

# De CO<sub>2</sub>-emissies van kernenergie

Kernenergie is de meest complexe manier om elektriciteit op te wekken die de mensheid ooit bedacht heeft. Er zijn veel stappen nodig voor er stroom wordt geproduceerd in een kerncentrale. Als we kijken naar de hele levenscyclus van kernenergie, beginnend bij uraniummijnbouw en eindigend bij de ontmanteling van een centrale en opslag van het kernafval, dan blijkt dat er toch nog heel wat CO<sub>2</sub>-uitstoot plaatsvindt.<sup>1</sup>

## De reis van het Borssele uranium

Het uranium voor de kerncentrale in Borssele wordt bijvoorbeeld in mijnen in Kazachstan gedolven. Ter plekke wordt in een chemische fabriek het bruikbare deel uranium geëxtraheerd. Vanaf daar gaat het per vrachtwagen naar de haven vanwaar het per schip naar Engeland wordt vervoerd om daar per vrachtwagen naar een fabriek te worden gebracht waar het 'verhext' wordt (gasvormig gemaakt). Per vrachtwagen, per schip en vervolgens weer per vrachtwagen gaat het product naar de verrijkingsfabriek van Urenco in Almelo waar het verrijkt wordt. Dan gaat het per vrachtwagen naar de splijtstofstavenfabriek in Duitsland of Frankrijk vanwaar de splijtstofstaven dan eindelijk per vrachtwagen of trein naar de kerncentrale in Borssele/Zeeland gaan. Als de splijtstofstaven uitgewerkt zijn gaan ze per trein of vrachtwagen naar een opwerkingsfabriek in Frankrijk. Het kernafval, hoog, middel- en laagactief, wordt zowel in Frankrijk als in Nederland 'tijdelijk' opgeslagen in bunkers. Niemand weet hoelang, want er is nog nergens ter wereld een definitieve berging gerealiseerd. Uiteindelijk zal al het afval dus ook nog vervoerd moeten worden naar een definitieve bergplaats.

## Hoeveel CO<sub>2</sub> per kWh?

Hoe kun je de CO<sub>2</sub>-uitstoot van de verschillende manieren van stroomopwekking berekenen? Hiervoor moet voor elke stap die nodig is om uiteindelijk stroom op te kunnen wekken worden berekend hoeveel CO<sub>2</sub> hierbij wordt uitgestoten. Deze zogenaamde Life Cycle Analyses (LCA's) zijn ingewikkeld: de CO<sub>2</sub>-uitstoot die er uiteindelijk uitrolt hangt af van óf en hoe alle stappen die bij een techniek horen in de analyse meegenomen worden. Om recht te doen aan de verschillende zienswijzen worden er daarom 'metastudies' gemaakt waarin per energiebron de verschillende publicaties worden geanalyseerd en samengevat. Als één van de resultaten van zo'n metastudie wordt het bereik aangegeven tussen studies die tot een minimale CO<sub>2</sub>-uitstoot komen en studies die juist een grote CO<sub>2</sub>-uitstoot hebben berekend.

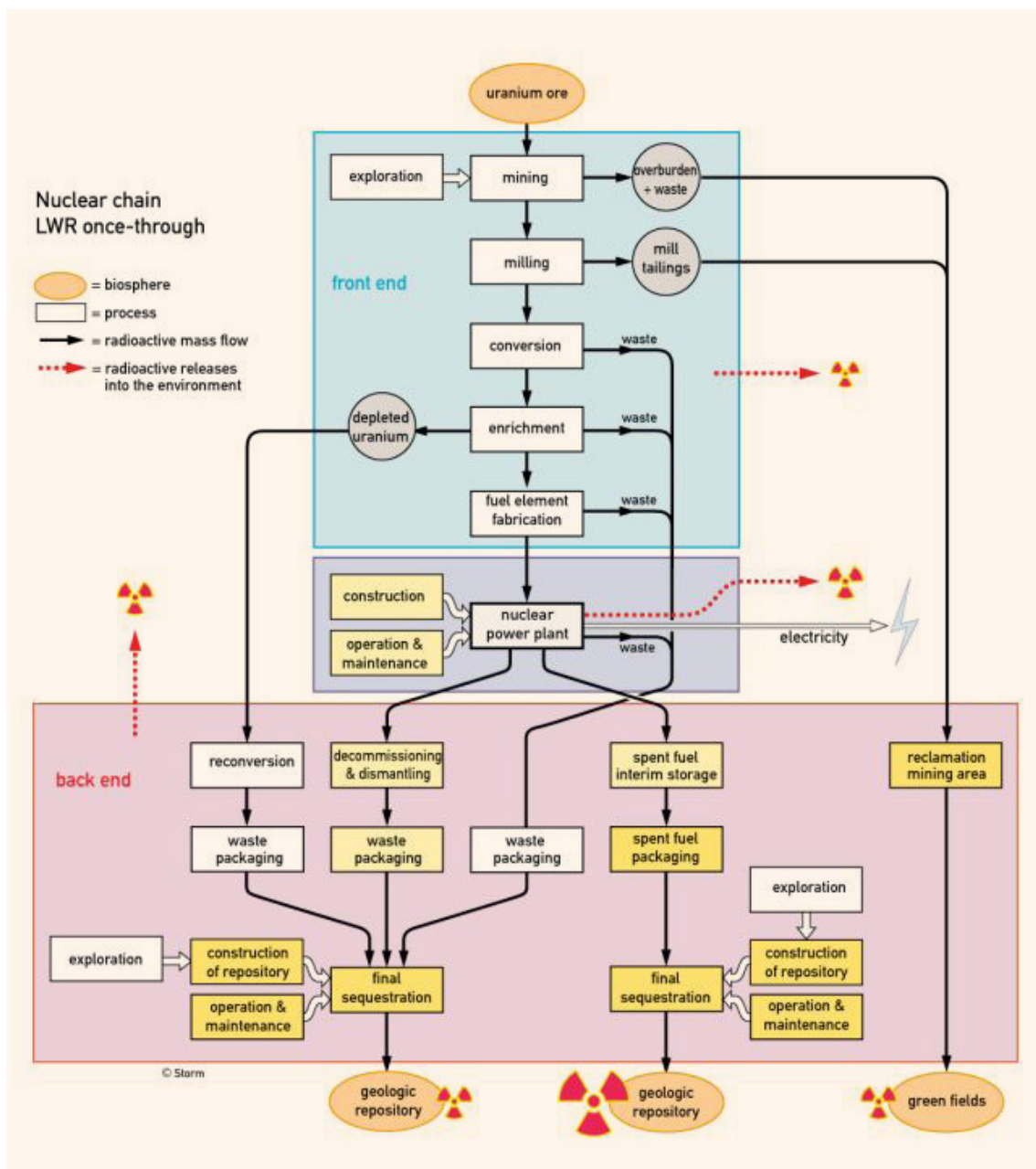
In het meest recente IPCC-rapport werden de volgende getallen, afkomstig van verschillende metastudies, gepubliceerd<sup>2</sup>:

1 Bron: Jan Willem Storm van Leeuwen: Nuclear power – the energy balance, Part B (October 2007) The reference reactor. <https://www.stormsmith.nl>

2 Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) Fifth Assessment Report (2014), Working Group III Report "Climate Change 2014: Mitigation of Climate Change", chapter 7 "Energy Systems" [http://www.ipcc.ch/publications\\_and\\_data/publications\\_and\\_data\\_reports.shtml](http://www.ipcc.ch/publications_and_data/publications_and_data_reports.shtml)

Elektriciteit uit	Emissies in gram CO <sub>2</sub> equivalent per kWh (gCO <sub>2</sub> eq/kWh)
Kolencentrale	710-950
Gascentrale (incl WKK)	410-650
Zonnepanelen (PV)	5-212
Kerncentrale	4-110
Wind	7-56

Vanwege de grote complexiteit van de kernenergiecyclus is het lastig om heel precies de werkelijke CO<sub>2</sub>-uitstoot van kernenergie uit te rekenen. Voorstanders van kernenergie hebben de neiging om kernenergie als nagenoeg CO<sub>2</sub>-vrije energie voor te stellen, tegenstanders gebruiken weer cijfers die de CO<sub>2</sub>-uitstoot van kernenergie overdrijven.



Het IPCC refereert voor de cijfers rond kernenergie naar een metastudie van Warner en Heath uit 2012.<sup>3</sup> In deze metastudie uiten de onderzoekers nog de nodige kritiek op de afzonderlijke LCA's waarop hun metastudie is gebaseerd:

- De mijnbouwmethoden worden in meer dan de helft van de LCA's niet onderzocht.
- Meer dan de helft van de LCA's besteedde geen aandacht aan de kwaliteit van het uraniumerts. Dit kan van grote invloed zijn op de CO<sub>2</sub>-uitstoot (zie verderop).
- De ontmanteling van kerncentrales werd onvolledig meegenomen in de LCA's.
- Het herstellen van mijnen, dat een groot deel van de CO<sub>2</sub>-emissies kan veroorzaken, werd in geen enkele LCA meegenomen.
- De primaire energie die voor de vele stappen in het kernenergieproces wordt gebruikt, verschilt enorm per land. Om een goede, gemiddelde LCA te maken zouden dus voor alle onderzochte landen die cijfers meegenomen moeten worden. In de meeste studies was dit niet het geval.
- De methodes die voor de verschillende LCA's zijn gebruikt werden meestal niet gedetailleerd genoeg omschreven. Hierdoor is het moeilijk om in te schatten welk effect de gebruikte methodes op de LCA's hadden.

## Uraniummijnbouw

De grondstof voor kernenergie is uraniumerts dat in grote mijnen wordt gedolven. 1.000 kg gesteente moet worden afgegraven om er uiteindelijk een halve kilo bruikbaar uranium aan over te houden. Daarom veroorzaakt de mijnbouw de meeste CO<sub>2</sub>-uitstoot van de kernenergiecyclus.

De rijkste uraniumertsen zullen bij het huidige verbruik binnen een mensenleven al schaarser worden. Als de ertskwaliteit achteruit gaat moeten er steeds grotere volumes gesteente worden gedolven. Het gevolg is dat het energiegebruik dat met de uraniumwinning gepaard gaat flink stijgt. En zolang de machines op fossiele brandstoffen draaien stijgt dus ook de CO<sub>2</sub>-uitstoot.

## Andere CO<sub>2</sub>-intensieve processen

Het uraniumerts moet worden vermalen. Het uranium moet chemisch worden geëxtraheerd, vergast en verrijkt. Met name verrijking is een zeer energie-intensief proces en deze stap draagt dus ook fors bij aan de CO<sub>2</sub>-emissies van kernenergie.

In een volgende fabriek worden de brandstofstaven gemaakt. Deze gaan dan naar de kerncentrale waar zonder CO<sub>2</sub>-uitstoot de stroomopwekking plaatsvindt.

Als de brandstofstaven verbruikt zijn blijft er laag-, middel- en hoogradioactief afval over waarmee zeer zorgvuldig moet worden omgegaan. Al het afval wordt nu wereldwijd bovengronds tijdelijk opgeslagen in grote bunkercomplexen, "in afwachting van een definitieve oplossing". De CO<sub>2</sub>-uitstoot die de eindberging van alle soorten kernafval met zich mee zal brengen zal waarschijnlijk ook aanzienlijk zijn. Harde cijfers hierover zijn er niet omdat er wereldwijd nog geen eindberging gerealiseerd is. Hoogradioactief afval moet voor tienduizenden jaren volledig geïsoleerd worden opgeborgen.

---

3 Life Cycle Greenhouse Gas Emissions of Nuclear Electricity Generation, Ethan S. Warner Garvin A. Heath (2012)

## Sovacool

Naast de metastudie van Warner en Heath wordt ook het werk van Benjamin Sovacool, professor voor energiebeleid aan de universiteit van Sussex<sup>4</sup> vaak aangehaald. Hij heeft een metastudie<sup>5</sup> gedaan waarin hij 19 eerdere studies van anderen doorspitte en de gevonden waarden voor CO<sub>2</sub>-uitstoot analyseerde. Hij kwam tot een gemiddelde uitstoot van 66 gCO<sub>2</sub> eq/kWh.

Benjamin Sovacool berekende de CO<sub>2</sub>-uitstoot van de verschillende stappen uit de kern-energiecyclus als volgt:

	g CO <sub>2</sub> e/kWh	%
Frontend	25,09	38
Bouw	8,2	12
Exploitatie	11,58	18
Backend	21,21	32
total	66,08	

- Frontend: Uraniumwinning, verhexing, verrijking, splijtstofstavenfabricage.
- Backend: Ontmanteling van de kerncentrale; verwerking, tijdelijke opslag en (toekomstige) permanente opslag van kernafval.

---

4 <http://www.sussex.ac.uk/profiles/373957>

5 Sovacool, Benjamin K., Valuing the greenhouse gas emissions from nuclear power: A critical survey, Energy Policy 36 (2008) 2940-2953; [http://www.grid.unep.ch/FP2011/step1/pdf/003\\_Sovacool\\_2008.pdf](http://www.grid.unep.ch/FP2011/step1/pdf/003_Sovacool_2008.pdf)