

## Het ijzer maken begrepen ?

Naast de stikstofproblematiek en de energietransitie is ook de rol van de (proces) industrie in het geheel van de klimaatverandering actueel. In deze korte notitie wil ik iets schrijven over het proces van ijzer maken. Al vanaf het begin van mijn studie in Delft ben ik bezig om dit proces te begrijpen. Het verhaal zal niet academisch worden (ik ga aan de thermodynamica voorbij) maar in dezelfde stijl als mijn korte notities [“de stikstofproblematiek begrepen ?”](#) en [“de energietransitie begrepen ?”](#). In beide notities introduceerde ik de vier basis ‘stoffen’: stikstof (N), waterstof (H), koolstof (C) en zuurstof (O). In deze notitie komt hier het ‘element’ Fe bij.

Het element Fe noemen we ook wel ijzer. Wat we in de volksmond echter ijzer noemen is Fe waar ca. 4,5% koolstof in opgelost is, misschien nog beter bekend als ‘gietijzer’. Dit “gietijzer” is het product dat uit een hoogoven komt. Gietijzer wordt niet zoveel meer gebruikt, het is namelijk bros. Door de koolstof met zuurstof uit het ijzer te blazen ontstaat staal, wat taaiër is als gietijzer. Dit gebeurt in een staalfabriek. Het element Fe is echter puur Fe dat wil zeggen zonder C of andere elementen.

In de natuur vind je nauwelijks puur Fe, maar wel erts. Erts is Fe verbonden met zuurstof. Een veel voorkomende erts is  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  waarbij 2 Fe deeltjes vast zitten aan 3 O deeltjes. Een hoogoven verwijdert deze zuurstof met koolstof, het ‘reduceert’ het erts. Door het hoogovenproces lost er echter ook maximaal (= 4,5%) koolstof in op. In de staalfabriek wordt deze opgeloste koolstof weer verwijderd. Het proces van ijzer maken gaat vooral om het verwijderen van zuurstof uit het erts.

Een goede manier om de zuurstof van het Fe los te maken is met behulp van koolstof. In een hoogoven wordt  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  ijzererts (tot knikkers/pellets gevormd in een pelletfabriek en/of in een sinterfabriek tot een sinterkoek gebakken) samen gebracht met koolstof (in een kooksfabriek tot grove kooks brokken gegaard). Als je deze vaste stoffen bij elkaar brengt, gebeurt er weinig. Er gebeurt wel wat als er warmte in het proces gebracht wordt. In een hoogoven moet je de kooks brokken ‘aansteken’ en dan met wind verder aanblazen. Dit is net al in een bbq waar houtskool met aanmaakblokjes wordt aangestoken en met een beetje extra blazen gaan de kolen gloeien. De gloeiende kolen leveren warmte, waardoor het erts gaat smelten, en door de verbranding ook CO gas. Dit hete CO gas kan de zuurstof makkelijker van het hete en daardoor verweekte erts verwijderen. De reductie reactie is dan  $\text{Fe}_2\text{O}_3 + \text{CO}$  geeft Fe en  $\text{CO}_2$ .

Hoeveel koolstof is er minimaal nodig om de zuurstof van het  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  te verwijderen. 1 Fe deeltje zit vast aan 1,5 O deeltjes. 1 CO deeltje kan 1 O deeltje opnemen en zo 1  $\text{CO}_2$  deeltje vormen. Om 1,5 deeltjes O van het Fe af te halen zijn dan ook 1,5 deeltjes CO nodig. Een Fe “deeltje” weegt 56 kg en een C “deeltje” 12 kg. Dus voor 56 kg Fe is 1,5 deeltje x 12 kg = 18 kg C nodig. Voor 1 ton Fe is  $1000/56 = 17,9$  “deeltjes” is dan 17,9 deeltjes x 18 kg = 321 kg C nodig. Omdat het gereduceerde en vloeibare Fe over de kolen van de bbq loopt zal er ook koolstof vanzelf oplossen in het Fe. Maximaal is er 4,5% koolstof oplosbaar in ijzer, dat wil zeggen dat in een ton ‘hoogoven’ ijzer ook 45 kg koolstof is opgelost. .

De zuurstof zou ook met waterstof van het erts gehaald worden. 2 deeltjes waterstof kunnen 1 deeltje zuurstof binden, je krijgt dan  $\text{H}_2\text{O}$ . Als het gebruikte waterstof ‘groen’ is (gemaakt van zonne- en/of windenergie) dan levert de reductie van erts ‘groen’ Fe plus water. Hoeveel waterstof is er dan nodig om de zuurstof van  $\text{Fe}_2\text{O}_3$  te verwijderen ? Aan 1 deeltje Fe zitten 1,5 deeltjes O en daar zijn dan  $1,5 \times 2 = 3$  deeltjes H nodig. 1 deeltje H weegt 1 kg. Voor 1 ton (17,9 deeltjes van 56 kg) Fe is dan  $17,9 \times 3 \times 1 = 54$  kg waterstof nodig. Om ‘hoogoven’ ijzer te maken zou er nog 45 kg koolstof op moeten lossen in 1 ton Fe. Dit proces om ijzererts alleen met waterstof te ‘reduceren’ is echter (helaas) nog niet (volledig) ontwikkeld.

Een proces waarbij aardgas (een combinatie van koolstof met waterstof  $\text{CH}_4$ ) gebruikt wordt om erts te reduceren bestaat wel. 1 deeltje  $\text{CH}_4$  zou dan 3 zuurstof kunnen binden. Opnieuw

ga ik voor de eenvoud wel volledig aan de thermodynamica voorbij, maar voor de boodschap/vergelijk is dat even minder relevant. 1,5 O van Fe halen kan dan met 0,5 CH<sub>4</sub> deeltje. 1 deeltje CH<sub>4</sub> weegt 16 kg. Dit betekent dat voor 1 ton Fe er  $17,9 \times 0,5 \times 16 = 143$  kg aardgas nodig. De soortelijke massa van aardgas is 0,833 kg/m<sup>3</sup>, daarmee is voor 1 ton Fe 172 m<sup>3</sup> aardgas nodig. Dit bestaande proces lever zogenaamd DRI materiaal, hetgeen overigens niet vloeibaar uit het proces komt.

Nu is er in IJmuiden (!) een alternatief ijzer maak proces ontwikkeld genaamd Hlsarna. Het hoofdproces wordt gevormd door vloeibaar FeO in contact te brengen met vloeibaar gietijzer (Fe met 4,5% C). Vloeibaar met vloeibaar reageert veel sneller dan vast (erts) met vast (kooks). Voor de FeO reductie is slechts 2/3 van de hoeveelheid koolstof nodig dan voor de reductie van Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, oftewel 215 kg koolstof per ton Fe. De koolstof uit het ijzer dat door de reactie verbruikt wordt moet 'aangevuld' worden door koolstof in het vloeibare ijzer te blazen.

Uit dit primaire hoofdproces komt CO vrij. Door deze CO boven in het vat in contact te brengen met pure zuurstof ontstaat veel warmte. Het wordt bovenin het vat zeer heet en op dat punt wordt het ijzererts ingeblazen (in de zogenaamde cycloon). Het ingeblazen erts smelt en verliest dan al een 0,5 deeltje O van het erts. Zo komt er vloeibaar FeO uit de cycloon in het hoofdproces onder in het vat. De enige voorwaarde aan de kolen en ertsen is dat ze fijn genoeg moeten zijn om ingeblazen te worden. Er is echter geen pelletfabriek, geen sinterfabriek of geen kooksfabriek nodig zoals bij de traditionele hoogoven.

Mocht het CO dat vrijkomt uit het primaire proces niet voldoende zijn om het ingeblazen Fe<sub>2</sub>O<sub>3</sub> te smelten tot vloeibaar FeO dan kan het CO gas aangevuld worden met koolstof, aardgas of waterstof. Dit is daarmee een van de weinige processen die vrij kan switchen tussen de verschillende brandstoffen. Vandaar dat ik dit een 'hybride' vorm van ijzer maken noem. Koolstof is alleen nodig voor het primaire proces om de koolstof in het ijzer aan te vullen. Een bijkomend voordeel van deze hybride vorm van ijzer maken is dat er pure CO<sub>2</sub> uit het proces komt. Alle CO wordt omgezet tot CO<sub>2</sub>. Bij een hoogoven komt er nog altijd een mengsel van CO/CO<sub>2</sub> vrij. Een schoorsteen is bij Hlsarna niet nodig, de CO<sub>2</sub> kan linea recta vloeibaar gemaakt worden of (her)gebruikt om de kolen en erts in te blazen.

In december 2023 is mijn [paper](#) over dit Hlsarna proces gepubliceerd en gepresenteerd.

Hoewel dit proces nog een aantal andere 'circulaire' bijdragen zou kunnen leveren wil ik op 1 interessante mogelijkheid attenderen. Het milieu heeft ook een groot probleem met plastics. Iedereen heeft wel gehoord van de plastic soep in de oceanen. Nu wil het geval dat plastics voornamelijk bestaan uit koolwaterstof verbindingen. Zo heeft het veel gebruikte PE de samenstelling (C<sub>2</sub>H<sub>4</sub>)<sub>n</sub> (de n wil zeggen het aantal C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> deeltjes aan elkaar geplakt). 1 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> deeltje weegt 28 kg en zou in navolging van bovenstaande 4 deeltjes O kunnen binden. 1 Fe heeft 1,5 O en zou daarmee 1/8 C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> nodig hebben. Voor 1 ton Fe is  $17,9 \times 0,125 \times 28 = 62$  kg PE nodig.

Samengevat: het hoogovenproces heeft 321 kg koolstof / t Fe nodig, het DRI-proces 172 m<sup>3</sup> aardgas / t Fe en het Hlsarna 215 kg koolstof / t Fe. Een nog te ontwikkelen proces met waterstof zou 54 kg waterstof per ton Fe nodig hebben. Als het mogelijk blijkt om in het Hlsarna proces plastics (soep) te injecteren dan zou er 62 kg PE plastic / ton Fe nodig zijn. Nog even voor de rekenaars: koolstof kost ongeveer 100 euro per ton, waterstof 10 euro per kg, aardgas € 1,45 per kuub (prijsplafond). Bereken zelf het effect hiervan op de kg prijs van ijzer. Tevens kan met behulp van de notitie '[een weg uit de energiecrisis](#)', een schatting gemaakt worden van hoeveel windmolens er ongeveer nodig zijn om jaarlijks 6 miljoen ton ijzer te maken (spoiler: meer windmolens dan er momenteel in heel Nederland opgesteld staan).