

# Masterclass Tata Steel

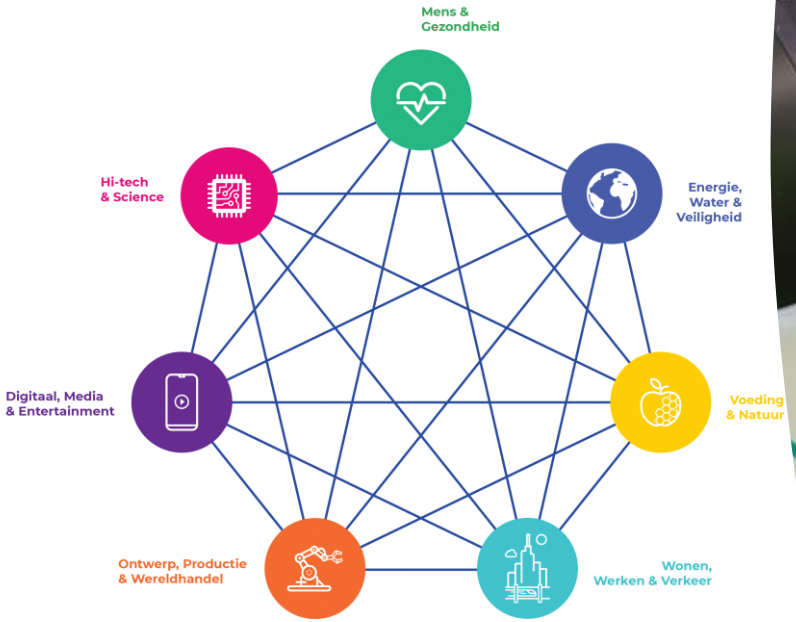
## Chemie in de transitie naar groen staal

Fanny Gerlings-Trausel, Hans Nooij

6-11-2026

# Wie ben ik?

- Hans Nooij
- Manager Onderwijscontacten
- Technologie & Wetenschap




Sensitivity: general

# Wie ben ik?

- Fanny Gerlings-Trausel

Achtergrond:

- Bachelor Molecular Science and Technology (Leiden/Delft)
- Master: Chemistry (Leiden)
- PhD: Responsive organocatalysis in soft materials (TU Delft)
- Procestechnoloog bij Packaging Tata Steel
- Nu: Onderzoeker metallurgische testen bij Tata Steel













Sensitivity: general

# Lesdoelen

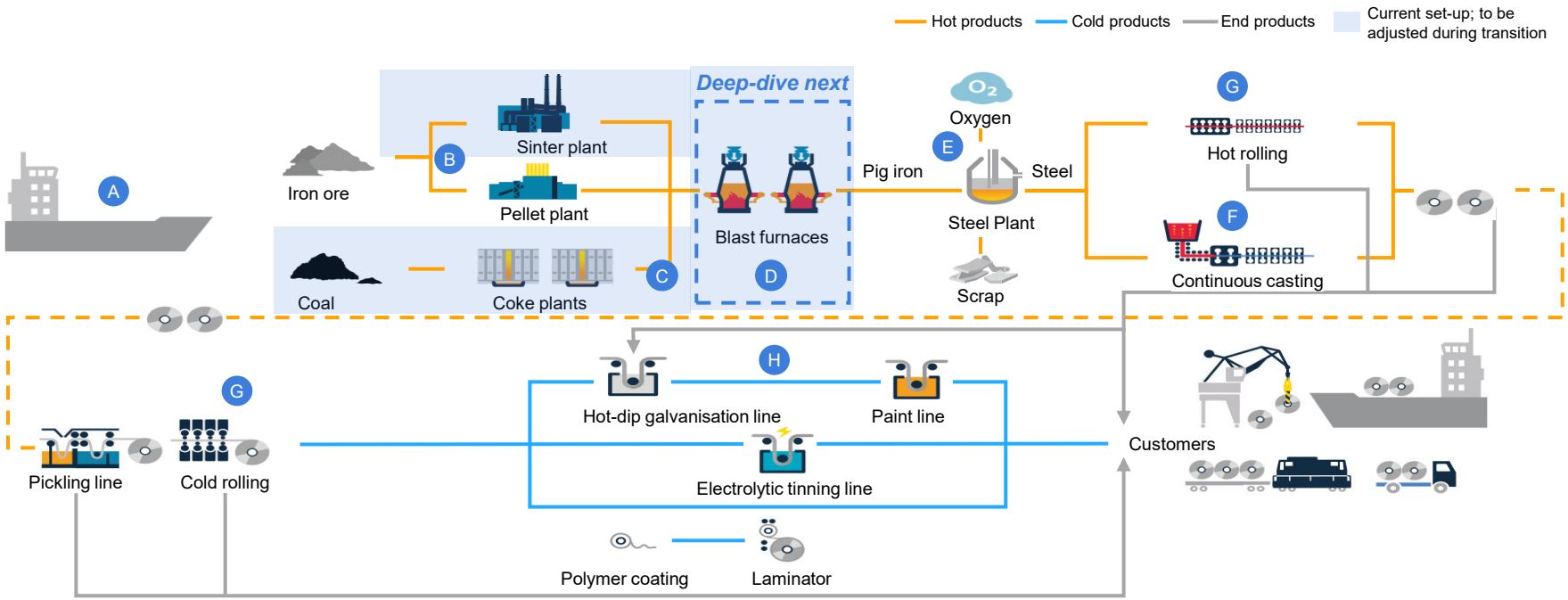
- Hoe maak je staal?
- Hoe maken we straks staal?
- Hoe wordt het hoogovenproces en het directe reductieproces nagebootst op labschaal?
- Hoe helpen de metallurgische testen in de transitie naar groen staal?
- Hoe wordt chemie toegepast in de transitie naar groen staal?





Sensitivity: general

# Hoe maken we nu staal?

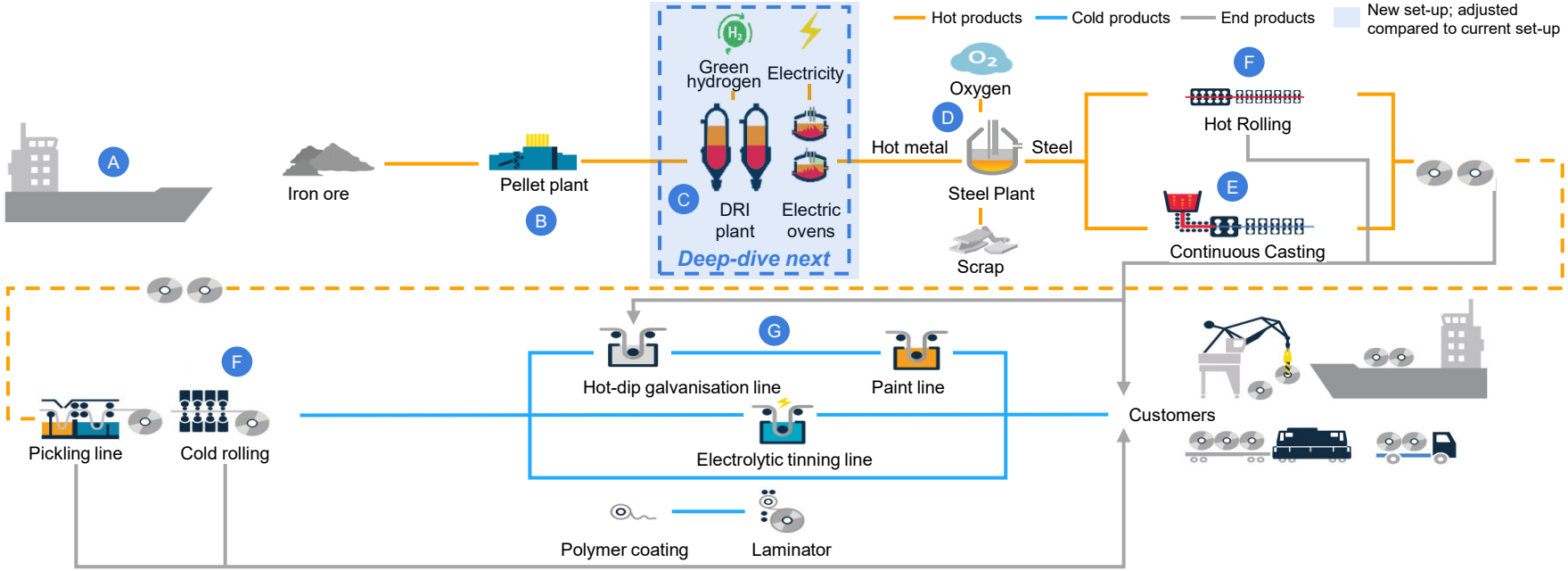



## Key TSN production steps

- A Coal and iron ore is supplied through the sea harbour
- B Iron ore is converted into sinter and pellets
- C Coal is converted into cokes
- D Blast furnaces: sinter and pellets are heated and converted into hot metal
- E Steel Plant: oxygen is blasted through the hot metal, converting it into liquid steel
- F Casting installations: liquid steel is casted into a mould, forming thick plates of steel
- G Rolling installations: plates of steel are converted into rolls
- H Refinishing and finishing treatments to achieve the required quality of steel

Used with permission from: Bol, L. ESTAD Proceedings 2023, *Clean, green and circular at Tata Steel IJmuiden*

# Hoe maken we straks staal?

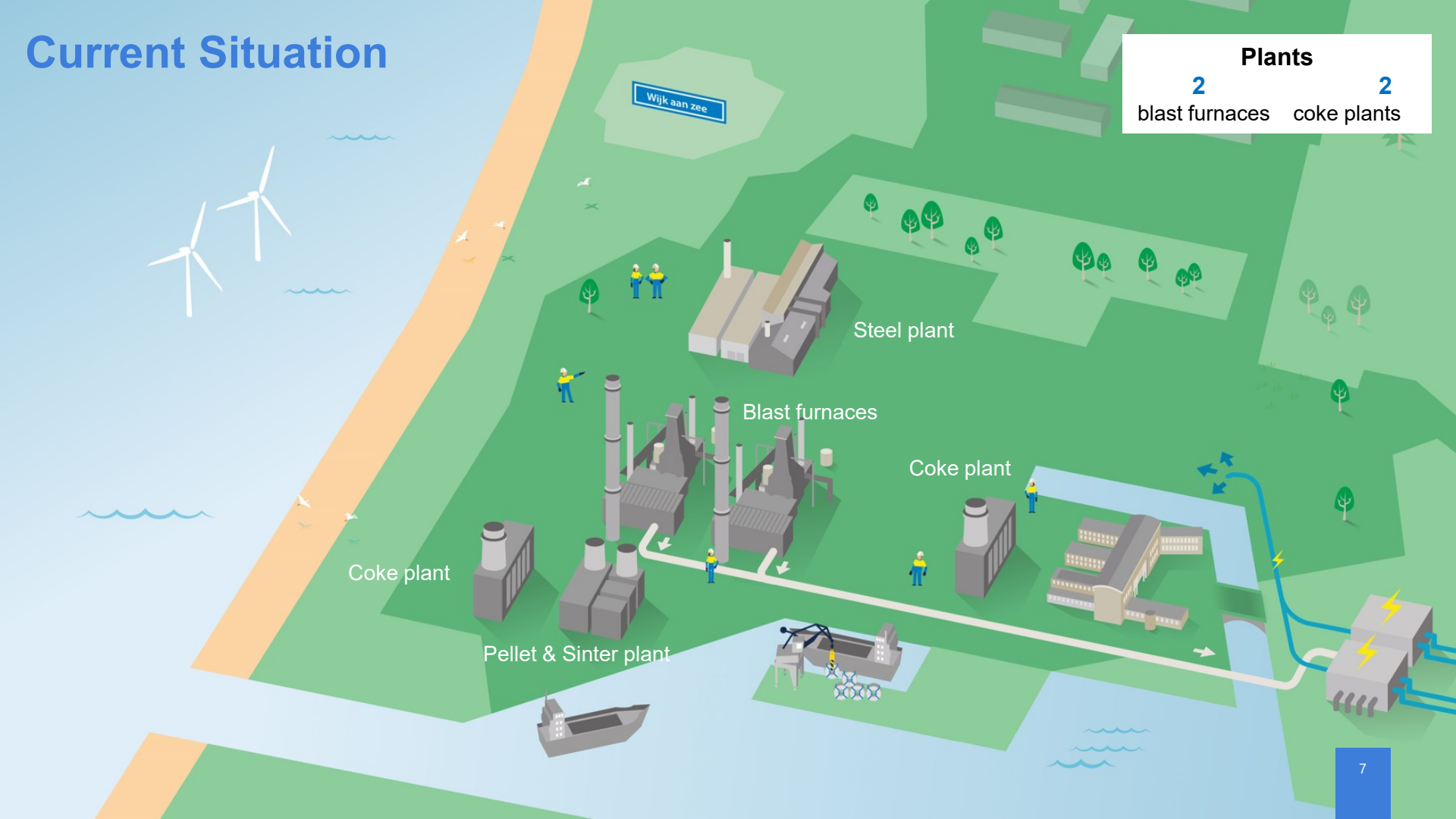



## Key TSN production steps

- **A** Iron ore is supplied through the sea harbour
- **B** Iron ore is converted into pellets
- **C** Pellets are converted into DRI, and DRI is converted into hot metal
- **D** Steel Plant: oxygen is blasted through the pig iron, converting it into liquid steel
- **E** Casting installations: liquid steel is casted into a mould, forming thick plates of steel
- **F** Rolling installations: plates of steel are converted into rolls
- **G** Refinishing and finishing treatments to achieve the required quality of steel

Used with permission from: Bol, L. ESTAD Proceedings 2023, *Clean, green and circular at Tata Steel IJmuiden*

# Current Situation



# Situation after step 1




**Plants**

| | |
|---|---|
| 1 DRI plant | 1 electric oven |
| 1 blast furnace | 1 coke plant |

# Situation after final step

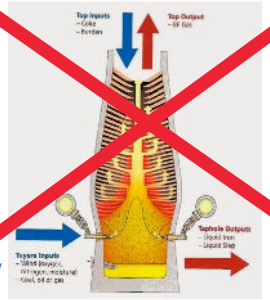


# Huidige route  en waterstofroute





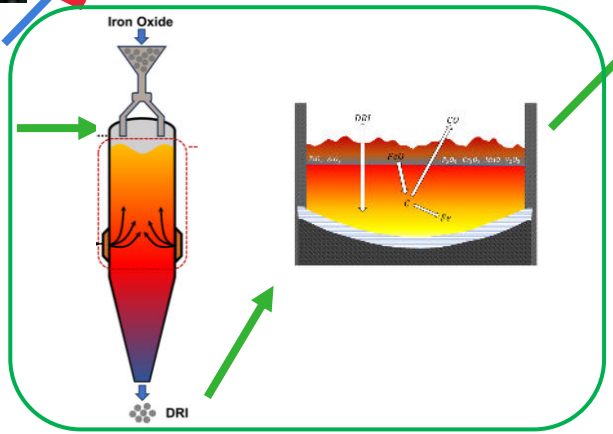


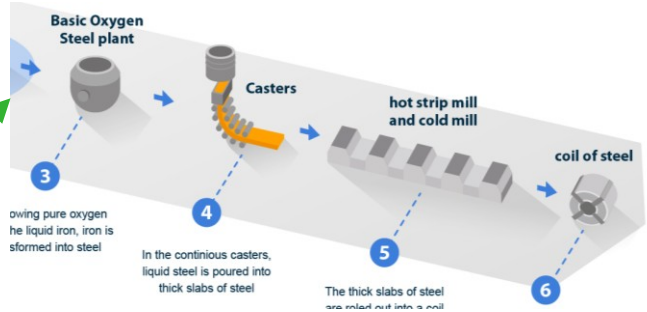








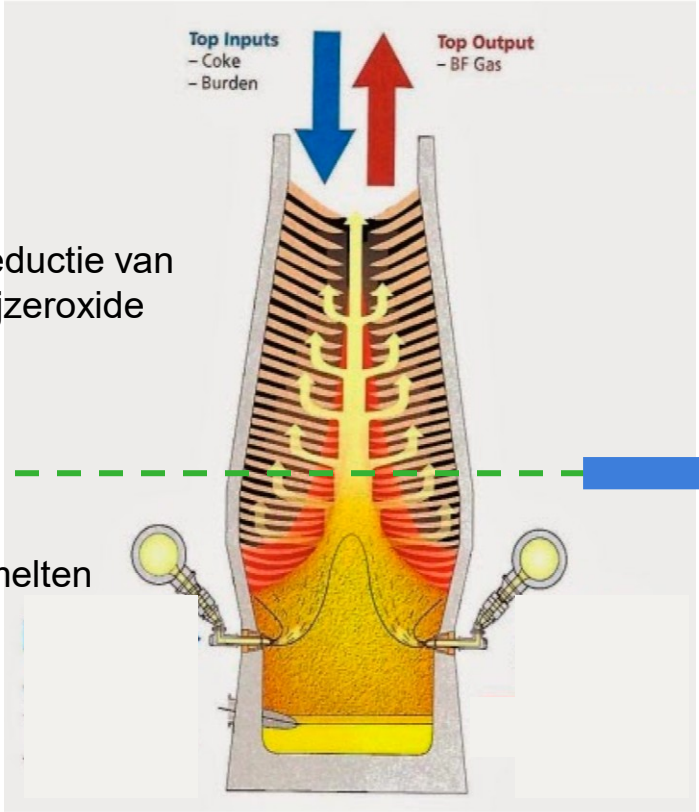



Waterstofroute

# Hoe verandert het proces?

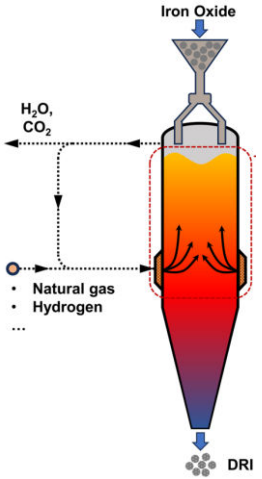
Hoogovenproces:



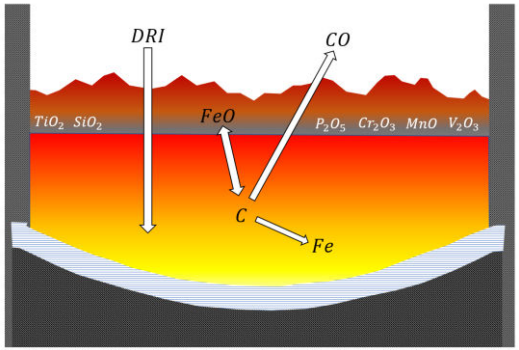

Reductie van ijzeroxide

Smelten

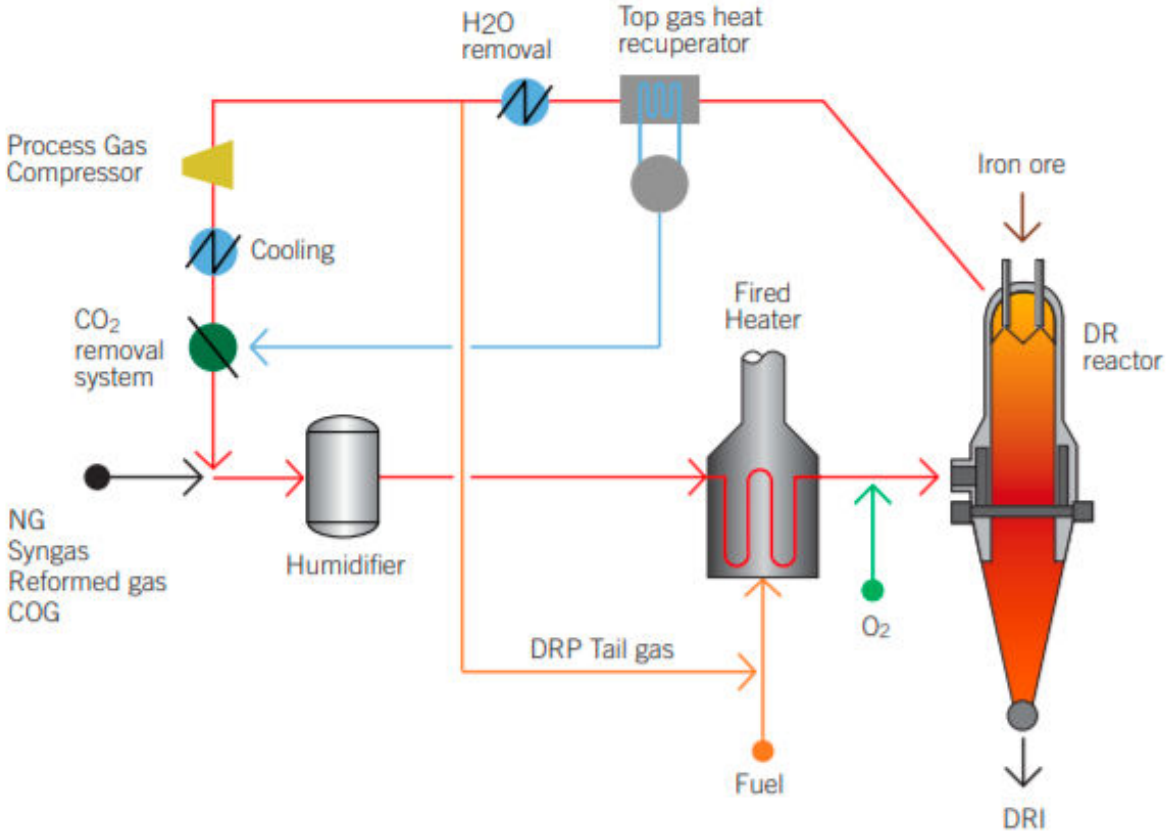
Directe reductie:




Electrische oven:



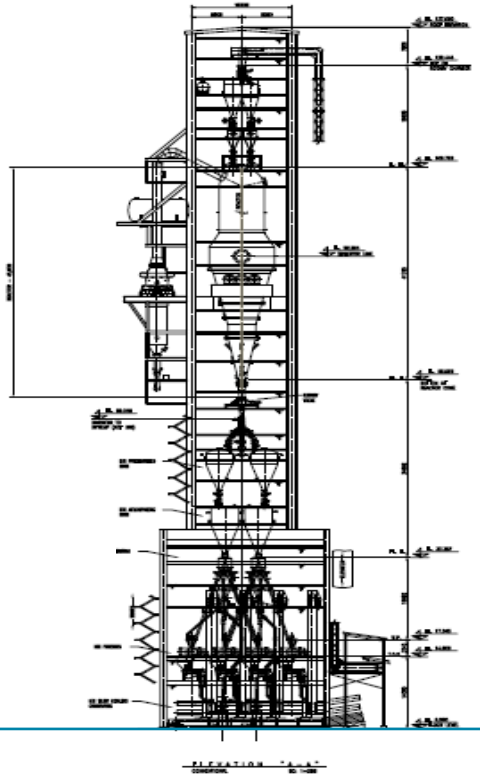
# Directe reductieproces (DRP)

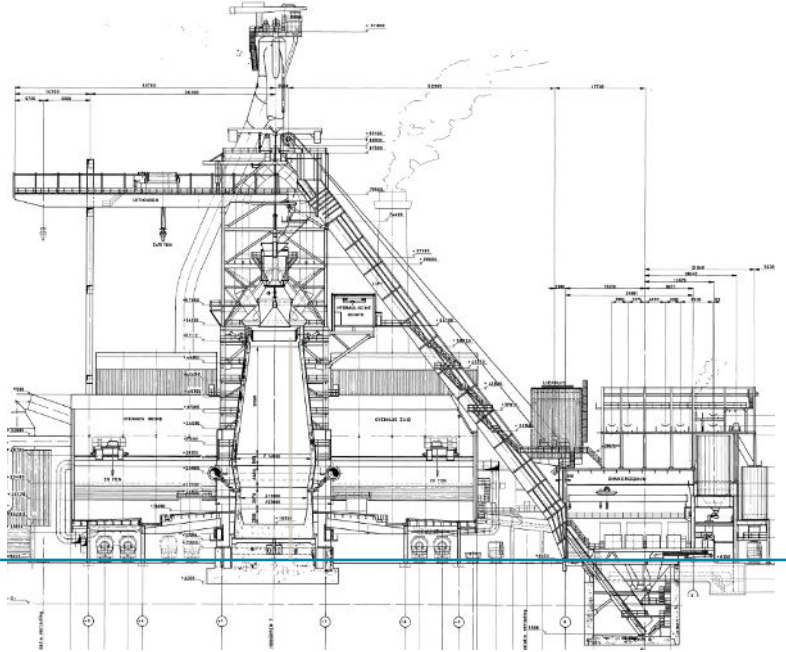


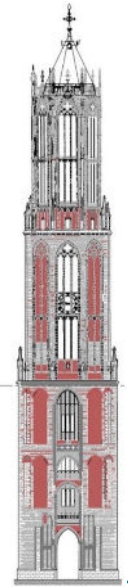

- Aardgas wordt gereformeerd tot $CO/H_2$ waarbij ijzer fungeert als katalysator in de DRP
- CO & $H_2$ halen zuurstof uit ijzerertspellets
- DRP top gas wordt gerecycled:
  - $CO_2$ scrubber in het gassysteem
  - Procesgas wordt verhit
- **Het systeem is geschikt voor waterstof, er zijn geen aanpassingen nodig**
- Het systeem werkt onder hoge druk: 6 – 8 bar

Sensitivity: general

**Directe reductieschachtoven ~ 136 m  Hoogoven 7 ~ 109 m  Domtoren ~112 m**







# Reductie in de hoogoven met kool en kook

Vaste stoffen

hematiet

magnetiet

wüstiet

ijzer

Gas

Vloeibaar ijzer
+
Vaste kook

$3Fe_2O_3 + CO \rightarrow 2Fe_3O_4 + CO_2$ 500-600°C

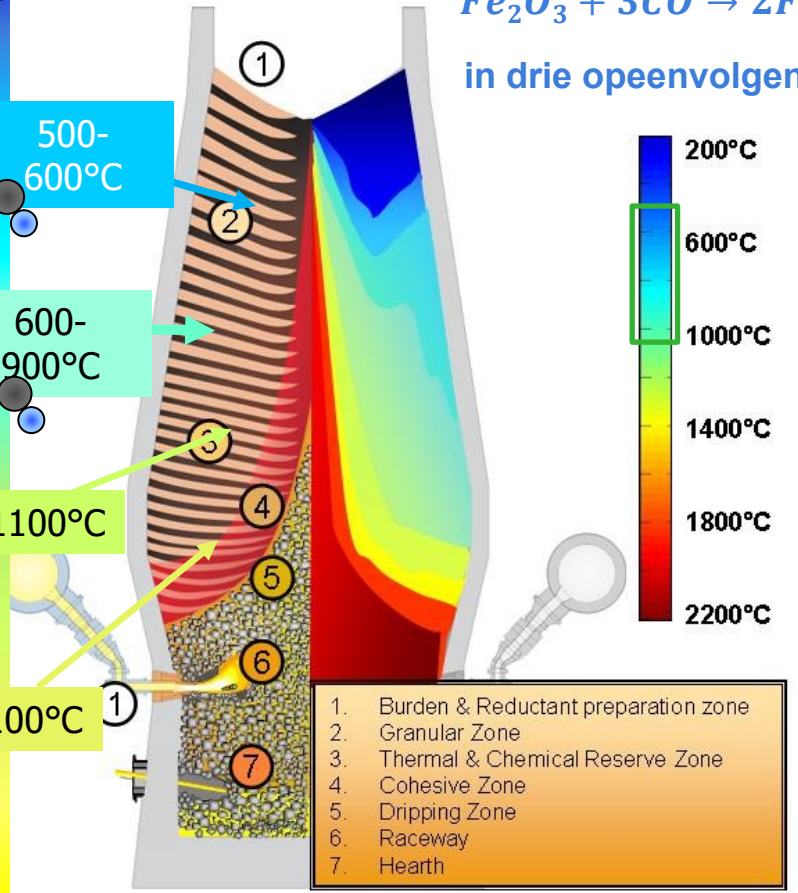
$Fe_3O_4 + CO \rightarrow 3FeO + CO_2$ 600-900°C

$FeO + CO \rightarrow Fe + CO_2$ 900-1100°C

$FeO + C \rightarrow Fe + CO$ >1100°C

$Fe_2O_3 + 3CO \rightarrow 2Fe + 3CO_2$

in drie opeenvolgende stappen



# Hoe bootsen we het hoogovenproces en directe reductieproces na op labschaal?

Met metallurgische testen:

- Reductie van ijzerertspellets of sinter onder hoogovencondities op 500 g schaal
- Verwekings- en smelttesten onder hoogovencondities
- Reductie van ijzerertspellets (en andere agglomeraten) onder directe reductiecondities

Doel:

- Kwaliteitscontrole van agglomeraten voordat ze in de hoogovens worden ingezet
- Aanpassen van o.a. pelleteigenschappen voor het directe reductieproces
- Onderzoeken welke agglomeraten geschikt zijn voor het directe reductieproces



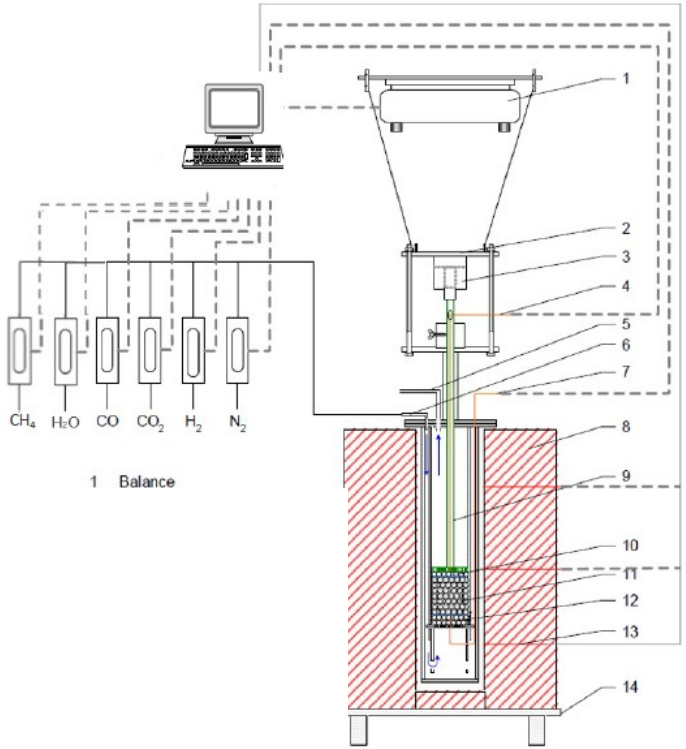



Sensitivity: general

# Reductiesimulatietesten: voor de hoogoven en het directe reductieproces

Opzet van de simulatietest:

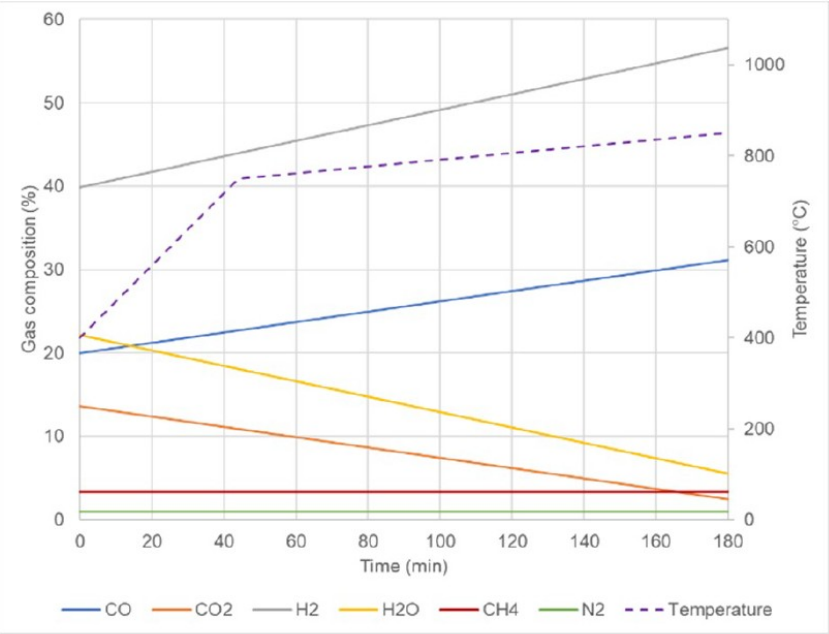
- Monstergrootte: 500 g pellets
- Temperatuursprofiel en gasprofiel gebaseerd op (gesimuleerde) condities van het hoogovenproces of het directe reductieproces
- Reductiegraad wordt tijdens de test bepaald aan de hand van de gewichtsafname door verlies van zuurstof
- Gassen: CO, $H_2$, $CO_2$, $N_2$, $H_2O$ (en $CH_4$)
- Na de test kan de reductievergruizing worden bepaald door de pellets te trommelen (300 rotaties, 30 RPM, %<3.15 mm)



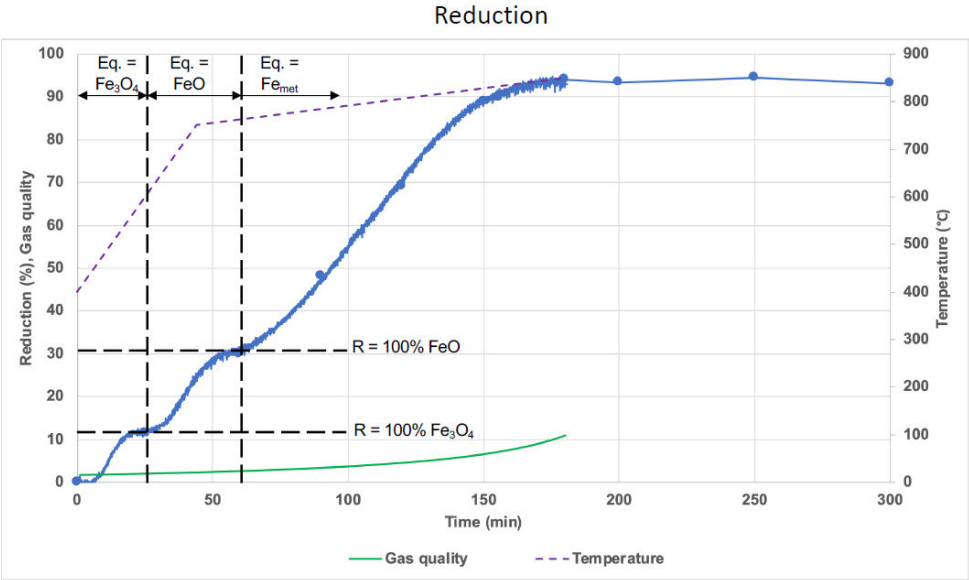

Schematic from: Laforest, Corem Symposium 2023, *The Corem R300, an updated laboratory-scale test method, for the evaluation of iron product quality for direct reduction.*

# Voorbeeld van een directe reductiesimulatietest: Corem R300 (literatuur)

Gascompositie en temperatuur:




Reductie:

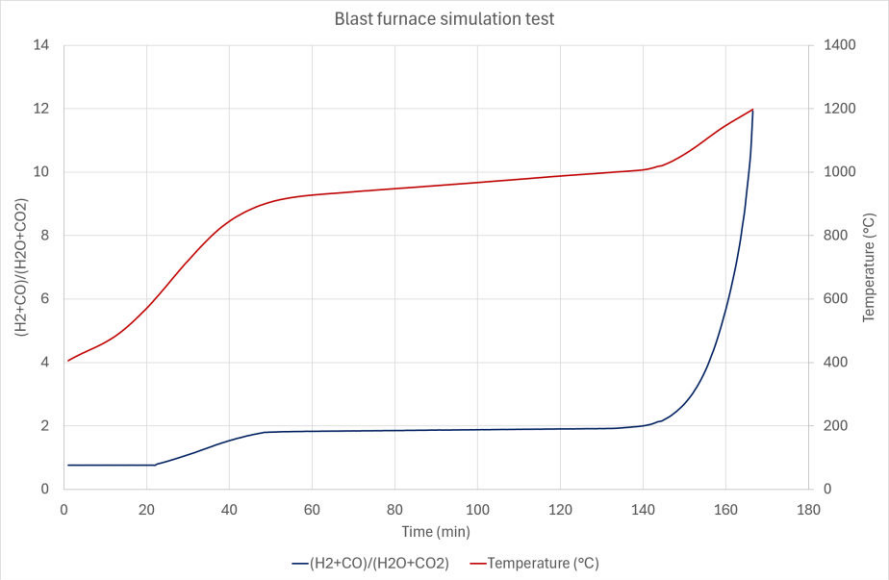



Gas quality is defined as $(CO+H_2)/(CO_2+H_2O)$

From: Laforest, Corem Symposium 2023, *The Corem R300, an updated laboratory-scale test method, for the evaluation of iron product quality for direct reduction.*

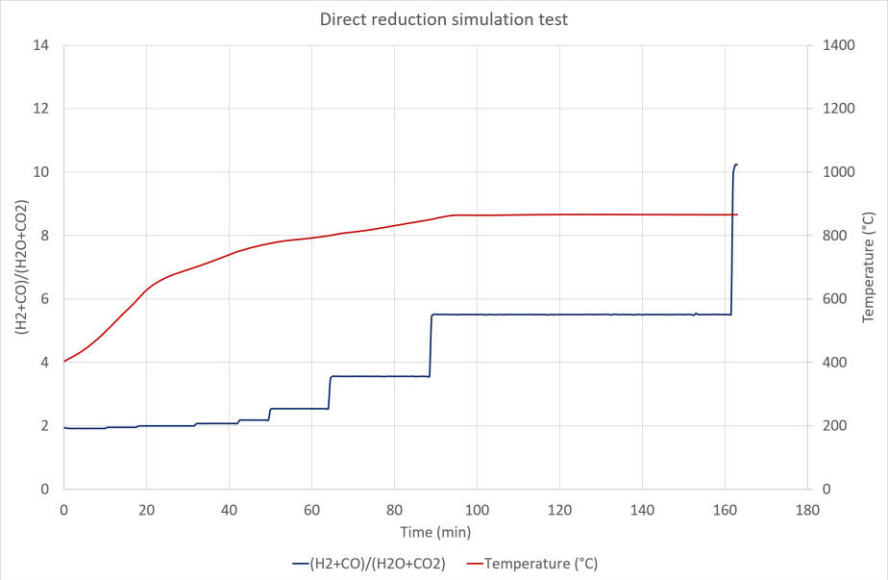
# Van hoogovensimulatietest tot directe reductiesimulatietest

Hoogovensimulatietest:




- Temperaturen tot 1200 °C en hoger
- Reductie gaat langerzamer vanwege lager percentage $H_2$ (in deze test maximaal 11%)

Directe reductiesimulatietest:

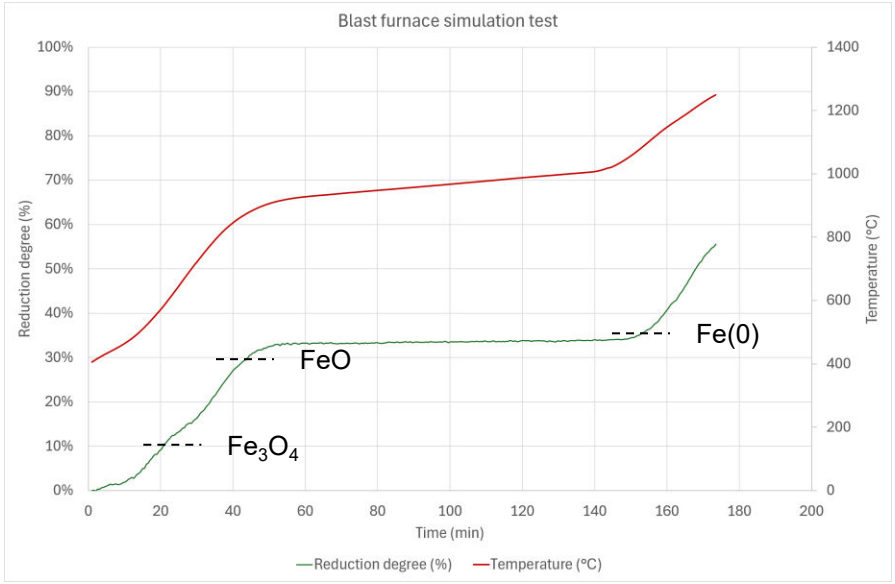



- Temperaturen tot 850 °C (pellets mogen niet verweken in het DR proces)
- Proces is sneller vanwege hoger percentage $H_2$ (tot wel 60%)

Sensitivity: general

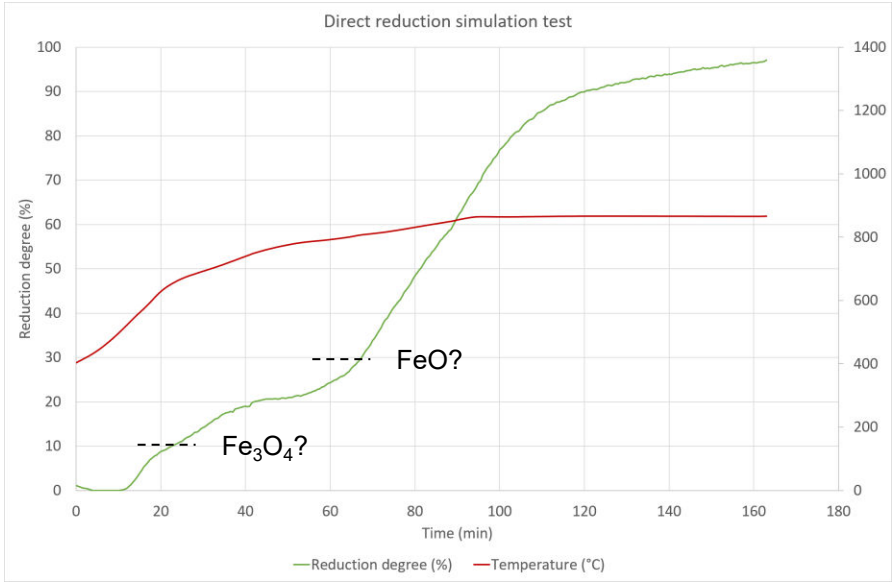
# Van hoogovensimulatietest tot directe reductiesimulatietest

Hoogovensimulatietest:




- Verschillende stappen in het reductieproces zijn te onderscheiden
- In het HO proces bestaat een reservezone waarbij de reductiegraad niet verandert

Directe reductiesimulatietest:




- De verschillende reductiestappen zijn waarschijnlijk goed te onderscheiden
- In het DR proces bestaat de reservezone niet

Sensitivity: general

# Chemie in de transitie naar groen staal

Reductie van ijzeroxide met CO:

**Maak de reactievergelijkingen kloppend en stel de nettoreactie op voor de vorming van ijzer uit ijzer(III)oxide en koolstofmonoxide door alle drie de reacties op te tellen:**

1. $3\ Fe_2O_3 + CO \rightarrow 2\ Fe_3O_4 + CO_2$
2. $Fe_3O_4 + CO \rightarrow 3\ FeO + CO_2$ **(2X)**
3. $FeO + CO \rightarrow Fe + CO_2$ **(6X)**

+

---

$3\ Fe_2O_3 + 9\ CO \rightarrow 6\ Fe + 9\ CO_2$ wordt: $Fe_2O_3 + 3\ CO \rightarrow 2\ Fe + 3\ CO_2$

Met dank aan Christiaan van Dijk, Vossius Gymnasium

Sensitivity: general

# Chemie in de transitie naar groen staal

Reductie van ijzeroxide met CO:

**Bereken met behulp van de nettoreactie en tabel 57 van Binas, de reactiewarmte (of: "enthalpie") voor het vormen van 1 mol Fe uit $Fe_2O_3$ en CO.**

Benodigd: voor $Fe_2O_3$ : $+8{,}24*10^5$ J en voor 3 CO: $3*+1{,}105*10^5$ J (samen: $+11{,}555*10^5$ J)

Er komt vrij: met 3 $CO_2$ : $3* - 3{,}935*10^5 = - 11{,}805*10^5$ J

Netto wordt er $(+11{,}555 + - 11{,}805)*10^5 = - 0{,}25*10^5$ J geleverd per twee mol

Dit komt overeen met $– 0{,}125*10^5$ J per mol Fe

**Is deze reactie endotherm of exotherm? Levert de reactie dus warmte op of is er juist warmte nodig?**

De enthalpie is negatief dus de reactie is exotherm en levert warmte op.

Met dank aan Christiaan van Dijk

Sensitivity: general

# Chemie in de transitie naar groen staal

Reductie van ijzeroxide met $H_2$:

**Maak de reactievergelijkingen kloppend en maak er weer een nettoreactie van waarbij ijzer(III)oxide met waterstof reageert tot ijzer en water:**

1. $3\ Fe_2O_3 + H_2 \rightarrow 2\ Fe_3O_4 + H_2O\ (g)$
2. $Fe_3O_4 + H_2 \rightarrow 3\ FeO + H_2O\ (g)$ (2X)
3. $FeO + H_2 \rightarrow Fe + H_2O\ (g)$ (6X)

+

$3\ Fe_2O_3 + 9\ H_2 \rightarrow 6\ Fe + 9\ H_2O\ (g)$ wordt $Fe_2O_3 + 3\ H_2 \rightarrow 2\ Fe + 3\ H_2O\ (g)$

Met dank aan Christiaan van Dijk

Sensitivity: general

# Chemie in de transitie naar groen staal

Reductie van ijzeroxide met $H_2$:

**Bereken met behulp van de nettoreactie en tabel 57 van Binas, de reactiewarmte (of: "enthalpie") voor het vormen van 1 mol Fe uit $Fe_2O_3$ en $H_2$.**

Benodigd: voor $Fe_2O_3$ : $+8{,}24*10^5$ J

Er komt vrij: met 3 $H_2O$ (g) : $3* - 2{,}42*10^5 = - 7{,}26*10^5$ J

Netto wordt er $(+8{,}24 + - 7{,}26)*10^5 = +0{,}98*10^5$ J geleverd per twee mol

Dit komt overeen met $+0{,}49*10^5$ J per mol Fe

**Is deze reactie endotherm of exotherm? Levert de reactie dus warmte op of is er juist warmte nodig?**

De enthalpie is positief dus de reactie is endotherm en heeft warmte nodig.

Met dank aan Christiaan van Dijk

Sensitivity: general

# Rekenen aan groene chemie

Ons ijzer wordt van oudsher met koolstof geproduceerd:

$2\ Fe_2O_3 + 3\ C \rightarrow 4\ Fe + 3\ CO_2$

Het rendement is 95%. Zoals je ziet komt er koolstofdioxide vrij, wat verantwoordelijk is voor onze klimaatsveranderingen. Verder zorgt de koolstof voor zeer veel vervuiling. Op uitgangspunt 1 scoort het zeer laag.

De staalindustrie wil daarom overstappen naar waterstof:

Reactie 1: $2\ H_2O \rightarrow 2\ H_2 + O_2$, dit proces verloopt via elektrolyse (zie hoofdstuk 8)

Dit waterstof kan met ijzererts reageren tot ijzer:

Reactie 2: $Fe_2O_3\ (s) + 3\ H_2\ (g) \rightarrow 2\ Fe\ (s) + 3\ H_2O\ (g)$

Heengaande reactie = endotherm, rendement 90%. De nettoreactie is een optelsom, waarin geen waterstof en water meer voorkomen!

Met dank aan Christiaan van Dijk

Sensitivity: general

# Rekenen aan groene chemie

**Bereken de E-factor van het oude productieproces.**

$$E - factor = \frac{[\ 2*M(Fe_2O_3) + 3*M(C)\ ] - 0{,}95*4*M(Fe)}{0{,}95*4*M(Fe)} = \frac{319{,}4 + 36 - 212{,}23}{212{,}23} = 0{,}67$$

**Bereken ook de atoomeconomie van het oude productieproces.**

Atoomeconomie = $4*M(Fe) / [\ 2*M(Fe_2O_3) + 3*M(C)\ ] * 100\% = 63\%$

Met dank aan Christiaan van Dijk

Sensitivity: general

# Rekenen aan groene chemie

**Opgave**

**Het nieuwe proces is zeker groener. Stel de nettoreactie hiervan op en ga aan de hand van uitgangspunten 2, 6, 8 en 12 na hoe het nieuwe proces scoort op basis van deze punten (zie Appendix, uitleg Groene Chemie).**

**Nettoreactie = $2\ Fe_2O_3 \rightarrow 4\ Fe + 3\ O_2$**
**De atoomeconomie bereken je nu door de massa van ijzer te delen door alleen de massa van ijzer( III )oxide ( dit geeft 70% ).**

- **Uitgangspunt 2: de atoomeconomie is gunstiger.**
- **Uitgangspunt 6: er is sprake van elektrolyse om waterstof te maken. Dit kost veel energie (die groen zou moeten worden geproduceerd) en dit geldt ook voor de endotherme reactie waarbij ijzer ontstaat. De nieuwe methode is dus verre van energiezuinig**
- **Uitgangspunt 8: Er is sprake van twee stappen, maar zuurstof kan niet gezien worden als afvalstof!**
- **Uitgangspunt 12: Waterstof is een brandbaar gas, dus er moeten maatregelen getroffen worden om explosies te voorkomen**

Met dank aan Christiaan van Dijk

Sensitivity: general

# Uitgangspunten groene chemie

1. Preventie (zo min mogelijk afval)
2. Atoomeconomie (efficiënt gebruik van atomen)
3. Minder schadelijke chemische productiemethoden
4. Ontwikkeling van minder schadelijke chemische stoffen
5. Veiligere oplosmiddelen
6. Energie-efficiënt ontwerpen (lage temperatuur en druk, energie hergebruiken)
7. Gebruik van hernieuwbare grondstoffen
8. Reacties in weinig stappen
9. Katalysator
10. Ontwerpen met het oog op afbraak
11. Tussentijdse analyse met oog op preventie van milieuverontreiniging
12. Minder risicovolle chemie

Sensitivity: general

https://www.examenoverzicht.nl/scheikunde/groene-chemie

# Vragen?

