

Groen staal

Staal is een legering die bestaat uit ijzer en koolstof. Staal wordt geproduceerd uit ijzererts (Fe_2O_3) en steenkool. De productie van staal in het traditionele hoogovenproces (figuur 1) kan worden samengevat met de volgende stappen:

stap I:

IJzererts wordt vermalen en gemengd met hulpstoffen. Door verhitting van dit mengsel ontstaan zogenaamde ijzererts-pellets. Steenkool wordt verhit en samengeperst tot cokes, die voornamelijk uit koolstof bestaat.

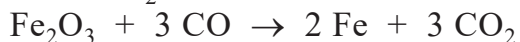
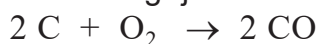
stap II:

De hoogoven wordt gevuld met lagen ijzererts-pellets en cokes, waarna hete lucht wordt ingeblazen. Een deel van de cokes reageert met zuurstof uit de lucht, waardoor koolstofmono-oxide (CO) ontstaat. Fe_2O_3 reageert met CO . Uit de onderzijde van de hoogoven komt een mengsel van ijzer met nog 4 tot 5 massaprocent koolstof.

stap III:

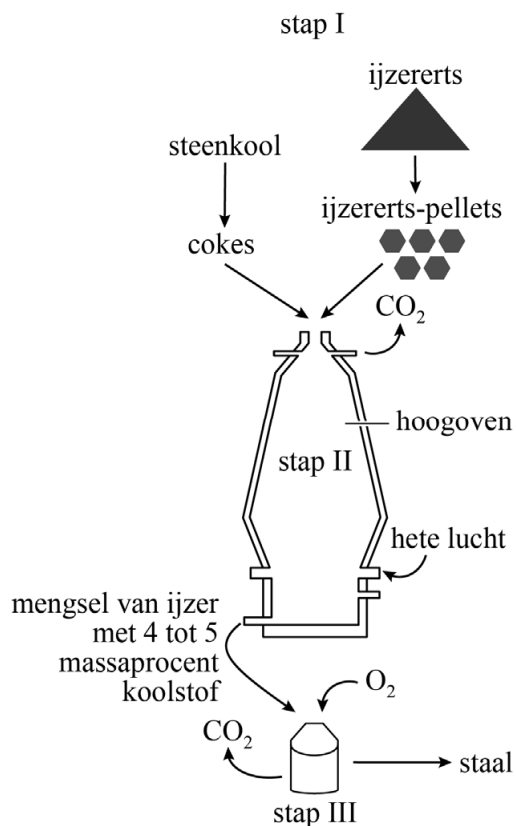
In een afzonderlijke reactor reageert een deel van de koolstof in het mengsel met zuiver zuurstof, waardoor uiteindelijk staal met 2,0 massaprocent koolstof ontstaat.

De belangrijkste reacties in **stap II** zijn:



Reactie 1 en 2 zijn beide exotherm, waardoor de temperatuur van de hoogoven oploopt tot 2197-2397 °C. Op de uitwerkbijlage staat een tabel over ijzer.

figuur 1



- 2p 19 Vul in de tabel op de uitwerkbijlage de vier ontbrekende gegevens in en geef aan in welke fase de stof ijzer zich bevindt in het mengsel dat de hoogoven verlaat. Gebruik Binas-tabel 40a of ScienceData-tabel 8.1.

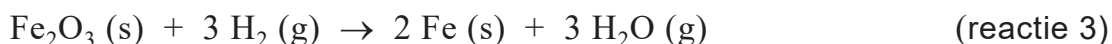
De productie van staal in een traditionele hoogoven levert een hoge CO₂-uitstoot op. Het grootste deel van deze uitstoot ontstaat in stap II door reactie 2.

- 4p 20 Bereken de CO₂-uitstoot door reactie 2 in ton per 1,00 ton gevormd staal.
- 1,00 ton = 1,00 · 10³ kg
 - Ga ervan uit dat het gevormde staal 2,00 massaprocent koolstof bevat.
 - **Geef de uitkomst in het juiste aantal significante cijfers.**

Om de CO₂-uitstoot te verminderen, is het MIDREX-proces ontwikkeld. Het MIDREX-proces doorloopt dezelfde stappen als het traditionele hoogovenproces, maar het MIDREX-proces gebruikt methaan in plaats van cokes. Door methaan eerst te laten reageren met stoom, ontstaat syngas, een mengsel van waterstof en koolstofmono-oxide.

- 3p 21 Geef de vergelijking voor de vorming van syngas uit methaan en stoom.

In de hoogoven die voor het MIDREX-proces wordt gebruikt, reageert ijzererts in stap II (de hoogoven) met het syngas volgens reactie 2 en reactie 3.



Een nadeel van deze methode is dat reactie 3 endotherm is.

- 3p 22 Bereken de reactiewarmte van reactie 3 per mol ijzer ($T = 298 \text{ K}$). Gebruik Binas-tabel 57 of ScienceData-tabel 9.2.

Bij traditionele staalproductie komt in stap II per mol geproduceerd Fe 1,5 mol CO₂ vrij. Bij gebruik van het MIDREX-proces komt minder CO₂ vrij per mol Fe.

- 3p 23 Voer de volgende opdrachten uit:
- Geef de totale reactie van stap II in het **MIDREX-proces**. Doe dit door reactie 2 en reactie 3 in de juiste verhouding bij elkaar op te tellen tot één totale reactie. De molverhouding H₂ : CO in de reactor is 3 : 1.
 - Leid af hoeveel mol CO₂ vrijkomt per mol Fe in stap II van het MIDREX-proces.

In Zweden wordt nog een ander proces toegepast om ijzererts om te zetten tot ijzer: het HYBRIT-proces. In dit proces wordt in stap II waterstof gebruikt in plaats van cokes of syngas, en treedt uitsluitend reactie 3 op. De waterstof wordt verkregen door de elektrolyse van water. Hierbij ontstaat ook zuurstof.

- 2p 24 Geef de vergelijking voor de elektrolyse van water.