmängd som uppstår vid dagbrott som är dominerande i övriga världen förutom Tyskland.

### 7.13.4. Elmix använd för uppströmsproduktion

För de processer vars elanvändning särredovisats har samma elmixmodell använts som för övriga rapporten. I de fall när elanvändningen är inbakad i processvärdena har två metoder använts:

- Vid låg elanvändning för produktionen har en medelmix använts.
- För produkter (t.ex. zink) vars tillverkning endast representeras av en anläggning i studien har elmixen som använts varit ett medelvärde för de större producerande länderna av denna vara, viktat efter nationell produktionsmängd.<sup>67</sup>

### 7.13.5. Totalenergi

I data från LCI låglegerat stål är totalenergin är redovisad i Mega Joule [MJ]. Dessutom finns det redovisat hur mycket av den totala energin som är förnyelsebar och icke förnyelsebar, samt hur stor del av energin som använts som vid processen och hur mycket som ligger kvar i materialet. Total elektricitetsanvändning är inte presenterad.

### 7.13.6. Underlag till energiberäkningar för låglegerat stål.

För att sammanfatta all uppströmsdata för energiberäkningar gjorda i LCI låglegerat stål har Tabell 10 nedan sammanställts.

Tabell 10 Källdata för låglegerad tillverkning

Fördelning mellan energikällor		Energiåtgång	Uppströmsdata och utsläpp inkl transport	
Termisk energi		Specifik	BUWAL 132	
Elektricitet		Specifik		
OECD	Statistik från OECD; <sup>xxxvi</sup>	Specifik	<i>Kärnkraft</i> <i>Vattenkraft</i>	BUWAL 32 <sup>xxxvii</sup>
USA och Canada	Statistik per delstat; (NAERC) <sup>xxxviii</sup>	Specifik	<i>Kol och Tjock eldningsolja</i>	"Electricité de France" (1994)
Sydafrika och Kina	Nationell elmix	Specifik	<i>Naturgas</i>	BUWAL 32 och OECD-rapport 1989. <sup>xxxix</sup>

<sup>xxxvi</sup> 'Energy Statistics of OECD countries, 1997-1998, 2000'

<sup>xxxvii</sup> BUWAL Environmental series 32 (1991)

<sup>xxxviii</sup> 'Energy Agency Statistics- US Department of Energy, North American Electric Reliability Council

<sup>xxxix</sup> Energy Technologies for Reducing of Greenhouse Gases, Part III, Greenhouse Gas Emission Factors, OECD 1989.

## 7.14. Energi rostfritt stål

### 7.14.1. Elektricitet

#### 7.14.1.1. Elmix

För varje tillverkningsenhet har det aktuella landets elmix använts. Varje lands elmix har baserats på referensmaterial: 'Energy Statistics of OECD countries 1996', (1997). För data som inte är specifika har europeisk elmix använts. I LCI för rostfritt stål har antagandet gjorts att el från en viss energikälla produceras på samma sätt i alla länder till samma effekt och bidrar med samma miljöpåverkan. All tillverkning av el antas göras enligt DEAM<sup>TM</sup> modeller.<sup>x1</sup>

#### 7.14.1.2. Uppströmsdata för elektricitet.

Uppströmsdata för elektricitetsframställning kommer från ett flertal olika källor (se tabell 10). Distributionen för elektricitet är baserad på siffror från International statistics of OECD Countries. (1997).

Tabell 11 Uppströms- och utsläppsdata rostfritt stål

Energikälla	Uppströms- och utsläppsdata
<i>Kärnkraft</i>	ANDRA, (National French agency of radioactive waste)
<i>Vattenkraft</i>	Ingenjörberäkningar.
<i>Kol</i>	Electricite de France, (1994)
<i>Processgaser</i>	
<i>Tjock eldningsolja</i>	
<i>Naturgas</i>	BUWAL Environmental series 32 (1991)
<i>Brunkol</i>	

#### 7.14.2. Termisk energi

Uppströmsdata för all termisk energi beräknas utifrån 'Laboratorium für Energiesysteme' (ETH), Zürich 1995.

#### 7.14.3. Elmix för uppströmsproduktion.

Nationell elmix har tillämpats för all uppströmsdata där elanvändningen redovisas separat. I de fall när elanvändningen är inbakad i processvärdena har två metoder använts:

- Vid låg elanvändning för produktionen har en europeisk medelmix använts.
- För produkter (t.ex., zink) vars tillverkning endast representeras av en anläggning i studien har elmixen som använts varit ett medelvärde för de producerande länderna, viktat efter nationell produktionsmängd.

#### 7.14.4. Underlag till energiberäkningar för rostfritt stål.

För att sammanfatta all uppströmsdata för energiberäkningar gjorda i LCI rostfritt stål har Tabell 12 nedan sammanställts.

Tabell 12 Källdata för rostfritillverkning

<sup>x1</sup> DEAM<sup>TM</sup> Database for environmental analysis and management- Ecobilan's LCI Databas.

	Fördelning mellan energikällor	Energiåtgång	Uppströmsdata och utsläpp inkl transport	
<b>Termisk energi</b>	Specifik	Specifik	ETH	
<b>Elektricitet</b>	Statistik från OECD; <sup>xli</sup>	Specifik	<b>Kärnkraft</b>	ANDRA, <sup>xlii</sup>
			<b>Vattenkraft</b>	Ingenjörs beräkningar.
			<b>Naturgas</b>	BUWAL 32
			<b>Brunkol</b>	
			<b>Kol</b>	Electricite de France, (1994)
			<b>Processgaser</b>	
			<b>Tjock eldningsolja</b>	

#### 7.14.5. Totalenergi

Redovisas på samma sätt som i IISI-rapporten. (Se 7.13.5 Totalenergi)

### 7.15. Diskussion elektricitet

#### 7.15.1. De olika materialens känslighet för elmix.

För energiintensiv industri är valet av energikälla en stor del av miljöpåverkan. Skillnaden i utsläpp från kolbaserad el eller vattenkraftbaserad el är mycket stor.

Aluminiums största energikälla är elektricitet. De utsläpp av CO<sub>2</sub> som aluminiumproduktion ger upphov till kan variera mycket kraftigt beroende på den valda energifördelningen för elproduktion. Detta ger att om elektriciteten uteslutande kan tas från vattenkraft kan CO<sub>2</sub>-utsläppen minska kraftigt, men om energin kommer från kol, ges en maximering av utsläppen. För den rostfria ståltillverkningen blir energifrågan också viktig dels för att smältning sker i ljusbågsugn, men i första hand genom att tillverkningen av ferrolegeringar och legeringsämnen är mycket elintensiv. Även för låglegerad skrotbaserad tillverkning sker smältning i ljusbågsugn och el blir en stor del av energitillskottet. Resultatet i LCI-data för masugnsbaserad ståltillverkning är inte lika känslig för elektricitetens källfördelning eftersom användningen är relativt låg.

Den huvudsakliga energikällan för masugnen är det kol och den blästerluft som tillsätts. Malmtypen som tillsätts i masugnen gör att energimängden som måste tillsättas varierar. Andelen skrot som tillsätts vid masugnsbaserad tillverkning påverkar därmed mängden kol som krävs för fullständig reaktion. Detta gör att en ökad skrottillsats ger minskade CO<sub>2</sub>-utsläpp.

#### 7.15.2. Nationell miljöpåverkan

Fördelningen mellan energikällor för ett lands energiförsörjning bestäms i första hand av landets och omgivande länders naturresurser. Många utsläpp i rapporterna, t.ex. koldioxid, är överdimensionerade för länder med övervägande vattenkraft och kärnkraft vid elframställning t.ex. Sverige och Frankrike, och underdimensionerade för länder med övervägande fossilbränsleanvändning vid elframställning t.ex. Italien.

Här nedan är två tabeller som visar olika elmixer samt utsläpp vid tillverkning jämfört med europasnittet. Exemplet är för tillverkning av rostfritt stål, men belyser en fråga som är relevant för alla tre inventeringarna.

<sup>xli</sup> 'Energy Statistics of OECD countries, 1997-1998, 2000'

<sup>xlii</sup> (National French agency of radioactive waste)

	<i>Italy 1995</i>	<i>France 1996</i>	<i>European Union 1996</i>	<i>Efficiencies</i>
Coal	9.92%	5%	22.27%	39.30%
Lignite	0.06%	0.4%	8.8%	32.30%
Fuel Oil	50.02%	1.1%	8.55%	38.50%
Natural Gas	19.42%	0.8%	9.15%	33%
Nuclear	0%	77.8%	34.93%	33%
Hydro	17.5%	14.2%	13.93%	90%
Process Gas	1.43%	0.7%	0.88%	
Free electricity	1.6%	0.6%	1.35%	

Distribution losses	7.3%	2%	6.3%	
---------------------	------	----	------	--

Figur 76 Källfördelning för elektricitetstillverkning, jämförelse mellan europamodellen och Frankrike och Italien. Ur Rostfria LCI-Rapporten.<sup>68</sup>

De stora skillnader i elmix som olika länder har jämfört mot Europasnittet framgår tydligt i Figur 76.

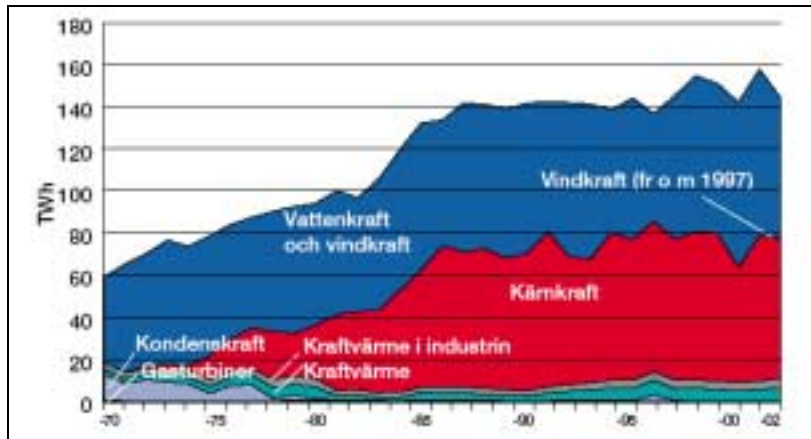
	Variation with Italian Grid	Variation with French Grid
(r) Natural Gas (in ground)	19%	-22%
(r) Oil (in ground)	135%	-26%
(r) Coal (in ground)	-50%	-75%
(r) Uranium (U, ore)	-95%	104%
(r) Lignite (in ground)	-98%	-99%
(a) Carbon Dioxide (CO <sub>2</sub> , fossil and mineral)	20%	-41%
(a) Carbon Monoxide (CO)	-40%	-43%
(a) Nitrogen Oxides (NO <sub>x</sub> as NO <sub>2</sub> )	16%	-38%
(a) Particulates (unspecified)	1%	-2%
(a) Sulphur Oxides (SO <sub>x</sub> as SO <sub>2</sub> )	106%	-55%
(a) Hydrocarbons (except methane)	110%	-27%
(a) Hydrocarbons (unspecified)	-3%	-2%
(a) Methane (CH <sub>4</sub> )	102%	-63%
Waste (total)	-15%	-22%
Waste: Highly Radioactive (class C)	-97%	106%

Figur 77 Skillnad i utsläpp vid tillverkningen av rostfritt stål baserat på italiensk och fransk energifördelning, jämförd mot europamodellen.<sup>68</sup>

Genom att använda olika elmixer kan utsläppen för vissa ämnen förändras med över 100 %. Figur 77 visar hur olika utsläpp påverkas av en vald elmix och ger förståelse för hur avgörande elmixen är för utsläppen vid produktion.

### 7.15.3. Sveriges energifördelning

Olja och elektricitet dominerar Sveriges energianvändning. Totalt svarar fossila bränslen, dvs. olja, kol och naturgas tillsammans för 40 % av Sveriges totala energianvändning. Elektricitet motsvarar en tredjedel av den totala energianvändningen. Ungefär hälften av elektriciteten produceras med kärnkraft och hälften med vattenkraft. Huvuddelen av resterande energi är biobränslen och torv. Figur 78 visar dagens elmix och elförbrukning i Sverige men också hur den har förändrats sedan 70-talet.



Figur 78 Sveriges elförbrukning och elmix.<sup>69</sup>

Detta gör att elintensiv tillverkning i Sverige ger upphov till betydligt lägre CO<sub>2</sub>utsläpp än vad beräkningar med ett europasnitt ger.

#### 7.15.4. Fakta om ursprung

Vid analys av en produkt uppstår ofta frågetecken runt de ingående materialens ursprungs-länder, eftersom det vanligen är många mellanhänder från verk till slutprodukt. Materialets ursprung har betydelse om en mer exakt analys skall göras av miljöpåverkan. Eftersom tillverkningsmetoder, elmix och miljöarbete är mycket varierande i olika länder.

### 7.16. Transporter

#### 7.16.1. Låglegerat stål, beräkningssätt och referenser för transporter.

Transporter är inkluderade för malm, pellets, kol, skrot, kalksten, dolomit och olivin<sup>xliii</sup>. Dessa råmaterial representerar mer än 95 % av totalt transporterad vikt.<sup>xliv</sup> Varje transportsätt är redovisat i förteckningen över uppströmsdata i LCI-rapporten. Fartygstransporter är beräknade utifrån värden givna av Nippon Steel, de övriga är beräknade utifrån litteratur.

#### 7.16.2. Rostfritt stål, beräkningssätt och referenser för transporter.

Transporter är inkluderade för 35 råvaror, bland dessa är t.ex. skrot, ferrolegeringsämnen, kalk och gaser. Varje transportsätt är särredovisat i förteckningen över uppströmsdata. Rapporten räknar in produktion av bränsle och förbränning vid transport. Alla värden för förbränning per transportsträcka vid transport är tagna ur litteratur, från BUWAL eller ETH.

#### 7.16.3. Aluminium, beräkningssätt och referenser för transporter.

Transporter har inkluderats för primärtillverkningens alla stora poster. De absolut största posterna är bauxit- och aluminiumoxidtransporter. Transporter har inte inkluderats för skrot vid återanvändning eller kalksten för kalcinering. Data för transportenergi och luftutsläpp orsakade av transporter har tagits från BUWAL 250 (1991).

#### 7.16.4. Diskussion transport

Transporter faller under energiredovisning i en LCI eftersom transporter omräknas och redovisas som energi. För redovisningen är det viktigt att alla längre och tyngre transporter inkluderas. Dessa sker ofta tidigt i livscykeln, innan raffinering. För aluminium utgör bauxit- och aluminiumoxidtransporterna en mycket stor del av de totala transportererna. För ståltill-

<sup>xliii</sup> Slaggbildare, A<sub>2</sub>SiO<sub>4</sub>

<sup>xliv</sup> sid 24 LCI STÅL

verkning är kol och skrottransporter generellt stora poster och blir därför viktiga att kontrollera. För tillverkning av rostfritt stål är även ferrolegeringarnas transporter viktiga. För malmbaserad tillverkning är pellets- och kalktransport, samt kol- och skrottransporter viktiga. För alla studier är de mest väsentliga transporterna inräknade.

## 7.17. Emissioner

När en analys av miljöpåverkan för en produkt görs är det relevant att titta på hur mycket tillverkningen bidrar till försurning, växthuseffekten, övergödning och nedbrytning av ozonlagret. Genom att kategorisera utsläpp från produktion efter deras effekt på naturen kan en tydligare bild ges av produktionens miljöpåverkan. Nedan finns de utsläpp till luft och vatten som redovisats i metodrapporterna för respektive LCI. Hur utsläppen redovisats i metodrapporterna reflekteras i sättet de redovisas nedan.

### 7.17.1. Låglegerat stål

Rapporten tar endast upp de ämnen vars inventeringar varit kompletta. Ämnena nedan är en komplett lista över redovisade utflöden från systemet.

#### 7.17.1.1. Luft

Tabell 13 Luftemissioner låglegerat stål

Ämnesgrupp	Komplett utsläppsinventering
Växthusgaser	CO <sub>2</sub> , CH <sub>4</sub> , N <sub>2</sub> O, HFC, PFC, SF <sub>6</sub>
Försurningsgaser	NO <sub>x</sub> , SO <sub>x</sub> som SO <sub>2</sub> , HCl, H <sub>2</sub> S
Organiska utsläpp	Dioxiner, VOC (Ej Metan)
Metaller	Cd, Cr, Pb, Zn
Övrigt	CO, partiklar

#### 7.17.1.2. Vatten

Tabell 14 Vatten emissioner låglegerat stål

Ämnesgrupp	Komplett utsläppsinventering
Metall	Cr, Fe, Zn, Pb, Ni, Cd
Övrigt	N, P, NH <sub>3</sub> , COD <sup>xlv</sup> , partiklar

### 7.17.2. Rostfritt stål

Data har redovisats som komplett eller ej komplett inventerad data. De data som är inräknade som kompletta omfattar all insamlad data för ämnet samt beräknade utsläpp för de verk som inte kunnat redovisa sina faktiska utsläpp. För de icke kompletta ämnena har endast de insamlade data räknats in och i de fall verket inte kunnat redovisa data har heller inget räknats in i rapporten.

#### 7.17.2.1. Luft

En inventering är genomförd för alla de mer betydande utsläppen. Dessa utsläppsposter finns tydligt listade i rapporten och redovisas i gram per kg producerat halvfabrikat. Utsläpp som anses ha neutral inverkan på miljön, syrgas och kvävgas, har inte redovisats. Utsläppsvärden är specifika för alla utsläpp, förutom CO<sub>2</sub> där de dels är specifika men i vissa fall framräknade från jämviktsberäkningar.

<sup>xlv</sup> (Chemical Oxygen Demand)

Tabell 15 Luftemissioner rostfritt stål.

Ämnesgrupp	Komplett utsläppsinventering	Ej komplett utsläppsinventering
Växthusgaser	CO <sub>2</sub>	CH <sub>4</sub> ,
Försurningsgaser	NO <sub>x</sub> som NO <sub>2</sub> , SO <sub>x</sub> som SO <sub>2</sub>	HCL, H <sub>2</sub> S, HF
Organiska utsläpp	Dioxiner	VOC (Ej Metan) , HC (Förutom metan), HCN
Metaller	Cr, Mo, Ni,	Cd, Sn, Pb, Zn, Hg, metall komponenter
Övrigt	CO, Partiklar	Olja, F- , OH-

### 7.17.2.2. Vatten

Tabell 16 Vattenemissioner rostfritt stål

Ämnesgrupp	Komplett utsläppsinventering	Ej komplett utsläppsinventering
Försurande ämnen	syror (H <sup>+</sup> ) , Svavel	
Organiska utsläpp	COD, HC	BOD
Metaller	(Al <sub>3+</sub> ), (Cd <sup>++</sup> ), (Cr III, Cr VI), (Cr VI), Cu <sup>+</sup> , Cu <sup>2+</sup> , (Fe <sup>++</sup> , Fe <sup>3+</sup> ), (Pb <sup>++</sup> , Pb <sup>4+</sup> ), (Mn <sup>++</sup> , Mn <sup>4+</sup> ) , Mo <sup>++</sup> , Mo <sup>3+</sup> , Mo <sup>4+</sup> , Mo <sup>5+</sup> , Mo <sup>6+</sup> , (Ni <sup>++</sup> , Ni <sup>3+</sup> ) Sn <sup>++</sup> , Sn <sup>4+</sup> , Zn <sup>2+</sup>	Hg <sup>+</sup> , Hg <sup>2+</sup>
Övrigt	Cl-, F-, Si <sup>++</sup> , partiklar, NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> , NH <sub>3</sub> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup> , Fosfor, Kväve	CN <sup>-</sup> , Avfettningemedel,

(Cr III, Cr VI) anges i metodrapporten som både komplett och ej komplett inventerad. (Cr III, Cr VI), är dock medräknad i studien som komplett inventerad.<sup>70</sup>

### 7.17.3. Aluminium

#### 7.17.3.1. Luftemissioner

I metodrapporten redovisas vilka utsläpp till luft som uppstår från el-tillverkning. Detta finns redovisat för både europeisk elmix och den elmix som använts för elektrolyserverken. Utsläpp för varje tillverkningssteg är tydligt redovisade, dock sägs inget i rapporten om hur de samlats in eller om inventeringen är komplett. De ämnen som redovisas nedan är de ämnen som är redovisade i LCI data för aluminium.

Tabell 17 Luftemissioner aluminium

Utsläpp till luft inkl i inventering	Primärtillverkat göt	Bearbetning	Återvinning av aluminium
Växthusgaser	CH <sub>4</sub> , CO <sub>2</sub> , PFC (Bestående av ca 90% CF <sub>4</sub> och 10% C <sub>2</sub> F <sub>6</sub> )	CH <sub>4</sub> CO <sub>2</sub>	CO <sub>2</sub> N <sub>2</sub> O
Försurningsgaser	HCL, HF, NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub>	HF, HCl, NO <sub>x</sub> SO <sub>2</sub>	HCl, HF, H <sub>2</sub> S, N, NO <sub>x</sub> , SO <sub>2</sub>
Organiska utsläpp,	PAH, HC	VOC, HC	HC
Metaller			
Övrigt	F total, CO, partiklar	CO, Klorid, NH <sub>3</sub> , partiklar	CO, Cl <sup>-</sup> , Cl <sub>2</sub> , partiklar, NH <sub>3</sub> , PH <sub>3</sub> ,



### 7.17.3.2. Vattenemissioner

Tabell 18 Vattenemissioner aluminium

Utsläpp till vatten	Primärtillverkat göt	Bearbetning	Återvinning av aluminium
Försurande ämnen	H <sup>+</sup>		
Organiska utsläpp,	COD HC (Förutom PAH) PAH		
Metaller	Hg Övriga metaller		
Övrigt	Cl <sup>-</sup> CN <sup>-</sup> Olja/fett K <sup>+</sup> Na <sup>+</sup> Lösta partiklar, BOD <sup>xlvi</sup> , NH <sub>4</sub> , PO <sub>4</sub> <sup>3-</sup> , SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> , NO <sub>3</sub> <sup>-</sup>	COD Klorid Olja/fett Lösta partiklar	

### 7.17.4. Beräkningsprinciper för miljöpåverkan

För kemiska ämnen och föreningar finns det dokumenterat hur mycket dessa bidrar till olika miljöproblem. Ett mått på bidrag kan ges av karaktäriseringsfaktorer som beskriver ämnets påverkan till ett visst miljöproblem relativt ett annat ämne, t.ex. CH<sub>4</sub>-påverkan på växthuseffekten relativt CO<sub>2</sub>-påverkan. För växthuseffekten kan CO<sub>2</sub> användas som referenspunkt och övriga ämnen relateras till CO<sub>2</sub> för beräkning av bidrag till växthuseffekten. Viktsbaserad global värminingspotential, (GWP), för tiden 100 år, CO<sub>2</sub>-ekvivalent presenteras nedan i tabell 18

Tabell 19 Karaktäriserings faktorer för växthusgaser.<sup>71</sup>

Ämne	GWP, 100 år.
CO <sub>2</sub>	1
CH <sub>4</sub>	21
Methylchloroform	110
Chloroform	4
N <sub>2</sub> O	310
CFC-12	8500
CFC-11	4000
Carbon tetrachloride	1400
HFC-23	11 700
Methylene chloride	9
SF <sub>6</sub>	23900

Samma typ av relationer kan göras för försurning, markozon, ozon och övergödning. För analys av en produkt är det viktigt att få fram miljöpåverkan. Genom att titta på vilka ämnen och vilka mängder som släpps ut kan bidragen till de olika miljöproblemen kartläggas. Genom att använda konverteringsfaktorer kan tal räknas fram på bidraget från produkten till var och en av de större miljöproblemen.

<sup>xlvi</sup> Basic oxygen demand

## 7.18. Slutsats och diskussion av skillnader i LCI-rapporter

Dessa tre jämförda LCI-rapporter är gjorda från vagga till grind och syftar till att användas som uppströmsdata i produkters LCI studier. Ingen av LCI studierna är framarbetade för att jämföras mot andra halvfabrikat.

Jämförelser blir först användbara vid en applikation, eftersom materialens olika egenskaper spelar in i hur utformning av produkter sker och vilken mängd material som krävs för applikationen. Det är viktigt att betrakta livslängd för produkten, hur återvinning sker och hur många gånger materialet kan återvinnas för att få en komplett analys av en produkts miljöpåverkan.

Eftersom LCI är komplext måste val av metod och antaganden göras. Det som är viktigt är att metodrapporten är tydlig så att läsaren kan få förståelse för hur inventeringen är gjord. IISI:s och Eurofers LCI metodrapporter ger en detaljrik beskrivning av vilka antaganden och metodval som gjorts. EAA LCI metodrapporten är fåordig och lämnar luckor i informationen om hur data tagits fram.

För att kunna göra en rättvis jämförelse av data från dessa LCI studier krävs det att läsaren är insatt i hur data är framarbetad. Detta är anledningen till att denna rapport inte publicerar data från de tre inventeringarna, utan hänvisar till respektive organisation som genomfört inventeringen för att beställa data och metodrapporter.

### 7.18.1. Materialåtgång och hållfasthet

När en produkt skall utformas specificeras utformning och materialval. Om designen är bestämd kommer vikten på den tillverkade detaljen att bero på densiteten på materialet och tjockleken på produkten. Viktminskning av detaljer är i vissa branscher speciellt prioriterade, t.ex. fordonsbranschen. Utifrån det valda materialet måste tjockleken anpassas för att uppnå önskad hållfasthet. Material har olika förmågor att ta upp belastning, vilket gör att tjockleken på produkten måste anpassas efter materialvalet. Om ett material med liten förmåga att ta upp last valts, måste godstjockleken ökas för att uppnå hållfasthetskravet. Vikten på produkten ökar linjärt med tjockleksjusteringen. Om ett mer höghållfastmaterial används kan tjockleken på produkten minskas, vilket ger minskad materialåtgång och vikt på produkten. Produktutveckling kan bidra med viktminskningar genom förstärkningar av materialet eller ökad materialtjocklek vid kritiska punkter, på detta sätt kan generell materialtjockleksökning undvikas.

Detta resonemang vill mynna ut i att ge en förståelse för att det inte bara är att titta på siffrorna från LCI-analyserna, utan en mer applikationsnära bedömning bör göras för att få fram hur mycket tillverkningsdelen av processen bidrar med i en produkts fulla livscykel. Resonemanget visar också att det inte blir relevant att jämföra en viktenhet eller areaenhet av materialen, eftersom de tar upp olika mycket last.

Med detta resonemang för stål och aluminium ska ett exempel beskrivas. Eftersom aluminium generellt har lägre densitet och lägre hållfasthet än stål så kommer vikten för en detalj kunna bli lägre om den görs i aluminium, men eftersom att hållfastheten är lägre kommer detaljen behöva tillverkas i tjockare dimensioner för att kunna ta upp samma last. Stålsorter med extra höghållfasthet kan tillverkas i tunnare dimensioner än annat stål och på så sätt få en låg vikt i applikationer trots att samma last kan tas upp. Samma gäller för mer höghållfasta aluminiumlegeringar.

### 7.18.2. Energiåtgång, jämförelse av primär och sekundär tillverkning

Generellt kan det nämnas för alla dessa material att primärtillverkning kräver mycket mer energi än sekundärtillverkning. För aluminium är skillnaden mellan primär och sekundärtillverkning betydligt större energimässigt än för stål. Processerna för båda materialen gynnas av

att ha en hög återvinningsgrad i samhället, vilket ger en god tillförsel av skrot. Energimängden som krävs för att tillverka 1000 kg plåt av sekundäraluminium är högre än vad som krävs för att tillverka 1000 kg stålplåt från malm.<sup>72</sup> Se Figur 6 Jämförelse av energianvändning vid tillverkning av plåt för stål och aluminium.

### 7.18.3. LCI typer

De tre LCI som jämförts i denna rapport är alla så kallade bokföringsinventeringar, dvs. inventeringarna är gjorda för att redovisa faktiska inventerade värden för tillverkningen som sker för en viss produkt.

Det finns även en annan typ av LCI som kallas för förändrings/marginaleffekts LCI. Denna typ av LCI fokuserar på att tydliggöra vad förändringar i produktionsmängder skulle innebära. Det är vid en förändring som marginalen påverkas, s.k. marginaldata. Om den förändrade processen kräver mer energi kanske vattenkraften inte räcker till, extra energi måste produceras t.ex. genom att elda med olja. Samma situation gäller om den förändrade processen har en lägre energiförbrukning, då kan olja sparas medan lika mycket vattenkraft används. Det innebär att en förändring av marginalen oftast ger en större miljöpåverkan eller högre miljövinst än genomsnittet.

### 7.18.4. Elredovisning och justeringar

I en LCI kan elektricitet redovisas separat alternativt redovisas endast en siffra för totalenergi. LCI EAA har en mycket detaljrik redovisning av data som kommit fram ur inventeringen. Elektricitet liksom utsläpp, energikonsumtion och transporter finns separat redovisad för varje processteg. Eurofer LCI redovisar elektriciteten separat medan IISI LCI inte redovisar elkonsumtion utan endast totalenergikonsumtion. Genom att redovisa en siffra för totalenergi kan ingen information om hur stor del av energin som utgörs av el göras. Det argument som ofta lyfts fram från LCI kunniga är att genom separat redovisning av el kan efterjusteringar av elmixen göras för att få studien mer anpassad till det geografiska område som skall studeras. Genom separat elredovisning kan även marginaleffekter studeras. Om justeringar i elmix skall göras på befintliga LCI bör gedigna kunskaper om processerna finnas för att justeringarna inte skall ge ett missvisande resultat.

Tillverkning av aluminium och rostfritt stål (p.g.a. ferrolegeringar) är mycket beroende av elektricitet. På lika sätt är malmbaserad tillverkning knuten till kolanvändning. För malmbaserad tillverkning är kolet inte ett utbytbar eftersom dess uppgift i första hand är reduktion av syre i masugnen.

Generellt sett kan det sägas att LCI för låglegerat stål och rostfritt stål är mycket lika metodmässigt. Rapporterna täcker olika geografiska områden, rostfritt stål och aluminium inventerar Europa medan låglegerat stål gör en inventering för världen.

Den första stora skillnaden är hur elmixen är beräknad. Metoden som använts för inventering av låglegerat stål och rostfritt stål är den samma; att titta på *producerat* halvfabrikat inom studiernas geografiska avgränsningar. Aluminium inventeringen har studerat *använd* aluminium för elektrolysverken och dess gjuteri, och för all övrig produktion *producerad* aluminium inom studiernas geografiska avgränsningar. För aluminiumtillverkning är elektrolyverket den absolut största enskilda elanvändaren.

I Sverige produceras ungefär hälften av elektriciteten med kärnkraft och hälften med vattenkraft. Huvuddelen av resterande energi är bibränslen och torv. Detta ger att elintensiv tillverkning i Sverige ger upphov till betydligt lägre CO<sub>2</sub> utsläpp än vad beräkningar med ett europasnitt ger.

För redovisningen är det viktigt att alla längre och tyngre transporter inkluderas. Dessa sker ofta tidigt i livscykeln, innan raffinering. För alla studier är de mest väsentliga transporterna inräknade.

## 8. ÅTERVINNING OCH SKROTCIRKULATION

### 8.1. Inledning

Återvinning handlar om att ta tillvara resurser och minska framtagandet av nya råvaror vilket ger energibesparingar. Såväl stål som aluminium har återvunnits sedan lång tid och kontinuerligt arbete sker för att öka mängden insamlat och återvunnet material. Fördelen med att återanvända dessa metaller är att det krävs betydligt mindre energi för att sekundärtillverka stål och aluminium än att primärtillverka dessa. Utmaningen för återvinningscirkeln är att minimera förlusterna av material på vägen från användning till återvinning. En svårighet vid återvinning av metaller är att veta vad materialet innehåller. För både stål och aluminium finns tydliga skrotklassificeringar utarbetade, detta kommer att förklaras djupare i kapitlet Skrotklassning.



**Figur 79 Stålskrot.**  
AB Sandvik Materials Technology, Sandviken  
Foto: Stig-Göran Nilsson (2002)

### 8.2. Skrotcirkulationen

#### 8.2.1. Skrotcirkulation

Skrot återvinns under samtliga delar av en produkts livscykel. Uppdelningen av livscykeln kan göras i ett stort antal cirklar på olika avstånd från verket. Viktigt att notera är att varje cirkel har en avvikande pil som markerar en förlust av skrot. I skrotförlusten ingår dels metall som förstörts på något sätt, t.ex. stål som rostas, och dels uttjänt metall som av olika anledningar blir kvar i samhället. Figur 80 visar det typiska flödet för en metall och är representativ för såväl stål som aluminium.

#### *Internskrot:*

Vid tillverkning av metall skapas en stor mängd fallande skrot, t.ex. vid bearbetningen blir det ofta en hel del spill som tas om hand. Det material som tas tillvara kallas för internskrot eller cirkulationsskrot och samlas ihop för att sedan smältas om. Fördelarna med att använda detta skrot är att värdena för legeringshalterna redan är kända så inga nya analyser behöver göras och inga långa transporter är nödvändiga.

En hög andel internt skrot kan bero på att man av tekniska skäl har en bearbetningsmetod med lågt utbyte eller att man har en långt driven förädling. Mängden internskrot varierar alltså med utbytes- och förädlingsgrad och ligger normalt kring 10-30 % av produktionen.



**Figur 80 Skrotcirkulation och förluster.**  
Källa: Figur baserad på figur från Stålets kretslopp.

#### *Verkstadsskrot:*

Nästa steg i kedjan är att materialet går till verkstaden. Där bearbetas det för att få den form som applikationen kräver. I verkstaden skapas metallspill, vilket kallas verkstadsskrot. Det kan utgöras av svarvspån, rester efter klipp och stansningar eller kassationer av olika slag. Verkadsskrotet skickas ofta tillbaka till verket där det kom ifrån och omsmälts.

#### *Insamlingskrot:*

Utöver dessa två kategorier finns den mest kända kategorin skrot, insamlingskrot dvs. skrot från uttjänta produkter. Denna skrotgrupp kan i sig delas upp i mindre grupper som syns i Figur 80. Man talar om utranerings- och rivningsskrot, järnvägsskrot, hushållsskrot (kommunskrot), bilskrot och fartygsskrot. Idag passerar en viss del av skrotflödet genom fragmenteringsanläggningar. Produkter som går till fragmenteringsanläggningar är oftast sammansatta produkter och kallas därför komplext skrot.

#### *Cirkulationstider:*

Cirkulationstider för olika applikationer varierar kraftigt. Internskrot har kort cirkulationstider liksom förpackningar för livsmedel generellt har. Cirkulationstiden för internskrot innan det återanvänds kan vara från några dagar till veckor. För verkstadsskrot handlar cirkulationstiderna om veckor upp till månader medan insamlingskrot kan behöva årtionden för att återvända tillbaka till verken.

### **8.2.2. Cirkulationssystem**

#### *8.2.2.1. Marknadsstyrda cirkulationssystem*

Insamling och omsmältning av stål- och aluminiumskrot har funnits sedan länge. Den första processen där stålskrot kunde omsmältas på en industriell skala var Martinprocessen som uppfanns redan 1865. För aluminium startade inte tillverkningen av metall i industriskala förrän i slutet av 1800-talet, och det första omsmältverket i Sverige för aluminium togs i bruk 1949.<sup>76</sup> Cirkulationen och insamlingen av skrotet sker helt på marknadsbaserade principer. Genom att skrotet i sig har ett värde för stål- och aluminiumindustrin behövs inget samhällsreglerat insamlingssystem.

#### *8.2.2.2. Samhällsstyrda insamlingssystem*

Sedan 1994 finns ett producentansvar för insamling av vissa produkter. Tillverkaren ansvarar för att det finns insamlingssystem och för att hushållen får information om vad de ska göra med uttjänta produkter.<sup>73</sup> Producentansvaret täcker idag 5 grupper: förpackningar, däck, returpapper, bilar och elektronikprodukter. Syftet är att myndigheterna ska kunna kontrollera och få ett mått på hur stor återvinningen är för att sedan kunna försöka att öka återvinningen. Insamlingen och informationen löses oftast på det viset att producenter för en viss produkt går samman och startar ett bolag som samlar in deras produkter.

För stål och aluminiumindustrin är producentansvaret positivt eftersom det bidrar till ett ökat insamlande av metallskrot. Producentansvaret som vilar på stål- och aluminiumbranschen är marginellt och består i de emballage som branschernas tillverkade produkter levereras i.

Det absolut mest kända och utvecklade retursystemet för metaller i Sverige är pantburkssystemet. Aluminiumburken har en mycket hög återvinningsgrad på ca 85 %.<sup>74</sup> Aluminiumburken har en unik legeringssammansättning med mangan och magnesium, som är utvecklad för att göra dragning av burkar smidig.

Legeringen gör att det lönar sig att låta insamlade burkar bli burkar igen och samma legeringssammansättning gäller för samtliga Europas burkar. Aluminiumburkar för svenska marknaden tillverkas i Sverige av Rexam Beverage Can Fosite AB, i Malmö. Aluminiumburken som används i Sverige omsmälts i Manchester av Alcan, denna anläggning har stora delar av Europas och vissa ytterligare länders omsmältning av aluminiumburkar.

Burkar produceras utifrån valsat material. Den stora enheten för valsning av blivande burkmaterial ligger i Tyskland. Här valsas det material som sedan sänds till Sverige för burkdragning. En av anledningarna till varför omsmältning och valsning inte sker i Sverige är att mycket stor kapacitet för smältning krävs, samt att en bred valsbredd efterfrågas för att göra burkdragningen effektiv. Denna valsbredd finns inte i Sverige.<sup>75</sup> Det kan dock nämnas att danska burkarna omsmälts i Kolding i Danmark på AB Stena Aluminiums anläggning.<sup>76</sup>

### **8.2.3. Skrotsortering och hantering**

#### **8.2.3.1. Fragmentering och separering**

För att skrotet ska kunna återvinnas måste det genomgå en separation och detta görs lättast genom att skära sönder skrotet med gas eller klippa sönder skrotet. I denna process så ser man också till att plocka bort alla detaljer som inte ska finnas där, det kan vara elektronikdetaljer eller andra material som inte ska återvinnas med stål och aluminium. Denna typ av separation görs för enklare detaljer som t.ex. dörrar, järnvägsräls och skåp. Det skrot som anses mer komplext dvs. svårare att separera, går till fragmenteringsanläggningar.

Fragmentering betyder att materialet mals ner i en kraftig hammarkvarn till knytnävsstora bitar. Magneter, luftströmmar, vattenbad och manuell sortering skiljer sedan de olika materialen åt. Aluminium kan separeras ut genom t.ex. flotation. Stålskrotet separeras ofta ut genom att använda en magnet, förutom rostfria stål som inte har samma magnetiska egenskaper, dessa separeras genom en annan maskin som kallas planseparator.<sup>77</sup> Skrot som går till fragmentering är t.ex. bilar, vitvaror, cyklar och maskiner som består av olika metaller och material. Dessa måste ofta behandlas med fragmentering innan de kan sorteras och klassas.

Skrothandlare samlar in eller köper insamlat skrot. En viktig del av skrothandlarnas arbetsuppgift är klassificera metallerna för att säljaren ska få rätt pris och kunden rätt kvalitet. Skrothandlare finns i Sverige i ett stort omsättningsspann från små lokala handlare till världsomspännande organisationer.

#### **8.2.3.2. Skrotklassning**

Vid försäljning av skrot delas skrotet in i s.k. skrotklasser. Det finns separata klassningssystem för stål, rostfritt stål samt aluminium, dessa är specificerade i olika skrotböcker. Skrotklasserna specificeras efter legeringshalter, volymvikt, form, storlek och tjocklek på skrotstycken. Klassningen syftar till att underlätta handeln av skrot genom att definiera olika klasser. Klassningssystemet underlättar för båda parter, eftersom skrotet tydligt kan beställas och levereras inom klassningssystemet.

Skrotböckerna fastslår att det är återvinningsbranschens uppgift att leverera färdigbearbetad och kontrollerad råvara. Rensning, bearbetning och sortering av skrotet skall alltså ske innan leverans till verken. Rensning av skrot kan bestå i sanering från föroreningar och bortsortering av explosionsfarliga föremål. Skrotleveranserna skall dessutom vara fria från radioaktiva ämnen och föroreningar.

Provtagning av skrot är naturligtvis ett viktigt led i kvalitetssäkringen. För stål bygger mycket av klassificeringen på erfarenhet, genom utseende och kännedom om källan kan klassificering göras. För rostfritt stål och aluminium gäller andra förutsättningar.

För rostfritt skrot är halten av legeringsämnen krom, nickel och molybden direkt avgörande för priset på skrotet och måste därför fastställas med en viss noggrannhet. För aluminium är renheten på materialet prisavgörande och därför utförs analyser på skrotet. Eftersom skrotet inte är homogent krävs att en rad stickprov tas för analys.

En del verk kräver att skrotet har låg legeringshalt och kan köpa in klasser som uppfyller dessa krav. Klasserna delas även in med avseende på vikt, volym och form. Detta beror av att vissa verk har svårt att smälta ner för stora skrotobjekt eftersom dessa blir svårhanterliga vid isättning och andra har svårt att smälta ner för små skrotstycken, eftersom dessa inte har tyngd nog för smidig isättning med ränna. Det är även viktigt att skrotet är kompakt så det inte finns tomrum i skrotet. På grund av detta har flera skrotklasser minimi- och maximikrav på storlek och vikt.

Med dessa data blir det även lätt för återvinningscentralerna att veta vad dom skall göra med det återvunna skrotet. Skrotet kan då plockas isär eller malas ner till mindre detaljer om det behövs eller förbli i stora block om det är den form som önskas av verken.<sup>78</sup>

#### **8.2.3.3. Transporter och hantering**

Transporter till och från stål- och aluminiumverk sker med lastbil, tåg eller båt beroende på var verken ligger i landet. För att minimera transportkostnaderna och miljöpåverkan för skrottransporter ser företagen till att transportera skrotet så kort väg som möjligt och utgår ifrån det billigaste sättet att transportera skrotet på.

Ett sätt att minska miljöpåverkan från transporter är att se över tomtransporter, dvs. lastbilar som går tomma efter att ha levererat sin last. Ofta kan tomtransporter minskas genom planering och samverkan.

När skrotet transporteras är det viktigt att det endast finns en skrotklass per flak, detta för att inte skrotklasserna ska blandas ihop och förorenas. Detta finns reglerat i skrotböckerna.<sup>79</sup> Om en blandning sker kan det resultera i att smältan kommer att innehålla felaktiga legeringsämnen och resultatet blir då att produkten kommer att få andra egenskaper som kan vara oönska-  
de.<sup>80</sup>

Skrot är en vara som är relativt otymplig att handskas med, detta eftersom skrotstycken kan vara mycket stor och tunga. På verken finns det fack med stora skrothögar som är uppdelade efter skrotklasserna. Antalet fack och klasser varierar beroende på verk. Skrotet lyfts sedan upp i en korg med hjälp av magneter eller traktorer. Korgen förs sedan in och skrotet hålls via rännor ner i ugnarna.

#### **8.2.4. Svårigheter vid återvinning**

Det är viktigt vid återvinning att skrotet är säkert att smälta ner och lätt att hantera. Därför ställs det krav på vad får innehålla. Detta är delvis en kvalitetsaspekt men även av säkerhetsskäl måste skrotet kontrolleras. Enligt skrotböckerna finns tre viktiga grupper av skrot som anses som säkerhetsrisker, explosionsfarligt, hälso- och miljöfarliga eller radioaktivt skrot.<sup>81</sup>

##### **8.2.4.1. Explosionsfarligt och hälso- och miljöfarligt skrot**

Vid upphettning i smältugnar sker temperaturökning mycket snabbt, detta kan orsaka explosioner genom att luft eller vatten inte finner plats att expandera i skrotet eller smältan. Explosioner blir värre när vätska, i regel vatten, snö eller is stängs in och upphettas till höga temperaturer och därför får det inte finnas några slutna kärl eller behållare i skrotet.<sup>81</sup> Många svenska verk har förvärmning av skrot för att få vatten och snö att avdunsta innan i sättning. På det-

ta sätt kan explosionsrisken minskas. Verken är speciellt utsatta för väta i skrotet på vintern, eftersom skrotupplag ofta ligger utomhus och exponeras för regn och snö.

Hälso- och miljöfarliga kemiska produkter kan förekomma i skrotet och dessa måste saneras bort innan de kan användas för omsmältning eftersom de kan skada människor och miljö allvarligt.

Vid hantering och nedsmältning av skrot uppstår emissioner i form av stoft. Vissa ämnen kan vara negativa för såväl den yttre som den inre miljön. Exempel på hälso- och miljöfarliga ämnen är arsenik, kadmium, kvicksilver och bly.<sup>82</sup> Kviksilver är förbjudet att använda i Sverige i dag men i skrotflödet kommer det att finnas kvar inom överskådlig tid. Skrothandeln har satsat mycket på att hitta och sanera skrot med avseende på kvicksilver

#### *8.2.4.2. Radioaktivitet*

Radioaktivitet är ett allvarligt problem och för att det inte ska komma in något radioaktivt-skrot sker det flera kontroller av skrotet innan det går in till verket. Man kontrollerar radioaktivitet dels vid pålastningen, vid omlastningen och vid avlastningen för att det inte skall finnas några radioaktiva ämnen eller behållare i skrotet. De gränsvärden som används för mätningarna är mycket låga, därför krävs mätningar efter varje omlastning för att upptäcka strålkällor som legat skymda innan omlastning.

Verken är mycket måna om att eliminera risken för radioaktivt skrot av hälsoskäl, men också av ekonomiska och imageskäl. Vid alla svenska verk finns strålningsmätare för att kontrollera inkommande skrot. Isättning av en korg med radioaktivt skrot kan resultera i att en hel smälta bli radioaktiv samt även delar av hela anläggningen. Sanering av radioaktivitet är mycket kostsamt och kan resultera i mycket stora driftstörningar.

### **8.3. Skrotpris och skrottillgång**

På kort sikt bestäms skrotpriset av tillgång och efterfrågan. Vid en kraftig konsumtionsökning kommer efterfrågan på skrot- och primärtillverkat material att öka. Den ökade efterfrågan kommer också att pressa upp priserna på skrot. Verken kommer att behöva köpa in mer råvara för förädling. Den tillgängliga mängden skrot ökar till viss del när priset på skrot ökar eftersom ökad insamling sker med ökat skrotpris. Dock kommer brytningen av malm och bauxit inte kunna öka kraftigt på kort tid utan skrot kommer att användas för att klara av en produktionsökning.

På längre sikt, om en hög produktionsnivå bibehålls, kan den malmbaserade tillverkningen öka och på så sätt dämpa efterfrågan på skrot. Denna ökning i produktion medför en mängd mycket stora investeringar världen över. Tillgångarna på järnmalm och bauxit är inte ett resursproblem, utan mycket stora malmtillgångar finns.

#### **8.3.1. Marknadsvärde av sekundäraluminium**

Marknadsvärdet på omsmält (sekundärt) aluminium är högt eftersom priset på primäraluminium är högt och tillgången på primäraluminium är begränsad. Detta gör att också drivkraften för att återvinna aluminium är högt, eftersom det finns ett ekonomiskt intresse att återvinna materialet. Vid rivning av t.ex. hus eller fragmentering är återvinningen av aluminium nära 100 % tack vare den ersättning entreprenören får vid försäljning av sitt rivmaterial i aluminium.

Skrotpriset på aluminium sätts efter renheten på materialet. Aluminiumskrot som har en hög renhet har ett högre pris än aluminiumskrot med höga legeringshalter. Prissättningen på aluminium sätts på råvarubörsen och är alltså kraftigt varierande. Skrot med hög legeringshalt köps i första hand in av omsmältverk för produktion av göt till gjuterier.



Tillverkare av profiler och valsat material köper in högkvalitativt skrot och har förmåga att betala ett högre pris för skrotet eftersom slutprodukten är mer förädlad. På detta sätt minimeras automatiskt mängden högre aluminium som går till gjutdetaljer.

## 8.4. Återvinning av stål

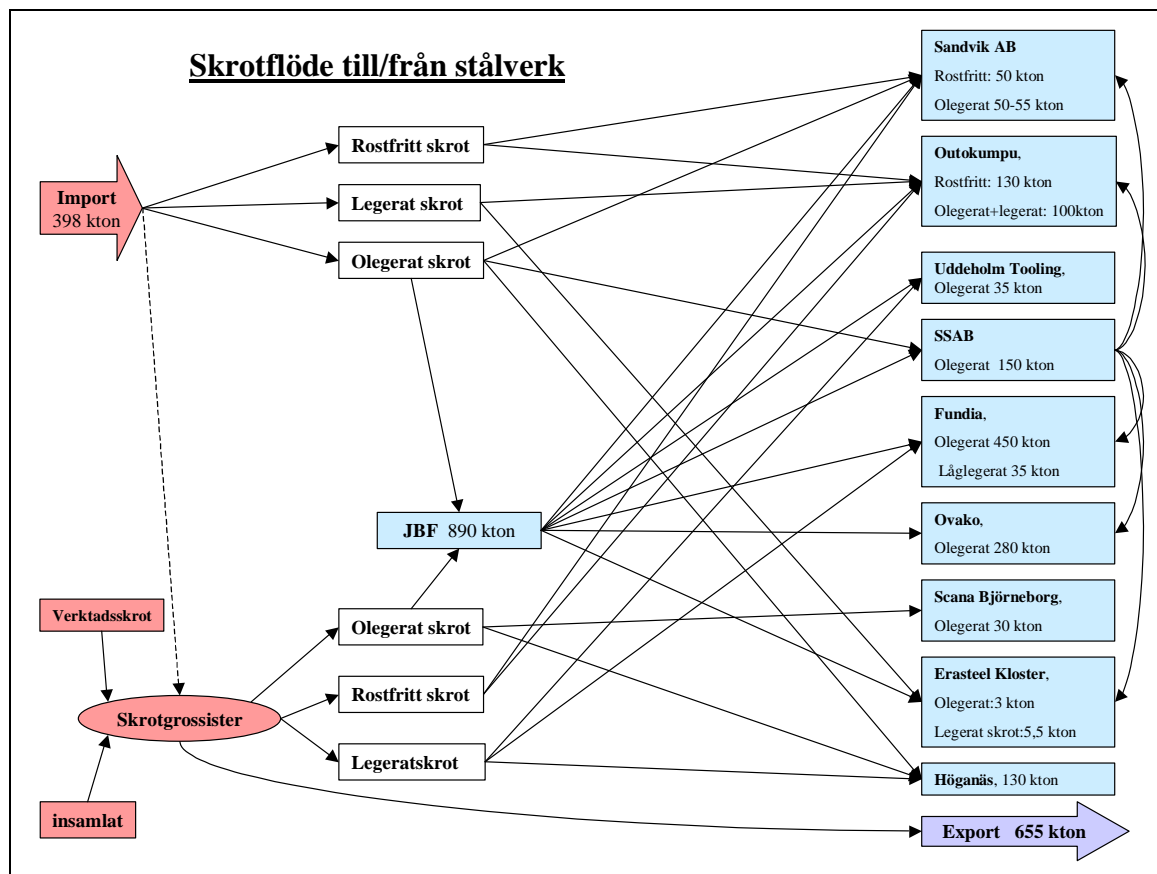


Figur 81 Stålskrot, diagram Jernkontoret

Figur 81 visar hur mängden stålskrot i Sverige har ändrats sedan 1980. Den visar också hur mycket skrot som har importerats och exporterats under denna tid. Figuren visar att Sverige sedan år 2000 har exporterat mer skrot än vad vi har importerat vilket betyder att vi har haft ett överskott på skrot.

### 8.4.1. Cirkulation av stål i Sverige

För att producera 1 ton stålprodukter med start från skrot åtgår ca 30 % av energi som krävs om man utgår från malm. En stor del av ståltillverkningen i Sverige sker genom nersmältning av skrot. 2001 köpte svenska stålverken in 1,4 miljoner ton järn- och stålskrot varav ungefär 1 miljon var olegerat och resten var legerat och rostfritt skrot. Denna siffra stämmer på ett ungefär överens med dagens siffror. Det som kan tilläggas är att mängden skrot under dom senaste 10 åren har ökat. Det som inte är inräknat är allt internt fallande skrot. Inköpen av skrot till de olika verken är relativt komplicerat eftersom varje verk har olika specifikationer och krav på sina inköp. Verken vill inte köpa in högre kvalitet än nödvändigt eftersom det betyder onödiga kostnader. Här nedan följer en beskrivning av köpstrukturen i Sverige, Figur 82 visar endast de större flödena. Intressant att notera kan vara att skrotgrossisterna har en väldigt liten import av stålskrot och den import som sker till svensk stålindustri är en direktimport till verken. Dock ska det tilläggas att JBF importerar till verken.



Figur 82 Skrotcirkulation till och från svenska stålverk.

#### 8.4.2. Gemensamma inköp av olegerat skrot till stålverken

Från år 1927 fram till år 1993 fanns i Sverige ett totalförbud för export av skrot. För vissa produkter, t.ex. spån, kunde dock exportlicenser medges. Man ville med förbudet skydda svensk stålindustri och skapa en stabilitet på skrotmarknaden. Strax innan denna tid skapades ett upphandlingsföretag, Järnbruksförnödenheter (JBF), för att förse svensk stålindustri med skrot och andra förnödenheter.

Många av stålföretagen låter även idag JBF sköta inköpet av olegerat skrot. Den största delen olegerat skrot som skall köpas av dessa stålverk administreras av JBF. Genom att uppköpen sker genom ett företag kan en bredare kvalitetsfördelning inköpas, transportväg och -kostnader pressas. JBF använder sig av ett så kallat clearingsystem, vilket betyder att skrot av samma klass kostar lika mycket för alla företagen oavsett var skrotet kommer ifrån och var det skall levereras. Genom clearingsystemet kan transporterarna minimeras för skrotet i Sverige. Ytterligare en fördel är att skrotsäljarna kan sälja skrot som är av lägre kvalitet till stålverken som då via JBF kan fördelas ut på olika stålverk och blandas med skrot av högre kvalitet. JBF handlar bara med olegerat skrot.

Största andelen av skrot som köps av JBF kommer från Stena Metall. Det köps även järnskrot från mindre återvinningsföretag och kommuner. Kravet ifrån JBF är att leverantören måste kunna leverera minst 15 000 ton per år.<sup>83</sup>

##### 8.4.2.1. Låglegerad tillverkning

Flertalet av stålverken i Sverige tillverkar olegerat- eller låglegerat stål i ljusbågsugnar och med skrot som råvara. Skrotet som dessa stålverk köper bör vara olegerat för att de skall kunna återanvändas på bästa sätt. Anledning är att det är lättare att legera upp ett material än att ta

bort befintliga legeringsämnen. Små legeringshalter får dock förekomma beroende på vilken produkt som ska produceras.

#### **8.4.3. Rostfria stålverk**

Inköpet av rostfritt skrot sker mestadels ifrån utlandet, endast ca 10 % av allt rostfritt skrot köps ifrån Sverige. När det gäller det rostfria skrotet sker prissättning efter legeringshalten av nickel, krom och molybden i materialet. Rostfritt skrot är en eftertraktad råvara, genom att köpa in rostfritt skrot kan mängden ferrolegeringar minskas vilket är positivt både ur kostnads- och miljöperspektiv. Miljöpåverkan är mycket hög vid tillverkning av ferrolegeringar, speciellt elförbrukning och därtill kopplade CO<sub>2</sub>-utsläpp. Detta betyder att det är väldigt viktigt att skrotanalyserna är ordentligt gjorda eftersom stålverken inte vill tillsätta fel legeringsämnen eller onödigt hög halt av legeringsämnen i processen, och eftersom det bidrar till ökade kostnader.<sup>84</sup> De rostfria stålverken köper även in olegerat skrot och de har krav på att det olegerade skrotet inte får innehålla för höga halter av mangan och fosfor då det redan finns höga halter av detta i det rostfria skrotet som köps in. Därför måste dessa halter minimeras i det olegerade skrotet som köps.<sup>83</sup> De rostfria stålverken köper även in galvaniserat skrot både för att de kan ta hand om zinkstoffet men även för att det är bra kvalitet och kända egenskaper på skrotet.

#### **8.4.4. Malmbaserade stålverk**

Malmbaserade stålverk tillsätter skrot i processerna för att kyla smältan i konvertern. Den största delen av använt skrot är internskrot men verken köper även in skrot utifrån. Idag använder sig de masugnsbaserade verken av ca 15-20 % skrot i konvertern.

De processgaser som bildas vid konvertern filtreras och stoftet avskiljs och torkas. Det torkade stoftet pressas för att bilda briketter som används i masugnen.

Den inköpta mängden skrot varierar med tillverkningsmängden och procenten på insatt skrot. Den svenska malmbaserade tillverkningen uppgår till 4 miljoner ton stål per år. Om andelen skrot ökas med 2 % så ökar den tillsatta skrotmängden med ungefär 80 kton och det bevisar att det används förhållandevis stora mängder skrot i malmbaserad tillverkning.

#### **8.4.5. Kvalité**

Järn- och stålskrot används som råvara både i den skrotbaserade och i den malmbaserade ståltillverkningen. Skrotet sorteras i olika klasser och stålverken använder en blandning av de skrotsorter för att få en bra täthet på skrotet och minimera de föroreningar som är kritiska för det stål som skall tillverkas.

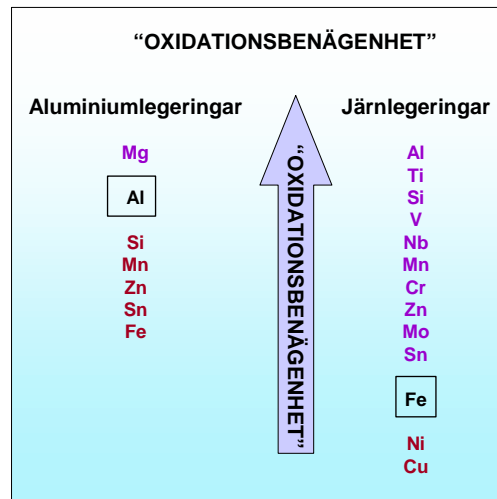
Stål kan omsmältas gång på gång, och de flesta andra ämnen som finns i smältan kan renas ut vid omsmältning. Järn är en relativt ädel metall, vilket gör att de flesta andra metaller är mindre stabila, se Figur 83. Detta betyder att det mangan, kisel och svavel som lösts i stålet kan renas ut. Eftersom inte så många andra legeringsämnen har högre syrepotential, dvs. är mer stabila i sin rena form, än järn, kommer metalliska ämnen inte ligga som föroreningar i materialet. Koppar och fosfor är kritiska ämnen för ståltillverkning eftersom de inte kan renas i industriskala. Metallurgin för smältan är densamma för malmbaserat som för skrotbaserat stål. Stålet kan återvinnas utan begränsningar på kvalitén. Högkvalitativa produkter som kul-lager och kirurgnålar tillverkas i återvunnet material.

För rostfritt stål är sortering av skrot viktigt för att renheten eller legeringsämnen i materialet skall kunna tas tillvara. Genom att utnyttja de legeringsämnen som finns i skrotet kan legeringstillsatser minimeras. Rostfritt skrot med hög nickelhalt är en värdefull råvara. Genom att ta tillvara på legeringsämnen i skrotet kan energibesparingar göras, eftersom legeringstillverkning är energiintensivt. För att kunna behålla de legeringsämnen som är önskade så styrs tillverkning så att t.ex. krom och nickel inte försvinner ifrån smältan. Rostfri ståltillverkning sker i AOD-konverter för att minimera bortfallet av krom.

Malmbaserat material används ofta för tillverkning av t.ex. bilplåt, där kraven på inneslutningar är mycket höga. Det

~~stål är basen i stål och på inneslutningarna~~ och föroreningar som t.ex. koppar.

Eftersom stålindustrin har en stor uppbyggd maskinpark sker viss tillverkning från en viss råvara p.g.a. tradition. Till exempel sker bilplåttillverkning uteslutande i världen från malmbaserad råvara trots att det går att tillverka bilplåt från skrotbaserad metall.



Figur 83 Oxidationsbenägenhet

#### 8.4.6. Svårigheter vid stålåtervinning

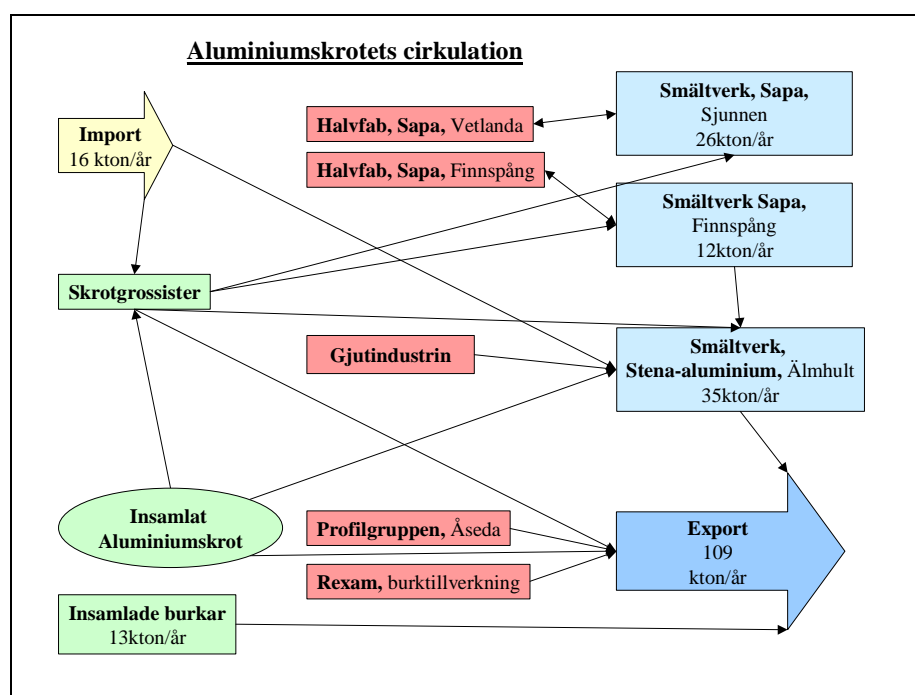
Skrot som är zinkbelagt, kallas galvaniserat skrot. Detta skrot måste sorteras separat eftersom alla stålverk inte kan ta emot och använda belagt skrot. Stålverk som har masugnar kan inte ta emot galvaniserat skrot, detta beror på att stoftet från konvertern tas tillvara och sätts in i masugnen som briketter. På detta sätt undviks deponi. När galvaniserat skrotet smälts i konvertern följer zinken med processgaserna till stoftet. I masugnen kommer zinken att cirkulera runt och anrikas. En kraftig anrikning kan leda till kollaps av masugnen.<sup>85</sup>

Ett flertal stålverk tar dock emot galvaniserat skrot för att smälta ner i ljusbågsugnen. Ur avgaserna samlas zinkstoftet. Zinkinnehållet i stoftet gör att stoftet kan säljas till upparbetningsföretag som tar tillvara på zinken. Det kräver dock att zinkhalten är över 20 % för att det skall vara lönsamt att använda sig av stoftet. Stoftet innehåller även krom och nickel som också tas tillvara för att kunna återanvändas.<sup>83</sup>

## 8.5. Återvinning av Aluminium

### 8.5.1. Cirkulation av aluminium i Sverige

År 2003 importerades 16 kton aluminiumskrot till Sverige och 109 kton exporterades. De stora uppköparna av skrot inom Sverige är AB Stena Aluminium och Stena Gotthard. Stena Gotthard har en världsomspännande verksamhet och säljer skrot vidare till andra länder. Det finns ett större antal skrotgrossister, men Stena Gotthard är den dominerande. I Figur 84 visas skrotcirkulationen av aluminium i Sverige. I figuren kan man se att det är ett begränsat antal intressenter på marknaden. Det kan vara intressant att notera att mängden exporterat skrot är högre än mängden omsmält skrot i Sverige.



Figur 84 Aluminiumskrotets cirkulation i Sverige.

### 8.5.2. Primärproduktion och omsmältverk

Produktionen av aluminium i Sverige är relativt låg i förhållande till konsumtionen. Sverige förbrukar 267 kton aluminium årligen. Primärtillverkning av aluminium sker endast på en ort i Sverige, Kubal i Sundsvall. Denna anläggning har en årsproduktion på 100 kton<sup>xlvii</sup>. Halvfabrikattillverkningen i Sverige baseras på primäraluminium och uppgår till ca 137 kton, fördelat på profil och plåt. För att täcka materialbehovet för halvfabrikattillverkningen importerar primäraluminium till Sverige i första hand från Norge. Den största delen av svensk halvfabrikatsproduktion går på export, dock är importen av halvfabrikat till Sverige högre än den svenska produktionen.

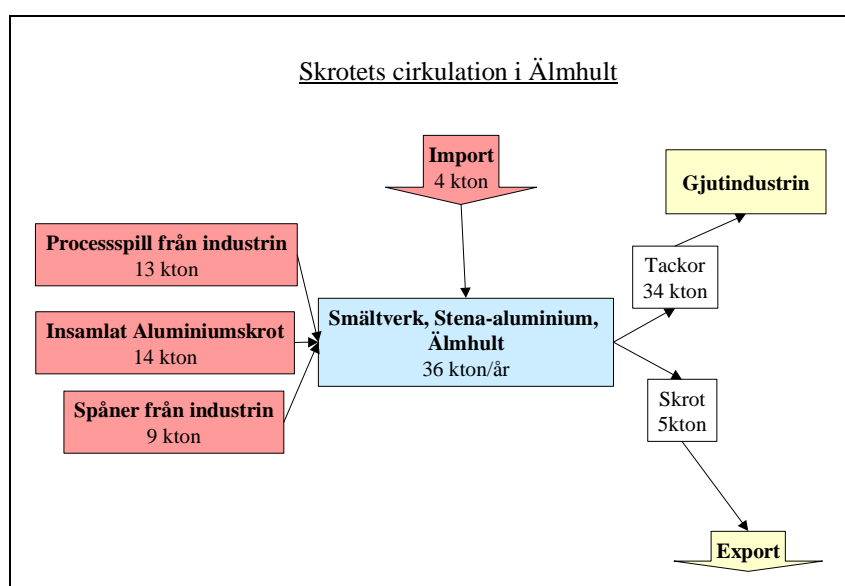
Omsmältverk för aluminium finns på tre orter i Sverige: Älmhult, Sjunnen och Finnsång. Två av verken är ägda av Sapa, Finnsång och Sjunnen, och ligger i anslutning till dessa produktionsanläggningar för profiler och valsat material. Dessa anläggningar smälter till största del internt fallande skrot från tillverkningen. Det tredje omsmältverket ligger i Älmhult och ägs av Stena Aluminium AB, detta verk är det enda i Sverige som på en industrimässig skala smälter insamlat skrot och industriskrot.

<sup>xlvii</sup> Årsproduktion för 2003.

### 8.5.2.1. Omsmältverket i Älmhult

Det stora omsmältverket i Sverige för aluminiumskrot är Stena Aluminium AB och ligger i Älmhult. Till detta verk går en stor del av det insamlade aluminiumskrotet som smälts om i Sverige, burkar är inte inräknade. Anläggningen producerar tackor med en efterfrågad legeringshalt av t.ex. mangan, koppar och kisel. De producerade tackorna från smältverket säljs uteslutande till gjuterier. Älmhult jobbar med höglegerat aluminium och inget primäraluminium tillsätts utan produktionen är helt skrotbaserad.

Omsmältverket i Älmhult hade 2003 en årsproduktion på ca 34 kton. För att täcka materialåtgången för sin produktion används 36 kton skrot, en viss mängd av skrotet avgår till slaggen därför krävs en överinsättning. Anläggningen har tillstånd att producera 50 kton/år. Årligen köper Älmhult in ca 40 kton skrot av varierande klasser. Överinköpet görs för att säkra kvalitetstillgången på skrot vid produktion. Överblivet skrot säljs på export.<sup>76</sup> Figur 85 ger en bild av hur skrotcirkulationen sker till Älmhult.



Figur 85 Omsmältverk, Älmhult

Av de ca 40 kton som Älmhult köper in per år är ca 9 kton spåner från tillverkning och maximalt 10 % importerat.

Skrotet kommer från två huvudgrenar:

- Processpill 60 %
- Insamlat material 40 %

Skrotet som köps in kommer från tre huvudkunder: skrothandeln, gjutindustrin och övrig industri som levererar direkt till Älmhult.<sup>76</sup>

### 8.5.2.2. Omsmältverket i Sjunnen

I Sjunnen återvinns processskrot från Sapas profiltillverkning i Vetlanda samt skrot från underleverantörer och kunder. Sjunnen tar in en begränsad mängd externskrot, men höga krav måste hållas på renheten i materialet, därför köps endast externtskrot från profilmaterial. Omsmältverket har en årskapacitet på ca 35 kton göt för profilpressning.

Produktionen sker i två gasoleldade ugnar, en smältugn och en hållugn. Vid behov tillsätts renaluminium och legeringsämnen för att korrigera smältans sammansättning. Omsmältverket i Sjunnen hade 2003 en årsproduktion på 26 kton.<sup>86</sup>

### 8.5.2.3. Omsmältverket i Finspång

Vid smältverket i Finspång smälts internskrot om för att kunna återanvändas i valsningen. Det fallande skrotet smälts tillsammans med primäraluminium från Kubal. Genom att blanda upp det fallande skrotet med nytt och mer rent aluminium kan den önskade legeringshalten framställas. Finspångs smältverk tar in en mindre del externskrot. Köpen sker från Stena Gotthard och det ställs höga krav på materialets renhet.<sup>87</sup> Omsmältningen i Finspång har en kapacitet på ca 65 kton per år, denna siffra anger den totala mängden smält skrot, internskrot och inköpt primäraluminium. Verket använder under ett år ca 30 kton rent primäraluminium och 12 kton inköpt skrot. De resterande 23 kton är fallande processskrot från egen halvfabrikattillverkning.

### 8.5.3. Kvalité

Aluminium kan omsmältas till samma kvalité gång på gång. Aluminium som smälts kan dock inte renas på sina legeringsämnen utan skall renheten höjas kan detta endast göras genom spädning med låglegerat eller renaluminium. Aluminium är en relativt reaktiv metall, vilket gör att många andra metaller är mer stabila. Detta betyder att det mangan, kisel eller koppar som lösts i aluminiumet inte kan renas ut. Eftersom många andra ämnen har högre syrepotential, dvs. är mer stabila i sin rena form än aluminium, kommer dessa ämnen ligga som metalliska föroreningar i materialet (se figur 83).

För aluminium är sortering av skrot mycket viktigt för att renheten i materialet skall kunna tas tillvara. Omsmält aluminium används i t.ex. motorblock, där kraven på renhet är betydligt lägre än i valsat material. Bättre sortering innebär att alltmer aluminium kan återvinnas till låglegerade applikationer. Aluminiumprodukter kan smältas om till en produkt av samma renhet, dvs. en stötfångare kan omsmältas och bearbetas till en ny stötfångare. Däremot kan en produkt inte stiga uppåt i renhetspyramiden.<sup>76</sup>

För att öka möjligheten till korrekt sortering av aluminiumskrot har branschen infört märkning av materialet till t.ex. bil, flyg och offshore industrin. När en produkt skall återvinnas kan legeringen identifieras genom märkningen och renheten kan tas tillvara vid omsmältningen.

## 8.6. Slutsats återvinning och skrotcirkulation

Cirkulationen och insamlingen av metallskrot sker helt på marknadsbaserade principer. Genom att skrotet i sig har ett värde för stål- och aluminiumindustrin behövs inget samhällsreglerat insamlingssystem. Den stora drivkraften för metallåtervinning är energibesparingar och kostnadsbesparingar. Ur ett energiperspektiv är återvinning av metall att föredra, eftersom stål- och aluminiumframställning från skrot är mindre energi krävande, än framställning ur malm och bauxit. Även CO<sub>2</sub>-utsläppen är kopplade till energianvändning och är betydligt lägre vid sekundär tillverkning än vid malmbaserad produktion.

Metallurgin för smältan är densamma för malmbaserat som för skrotbaserat stål. Stål kan omsmältas gång på gång, och de flesta andra ämnen som finns i smältan kan renas ut vid omsmältning. Eftersom inte så många andra ämnen har högre syrepotential, dvs. är mer stabila i sin rena form, än järn, kommer metalliska ämnen inte ligga som föroreningar i materialet. Koppar och fosfor är kritiska ämnen för ståltillverkning eftersom de inte kan renas i industri-skala.

Sortering av skrot utnyttjas speciellt inom rostfritillverkning där legerat skrot smälts för att minimera tillsatsen av ferrolegeringar och legeringsämnen. Genom att ta tillvara på legeringsämnen i skrotet kan energibesparingar göras, eftersom legeringstillverkning är energiintensivt. Aluminium kan omsmältas till samma kvalité gång på gång, dvs. en stötfångare kan omsmältas och bearbetas till en ny stötfångare. Aluminium som smälts kan inte renas på sina legeringsämnen utan skall renheten höjas kan detta endast göras genom spädning med låglegerat eller renaluminium.

För aluminium är sortering av skrot mycket viktigt för att renheten i materialet skall kunna tas tillvara. Omsmält aluminium används i t.ex. motorblock, där kraven på renhet är betydligt lägre än i valsat material. Bättre sortering skulle innebära att allt mer aluminium skulle kunna återvinnas till låglegerade applikationer.

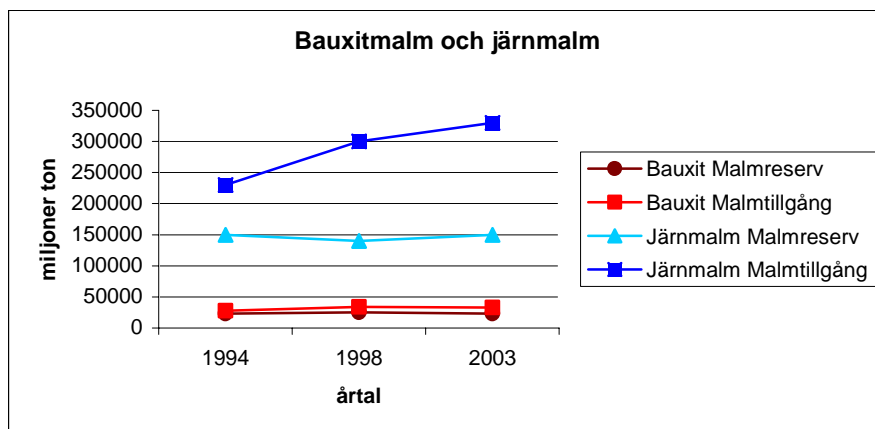


## 9. KRETSLOPP

### 9.1. Uthållighet

Allmänt råder en viss begreppsförvirring när man diskuterar tillgångar, resurser och i vilket tidsperspektiv de är brytbara. Fyndigheter av mineral kallas *Tillgångar*. Tillgångar som är värda att bearbeta och bryta kallas *reserver*.

*Malm* är en ekonomisk term och definieras som naturliga mineral i sådan omfattning och koncentration att det anses brytvärd vid gruvdrift. Andelen utvinningsbar metall i malmen skiftar från tidsperiod till tidsperiod och påverkas av t.ex. den tekniska utvecklingen och metallens ekonomiska värde. Metalltillgången är alltså relativ och inte en fast mängd. Detta innebär att när man diskuterar hur många år en malmreserv räcker utgår man från dagens tillgängliga teknik och det aktuella metallpriset. Detta medför att ny teknik eller ökad efterfrågan, och därmed högre pris, möjliggör brytning av fyndigheter som tidigare inte kunnat utnyttjas. Det ökade priset möjliggör brytning av lägre koncentrerad mineral och brytning på mer svåråtkomliga platser. Detta gör att det inte går att sätta ett årtal som en viss metallresurs räcker till eftersom att lagret är relativt till efterfrågan och teknisk utveckling. Genom att studera Figur 86 kan fluktuationerna uppskattade tillgångar och resurser ses.

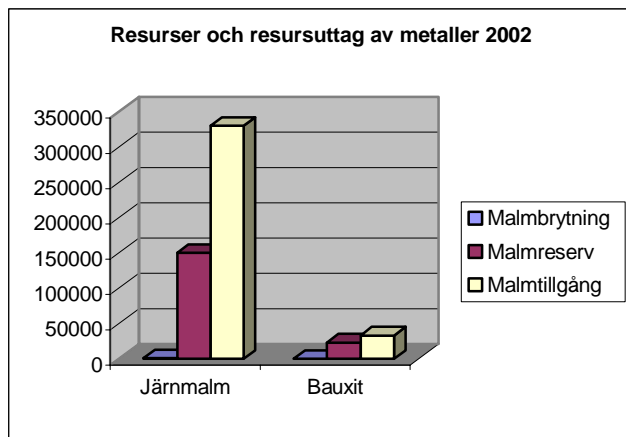


Figur 86 Kända resurser och tillgångar av bauxitmalm och järnmalm.<sup>88</sup>

Aluminium är världens tredje vanligaste grundämne i jordskorpan med en halt av ca 8 %, följt av järn med en halt av ca 5,5 %. Jordens totala massa beräknas bestå till 35 % av järn<sup>89</sup>. Tillgångarna på järnmalm och bauxit är således inte ett resursproblem, utan mycket stora tillgångar finns.

Kända reserver av aluminium uppgick 2002 till 23 miljarder ton medan tillgångarna uppgår till 33 miljarder ton<sup>90</sup>. Detta ska jämföras med en världsproduktion av ca 144 miljoner ton bauxit. Världsproduktionen 2002 av primäraluminium var 27 miljoner ton.<sup>91</sup>

Kända reserver av järnmalm uppgick 2002 till 150 miljarder ton med ett järninnehåll av ca 70 miljarder ton. Världsproduktionen av råjärn 2002 genom malmbaserad tillverkning var 604 miljoner vilket motsvarar 66,8% av världsproduktionen av råstål på 904 miljoner ton.<sup>90</sup> Figur 87 visar brytning av malm relativt tillgång och reserv.



Figur 87 Malmreserver, tillgångar och brytning.

När metaller bryts och används kan metallatomerna inte försvinna eftersom de är grundämnen. Metallen kan användas, återanvändas eller korrodera. Metaller försvinner inte när de tas upp ur marken som t.ex. olja gör när den förbränns, utan metallen korroderar på lång sikt och återgår till sin jonform. Alltså blir metaller som tas upp ur jorden inte förbrukade resurser utan endast förädlade resurser. Fossila bränslen förbrukas däremot vid förbränning och kan inte på något sätt återskapas.

Ur resursuthållighet bör fokus ligga på minimering av icke förnyelsebara energiråvarorna. Klimatfrågan är ett globalt miljöproblem. Världens energiförsörjning baseras till mer än 75 % på fossila bränslen som vid förbränning ger upphov till bildning av växthusgaser. Utsläpp av koldioxid, som är den dominerande växthusgasen, kommer företrädesvis från förbränning av fossila bränslen inom transportsektorn, energisektorn och tillverkningsindustrin.<sup>92</sup>

Tabell 20. Kända reserver och produktion för olja, kol och gas 2002.

Råvara	Världens kända reserver <sup>93</sup>	Användning i världen <sup>94</sup>	produktion i världen <sup>93</sup>
<b>Kol</b>	984 000miljoner ton.	5989000 GWh	3 800 miljoner ton
<b>Naturgas</b>	156 000 miljarder m3	2 500 miljarder m3	2 500 miljarder m3
<b>Olja</b>	167 miljarder m3	34980000 GWh	3500 miljoner ton

### 9.1.1. Skrottillgång, ändlig mängd

Tillgången av skrot är begränsad och det är en av anledningarna till att priset kan öka mycket kraftigt när världsproduktionen är hög.

Skrottillgång = Verkstadsskrot + Insamlingskrot + Lagrade uttjänta produkter

Det finns ingenstans i världen där skrot produceras som produkt utan skrot är *alltid* en fallande produkt vid tillverkning och efter användning. Dock blir skrotet en värdefull råvara vid stålverk och aluminium omsmältverk.

### 9.2. Kretsloppsmedvetenhet vid produktutveckling

Ett viktigt mål för samhällets miljöarbete är att öka återvinningen av olika material. Detta kan göras genom att materialen i olika produkter väljs och utformas så att de kan återanvändas eller återvinnas. Man vill helst nå 100 % återvinningsgrad för varje produkt. Med återvinningsgrad för en produkt menas den andel i vikts- % som återvinns när produkten tjänat ut. Grunden för en hög återvinningsgrad läggs naturligtvis redan i konstruktionsstadiet.

En produkt bör vara enkel att demontera och separera i de olika ingående materialen. En annan viktig punkt att fokusera på är hur många olika material produkten innehåller och vad detta innebär om produkten fragmenteras vid återvinningen. En olämplig blandning av material kan leda till en sänkning av kvaliteten på skrotet genom att ett material förorenar ett annat material, detta kan t.ex. vara järn i aluminium. Återvinningsvärdet ökar med skrotets kvalitet.

### 9.3. Återvinningsgrad

Samhällets krav på uthållig produktion ger ett starkt intresse att upprätthålla återvinningsgraden för olika material på högsta möjliga nivå. Genom att öka återvinningsgraden minskar mängden avfall och uttjänt material som är kvar i samhället och naturen. För industrin betyder en ökad återvinningsgrad en större volym av tillgängligt skrot. Många företag inom stål- och aluminiumbranschen är beroende av en viss mängd skrot som råvara i sina tillverkningsprocesser. Svenska stålverk köper in ca 1400 kton järn och stålskrot/år och omsmältverken för aluminium använder ca 50 kton/år.

En korrekt siffra på återvinningsgraden för ett material skulle av samhället kunna användas för att kontrollera utvecklingen av återvinning för olika material.

#### 9.3.1. Definition av återvinningsgrad och svårigheter vid bestämning

Återvinningsgraden för ett material är en procentsats på hur mycket av de uttjänta produkterna som faktiskt återvinns. Återvinningsgraden kan definieras för en viss tid, material och region.

$$\text{Återvinningsgrad} = \frac{\text{Mängd återvunnet material}}{\text{Mängd uttjänt material}} * 100\%$$

Återvinningsgraden för ett material definieras alltså som kvoten mellan mängden omsmält skrot under en viss tid och den mängd material som tjänat ut i sin normala funktion och inte funnit någon ny funktion under samma tid. Att uppskatta mängden uttjänt material är komplext och komplicerat. Därför bör begreppet återvinningsgrad användas med stor försiktighet.

Att uppskatta mängden återvunnet material är fullt möjligt, eftersom antalet omsmältverk är relativt begränsat, samt export och import är känd.

#### 9.3.2. Uppskattning av återvinningsgraden

Det vanligaste angreppssättet för att uppskatta en återvinningsgrad är att för varje användarsegment uppskatta en medellivslängd och gå tillbaka motsvarande tid och använda konsumtionssiffran det året som mått på teoretiskt uttjänt material. Man får härigenom endast mycket grova uppskattningar. Om t.ex. mediantiden för hela cirkulationen för ett material är 25 år är skrotfallet 2005 bestämt av konsumtionen år 1980. Nu är naturligtvis inte allt fallande skrot från exakt 1980 men om man förenklar och antar att fördelningen av skrotfallet är lika före och efter medianåret så blir det i stort sett rätt att utgå från 1980 års siffror. Det hela blir snart rätt komplicerat och bygger på en mängd antaganden. Stål och aluminium används i ett mycket stort spektrum av applikationer och livslängden varierar från någon dag till upp till 100 år.

Tabell över uppskattade cirkulationstider för olika grupper av skrot,<sup>95</sup>

Typ	Mediantid för återvinning
Internt skrot	en dag – några veckor
Verkstadsskrot	någon vecka – några månader
Förpackningar	några månader - halvår
Vitvaror	10–15 år
Bilskrot	15–19år
Fartygsskrot	30–60år
Byggnadsskrot	30–100år

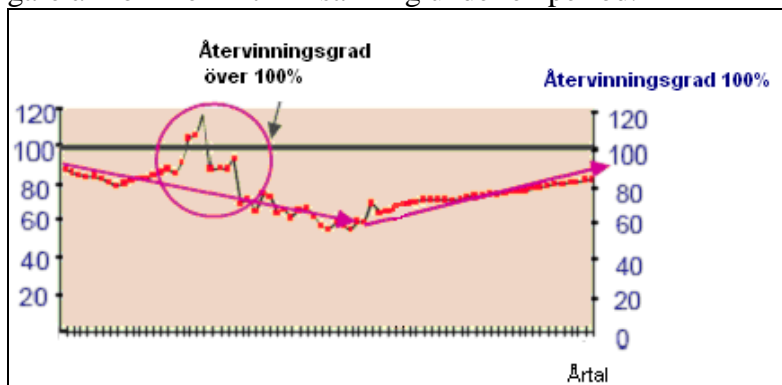
Antagandet av ett materials livslängd inverkar avsevärt på återvinningsgraden. Figur 88 visar skillnaden när 20 års medellivslängd och 30 års medellivslängd antas. En betydligt högre återvinningsgrad fås när 30 års medellivslängd antas, detta efter som konsumtionen för 30 år sedan var betydligt lägre än för 20 år sedan.



Figur 88 Exempel på tidsfördröjning vid återvinning

Den största delen av uttjänta produkter som inte samlas in och smälts om till nya produkter ligger kvar i samhället, en liten del av materialet försvinner genom korrosion. Det ska också nämnas att en del skrot försvinner genom deponi, samt till havets och sjöars bottenar.

Vid ofullständig insamling ackumuleras mängden uttjänta produkter i samhället. Detta sker tydligare när skrotpriserna och efterfrågan är låg. Vid höga skrotpriser stimuleras fler att samla in skrot. Vid hög efterfrågan på skrot kan insamlingen kraftigt överskrida förväntade mängder. Detta beror på att den skrotmängd som finns samlad i samhället stimuleras att samlas in.<sup>96</sup> Detta ger alltså att återvinningsgraden för ett år kan bli över 100 %, vilket kan verka märkligt, se Figur 89. Men det beror alltså på att en större mängd produkter som tjänat ut tidigare år kommer in till insamling under en period.



Figur 89 Återvinningsgrad, baserad på Diagram från J. Birat.

Detta visar tydligt svårigheten i att beräkna mängden uttjänta produkter, eftersom produkterna inte dyker upp i insamlingsystemet när de är uttjänta utan ligger och vilar i samhället eller i naturen. För både stål och aluminium finns återvinningsgrader publicerade. Dessa siffror kan antas vara osäkra eftersom det är svårt att uppskatta medellivslängden för materialen.

## 9.4. Slutsats Kretslopp

För att förenkla återvinning och höja återvinningsgrad av en produkt bör en produkt vara enkel att demontera och separera i de olika ingående materialen. Antalet använda material per produkt bör minimeras och kombinationer av material bör studeras för att undvika opassande blandningar. Återvinningsvärdet ökar med skrotets kvalitet. Genom att konstruera för ett högt återvinningsvärde så ökar sannolikheten för att det kommer att ske en återvinning.

För både stål och aluminium finns återvinningsgrader publicerade. Dessa siffror kan antas vara mycket osäkra. Återvinningsgraden är en kvot av återvunnet och uttjäntmaterial, för få ett värde på återvinningsgraden måste båda vara kända. Att uppskatta mängden återvunnet material är fullt möjligt, eftersom antalet omsmältverk är relativt begränsat, samt export och import är känd. Dock är det mycket komplicerat och komplext att definiera uttjänt material och få fram en siffra på mängder.

Det vanligaste angreppssättet till problemet är att för varje användarsegment uppskatta en medellivslängd och gå tillbaka motsvarande tid och använda konsumtionsciffran det året som mått på teoretiskt uttjänt material. Man får härigenom endast mycket grova uppskattningar.

I jordskorpan är aluminium den tredje vanligaste metallen följt av järn. Alltså är inte aluminium- och järntillgången något resursproblem. Slutsatsen ur ett resursperspektiv är att andelen utvinningsbar metall skiftar från tidsperiod till tidsperiod och påverkas av t.ex. den tekniska utvecklingen av gruvbrytning, förädlingsprocesser, påträffade fyndigheter och metallens ekonomiska värde. Metalltillgången är alltså relativ och inte en fast mängd. Detta innebär att när man diskuterar hur många år en malmreserv räcker utgår man från dagens tillgängliga teknik och det aktuella metallpriset. Detta medför att ny teknik eller ökad efterfrågan, och därmed högre pris, möjliggör brytning av fyndigheter som tidigare inte kunnat utnyttjas. Det ökade priset möjliggör brytning av lägre koncentrerad mineral och brytning på mer svåråtkomliga platser. Detta gör att det inte går att sätta ett årtal som en viss metallresurs räcker till eftersom att lagret är relativt till efterfrågan och teknisk utveckling.

## 10. DISKUSSION

Konkurrensen mellan stål och aluminium är inte så stor för applikationer som kräver specifika hållfastheter eller speciell formbarhet. Det beror på att materialen har olika specifika egenskaper. Det enda egentligen stora konkurrensområdet mellan dessa material är inom fordonsindustrin och i applikationer där utseendet på materialet är avgörande för materialvalet t.ex. vitvaror och möbler. Materialen kompletterar varandra mer än de konkurrerar, och den största konkurrensen för stål och aluminium är mot andra material som t.ex. betong, trä och plast.

Det är svårt att säga något generellt om stål och aluminium eftersom det finns en uppsjö av olika sorter och egenskaper för var material. Detta ger också att det blir en stor bredd på applikationerna. Nedan ges dock ett resonemang för att ge en ökad förståelse för bredden av de olika materialen.

### *Stål*

Vad som kännetecknar samtliga stålsorter är densiteten för materialet som är ca  $7,8 \text{ kg/dm}^3$  och att stål har en hög smältpunkt vilket gör att det lämpar sig väl för applikationer inom maskinindustrin och som verktyg där temperaturerna blir höga. Idag finns det många ståltyper med olika specifika egenskaper, det är därför svårt att säga vad som är specifika egenskaper för materialet stål.

Låglegerade stål är mycket bra att svetsa och höghållfasta stål kan med hjälp av härdningar klara mycket hög belastningar, men båda har en låg möjlighet att motstå korrosion, därför måste materialet ytbeläggas. Rostfria och rosttröga stål skapar ett skyddande skikt på ytan av stålet vilket skyddar stålet från att korrodera, dock får dessa material ett högre pris. Genom korrosionsbeständigheten behöver materialet inte ytbeläggas utan kan användas obelagd i applikationer.

Stora applikationsområden för stål är plåt till fordons- och byggbranschen, rör till byggbranschen och vitvaror. För 2003 tillverkades i Sverige 4900 kton handelsfärdigt stål.

### *Aluminium*

Vad som kännetecknar samtliga aluminiumlegeringar är den låga densiteten för materialet som är ca  $2,7 \text{ kg/dm}^3$  för samtliga legeringar vilket gör att aluminium lämpar sig för applikationer där kravet är att konstruktionen skall vara lätt. Aluminium har också en mycket god förmåga att motstå korrosion i ett pH-intervall av 4-9, genom det oxidskikt som bildas på ytan. Genom korrosionsbeständigheten behöver materialet inte ytbeläggas utan kan användas obelagd i applikationer. Aluminium leder värme bra och är ett mjukt material vilket medför att det är mycket lätt att forma till komplexa former genom profilpressning. Aluminium har generellt en lägre hållfasthet än stål. Svetsförmågan är begränsad, dock fogas aluminium ofta genom limning eller nitning. Aluminium är relativt dyrt men kan ändå vara ett billigt alternativ p.g.a. enkel bearbetning t.ex. profilpressning. Aluminium har en låg smältpunkt vilket ger en förenklad smältprocess, dock gör den låga smältpunkten att materialet inte lämpar sig för verktygsapplikationer

Materialet kan delas upp i fyra grupper: renaluminium, icke-härdbara legeringar, härdbara legeringar och gjutlegeringar. Stora applikationsområden för aluminium är profiler till fordons- och byggbranschen, plåt till byggbranschen och förpackningar. 2003 tillverkades i Sverige 170 kton handelsfärdigt aluminium<sup>xlvi</sup>.

---

<sup>xlvi</sup> Profil, plåt och gjutaluminium.

### *Process*

Strukturen för tillverkning skiljer sig mellan stål- och aluminiumindustrin. Stålintustrin har en produktion där smältverk och bearbetning är integrerad. Ett stort antal smältverk finns i landet och till dessa är bearbetning direkt kopplad genom att ligga geografiskt nära och ofta tillhöra samma företag. Aluminiumindustrin har en struktur där primärtillverkningen är separerad från bearbetningen. Primärtillverkning vid smältverk producerar göt, slabs eller tackor som skickas till andra företag för bearbetning. Dessa företag behöver inte ligga geografiskt nära primärtillverkningen.

En annan skillnad i tillverkningsstrukturen är hur långt respektive bransch går i förädling. Plåt och band tillverkas i båda materialen och dessa produkter går sedan vidare för vidareförädling. Profiler däremot kräver oftast endast en mindre bearbetning för att vara klara för kund. Aluminiumbranschen producerar halvfabrikat som ofta är bearbetade väldigt nära till slutprodukt, t.ex. profiler. Stålintustrins halvfabrikat ligger generellt mängdmässigt längre från kund t.ex. plåt, band.

En annan intressant aspekt är att stål har ett brett användningsområde för såväl malmbaserad som skrotbaserad tillverkning medan aluminium har ett brett användningsområde för sin malmbaserade tillverkning medan den skrotbaserade tillverkningen har ett begränsat område.

### *LCI*

De tre LCI som är studerade i denna rapport är inventeringar gjorda från råvarubrytning till färdigt halvfabrikat och syftar till att användas som uppströmsdata i LCI studier för slutprodukter. Ingen av LCI studierna är framarbetade för att jämföras mot andra halvfabrikat. Jämförelser av livscykelinventeringar (LCI) blir först användbara när studien görs för en applikation eftersom materialens olika egenskaper påverkar hur utformning av produkter sker och vilken mängd material som krävs för applikationen. Det är viktigt att betrakta livslängden för produkten, hur återvinning sker och hur många gånger materialet kan återvinnas för att få en komplett analys av en produkts miljöpåverkan.

IISI och Eurofers LCI metodrapporter ger en detaljrik beskrivning av vilka antaganden och metodval som gjorts. EAA LCI metodrapporten är fåordig och lämnar luckor i informationen om hur data tagits fram. Eftersom LCI är komplext måste val av metod och antaganden göras. Det som är viktigt är att metodrapporten är tydlig så att läsaren kan få förståelse för hur inventeringen är gjord.

För att kunna göra en rättvis jämförelse av data från dessa LCI studier krävs det att läsaren är insatt i hur data är framarbetad. Detta är anledningen till att denna rapport inte publicerar data från de tre inventeringarna, utan hänvisar till respektive organisation som genomfört inventeringen för att beställa data och metodrapporter.

De tre LCI som jämförts i denna rapport är alla så kallade bokföringsinventeringar, dvs. inventeringarna är gjorda för att redovisa faktiska inventerade värden för tillverkningen som sker för en viss produkt.

I en LCI kan elektricitet redovisas separat alternativt redovisas endast en siffra för totalenergi. LCI EAA har en mycket detaljrik redovisning av data som kommit fram ur inventeringen. Elektricitet liksom utsläpp, energikonsumtion och transporter finns separat redovisad för varje processteg. Eurofer LCI redovisar elektriciteten separat medan IISI LCI inte redovisar elkonsument utan endast totalenergikonsumtion. Genom att redovisa en siffra för totalenergi kan ingen information om hur stor del av energin som utgörs av el göras.

Det argumentet som ofta lyfts fram från LCI experter är att genom separat redovisning av el kan efterjusteringar av elmixen göras för att få studien mer anpassad till det geografiska område som skall studeras. Genom separat elredovisning kan även marginaleffekter studeras. Om justeringar i elmix skall göras på befintliga LCI bör gedigna kunskaper om processerna finnas för att justeringarna inte skall ge ett missvisande resultat.

Tillverkning av aluminium och rostfritt stål är mycket beroende av elektricitet. På lika sätt är malmbaserad tillverkning knuten till kolanvändning. För malmbaserad tillverkning är kolet inte utbytbart eftersom dess uppgift i första hand är reduktion av syre i masugnen.

Elintensiv tillverkning i Sverige ger upphov till betydligt lägre CO<sub>2</sub> utsläpp än vad snittet i Europa gör. Elektriciteten i Sverige produceras med hälften kärnkraft och hälften med vattenkraft.

### *Återvinning*

Cirkulationen och insamlingen av metallskrot sker helt på marknadsbaserade principer och har pågått länge. Genom att skrotet i sig har ett värde för stål och aluminiumindustrin behövs inget samhällsreglerat insamlingssystem. Den stora drivkraften för metallåtervinning är energibesparingar och kostnadsbesparingar.

Ur ett energiperspektiv är återvinning av metall att föredra, eftersom stål- och aluminiumframställning från skrot är mindre energikrävande än framställning ur malm. Även CO<sub>2</sub>-utsläppen är kopplade till energianvändning och är betydligt lägre vid sekundärtillverkning än vid malmbaserad produktion.

Metallurgin för smältan är densamma för malmbaserat som för skrotbaserat stål. Stål kan omsmältas gång på gång, och de flesta andra ämnen som finns i smältan kan renas ut vid omsmältning. Eftersom inte så många legeringsämnen har högre syrepotential än järn, dvs. är mer stabila i sin rena form, kommer metalliska ämnen inte ligga som föroreningar i materialet. Koppar och fosfor är kritiska ämnen för ståltillverkning eftersom de inte kan renas i industriskala.

Sortering av skrot är viktigt för att renheten eller legeringsämnen i materialet skall kunna tas tillvara. Detta utnyttjas speciellt inom rostfri tillverkning där legerat skrot smälts för att minimera tillsatsen av ferrolegeringar och legeringsämnen. Rostfritt skrot med hög nickelhalt är en värdefull råvara. Genom att ta tillvara på legeringsämnen i skrotet kan energibesparingar göras eftersom legeringstillverkning är energiintensivt. Stålet kan återvinnas utan begränsningar på kvalitén. Högkvalitativa produkter som kullager och kirurginålar tillverkas i återvunnet material.

Aluminium kan omsmältas till samma kvalitét gång på gång, dvs. en stötfångare kan omsmältas och bearbetas till en ny stötfångare. Aluminium som smälts kan inte renas på sina legeringsämnen utan ska renheten höjas kan det endast göras genom spädning med låglegerat eller renaluminium. Aluminium är en relativt reaktiv metall, vilket gör att många andra metaller är mer stabila. Detta betyder att mangan, kisel eller koppar löst i aluminium inte kan renas ut.

För aluminium är sortering av skrot mycket viktigt för att renheten i materialet skall kunna tas tillvara. Omsmält aluminium från uttjänta produkter används i t.ex. motorblock, där kraven på renhet är betydligt lägre än i valsat material. Ökad sortering i olika aluminiumkvaliteter skulle innebära att allt mer aluminium skulle kunna återvinnas till låglegerade applikationer.



### *Kretslopp*

Aluminium och järn är metaller det finns gott om i jordskorpan. Mängden malm skiftar från tidsperiod till tidsperiod och påverkas av den tekniska utvecklingen, fyndigheter och metallens pris. Metalltillgången är alltså relativ och inte en fast mängd. Detta innebär att när man diskuterar hur många år en malmreserv räcker utgår man från dagens tillgängliga teknik och det aktuella metallpriset. Ny teknik eller ökad efterfrågan, och därmed högre pris, möjliggör brytning av fyndigheter som tidigare inte kunnat utnyttjas. Det ökade priset möjliggör brytning av lägre koncentrerad mineral och brytning på mer svåråtkomliga platser. Detta gör att det inte går att sätta ett årtal som en viss metallresurs räcker till eftersom lagret är relativt till efterfrågan och teknisk utveckling.

För att förenkla återvinning och höja återvinningsgrad av en produkt bör en produkt vara enkel att demontera och separera i de olika ingående materialen. Antalet använda material per produkt bör minimeras och kombinationer av material bör studeras för att undvika opassande blandningar. Återvinningsvärdet ökar med skrotets kvalitet. Genom att konstruera för ett högt återvinningsvärde så ökar sannolikheten för att det kommer att ske en återvinning.

För både stål och aluminium finns återvinningsgrader publicerade. Dessa siffror kan antas vara mycket osäkra. Återvinningsgraden är en kvot av återvunnet och uttjänt material och för att få ett värde på återvinningsgraden måste båda vara kända. Att uppskatta mängden återvunnet material är fullt möjligt eftersom antalet omsmältverk är relativt begränsat, samt export och import är kända. Dock är det mycket komplicerat och komplext att definiera uttjänt material och få fram en siffra på mängder.

Det vanligaste angreppssättet till problemet är att för varje användarsegment uppskatta en medellivslängd och går tillbaka motsvarande tid och använda konsumtionssiffran det året som mått på teoretiskt uttjänt material. Man får härigenom endast mycket grova uppskattningar.

### *Branschprofilering*

Stål har funnits mycket länge i Sverige och det märks på branschens sätt att marknadsföra sig och typen av reklam som tas fram. Marknadsföring av stål ut till allmänheten är mycket begränsad. Branschen har också dåligt med framtaget reklammaterial där stål presenteras på ett lättförståeligt sätt.

Aluminium är ett relativt nytt material och har en mer offensiv metod att marknadsföra sig på. Branschen har fokus på design genom att visa upp sitt material som ett bra alternativ vid materialval. Genom att nå ut till designers finns aluminium med som ett aktivt alternativ vid materialval. Stålbranschen har mer förlitat sig på konstruktörerna och att dessa skall känna till och välja just detta material. Genom att design och produktutformning får en större och mer betydelsefull del vid materialval är det av betydelse att designer känner till materialet och alla dess fördelar och nackdelar.

Det som aluminiumbranschen är bra på vid reklam och information är att de fokuserar på slutprodukten, vilken en person har lätt att återkoppla till. Stålbranschen fokuserar mer på tillverkning och halvfabrikat och glömmar ofta bort att visa upp vad plåten eller tråden används till i slutändan.

Aluminiumbranschen talar ofta mycket tyst om hur primärtillverkningen går till och de energisiffror som presenteras är ofta svårförståliga. Ofta diskuteras tillverkning och energitillgång med sloganen att endast 5 % av energin går åt vid omsmältning jämfört med primärtillverkning. Påståendet är relativt diffust och det finns inga referenser att visa upp till påståendet. Trots detta finns dessa uppgifter publicerade en stor mängd litteratur.

## 11. SLUTSATSER

- Konkurrensen mellan stål och aluminium är inte stor för applikationer som kräver specifika egenskaper, med undantag för fordonsindustrin. Konkurrensområdet för materialen är inom designapplikationer. Materialen kompletterar varandra mer än de konkurrerar.
- Det är svårt att säga något generellt om stål eller aluminium, eftersom det finns en stor mängd olika sorter och därmed ett brett spektrum av egenskaper för varje material. Detta ger också en stor bredd på applikationerna.
- Låglegerat ståls positiva egenskaper: Hållfasthet, pris, svetsbarhet.
- Rostfritt ståls positiva egenskaper: Korrosionsbeständighet, hållfasthet, varmhållfasthet.
- Aluminiums positiva egenskaper: Korrosionsbeständighet, låg densitet, formbarhet.
- Strukturen för tillverkning skiljer sig mellan stål- och aluminiumindustrin. Stålintustrin har en produktion där smältverk och bearbetning är integrerad. För aluminiumindustrin är dessa separata.
- Aluminiumbranschen producerar halvfabrikat som ofta är bearbetade väldigt nära till slutprodukt, t.ex. profiler. Stålintustrins halvfabrikat ligger generellt längre från kund t.ex. plåt, band.
- Jämförelser av Livscykelinventeringar (LCI) blir först användbara när studien görs för en applikation. Det är viktigt att för produkten betrakta livslängd och återvinning för att få en komplett analys av miljöpåverkan.
- Tillverkningen av aluminium och rostfritt stål är mycket beroende av elektricitet. Valet av energikälla utgör en stor del av miljöpåverkan. Malmbaserad ståltillverkning är knuten till kolanvändning. Kolets primära uppgift är reduktion av syre i masugnen.
- Ur ett energiperspektiv är återvinning av metall att föredra, eftersom stål- och aluminiumframställning från skrot är mindre energikrävande än framställning ur malm och bauxit. För aluminium är skillnaden mellan primär och sekundärtillverkning betydligt större energimässigt än för stål.
- Cirkulationen och insamlingen av metallskrot sker helt på marknadsbaserade principer och har pågått länge.
- Stål kan omsmältas gång på gång till samma kvalité, och de flesta föroreningsämnen som finns i smältan kan renas ut vid omsmältning. Metallurgin för smältan är densamma för malmbaserat som för skrotbaserat stål.
- Aluminium kan omsmältas till samma kvalité gång på gång. Aluminium som smälts kan inte renas på sina föroreningsämnen utan skall renheten höjas kan detta endast göras genom spädning med renare aluminium.
- För både stål och aluminium finns återvinningsgrader publicerade. Dessa siffror kan antas vara mycket osäkra.
- För att förenkla återvinning bör en produkt vara enkel att separera i de ingående materialen, antalet ingående material bör minimeras och kombinationer av opassande materialblandningar undvikas.
- Aluminium och järn är metaller som det finns gott om i jordskorpan. Mängden malm skiftar från tidsperiod till tidsperiod och påverkas av den tekniska utvecklingen, fyndigheter och metallens pris. Metalltillgången är alltså relativ och inte en fast mängd.

## 12. TACK

Ett varmt tack riktas till de personer som har avsatt tid för att vänligt, och i de flesta fall mycket väl förberett och engagerat, svara på våra frågor. Ett särskilt tack också till våra handledare Helen Axelsson, Jernkontoret, och Dr. Sven Ekerot, KTH, som med stort tålamod och värdefulla synpunkter har följt vårt arbete. Vi vill även tacka vår referensgrupp som varit en mycket värdefullt hjälp:

Prof. Pär Jönsson, KTH, Examinator  
Johan Lindström, Svenskt Aluminium  
Camilla Kaplin, Outokumpu  
Ulf Lundell, Sandvik Materials Technology  
Jonas Larsson, SSAB Tunnpått  
Joakim Widman, Stålbyggnadsinstitutet

## 13. TILLSTÅND BILDER

För samtliga bilder har tillstånd givits för användandet från respektive företag.

Bilder från	Tillstånd från
Aluminiumindustrin	Johan Lindström, Svenskt Aluminium
Sandvik AB	Ulf Lundell, Sandvik SMT
Outokumpu AB	Camilla Kaplin, Outokumpu
SSAB	Jonas Larson, SSAB Tunnpått
LKAB:s bildbank	Ove Köhler, LKAB
Uddeholm	Kristina Petersson, Uddeholm Tooling Svenska AB
Jernkontoret	Helen Axelsson, Jernkontoret
Coca-cola Company	Anne Lindfält, Coca-Cola Company
SBI	Joakim Widman, SBI

1 Statistik från EAA

2 Diagram Stålet och Miljön, sid 18

3 Konstruktionsmateriallära kompendium, del 2 materialdel, 1992, sid 2:8, Broschyr Docol produktprogram för kallvalsad tunnpått, SSAB Tunnpått samt personligkontakt Anders Haglund, SSAB Tunnpått, Datablad Weldox-700, -900, -960, -1100 och Hardox-450, -500, SSAB Oxelösund, Outokumpu Steel Grades, Properties and Global Standards broschyr samt personligkontakt Ulf Lundell, Sandvik MT samt Aluminium SIS handbok 12:2001, sid 169

4 Statistik ifrån Jernkontoret samt personligkontakt Alf Abrahamson och Svenskt Aluminium, Aluminiumstatistiken för Sverige 2003, sid 2

5 Varför väljer vi aluminium sid. 5, Svenskt Aluminium

6 Stål året 2003, Diagrambilaga, Jernkontoret

7 LCI IISI, nordisk miljödeklaration, SIS Handbok 12:2001 Aluminium sid 119

8 Lagerprislsta Stena Stål nr 9, 2004-03-03, sid.46, 53, 77 och 96

9 Stålet och miljön, sid 29

10 LKAB, <http://www.lkab.se> Marknaden / Järnmalmen, 2004-06-23

11 [www.jernkontoret.se](http://www.jernkontoret.se), ståletskretslopp, råvaror. 2004-03-25

12 SSAB Årsredovisning 2002 sid. 13.

13 [www.jernkontoret.se](http://www.jernkontoret.se), ståletskretslopp, processer. 2004-03-26

14 The electric arc furnace process: towards an electrical consumption below 200 kWh/t, Joacim von Shéele, Scandinavian journal of metallurgy 1999, 28:169-177.

15 Stainless steelmaking in converters, Olle Wijk, 1992

16 SIS Handbok 12, aluminium s 42

17 Aluminium, Björn Thundal, 1991, sid 44.

18 SIS handbok 12, sid 41

19 Lecture notes, High-Temperature Chemical Processing, Professor H.Y.Sohn, University of Utah, Dep of Metallurgical Engineering.

20 Kemikalieinspektionen, klassificeringslista, aromatiska kolväten, C20-28

21 Personligkontakt Stig Handå, Teknisk direktör Kubal AB, 2004-03-23

22 Konstruktionsmateriallära kompendium, del 2 materialdel, 1992, sid 2:8

23 MNC handbok nr1, Allmänna konstruktions stål, 1988, sid 13

24 [http://www.sbi.se/sok/sok\\_dokument.asp?dId=38](http://www.sbi.se/sok/sok_dokument.asp?dId=38), 2004-02-09

25 Datablad Weldox-420, -460, -500, SSAB Oxelösund

26 Datablad Weldox-420, -460, -500, SSAB Oxelösund samt Konstruktionsmateriallära kompendium, del 2 materialdel, 1992, sid 2:8

27 Broschyr Docol produktprogram för kallvalsad tunnpått, SSAB Tunnpått samt personligkontakt Anders Haglund, SSAB Tunnpått

28 Olegerade och låglegerade stål, Utbildningsmaterial kap 11 Jernkontoret 1995, sid 52

29 Broschyr Docol produktprogram för kallvalsad tunnpått, SSAB Tunnpått, Konstruktionsmateriallära kompendium, del 2 materialdel, 1992, sid 2:8 samt personligkontakt Anders Haglund, SSAB Tunnpått

30 Datablad Weldox-700, -900, -960, -1100 och Hardox-450, -500, SSAB Oxelösund

- 
- 31 [http://www.sbi.se/sok/sok\\_dokument.asp?dId=38](http://www.sbi.se/sok/sok_dokument.asp?dId=38), 2004-02-10
- 32 Datablad Weldox-700, -900, -960, -1100 och Hardox-450, -500, SSAB Oxelösund samt Konstruktionsmateriallära kompendium, del 2 materialdel, 1992, sid 2:8
- 33 Broschyr Domex, SSAB Tunnpått samt personligkontakt Anders Haglund, SSAB Tunnpått
- 34 Broschyr Domex, SSAB Tunnpått samt Konstruktionsmateriallära kompendium, del 2 materialdel, 1992, sid 2:8 samt personligkontakt Anders Haglund, SSAB Tunnpått
- 35 Broschyr Docol produktprogram för kallvalsad tunnpått, SSAB Tunnpått samt Olegerade och låglegerade stål, Utbildningsmaterial kap 11 Jernkontoret 1995, sid 52
- 36 Konstruktionsmateriallära kompendium, del 2 materialdel, 1992, sid 2:54
- 37 <http://lotsen.ivf.se/?path=/KonsLotsen/Bok/Kap2/Materialkategorier/Metaller.html>, 2004-02-11
- 38 Materialnyckel 1997 metalliska material med jämförelse
- 39 <http://hem.passagen.se/studenten/teknologi-industri.htm>, 2004-02-11
- 40 <http://hem.passagen.se/studenten/teknologi-industri.htm>,  
<http://lotsen.ivf.se/?path=/KonsLotsen/Bok/Kap2/Materialkategorier/Metaller.html>, <http://www.zincinfo.se/foretag/Valavstal.htm>, 2004-02-11
- 41 <http://www.kihlsteel.se/nitrering.htm> och <http://www.hardservice.se/nitrering.asp>, 2004-02-11
- 42 Konstruktionsmateriallära kompendium, del 2 materialdel, 1992, sid 2:8 samt Materialnyckel 1997 metalliska material med jämförelse
- 43 <http://hem.passagen.se/studenten/teknologi-industri.htm>,  
<http://lotsen.ivf.se/?path=/KonsLotsen/Bok/Kap2/Materialkategorier/Metaller.html>, 2004-02-11
- 44 Outokumpu Steel Grades, Properties and Global Standards broschyr
- 45 Rostfria stål, Utbildningsmaterial kap 12 Jernkontoret 1996
- 46 Konstruktionsmateriallära kompendium, del 2 materialdel, 1992, sid 2:8 samt Outokumpu Steel Grades, Properties and Global Standards broschyr
- 47 Outokumpu Steel Grades, Properties and Global Standards broschyr samt personligkontakt Ulf Lundell, Sandvik MT
- 48 Aluminium SIS handbok 12:2001, sid 169
- 49 Aluminium SIS handbok 12:2001, sid 162
- 50 Aluminium SIS handbok 12:2001, sid 169 samt Konstruktionsmateriallära kompendium, del 2 materialdel, 1992, sid 2:8
- 51 Aluminium SIS handbok 12:2001, sid 163
- 52 Aluminium SIS handbok 12:2001, sid 164
- 53 Aluminium SIS handbok 12:2001, sid 167
- 54 Broschyr Sapa Aluminiumlära, sid 25
- 55 Aluminium SIS handbok 12:2001, sid 154 samt <http://www.stilexo.se/ruotsi/valuseokset.htm>, 2004-02-27
- 56 Personligkontakt Fredrik Björnson, Hydro Aluminium, 2004-04-06
- 57 Bild:källa Outokumpu
- 58 Personligkontakt Camilla Kaplin, Outokumpu, 2004-04
- 59 Personligkontakt Eirik Nordheim, EAA, 2004-04-30
- 60 Personligkontakt Eirik Nordheim, EAA, 2004-05-25
- 61 Sid 18, LCI IISI.
- 62 LCI Rostfritt stål, Eurofer. Sid 23
- 63 LCI Aluminium EAA2000, Sid 18.
- 64 Personligkontakt Lionell Aboussouan, LCA Manager, IISI, 2004-06-03
- 65 Sid 56, LCI Rostfritt stål Eurofer
- 66 Personligkontakt Lionell Aboussouan, LCA Manager, IISI, 2004-04-29
- 67 LCI IISI. Sid 53
- 68 Eurofer, LCI
- 69 Energiläget 2003, STEM, sid 8.
- 70 Personligkontakt Camilla Kaplin, 2004-06-10
- 71 IPCC (Intergovernmental Panel on Climatic Change), 1996. Climate Change 1995. Cambridge University Press, Cambridge.
- 72 LCI Aluminium och Stål
- 73 förordningen 1997:185, producentansvar för förpackningar.
- 74 Statistik för 2003, Returpack.
- 75 Personligkontakt Hans Funke, AB Svenska Returpack , 2004-05-11
- 76 Personligkontakt Per Andersson, Stena Aluminium AB, Älmhult, 2004-05-10
- 77 <http://home.smelinkweb.com/almhultselmek-sve/>, 2004-05-19
- 78 Skrotboken 2000, sid 4
- 79 Skrotboken Aluminium 1997, Gotthard Aluminium. Sid 12.
- 80 Stålets kretslopp, Rapport i Jernkontorets Forskning nr D 792, sid 29
- 81 Skrotboken 2000, sid 8
- 82 Stålets kretslopp, Rapport i Jernkontorets Forskning nr D 792, sid 26
- 83 Personligkontakt Dan Lundberg, JBF, 2004-04-20
- 84 Personligkontakt Göran Larén, Sandvik Steel AB, 2004-05-10
- 85 KTH, personligkontakt Martin Bjurström, 2004-05-03 och personligkontakt Dan Lundberg, JBF, 2004-04-20
- 86 Personligkontakt Ingemar Svensson, Sapa Profiles, Sjunnen.2004-05-03
- 87 Personligkontakt Leif Messgård, Sapa Technology, Finnsång, 2004-05-10
- 88 U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summeries, 2004,2001, 1996
- 89 Program mineralpolitiska utredningar, SGU,2002, sid 36
- 90 U.S. Geological Survey, Mineral Commodity Summeries, 2004.
- 91 Report of the EAA Primary Division Statistics Committeon the Primary Aluminium and Alumina Outlook, October 2002
- 92 Naturvårdsverket, Rapport 5225 , 2002 , sid 7
- 93 Energiläget 2003, STEM, sid 25-26, 39-41
- 94 Key World Energy Statistics, 2003, International energy agency.
- 95 Stålets kretslopp, Rapport i Jernkontorets Forskning nr D 792, sid 9
- 96 Scrap and recycling:Panorama of Usinor's work carried out with European and French partners. J-P Birat ET AL 1999