

A close-up photograph of several bright yellow flowers with dark stamens, set against a blurred background of green foliage and a light-colored surface. The flowers are the central focus of the image.

Terugwinning van zink bij de recycling van verzinkt staal(schroot)

(Een overzicht van onderzoeken en de gebruikte technologie)



WMB Consultancy

Kwaliteits-, arbo-, milieu & energiemangement

Terugwinning van zink bij de recycling van verzinkt staal(schroot)

(Een overzicht van onderzoeken en de gebruikte technologie)

opdrachtgever	VROM
project	Inventarisatie uitgevoerde onderzoeken rondom terugwinning van zink bij de recycling van verzinkt staal(schroot)
ordernummer	5040081303
revisie	Eindrapport
datum	31 maart 2008
auteur	Drs. B.M. Tieman

Opdrachtgever:	Drs. R.J.A.J. Thijssen - VROM/SAS
Coördinatie:	Mevr. Ir. A. van Schaik - SenterNovem
Peer review:	Dr. W. van Tilborg - VTBC

Dit rapport is mede	Ing. H. van den Elsen	-	Head Environment Nyrstar Budel
tot stand gekomen	Ir. C. Geenen	-	Global Manager Technology Nyrstar Balen (B)
dankzij de medewer-	Ing. W. Kat	-	Manager Strategy and Coordination
king van:			Environmental Management Corus IJmuiden

WMB Consultancy

Weesboom 18
8061 LR Hasselt

telefoon 038-4774389
telefax 038-4773109
e-mail info@wmbc.nl



WMB Consultancy

Kwaliteits-, arbo-, milieu & energiemangement

Inhoud

Samenvatting en conclusies	4
1 Inleiding	7
2 Verwerking van staalschroot tot ruwijzer of oxystaal	9
3 Pyrometallurgische processen voor de verwerking van EAF-stof	14
3.1 Het Waelz-Kiln-proces	14
3.2 Rotary Hearth Furnace	16
3.3 Het Oxycupproces	17
3.4 Plasma zinc fuming	17
3.5 Het Primusproces	19
3.6 Het Radustconcept	19
3.7 Het Imperial Smelting Furnace (ISF)	19
3.8 De Flashreactor	20
4 Hydrometallurgische processen EAF- stof	21
4.1 Loging met ammoniumcarbonaat	21
4.2 Loging met zoutzuur	21
4.3 Loging met ammoniumchloride	21
4.4 Zincox LTC-project	21
5 Pyrometallurgische processen BOF- en HO-stof	22
5.1 Hoogovenproces DKR	22
5.2 Herinzetten gebriketteerde oxysludge	22
6 Pyrometallurgische processen verzinkt staal	23
6.1 Verdamping van zink onder vacuümcondities	23
7 Hydrometallurgische processen verzinkt staal	24
7.1 Het Meretecproces	24
7.2 Het Rezeda-proces	24
7.3 Ontzinkingsproces Hoogovens	25
8 Hydrometallurgische processen verzinkte stalen voorwerpen	26
8.1 Het Arrossoproject	26
9 Mogelijk verder onderzoek in het kader van Project ketenaanpak in het afvalbeleid	27
9.1 Het traject EAF-stof - Waelz-oxide	27
9.2 Het traject refurbishing van vormgegeven verzinkte materialen	29
10 Closing the loop anno 2008	30
Bijlage 1 Productie ruw staal 2006	31
Bijlage 2 Informatieve websites	33



Samenvatting en conclusies

Bij het smelten van zinkhoudend schroot in een elektro-oven (electric arc furnace) komt zinkhoudend stof vrij dat wordt afgevangen in stoffilters.

Aanvankelijk werd dit stof afgevoerd naar een deponie. Allengs werd onderkend dat dit niet alleen een milieuprobleem werd maar ook sprake was van verspilling van grondstoffen. In 1996 bleek uit een inventarisatie onder 67 bedrijven dat 5% van het stof werd opgeslagen, 4% gerecycled, 24% extern gebruikt, 3% verkocht en 64% afgevoerd naar een deponie¹.

Anno 2007 wordt meer dan 90% van het EAF-stof op een of andere wijze bewerkt om ijzer en of zink terug te winnen.

De productie van EAF-stof in Europa bedraagt thans 1.2 - 1.3 Mt/a. De wereldwijd ligt de productie rond 7 Mt/a. In Nederland komt het stof met name vrij bij Nedstaal. Het betreft hier 3.0 - 3.5 Kt/a.

In 1910 werd het Waelz-proces ontwikkeld. Pas in het laatste decennium heeft de toepassing van dit proces een grote vlucht genomen bij de verwerking van EAF-stof.

Een nadeel van het proces is dat slechts 60% van het zink uit het EAF-stof wordt teruggewonnen in de vorm van oxiden (Waelz-oxide). 40% blijft achter in de slak die wordt afgevoerd naar een deponie. Het Waelz-oxide wordt verwerkt bij zinkproductiebedrijven als Nyrstar, Umicore enz.

Het Waelz-oxide heeft een te hoog chloride- en fluoridegehalte. Bij de verwerking in het zinkproces van Nyrstar wordt het daarom ingezet in de roostingstap.

De grootste verwerker van EAF-stof in Europa is B.U.S. met een verwerkingscapaciteit van 320.000 t/a. De totale verwerkingscapaciteit in Europa bedraagt ca. 750.000 t/a.

Het Waelz-proces is op dit moment nog steeds het meest toegepaste proces voor de verwerking van EAF-stof. Niet alle zink wordt met deze methode onttrokken aan het stof. Ook het ijzer in het stof wordt niet teruggewonnen.

Naast het Waelz-kiln-proces, zijn in de afgelopen jaren diverse andere processen ontwikkeld voor de verwerking van EAF-stof: het plasma-arc-proces (zink fuming) en het rotary-hearth-furnace. De ontwikkelingen zijn er met name op gericht om de recovery van zink te vergroten.

¹ BREF Iron and Steel 2001: Fate of dust collected from primary and secondary off gases of EAF; data from 67 plants ! [EC Study, 1996]



WMB Consultancy

Kwaliteits-, arbo-, milieu & energiemangement

Er zijn initiatieven ontwikkeld om, door middel van logging, het zinkoxide vrij te maken uit het EAF-stof. Geen van deze methoden is op dit moment op grote schaal in productie genomen. De processen leken veelbelovend. Zincox heeft plannen gehad om een dergelijk procédé op grote schaal toe te gaan passen in het Leach to Chemical Project. (LTC-project). Daar met het Rotary Hearth Furnace betere resultaten werden bereikt is het LTC-project van Zincox gestopt.

Het RHF-proces geeft zowel een recovery van 94% zink als 92% van het aanwezige ijzer. Zincox zet volgens haar berichtgeving zwaar in op het RHF-proces met nieuwe bedrijven in de VS en Turkije.

Het Zink Fuming Proces van ScanArc, waarbij gebruik wordt gemaakt van plasmabranders, claimt een hoge recovery rate van 94% maar heeft als nadeel dat het ijzer niet wordt teruggewonnen maar achterblijft in de slak.

In het Oxycupproces wordt evenals in het RHF-proces zowel het zink als het ijzer teruggewonnen. Daarnaast is het Oxycupproces ook geschikt om andere ijzerhoudende afvalstoffen uit de staalindustrie te verwerken.

Alle pyrometallurgische processen hebben als nadeel dat het (gereduceerde) zink niet direct wordt teruggewonnen maar vrijkomt als oxide.

De totale capaciteit van de overige (niet Waelz) pyrometallurgische processen in de EU bedraagt ca. 130 Kt/a.

Een ander spoor voor de terugwinning van zink uit verzinkt staal is de toepassing van elektrolyseprocessen. Geshredderd staal wordt elektrochemisch geloofd in een oplossing van natronloog. Het staal kan direct worden ingezet in het Basic Oxygen Furnace (BOF). Met een recovery van 99.9% zink en 100% staal ziet dit er veel belovend uit. Directe terugwinning van zink uit het schroot wordt bijvoorbeeld toegepast in het Meretecproces, dat ondermeer in gebruik is bij Rocycling in Melbourne.

BOF-stof en hoogovenstof komen als sludge vrij uit de rookgasreiniging bij de productie van ruwijzer en oxystaal. In Europa (EU 25) komt ca. 13 kg BOF-stof en ca. 10 kg BOF-sludge vrij bij de productie van 1 ton ruw staal. Dit komt neer op ca. 1.5 Mt/a BOF-stof en ca. 1.2 Mt/a BOF-sludge.

Als gevolg van de (gedeeltelijke) inzet van niet geheel zinkvrij scrap en de zinkcontent van ijzererts bevat de sludge ca. 2 - 3% zink. De hoeveelheid sludge welke vrijkomt bij Corus bedraagt 30 - 35 Kt/a.

Het materiaal van Corus wordt voornamelijk verwerkt in een combinatie van een sinteroven en een koepeloven bij DKR in Duitsland. Het zinkhoudende slib van DKR bevat ca. 60% van het oorspronkelijk in de sludge aanwezige zink en wordt afgezet bij verwerkende bedrijven.

WMB Consultancy

Kwaliteits-, arbo-, milieu & energiemangement

Een nieuw initiatief van eigen bodem is het Arrossoproject. Dit project is er op gericht om niet alleen het zink terug te winnen maar ook het voorwerp, waar het van afkomstig is, zodanig te renoveren (herstellen van de vorm en verzinken) dat het weer geschikt is voor het oorspronkelijke doel. Hiermee wordt voorkomen dat het materiaal als schroot in het recyclingcircuit terechtkomt waar het weer wordt gesmolten, gewalst en vormgegeven. Dit geeft een aanzienlijke energiebesparing.

Van het zink dat wordt gebruikt voor galvanische bescherming van staal verlaat minder dan 40% de zinkketen in de vorm van al dan niet nuttig toepasbare slakken.

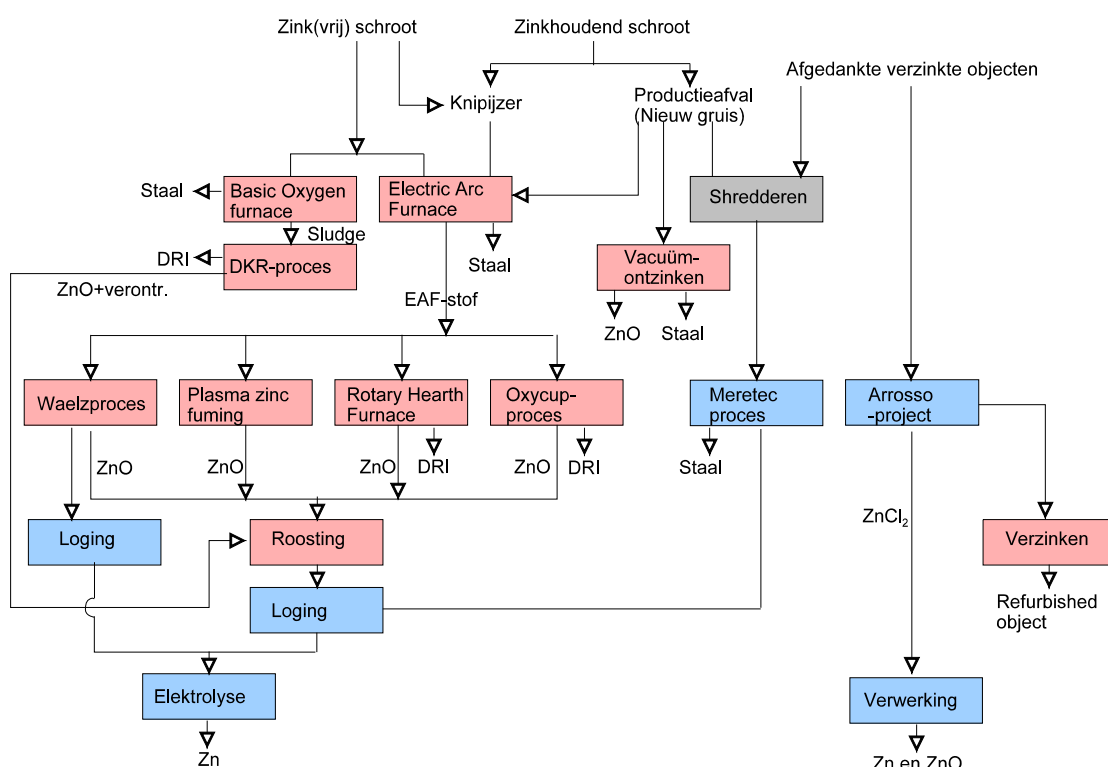


Fig. 1: Overzicht van de belangrijkste processen bij de recycling van verzinkt staal(schroot)

Het verzinken omvat circa 26% van het zinkverbruik. Dit resulteert in een verlies van ca. 10% van de zinkproductie.

Gezien de voortgaande trend om hogere recoverypercentages te realiseren (Plasma arcproces, Rotary Hearth Furnace, Meretecproces e.d.) zal in de toekomst dit percentage verder afnemen.

Geconcludeerd mag worden dat wereldwijd veel effort wordt gestoken in het terugwinnen van zink uit gegalvaniseerd staal, EAF-stof en oxysludge.

Bedrijfseconomische- en milieufactoren zullen in belangrijke mate bepalen bij welke bedrijven en met welke technologie deze afvalstoffen worden verwerkt.

Nederland speelt in de hiervoor beschreven problematiek op dit moment slechts een beperkte rol als ontdoener van dit materiaal.



1 Inleiding

In het kader van het project “Naar een ketenaanpak in het afvalbeleid” ter voorbereiding op het nieuwe Landelijk Afvalbeheerplan (LAP) loopt als een van de zes ketenpilots de “ketenpilot Zink”.

Om de zinkkringloop verder te sluiten wordt gedacht aan de terugwinning van zink bij herverwerken van verzinkt staal.

In opdracht van VROM is een overzicht samengesteld van de uitgevoerde onderzoeken op nationaal en internationaal niveau.

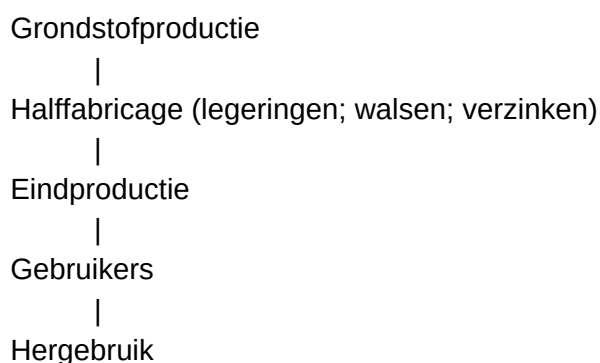
Voor zover deze onderzoeken al hebben geleid tot de ontwikkeling van verwerkingsmethoden, zijn deze methoden beschreven in dit rapport.

Voor de totstandkoming van dit rapport is gebruik gemaakt van de kennis bij de deelnemers aan de ketenpilot en andere deskundigen bij de deelnemende bedrijven: Nyrstar, Corus en Verzinkerij van Aerts

Om inzicht te verkrijgen in reeds geïntroduceerde technieken is een uitgebreide survey uitgevoerd op het internet.

Situatieschets van de zinkketen²

Bij een nadere beschouwing van de zinkketen blijkt deze in feite te bestaan uit diverse ketens. In eerste instantie is gekeken naar de metallische zinkketen. Deze bestaat uit:



In Nederland bevindt zich slechts een producent van primair zink. Hier vindt de omzetting plaats van ertsconcentraat in zuiver zink. Van daaruit komt het zink terecht in o.a. verzinkte producten en gewalst zink (geleiderail, dakgoten, dakbedekking e.d.). De voornaamste toepassing is de bouwsector. Verder zijn de (automobiel)industrie, de landbouw en wegenbouw grote afnemers.

² A. van Schaik SenterNovem

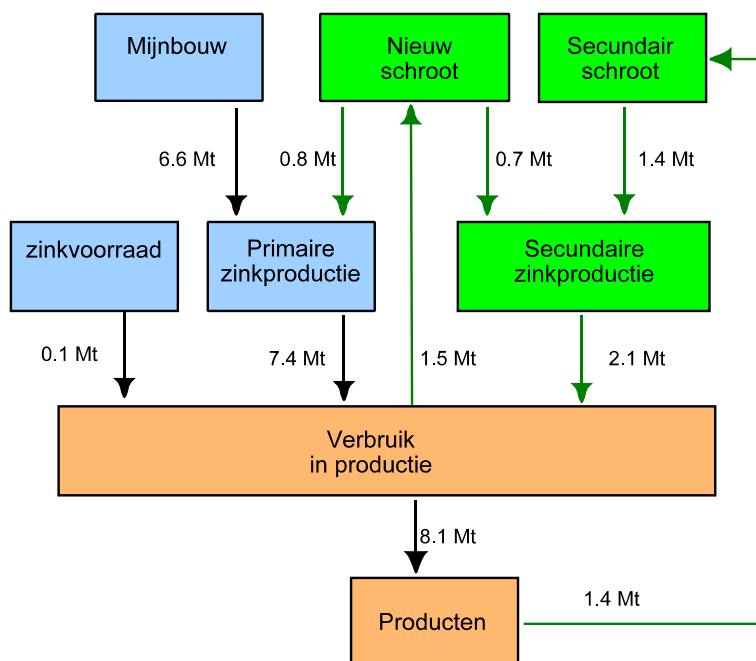


Fig. 2: Closing the loop 1996, IZA-Europe

EU27 x 1000.000 ton	2006			2007 (jan-nov)		
	productie	invoer	uitvoer	productie	invoer	uitvoer
Galvanisch verzinkt staal	4.2	0.1	0.3	n.a.	0.2	0.3
Vuurverzinkt staal	25.3	2.3	1.7	n.a.	3.8	1.1
Schroot ³ (zinkhoudend en zinkvrij)	- -	6.9	11.7	- -	5.4	9.7

Tabel 1: statistiek EU 27 landen⁴

Naast erts uit de zinkmijnen wordt zinkoxide verwerkt, dat wordt geproduceerd bij de recycling van stof afkomstig van elektro-ovens EAF-stof, hoogovens en basic oxygen furnaces (BOF).

In dit rapport is de herkomst en verwerking van dit stof in kaart gebracht.

Gezien de beschikbare tijd voor het onderzoek is het rapport beperkt gebleven tot een korte beschrijving van de belangrijkste verwerkingsmethoden.

³ Er zijn geen aparte gegevens van zinkhoudend schroot beschikbaar

⁴ Gabriela Stramka, WV Stahl im Stahl-Zentrum

2 Verwerking van staalschroot tot ruwijzer of oxystaal

Gegalvaniseerd schroot wordt in het algemeen verhandeld als “1-2 knipijzer exportkwaliteit” met max 15% gietijzer (herkomst: puinbrekers, sloopobjecten, reparatiebedrijven, staalverwerkende industrie) of als nieuw gruis (herkomst: plaatverwerkende industrie, stanserijen, etc).

Andere schrootsoorten (oxystaal, B-3 en nieuw ijzer) mogen in principe geen zink bevatten.⁵

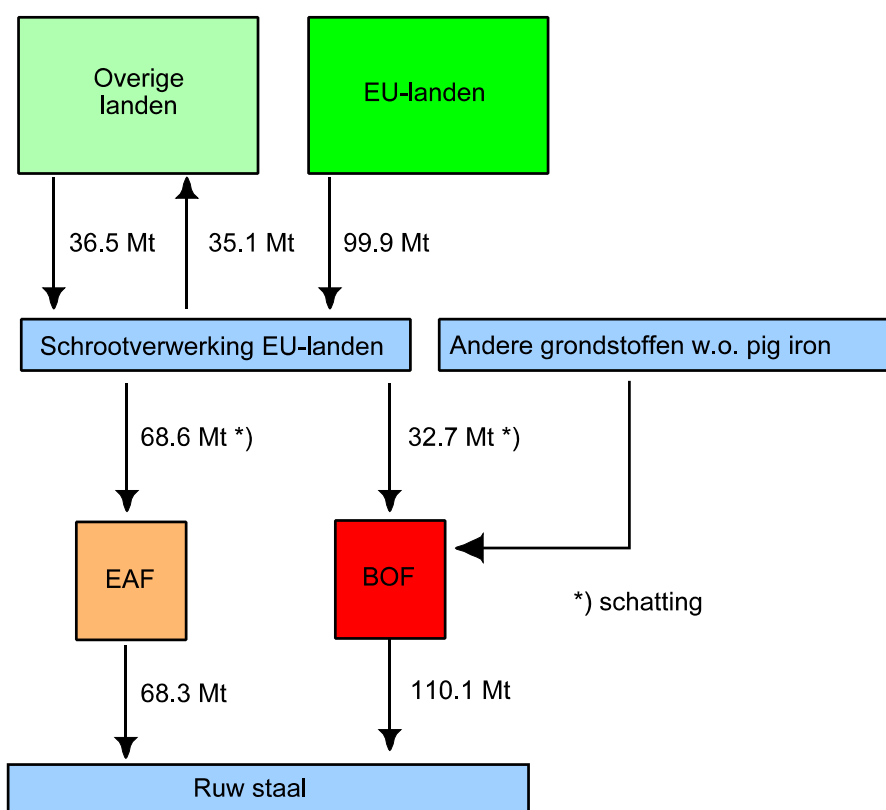


Fig. 3: Verwerking van staalschroot tot ruw staal EU 15 (Bron: International Iron and Steel Institute 2005)

De verwerking van 1-2 knipijzer en nieuw gruis vindt plaats in elektro-ovens (electric arc furnaces). Per ton geproduceerd staal komt ca. 20 kg stof vrij dat meegevoerd wordt in de rookgasreiniging. Dit stof bevat 10 - 35% zink. De hoge zinkgehalten worden in het algemeen verkregen door het opvangen stof weer in te zetten bij het smeltproces. Dit opnieuw inzetten wordt beschouwd als best beschikbare techniek (BAT).⁶

⁵ Comm. Jan Kuiper, Janssen Recycling Venlo B.V.

⁶ BREF Production of Iron and Steel 2001, chapter 9: EAF dust recycling

WMB Consultancy

Kwaliteits-, arbo-, milieu & energiemanagement

De verwerking van de andere kwaliteiten vindt plaats in hoogovens of basic oxygen furnaces (oxystaal proces, BOF).

Zowel bij het hoogovenproces als bij het oxystaalproces komt stof vrij dat wordt afgevangen in een gasreiniging (zie fig. 4).

Bij Corus IJmuiden wordt gebruik gemaakt van een batterij hydrocyclonen waarmee het stof uit de rookgassen wordt verwijderd.

Bij het smeltproces in de elektro-oven van Nedstaal komt EAF-stof vrij. Dit wordt afgevangen in de rookgasreinigingsinstallatie.

De hoeveelheid EAF-stof in Nederland bedraagt ongeveer 3500 ton per jaar.⁷

Dit betekent dat per ton ingezet schroot in de elektro-ovens ongeveer 20-25 kg EAF-stof vrijkomt. Dit komt overeen met de gegevens uit diverse publicaties.

Volgens opgave van Nedstaal bevat het EAF-stof 38.6 - 50.7% zink en 17.5 - 23.8 % ijzer.

Hieruit valt af te leiden dat het stof conform BAT zoals beschreven in de BREF Iron and Steel 2001, wordt teruggevoerd in de elektro-oven om de zinkconcentratie verder te verhogen.

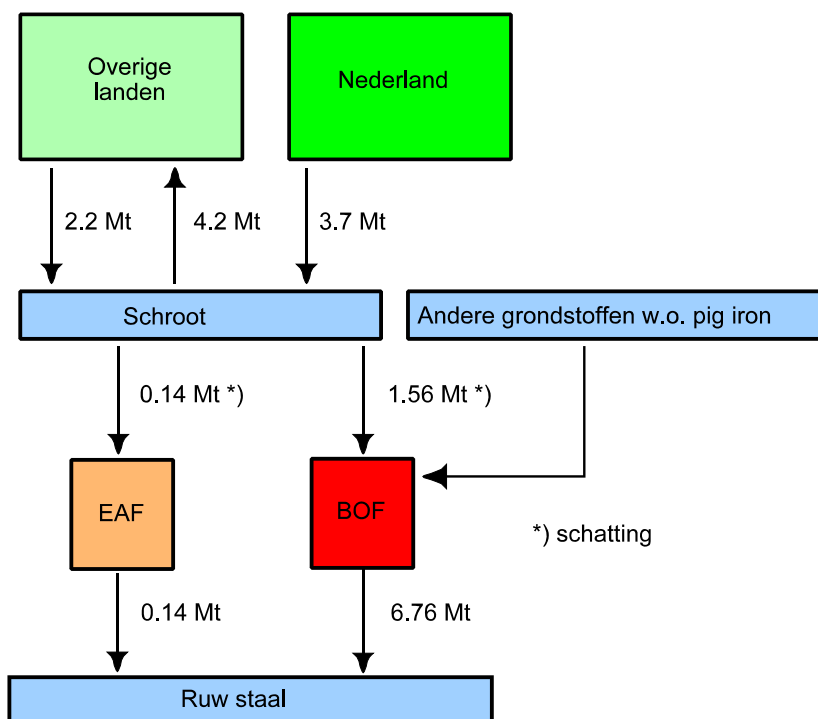


Fig. 4: Verwerking van staalschroot tot ruw staal Nederland (Bron: International Iron and Steel Institute 2005)

⁷ Analyse exportgegevens EVOA kennisgevingen Nedstaal Euralcode 10 02 07*

WMB Consultancy

Kwaliteits-, arbo-, milieu & energiemangement

In tabel 2 zijn de meest voorkomende componenten weergegeven van de stoffen die vrijkomen bij elektro-ovens en basic oxygen furnaces.

Component	Dust from carbon/ low alloyed steel production [weight-%]			Dust from high alloyed/ stainless steel production [weight-%]		
Fetot	25	–	50	30	–	40
SiO ₂	1.5	–	5	7	–	10
CaO	4	–	15	5	–	17
Al ₂ O ₃	0.3	–	0.7	1	–	4
MgO	1	–	5	2	–	5
P ₂ O ₅	0.2	–	0.6	0.01	–	0.1
MnO	2.5	–	5.5	3	–	6
Cr ₂ O ₃	0.2	–	1	10	–	20
Na ₂ O	1.5	–	1.9		n/a	
K ₂ O	1.2	–	1.5		n/a	
Zn	10	–	35	2	–	10
Pb	0.8	–	6	0.5	–	2
Cd	0.02	–	0.1	0.01	–	0.08
Cu	0.15	–	0.4	0.01	–	0.3
Ni	0.02	–	0.04	2	–	4
V	0.02	–	0.05	0.1	–	0.3
Co	0.001	–	0.002		n/a	
As	0.003	–	0.08		n/a	
Hg	0.0001	–	0.001		n/a	
Cl	1.5	–	4		n/a	
F	0.02	–	0.9	0.01	–	0.05
S	0.5	–	1	0.1	–	0.3
C	0.5	–	2	0.5	–	1
Basicity	2.0	–	6.5		n/a	
Moisture	6	–	16		n/a	

Tabel 2: BREF Iron and Steel 2001: Chemical composition of EAF dusts from the production of carbon steel/low alloyed steel and high alloyed steel ⁸

Als steekgetal voor het vrijkomen van zinkhoudend stof bij verwerking van schroot in elektro-ovens wordt voor West-Europa 1.2 - 1.3 Mt/a gehanteerd. Wereldwijd kan de productie worden becijferd op ca. 7 Mt/a. Uit een inventarisatie⁹ in 1996 onder 61 productiebedrijven bleek dat 64% EAF-stof werd afgevoerd naar een deponie. Sinds een aantal jaren geldt voor dit EAF-stof in de meeste landen een stortverbod.

Dit heeft tot gevolg gehad dat technieken zijn ontwikkeld om dit stof te kunnen verwerken. 90% wordt inmiddels gerecycled.

Het stof bevat gemiddeld 10 - 35% zink. Afhankelijk van de verwerkingsmethode wordt 60 - 99.9% teruggewonnen. Het resterende zink blijft achter in de slak.

⁸ EUROFER EAF, 1997; Hoffmann, 1997; Strohmeier, 1996

⁹ BREF Production of Iron and Steel 2001, chapter 9: EAF dust recycling



WMB Consultancy

Kwaliteits-, arbo-, milieu & energiemangement

Voor de verwerking van EAF-stof van Nedstaal werden/worden de volgende technieken toegepast:

Verwerker	Techniek	product	afvalstof
Recitech SA	Waelz-kiln	Waelzoxide 30%	slak 70%
B.U.S. Metall GmbH	Waelz-kiln	Waelzoxide n.a.	slak n.a.
Hydromtal SA	hydrometallurgie	zink en metalen n.a.	slak n.a.
Befesa Zink Duisburg GmbH	Waelz-kiln	Waelzoxide n.a.	slak
Sudamin MHD GmbH	imperial smelting proces	zink en lood n.a.	n.a.
Portovesme s.r.l.	Waelz-kiln	Waelzoxide en lood n.a.	slak n.a.
Grillo-Werke A.G.	n.a.	zinksulfaat n.a.	n.a.

Tabel 3: verwerkingsbedrijven EAF-stof Nedstaal ¹⁰

Het zink, het zinkoxide en de andere metalen welke vrijkomen bij deze processen worden verkocht aan zinksmelters of zinkproducenten. De slakken worden over het algemeen afgevoerd naar stortplaatsen waar ze worden toegepast als "bouwstof" (wegenverharding e.d.).

Corus koopt in principe geen verzinkt schroot. Een zinkverontreiniging in het ingekochte schroot is echter niet geheel te voorkomen. Bij het hoogovenproces verdampt het zink dat aanwezig is in de ertsen. Bij het oxystaalproces verdampt het zink dat aanwezig is in het schroot

In het hoogovenproces geproduceerd ruwijzer mag niet meer dan 150 gr/t zink bevatten. Dit in verband met de beheersing van het proces.

Het rookgasstof dat vrijkomt bij het hoogovenproces wordt in een hydrocycloon-batterij gescheiden in zinkrijke en zinkarme fracties.

De zinkarme fractie wordt teruggevoerd in het proces. De zinkrijke fractie wordt afgevoerd naar een verwerker (de laatste 3 jaar is dit voornamelijk DK Recycling und Roheisen GmbH in Duisburg). Dit betreft 35 - 40 Kt/a (volgens SenterNovem afvalbeheer) 20 - 30 Kt/a (volgens opgave van W. Kat).

Het rookgasstof afkomstig van het oxystaalproces wordt of ingezet in de hoogovens of afgevoerd naar een recyclingbedrijf.

Voor de verwerking van het stof van Corus IJmuiden worden de volgende technieken toegepast:

Verwerker	Techniek	product	afvalstof
DK Recycling	sinteroven/hoogoven	zink en lood	slak
B.U.S. Metall GmbH	Waelz-kiln	zinkoxide n.a.	slak n.a.

Tabel 4: verwerkingsbedrijven Corus sludge ¹¹

¹⁰ EAF-stof Nedstaal - SenterNovem Uitvoering Afvalbeheer

¹¹ HO- en BOF-sludge Corus - SenterNovem Uitvoering Afvalbeheer

WMB Consultancy

Kwaliteits-, arbo-, milieu & energiemangement

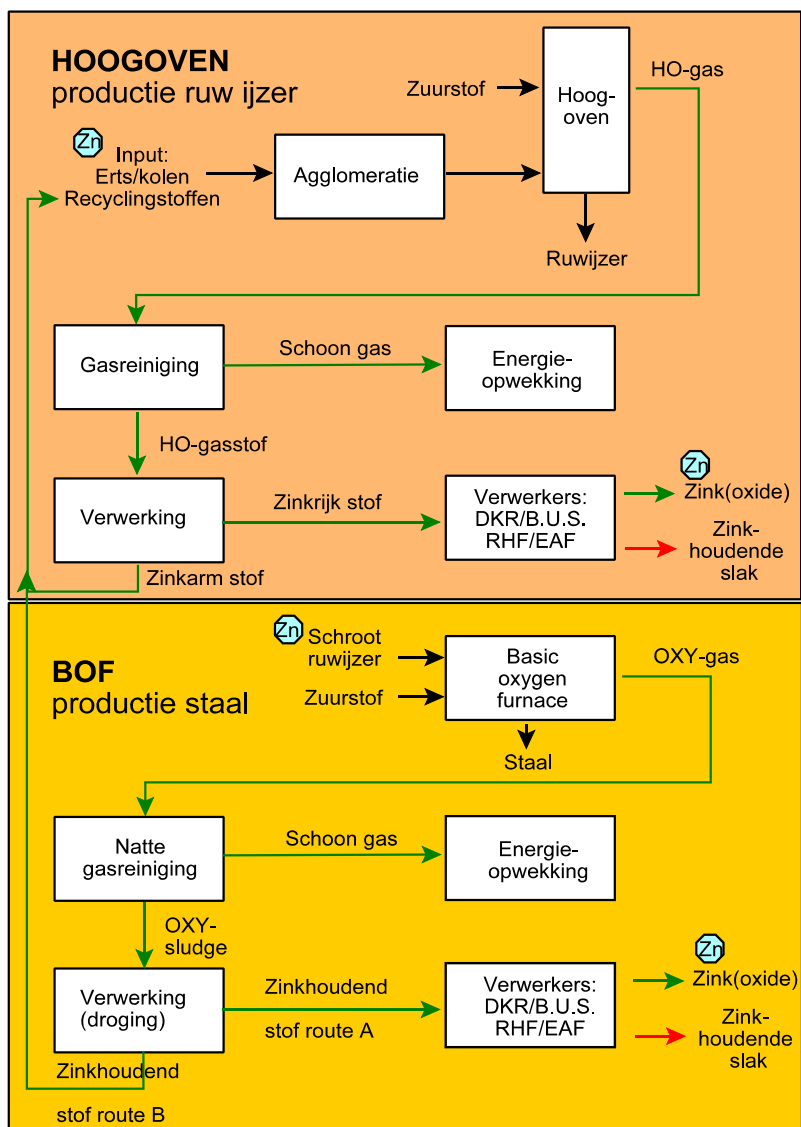


Fig. 5: Productieproces Corus IJmuiden - Wim Kat

In Europa (EU 25) komt gemiddeld 13 kg BOF-stof en 10 kg BOF-sludge vrij bij de productie van 1 ton ruw staal.¹²

Op basis van de productiegegevens over 2006 (zie bijlage 1) komt dit neer op 1.5 Mt/a BOF-stof en 1.2 Mt/a BOF-sludge.

In de hoofdstukken 3 t/m 5 worden de verwerkingsprocessen van EAF-stof, BOF-stof en BOF-sludge verder beschreven.

¹² C. Hillmann et al - Solutions for dust and sludges from the BOF process - Stahl und Eisen 126 (2006) nr. 11

3 Pyrometallurgische processen voor de verwerking van EAF-stof

3.1 Het Waelz-Kiln-proces

Het meest voorkomende verwerkingsproces voor EAF-stof is het Waelz-kiln-procédé, ontwikkeld in 1910.

Het EAF-stof wordt gemengd met zand en cokes. In een cementoven wordt het materiaal in tegenstroom verhit tot 1300 °C. IJzer-, zink- en loodverbindingen worden gereduceerd. Zink en lood verdampen. Via het inblazen van lucht worden zink- en loodoxide gevormd. De oxiden worden in de rookgasreiniging opgevangen als Waelz-oxide.

		ongewassen			gewassen			
Zn	%	52	-	60	60	-	68	
Pb	%	4	-	6	5	-	7	
Cd	%	0.1	-	0.2	0.1	-	0.2	
Cu	%			0.1			0.1	
Fe	%	1.5	-	4.5	2.5	-	5.5	
Si	%	0.02	-	0.4	0.25	-	0.45	
Ca	%	1.5	-	3	1.5	-	3	
Cl	%	3.5	-	7	0.2	-	0.25	
F	%	0.2	-	0.3	0.05	-	0.25	
S	%	0.5	-	1	0.5	-	1	
H ₂ O	%				16	-	18	vóór drogen
H ₂ O	%				12	-	14	na drogen

Tabel 5: Samenstellingen ongewassen en gewassen Waelz-oxiden¹³

De vliegashoudende stof welke vrijkomt bij dit proces bevat circa 52 - 60% zink als oxide + chloride en fluoride. De halogenen welke achterblijven in het stof zijn ongewenste stoffen in het elektrolyseproces bij zinkproducenten. Aanvankelijk werd het stof behandeld met een zure oplossing.

Umicore en een Waelz-producent hebben, in de jaren '90 van de vorige eeuw, proeven uitgevoerd waarbij het zinkhoudende stof bij 80 °C werd behandeld in een alkalische oplossing. Het meeste chloride lost op. Fluoride wordt hierbij niet verwijderd.

Een voorwaarde voor dit proces is dat de Waelz-producent een locatie bij de zee heeft om de chloriden te kunnen afvoeren. Fluor kan worden verwijderd in de vorm van calciumfluoride. (Vervoer van chloridehoudend water vanaf een verder van zee gelegen locatie brengt hoge transportkosten met zich mee terwijl indampen veel energie kost en het residu alsnog gestort moet worden).

¹³ Charles Geenen Nyrtar Balen (B)

WMB Consultancy

Kwaliteits-, arbo-, milieu & energiemangement

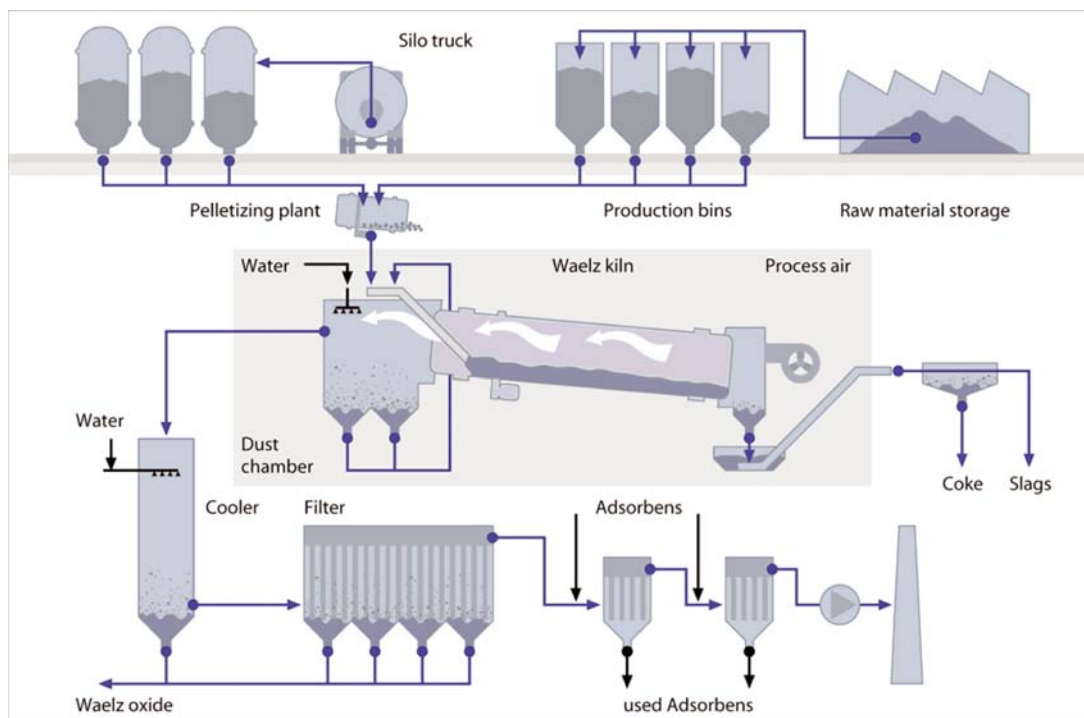


Fig. 6: B.U.S. Steel Services GmbH: Het Waelz-proces

Fabrieken die het Waelz-procédé toepassen zijn: Horsehead (USA ca. 225.000 t/a), B.U.S. (Duitsland 320.000 t/a), Harz Metall (Duitsland 65.000 t/a) Recytech (50% B.U.S. Frankrijk 115.000 t/a), Aser (Spanje 170.000 t/a) en Ponte Nossa (Italië 80.000 t/a). Griekenland gaat een kleine Waelz-oven installeren om lokaal vrijkomend EAF-stof en het stof dat vrijkomt in Bulgarije te verwerken.

Bedrijven zijn in de loop der tijd overgestapt van een zure slak naar een basische slak met meer calcium. Een basisch Waelz-procédé laat een hogere productie toe in dezelfde oven, vergt minder energie en geeft een hogere zinkrecuperatie. EAF-stof levert gemiddeld ca. 40% Waelz-oxide op. Dit Waelz-oxide bevat gemiddeld ca. 65% zink

Een nadeel van het Waelz-proces is dat slechts ca. 68% van het zink uit het EAF-stof wordt teruggewonnen in de vorm van oxiden (Waelz-oxide). Ca. 32% blijft achter in de slak die wordt afgevoerd naar een deponie.

WMB Consultancy

Kwaliteits-, arbo-, milieu & energiemangement

3.2 Rotary Hearth Furnace

Rotary Hearth Furnaces voor de verwerking van EAF-stof zijn operationeel in de US en Japan. Midrex en Kobe Steel ontwikkelden gezamenlijk het "Fastmet dust pellet reduction-proces". De eerste commerciële "Fastmet"plant is in 2000 in gebruik genomen bij de fabriek van Nippon Steel in Hirohata. Productiegegevens: inzet: 192.000 ton/a BOF-sludge en EAF-stof. Producten: 140.000 ton/a DRI (Direct Reduced Iron) en 2.250 ton/a ongezuiverd zinkoxide. Uit het stof wordt 94% van het zink en 92% van het ijzer teruggewonnen.

Nippon Steel heeft bij de fabriek in Kimitsu een vergelijkbaar systeem opgezet. In 2000 is een installatie in gebruik genomen voor de verwerking van EAF-stof. In 2002 gevolgd door een installatie voor de verwerking van BOF-sludge.¹⁴

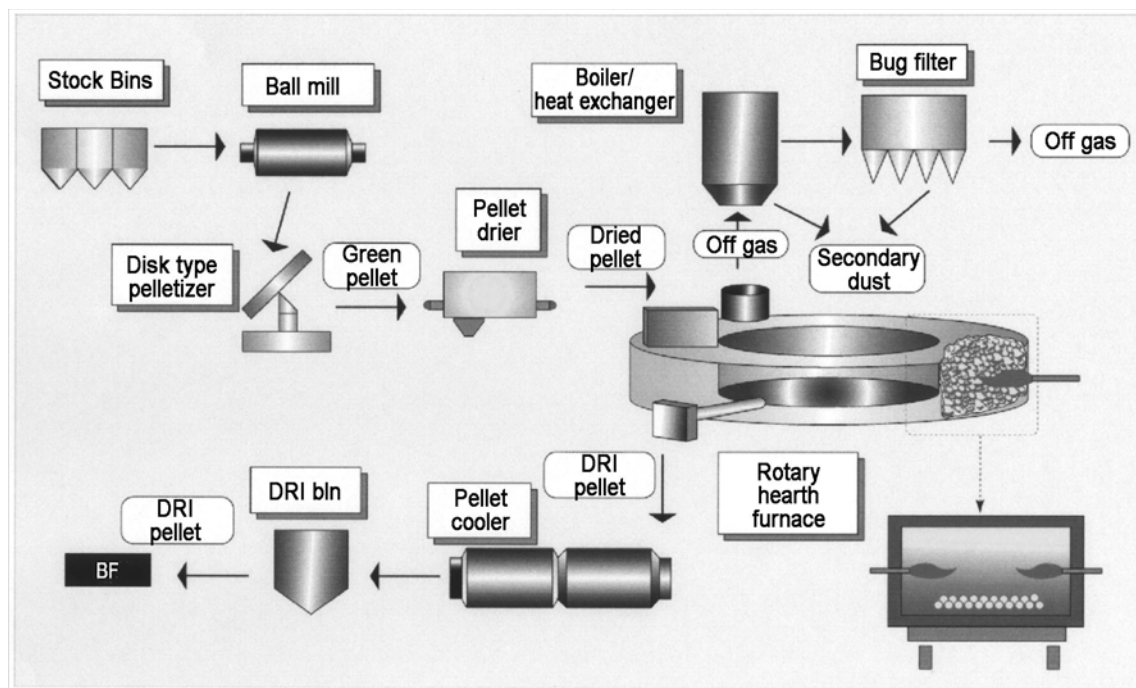


Fig. 7: Process configuration of No. 1 dust recycling plant (1DRP) Nippon Steel

Zincos USA maakt gebruik van dezelfde techniek en start met productiebedrijven in Aliaga Turkije (200.000 t/a), Sauget Illinois (400.000 t/a) en Ohio (200.000 t/a).

Bij Arcelor-Piombino (Italië) is met een bijdrage van de EU in 2001 een Redsmelt NST demoplant gebouwd. (NST = New Smelting Technology). Het verschil met andere verwerkingsprocessen ligt in de wijze van prepareren van de grondstoffen. De ontwikkeling is na de verkoop aan een Russisch bedrijf gestopt.¹⁵

¹⁴ Nippon Steel Technical Report No. 94 July 2006

¹⁵ Comm. Wim Kat, Corus

WMB Consultancy

Kwaliteits-, arbo-, milieu & energiemangement

3.3 Het Oxycupproces

Thyssen-Krupp maakt gebruik van een koepeloven om reststoffen, waaronder zinkhoudende te verwerken (BOF- en EAF-stof). EAF-stof wordt met andere stoffen gebriketteerd.

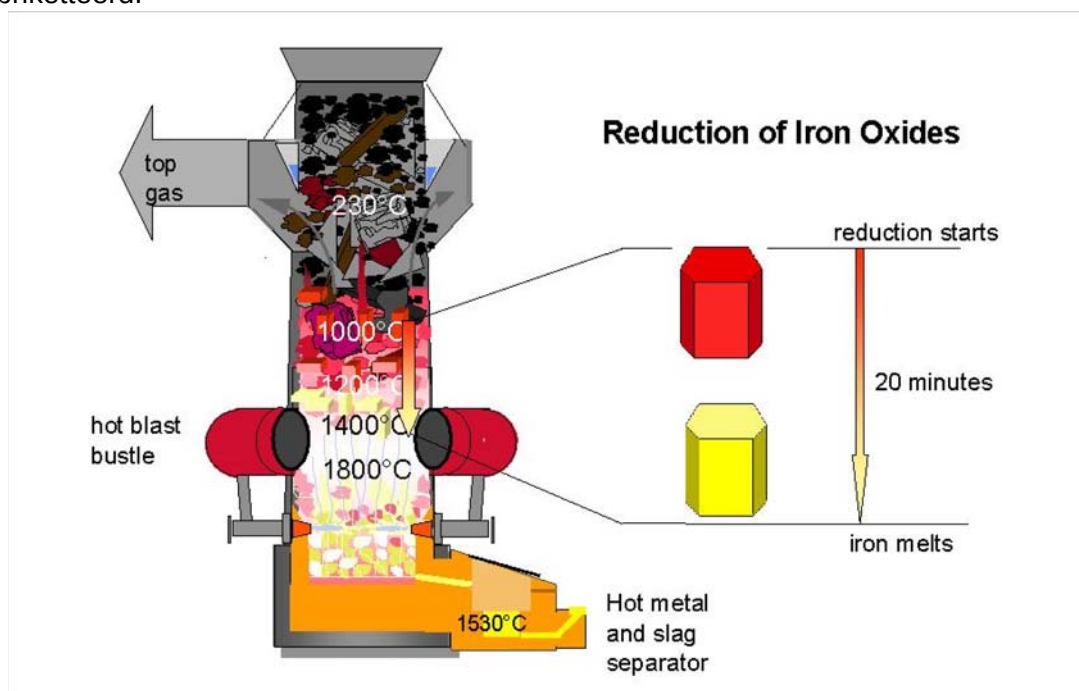


Fig. 8: Oxycupproces Kuettner GmbH & Co. KG, Essen, Germany

De briket bevat "interne" brandstof. Tijdens het proces vindt in de briket inwendige reductie plaats. De briketten worden vervolgens verwerkt in het direct-gereduceerd-ijzer-proces (DRI = direct reduced iron). Het proces is ontwikkeld door Kuettner en Thyssen-Krupp. Hoeveel procent zink uit het EAF-stof wordt teruggewonnen, wordt in de geraadpleegde literatuur niet aangegeven.

3.4 Plasma zinc fuming

Dit proces wordt gebruikt voor het terugwinnen van zinkoxide uit EAF-stof. Onderstaand proces wordt toegepast bij Eras Metals in Høyanger Noorwegen. De capaciteit bedraagt 40.000 t/a.

De zeer zware inerte slak wordt toegepast als ballast voor kabels op de zeebodem. Het proces is ontwikkeld en gepatenteerd door Umicore S.A. en Sven Santen van ScanArc.

Het patent is niet exclusief. Cruciaal voor het proces is het gebruik van de plasmagenerators van ScanArc.

WMB Consultancy

Kwaliteits-, arbo-, milieu & energiemanagement

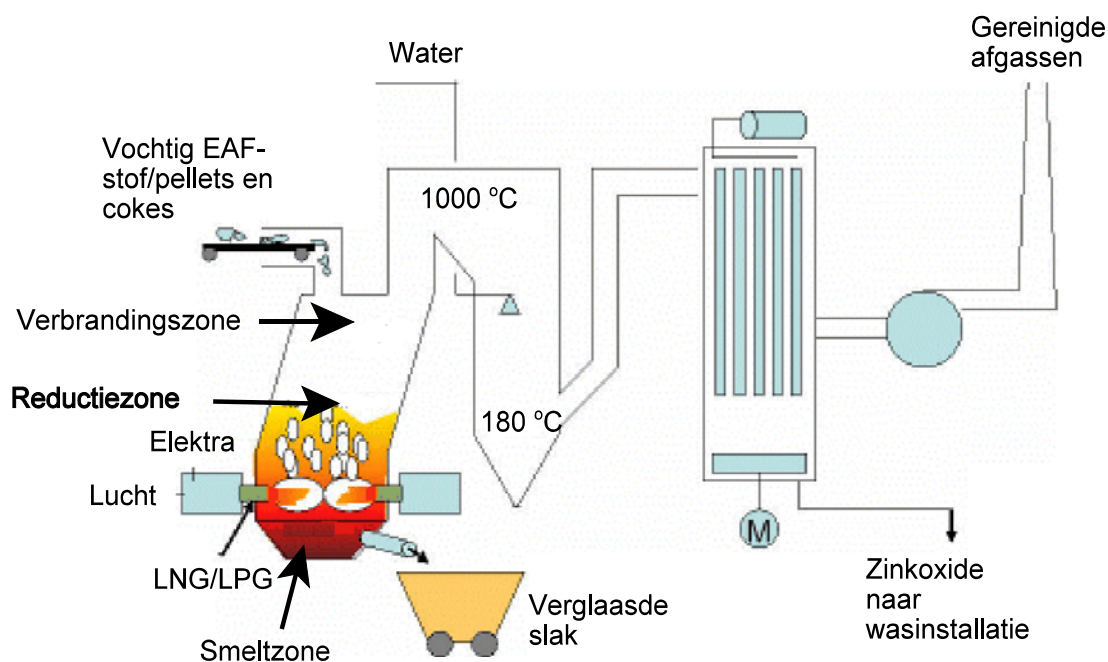


Fig. 9: Plasma zinc fuming ScanArc

De plasma-oven heeft een lager energieverbruik dan het Waelz-proces en produceert een inerte slak.¹⁶ De zinkrecovery kan worden berekend op ca. 94%.¹⁷ Het zinkoxide met de chloriden en fluoriden wordt opgevangen. Dit materiaal bevat circa 6% chloor. Het materiaal wordt gewassen in een alkalische wasser en bevat daarna nog 0.2% chloride en 0.2% fluoride.

De halogeenconcentraties zijn te hoog om het materiaal rechtstreeks in te kunnen zetten bij de productie van zink.

Bij Mintek in Zuid-Afrika is in de jaren '90 van de vorige eeuw het Enviroplas-concept ontwikkeld. Het is niet duidelijk of deze ontwikkeling heeft geleid tot een productiebedrijf. Ook bij dit proces wordt gebruik gemaakt van een plasma-brander voor het verdampen van zink en lood.

¹⁶ Comm. Charles Geenen, Nyrstar Balen

¹⁷ K. Verscheure et al, Modelling of a Submerged Plasma Process for Zn-containing Residues Treatment - Proceedings of EMC 2005

WMB Consultancy

Kwaliteits-, arbo-, milieu & energiemangement

3.5 Het Primusproces

Primus-proces: Paul Wurth SA.

Hierbij wordt een etage-oven toegepast gevolgd door een elektro-oven. Multiple Hearth Furnace. Het product is DRI-ijzer. Het zink verdampt bij het smeltproces en wordt als oxide opgevangen in een zakkenfilter. Het oxide is qua samenstelling vergelijkbaar met een Waelz-oxide.

Nadeel van het Primus-proces: het is vrij duur. Een plant van Primorec in Differdange Luxemburg past het proces als enige toe. De capaciteit bedraagt 75.000 t/a.

3.6 Het Radustconcept

In het Radusconcept wordt als variatie op het thema zoveel mogelijk gebruik gemaakt van de energie-inhoud (koolstof) van Blast-Furnace-stof. In dit proces worden EAF-stof, BF-stof en BOF-stof verwerkt.¹⁸ Er is nog geen daadwerkelijke toepassing van dit proces bekend.

3.7 Het Imperial Smelting Furnace (ISF)

Het Imperial Smelting Proces is een van de methoden om zink te produceren uit zinkerts (9% van de jaarlijkse zinkproductie). Het werd in de jaren '90 van de vorige eeuw ook toegepast voor de verwerking van EAF-stof. De oorspronkelijke plant in Avonmouth is na sluiting overgenomen door Sudamin MHD GmbH. De activiteit is uiteindelijk in 2005 beëindigd daar het proces niet rendabel bleek.

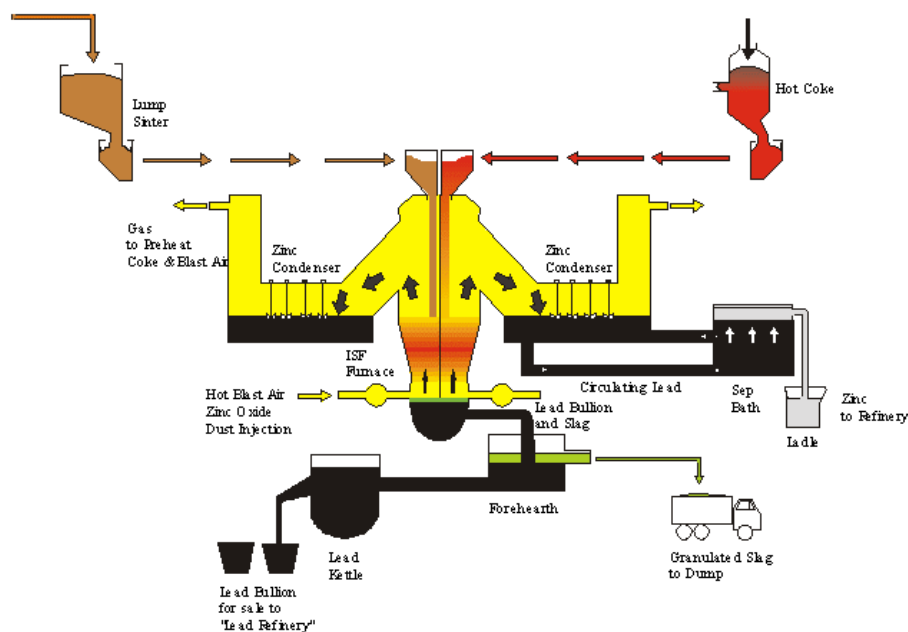


Fig. 10: het Rotary Hearth Furnace

¹⁸ H. Jalkanen et al. J. Min. Met. 41 B (2005) Recycling of steelmaking dust - The Radus Concept



WMB Consultancy

Kwaliteits-, arbo-, milieu & energiemangement

3.8 De Flashreactor

Geclaimd wordt dat met dit proces lood, chloride en fluoride compleet worden verwijderd uit de smelt, er sprake is van een hoge opbrengst van zink (van hoge kwaliteit) en ijzer, terugwinning van ijzer en diverse legeringen en de productie van een bruikbare slak die hooguit 10 % bedraagt van de materiaalinzet.¹⁹ Er is nog geen daadwerkelijke toepassing bekend.

¹⁹ J. Antrekowitsch et. al. *Use of the Flash-Reactor-Principle to Recover Zinc from Steel-Mill Dusts* 2005 August • JOM



4 Hydrometallurgische processen EAF- stof

4.1 Logging met ammoniumcarbonaat

Er zijn processen ontwikkeld waarbij de logging van het EAF-stof wordt uitgevoerd met ammoniumcarbonaat. Hierbij vormt zich zinkcarbonaat dat zich gemakkelijk om laat zetten in zinkoxide. Circa 58% van het zink wordt teruggewonnen. Dit is vergelijkbaar met het Waelz-proces.

Nadeel: Het ammoniumcarbonaat is een tamelijk duur reagens.²⁰

4.2 Logging met zoutzuur

In een patent van Ho In Lee et al. wordt geclaimd dat logging van zink uit EAF-stof door middel van zoutzuur veel effectiever is dan logging met zwavelzuur zonder de vorming van jarosite.²¹

4.3 Logging met ammoniumchloride

In 1996 is het Ezinex-proces in productie gegaan bij Ferrière Nord in Ossopo Italië. Capaciteit: 12.000 t/a.

In dit proces wordt EAF-stof geloogd met ammoniumchloride. Na zuivering van de vloeistof volgt een elektrolyse.

Een nadeel van dit proces is het hoge loodgehalte van het zink.²²

4.4 Zincex LTC-project

Doel van dit project was het hydrometallurgisch bewerken van EAF-dust op de wijze waarop ook zinkerts kan worden verwerkt. In 2006 heeft Zincex op bedrijfs-economische gronden besloten om dit spoor te verlaten en verder te gaan met het pyrometallurgische proces (zie rotary hearth furnace hfdst. 3.2).

²⁰ O. Ruiz et. al. *Proceedings of the 9th International conference on Environmental Science and Technology*, Sept. 2005.

²¹ Ho In Lee et al, *Hydrometallurgical method for recovery of zinc from electric arc furnace dust* US Patent No. 490624 Issued on January 15, 2002

²² Dutrizac J.E., Chen T.T. *The role of hydrometallurgy in the recycling of zinc, copper and lead*



WMB Consultancy

Kwaliteits-, arbo-, milieu & energiemangement

5 Pyrometallurgische processen BOF- en HO-stof

5.1 Hoogovenproces DKR

Bij DK Recycling und Roheisen GmbH worden de ijzer- en zinkhoudende afvalstoffen, na een voorbehandeling in een sinteroven, in een hoogoven gebracht, waarbij het aanwezige ijzer (ca. 21,2 massaprocent) terechtkomt in het eindproduct (staal). Ook het aanwezige lood (ca. 1,1 massaprocent) en 60% van het aanwezige zink (c.a. 2,8 massaprocent ~ 840 t/a) wordt na de behandeling in de hoogoven en de daarbij behorende gaswassing als zinkhoudend slib teruggewonnen en bij derden verder behandeld. De overige metaalfracties (SiO_2 , MgO , Al_2O_3 en CaO) komen in de slakken terecht. Deze worden ingezet bij de aanleg van wegen, dijken en dammen. De zinkrecovery bedraagt ~ 504 t/a. De rest (~ 630 t/a) blijft achter in de slak.

5.2 Herinzetten gebriketteerde oxysludge

Bij Voestalpine in Linz werd de gedroogde zinkhoudende-oxysludge gebriketteerd en wel tot 30x opnieuw ingezet in het staalproductieproces (converteroven). De concentratie van de zinkdamp rondom het convertorbordes liep zo hoog op, dat dit gevaarlijk werd voor de gezondheid van de medewerkers.²³ Dit proces wordt niet meer toegepast.

²³ Comm. Wim Kat, Corus



WMB Consultancy

Kwaliteits-, arbo-, milieu & energiemanagement

6 Pyrometallurgische processen verzinkt staal

6.1 Verdamping van zink onder vacuümcondities²⁴

Een buitenbeentje in de toepassing van pyrometallurgie is het vacuüm-verdampingsproces.

Dit proces is ontwikkeld door de École Centrale de Lille (ECL) in samenwerking met Électricité de France (EDF) en Française de Mécanique (FM).

Het schroot wordt een inductie-oven onder vacuümcondities gesmolten waarbij het zink verdampt. Het zink wordt vervolgens geoxideerd.

Voor zover bekend is deze methode (nog) niet in productie genomen.

²⁴ Ecole Centrale de Lille - Recycling of zinc coated scrap - allbusiness.com 2001

7 Hydrometallurgische processen verzinkt staal

7.1 Het Meretecproces

Bij het Meretec-proces wordt het schroot eerst geshredderd waarbij de zinklaag wordt beschadigd. In een trommel wordt het materiaal elektrochemisch geloogd met natriumhydroxide. Na diverse bewerkingsstappen wordt het zink uiteindelijk door middel van elektrolyse uit de oplossing gehaald. Het proces wordt onder meer toegepast bij Southern Recycling in Melbourne²⁵. De capaciteit bedraagt 120.000 t/a met een verwachte opbrengst van 2000 ton zink. Bij dit proces wordt 99.9% van het zink en 100% van het staal teruggewonnen.

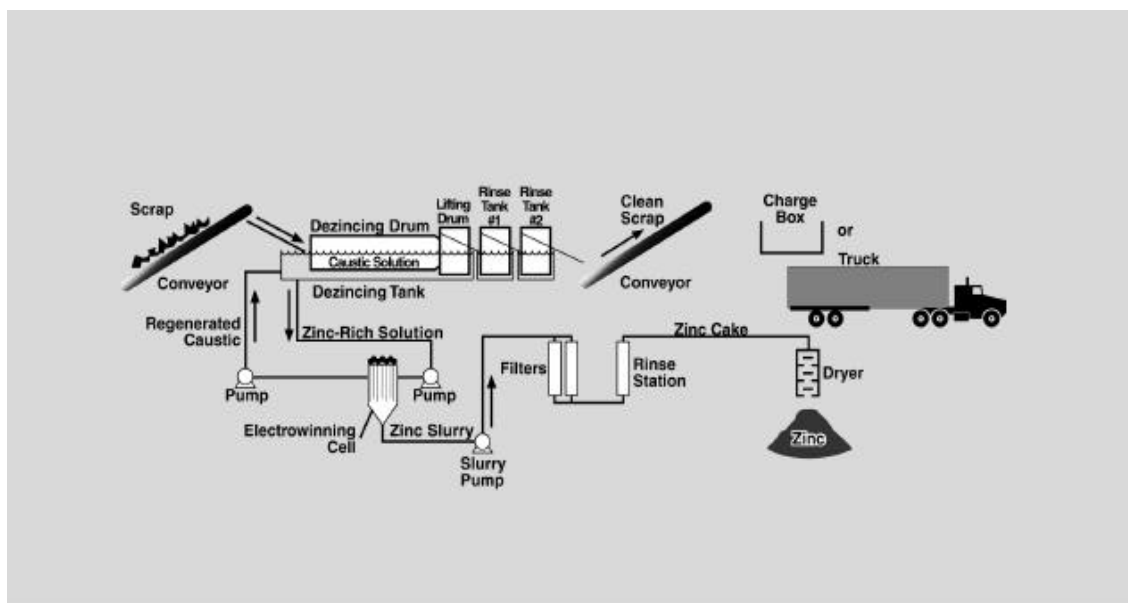


Fig. 11 het Meretecproces

7.2 Het Rezeda-proces

Bij Usinor (thans Archelor-Mittal) en Umicor is een hydrometallurgisch proces (Rezeda) ontwikkeld waarbij door middel van alkalische loging met natriumhydroxide het staal wordt gestript.

Aansluitend wordt door middel van elektrolyse het zink onttrokken aan de alkalische oplossing.

Het zinkpoeder dat hierbij ontstaat is zeer reactief. Het proces moet daarom onder een beschermende stikstofomgeving worden uitgevoerd.

²⁵ Australian manufacturing Technology November 2007



WMB Consultancy

Kwaliteits-, arbo-, milieu & energiemanagement

7.3 Ontzinkingsproces Hoogovens (Corus)

In Noord-Frankrijk wordt een hydrometallurgisch proces ook uitgevoerd door Compagnie Européenne de Dezingage S.A. (CED), een initiatief van Hoogovens Scrap Processing en de Compagnie Française des Ferrailles. Nieuw schroot (verzinkt staal) wordt geshredderd en in een roterende molen geloogd met natriumhydroxide. Aansluitend vindt de elektrolyse plaats. Capaciteit: 50.000 t/a.



WMB Consultancy

Kwaliteits-, arbo-, milieu & energiemangement

8 Hydrometallurgische processen verzinkte stalen voorwerpen

8.1 Het Arrossoproject

Een nieuw initiatief, op het gebied van recycling, is in onderzoek bij Verzinkerij van Aert in Nederweert²⁶. Dit is een project dat gestimuleerd wordt vanuit VROM en SenterNovem.

Het Arrossoproject richt zich niet zozeer op het ontzinken van ingezameld schroot of verzinkt productie-afval als wel op het ontzinken en opnieuw verzinken van vormgegeven materialen. De RR-en in Arrosso staan voor Recycling en Renovatie.

Ook bij dit project wordt het staal elektrochemisch ontzinkt. Voordat de vormgegeven materialen opnieuw worden verzinkt kan het nodig zijn om de oorspronkelijke vorm van het materiaal te herstellen bijv. bij beschadigingen of vervormingen.

Na hersteld en opnieuw verzinkt te zijn kunnen de voorwerpen weer worden gebruikt in de oorspronkelijke toepassing.

Een bijzonder aspect van deze wijze van verwerken is de energiebesparing die het oplevert. Het staal hoeft immers niet meer gesmolten, gewalst en gemodelleerd te worden.

Naast het gerenoveerde product worden een 2-tal nieuwe grondstoffen geproduceerd: ijzerchloride en zinkchloride. Het ijzerchloride wordt ondermeer bij waterzuiveringsinstallaties ingezet als flocculatiemiddel.

Het zinkchloride wordt verkocht als grondstof voor de productie van zink en zinkoxide.

²⁶ Contactpersoon: Louis Boonen

9 Mogelijk verder onderzoek in het kader van Project ketenaanpak in het afvalbeleid

9.1 Het traject EAF-stof - Waelz-oxide

Het materiaal dat geproduceerd wordt bij de hiervoor beschreven pyrometallurgische technieken kan alleen worden ingezet in de roosting-stap welke dient om de zwavel uit het erts te verwijderen. Bij deze processtap wordt chloride en fluoride afgevoerd naar de natte gaswasser en komt van daaruit terecht in de afvalwaterbehandeling. Het fluoride wordt verwijderd met calcium. De chloriden blijven in oplossing.

Bij Nyrstar in Balen (België) bestaat op dit moment 20% van de grondstoffen uit materiaal afkomstig van de hiervoor genoemde terugwinningsprocessen. Bij Nyrstar Budel is dit 15- 18%.

Voorwaarde voor de directe inzet van het materiaal in de logingstap, bij de productie van zink, is een verdere verlaging van de chloor- en fluorconcentratie.

Op een aantal plaatsen in de wereld wordt het Waelz-oxide of vergelijkbare materiaal via een klinkerproces in een cementoven bij 1200 °C behandeld waarbij chloride- en fluoride-verbindingen vervluchtigen. Het zink en lood uit deze verbindingen wordt teruggewonnen. Het chloride en fluoride komt terecht in de afvalwaterbehandeling.

Optimalisatie chloriden en fluoriden:

Om een zinkoxide in de roostingstap (zie fig. 12) in te kunnen zetten moet het chloride en fluoridgehalte lager zijn dan 0.2%.

Om het zinkoxide rechtstreeks bij de logingstap (zie fig. 12) in te kunnen zetten moet het fluorgehalte lager zijn dan 0.02%. Dit om corrosieproblemen te voorkomen.

Het fluor tast de Al-kathode in de elektrolysecel aan. Hierdoor kan het zink niet meer van de kathode worden gehaald ("gestript").

In Australië wordt in de loodsmelterij van Nyrstar Port Perie gewerkt met een dehalogenatie-kiln of klinker-kiln welke is opgenomen in het productieproces.

Dit is een duur proces vanwege het hoge energieverbruik.

Het verlagen van het Cl- en F-gehalte tot dermate lage niveaus dat het direct in de loging kan ingezet worden is een operatie die niet goedkoop is. Daarom worden de oxiden in de eerste plaats ingezet in de roostovens. Er zijn evenwel proceslimieten die niet overschreden kunnen worden zonder de oven te destabiliseren. Indien men meer oxiden wil inzetten dan de roostoven toelaat moet dit gebeuren via een verdere verwijdering van Cl en F in een separate installatie.

Waelz-oxiden zijn voor Nyrstar een bron van grondstoffen geweest die het mogelijk maakten de fabrieken uit te breiden zonder dure investeringen in bijkomende roost- en zwavelzuurcapaciteit, nodig voor de verwerking van primaire concentraten.

WMB Consultancy

Kwaliteits-, arbo-, milieu & energiemanagement

Zelfs de investeringskosten voor een verdergaande verlaging van chloride en fluoride in de oxiden zullen lager uitvallen dan de investeringskosten voor bijkomende roostcapaciteit. De uiteindelijke limiet wordt gesteld door de beschikbaarheid van de oxiden. Tegenwoordig hebben alle zinksmelters begrepen dat oxiden interessant zijn. Er bestaat daarom een levendige competitie om het materiaal te verkrijgen.²⁷

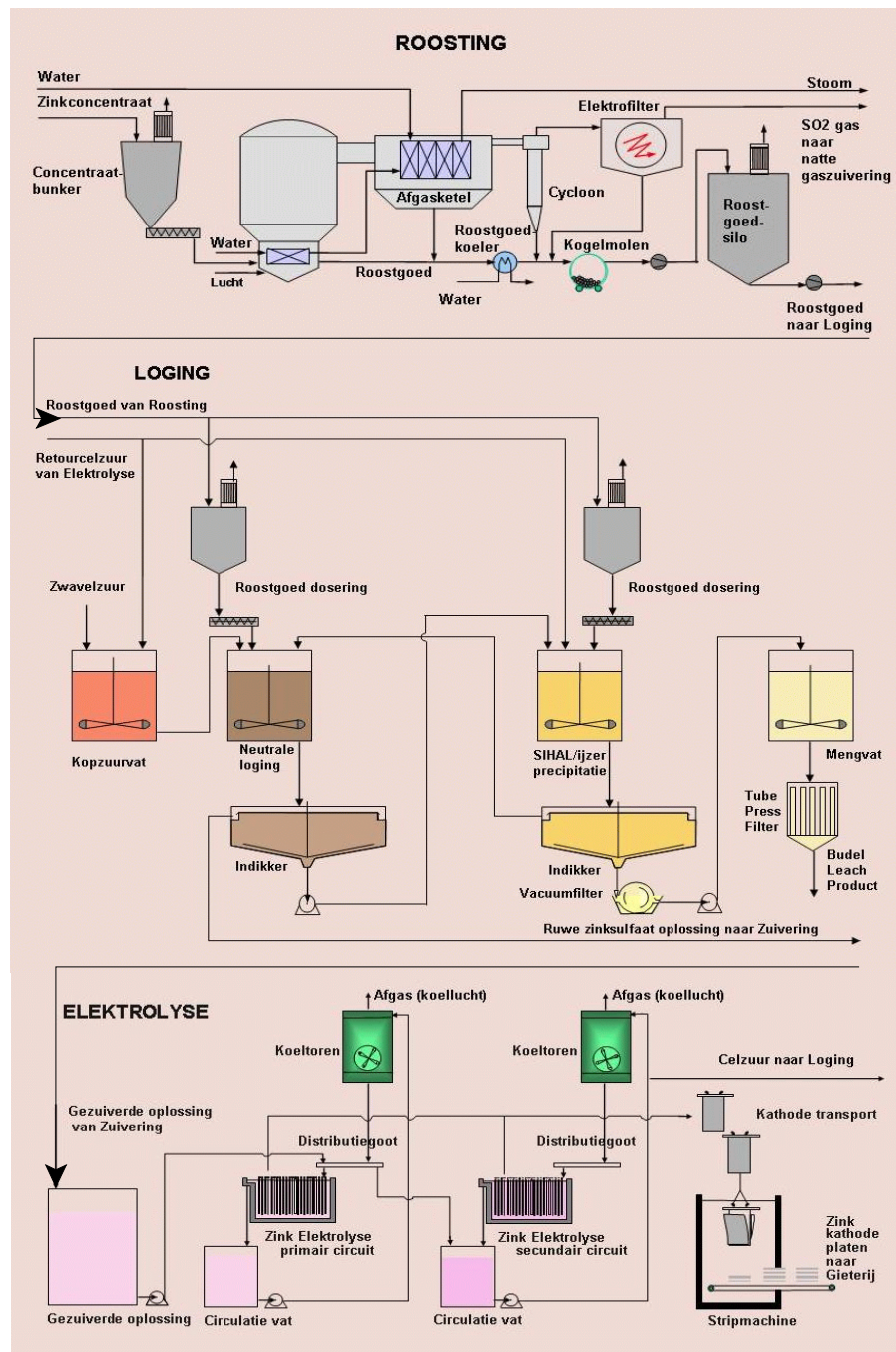


Fig. 12: Het zinkproductieproces bij Nyrstar Budel-Zink

²⁷ Comm. Charles Geenen Nyrstar Balen (B)



WMB Consultancy

Kwaliteits-, arbo-, milieu & energiemangement

9.2 Het traject refurbishing van vormgegeven verzinkte materialen

Het Arrosso-project heeft een aantal cradle to cradle-aspecten in zich.

Niet alleen het zink wordt teruggewonnen ook het opnieuw verzinkte voorwerp wordt weer ingezet in de oorspronkelijke toepassing.

Hier is ondermeer verder onderzoek nodig naar de methode van strippen: alkalisch of zuur.



WMB Consultancy

Kwaliteits-, arbo-, milieu & energiemangement

10 Closing the loop anno 2008

De hoeveelheid welke vrijkomt in Europa wordt geschat op 1.2 - 1.3 Mt/a. Hiervan wordt ca. 90% gerecycled zijnde 1.1 - 1.2 Mt/a.

In Europa wordt jaarlijks ca. 900 ton EAF-stof verwerkt. Aangenomen mag worden dat 200 - 300 ton EAF-stof buiten Europa wordt verwerkt. Een analyse van Europese EVOA-vergunningen kan hier mogelijk uitsluitel over geven.

In het Waelzproces wordt jaarlijks ca. 730 Kt verwerkt. Onder aanname dat smeltbedrijven het EAF-stof hebben "opgewaarderd" naar een zinkinhoud van zo'n 38%, bevat dit stof ca. 277 Kt zink. Van dit stof resteert na bewerking ca. 40% Waelzoxide met ca. 65% zink. Dit geeft netto ca. 190 Kt Zink. De recovery van zink via het Waelzproces bedraagt ruwweg geschat zo'n 68%.

In andere pyro- en hydrometallurgische processen wordt jaarlijks ca. 140 Kt stof verwerkt. Bij een zinkinhoud van 38% bevat dit stof ca. 53 ton zink. Hiervan wordt ca. 32 ton netto teruggewonnen. Met ca. 60% recovery ligt dit in dezelfde orde van grootte als het Waelzproces.

Grosso modo kan worden gesteld dat anno 2008 in Europa ca. 63% van het zink, afkomstig van de recycling van verzinkt staal, terugkomt in de keten.

Wereldwijd zijn de inspanningen er op gericht om dit percentage te verhogen naar meer dan 95% waarbij bij voorkeur ook het ijzer wordt teruggewonnen.

Alhoewel dit niet onder de scope van dit onderzoek valt, kan over gegalvaniseerd staal als onderdeel van de zinkketen nog het volgende worden opgemerkt: de beitsbaden welke worden gebruikt bij het verzinken worden nagenoeg volledig gerecupereerd. Onbekend is om welke hoeveelheden het hierbij gaat. Een ronde langs de EVOA-beschikkingen leert dat de recovery van zink hierbij tussen 85 en 95% ligt.

Ook de afvalstoffen afkomstig van het thermisch verzinken worden gerecycled. Deze stoffen vallen onder de groene lijst van afvalstoffen (EVOA). Recoverypercentages zijn in het kader van dit rapport niet verder onderzocht. Op grond van ervaringscijfers met andere metalen (aluminium skimmings e.d.) mag worden verwacht dat de recovery ook hier meer dan 70% bedraagt.

Resumerend: van het zink dat wordt gebruikt voor galvanische bescherming van staal, verlaat minder dan 40% de zinkketen in de vorm van al dan niet nuttig toepasbare slakken. Het verzinken omvat circa 26% van het zinkverbruik. Dit resulteert in een verlies van ca. 10% van de zinkproductie.

Gezien de voortgaande trend om hogere recoverypercentages te realiseren (Plasma arcproces, Rotary Hearth Furnace, Meretecproces e.d.) zal in de toekomst dit percentage verder afnemen.



WMB Consultancy

Kwaliteits-, arbo-, milieu & energiemanagement

Bijlage 1 Productie ruw staal 2006 ²⁸

	Production mmt	Oxygen %	Electric %	Open hearth %	Other %	Total %
Austria	7.1	91.0	9.0	-	-	100
Belgium	11.6	70.3	29.7	-	-	100
Czech Republic	6.9	91.6	8.4	-	-	100
Finland	5.1	68.3	31.7	-	-	100
France	19.9	61.7	38.3	-	-	100
Germany	47.2	68.9	31.1	-	-	100
Hungary	2.1	79.0	21.0	-	-	100
Italy	31.6	37.4	62.6	-	-	100
Luxembourg	2.8	-	100.0	-	-	100
Netherlands	6.4	97.7	2.3	-	-	100
Poland	10.0	57.6	42.4	-	-	100
Slovakia	5.1	92.6	7.4	-	-	100
Spain	18.4	19.6	80.4	-	-	100
Sweden	5.5	65.6	34.4	-	-	100
United Kingdom	13.9	80.8	19.2	-	-	100
Other EU	4.4	-	100.0	-	-	100
European Union (25)	197.9	59.5	40.5	-	-	100
Romania	6.3	69.8	30.2	-	-	100
Turkey	23.3	29.2	70.8	-	-	100
Others	6.3	44.6	55.4	-	-	100
Other Europe	35.9	39.0	61.0	-	-	100
Russia (e)	70.8	61.6	18.4	20.0	-	100
Ukraine (e)	40.9	56.4	9.8	33.8	-	100
Other CIS	8.9	47.9	43.7	8.5	-	100
CIS	120.7	58.8	17.3	23.9	-	100
Canada	15.4	58.6	41.4	-	-	100
Mexico	16.3	25.7	74.3	-	-	100
United States	98.6	43.1	56.9	-	-	100
NAFTA	130.3	42.7	57.3	-	-	100
Argentina	5.5	47.5	52.5	-	-	100
Brazil	30.9	73.9	24.4	-	1.7	100
Chile	1.6	72.4	27.6	-	-	100
Venezuela	4.9	-	100.0	-	-	100
Others	3.4	22.4	77.6	-	-	100
Central and South America	46.3	59.1	39.7	-	1.2	100
Egypt (e)	6.0	21.5	78.5	-	-	100
South Africa	9.7	53.2	46.8	-	-	100
Other Africa	2.6	45.2	54.8	-	-	100
Africa	18.4	41.6	58.4	-	-	100
Iran (e)	9.8	22.5	77.5	-	-	100



WMB Consultancy

Kwaliteits-, arbo-, milieu & energiemanagement

	Production mmt	Oxygen %	Electric %	Open hearth %	Other %	Total %
Saudi Arabia	4.0	-	100.0	-	-	100
Other Middle East	1.3	-	100.0	-	-	100
Middle East	15.1	14.6	85.4	-	-	100
China	422.7	87.0	13.0	-	-	100
India (e)	44.0	47.3	50.5	2.3	-	100
Japan	116.2	74.0	26.0	-	-	100
South Korea	48.5	54.3	45.7	-	-	100
Taiwan, China	20.2	53.0	47.0	-	-	100
Other Asia	17.0	-	100.0	-	-	100
Asia	668.5	76.5	23.3	0.2	-	100
Australia	7.9	81.7	18.3	-	-	100
New Zealand	0.8	71.3	28.7	-	-	100
World	1241.7	65.5	32.0	2.4	0	100



WMB Consultancy

Kwaliteits-, arbo-, milieu & energiemangement

Bijlage 2 Informatieve websites

- Recyclingprocessen: <http://www.meretec.com>
<http://gmarkets.wordpress.com/2007/10/11/page/2/>
http://goliath.ecnext.com/coms2/gi_0199-2601700/
<http://www.cmacorp.com.au/>
<http://steeldust.com>
<http://www.bus-steel.com>
<http://www.zincrecycling.com/products.php?ID=02>
<http://www.horsehead.net/index.php>
<http://www.engitec.com/references.htm>
<http://www.boliden.com>
<http://www.zincox.com>
<http://www.rvx.fr/english/rezeda1.html>
<http://www.mintek.co.za/Pyromet/EnviroS/EnviroS.htm>
<http://www.kuettner.de>
<http://www.scanarc.com>
<http://www.midrex.com>
<http://www.steelworld.com/tecmar01.htm>
- Informatieve sites: http://www.evraz.com/business/steel/world_steel_production
<http://www.welt-auf-einen-blick.de/industrie/stahl.php>
<http://www.stahl-online.de>
<http://www.worldsteel.org/index.php>
<http://www.steel-grips.com>
<http://www.galvanizeit.org>
http://www.feuverzinkung.de/?show=about_galvanikverzinkung
<http://www.iza.com/statistics.html>
<http://www.zincox.com/pages/projects.htm>
- Galvaniseren: http://www.hdg.org.uk/147_Galvanizing_and_the_Environment.php
- Artikelen/boeken http://www.osti.gov/bridge/product.biblio.jsp?osti_id=82495
<http://www.tms.org/pubs/journals/JOM/9912/Buban-9912.html>
<http://www.woodheadpublishing.com/en/book.aspx?bookID=296>
<http://lib.bioinfo.pl/pmid:15462332>
- Patenten: <http://www.patentstorm.us/>