

# Energibruksfaktorer og utslippsfaktorer for ulike metaller

Morten Simonsen

Vestlandsforskning

29/6/2009

## Contents

Innledning .....	5
PVC.....	5
Kopper .....	9
Stål.....	14
Varmevalset stål .....	16
Aluminium.....	23
Kaldvalset stål.....	30
Rustfritt stål.....	32
Støpejern.....	33
Gummi .....	35
Glass .....	37
Polyurethane .....	38
Polypropylene.....	40
Bitumen .....	44
Valg av utslippsfaktorer .....	45
Figur 1 Energiforbruk for ulike typer plastikk fra Matbase og EU LCA-tools .....	5
Figur 2 MJ pr kg PVC for ulike energikilder .....	6
Figur 3 Energiforbruk PVD fra ulike kilder.....	8
Figur 4 Energiforbruk i MJ for produksjon av 1 kg kopper Tyskland 2005. ....	9
Figur 5 Energiforbruk i MJ for produksjon av 1 kg sekundær-kopper Tyskland 2005. ....	11
Figur 6 Energiforbruk ved produksjon av 1 kg kopper. ....	14
Figur 7 Energiforbruk for produksjon av 1 kg stålmiks i Tyskland 2005. De 4 viktigste energikildene. ....	15
Figur 8 Energiforbruk for produksjon av 1 kg primærstål fra ulike kilder .....	16
Figur 9 Energiforbruk for produksjon av 1 kg varmevalset i Tyskland 2005. De 4 viktigste energikildene. ....	17
Figur 10 De viktigste energikilder for stål med ulik resirkuleringsgrad Tyskland 2005.....	19
Figur 11 Energiforbruk for produksjon av 1 kg varmevalset stål fra ulike kilder.....	22
Figur 12 Sammensetning av aluminiummiks Tyskland 2005. Prosent. ....	23
Figur 13 Energiforbruk for 1 kg aluminium i ulike land som inngår i aluminiummiks Tyskland 2005.....	24
Figur 14 Utslipp CO2-ekvivalenter for produksjon av 1 kg aluminium i ulike land.....	25
Figur 15 Energiforbruksfaktorer for aluminium.....	27
Figur 16 Sammenheng mellom resirkuleringsgrad og energiforbruk i MJ/kg for produksjon av 1 kg aluminium. ....	28
Figur 17 Andel vannkraft av total produsert energi i utvalgte land.....	29
Figur 18 Energiforbruk for produksjon av 1 kg kaldvalset stål Tyskland 2005 .....	31
Figur 19 Energiforbruk for produksjon av 1 kg råjern Tyskland 2005.....	34
Figur 20 Energiforbruksfaktorer for produksjon av 1 kg gummi Tyskland 2005 .....	36

Figur 21	Energibruksfaktorer for produksjon av 1 kg glass Tyskland 2005 .....	38
Figur 22	Viktigste energikilder for produksjon av 1 kg polypropylene Europa 1998. ....	41
Figur 23	Viktigste energikilder for polymerisering av 1 kg polypropylene Tyskland 2000. ....	43
Figur 24	Energibruksfaktorer for ulike metaller. ....	46
Figur 25	Utslippsfaktorer CO <sub>2</sub> -ekvivalenter for utvalgte metaller. ....	46
Tabell 1	Energibruksfaktor for produksjon av 1 kg PVC i EU 1998. ....	6
Tabell 2	Utslippsfaktorer for 1 kg produsert PVC .....	7
Tabell 3	Energikilder for produksjon av 1 kg kopper .....	9
Tabell 4	Utslipp til luft for produksjon av 1 kg kopper-miks Tyskland 2005. ....	10
Tabell 5	Energibruk i MJ for produksjon av 1 kg sekundær-kopper Tyskland 1995 .....	11
Tabell 6	Utslipp til luft for ulike kategorier ved produksjon av 1 kg sekundær-kopper Tyskland 2005. ....	12
Tabell 7	Energibruk for produksjon av 1 tonn kopper-plate 0,6 mm tykkelse.....	12
Tabell 8	Utslipp til luft fra produksjon av 1 tonn kopperplate 0,6 mm tykk.....	13
Tabell 9	Energiforbruk for produksjon av 1 kg stålmiks Tyskland 2005 .....	15
Tabell 10	Utslipp til luft fra produksjon av 1 kg stålmiks Tyskland 2005. ....	15
Tabell 11	Energiforbruk for produksjon av 1 kg varmevalset stål Tyskland 2005 .....	16
Tabell 12	Utslipp til luft fra produksjon av 1 kg varmevalset stål Tyskland 2005.....	18
Tabell 13	Energibrukstall for resirkulert stål Tyskland 2005. MJ pr kg produsert stål. ....	18
Tabell 14	Utslippsfaktorer pr kg stål med ulik resirkuleringsgrad Tyskland 2005 .....	20
Tabell 15	Energibruk for produksjon av 1 kg varmevalset stål ELCD .....	20
Tabell 16	Utslipp til luft for produksjon av 1 kg varmevalset stål fra ELCD .....	21
Tabell 17	Estimat for 1 kg med varmevalset stål fra NREL-database.....	22
Tabell 18	Energibruk MJ/kg for aluminiummiks Tyskland 1005 .....	23
Tabell 19	Andeler for ulike energikilder ved produksjon av aluminium i ulike land .....	24
Tabell 20	Utslipp til luft av ulike kategorier for produksjon av 1 kg aluminium for produksjonsmiks Tyskland 2005.....	25
Tabell 21	Energibruksfaktorer for resirkulert aluminium Tyskland 2005. MJ/kg. ....	26
Tabell 22	Utslipp til luft av ulike kategorier for produksjon av 1 kg resirkulert aluminium Tyskland 2005.....	26
Tabell 23	Energibruksfaktorer og utslippsfaktorer for aluminium fra ulike kilder .....	27
Tabell 24	URL for de ulike kilder .....	27
Tabell 25	Energibruk for produksjon av 1 kg kaldvalset stål Tyskland 2005.....	30
Tabell 26	Utslipp til luft fra produksjon av 1 kg kaldvalset stål .....	32
Tabell 27	Energibruksfaktor og utslippsfaktor (CO <sub>2</sub> ) for produksjon av 1 tonn rustfritt stål.....	32
Tabell 28	Energiforbruk og CO <sub>2</sub> -utslipp for 1 kg rustfritt stål fra ELCD, referanseår 1997 .....	33
Tabell 29	Energibruk for produksjon av 1 kg råjern Tyskland 2005.....	34
Tabell 30	Utslipp til luft fra produksjon av 1 kg råjern.....	35
Tabell 31	Energibruk for produksjon av 1 kg gummi (EPDM) Tyskland 2000 .....	35
Tabell 32	Utslippsfaktorer for produksjon av 1 kg gummi Tyskland 2005 .....	36
Tabell 33	Energibruk for produksjon av 1 kg glass Tyskland 2005 .....	37
Tabell 34	Utslippsfaktorer for produksjon av 1 kg glass Tyskland 2005.....	37
Tabell 35	Energiforbruk for 1 kg polyurethane Tyskland 2005 .....	39
Tabell 36	Utslipp til luft for produksjon av 1 kg polyurethane Tyskland 2005.....	39

Tabell 37 Energiforbruk for 1 kg polypropylen EU 1998, MJ pr kg. ....	40
Tabell 38 Utslipp til luft for produksjon av 1 kg polypropylene Europa 1998 .....	40
Tabell 39 Energiforbruk for 1 kg polypropylen Europa. MJ pr kg. ....	41
Tabell 40 til luft for produksjon av 1 kg polypropylene Europa .....	42
Tabell 41 Energiforbruk for polymerisering av 1 kg polypropylen Tyskland 2000. MJ pr kg. ....	42
Tabell 42 Energibruk for produksjon av 1 kg bitumen Tyskland 2000 .....	44
Tabell 43 Utslipp til luft ved produksjon av 1 kg bitumen .....	44
Tabell 44 Energibruksfaktorer for ulike metaller.....	45

## Innledning

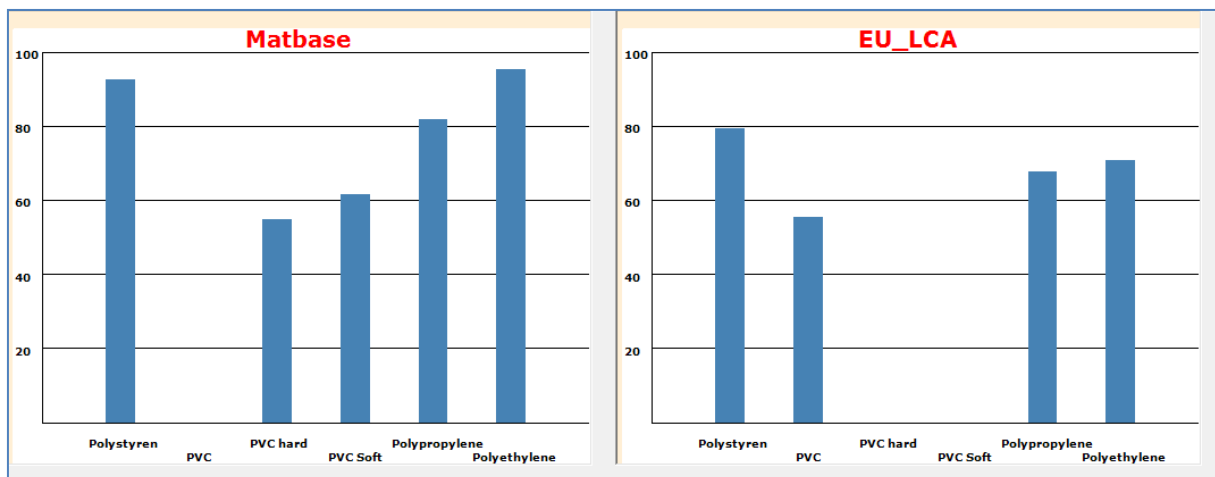
Dette dokumentet vil dokumentere energibruksfaktorer og utslippsfaktorer for viktige metaller som benyttes i produksjon av transportmiddel. Siden mange av transportmidlene som brukes i Norge produseres i Tyskland eller i land med samme elektrisitetssmiks som Tyskland vil vi bruke estimat for energibruk og utslipp fra Tyskland for metallene. Vi vil legge vekt på å gi en sammenlikning av estimatene med andre kilder for å gi et bilde av hvor godt estimatene samsvarer med andre kilder. Vi vil legge vekt på å redegjøre for forutsetningene for de ulike estimatene slik at sammenlikning med andre estimat kan skje på mest mulige like vilkår.

## PVC

Plastikk er en samlebetegnelse for mange ulike typer materialer. Plastikk er såkalte polymer som er konstruert ved repeterende kjeder av ulike monomer<sup>1</sup>. Selve kjeden utgjøres av karbon-atomer. En type monomer er styren, et flytende hydrokarbon som er laget av olje<sup>2</sup>. Polystyren er således kjeder av styren. En annen monomer er ethylene, det mest produserte organiske element i verden<sup>3</sup>. Polyetylen er derfor kjeder av ethylen-monomer.

Polyetylen brukes mye i plastikkposer, i sko og sportsartikler, i vannrør og til pakkematerialer. Polystyren brukes i plastikkbestikk, i CD-bokser, i pakkematerialer for mat, til isolasjon og til drikkebeget av plast. PVC er plastikk som brukes til bygningsmaterialer, til polstring, til rør og til isolasjon av elektriske kabler. Vi velger å bruke PVC som mål på plastikk som anvendes til polstring av seter, til materiale i t-bane vognsettet og til isolering av elektriske ledninger.

Figur 1 Energibruksfaktorer for ulike typer plastikk fra Matbase og EU LCA-tools



Figur 1 viser energibruksfaktorer for ulike typer plastikk fra to databaser i MJ/produkt kg. Til venstre er faktorene hentet fra Matbase<sup>4</sup>. Til høyre er faktorene hentet fra EU's online service for LCA-verktøy<sup>5</sup>. Denne servicen inneholder en database som heter ELCD<sup>6</sup>. Denne databasen

<sup>1</sup> Wikipedia, <http://en.wikipedia.org/wiki/Polymer>

<sup>2</sup> Wikipedia, <http://en.wikipedia.org/wiki/Polystyrene>

<sup>3</sup> <http://en.wikipedia.org/wiki/Ethylene>

<sup>4</sup> "The worlds first free online resource for physical and mechanical data on all major material categories,"

<http://www.matbase.com/>

<sup>5</sup> <http://lca.jrc.ec.europa.eu/lcainfohub/datasetArea.vm>

inneholder bl a energibruksfaktorer og utslippsfaktorer for ulike typer plastikk. Matbase skiller mellom "soft" og "hard" PVC mens ELCD bare omhandler PVC.

ELCD omhandler tre typer PVC (med engelske benevnelse): i) Bulk-polymerisation, ii) emulsjon polymerisation og iii) suspension polymerisation. Type i) brukes til harde plater og flasker, type ii) brukes som beskyttelsesmateriale mens den siste typen brukes til rør, profiler, bygningsmaterialer, hardfolie, kabelisolering og medisinske produkt. Vi har valgt å bruke denne siste typen.

Figur 1 viser at EULCD gjennomgående har lavere energibruksfaktorer enn Matbase. Dette gjelder særlig polypropylen, polystyrene og polyethylene, men disse plastikktypene vil ikke bli brukt i denne sammenheng. For PVC er det bedre samsvar mellom databasene. Vi velger å bruke tallene fra ELCD for PVC med en energibruksfaktor på 55,4 MJ/kg for plastikk. Faktoren gjelder for produksjon av 1 kg PVC i EU i 1998.

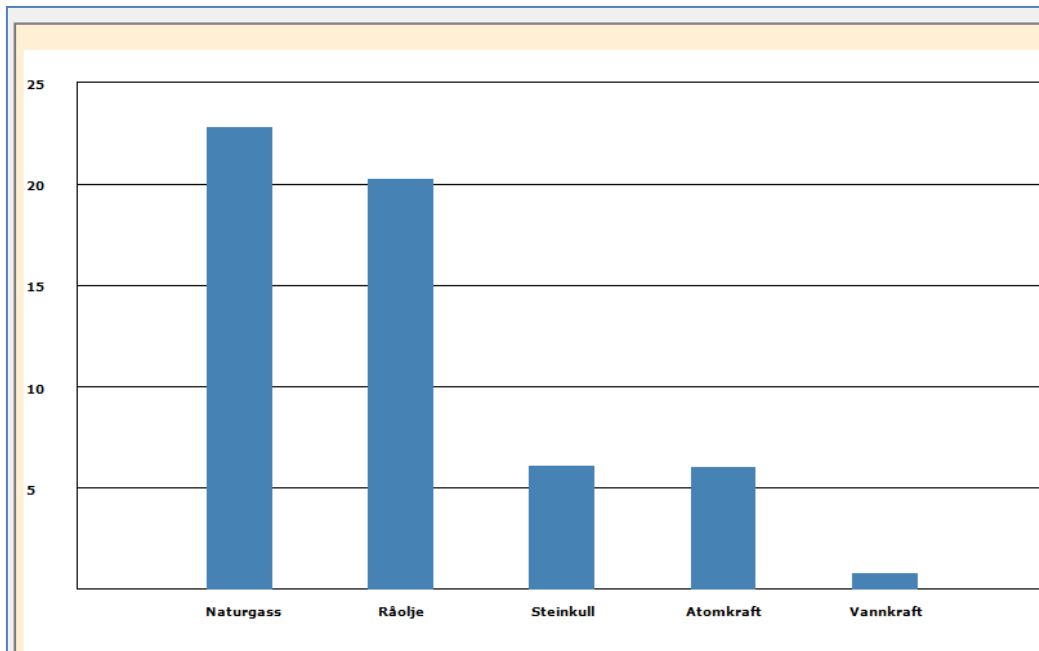
**Tabell 1** Energibruksfaktor for produksjon av 1 kg PVC i EU 1998.

Energikilde	MJ/kg
Energigjenvinning	-0,8
Biomasse	0,1
Brunkull	0,01
Råolje	20,3
Steinkull	6,1
Naturgass	22,8
Torv	0,002
Geotermisk	0,05
Vannkraft	0,8
Solenergi	0,0004
Bølgekraft	0,001
Vindkraft	0,03
Atomkraft	6,0
Trevirke	0,02
Sum	55,4

**Figur 2** MJ pr kg PVC for ulike energikilder

---

<sup>6</sup> ELCD står for European Reference Life Cycle Database: "The ELCD database comprises Life Cycle Inventory (LCI) data from front-running EU-level business associations and other sources for key materials, energy carriers, transport, and waste management", <http://lct.jrc.ec.europa.eu/projects/eplca/deliverables/elcd-database-1/elcd-database>



Figur 2 er en grafisk framstilling av Tabell 1 for de 5 største energikildene. Naturgass og råolje er de viktigste energikildene. Sammen med steinkull utgjør disse fossile energikildene 87,4% av samlet energibruk pr kg PVC. De fornybare energikildene utgjør under 2% av samlet energibruk, mens atomkraft utgjør 11%.

ELCD inneholder også utslippstall for produksjon av 1 kg PVC. Tabell 2 Tabell 3 viser resultatet for noen sentrale utslippskategorier. Hver kg PVC som produseres medfører utslipp av CO<sub>2</sub> i størrelsesorden 2,1 kg.

Tabell 2 Utslippsfaktorer for 1 kg produsert PVC

Utslipp	Kg pr kg produsert PVC
CO <sub>2</sub>	2,128
CO	0,003
NM VOC	0,002
Methane (CH <sub>4</sub> )	0,023
N <sub>2</sub> O	0,000000000002
CO <sub>2</sub> -ekvivalenter #	2,709

#=beregnet

ELCD dokumenterer ikke CO<sub>2</sub>-ekvivalenter, bare utslipp av CO<sub>2</sub> alene. I følge FN's internasjonale klimapanel inngår 6 gasser i utregning av CO<sub>2</sub>-ekvivalenter, disse er CO<sub>2</sub>, metan, nitrus-oksyd (N<sub>2</sub>O), HFC-23 og HFC-134a (HFC står for hydrofluorkarbon) og svovel hexafluorid. Hver av disse gassene har et varmepotensial relativt til CO<sub>2</sub>. Varmepotensialet definerer hvor mye en gass bidrar til den globale oppvarming relativt til CO<sub>2</sub><sup>7</sup>. Den globale oppvarming er definert som økning i

<sup>7</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/Global\\_warming\\_potential](http://en.wikipedia.org/wiki/Global_warming_potential)

gjennomsnittstemperaturen ved jordens eller ved havets overflate. Denne økningen utgjør 0,48° C fra 1999 til 2008 i forhold til en normaltemperatur fra 1940-80<sup>8</sup>.

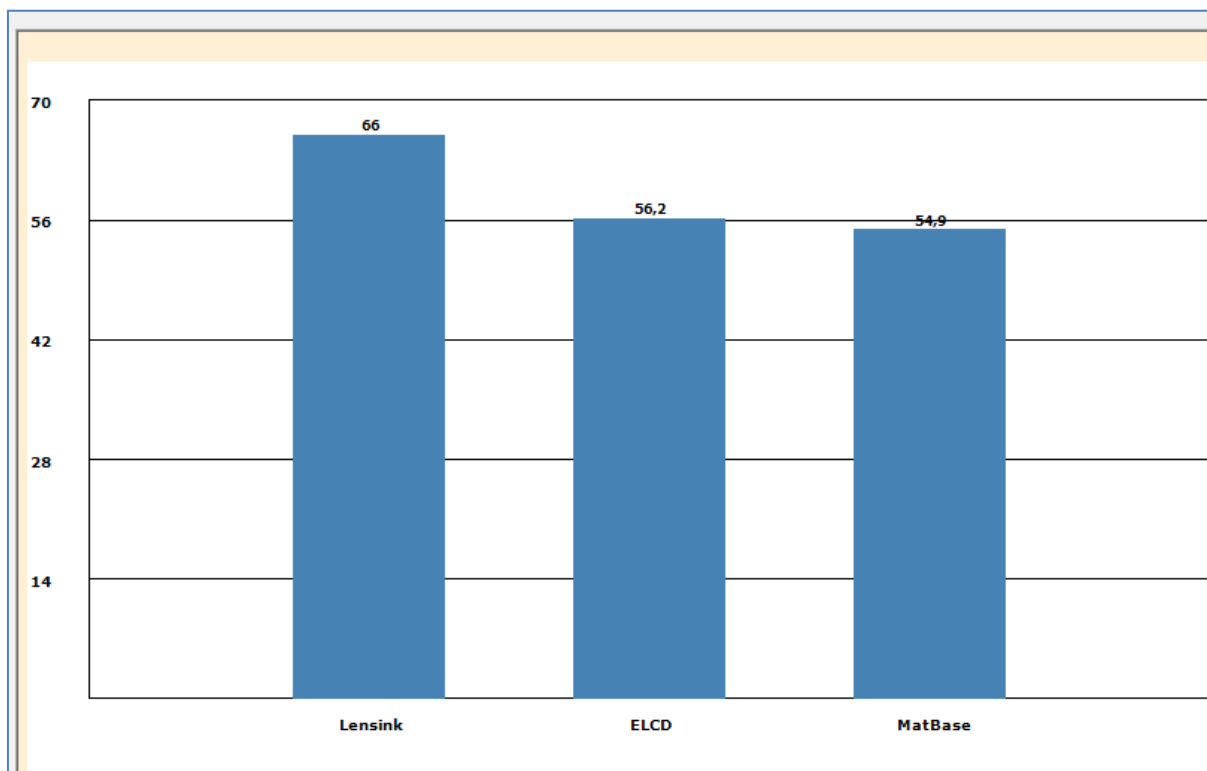
Produksjon av PVC medfører bare utslipp av CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> og N<sub>2</sub>O i følge Tabell 2Tabell 3.

Oppvarmingspotensiale for de enkelte gasser må måles over en tidsperiode for å ta hensyn til at ulike gasser brytes ned med ulikt tempo. Metan har et oppvarmingspotensiale som er 25 ganger større enn CO<sub>2</sub> over en 100-års periode. Om vi bruker denne faktoren for CH<sub>4</sub> og N<sub>2</sub>O fra Tabell 2Tabell 3 kan vi beregne et anslag på CO<sub>2</sub>-ekvivalenter på 2,71 kg for hver produsert kg PVC.

En nederlandsk studie oppgir såkalte GER-verdier for PVC. GER står for Gross Energy Value og er et mål på brutto energikonsumpsjon for hele livssyklusen til et produkt<sup>9</sup>. I følge studien har PVC en GER-verdi på mellom 51 og 70 MJ/kg<sup>10</sup>. Både estimatene fra MatBase og ELCD faller i den nederste delen av dette intervallet.

Figur 3 viser energibruksfaktorer for PVC fra de tre kildene som er omtalt. Figuren viser at den nederlandske studien (Lensink) ligger høyere enn de andre to.

Figur 3 Energiforbruk PVC fra ulike kilder



<sup>8</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Global\\_Warming\\_Map.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Global_Warming_Map.jpg)

<sup>9</sup> Lensink, S.M. (2005), "Capacity Building for Sustainable Transport"

<http://dissertations.ub.rug.nl/FILES/faculties/science/2005/s.m.lensink/thesis.pdf>. GER-verdier defineres som "The amount of energy source, which is sequestered by the process of making a good or service."

<sup>10</sup> *ibid.*, side 37



## Kopper

Vi skal først bruke den tyske databasen ProBas til å estimere energibruk og utslipp til luft ved produksjon av 1 kg kopper. Deretter vil vi se på noen estimat fra ELCD for å verifisere estimatene fra ProBas. Energibruk og utslipp inkluderer hele produksjonskjeden fra utvinning og framstilling av råstoff til produksjon av kopper.

Kopper<sup>11</sup> kan utvinnes fra to typer koppermalm, enten sulfid-malm eller kopperoksyd-malm. Sulfid-malm må først omdannes til kopperkonsentrat. Dette kan gjøres på en av to måter. Enten ved å vaske sulfid-malmen med en syreblanding som gir en kopper-sulfat oppløsning som kan brukes i en elektrolyse. Eller ved å smelte konsentratet før det brukes i den samme elektrolysen. Elektrolysesteget produserer ren kopper ved å bruke katoder av ren kopper-folie. Katoder er elektroder som er negativt ladet mens anoder er elektroder som er positivt ladet. Elektrodene tiltrekker seg ioner med motsatt ladning slik at positivt ladede ioner går mot katoden og negative mot anoden. På denne måten skilles ren kopper fra andre materialer i kopper-konsentratet.

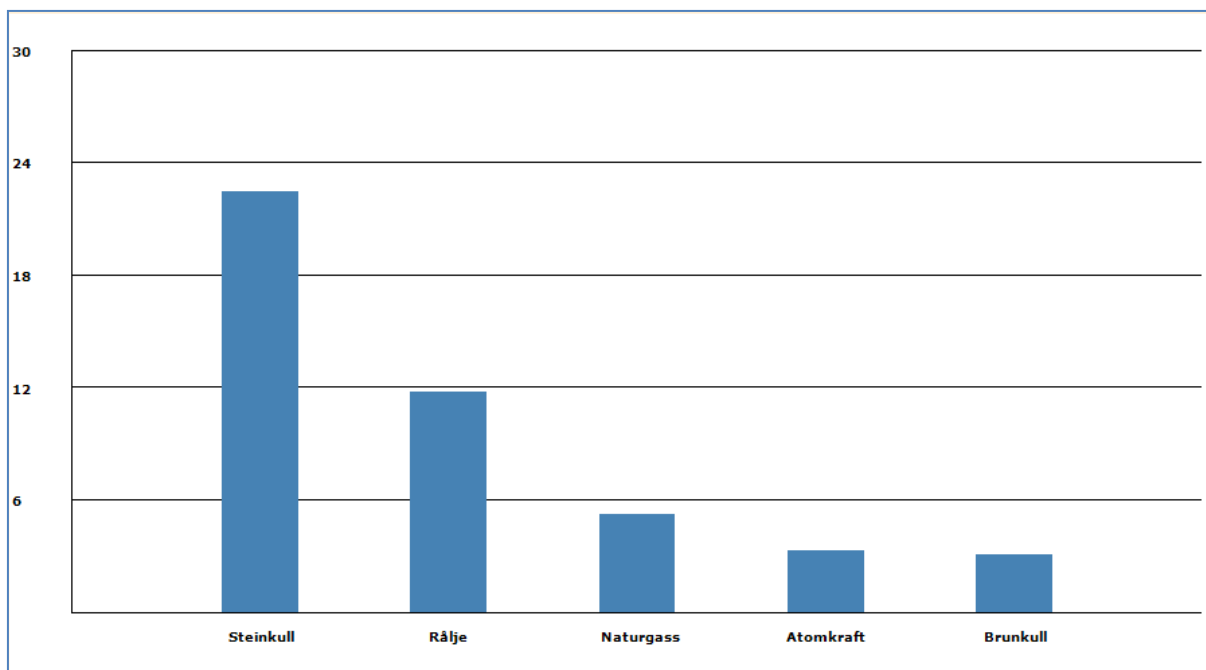
Tabell 3 Energikilder for produksjon av 1 kg kopper

Energikilde	MJ/kg	Prosent
Atomkraft	3,3	6,8 %
Biomasse-Reststoff	0,4	0,9 %
Brunnkull	3,1	6,3 %
Naturgass	5,3	10,8 %
Råolje	11,8	24,1 %
Geotermisk	0,0	0,0 %
Avfall	0,6	1,1 %
Sekundær-råstoff	1,5	3,1 %
Solenergi	0,0	0,0 %
Steinkull	22,5	46,0 %
Vannkraft	0,2	0,4 %
Wind	0,2	0,4 %
SUM	48,9	100%

Tabell 3 viser fordeling av energikilder for produksjon av 1 kg kopper i Tyskland i 2005. Produksjonen er en miks av primær –og sekundærkopper basert på 50% resirkulering. Til sammen forbrukes 48,9 MJ energi for å produsere 1 kg kopper. De største energikildene er steinkull, råolje og naturgass som til sammen bidrar med 80,9% av all energi i Tabell 3.

Figur 4 Energikilder i MJ for produksjon av 1 kg kopper Tyskland 2005.

<sup>11</sup> Se <http://www.copper.org/education/production.html> og [http://en.wikipedia.org/wiki/Copper\\_extraction](http://en.wikipedia.org/wiki/Copper_extraction)



Figur 4 viser de fem største energikildene for produksjon av 1 kg kopper fra Tabell 3. De fossile energikildene dominerer, det er bare atomkraft som bidrar med energi av betydning ut over de fossile energikildene.

Tabell 4 Utslipp til luft for produksjon av 1 kg kopper-miks Tyskland 2005.

Utslippskategori	kg
Metan (CH <sub>4</sub> )	0,010
CO	0,009
CO <sub>2</sub>	3,770
N <sub>2</sub> O (lystgass)	0,0002
NMVOC	0,0004
NO <sub>x</sub>	0,016
CO <sub>2</sub> -Ekvivalent	4,040

Tabell 4 viser utslipp til luft ved produksjon av 1 kg kopper i Tyskland 2005 med produksjonsmiksen som er beskrevet ovenfor. Tabellen inkluderer tre gasser som inngår i utregning av CO<sub>2</sub>-ekvivalenter, CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> (metan) og N<sub>2</sub>O eller lystgass. Til sammen generer produksjon av 1 kg kopper 4,04 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter, av dette står CO<sub>2</sub> alene for 3,77 kg mens metan bidrar med 0,24 CO<sub>2</sub>-ekvivalenter og N<sub>2</sub>O med 0,054. Summen av disse bidragene blir litt mer enn den oppgitte verdi på 6,04 fra ProBas, noe som skyldes at faktorene for omregning til CO<sub>2</sub>-ekvivalenter fra IPCC ikke oppgis med desimaler men som heltall.<sup>12</sup>

Koppermiksen inneholder 50% resirkulering. Hva er effekten av denne resirkulering? Tabell 5 viser energibruken for produksjon av 1 kg sekundær-kopper i Tyskland i 2005. Tabellen viser at

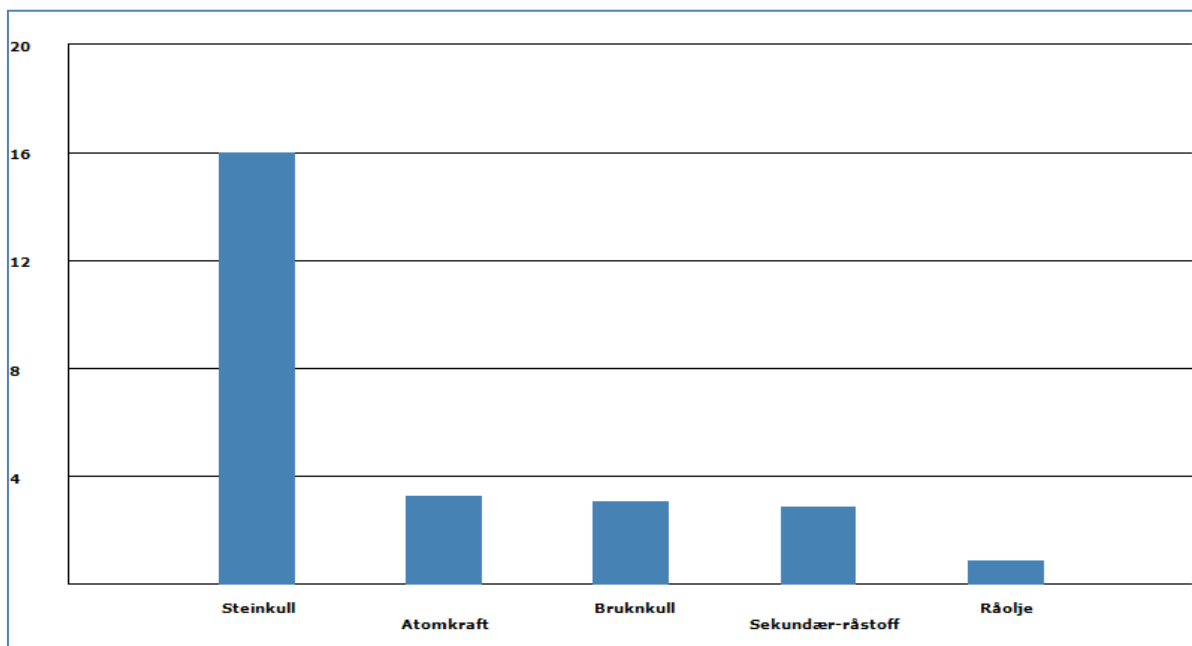
<sup>12</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/Global\\_warming\\_potential](http://en.wikipedia.org/wiki/Global_warming_potential)

energibruken for sekundær-kopper er nesten halvparten av hva den er for en produksjonsmiks med 50% resirkulering, 27,2 MJ/kg for bare sekundær-kopper mot 48,9 MJ/kg for kopper-miks.

Tabell 5 Energibruk i MJ for produksjon av 1 kg sekundær-kopper Tyskland 1995

Energikilde	MJ/kg	Pst
Atomkraft	3,3	12,3 %
Biomasse	0,4	1,5 %
Brunkull	3,1	11,3 %
Naturgass	-0,4	-1,3 %
Råolje	0,9	3,3 %
Geotemisk	0,0	0,0 %
Avfall	0,6	2,1 %
Sekundær-råstoff	2,9	10,6 %
Solenergi	0,0	0,0 %
Steinkull	16,0	58,9 %
Vannkraft	0,2	0,6 %
Vindkraft	0,2	0,7 %
SUM	27,2	100

Figur 5 Energikilder i MJ for produksjon av 1 kg sekundær-kopper Tyskland 2005.



Figur 5 viser fordeling av energikilder for produksjon av 1 kg sekundær-kopper Tyskland 2005. Figuren viser at steinkull, atomkraft og energi bundet til sekundær-råstoff er de viktigste energikildene. Råolje og naturgass var de viktigste energikildene for kopper-miks, men disse energikildene spiller en langt mindre rolle for resirkulert kopper. For naturgass er det et negativt bidrag, dette betyr at mer naturgass blir brukt til prosessvarme enn til produksjon av elektrisitet.

ProBas regner bare med energikildenes direkte bidrag til produksjon av elektrisitet eller med deres brennverdi som direkte bidrag i produksjonen <sup>13</sup>.

For hver kg produsert sekundær-kopper går det med 1,62 kg sekundær-råstoff. Av dette er 1,04 kg kopper-skrap inklusive messing og bronse. Resten er slam eller slag som inneholder kopper. Tabell 6 viser utslipp til luft som følge av produksjon av 1 kg sekundær-kopper Tyskland 2005. Vi ser at utslipp av CO<sub>2</sub>-ekvivalenter er under det halve av hva det var for kopper-miks med 50% resirkulert kopper.

Tabell 6 Utslipp til luft for ulike kategorier ved produksjon av 1 kg sekundær-kopper Tyskland 2005.

Utslippskategori	Kg/kg
CH <sub>4</sub>	0,006
CO	0,004
CO <sub>2</sub>	1,920
N <sub>2</sub> O	0,00003
NH <sub>3</sub>	0,000004
NM VOC	0,0001
NO <sub>x</sub>	0,003
CO <sub>2</sub> -Ekvivalent	2,060

EU's database for LCA-analyse, ELCD, inneholder opplysninger om energibruk og utslipp til luft for produksjon av 1 tonn kopperplate med tykkelse 0,6 mm. Energibruk og utslipp er beregnet av Deutsches Kupferinstitut. Det er forutsatt 95% resirkulering <sup>14</sup>. Kopper-skrap som brukes inneholder både skrap fra produksjonsprosessen så vel som skrap fra konsumert kopper. I tillegg til produksjon av selve materialet kopper som vi hittil har konsentrert oss om, inneholder produksjon av kopperplater energibruk for støping og valsing av kopper. Den samlede energibruk og utslippsmengde vil derfor være større enn energibruken og utslippsmengdene som er knytt til framstilling av selve metallet.

Tabell 7 viser energibruk i MJ for framstilling av 1 tonn kopperplate med 0,6 mm tykkelse. ELCD inneholder opplysninger om indikatoren *net calorific value* som er benyttet for de energikilder som produserer energi ved forbrenning, altså de fossile brennstoff. Indikatoren er definert som "mengden av varme som frigjøres ved fullstendig forbrenning av en enhet brensel når vannet som produseres forblir damp." <sup>15</sup>. Energien som brukes til å omdanne vann til vanndamp inngår dermed ikke i den varmen som frigjøres ved forbrenning. Indikatoren *gross calorific value* beregnes ved at vanndamp føres tilbake til vann og energien som brukes til å produsere vanndamp inngår i forbrenningsenergien til energikilden.

Tabell 7 Energibruk for produksjon av 1 tonn kopper-plate 0,6 mm tykkelse

Kopperplate	kg	Net Calorific value	MJ/kg

<sup>13</sup> ProBas - Details: Metall\Kupfer-DE-sekundär-2005 se Methode bei Prozessen mit mehreren Outputs.

<sup>14</sup> [http://lca.jrc.ec.europa.eu/lcainfohub/datasets/html/processes/14712dc3-ca9f-4032-aed2-2e5f449c13cb\\_02.00.000.html](http://lca.jrc.ec.europa.eu/lcainfohub/datasets/html/processes/14712dc3-ca9f-4032-aed2-2e5f449c13cb_02.00.000.html)

<sup>15</sup> [http://www.iaea.org/Textbase/work/2004/eswg/21\\_NCV.pdf](http://www.iaea.org/Textbase/work/2004/eswg/21_NCV.pdf)

		(MJ/kg)	
Brunkull	172,6	11,9	2053,4
Råolje	46,7	42,3	1975,9
Steinkull	121,2	26,3	3186,8
Naturgass	112,6	44,1	4966,3
Vannkraft		1,0	740,8
Vindkraft		1,0	19,4
Uranium		1,0	4936,9
Trevirke	9,0	14,7	131,7
MJ/tonne	462,0		18011,2
MJ/kg			18,0

Tabell 7 viser at det går med 462 kg av ulike brennstoff til å produsere ett tonn av kopperplaten.

Til sammen er energibruken for 1 tonn med valset kopperplate beregnet til 18 011,2 MJ/tonn som svarer til 18 MJ/kg. I Tabell 4 er energibruken for kopper-miks i Tyskland med 50% resirkulering beregnet til 48,9 MJ/kg. Energibruken fra ELCD er også lavere enn energibruken for sekundærkopper i Tabell 6. Grunnen kan være at tallene i Tabell 7 er beregnet på 95% resirkulering og at sammensetningen av resirkulert kopper er annerledes enn i Tabell 6.

ELCD oppgir utslipp av CO<sub>2</sub> for produksjon av 1 tonn kopperplate til å være 921 kg. Dette er også vesentlig lavere enn de estimat vi har presentert tidligere. Igjen er det grunn til å peke på den høye grad av resirkulering som er brukt i ELCD-databasen

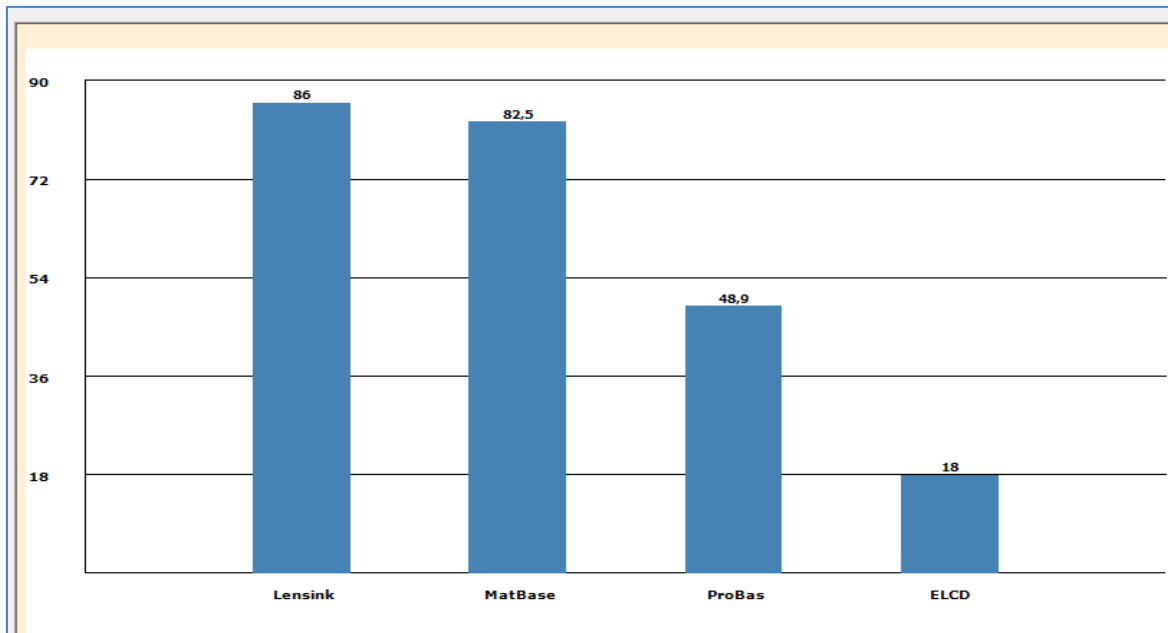
**Tabell 8 Utslipp til luft fra produksjon av 1 tonn kopperplate 0,6 mm tykk**

CO <sub>2</sub>	921,0	1,0	921,0
CO	0,7		
CH <sub>4</sub> (metan)	1,8	25,0	46,0
NO <sub>2</sub>	2,6		
N <sub>2</sub> O (lystgass)	0,021	298,0	6,2
NMVOC	0,4		
SO <sub>2</sub>	2,0		
CO <sub>2</sub> -ekvivalenter			973,2

Tabell 8 viser utslipp til luft fra produksjon av 1 kg kopperplate 0,6 mm tykk hentet fra ELCD. Indikatoren CO<sub>2</sub>-ekvivalenter er beregnet ved å bruke GWP-faktorer fra IPCC med 100 års levetid<sup>16</sup> for relevante klimagasser som bidrar til global oppvarming i følge Kyoto-protokollen. GWP-faktorer måler hvor mange kg av CO<sub>2</sub> som må til for å få en effekt tilsvarende 1 kg av en annen gitt drivhusgass. I følge Tabell 8 kreves det således 25 kg CO<sub>2</sub> for å få en effekt tilsvarende 1 kg metan (CH<sub>4</sub>).

<sup>16</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/Global\\_warming\\_potential](http://en.wikipedia.org/wiki/Global_warming_potential)

Figur 6 Energiforbruk ved produksjon av 1 kg kopper.



Figur 6 viser energibruken for framstilling av 1 kg kopper fra ulike kilder. Estimater fra MatBase gjelder for støpt kopper. MatBase oppgir den globale resirkuleringsgraden for kopper til å være 20%<sup>17</sup>, altså vesentlig lavere enn tilsvarende resirkulerings-grad benyttet i ELCD. Estimater fra Lensink er hentet fra den nederlandske studien som er omtalt tidligere. Her oppgis det en variasjon i energibruk for produksjon av 1 kg kopper fra 30 til 90 MJ/kg. Studien bruker selv energibruksfaktor på 86 MJ/kg for kopper. Ut fra diskusjonen ovenfor er det åpenbart ulike forutsetninger om resirkulering som gir variasjon i estimatene som er vist i figur 6.

## Stål

For å beregne energibruk og utslipp ved produksjon av stål skal vi bruke ProBas. Databasen inneholder opplysninger om energibruk og utslipp for produksjon av 1 kg stålmiks i Tyskland 2005. Dette stålet er en blanding av stål produsert med "blast open furnace" (BOF) metoden og "electric arc furnace" (EAF) metoden. I den første metoden blir råjern fra jernmalm omvandlet til stål med tilsetning av oksygen. Oksygenet binder seg med karbon, svovel, mangan og fosfor i råjernet. Disse stoffene blir dermed skilt ut og resten av råjernet omdannes til stål<sup>18</sup>. Karbonet binder seg med oksygen til CO<sub>2</sub> i gassform mens de andre materialene oksiderer i fast form.

I den andre metoden brukes ikke flytende råjern men solid jernmateriale som kan komme fra jernskrap eller fra råjern i fast form. Det jernbaserte materialet blir smeltet ved hjelp av elektroder<sup>19</sup>. Etter smelteprosessen blir de uønskede stoffene fjernet med oksygen slik som beskrevet ovenfor. Denne andre metoden er mer egnet til å bruke resirkulert stål. I miksen for Tyskland 2005 inngår 0,974 kg stålskrap for hver kg stål som blir produsert med EAF-metoden. I den første metoden (BOF) er tilsvarende tall 0,18 kg.

<sup>17</sup> <http://www.matbase.com/material/non-ferrous-metals/cast-copper/g-cuzn37pb/properties>

<sup>18</sup> ProBas - Details: Metall\Stahl-DE-Oxygen-2005

<sup>19</sup> ProBas - Details: Metall\Stahl-DE-Elektro-neu-2005

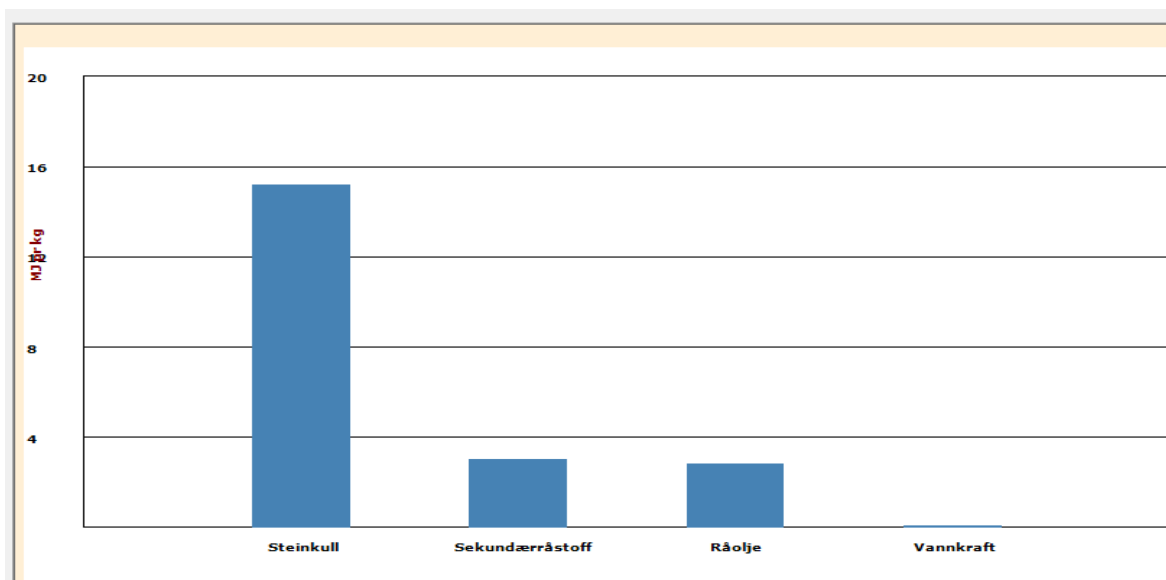
Stålmiksen fra Tyskland 2005 bruker 80% fra BOF-metoden 20% stål fra EAF-metoden. Dette innebærer at det benyttes omlag 34% resirkulert stål i produksjonen.

Tabell 9 Energiforbruk for produksjon av 1 kg stålmiks Tyskland 2005

Energikilde	MJ/kg
Atomkraft	-0,3
Biomasse-Reststoff	0,0
Brunkull	-0,3
Naturgass	-0,6
Råolje	2,8
Geotemisk	0,0
Avfall	0,0
Sekundær-råstoff	3,0
Solenergi	0,0
Steinkull	15,2
Vannkraft	0,1
Vindkraft	0,0
Sum	19,9

Tabell 9 viser energibruken i MJ/kg for produksjon av 1 kg med denne stålmiksen i Tyskland 2005. Til sammen brukes 19,9 MJ for en kg.

Figur 7 Energibruk for produksjon av 1 kg stålmiks i Tyskland 2005. De 4 viktigste energikildene.



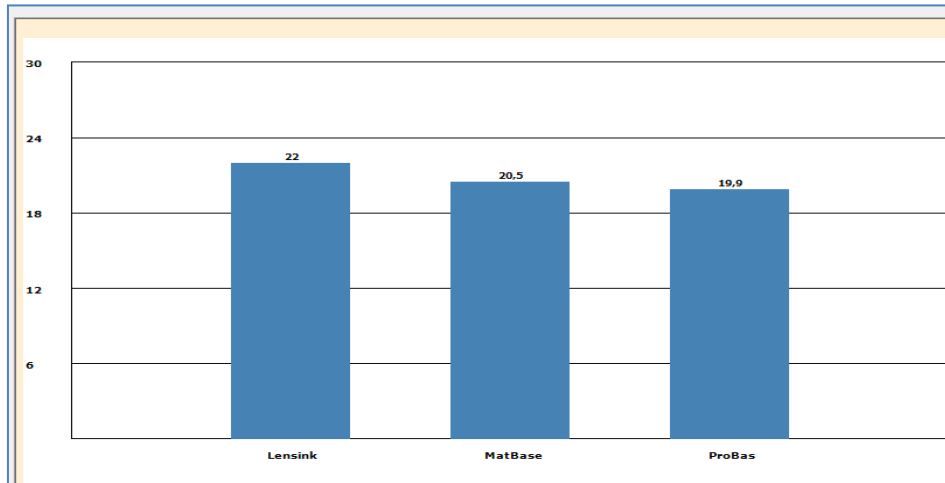
Figur 7 viser de fire viktigste energikildene for produksjon av 1 kg stålmiks i Tyskland 2005.

Tabell 10 Utslipp til luft fra produksjon av 1 kg stålmiks Tyskland 2005.

Utslippskategori	kg
Metan (CH <sub>4</sub> )	0,00627

Karbonmonoksid (CO)	0,026
Karbondioksid (CO <sub>2</sub> )	1,37
Lystgass (N <sub>2</sub> O)	1,19E-05
NMVOC	0,000162
Nitrogen-oxid (NO <sub>x</sub> )	0,00324
Svovel-dioksid (SO <sub>2</sub> )	0,00257
CO <sub>2</sub> -ekvivalenter	1,52

Figur 8 Energiforbruk for produksjon av 1 kg primærstål fra ulike kilder



Figur 8 viser energibruk for produksjon av 1 kg primærstål fra ulike kilder. I tillegg til ProBas er estimat fra MatBase<sup>20</sup> og estimat fra Lensink<sup>21</sup> inkludert. Figuren viser at estimat fra ProBas ligger lavest. Dette estimatet bygger på 34% resirkulert stål. Det er ukjent for mye resirkulering de andre estimatene bygger på, men variasjon i resirkuleringsgrad forklarer ventelig mesteparten av variasjonen i figuren.

## Varmevalset stål

Stål som brukes i produksjon av transportmidler er valset stål. ProBas inneholder oversikt over energibruk og utslipp fra produksjon av 1 kg varmevalset stål i Tyskland 2005. I denne produksjonen inngår stålmiksen som er beskrevet ovenfor som input. Det brukes 1,05 kg stålmiks for produksjon av 1 kg varmevalset stål.

Tabell 11 Energiforbruk for produksjon av 1 kg varmevalset stål Tyskland 2005

Energikilde	MJ/kg
Atomkraft	-0,04
Biomasse	0,01
Brunkull	-0,1
Naturgass	0,4
Råolje	3,0

<sup>20</sup> <http://www.matbase.com/material/ferrous-metals/high-temperature-steel/13crmo-4-5/properties>

<sup>21</sup> <http://dissertations.ub.rug.nl/FILES/faculties/science/2005/s.m.lensink/thesis.pdf> , side 35



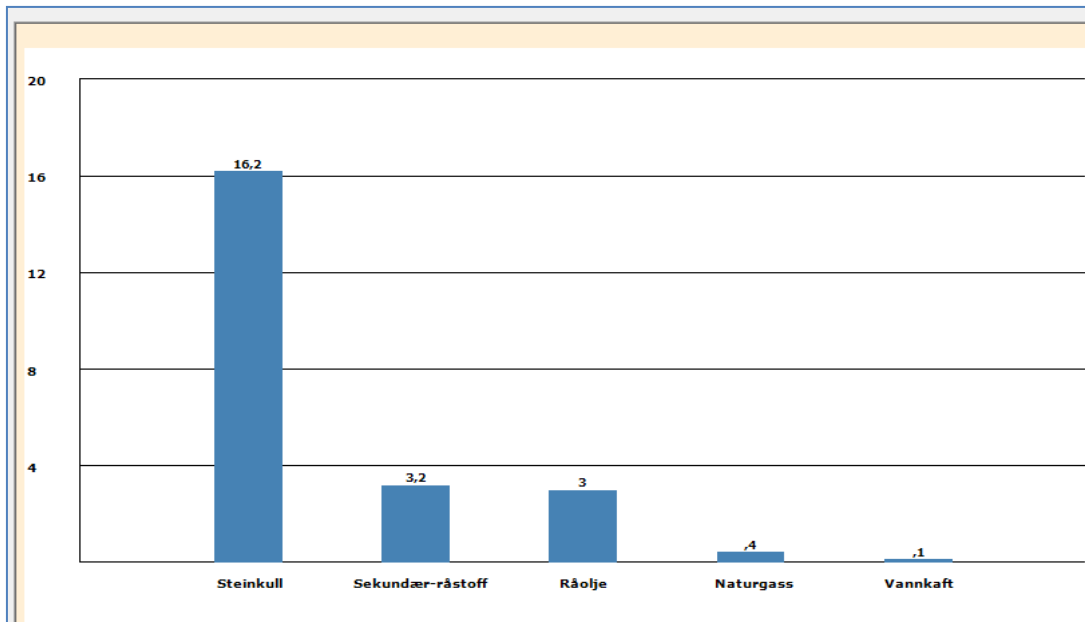
Geotemisk	0,00001
Avfall	0,003
Sekundærråstoff	3,2
Solenergi	-0,0004
Steinkull	16,2
Vannkraft	0,1
Vindkraft	-0,01
SUM	22,8

Tabell 11 viser energiforbruket for produksjon av 1 kg varmevalset i Tyskland 2005. Negative verdier framkommer ved at energien brukes til flere formål. Dette innebærer en system-utviding av modellen siden for eksempel prosessvarme (oppvarming av lokaler) blir en del av systemet selv om det ikke er en del av produktet. I Tabell 11 vil bidraget fra atomkraft til f eks prosessvarme være større enn bidraget til produksjon av elektrisitet som benyttes i produksjonen. Dermed framkommer en negativ verdi for denne energikilden.

Alternativet er å bare regne med positive bidrag fra energikildene til bruk i selve produksjonen. Vi kjenner ikke bruttobidragene fra energikildene i Tabell 11. Det er ikke bare energikilder med negative verdier som har fratrukk fra disse bruttoverdiene. Alle energikilder som kan benyttes til flere enn ett formål vil ha lavere bidrag enn disse energikildene ville hatt om systemgrensene ikke var blitt utvidet. Det er ikke mulig med bakgrunn i data fra ProBas å regne seg tilbake til bruttobidragene. Vi bruker derfor tallene slik de produseres i databasen. Alle tall fra ProBas vil være korrigert med de samme systemgrenser slik at sammenlikning for ulike materialer fra denne databasen er reelle i den betydning at vi sammenlikner tall med samme innhold. Derimot vil det kunne være en feilkilde med sammenlikning av tall fra andre databaser.

I følge Tabell 11 brukes til sammen 22,8 MJ for å produsere 1 kg varmevalset stål i Tyskland 2005. Figur 9 viser bidragene fra de 5 største energikildene i denne produksjonen.

**Figur 9 Energibruk for produksjon av 1 kg varmevalset i Tyskland 2005. De 4 viktigste energikildene.**



Tabell 12 Utslipp til luft fra produksjon av 1 kg varmevalset stål Tyskland 2005.

Utslipp	kg
Metan (CH <sub>4</sub> )	0,01
Karbonmonoksid (CO)	0,03
Karbondioksid (CO <sub>2</sub> )	1,55
Lystgass (N <sub>2</sub> O)	0,00002
NMVOG	0,0002
Nitrogen-oxid (NO <sub>x</sub> )	0,004
CO <sub>2</sub> -ekvivalenter	1,71

Tabell 12 viser de viktigste utslipp til luft fra produksjon av 1 kg varmevalset stål i Tyskland 2005. Utslippene inkluderer utslipp fra hele produksjonskjeden fra utvinning av råstoff til ferdigprodukt. Til sammen slippes det ut 1,71 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter for hver kg varmevalset stål.

Probas inneholder også data for stål produsert med "electric arc furnace"-metoden for Tyskland 2005. Dette datasettet bygger på en betydelig mer resirkulering av stål enn det varmevalsete stålet vi har sett på til nå. For hver kg stål produsert med denne metoden benyttes 0,974 kg stål-skrap og 0,1 kg råjern. Dette gir en resirkuleringsandel på 90,7%. Det varmevalsete stålet hadde en resirkuleringsgrad på 34%.

Tabell 13 Energibrukstall for resirkulert stål Tyskland 2005. MJ pr kg produsert stål.

MJ/kg	Stålmiks 34% resirkulering	"Electric arc furnace" 90,7% resirkulering
Atomkraft	-0,3	1,1
Biomasse	-0,02	0,14
Brunkull	-0,3	1,0

Naturgass	-0,6	0,4
Råolje	2,8	0,7
Geotemisk	0,00001	0,00000
Avfall	-0,036	0,194
Sekundærråstoff	3,0	0,4
Solenergi	-0,001	0,003
Steinkull	15,2	3,3
Vannkraft	0,1	0,1
Vindkraft	0,0	0,1
Sum	19,9	7,5

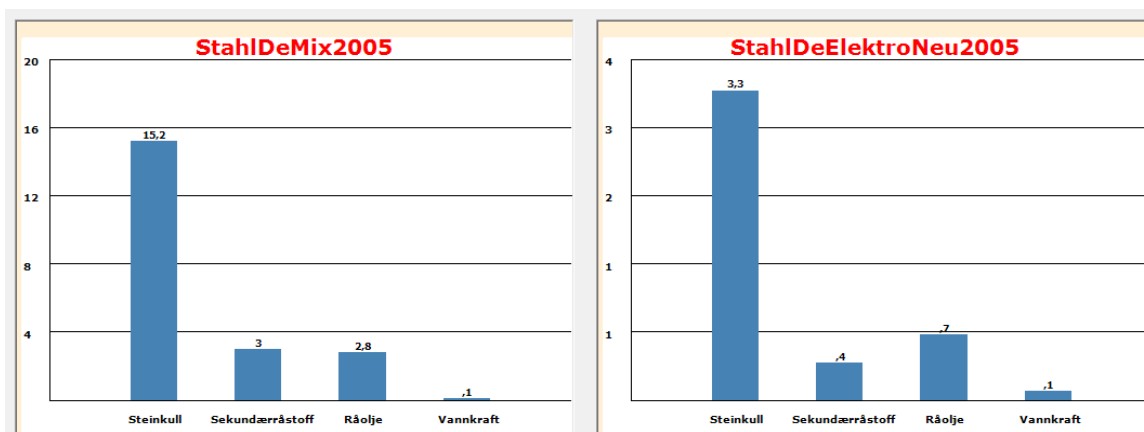
Tabell 13 viser energibrukstall for 1 kg stål produsert med ulike forutsetninger om resirkulering Tyskland 2005. Kolonnen til venstre med 34% resirkulering er primær-stålmiksen som det varmevalsedde stålet benytter. Kolonnen til høyre er stål produsert med "electric arc furnace"-metoden med 90,7% resirkulering. Tabellen viser at stålet med mest resirkulering bare har omlag 38% av energibruken for stålet med minst resirkulering.

Tabellen viser også at varmevalsing av stålet øker energibruken fra 19,9 MJ/kg til 22,8 MJ/kg, det vil si en økning på omlag 14,6%.

Figur 10 viser de 4 viktigste energikildene for stål produsert med ulik resirkuleringsgrad i Tyskland 2005. Grafen til venstre med tittel "StahlDeMix2005" er stålmiksen som det varmevalsedde stålet bruker. Tittelen på grafen er identisk med det interne navnet for datasettet i ProBas. Grafen til høyre med tittelen "StahlDeElektroNeu2005" er stål fra "electric arc furnace"-metoden med 90,7% resirkuleringsgrad<sup>22</sup>. Vi ser at energi fra sekundærråstoff faktisk spiller en mindre rolle for det mest resirkulerte stålet.

Figur 10 De viktigste energikilder for stål med ulik resirkuleringsgrad Tyskland 2005

<sup>22</sup> ElektroNeu betyr at stålet er produsert med "electric arc furnace" med ny teknologi.



Tabell 14 Utslippsfaktorer pr kg stål med ulik resirkuleringsgrad Tyskland 2005

	Stålmiks 34% resirkulering	"Electric arc furnace" 90,7% resirkulering
Metan (CH <sub>4</sub> )	0,01	0,00127
Karbonmonoksid (CO)	0,03	0,0148
Karbondioksid (CO <sub>2</sub> )	1,58	0,524
Lystgass (N <sub>2</sub> O)	0,00001	1,12E-05
NMVOC	0,0002	3,71E-05
Nitrogen-oxid (NO <sub>x</sub> )	0,004	0,00078
CO <sub>2</sub> -ekvivalenter	1,76	0,556

Tabell 14 viser utslippstall for stål produsert med ulik resirkuleringsgrad i Tyskland 2005. Tabellen viser at en økning av resirkulering fra 34% til 91% reduserer utslipp av CO<sub>2</sub>-ekvivalenter med mer enn to tredjedeler<sup>23</sup>. Tilsvarende reduksjoner gjør seg gjeldende for andre utslippskategorier.

Databasen ELCD inneholder estimat for energibruk og utslipp til luft for varmevalset stål produsert med en miks av de to produksjonsmetodene "open blast furnace" og "electric arc furnace"<sup>24</sup>. Estimateret er for global produksjon og gjelder for 2000. Det er ikke oppgitt hvor mye hver produksjonsmåte bidrar med. Det er beregnet en global resirkuleringsgrad på 80% for det varmevalsete stålet. Det varmevalsete stålet brukes til stålbjelker og til stålplater.

Tabell 15 Energibruk for produksjon av 1 kg varmevalset stål ELCD

Energikilde	MJ/kg
Råolje	1,8
Steinkull	7,4
Naturgass	2,5

<sup>23</sup> Tabell 12 og og tabell 10 viser at utslippsfaktorene for CO<sub>2</sub>-ekvivalenter i følge ProBas faktisk er lavere for varmevalset stål (1,71 kg) enn for primær-stålmiksen (1,76 kg) som det benytter selv om energibruken er større.

<sup>24</sup> [http://ca.jrc.ec.europa.eu/lcaifohub/datasets/html/processes/f9d4581e-14de-417e-8f9f-6c74e6f14051\\_02.00.000.html](http://ca.jrc.ec.europa.eu/lcaifohub/datasets/html/processes/f9d4581e-14de-417e-8f9f-6c74e6f14051_02.00.000.html)

Sum	11,7

Tabell 15 viser energibruken i MJ/kg for produksjon av 1 kg varmevalset stål. Til sammen er energibruken 11,7 MJ for et kilo varmevalset stål. Tabell 15 viser at steinkull er den viktigste energikilden, den står alene for over 63% av samlet energibruk. Det er kun oppgitt fossile energikilder i estimatet fra ELCD.

Tabell 16 Utslipp til luft for produksjon av 1 kg varmevalset stål fra ELCD

Utslippskategori	kg	GWP <sup>25</sup> (Global Warming Potential)	CO <sub>2</sub> - ekvivalenter
CO <sub>2</sub>	1,10	1,00	1,10
CO	0,01		
CH <sub>4</sub>	0,001	25,00	0,02
NO <sub>2</sub>	0,002		
N <sub>2</sub> O	0,00005	298,00	0,01
NMVOG	0,0001		
particles (> PM10)	0,00007		
particles (PM2.5 - PM10)	0,0006		
SO <sub>2</sub>	0,002		
CO <sub>2</sub> -ekvivalenter			1,13

Tabell 16 viser utslipp til luft fra produksjon av 1 kg varmevalset stål ifølge estimatet fra ELCD. Utregningen av CO<sub>2</sub>-ekvivalenter er basert på tre klimagasser av til sammen seks som inngår i Kyoto Basket. De tre er CO<sub>2</sub>, CH<sub>4</sub> (metan) og N<sub>2</sub>O (nitrus-oxid). Tabell 16 viser at utslipp av CO<sub>2</sub>-ekvivalenter for 1 kg varmevalset stål er omlag 1,13 kg. Tabellen viser hvilke omregningsfaktorer (GWP) som er brukt for å regne utslipp av disse klimagasser om til CO<sub>2</sub>-ekvivalenter. Faktorene måler hvor mange kg CO<sub>2</sub> som må til for å få samme effekt på global oppvarming i et 100-års perspektiv som 1 kg av tilsvarende klimagass.

National Renewable Energy Laboratories I USA, et kontor under US. Department of Energy, har sammen med LCA-eksperter fra USA utviklet en offentlig tilgjengelig database for LCA studier. Målsettingen er å skaffe "konsistente og transparente" datasett for LCA-analyse<sup>26</sup>. Et datasett er en oppstilling av input og output fra hele produksjonskjeden for en tjeneste eller et gode. Databasen inneholder et estimat for varmevalset stål<sup>27</sup>. Dette inneholder bare stål fra BOF-produksjonsmetoden. Det er ikke oppgitt hvilke forutsetninger om resirkulering som estimatet bygger på. Generelt gjelder at BOF-produksjonsmåten har mye mindre resirkulert materiale enn EAF-produksjonsmetoden.

<sup>25</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/Global\\_warming\\_potential](http://en.wikipedia.org/wiki/Global_warming_potential)

<sup>26</sup> <http://www.nrel.gov/lci/about.html>

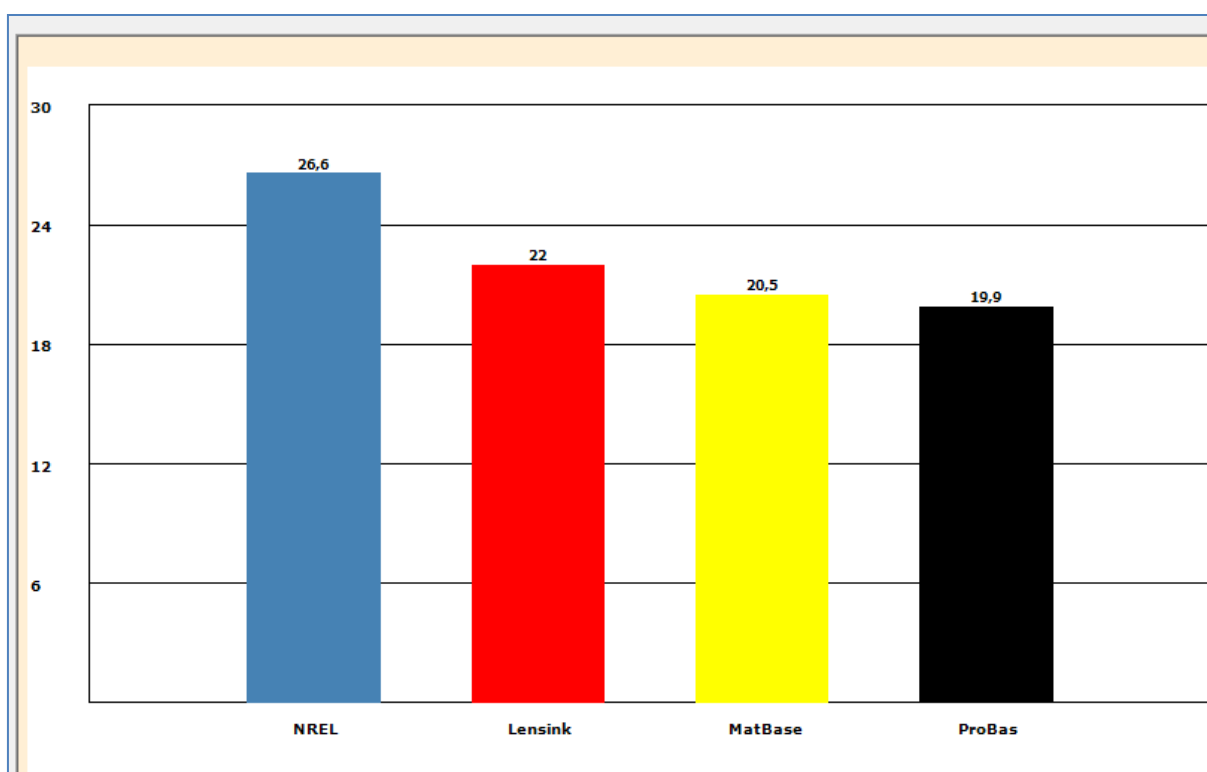
<sup>27</sup> <http://www.nrel.gov/lci/database/default.asp>, estimatet har intern-navn "hot rolled sheet, steel, at plant". Det er tilgjengelig under kategorien "Primary metal manufacturing".

Tabell 17 Estimat for 1 kg med varmevalset stål fra NREL-database

Energikilde	kg	Brennverdi (MJ/kg)	MJ/kg varmevalset stål
Steinkull	0,12	26,4	3,2
Kull fra bitumen	0,63	24,8	15,6
Vannkraft	0,18	1	0,2
Naturgass	0,07	46,8	3,4
Råolje	0,07	42	2,8
Atomkraft	0,00000049	2991000	1,5
Treavfall	0,0001	9,5	0,0
Sum			26,6

NREL-databasen skiller mellom kull og kull fra bitumen (tjærelignende stoff). Vi har kalt den første typen kull steinkull. Tabell 17 viser at estimatet fra NREL ligger på 26,6 MJ/kg. Dette er høyere enn ProBas, men estimatet baserer seg også på mindre resirkuleringsgrad.

Figur 11 Energiforbruk for produksjon av 1 kg varmevalset stål fra ulike kilder



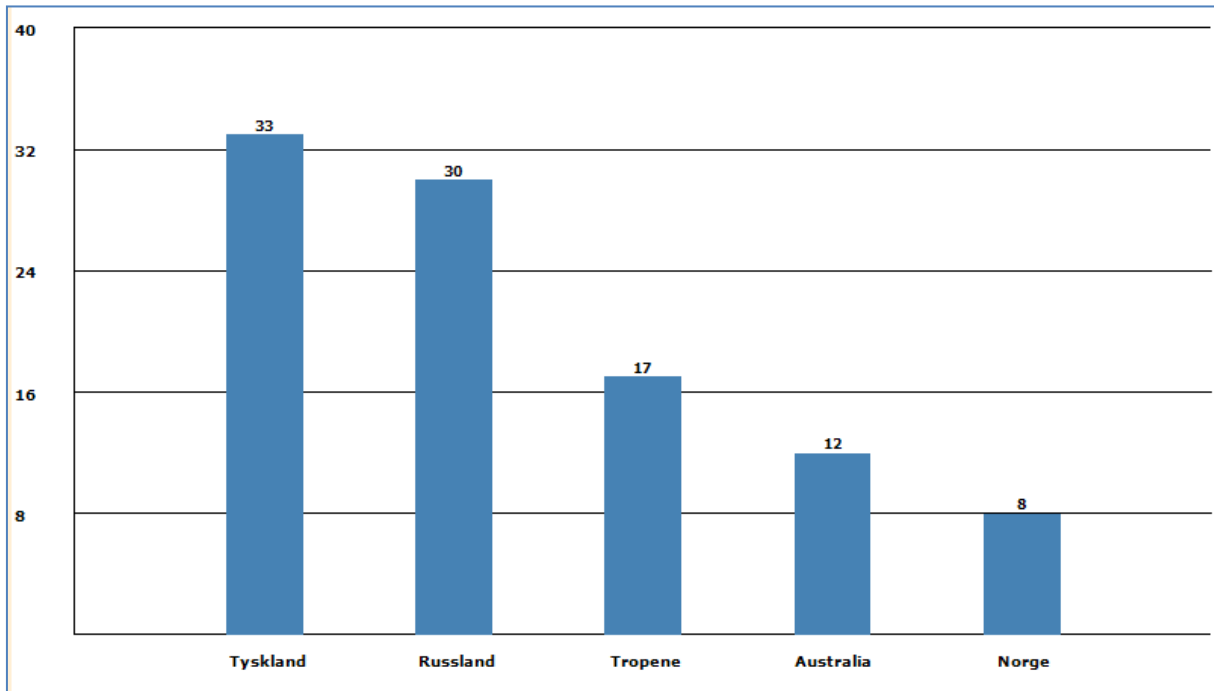
Figur 11 viser ulike estimat for energibruk for produksjon av 1 kg varmevalset stål. Estimater fra ELCD ligger lavest, dette skyldes en resirkuleringsgrad på 80% som er høyere enn for de andre kildene. Estimater fra ProBas bygger på produksjon av primærstål med en resirkuleringsgrad på 34%.

## Aluminium

Det finnes ikke tall i ProBas for bearbeidet aluminium, bare for primærmaterialet aluminium.

I 2005 produserte Tyskland 643 000 tonn aluminium. Samme år importerte Tyskland 2,88 millioner tonn med aluminium<sup>28</sup>, mens landet eksporterte 1,8 millioner tonn<sup>29</sup>. Tyskland er derfor avhengig av import av aluminium. Vi skal derfor bruke opplysninger for aluminiummiks i Tyskland 2005 (internavn Aluminium-mix-DE-2005)<sup>30</sup>. Miksen er basert på import fra forskjellige land med forskjellig elektrisitetmiks. Figur 12 viser sammensetningen av importmiksen i prosent.

Figur 12 Sammensetning av aluminiummiks Tyskland 2005. Prosent.



Tabell 18 Energibruk MJ/kg for aluminiummiks Tyskland 1005

Energikilde	MJ/kg
Atomkraft	23,9
Biomasse	1,7
Brunkull	13,7
Naturgass	45,8
Råolje	27,8
Geotemisk	0,0
Avfall	3,3
Sekundær-råstoff	-0,2
Solenergi	0,03
Steinkull	41,4

<sup>28</sup> <http://www.eaa.net/upl/4/default/doc/alu%20Use%20by%20country%202007%20jan%202009.pdf>, side 9. Importen fordeler seg på 1,851 mill tonn med "aluminium ingot" og 1,033 mill tonn med "mill products".

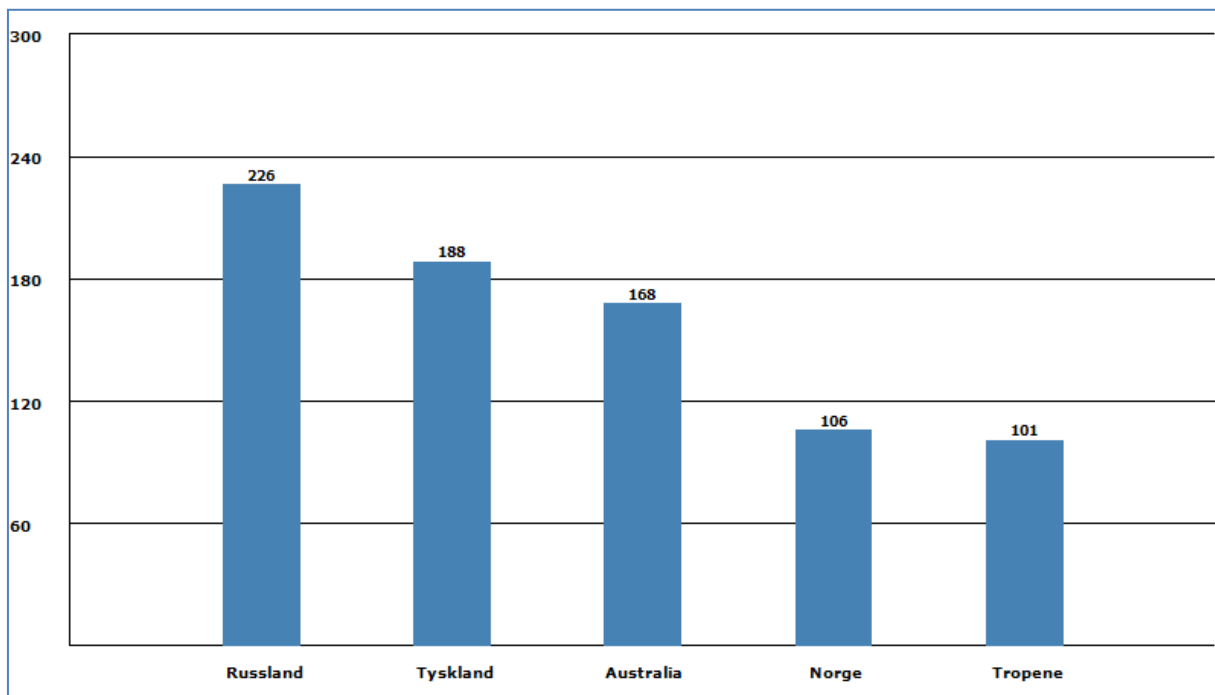
<sup>29</sup> inid, eksporten fordeler seg med 0,447 mill tonn med "aluminium ingot" og 1,35 mill tonn med "mill products".

<sup>30</sup> [ProBas - Details: Metall\Aluminium-mix-DE-2005](#)

Vannkraft	17,7
Vindkraft	0,7
Sum	175,9

Tabell 18 viser energibruken for produksjon av 1 kg aluminium med den nevnte importmiks. For alle land utenom Russland er det brukt en andel sekundærråstoff på 44,5%. For Russland er det brukt en andel på 51,5%. Omregnet i kWh brukes det 48,9 kWh for hver kg aluminium i produktmiksen fra Tyskland 2005.

Figur 13 Energibruk for 1 kg aluminium i ulike land som inngår i aluminiummiks Tyskland 2005



Figur 13 viser hvor mye energi som forbrukes pr kg aluminium for hver av landene som inngår i aluminiumsmiksen for Tyskland 2005. Forskjellene er store, det forbrukes mer enn 2 ganger så mye energi i Russland som i Norge.

Tabell 19 Andeler for ulike energikilder ved produksjon av aluminium i ulike land

Andeler	Norge	Tropene <sup>31</sup>	Australia	Russland	Tyskland
Atomkraft	1,6	1,6	1,0	14,0	22,3
Biomasse	0,0	0,0	0,0	0,0	2,7
Brunkull	1,4	1,3	0,8	0,7	20,4
Naturgass	2,6	2,2	17,9	47,7	14,7
Råolje	45,1	33,2	8,3	11,0	14,8
Geotermisk	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Avfall	1,8	0,5	2,5	0,3	3,9

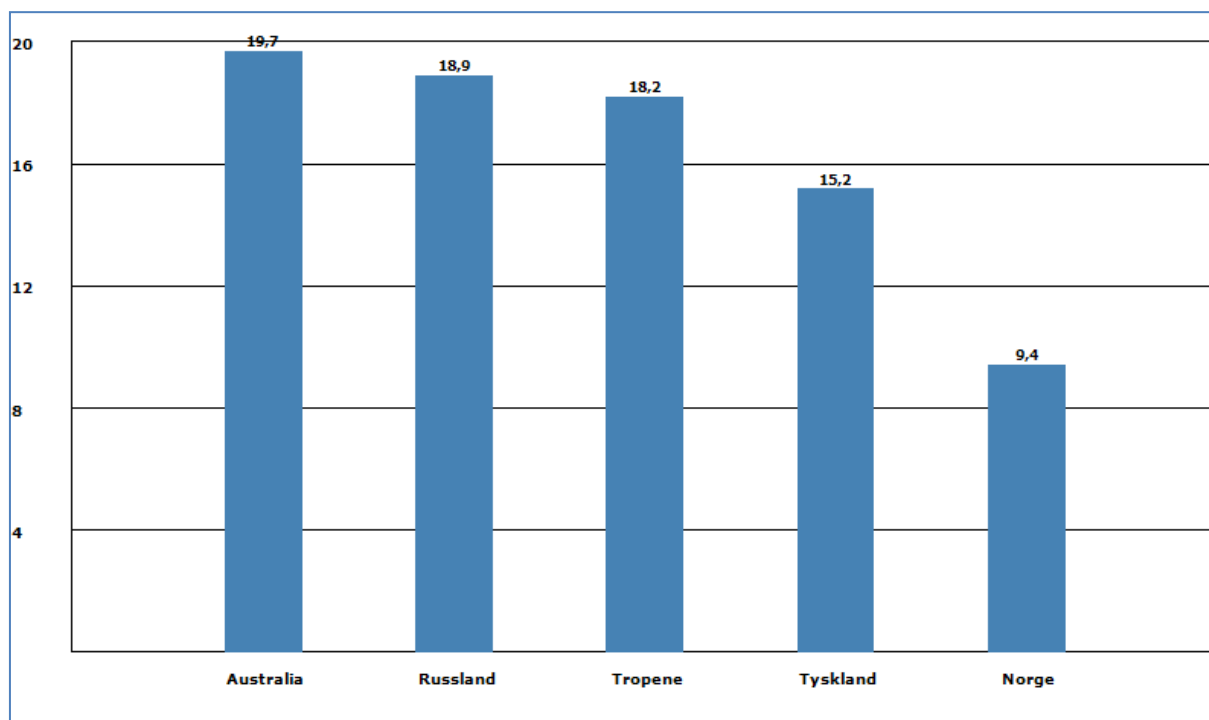
<sup>31</sup> Omfatter Brasil, Venezuela og Sør-Afrika. Se *Beschreibung* under *Allgemeine Informationen* under ProBas, Aluminium-mix-DE-2005/Aluminium-mix-DE-2005



Sekundærråstoff	-0,3	-0,3	-0,1	-0,1	0,0
Solenergi	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
Steinkull	2,3	6,4	67,3	21,6	19,2
Vannkraft	45,5	55,0	2,4	4,8	1,0
Vindkraft	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2
Sum	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0

Tabell 19 viser fordelingen av energikilder for produksjon av 1 kg aluminium for land som inngår i aluminiummiksen. Norge har en høy andel råolje siden all energi er inkludert, inklusive transport av alumina til Norge. Norge har en høy andel vannkraft, men mindre enn gjennomsnittet for tropene. Australia bruker mye steinkull mens Tyskland bruker mye atomkraft og brunkull fra åpne dagbrudd. Russland bruker mye naturgass og steinkull. Definerer vi naturgass, råolje, brunkull og steinkull som fossile brennstoff varierer andelen fossilt brennstoff fra 43,1% i tropene til 94,3% i Australia.

Figur 14 Utslipp CO<sub>2</sub>-ekvivalenter for produksjon av 1 kg aluminium i ulike land



Figur 14 viser utslipp av CO<sub>2</sub>-ekvivalenter for de ulike land som er med i aluminiummiksen for Tyskland 2005. Til sammen slipper denne miksen ut 16,9 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter pr produsert kg aluminium. Variasjonen er stor, Australia har et utslipp som er over dobbelt så stort som i Norge.

Tabell 20 Utslipp til luft av ulike kategorier for produksjon av 1 kg aluminium for produksjonsmiksen Tyskland 2005

Utslipp	kg
Metan (CH <sub>4</sub> )	0,0528
Karbonmonoksid (CO)	0,145
Karbondioksid (CO <sub>2</sub> )	12,6
Lystgass (N <sub>2</sub> O)	0,000375

NMVOC	0,00147
Nitrogen-oxid (NOx)	0,0277
CO <sub>2</sub> -ekvivalenter	16,9

Tabell 20 viser utslipp av ulike kategorier for produksjon av 1 kg aluminium med produksjonsmiksen i Tyskland 2005.

ProBas inneholder også et datasett for resirkulert aluminium i Tyskland 2005 (intemavn Aluminium-DE-sekundär-2005)<sup>32</sup>. Dette aluminiumet inneholder 94,3% resirkulert aluminium i motsetning til 44,5% for aluminiumet som er presentert ovenfor. Økning i resirkulering på omlag 50 prosentpoeng fører til at energibruken går ned fra 175,9 MJ/kg til 25,6 MJ/kg, altså en nedgang på mer enn 85%!

**Tabell 21 Energibruksfaktorer for resirkulert aluminium Tyskland 2005. MJ/kg.**

Energikilde	MJ/kg
Atomkraft	5,1
Biomasse	0,2
Brunkull	4,3
Naturgass	9,9
Råolje	2,1
Geotemisk	0,00001
Avfall	1,5
Sekundærråstoff	-0,003
Solenergi	0,003
Steinkull	2,3
Vannkraft	0,2
Vindkraft	0,1
Sum	25,6

Tabell 21 viser utslippsfaktorer for ulike kategorier for resirkulert aluminium Tyskland 2005. Tabellen viser at en økning i resirkuleringsgraden på 50 prosentpoeng reduserer utslipp av CO<sub>2</sub>-ekvivalenter fra 16,9 kg til 1,72 kg pr kg produsert aluminium. Dette er en nedgang på nesten 90%.

**Tabell 22 Utslipp til luft av ulike kategorier for produksjon av 1 kg resirkulert aluminium Tyskland 2005**

Metan (CH <sub>4</sub> )	0,00252
Karbonmonoxid (CO)	0,00832
Karbondioksid (CO <sub>2</sub> )	1,53
Lystgass (N <sub>2</sub> O)	3,90E-05
NMVOC	0,000157
Nitrogen-oxid (NOx)	0,00256
CO <sub>2</sub> -ekvivalenter	1,72

<sup>32</sup> [ProBas - Details: Metall\Aluminium-DE-sekundär-2005](#)

Tabell 22 viser energibrukstall for produksjon av aluminium fra ulike kilder. ELCD (EU's database for LCA-studier) er et estimat for aluminiumplate med tykkelse 0,2-0,4 mm. Estimater fra EAA gjelder for aluminiumbarre mens de andre estimatene gjelder for aluminium primærmetall. Tabellen viser også hvilke resirkuleringsgrader som er lagt til grunn for estimatene.

Tabell 23 Energibruksfaktorer og utslippsfaktorer for aluminium fra ulike kilder

Kilde	MJ/kg	Resirkuleringsgrad (%)	CO <sub>2</sub> -ekvivalenter
ProBas	176	44,5	16,9
MatBase	161	30	
EAA <sup>33</sup>	173	27,3	9,7
Lensink	140	?	
ELCD	57	79	3,0

Tabell 24 URL for de ulike kilder

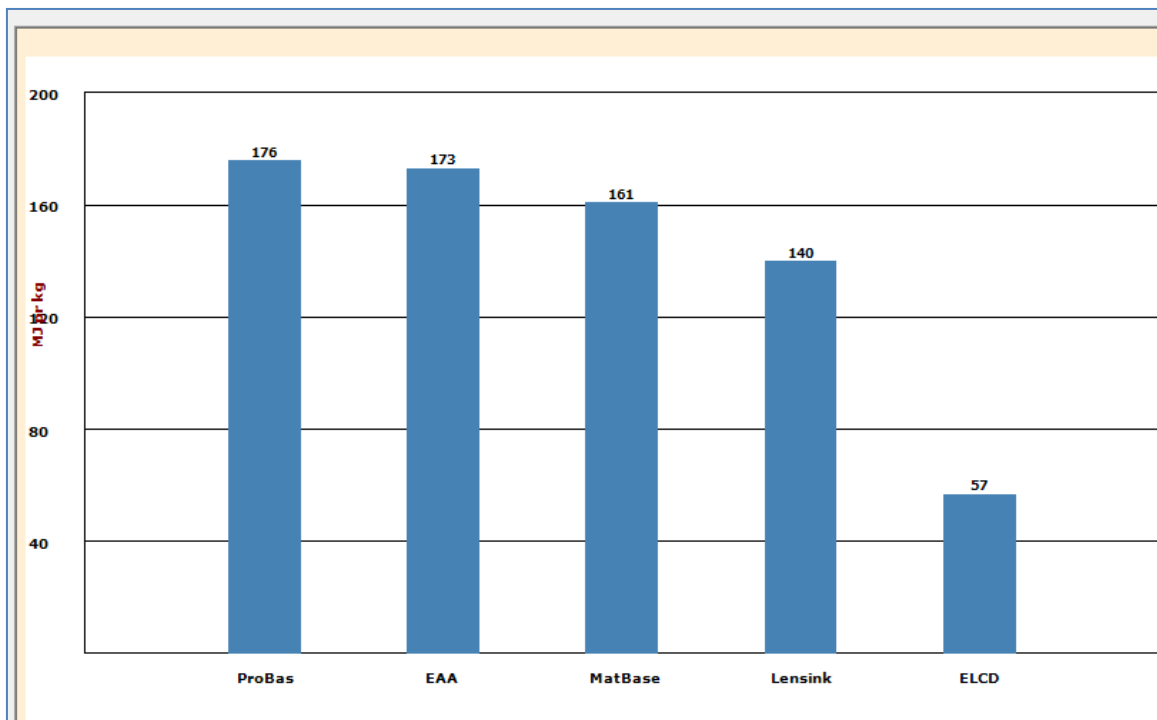
Kilde	URL
ProBas	<a href="#">ProBas - Details: Metall\Aluminium-mix-DE-2005</a>
MatBase	<a href="http://www.matbase.com/material/non-ferrous-metals/cast-aluminium/g-alcu4img.204/properties">http://www.matbase.com/material/non-ferrous-metals/cast-aluminium/g-alcu4img.204/properties</a>
EAA <sup>34</sup>	<a href="http://www.eaa.net/upl/4/en/doc/EAA%20Environmental%20profile%20report%20May08.pdf">http://www.eaa.net/upl/4/en/doc/EAA Environmental profile report May08.pdf</a>
Lensink	<a href="http://dissertations.ub.rug.nl/FILES/faculties/science/2005/s.m.lensink/thesis.pdf">http://dissertations.ub.rug.nl/FILES/faculties/science/2005/s.m.lensink/thesis.pdf</a>
ELCD	<a href="http://lca.jrc.ec.europa.eu/lcaifohub/datasets/html/processes/09215eb1-5fc9-11dd-ad8b-0800200c9a66_02.00.000.html">http://lca.jrc.ec.europa.eu/lcaifohub/datasets/html/processes/09215eb1-5fc9-11dd-ad8b-0800200c9a66_02.00.000.html</a>

Figur 15 er en grafisk framstilling av Tabell 23. Figuren viser at estimatet fra ProBas er høyest, selv om resirkuleringsgraden er høyere for dette estimatet enn for estimatene fra EAA og MatBase.

Figur 15 Energibruksfaktorer for aluminium

<sup>33</sup> EAA står for European Aluminium Association, den europeiske bransjeorganisasjonen for aluminium. Estimater gjelder for EU+Norge+Sveits+Island i 2005.

<sup>34</sup> EAA står for European Aluminium Association, den europeiske bransjeorganisasjonen for aluminium. Estimater gjelder for EU+Norge+Sveits+Island i 2005.



Estimatene fra ProBas kommer høyt ut på grunn av importmiksen som benyttes. Energieffektiviteten varierer mellom landene som aluminiumet importeres fra. Figur 12 viser at bruken varierer fra 226,3 MJ/kg i Russland til 101,2 i tropene og 105,8 i Norge. Denne variasjonen slår ut i høyere estimat fra ProBas enn fra de andre kildene.

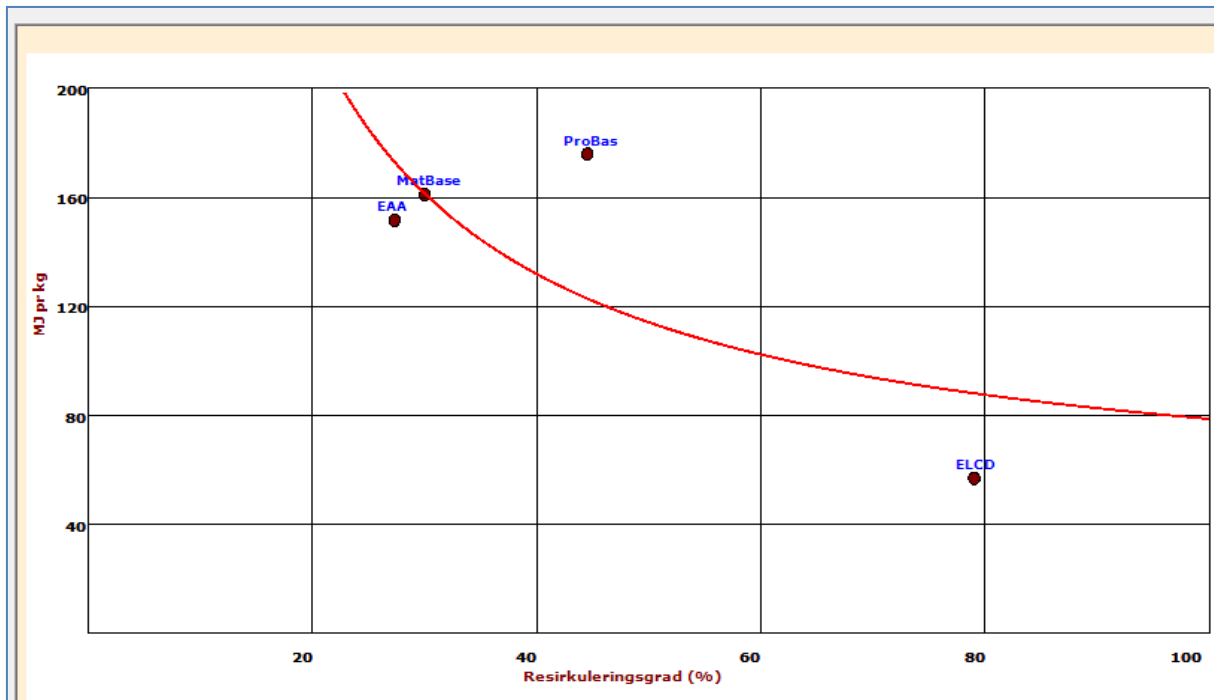
MatBase oppgir tre produksjonssteder for aluminiumet: USA med 24%, CIS 13% og Canada med 9%. Til sammen dekker dette 46% av produksjonen. CIS omfatter 11 tidligere Sovjet-republikker<sup>35</sup>. Figur 11 viser at Russland alene står for 30% av importmiksen som er brukt i estimatet fra ProBas. Denne forskjellen forklarer variasjonen i estimatene fra ProBas og MatBase. Når det gjelder estimatet fra EAA bygger dette på produksjon i EU-området, men det er korrigert for energi bundet til importert aluminium. EAA regner med at 36% av all primær-aluminium brukt i Europa i 2005 er importert<sup>36</sup>. Estimaten fra EAA ligger meget nær estimatet fra ProBas og bygger på noenlunde samme forutsetninger om importmiksen av primæraluminium.

Når det gjelder estimatet fra Lensink kjenner vi ikke resirkuleringsgrad eller produksjonsstedet for aluminiumet som estimatet gjelder for. Det er derfor vanskelig å vurdere dette estimatet opp mot estimatet fra ProBas. Estimaten fra ELCD kommer også fra EAA og gjelder for europeisk aluminium produsert i Europa. I tillegg er resirkuleringsgraden mye høyere for dette estimatet enn hva gjelder for ProBas, og resirkuleringsgraden gjelder bare for europeisk produksjon.

Figur 16 Sammenheng mellom resirkuleringsgrad og energiforbruk i MJ/kg for produksjon av 1 kg aluminium.

<sup>35</sup> Georgia er fremdeles medlem, men vil offisielt trekke seg ut 17 august 2009, [http://en.wikipedia.org/wiki/Commonwealth\\_of\\_Independent\\_States](http://en.wikipedia.org/wiki/Commonwealth_of_Independent_States)

<sup>36</sup> [http://www.eaa.net/upl/4/en/doc/EAA\\_Environmental\\_profile\\_report\\_May08.pdf](http://www.eaa.net/upl/4/en/doc/EAA_Environmental_profile_report_May08.pdf), side 7.



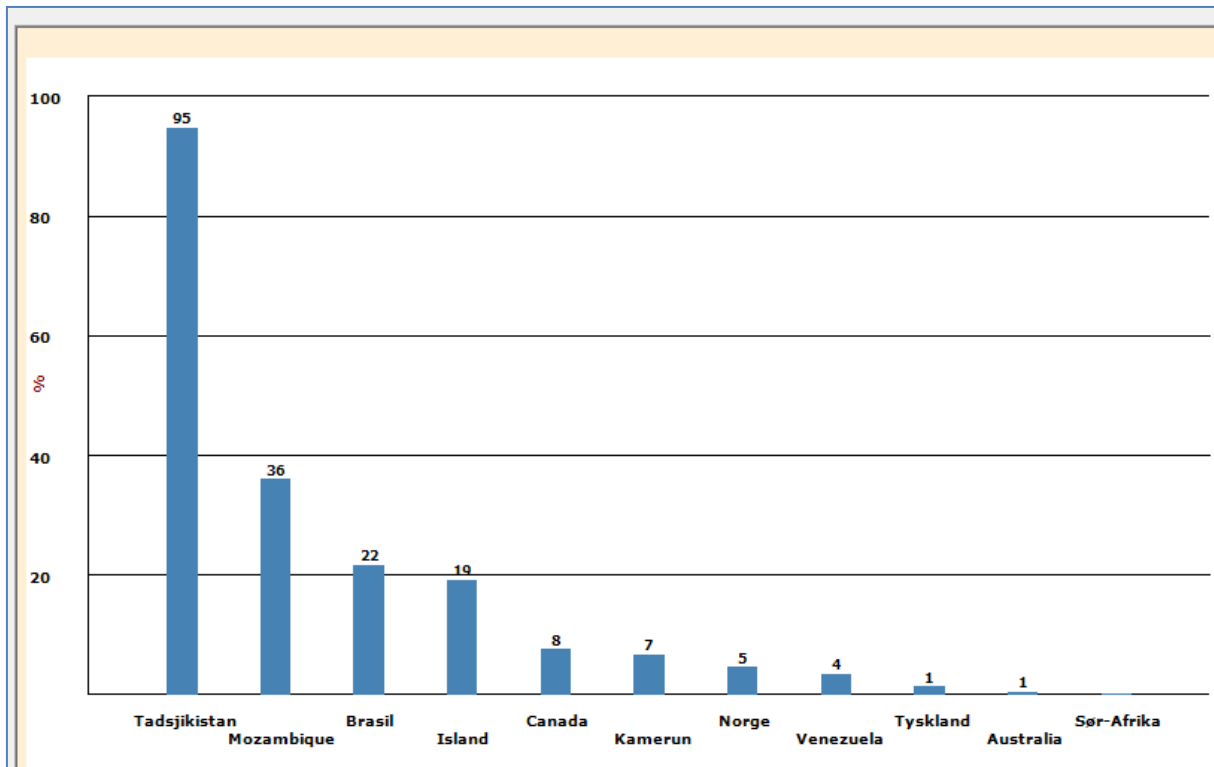
Figur 16 viser sammenhengen mellom resirkuleringsgrad og energiforbruk i MJ pr kg for produksjon av 1 kg aluminium. Kurven som er estimert i figuren vil maksimalt gi et energiforbruk på 78 MJ/kg med 100% resirkuleringsgrad. Dette er høyere enn hva ELCD estimerer for Europa alene med 79% resirkulering. Siden estimatene i figuren inkluderer produksjon utenfor Europa, må kurven forstås som en tilnærmet global effekt av resirkulering.

Utslippsfaktorene for CO<sub>2</sub>-ekvivalenter er hentet fra tre kilder. Estimatet fra ELCD er beregnet ut fra europeisk produksjon med en resirkuleringsgrad på 79%. Det er heller ikke tatt hensyn til import av primæraluminium. Resirkuleringsgraden er mye høyere enn for andre estimat og virker lite representativt.

Estimatet fra EAA bygger på en re-evaluering av elektrisitetstaksen brukt til produksjon i Europa i 2005. EAA hevder<sup>37</sup> at vannkraftens andel av total energibruk har økt til 58% på grunn av utvidelse av aluminiumsproduksjonen i Norge og Island. Videre hevder EAA at russiske aluminiumsverk bruker mye vannkraft og at land som eksporterer mye aluminium til Europa slik som Mozambique, Kamerun, Tadsjikistan og Canada bruker mye vannkraft. Til sammenlikning bygger ProBas-estimatet på 12% import fra Australia som bruker kull til aluminiumsproduksjon. Videre står Brasil, Venezuela og Sør-Afrika (under fellesbetegnelsen Tropene) for 17% av import til Tyskland. Vannkraftandelen i ProBas-estimatet er på 10%, vesentlig lavere enn estimatet fra EAA. Dette forklarer forskjellen i utslippsfaktorer for CO<sub>2</sub>-ekvivalenter mellom de to estimatene.

Figur 17 Andel vannkraft av total produsert energi i utvalgte land

<sup>37</sup> [http://www.eaa.net/upl/4/en/doc/EAA\\_Environmental\\_profile\\_report\\_May08.pdf](http://www.eaa.net/upl/4/en/doc/EAA_Environmental_profile_report_May08.pdf), side 35



Figur 17 viser andel vannkraft av totalt produsert energi i ulike land som er nevnt i EAA-rapporten. Data er hentet fra IEA og gjelder all produsert energi, ikke bare den som brukes til aluminiumsproduksjon<sup>38</sup>. I tillegg er det tatt med land som inngår i produksjonsmiksen til Tyskland som brukes i ProBas. Figuren viser klart at de land som eksporterer til EU i følge EAA har høyere andel vannkraft enn de eksportland som er benyttet i estimatet fra ProBas. I tillegg vil Norge ha en mye høyere vannkraftandel for produksjon av aluminium enn det som vises i figuren siden Norges oljeproduksjon er inkludert i totalt produsert energi. Ulikhetene i forutsetninger om vannkraftandel ved produksjon av importert aluminium til EU forklarer åpenbart forskjellen mellom estimatet for utslipp av CO<sub>2</sub>-ekvivalenter fra EAA og ProBas.

## Kaldvalset stål

ProBas inneholder et estimat for blekk fra kaldvalset stål<sup>39</sup>. Stålet må varmevalses før det kan kaldvalses. Kaldvalsing gir tynnere stålplater enn varmevalsing<sup>40</sup>. Blekk er et annet ord for tynne stålplater.

Tabell 25 Energibruk for produksjon av 1 kg kaldvalset stål Tyskland 2005

Energikilde	MJ/kg
Atomkraft	0,5
Biomasse	0,1
Brunkull	0,4

<sup>38</sup> <http://www.iea.org/Textbase/country/index.asp>

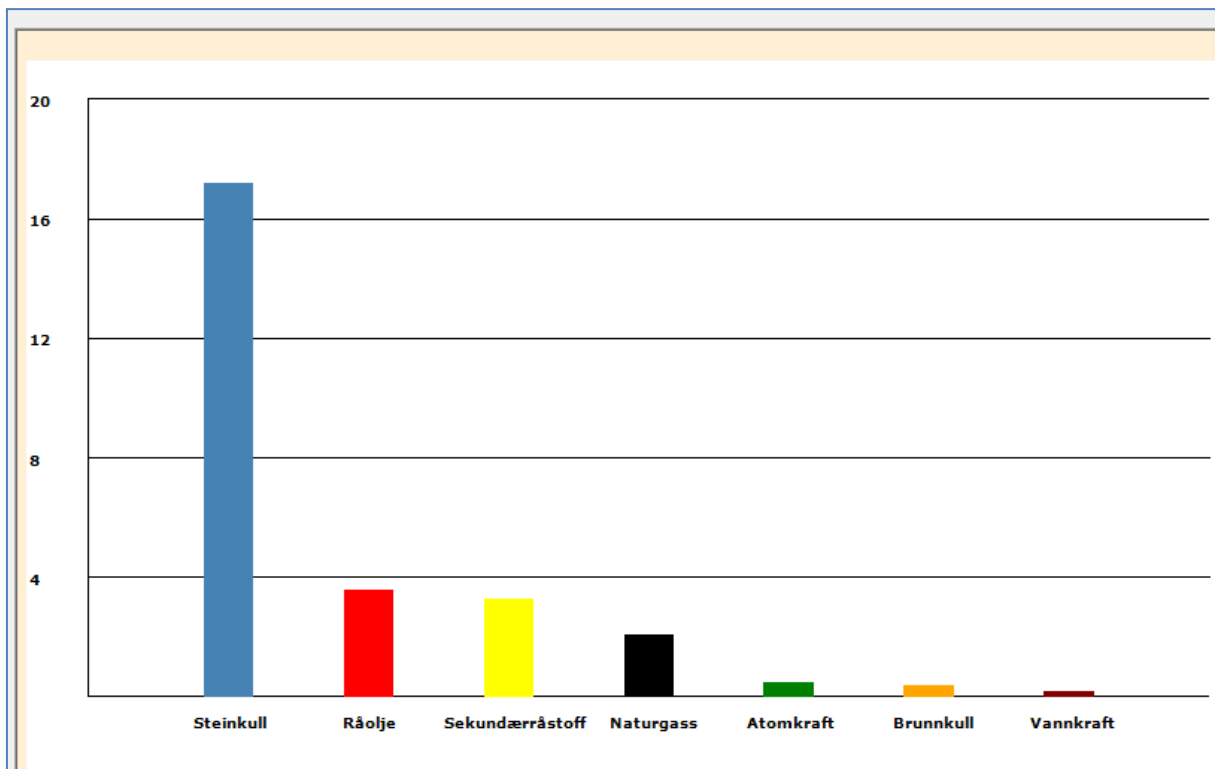
<sup>39</sup> Internavn Stahl-DE-Blech-2005

<sup>40</sup> Price, L, Sinton, J., Worrell, E., Phylipsen, D., Hu, X., Li, J.: *Energy use and carbon dioxide emissions from steel production in China*, <http://ies.lbl.gov/iespubs/47205.pdf>, side 4

Naturgass	2,1
Råolje	3,6
Geotemisk	0,0
Avfall	0,1
Sekundær-råstoff	3,3
Solenergi	0,0
Steinkull	17,2
Vannkraft	0,2
Vindkraft	0,0
Sum	27,4

Tabell 25 viser energibruk for produksjon av 1 kg kaldvalset stål i Tyskland 2005. Til sammen går det med 27,4 MJ for å produsere 1 kg kaldvalset stål. Stålet som kaldvalses kommer fra produksjonsmiksen for stål i Tyskland 2005 som er presentert tidligere <sup>41</sup>. Det innebærer en resirkuleringsgrad på 34%.

Figur 18 Energibruk for produksjon av 1 kg kaldvalset stål Tyskland 2005



Figur 18 viser de viktigste energikildene for produksjon av 1 kg kaldvalset stål i Tyskland 2005. Steinkull er den viktigste energikilden og de fossile energikildene dominerer. Bare 0,6% av samlet energibruk stammer fra vannkraft.

<sup>41</sup> Internnavn Stahl-DE-mix-2005

En rapport fra Berkely National Laboratories i USA <sup>42</sup> anslår merforbruket av energi for kaldvalset stål til å være 2,2 GJ/tonn sammenliknet med varmevalset stål. Det oppgis en rekkevidde på 1,6-2,8 GJ/tonn. Stålet må varmevalses før det kan kaldvalses. Kaldvalsing gir tynnere stålplater enn varmevalsing <sup>43</sup>. Merforbruket i forhold til primærstål anslås til 6,05 GJ/tonn med en rekkevidde på 3,9-8,2 GJ/tonn. Rapporten inneholder ikke noe estimat for CO<sub>2</sub>-utslipp som følge av produksjon av kaldvalset stål. Legger vi 2,2 MJ/kg til estimatet for energibruk for produksjon av varmevalset stål på 22,8 MJ/kg får vi 25 MJ/kg for kaldvalset stål.

Dette estimatet er noe lavere enn estimatet fra ProBas, noe som kan skyldes ulik resirkuleringsgrad og elektrisitetssmiks for produksjonen. Estimaten fra Berkely National Laboratories inneholder ingen detaljert informasjon om disse forutsetningene.

**Tabell 26 Utslipp til luft fra produksjon av 1 kg kaldvalset stål**

	kg
Metan (CH <sub>4</sub> )	0,01
Karbonmonoksid (CO)	0,03
Karbondioksid (CO <sub>2</sub> )	1,81
Lystgass (N <sub>2</sub> O)	0,00002
NMVOG	0,001
Nitrogen-oxid (NO <sub>x</sub> )	0,004
Svoveldioksid (SO <sub>2</sub> )	0,003
CO <sub>2</sub> -ekvivalenter	1,98

Tabell 26 viser utslipp fra luft som følger av produksjon av 1 kg kaldvalset stål i Tyskland 2005. Til sammen slippes det ut nesten 2 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter for hver kg produsert kaldvalset stål. Dette er omlag 0,27 kg mer pr kg enn hva tilfellet var for varmevalset stål.

## Rustfritt stål

Rustfritt stål er en stållegering som inneholder minst 11% krom pr vektenhet <sup>44</sup>.

Johnson et al. (2008) <sup>45</sup> gir tre estimat for rustfritt stål. Estimaten er basert på en stållegering med 18% krom, 8% nikkel og 74% jern. Estimaten bygger på tre forskjellige forutsetninger om resirkulerings-grad. Alle estimat er i primærenergi for hele produksjonskjeden fra utvinning av råmaterialer til ferdig produkt.

**Tabell 27 Energibruksfaktor og utslippsfaktor (CO<sub>2</sub>) for produksjon av 1 tonn rustfritt stål**

Resirkuleringsgrad	Energi (GJ/tonn)	CO <sub>2</sub> -utslipp <sup>46</sup> tonn/tonn stål

<sup>42</sup> Price, L, Sinton, J., Worrell, E., Phylipsen, D., Hu, X., Li, J.: *Energy use and carbon dioxide emissions from steel production in China*, <http://ies.lbl.gov/iespubs/47205.pdf>

<sup>43</sup> *ibid.*, side 4

<sup>44</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/Stainless\\_steel](http://en.wikipedia.org/wiki/Stainless_steel)

<sup>45</sup> Jeremiah Johnson, B.K. Reck, T. Wang and T.E. Graedel, *The energy benefit of stainless steel recycling*, Energy Policy. Volume 36, Issue 1, January 2008, Pages 181-192, <http://environment.yale.edu/news/5494>

<sup>46</sup> Rapporten nevner ikke CO<sub>2</sub>-ekvivalenter. Vi tar det som gitt at estimatet gjelder for utslipp av bare CO<sub>2</sub>.



Global resirkuleringsgrad	53	3,6
100%	26	1,6
0%	79	5,3

Rapporten sier ingenting om hva den faktiske globale resirkuleringsgrad er i 2008. Til sammenlikning baserer estimatet for varmevalset stål fra Tyskland 2005 på en resirkuleringsgrad på 34%. Dersom vi forutsetter lineær interpolering for tallene i Tabell 27 Tabell 26 vil resirkuleringsgraden være omlag 50% siden energibruken med dagens resirkuleringsgrad er omlag midtveis mellom ytterpunktene i tabellen.

EU's database for LCA-analyser (ELCD) inneholder et estimat for rustfritt stål. Estimaten har referanseår 1997. Tabell 28 viser energibruk for produksjon av 1 kg rustfritt stål. Stålet er varmevalset og produsert med elektrisk bueovn<sup>47</sup>. Det er antatt en resirkuleringsgrad på 80%<sup>48</sup>.

**Tabell 28 Energiforbruk og CO<sub>2</sub>-utslipp for 1 kg rustfritt stål fra ELCD, referanseår 1997**

	MJ/kg energikilde <sup>49</sup>	Mengde energikilde (kg)	MJ/kg	CO <sub>2</sub> pr kg
Brunkull	11,9	0,07	0,9	
Råolje	42,3	0,11	4,6	
Steinkull	26,3	0,58	15,1	
Naturgass	44,1	0,14	6,4	
Sum			26,9	3,4

Tabell 28 viser at estimatet fra ELCD kommer rimelig ut sammenlignet med estimatet fra Johnson dersom vi tar hensyn til resirkuleringsgrad. Resirkuleringsgraden som er benyttet i ELCD er betydelig høyere enn den som vi antar hos Johnson et al. Estimaten fra ELCD inneholder også utslipp av CO<sub>2</sub> pr kg produsert rustfritt stål. Dette estimaten gjelder bare for CO<sub>2</sub>, ikke for CO<sub>2</sub>-ekvivalenter. Estimaten for utslipp av CO<sub>2</sub> ligger mer på høyde med estimaten fra Johnson selv om resirkuleringsgraden er høyere.

## Støpejern

Støpejern er en fellesbetegnelse for jernlegeringer med et høyt innhold av karbon og silisium. Ved siden av jern inngår mangan, krom eller nikkel i legeringene. Vi skal bruke et estimaten fra ProBas for råjern. Råjern har 4-5% karbon, inntil 3% silisium og inntil 6% mangan<sup>50</sup>.

Tabell 29 viser energibruken for produksjon av 1 kg råjern i Tyskland 2005. Til sammen brukes 24 MJ pr produsert kg.

<sup>47</sup> "electric arc furnace".

<sup>48</sup> Se [http://lca.jrc.ec.europa.eu/lcainfohub/datasets/html/processes/1ad9a56d-a2d0-4808-b2cf-b348c109cb4a\\_02.00.000.html](http://lca.jrc.ec.europa.eu/lcainfohub/datasets/html/processes/1ad9a56d-a2d0-4808-b2cf-b348c109cb4a_02.00.000.html)

<sup>49</sup> Identisk med "net calorific value"

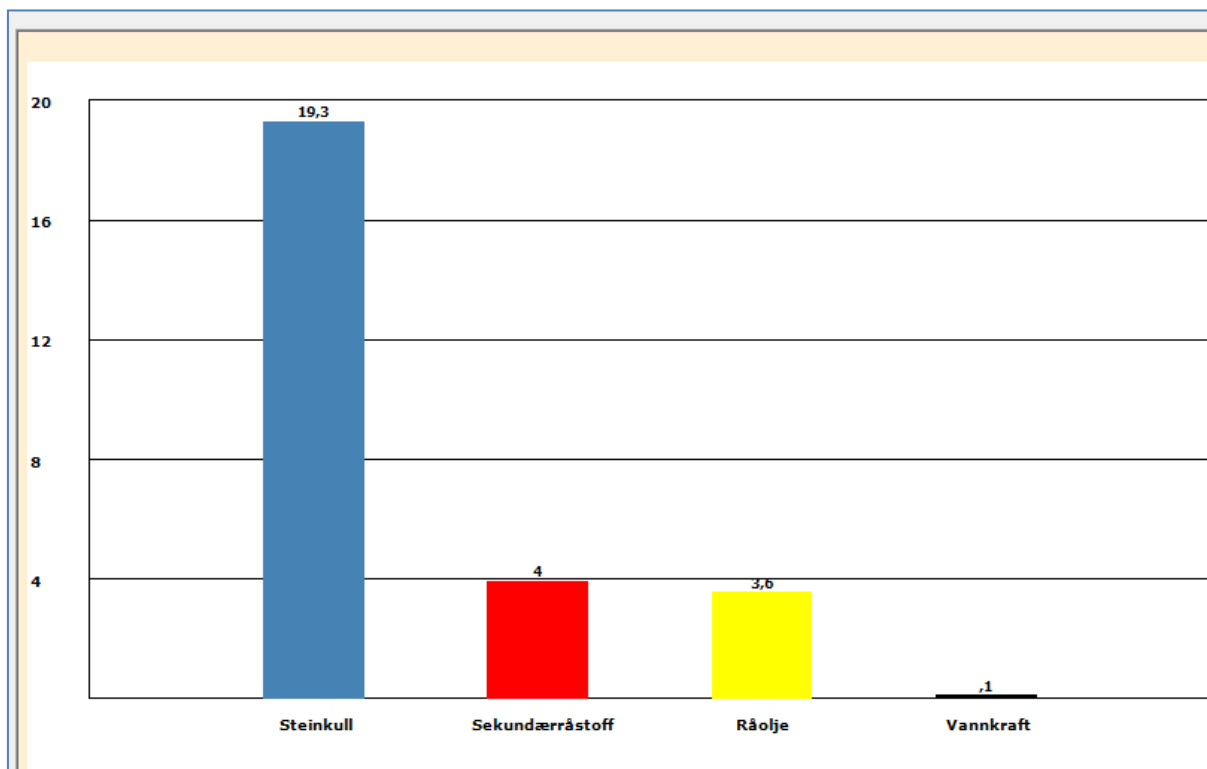
<sup>50</sup> <http://de.wikipedia.org/wiki/Roheisen>

Tabell 29 Energibruk for produksjon av 1 kg råjern Tyskland 2005

Energikilde	MJ/kg
Atomkraft	-0,7
Biomasse	-0,1
Brunkull	-0,8
Naturgass	-1,2
Råolje	3,6
Geotemisk	0,00001
Avfall	-0,1
Sekundær-råstoff	4,0
Solenergi	-0,002
Steinkull	19,3
Vannkraft	0,1
Vindkraft	0,0
Sum	24,0

Figur 19 viser de viktigste energikilder for produksjon av 1 kg råjern Tyskland 2005. Mange av verdiene i Tabell 29 er negative fordi energikildene brukes til flere formål, som for eksempel varmeproduksjon, og ikke bare til produksjon av elektrisitet.

Figur 19 Energikilder for produksjon av 1 kg råjern Tyskland 2005



Tabell 30 viser utslipp til luft fra produksjon av 1 kg råjern. Det slippes ut 1,8 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter for kg produsert råjern.

Tabell 30 Utslipp til luft fra produksjon av 1 kg råjern

Metan (CH <sub>4</sub> )	0,01
Karbonmonoksid (CO)	0,02
Karbondioksid (CO <sub>2</sub> )	1,6
Lystgass (N <sub>2</sub> O)	0,00001
NMVOC	0,0002
Nitrogen-oxid (NO <sub>x</sub> )	0,004
Svoveldioksid (SO <sub>2</sub> )	0,003
CO <sub>2</sub> -ekvivalenter	1,8

## Gummi

ProBas inneholder et estimat for gummi produsert i Tyskland 2000. Estimaten gjelder for syntetisk EPDM<sup>51</sup>-gummi med en etylengrad mellom 45% og 75%. Jo mer etylen, jo større kapasitet til å tåle belastning<sup>52</sup>. Denne typen gummi brukes i radiatorer, i vannslanger, i rør og til elektrisk isolering. Det brukes også som et vanntett element sammen med polymerer, i motorolje og i vinduer, dører og passasjerrom på kjøretøy. Det brukes også på vanntette tak.

Tabell 31 viser at det brukes 36,6 MJ for å produsere 1 kg av denne typen gummi. Estimaten gjelder for hele produksjonskjeden fra produksjon av råmateriale (ethylene, polyethylene) til ferdig produkt. Råolje og atomkraft er de viktigste energikildene.

Lensink (2005)<sup>53</sup> presenterer et estimat for SBR-gummi på 56 MJ/kg. Denne typen gummi bygger på de syntetiske råstoffene styrene og butadiene. Butadiene er en monomer som brukes til sammensetning av polymer, som er stoff med repeterende strukturer av monomer som deler felles elektroner. Styrene er også en monomer som produseres fra en blanding av etylen og benzene.

Tabell 31 Energibruk for produksjon av 1 kg gummi (EPDM) Tyskland 2000<sup>54</sup>

	MJ/kg
Atomkraft	8,8
Biomasse	0,4
Brunkull	6,5
Naturgass	1,5
Råolje	14,2
Geotermisk	0,0001
Avfall	2,1
Sekundærråstoff	0,04
Solenergi	0,0000003
Steinkull	2,5

<sup>51</sup> EPDM står for ethylene-propylene-diene-M-class. Diene er hydrokarboner med to doble "bond", det vil si at at hydrokarbon-atomene deler elektroner.

<sup>52</sup> [http://en.wikipedia.org/wiki/EPDM\\_rubber](http://en.wikipedia.org/wiki/EPDM_rubber)

<sup>53</sup> Lensink, S.M. (2005), "Capacity Building for Sustainable Transport"

<http://dissertations.ub.rug.nl/FILES/faculties/science/2005/s.m.lensink/thesis.pdf>, side 37

<sup>54</sup> ProBas, internt navn Gummi-EPDM

Vannkraft	0,5
Vindkraft	0,2
Sum	36,6

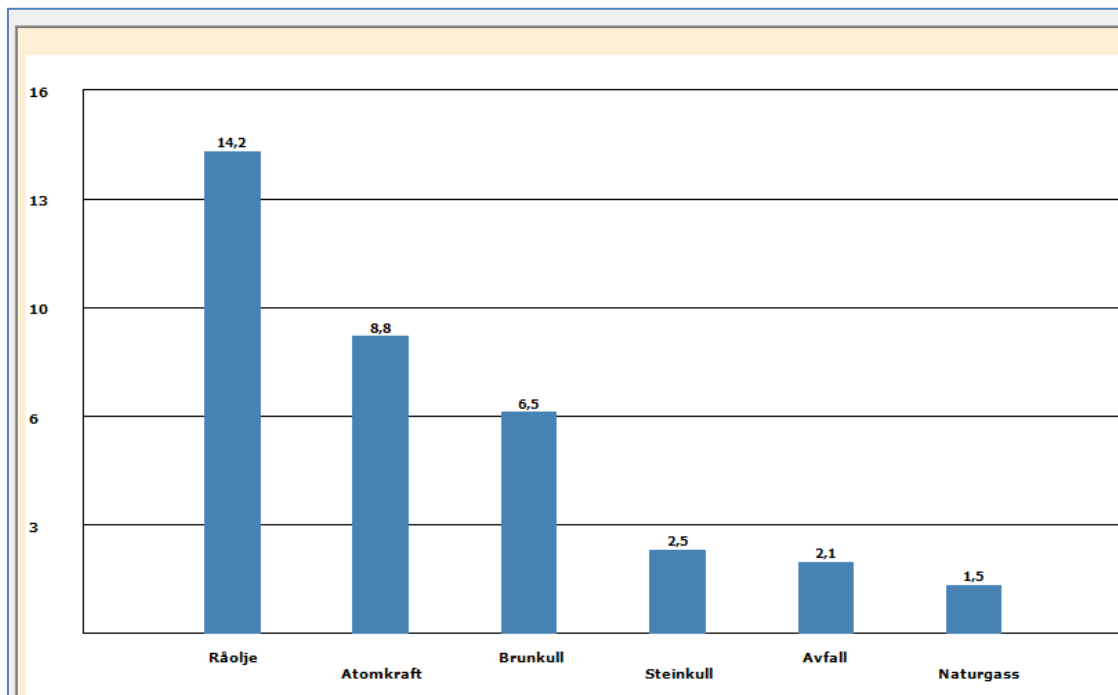
Tabell 32 viser at produksjon av 1 kg av denne typen gummi medfører utslipp av 3,18 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter, iberegnet alle utslipp i hele produksjonskjeden.

Tabell 32 Utslippsfaktorer for produksjon av 1 kg gummi Tyskland 2005

	kg
Metan (CH <sub>4</sub> )	0,003
Karbonmonoksid (CO)	0,002
Karbondioksid (CO <sub>2</sub> )	3,060
N <sub>2</sub> O	0,0002
NMVOC	0,006
NO <sub>x</sub>	0,008
SO <sub>2</sub>	0,005
CO <sub>2</sub> -ekvivalenter	3,180

Figur 20 viser de viktigste energikildene for produksjon av 1 kg gummi. De fossile brennstoffene steinkull, råolje, naturgass og brunkull står for 67,3 av samlet energibruk for produksjon av 1 kg gummi.

Figur 20 Energibruksfaktorer for produksjon av 1 kg gummi Tyskland 2005



## Glass

Flatt glass blir laget med "float"-metoden<sup>55</sup>. Denne metoden inneholder tre element: a) framstilling og blanding av råstoff til glass, b) smelting av glass og c) formgiving av glass. Denne typen glass inneholder ikke noe resirkulert glass. Flatt glass blir smeltet i ovner med temperaturer rundt 1600° C. For å gi glasset bedre kvalitet kan det gis ekstra elektrisk tilleggsoppvarming. Glasset blir avkjølt i et tinnbad. For å framstille 1 kg flatt glass trengs 1,210 kg med råstoff. Disse råstoffene er først og fremst kalkstein (dolomitt) og sand .

ProBas inneholder et estimat for flatt glass. Estimaten inneholder energibruk i hele produksjonskjeden fra framstilling av råstoff til ferdig produkt. Tabell 33 viser dette estimatet. Til sammen brukes 12 MJ energi for å produsere 1 kg glass. Naturgass og steinkull er de viktigste energikildene.

Tabell 33 Energifbruk for produksjon av 1 kg glass Tyskland 2005<sup>56</sup>

Energikilder	MJ/kg
Atomkraft	0,3
Biomasse	0,1
Brunkull	0,2
Naturgass	8,4
Råolje	0,2
Geotermisk	0,000001
Avfall	0,1
Sekundær-råstoff	0,1
Solenergi	0,001
Steinkull	2,6
Vannkraft	0,02
Vindkraft	0,01
Sum	12,0

Tabell 34 viser utslippsfaktorer for produksjon av 1 kg flatt glass i Tyskland 2005. Tabellen viser at denne produksjonen fører til utslipp av 1,13 kg CO<sub>2</sub>-ekvivalenter.

Tabell 34 Utslippsfaktorer for produksjon av 1 kg glass Tyskland 2005

	kg
Metan (CH <sub>4</sub> )	0,003
Karbonmonoksid (CO)	0,006
Karbondioksid (CO <sub>2</sub> )	1,070
N <sub>2</sub> O	0,00002
NM VOC	0,00005
NO <sub>x</sub>	0,004
SO <sub>2</sub>	0,002

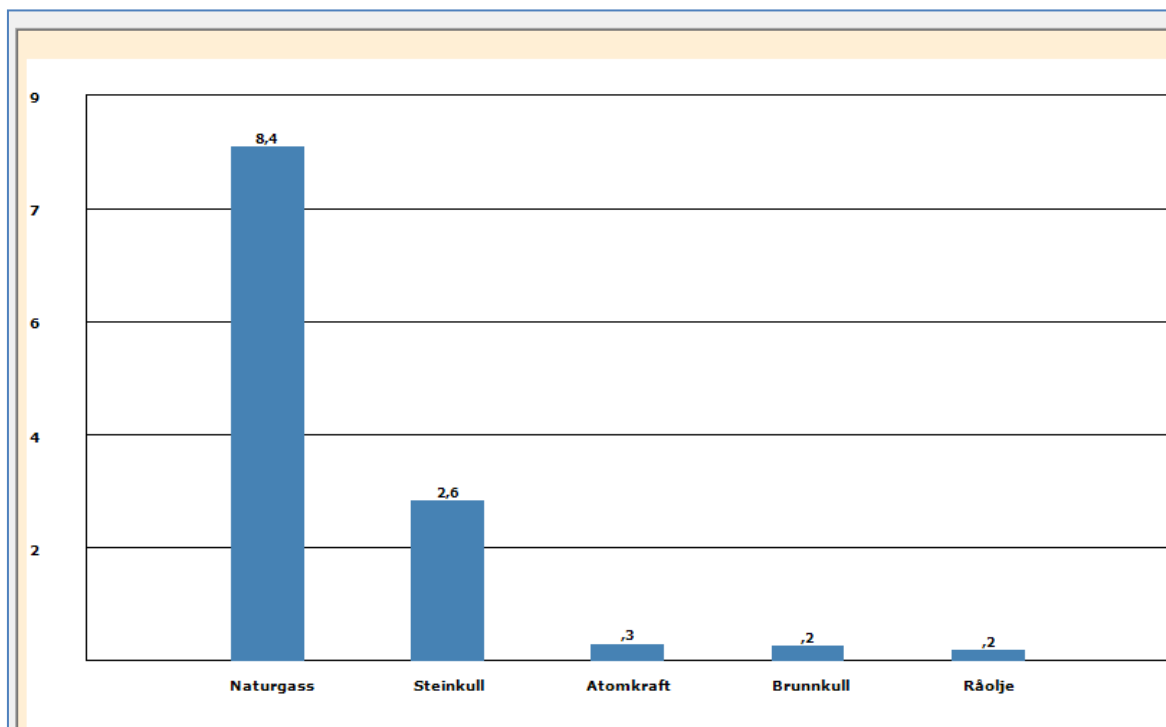
<sup>55</sup> ProBas, internt navn Glas-flach-DE-2005.

<sup>56</sup> ProBas, internt navn Glas-flach-DE-2005

CO <sub>2</sub> -ekvivalenter	1,130
-------------------------------	-------

Figur 21 viser de viktigste energikildene for produksjon av 1 kg glass i Tyskland 2005. De fossile energikildene står for 95,4 av samlet energibruk. Naturgass alene står for over 70%.

Figur 21 Energibruksfaktorer for produksjon av 1 kg glass Tyskland 2005



## Polyurethane

I tillegg til aluminium er hard-plastikk spesifisert som materiale for innenlandsk og internasjonal passasjerfly i Tyskland. Tabell 35 viser energiforbruket for produksjon av 1 kg hard-plastikk i Tyskland i 2005<sup>57</sup>. Hardplastikken kalles polyurethane (PU) og er en polymer<sup>58</sup>. Polyurethane kjedes sammen ved at monomerer som hver for seg består av minst to ulike funksjonelle grupper, isocyanater og hydroxoler, reagerer med hverandre. En funksjonell gruppe er en gruppe av atomer i et molekyl som deler elektroner med hverandre og med og som utgjør molekylets stabiliserende element. Hydroxyl er en funksjonell gruppe som består av ett hydrogenatom og ett oksygenatom som deler elektroner. Isocyanter er en funksjonell gruppe som består av ett nitrogenatom, ett hydrogenatom og ett oksygenatom. Når en kjemisk forbindelse med minst to isocyant-grupper reagerer med en forbindelse med minst to hydroxyl-grupper oppstår lange kjeder som kalles polyurethan. Om kjedene er lange vil stoffet bli elastisk, om kjedene er korte vil stoffet bli hardt<sup>59</sup>.

Til sammen brukes primærenergi tilsvarende 55,6 MJ til å framstille 1 kg av hard-plastikk. Som Tabell 35 viser, er det særlig naturgass og olje som benyttes i produksjonsprosessen. Olje brukes ikke bare

<sup>57</sup> Fra ProBas, intern-navn PUR-Hartschaum-DE-2005

<sup>58</sup> Engelske benevnelser er urethane og carbamate, se <http://en.wikipedia.org/wiki/Carbamate>

<sup>59</sup> Se <http://de.wikipedia.org/wiki/Schaumstoff> og <http://de.wikipedia.org/wiki/Polyurethane>

til å produsere energi, olje er også et råstoff for framstilling av benzol som brukes til framstilling av hard-plastikk.

Tabell 35 Energiforbruk for 1 kg polyurethane Tyskland 2005

Energikilde	MJ
Atomkraft	10,1
Biomasse	0,4
Brunkull	8,8
Naturgass	20,3
Olje	14,5
Geovarme	0,00006
Avfall	2,8
Sekundærråstoff	-3,2
Solenergi	0,008
Steinkull	1,2
Vannkraft	0,5
Vindkraft	0,2
Sum	55,6

Tabell 36 viser utslipp til luft som følger av produksjon av 1 kg hard-plastikk eller polyurethane slik det er definert her. I alt slippes det om lag 5 kg CO<sub>2</sub> for hver kg hard-plastikk som produseres. Utslippene inkluderer alle utslipp i hele produksjonskjeden fram til ferdig produkt.

Tabell 36 Utslipp til luft for produksjon av 1 kg polyurethane Tyskland 2005

Kategori	kg
CH <sub>4</sub> (metan)	0,00627
CO	0,00792
CO <sub>2</sub>	4,78
N <sub>2</sub> O (lystgass)	0,000214
NH <sub>3</sub>	9,82E-06
NM VOC	0,00135
NO <sub>x</sub>	0,0101
CO <sub>2</sub> -ekviv.	4,99

Polyurethane er en form for "thermosetting plastic"<sup>60</sup>. Denne typen plastikk kan ikke endre form om den varmes opp i motsetning til vanlig termoplastikk ("thermoplastic").

<sup>60</sup> <http://www.engineershandbook.com/Materials/polyurethane.htm> og <http://www.gspolymers.com/polyurethane.html>

## Polypropylene

Polypropylen er en polymer som er kjedet sammen av monomer av typen propen<sup>61</sup>. Propen er et organisk stoff<sup>62</sup> som produseres kjemisk fra olje. Polypropylen er en form for termoplastikk ("thermoplastic"<sup>63</sup>) som har fast form ved vanlig temperatur. Den blir flytende om den oppvarmes og kan bearbeides på nytt i flytende form i motsetning til "thermosetting plastic". Polypropylen brukes som pakkemateriale, i tau, tepper, i laboratoriestyr, som deler i kjøretøy ("automotive components"), i leker og møbler<sup>64</sup>.

ELCD inneholder et estimat for polypropylen. Estimaten gjelder for EU og har referanseår 1999. Estimaten er utviklet av PlasticsEurope som er en bransjeorganisasjon for plastikk i Europa.

Tabell 37 Energiforbruk for 1 kg polypropylen EU 1998, MJ pr kg.

Energikilde	MJ/kg
Gjenbruk av energi	-1,9
Biomasse	0,1
Brunkull	0,0
Råolje	42,8
Steinkull	2,3
Naturgass	21,5
Torv	0,01
Geotermisk	0,02
Vannkraft	0,3
Solenergi	0,0001
Bølgekraft	0,0005
Vindkraft	0,01
Atomkraft	2,7
Trevirke	0,00001
Sum	67,9

I følge Tabell 37 forbrukes 67,9 MJ energi for å produsere 1 kg polypropylen. De viktigste energikildene er olje og naturgass. Atomkraft og steinkull har mindre betydning mens andre energikilder bare har helt marginal betydning.

Tabell 38 Utslipp til luft for produksjon av 1 kg polypropylene Europa 1998

Kategori	kg
CO <sub>2</sub> (karbondioksid)	1,7
CO (karbonmonoksid)	0,01
CH <sub>4</sub> (metan)	0,01

<sup>61</sup> <http://en.wikipedia.org/wiki/Polypropylene>

<sup>62</sup> En organisk komponent er et kjemisk stoff som inneholder karbon.

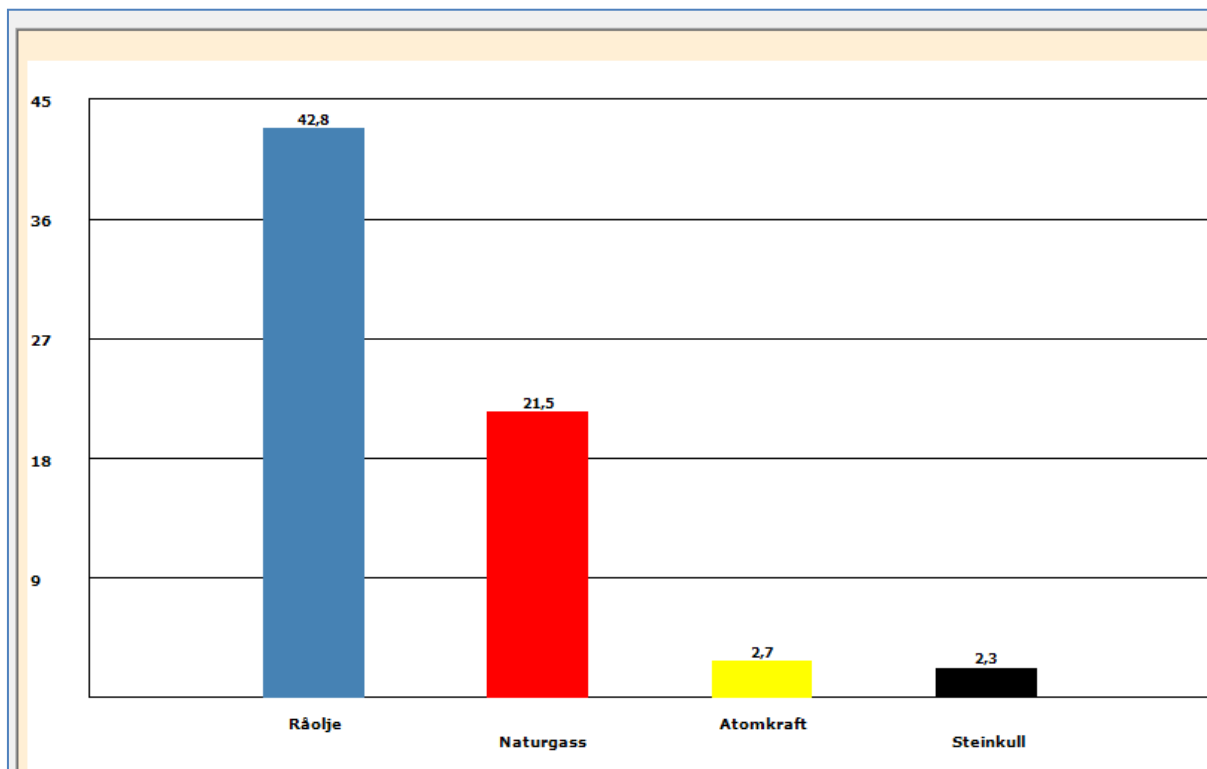
<sup>63</sup> <http://en.wikipedia.org/wiki/Thermoplastic>

<sup>64</sup> [http://ca.jrc.ec.europa.eu/lcaifohub/datasets/html/processes/0dc3d65b-7ff8-4c92-a694-748fb28070a9\\_02.00.000.html](http://ca.jrc.ec.europa.eu/lcaifohub/datasets/html/processes/0dc3d65b-7ff8-4c92-a694-748fb28070a9_02.00.000.html)



NMVOC	0,004
Svoveldioksid	0,004

Figur 22 Viktigste energikilder for produksjon av 1 kg polypropylene Europa 1998.



Figur 22 viser de viktigste energikildene for produksjon av 1 kg polypropylene i Europa 1998. Som figuren viser er det råolje og naturgass som er de dominerende energikildene.

ProBas inneholder også et estimat for produksjon av 1 kg polypropylen . Dette estimatet er også hentet fra PlasticsEurope. Estimaten er delt inn i energikilder på en annen måte enn for ELCD-estimatet. Det oppgis tall for elektrisitet i tillegg til tall for hver av energikildene som brukes til produksjon av elektrisitet. I tillegg oppgis det tall for brensel i tillegg til tall for energikilder. Tallene for energikildene kan dermed telles to ganger – en for den totale bruk og en for bruk som brensel eller elektrisitet. Ved å ta ut alle energikilder som referer til brensel og elektrisitet får vi følgende estimat ( det er ikke oppgitt referanseår):

Tabell 39 Energiforbruk for 1 kg polypropylen Europa. MJ pr kg.

Energikilde	MJ/kg
Biomasse (flytende gass))	0,04
Biomasse (fast form)	0,04
Steinkull	2,4
Naturgass	23,8
Geotemisk	0,02
Vannkraft	0,3
Hydrogen	0,0001
Industri-avfall	0,02

Brunkull	0,0002
Avfall	0,05
Atomkraft	2,7
Råolje	45,8
Torv	0,01
Energi gjenbruk	-1,9
Solenergi	0,0001
Svovel	0,0003
Uspesifisert	0,001
Bølgekraft	0,0005
Vindkraft	0,01
Trevirke	0,00001
Sum	73,3

Estimatet for energibruk fra ProBas ligger omlag 8% høyere enn estimatet fra ELCD med de korreksjoner for brennstoff og elektrisitet som er omtalt ovenfor. Fordelingen av energikilder er den samme som i ELCD. Tabell 40 viser utslipp til luft for ulike kategorier. Verdiene stemmer godt overens med estimatet fra ELCD.

Tabell 40 til luft for produksjon av 1 kg polypropylene Europa

Kategori	kg
CO	0,01
CO <sub>2</sub>	1,67
N <sub>2</sub> O (lystgass)	4,82E-13
NMVOC	0,00002
NOX as NO <sub>2</sub>	0,003

I tillegg har ProBas et estimat for polypropylene som bare omfatter selve polymeriseringen, altså ikke framstillingen av monomer propylen som inngår i polymeriseringen <sup>65</sup>.

Tabell 41 Energiforbruk for polymerisering av 1 kg polypropylen Tyskland 2000. MJ pr kg.

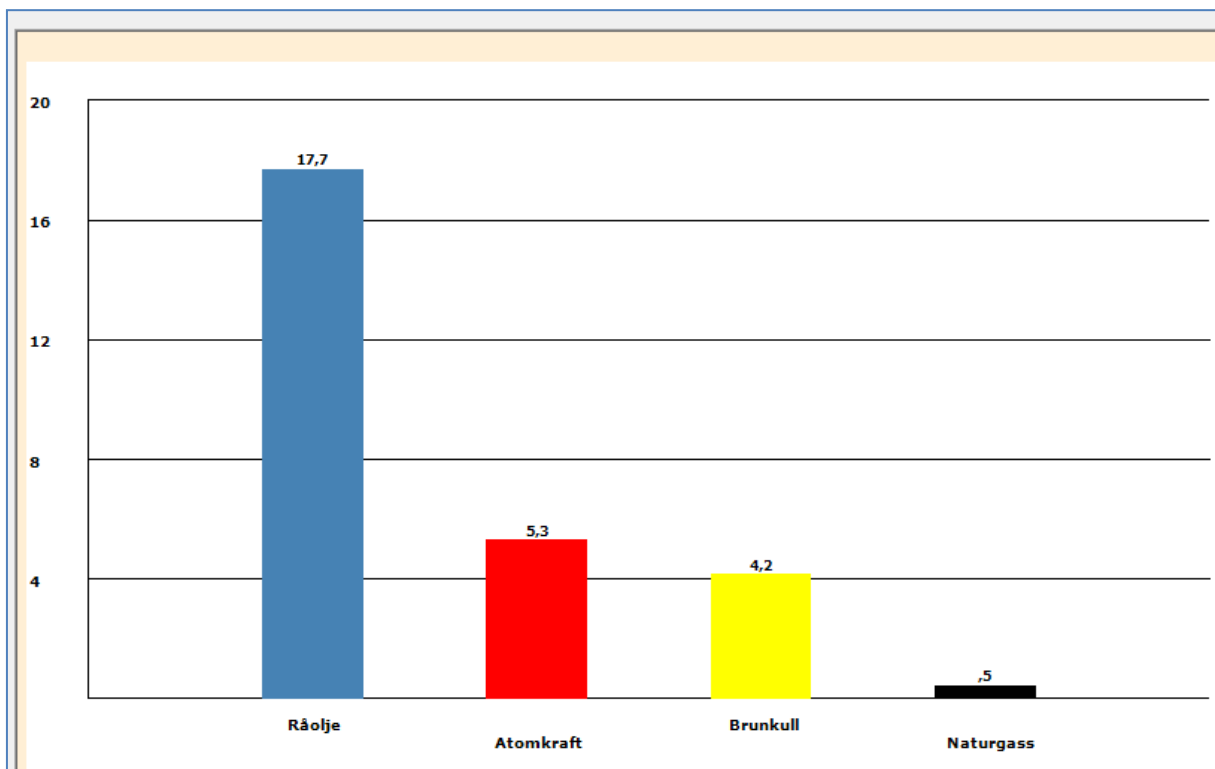
Energikilde	MJ/kg
Atomkraft	5,3
Biomasse	0,0
Brunkull	4,2
Naturgass	0,5
Råolje	17,7
Geotermisk	0,0
Avfall	1,7

<sup>65</sup> Intern-navn i ProBas: Chem-org\PP. I den allmenne beskrivelsen av estimatet heter det: "Polypropylen-Polymerisation: In diesem Prozeß wird die Polymerisation von Propylen (=Propen) zu Polypropylen (PP) betrachtet."

Solenergi	0,0
Steinkull	-0,4
Vannkraft	0,3
Vindkraft	0,0
Sum	29,3

Ut fra Tabell 41 kan vi fastslå at selve polymeriseringen krever en energiinnsats på 29,3 MJ pr kg. Samme estimat oppgir kumulert energiinnsats i motsetning til kumulert energiforbruk<sup>66</sup>. Forbruket er identisk med estimatet i Tabell 41 mens kumulert energiinnsats er på 93,8 MJ. Vi tolker dette slik at den kumulerte energiinnsats er den samlede innsatsen av energi over alle faser i produksjonsprosessen som er nødvendig for å produsere polypropylene, mens energi forbruket er forbruket av energi i den aktuelle prosessen, altså polymeriseringen. På denne bakgrunn anslår vi energiinnsatsen i framstilling av råstoff og bearbeiding til propylen inklusive transport til 64,5 MJ pr kg polypropylene.

Figur 23 Viktigste energikilder for polymisering av 1 kg polypropylene Tyskland 2000.



Figur 23 viser de viktigste energikilder for polymisering av 1 kg polypropylene i Tyskland 2000. Som figuren viser dominerer råolje mens atomkraft og brunkull er de eneste av de andre energikildene som har mer enn marginale bidrag.

<sup>66</sup> KEA=Kumuliertes Energiaufwand, KEV=Kumuliertes Energiverbrauch

MatBase har et estimat for GER ("gross energy resource)-verdi for produksjon av polypropylene<sup>67</sup>. I følge dette estimatet forbrukes 82 MJ med energi for å produsere 1 kg polypropylen. Dette estimatet er høyere enn de andre estimat som er omtalt for polypropylen.

## Bitumen

Bitumen brukes som impregneringsmiddel for glassfiber eller polyester for å gjøre dem vanntette. Tabell 42 viser estimat for energibruk for produksjon av 1 kg bitumen i Tyskland 2000. Estimaten er hentet fra ProBas<sup>68</sup> og gjelder for en blanding av bitumen og løsemiddel. Til sammen brukes 5,3 MJ til produksjon av 1 kg bitumen.

Tabell 42 Energibruk for produksjon av 1 kg bitumen Tyskland 2000

Energikilde	MJ/kg
Atomkraft	0,2
Biomasse	0,0
Brunkull	0,1
Naturgass	-1,7
Olje	11,8
Geovarme	0,0
Avfall	0,0
Sekundærråstoff	0,0
Solenergi	0,0
Steinkull	-5,2
Vannkraft	0,1
Vindkraft	0,0
Sum	5,3

Tabell 43 viser utslipp til luft fra produksjon av 1 kg bitumen.

Tabell 43 Utslipp til luft ved produksjon av 1 kg bitumen

	kg
Metan (CH <sub>4</sub> )	-0,001
Karbonmonoksid (CO)	0,001
Karbondioksid (CO <sub>2</sub> )	1,2
N <sub>2</sub> O	0,00003
NMVOC	0,6
NO <sub>x</sub>	0,01
SO <sub>2</sub>	0,002
CO <sub>2</sub> -ekvivalenter	1,2

<sup>67</sup> <http://www.matbase.com/material/polymers/commodity/pp-hom/properties>

<sup>68</sup> Intern-navn Bitumen-kalt

## Valg av utslippsfaktorer

Vi velger å bruke energibruksfaktorer og utslippsfaktorer fra den tyske databasen ProBas for metallene stål, kopper, gummi og aluminium. Det er flere grunner til dette:

- Det er ønskelig å bruke faktorer fra en felles kilde. Dette vil gi felles systemgrenser og felles forutsetninger om elektrisitetsmiks for estimatene som benyttes.
- Denne tilnærming innebærer også at estimatene bygger på de samme forutsetninger om systemutviding og allokering som benyttes for å ta høyde for input- og output-strømmer som brukes til mer enn et formål i LCA-analyse.
- Vi skal bruke faktorene til å estimere energibruk og utslipp som følge av produksjon av transportmidler. Disse blir i stor grad produsert i Tyskland eller land som har tilnærmet samme forutsetninger som Tyskland, for eksempel land som Frankrike, Østerrike og Polen.

Diskusjonen ovenfor har vist at estimatene fra ProBas er rimelige å bruke sammenliknet med andre estimat fra andre kilder. Med rimelig mener vi at estimatene ikke skiller seg ut på en måte som vanskelig lar seg forklare. Med forutsetninger om ulik resirkuleringsgrad, elektrisitetsmiks og importandel mener vi at forskjellene i estimat lar seg forklare og at bruken av estimat fra ProBas dermed kan forsvares.

For PVC, polypropylene og rustfritt stål bruker vi estimatet fra databasen ELCD. Når det gjelder polypropylene velger vi å bruke ELCD's estimat siden estimatet fra ProBas har usikkerheter når det gjelder dobbelttelling av energikildenes innsats i produksjon av elektrisitet og brensel. Vi ønsker å bruke estimater fra databaser der hvor relevante estimat er tilgjengelige. Grunnen til dette er at de er lettere å etterprøve og dokumentere enn estimat fra artikler.

Dette gir følgende faktorer for energi og utslipp for de ulike metaller:

Tabell 44 Energibruksfaktorer for ulike metaller

Metall	MJ/kg	CO <sub>2</sub> -ekvivalenter kg/kg	Kilde
Primærstål	19,9	1,5	ProBas
Varmevalset stål	22,8	1,7	ProBas
Kaldvalset stål	27,4	1,98	ProBas
Rustfritt stål	26,9	3,4 <sup>69</sup>	ELCD
Råjern	24,0	1,8	ProBas
Aluminium	175,9	16,9	ProBas
Kopper	48,9	4,0	ProBas
Gummi	36,6	3,18	ProBas
Glass	12,0	1,13	ProBas
PVC	56,2	2,7 <sup>70</sup>	ELCD

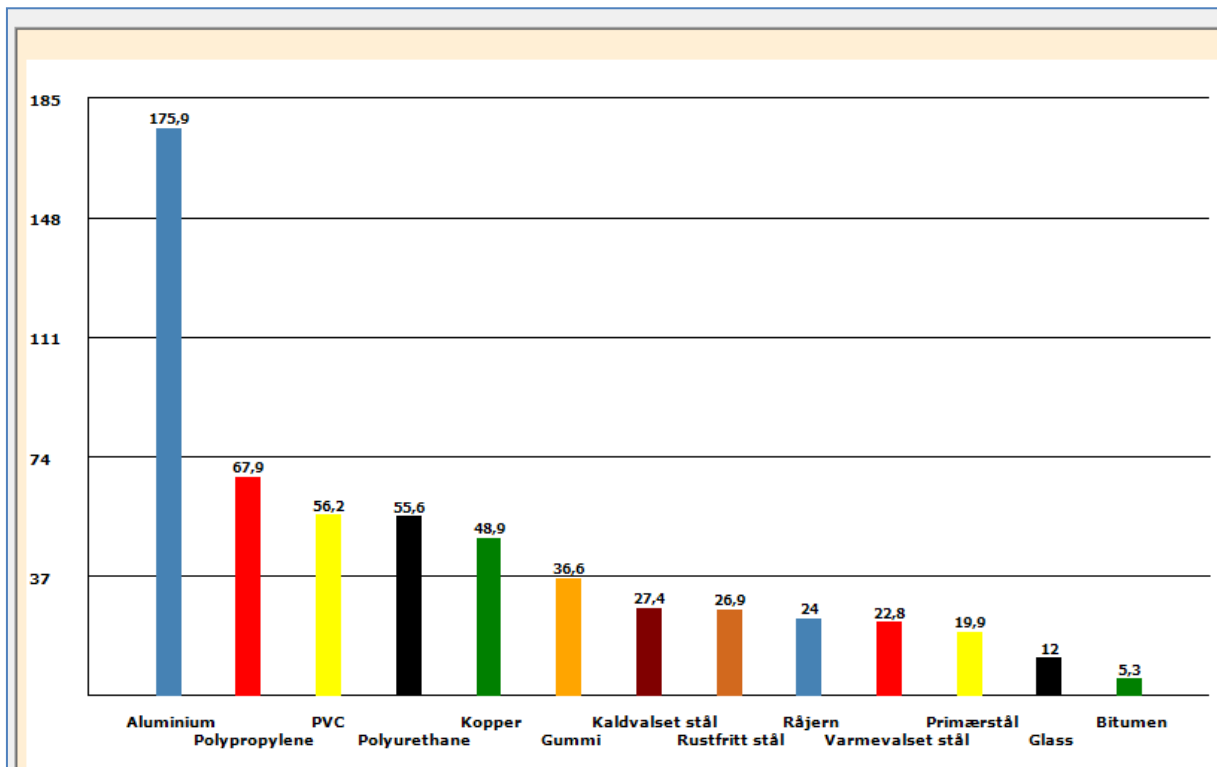
<sup>69</sup> CO<sub>2</sub>, ikke CO<sub>2</sub>-ekvivalenter.

<sup>70</sup> CO<sub>2</sub>, ikke CO<sub>2</sub>-ekvivalenter

Polyurethane	55,6	4,99	ProBas
Polypropylene	67,9	1,7 <sup>71</sup>	ELCD
Bitumen	5,3	1,2	ProBas

Figur 24 er en grafisk framstilling av energibruksfaktorene i Tabell 44. Aluminium er det klart mest energikrevende metallet å produsere. Figur 25 er en grafisk framstilling av utslippsfaktorer for CO<sub>2</sub>-ekvivalenter for de samme metaller.

Figur 24 Energibruksfaktorer for ulike metaller.



Figur 25 Utslippsfaktorer CO<sub>2</sub>-ekvivalenter for utvalgte metaller.

<sup>71</sup> CO<sub>2</sub>, ikke CO<sub>2</sub>-ekvivalenter

