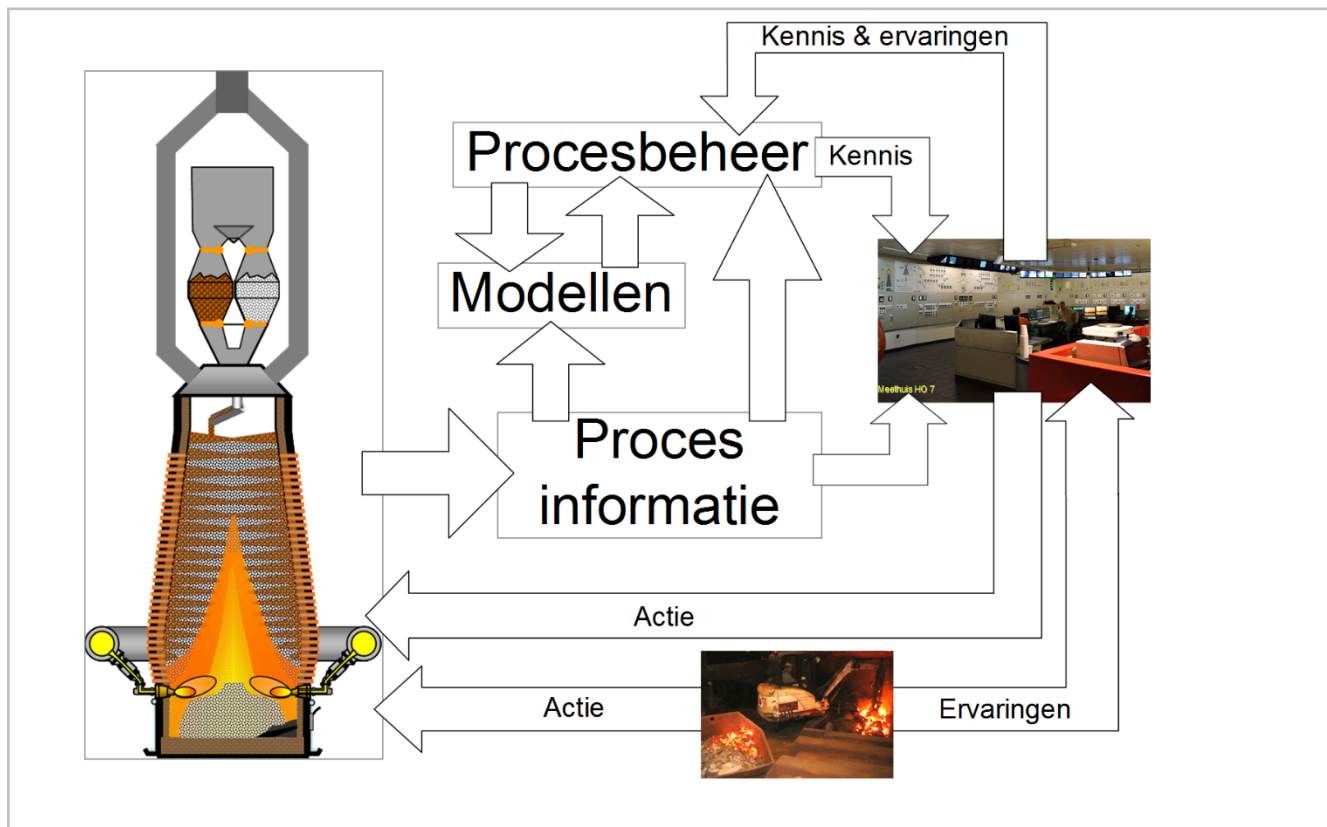


 	Hoofdstuk Revisienummer Datum uitgifte	: MR-4 : 3 : 02-2017
Meet- & regeltechniek		

Hoogoven proces 1; Inleiding



1.	Inleiding in het hoogovenproces.	2
1.1.	Ontwikkeling ijzerproductie	2
1.2.	Grondstoffen	4
1.2.1.	IJzerhoudende grondstoffen	4
1.2.2.	Koolstof houdende grondstoffen	6
1.2.3.	Zuurstof	8
1.3.	Producten	8
1.3.1.	Ruwijzer	8
1.3.2.	Slak	9
1.3.3.	Gas	9
1.4.	Hoogoveninstallatie	10
1.5.	De hoogoven.	11
1.6.	Het Proces	13
1.6.1.	Het ontstaan van CO-gas.	14
1.6.2.	CO-benutting	15

 	Hoofdstuk Revisienummer Datum uitgifte	: MR-4 : 3 : 02-2017
Meet- & regeltechniek		

1.6.3. Dagelijkse sturing

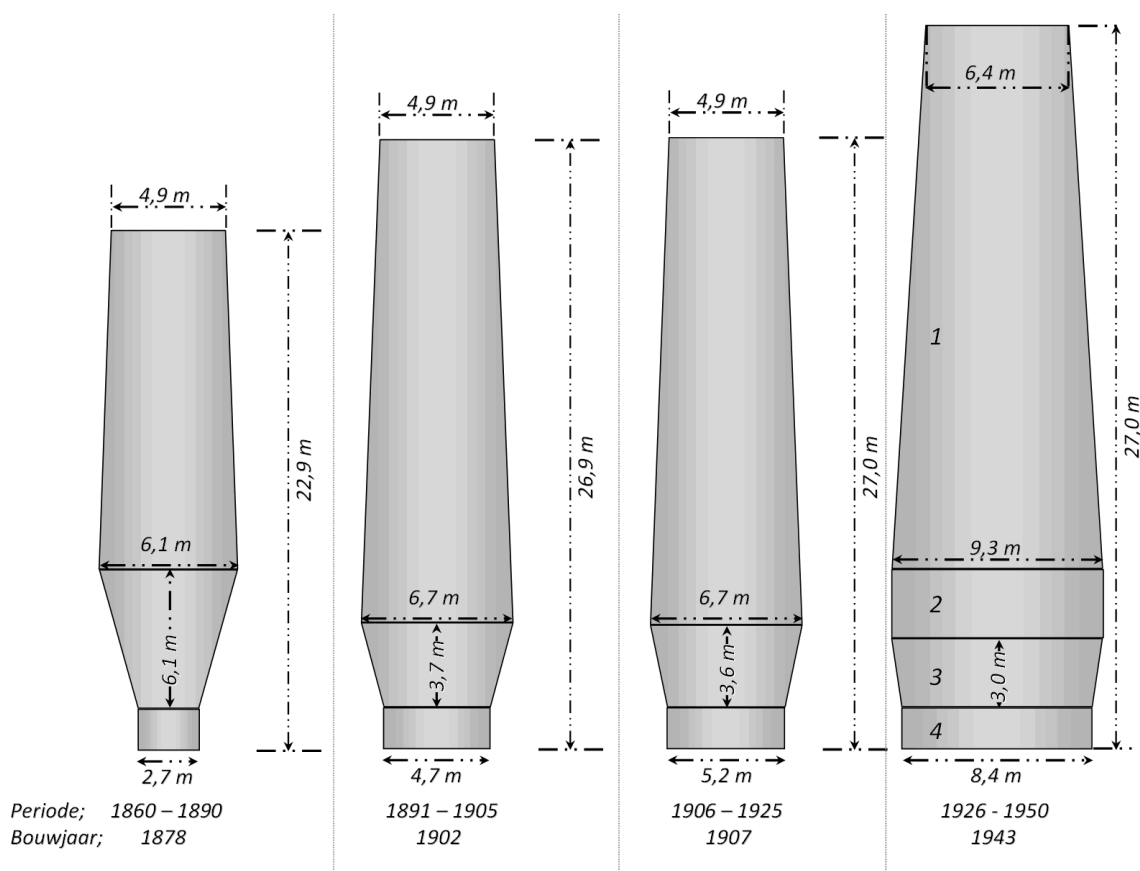
15

	Hoofdstuk	: MR-4
	Revisienummer	: 3
	Datum uitgifte	: 02-2017
Meet- & regeltechniek		

Inleiding in het hoogovenproces.

De hoogoven is de installatie waar uit ijzererts, koolstof en zuurstof via een reductie proces vloeibaar ijzer ontstaat waarin circa 4,5% koolstof is opgelost. Hoogoven 6 & 7 zijn in staat om respectievelijk 8,5 en 12 Kton ijzer per dag te produceren. Naast ijzer komt er ook slak & grote hoeveelheden hoogovengas vrij.

1.1. Ontwikkeling ijzerproductie



De eigenlijke oven is van afstand bijna niet te zien door alle neven installaties. De top met de hoog oprijzende gasleidingen valt nog het meest op. Dit deel neemt meer dan de helft van de totale hoogte (bij ons 112-114 m) voor zijn rekening.

De vorm van het 'reactievat', het zogenaamde ovenprofiel, is in de praktijk ontwikkeld. De schacht [1] is taps van vorm en loopt naar beneden toe wijder uit, in verband met het uitzetten van de steeds warmer wordende lading. De kolenzak [2] is cilindrisch en het laatste deel boven de windvorm-mantel de rust [3] is weer taps. Het onderste deel, de haard [4] is cilindrisch.

Oorspronkelijk hadden de hoogovens een zeer kleine haarddiameter. Vanaf 1850 probeerde men de productie op te voeren door het volume van het deel boven de haard steeds verder te vergroten. De haarddiameter werd klein gehouden (zo'n 2 à 2,5 m) omdat men dacht dat het werkzame deel van de oven door de beperkte indringing diepte van de ingeblazen lucht niet dieper dan 45 cm van de wand zou kunnen komen.

 	Hoofdstuk Revisienummer Datum uitgifte	: MR-4 : 3 : 02-2017
Meet- & regeltechniek		

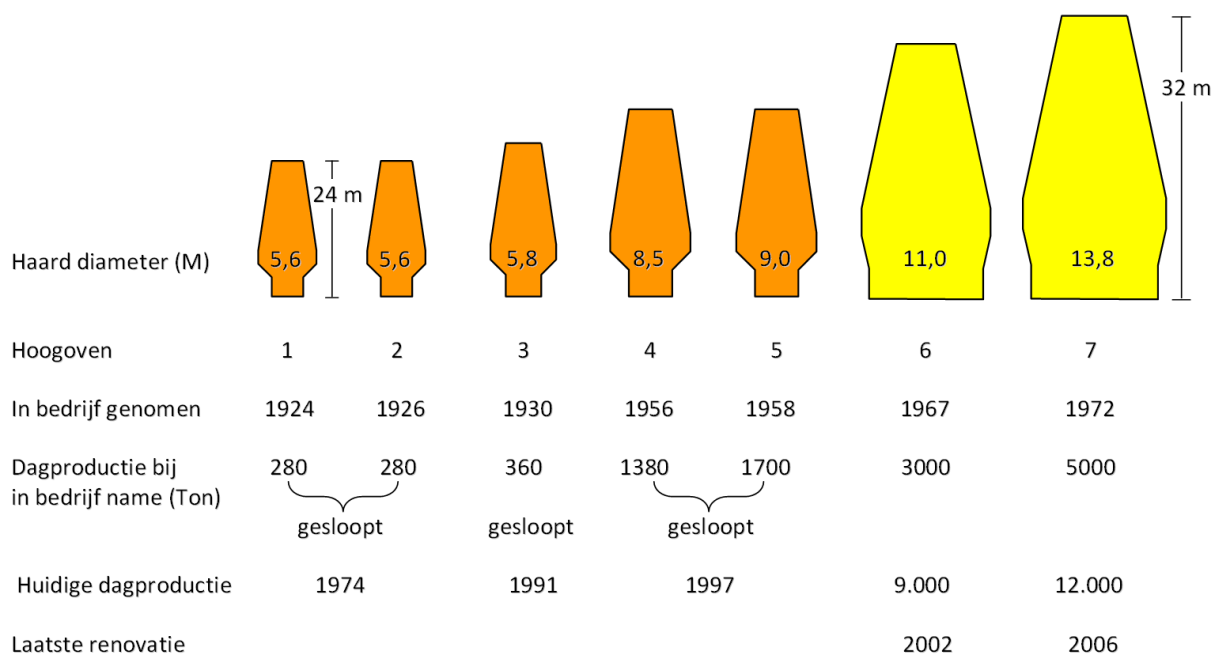
Men nam dus aan dat het centrale deel van de oven zou bestaan uit een grote klomp materiaal, die niet aan het proces deelnam en werkloos, als een 'dode man', in de oven aanwezig was en bleef. Vergroten van de haarddiameter zou dan ook alleen maar leiden tot een dikkere 'dode man'.

Door deze gedachtegang bleef de productie beperkt tot ca. 50 ton per dag.

Omstreeks 1890 begon de Amerikaan William Jones met proeven om de productiecapaciteit van de hoogoven te verhogen door vergroting van de haarddiameter. Tot veler verassing bleek dit inderdaad toch een sleutel tot hogere producties. Vergroting van de haard van 2,5 tot 3,3 m bracht de productie op 140 ton/dag; bij verdere vergroting tot 4,5 m op 400 ton/dag.

Vanaf die tijd heeft het profiel zich geleidelijk aan verder ontwikkeld tot omstreeks 1930. Daarna zijn de inzichten omtrent het ovenprofiel niet meer significant gewijzigd, ondanks de schaalvergroting die zich vooral vanaf de jaren vijftig heeft voorgedaan.

Wel duidelijk zichtbaar in de profielen is de overschakeling van stukertsen als grondstof naar voorbewerkte ertsen, de zogenaamde 'agglomeraten' (sinter & pellets). Dit is te zien aan de hoek van de rust die tegenwoordig veel steiler is.



Dit is ook te zien bij onze hoogovens. HO6 behoorde in 1967, met een haarddiameter van 10 m, een inhoud van 2608 m³ en een productievermogen van 4000 ton/dag, tot één van de grootste hoogovens ter wereld. Bij het aanblazen van HO7 in 1972 bleek de productie capaciteit van deze oven met zijn toenmalige haarddiameter van 13 m alweer twee keer zo groot was als die van HO6.

 	Hoofdstuk Revisienummer Datum uitgifte	: MR-4 : 3 : 02-2017
Meet- & regeltechniek		

HO6 heeft inmiddels een haarddiameter van 11m, een totale inhoud van 2700 m³ en een productiecapaciteit van 9000⁺ ton per dag. HO7 heeft nu een haarddiameter van 13,83 m, een totale inhoud van 4450 m³ en een productiecapaciteit van 12500⁺ ton per dag.

 	Hoofdstuk Revisienummer Datum uitgifte	: MR-4 : 3 : 02-2017
Meet- & regeltechniek		

1.2. Grondstoffen

Voor het maken van ijzer zijn er 3 belangrijke grondstoffen noodzakelijk.

- 1 ijzerhoudende grondstoffen
- 2 koolstof
- 3 zuurstof

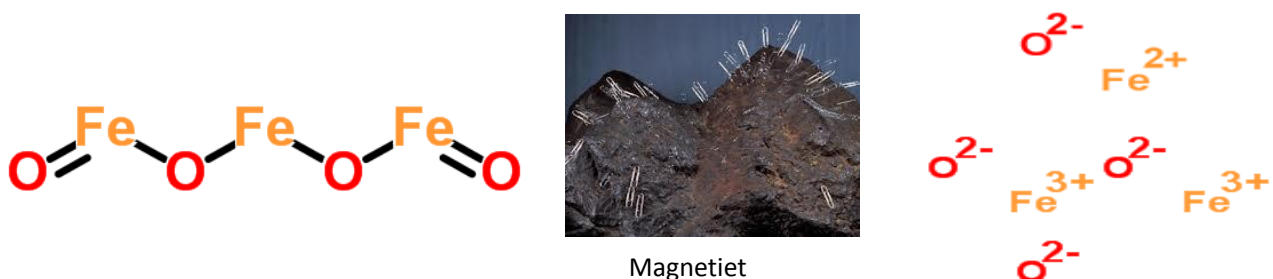
1.2.1. IJzerhoudende grondstoffen

IJzer komt in twee vaste oxide vormen in de aardbodem voor;

- 1 de meest geoxideerde vorm is hematiet Fe_2O_3 wat we ook kennen als roest.
Het is de meest voorkomende vorm en het belangrijkste bestanddeel van de meeste ijzerertsen.

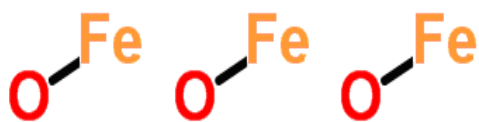


- 2 al deels gereduceerd is magnetiet Fe_3O_4 , een combinatie van FeO en Fe_2O_3 .
Deze oxide vorm is te vinden in de buurt van vulkanen. Door de snelle stolling van het magma heeft de zuurstof uit de buitenlucht niet voldoende tijd gehad om al het ijzer om te zetten in Fe_2O_3 het is gemakkelijk te herkennen doordat het magnetisch is



- 3 wüstiet, een derde oxide vorm, is niet in de vrije natuur te vinden. Het is een tussen-product dat ontstaat bij de laatste reductiestap van ijzererts en bij de oxidatie van ijzer. De chemische formule is FeO .

	Hoofdstuk	: MR-4
	Revisienummer	: 3
Meet- & regeltechniek	Datum uitgifte	: 02-2017



Wüstiet

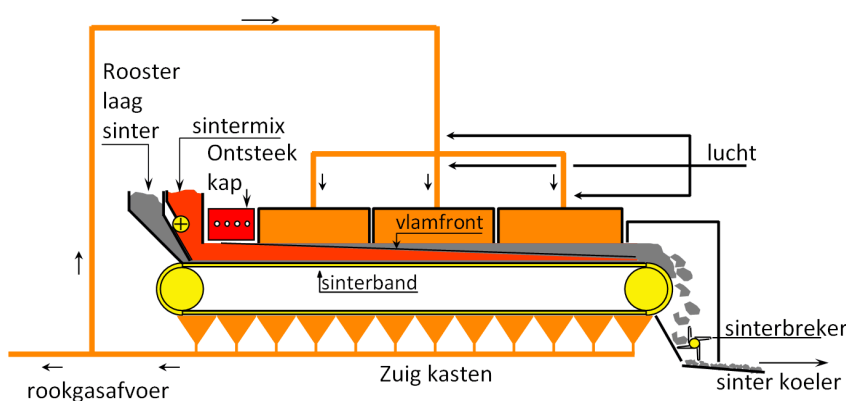


Zoals al eerder vermeld werden de hoogovens vroeger direct beladen met de grove brokken uit de ijzerertsminen de zogenaamde stukertsen. Omdat de hoeveelheid ijzer per ton erts laag was en sterk kon variëren zijn de mijnen over gegaan op het verrijken van deze stukertsen. Door de brokken te breken ging de concentratie omhoog.

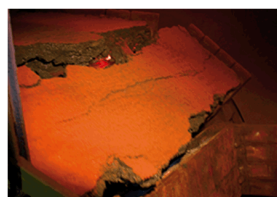
In die ontwikkeling bleek dat juist de fijnste stukken de hoogste ijzerconcentratie had. Maar juist die kleine stukken waren niet te verkopen omdat ze niet inzetbaar waren in de hoogoven. Met de ontwikkeling van het Sinterproces kwam daar een einde aan.

Sinter is het product dat ontstaat uit het samen bakken van fijne ertsen, smeltmiddelen (oa. kalksteen) en recycle-stoffen. Na een kortstondige verbranding van fijne cokes die homogeen in het te sinteren mengsel vermengd zit, warmt de materie op tot 1300-1400°C. Daarbij vormen de smeltmiddelen een slak die de materiekorrels aan elkaar doet kitten tijdens de afkoeling. Door breken en zeven verkrijgt men daarna de gepaste stukgrootte.

Sintermachine (met EOS rookgasrecirculatie)



Het product



Afwerpzijde sinterband

Sinter bracht een aantal grote voordelen met zich mee. Het hoogovenproces verbeterde omdat er minder slak per ton ijzer geproduceerd werd en door de grillige vorm en de hogere concentratie ijzer verbeterde het contact tussen vaste stof en gas waardoor de benodigde hoeveelheid cokes daalde en de reductiegraad steeg.

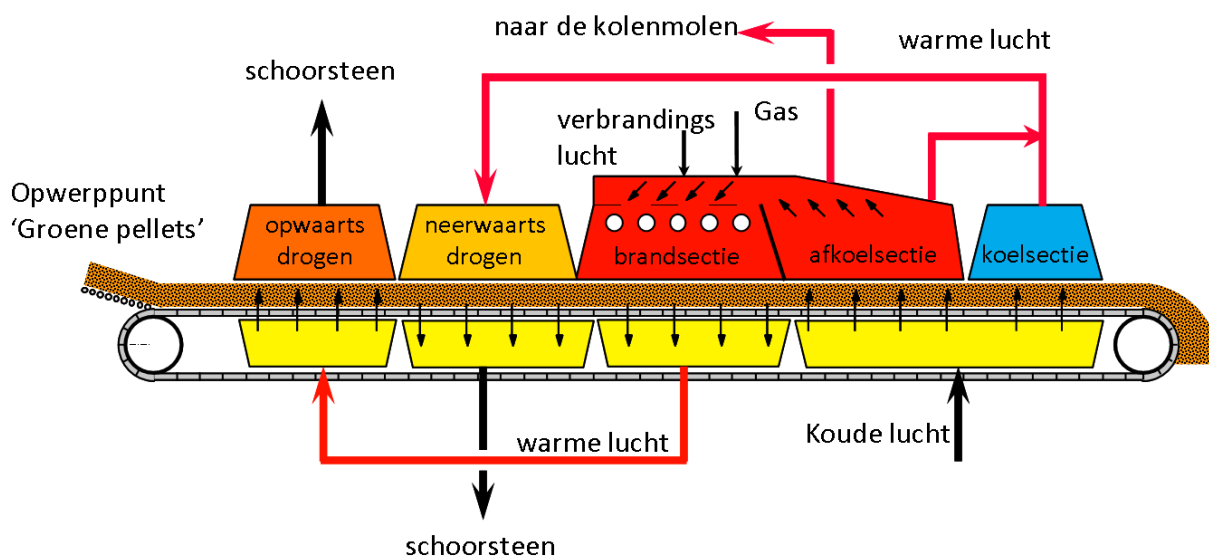
 	Hoofdstuk Revisienummer Datum uitgifte	: MR-4 : 3 : 02-2017
Meet- & regeltechniek		

In IJmuiden zijn in de periode 1956 tot 1963 in totaal 3 sintermachines in gebruik genomen met een uiteindelijke productiecapaciteit van 4,1 miljoen Ton (2011)

	Hoofdstuk	: MR-4
	Revisienummer	: 3
Meet- & regeltechniek	Datum uitgifte	: 02-2017

Later is er ook voor het allerfijnste stof uit de mijnen een proces ontwikkelt. Dit is het Pellet-proces dat van het fijnste ertsmeel balletjes maakt en die vervolgens bakt tot een hele sterke en poreuze knikkers. De capaciteit van de Pelletfabriek was in 2011 4,4 miljoen ton.

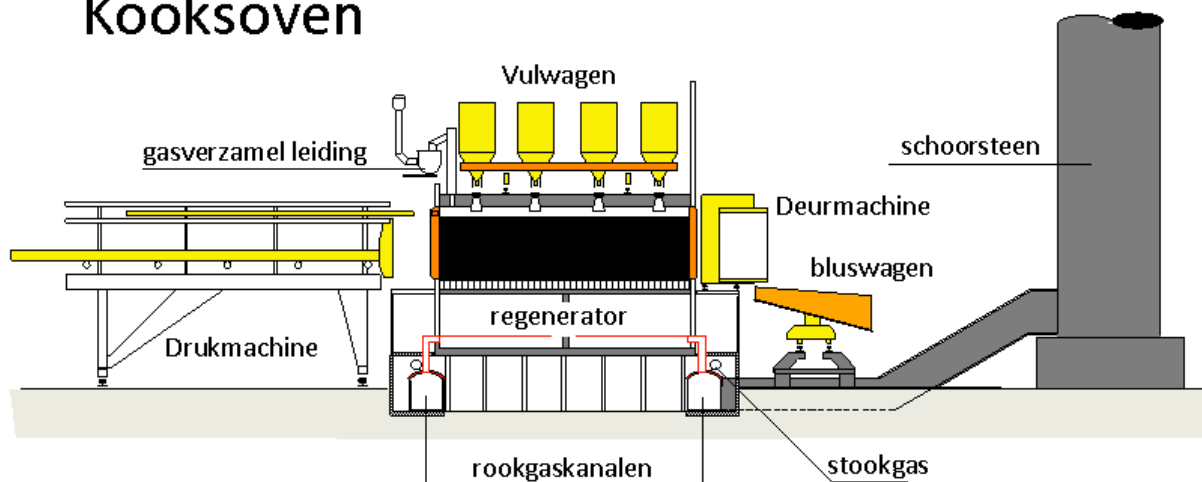
Pellet brander machine



1.2.2. Koolstof houdende grondstoffen

De koolstof nodig voor het maken van CO-gas kan uit vele verschillende grondstoffen komen. Traditie getrouw natuurlijk Kooks (ontgaste kolen) maar ook olie, gas, gemalen kolen en zelfs kunststoffen zijn geschikt om koolstof te leveren. In IJmuiden gebruiken we kooks & kolen, de andere vormen komen daarom verder niet aan bod.

Kooksoven



Kooks ontstaat door het verhitten van steenkool zonder dat er zuurstof toe treedt. De gassen uit de kolen 'verdampen' en opvangen voor hergebruik. Na ongeveer 20 - 24 uur is de kolenmassa volledig ontgast tot kooks en zal de drukmaschine deze uit de kookskamer drukken. Na snelle blussing met water ontstaan een grove harde

 	Hoofdstuk Revisienummer Datum uitgifte	: MR-4 : 3 : 02-2017
Meet- & regeltechniek		

brokken zuiver koolstof die in de hoogoven dienst doen als koolstof-brenger, ladingdrager en de lading gas-doorlaatbaar houdt.

 	Hoofdstuk Revisienummer Datum uitgifte	: MR-4 : 3 : 02-2017
Meet- & regeltechniek		

Kooks is onmisbaar in het hoogovenproces al is het aandeel kooks steeds verder verlaagd door de inzet van poederkolen die veel goedkoper te produceren zijn en met de hetewind mee de oven in komen. Dit heeft een aantal voordelen die later aan bod komen.

 	Hoofdstuk Revisienummer Datum uitgifte	: MR-4 : 3 : 02-2017
Meet- & regeltechniek		

1.2.3. Zuurstof

De laatste grondstof voor het hoogoven proces is zuurstof nodig voor het vormen van CO-gas uit de koolstofhoudende grondstoffen. De hete wind die verrijkt is met extra zuurstof is de bron. Bij een lage poederkool injectie bevat de hete wind onverrijkt voldoende zuurstof om met een voldoende hoge vlamtemperatuur CO gas te vormen.

Als er meer dan 80 kg/TRIJ aan poederkoolinjectie nodig is zal door het vergassen van die 'koude kolen' de vlamtemperatuur teveel dalen. Dit is op te vangen met extra zuurstof injectie.

1.3. Producten

1.3.1. Ruwijzer

De hoogoven produceert vloeibaar ijzer met een koolstofgehalte van zo'n 4,5% en een smelttemperatuur van ca. 1150° C. Vanwege het koolstof gehalte heet dit Ruwijzer omdat het in deze vorm als eindproduct niet bruikbaar is.

Vroeger werd ruwijzer uit de hoogoven getapt en direct gegoten. Dit ruwijzer liep in zandvormen van een soort "veerachtige" structuur (kammen) en stonde daar (zie foto). Na koelen verlaadde men het ijzer en werd het verkocht



aan verschillende afnemers.

Tegenwoordig gaat het ruwijzer vloeibaar met mengers naar de staalfabriek. Daar vindt de raffinage van ijzer tot staal plaats. De converter verwijdert met grote hoeveelheden zuivere zuurstof vooral het koolstof, maar ook andere elementen (silicium, mangaan, zwavel, fosfor) grotendeels uit het ijzer om tot de gewenste staalsamenstelling te komen. Na het converterproces zijn er diverse deelinstallaties zoals de Vacuüm Pan Behandeling en de Pan Ovens. Daarmee is de kwaliteit van het staal nog verder te verbeteren.

 	Hoofdstuk Revisienummer Datum uitgifte	: MR-4 : 3 : 02-2017
Meet- & regeltechniek		

De staalfabriek verwacht een redelijk constante kwaliteit ijzer voor silicium (0,3 – 0,6%), mangaan (0,3 – 0,7%), fosfor (0,06 – 0,12%) en temperatuur om de ‘trefkans’ (staal wat direct de vereiste kwaliteit heeft en geen extra nabehandeling nodig heeft) zo groot mogelijk te maken.

 	Hoofdstuk Revisienummer Datum uitgifte	: MR-4 : 3 : 02-2017
Meet- & regeltechniek		

1.3.2. Slak

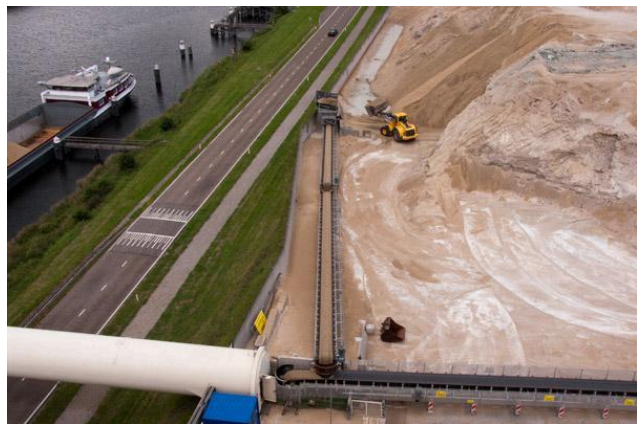
In een hoogoven ontstaat naast ijzer ook een bijproduct met de naam 'slak'. Slak bestaat uit de bestanddelen die in de hoogoven beladen zijn maar niet of slecht oplossen in het ijzer.

De twee "vloeistoffen" mengen niet en in het ovenhuis vindt de scheiding plaats.

Slak heeft een grote invloed op het procesverloop en de uiteindelijke kwaliteit van het afgetapte ijzer. De afgetapte slak is na verwerking in de granulatie de grondstof voor de cementindustrie of kan na afkoeling aan de lucht als verhardingsmateriaal dienen.



Slakzand verlading bij Hoogoven 6



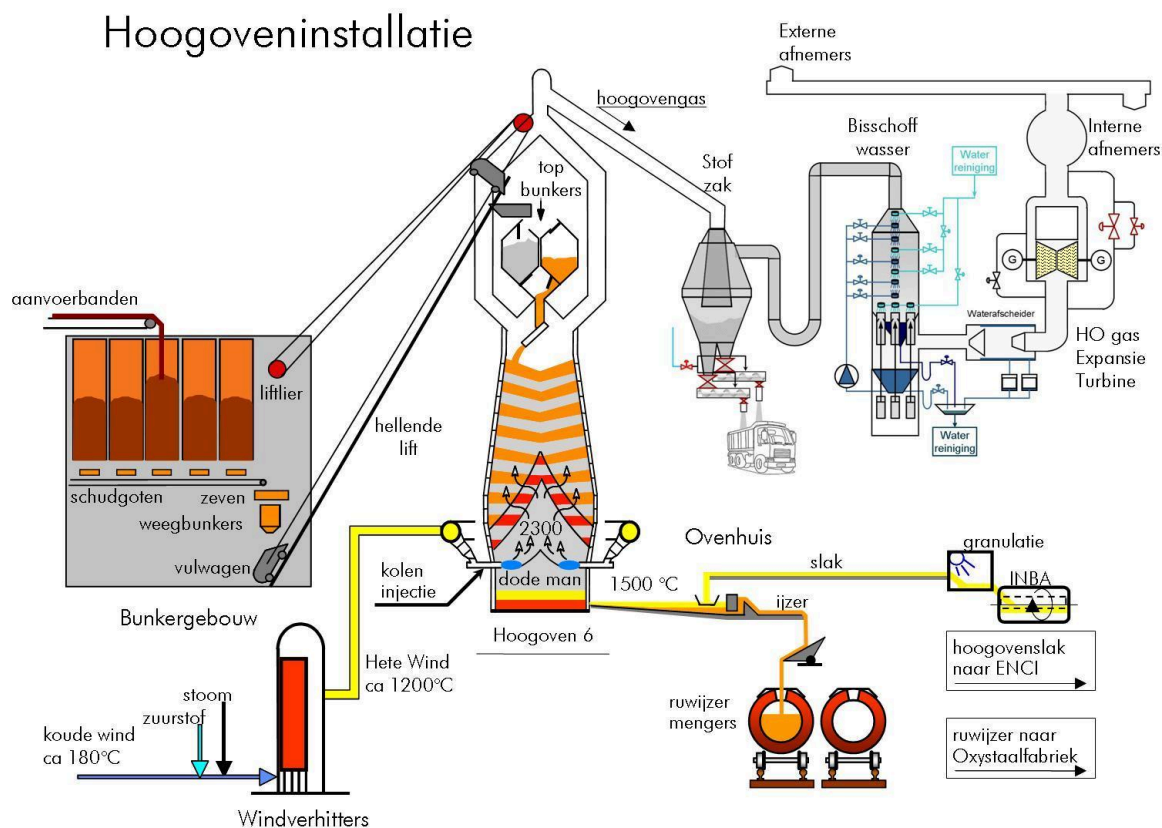
Slakzand verlading bij de ENCI

	Hoofdstuk	: MR-4
	Revisienummer	: 3
Meet- & regeltechniek	Datum uitgifte	: 02-2017

1.4. Hoogoveninstallatie

De totale hoogoven heeft verschillende deel- installaties. Het bunkergebouw & de hellende lift verzorgen de toevoer van de grove grondstoffen via de bovenkant van het ovenvat, windverhitters verzorgen de hete lucht die nodig is voor het vergassen van de koolstof tot CO gas en het kolenmaalgebouw verzorgt de poederkool die we gezamenlijk met de hete lucht verrijkt met zuurstof de oven inblazen.

In de ovenhuizen vindt het aftappen van ijzer & slak plaats, de granulatie koelt de vloeibare slak zeer sterk af met water waarbij slakzand ontstaat en via de bovenkant verlaat het geproduceerde gas het ovenvat. De gasreiniging zal het stof uit het gas verwijderen zodat het schone gas daarna bruikbaar is voor het opstoken van de windverhitters en de stoomketels van het eigen bedrijf of de electriciteitscentrale erbuiten.



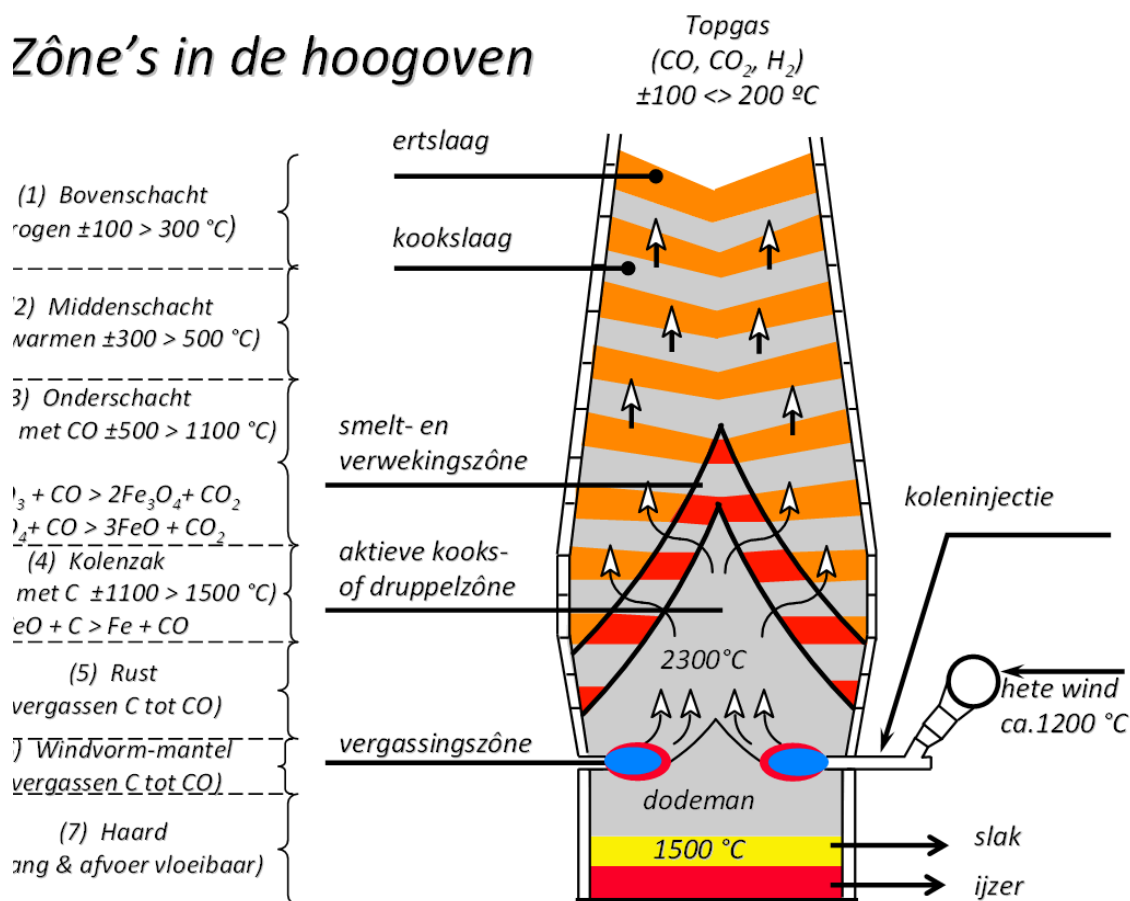
	Hoofdstuk	: MR-4
	Revisienummer	: 3
	Datum uitgifte	: 02-2017
Meet- & regeltechniek		

1.5. De hoogoven.

Het ovenvat van de hoogoven bestaat uit 7 onderdelen. Van boven naar beneden:

- 1 de bovenschacht
- 2 de middenschacht
- 3 de onderschacht
- 4 de kolenzak
- 5 de rust
- 6 de windvorm mantel
- 7 de haard

Zône's in de hoogoven



Van bovenaf beladen we de hoogoven met voorbewerkte ijzerertsen in de vorm van sinter en pellets (agglomeraat), stukerts, kooks en toeslagstoffen. Net boven de haard, in de windvorm-mantel, komt hete lucht (wind in hoogoven termen) van $1200 - 1300^\circ\text{C}$ en verrijkt met extra zuurstof en poederkool naar binnen.

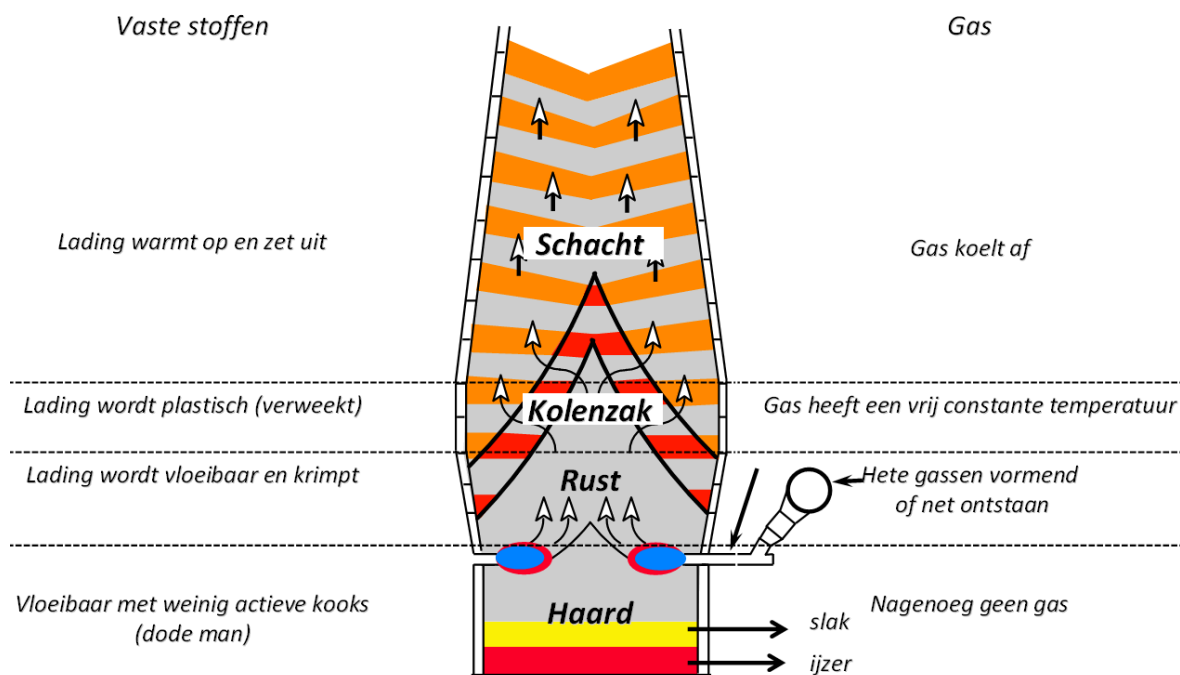
Vergassing van de kooks en kolen, direct vóór de vormen levert het hete reductiegas van circa 2300°C . Het opstijgende gas staat een groot deel van de warmte af aan de zakkende lading. Het is rijk aan koolmonoxide (CO) en waterstofgas (H_2), als het de vergassingszône of raceway voor de vormen verlaat. Het CO in het

 	Hoofdstuk Revisienummer Datum uitgifte	: MR-4 : 3 : 02-2017
Meet- & regeltechniek		

opstijgende gas reduceert de ijzeroxides uit de dalende lading voor een belangrijk deel d.w.z. het CO bindt aan het zuurstof van het ijzeroxide.

Ook het waterstofgas kan zuurstof van het ijzeroxide onttrekken. De laatste stap van de reductie van het ijzeroxide vindt plaats in de rust en de haard door direct contact van ijzeroxide met koolstof.

	Hoofdstuk	: MR-4
	Revisienummer	: 3
	Datum uitgifte	: 02-2017
Meet- & regeltechniek		



Temperatuur verloop in de hoogoven.

In de ijzerertsen zijn naast ijzer ook vocht en ganggesteentes aanwezig, die uiteindelijk de slak vormen. As van de kooks of kolen komt ook in de slak terecht.

Het vocht in de inzetstoffen zal in de bovenoven door de temperatuur van het gas verdwijnen en hoe dat proces verloopt is te zien op de metingen voor de droogcapaciteit en topgastemperatuur. Dalen deze teveel dan kan het zijn dat de volledige verdamping van het vocht en daarmee het starten van de opwarming van de lading te laat en te diep in het reactievat begint. Dit kan zorgen voor een thermisch 'koud' proces met lage Si waarden in het ijzer

Voor de vorming van een goed smeltbare slak zijn aan de grondstoffen voor Sinter & Pellets materialen die kalk (CaO) en magnesiumoxide (MgO) bevatten toegevoerd. Door het gebruik van dit soort toeslagstoffen komt de slak op de gewenste samenstelling, goed in het proces, het ovenhuis en voor de klanten hoewel het altijd een compromis zal zijn.

Slak moet bij de juiste temperatuur en voldoende vloeibaar zijn om het proces en de aftap in het ovenhuis niet te verstoren (zuur = beter). Tegelijkertijd moet de slak een hoge opname-capaciteit hebben voor Zwavel (basisch = beter) en alkaliën (zuur = beter).

De belangrijkste componenten van de hoogovenslak zijn de oxides CaO, MgO, SiO₂ en Al₂O₃ die tezamen meer dan 96% van de slak vormen. De smelttemperatuur ligt op 1300 - 1450° C afhankelijk van de samenstelling.

Samenvattend:

 	Hoofdstuk Revisienummer Datum uitgifte	: MR-4 : 3 : 02-2017
Meet- & regeltechniek		

de hoogoven is een tegenstroomreactor, waarin uitwisseling van warmte en zuurstof plaatsvindt tussen de lading en het gas. Warmteoverdracht vindt plaats van gas naar lading en zuurstof-overdracht van lading naar gas. De warmte overdracht warmt de lading op en smelt deze tenslotte. De zuurstofoverdracht reduceert de ijzeroxides tot puur vloeibaar ijzer.

Het zuurstof van de ijzeroxides verlaat de hoogoven als kooldioxide, koolmonoxide of water.

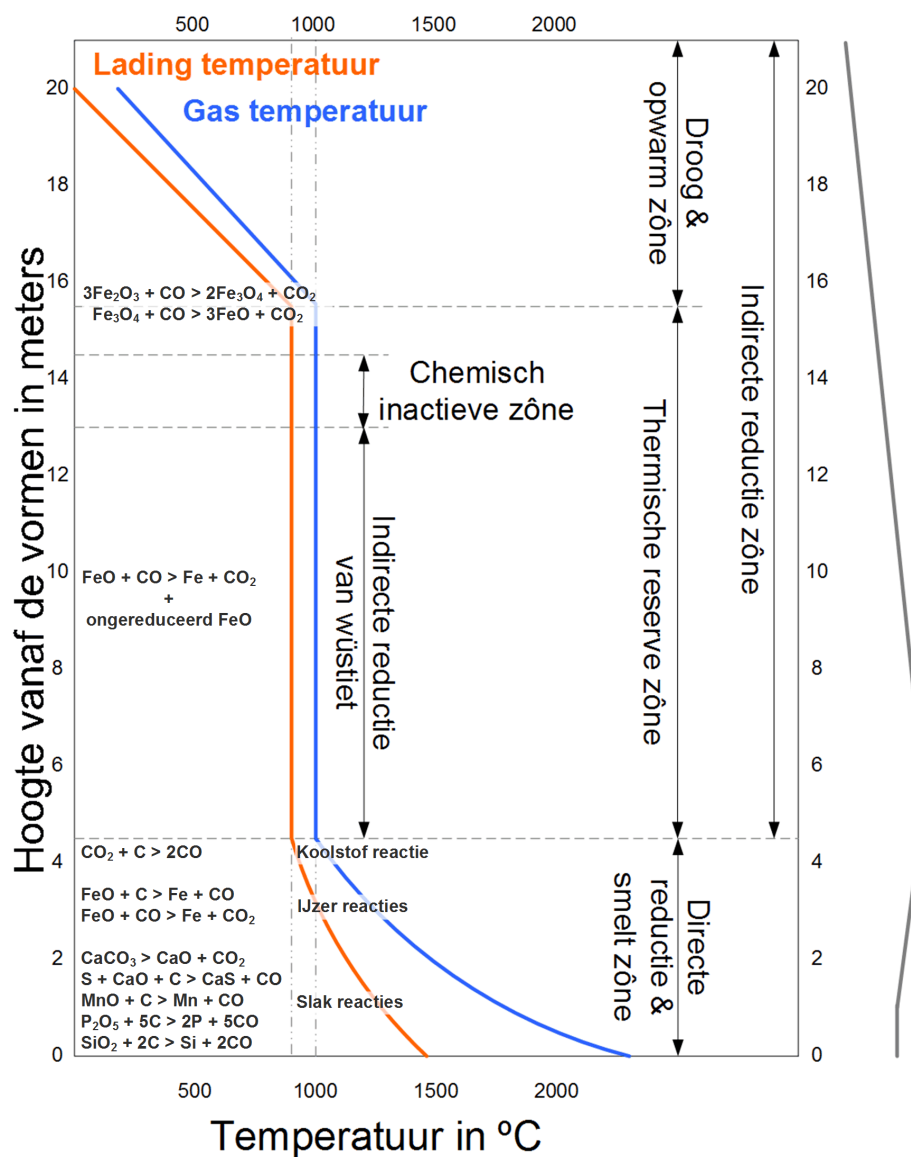
	Hoofdstuk	: MR-4
	Revisienummer	: 3
Meet- & regeltechniek	Datum uitgifte	: 02-2017

1.6. Het Proces

De reductie van hematiet naar ijzer in een hoogoven begint bij temperaturen boven 500° C in de volgorde

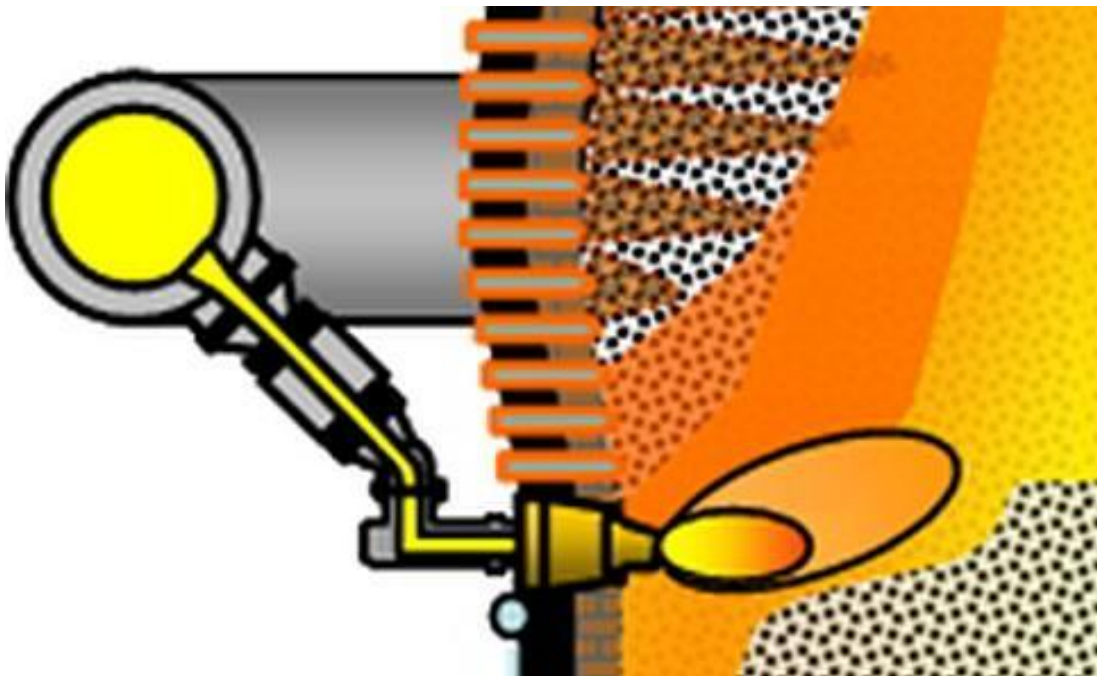
3	Fe_2O_3	+	CO	?	2	Fe_3O_4	+	CO_2
	Fe_3O_4	+	CO	?	3	FeO	+	CO_2
	FeO	+	CO	?		Fe	+	CO_2
2	FeO	+	C	?		Fe	+	CO_2

Onderstaande afbeelding geeft een indicatie van de complexiteit van het proces en op welke hoogte in het ovenvat de belangrijkste deel processen plaatsvinden en bij welke temperaturen deze mogelijk zijn.



 	Hoofdstuk Revisienummer Datum uitgifte	: MR-4 : 3 : 02-2017
Meet- & regeltechniek		

1.6.1. Het ontstaan van CO-gas.



Direct achter de vormen reageert alle zuurstof uit de hete wind met het koolstof uit de poederkolen & kooks. Door de combinatie van hoge temperaturen, druk en de overmaat aan koolstof zal er geen CO_2 maar CO gas ontstaan met een temperatuur van ongeveer 2300°C . Het gas verspreidt zich vanuit de raceway en stijgt op door de lading.

Daar zal het reageren met het FeO tot Fe en CO_2 . De daar heersende omstandigheden zullen ook dit CO_2 weer direct omzetten in CO. Pas als het gas is afgekoeld tot ongeveer 1000°C kan het CO_2 blijven bestaan. Op deze plek in het ovenvat stopt de directe reductie en begint de Thermische reserve zone waarin het aanwezige FeO met CO gas reageert tot Fe en CO_2 .

 	Hoofdstuk Revisienummer Datum uitgifte	: MR-4 : 3 : 02-2017
Meet- & regeltechniek		

