Hoe veilig zijn kerncentrales om elektriciteit op te wekken?

Ad Komen
https://www.linkedin.com/in/adkomen/

Aanleiding

Ergens in 2016 hoorde ik de eerste keer over de gunstige eigenschappen van Molten Salt Reactors, in het bijzonder als die gebruik zouden maken van Thorium als splijtstof in combinatie met restproducten van andere kerncentrales. Als MSR/Th centrales die beloften kunnen waarmaken, dan zou dat allereerst een grote bijdrage betekenen aan het kunnen voldoen aan beperken van de mondiale uitstoot van CO2/broeikasgassen. Maar vooral ook aan het leveren van voldoende elektrische energie op allerlei plekken in de wereld. De mogelijkheid om kernafval te verwerken, dat anders langdurig moet worden opgeslagen, leek mij een aantrekkelijke bonus.
Tegelijk speelde in de nasleep van de ongelukken met kerncentrales in Chernobyl, Oekraïne 1986 en Fukushima, Japan 2011, dat regeringen van Japan en Duitsland besloten om hun kerncentrales te sluiten als ultieme maatregel om toekomstige kernrampen te voorkomen. Ze werden te risicovol bevonden voor onze leefomgeving om ze langer in gebruik te houden. Vaak werd ook aangevoerd, dat kerncentrales niet (meer) nodig zouden zijn, omdat elektriciteit opwekken via hernieuwbare energie, m.n. door windmolens en zonnepanelen, wereldwijd in opmars is en veel goedkoper en veiliger wordt geacht.

Sindsdien ben ik mij steeds meer gaan verbazen over de overwegende antistemming over kernenergie. Daar lijkt mij niet zozeer veel kennis over kernenergie en kernreactoren aan de basis te liggen, als veeleer angst voor radioactiviteit en ook angst voor misbruik daarvan door kwaad-willenden. Ik snap die angst voor kernrampen. Als na-oorlogskind heb ik die ook meegekregen. Er nu meer over nadenkend, begrijp ik echter niet goed, waarom kernenergie zo wordt afgewezen. Dat getuigt van weinig vertrouwen in ons gezamenlijke vernuft om kernenergie op een veilige manier toe te passen. En dat geringe vertrouwen deel ik niet. Al lang voor en zeker vanaf de industriële revolutie heeft ons vernuft ertoe geleid, dat we met een sterk gegroeide wereldbevolking in toenemende welvaart en vrede op onze planeet Aarde kunnen leven. Hoezeer daar ook voor tal van mensen en situaties op af te dingen valt, zoals veel nieuws ons dagelijks laat zien. De globale vooruitgang is m.i. onmiskenbaar en heeft tot een veel veiliger wereld geleid (Pinker, 2011). Wat niets afdoet aan de realiteit dat de uitdagingen (WWF International, 2016) (UNFCC, 2015) zeer groot en talrijk zijn, om die vooruitgang voort te kunnen zetten. Het energievraagstuk is daar maar één uitdaging van. En binnen dat vraagstuk hoort ergens de afweging thuis, of en welke rol kernenergie daarin kan spelen. En een aspect daar weer in, is veiligheid van kernreactoren. En van enige afstand bekeken, lijkt mij vooralsnog niet zoveel mis met die veiligheid.

Drie ervaringen gaven mij een duw om dit eens nader te onderzoeken.

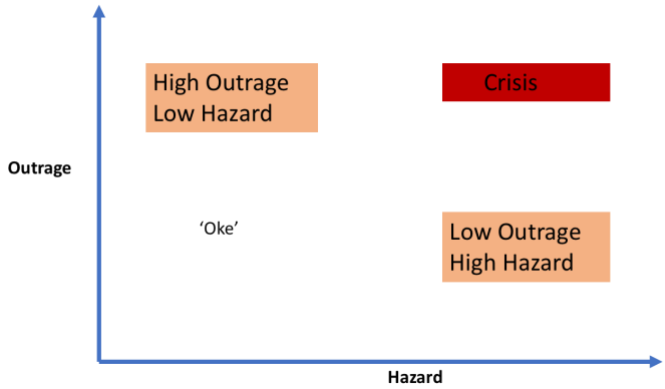
1. In 2018 verscheen Factfulness waarin Hans Rosling c.s. tien redenen geven waarom we verkeerd denken over de wereld en waarom de wereld er beter voor staat, dan we denken (Rosling, Rosling, & Ronnland, 2018). Rosling laat ons naar de wereld kijken zoals die z.i. op feiten gebaseerd is. Dat die wereld niet is, zoals de meesten van ons denken. Hij maakt het sterke punt, dat onze meningen en zicht op de wereld dateren van de tijd dat onze leraren hun school afmaakten. Met andere woorden: op kennis die gedateerd is, twee tot drie decennia oud is. Talrijke groepen over de hele wereld, van gewone mensen tot hoog opgeleide experts, waarop hij dit inzicht testte, bevestigden steeds weer zijn gelijk: ze scoorden gemiddeld slechter dan chimpansees zouden doen op feitelijke vragen over de toestand van de wereld. En zonder uitzondering dachten deze groepen, dat de wereld er slechter voorstand dan in werkelijkheid. En als je wereldbeeld verkeerd is, maak je systematisch daarbij horende en dus verkeerde beslissingen. Zelfs mensen die over de meest actuele informatie beschikten, bleken zulke verkeerde meningen over de feitelijke wereld te bezitten. Rosling wijt dat aan ons menselijke

instinct voor drama. Ons over-dramatische wereldbeeld is zo moeilijk te veranderen, omdat ons brein een focus voor drama heeft[1]. De link in deze voetnoot[2] leidt naar drie TED talks uit respectievelijk 2006, 2014 en 2017 van Hans Rosling. Gun u eens daar naar te kijken. Die uit 2017 duurt 4 minuten, de andere twee elk 19 minuten. Op internet staat nog veel meer, als je interesse is gewekt. Bijvoorbeeld de animatie, waarin 200 jaar ontwikkeling van 120 landen wordt getoond is indrukwekkend.

>>Daar hield ik de volgende vragen aan over:

1. Is het breed afwijzen van kernenergie gebaseerd op verouderde kennis en inzichten?
2. Zo ja, zou die afwijzing bijgesteld moeten worden?

2. Peter M. Sandman[3], Amerikaan, meer dan 40 jaar ervaring als risico communicatie wetenschapper en consultant, is bekend als de geestelijke vader van de vergelijking 'Risk = Hazard + Outrage' (Sandman, 1993, 2012)[4]. Hij formuleerde deze n.a.v. zijn ervaringen met 'environmental problems[5]' en studies over de verschillende manieren waarop naar risico's wordt gekeken. 'Hazard' staat dan voor risico's zoals deze technisch / rationeel door experts worden berekend of voorgesteld. 'Outrage' aan de risico vergelijking toevoegen is voor mij een nieuwe parameter. Sandman werkt "Outrage' ver uit en illustreert met uitgebreide praktijkervaringen hoe daarmee omgegaan kan worden. 'Outrage' staat voor 'hoe anderen (de niet experts, het publiek, de omgeving) tegen een risico aankijken'. En dat kan een heel andere risico-uitkomst opleveren. NIMBY, kort voor 'not in my backyard' is een bekend voorbeeld daarvan, dat heel wat obstakels kan opleveren voor ontwikkelingsplannen. Ik vind de formulering 'Risk = Hazard + Outrage' meer recht doen aan de complexiteiten rondom controversiële projecten en plannen dan mij tot nu toebekende risicoafwegingen. 'Outrage' klinkt heftig, emotioneel en bevat iets onhandelbaars. Logischerwijze komen de volgende combinaties voor:



Sandman geeft een correlatie van 0,7 aan tussen 'Outrage' en 'Percieved Hazard'. Dat is niet alleen significant maar zelfs hoog te noemen in statistische termen. Sandman leert ons ook dat data 'outraged people' niet overtuigen. Hoe hoog men ook opgeleid is. M.a.w. 'Outrage' bepaalt in hoge mate hoe een risico wordt ervaren en niet wat dat volgens experts objectief is. 'Outrage'

[1] En tegelijk heeft ons brein een groot optimisme over effecten als klimaatverandering (lossen we vast tijdig wel op); interessant om over het menselijke brein te lezen is 'Thinking, fast and slow' van Daniel Kahneman, 2011.
[2] 2017 https://www.youtube.com/watch?v=Z8t4k0Q8e8Y en 2014 https://www.ted.com/talks/hans_and_ola_rosling_how_not_to_be_ignorant_about_the_world?language=en
En 2006 https://www.ted.com/talks/hans_rosling_shows_the_best_stats_you_ve_ever_seen
[3] www.psandman.com met zeer veel links naar zijn werk
[4] Boek is gratis online verkrijgbaar via www.psandman.com/media/RespondingtoCommunityOutrage.pdf
[5] Hier het beste te verstaan als milieu problematiek: botsingen tussen voor en tegenstanders van industriële complexen; behandelingen van de gevolgen van milieurampen e.d.

bepaalt dan in hoge mate of project risico's wel aanvaardbaar zijn. Een gegeven dat bijvoorbeeld investeerders niet kunnen negeren. En andere stakeholders, de omgeving, actievoerders, zeker ook niet.
Als voorbeeld van 'Low Outrage High Hazard' worden verkeersongevallen genoemd. Daar is onze samenleving inmiddels gewend aan geraakt. We maken ons er nauwelijks druk over. Een vliegramp schokt ons vaak wel: een voorbeeld van 'High Outrage Low Hazard'.

>>Vervolgens vroeg ik mij af:

1. Past kernenergie als risico in de categorie 'High Outrage Low Hazard'?
2. En als ja, zou men dat beeld dan moeten en/of kunnen corrigeren?

3. De derde duw werd me gegeven door 'Energy, a human history (Rhodes, 2018)'. 'Energy' beschrijft de energie transities die onze wereld de laatste vierhonderd jaar hebben veranderd. Hoe lang het duurde, voordat een nieuwe ontwikkeling, een nieuwe manier van energie opwekken of energievorm gebruiken, tot ontwikkeling kon komen. Hoe elke energievorm voor- en nadelen heeft. Hoe voordelen van elke vernieuwing als eerste werden geïncasseerd en nadelen pas later onder ogen werden gezien. Hoe deze ontwikkelingen basisvoorwaarden bood om de groei van de wereldbevolking mogelijk te maken van ca 1 miljard omstreeks 1800 naar 7,7 miljard mensen in 2018.
Op bladzijden 338 -341 noemt Rhodes het werk van de Italiaanse fysicus Cesare Marchetti als zijn inspiratiebron om 'Energy' te schrijven. Marchetti's hypothese in 1977 was, dat primaire energie bronnen, daarvan afgeleide energievormen en energie distributiesystemen verschillende technieken zijn, die met elkaar concurreren op de markt en zich daarnaar gedragen. Hij vond dat alle dan bekende industriële energie bronnen een zelfde pad volgen bij het betreden van de markt. Het duurt 40-50 jaar voordat een energiebron van 1% naar 10% marktaandeel gaat. En het duurt bijna 100 jaar voordat een energie bron 50% van de markt inneemt, nadat het 1% heeft bereikt. Louis de Souza heeft de theorie van Marchetti nog eens nagerekend (Sousa, 2007) en kwam in 2007 tot de conclusie dat markten bevroren leken en elk hun marktaandeel behielden. Nuclear was afgenomen en hernieuwbare bronnen als wind- en zonne-energie, hoewel snelgroeiend, hadden nog nauwelijks enige marktpenetratie.

>> Die traagheid, of snelheid zo je wilt, van het op de markt komen van nieuwe energieproductiemethoden, riep de volgende vraag op:

1. Kan de wereldgemeenschap het zich wel permitteren om kernenergie, specifieker kernsplitsing, als energiebron af te schrijven, voordat andere, meer acceptabele energiebronnen voldoende voorhanden zijn?

Samenvattend

De beginvraag 'hoe veilig kerncentrales zijn om elektriciteit op te wekken', is inmiddels uitgegroeid tot vijf deelvragen:

1. Is het breed afwijzen van kernenergie gebaseerd op verouderde kennis en inzichten?
2. Zo ja, zou die afwijzing bijgesteld moeten worden?
3. Past kernenergie als risico in de categorie 'High Outrage en Low Hazard', zoals crisis communicatie expert Peter Sandman die definieerde?
4. En als ja, zou men dat beeld dan moeten en/of kunnen corrigeren?
5. Kan de wereldgemeenschap het zich wel permitteren om kernenergie, specifieker kernsplitsing, als energiebron af te schrijven voordat andere, meer acceptabele bronnen voldoende voorhanden zijn?

Afbakening

De vraag ‘hoe veilig kerncentrales zijn om elektriciteit op te wekken’ heeft geleid tot 5 deelvragen en bij nader inzien kunnen er dat makkelijk meer worden. Bijvoorbeeld een vraag over de kosten van kernenergie vergeleken met andere energie-opwekmethoden. De belangrijkste lijkt voorlopig vraag 1 en direct daarna vraag 2. Daarom beperkt deze notitie zich tot de volgende twee vragen:

1. Is het breed afwijzen van kernenergie gebaseerd op verouderde kennis en inzichten?
2. Zo ja, zou die afwijzing bijgesteld moeten worden?

In volgende notities, komen eerst vraag 5 en daarna vragen 3 en 4 aan bod. Mits andere vragen niet eerder aandacht verdienen.

Verdere afbakening.

Het doel van deze paper is niet om een thesis voor een masterstudie of promotie op te leveren, maar om op basis van openbaar toegankelijke bronnen objectieve feiten te destilleren voor een richtinggevend antwoord op beide vragen.

Dan is het belangrijk om te weten, dat het Nederlandse woord voor ‘veiligheid’ twee tegenhangers kent in de Engelse woorden ‘safety’ en ‘security’. ‘Security’ staat dan voor het beveiligen tegen externe vijandige invloeden. Zeg maar ‘beveiliging’. Ik beperk me tot het aspect ‘safety’ dat, eenvoudig geformuleerd, staat voor het veilig functioneren van de installaties: doen waar het voor bedoeld is, zonder gevaar voor de omgeving op te leveren. De mate van veiligheid is dan uiteraard ook onderwerp van discussie: 100% veiligheid lijkt mij niet te bestaan.

Niet is gepoogd om alle Engelse termen te vermijden. Bijvoorbeeld ‘outrage’ zou vertaald kunnen worden door ‘volkswoede’ of ‘angst’. ‘Hazard’ kan door ‘gevaar’ worden vervangen. Die vertaling dekt de oorspronkelijke betekenis maar gedeeltelijk af. Gekozen is om zulke termen / begrippen in hun oorspronkelijke taal te laten staan.

Leeswijzer

Het korte antwoord op de vraag wordt gegeven in de Eindbalans op bladzijde 23. Aparte stapjes in de zoektocht worden afgesloten met een Tussenbalans. Snelle lezers zouden de Tussenbalansen ook eerst achter elkaar kunnen lezen.

De volgorde van de tekst geeft aan hoe de zoektocht naar het antwoord op de vraag is verlopen. Zo, stel ik me voor, zou menig lezer het ook aanpakken. Zo’n zoektocht levert zelden direct het antwoord op. Of een volledig antwoord. Bronverwijzingen zijn zoveel mogelijk aangebracht, net als hyperlinks om de lezer zelf e.e.a. te laten constateren.

Besef alstublieft, dat er geen 100% dekkende antwoorden zijn. De geraadpleegde bronnen hebben nu eenmaal hun eigen invalshoeken en context. De bronnen gecombineerd, leveren de basis op voor het antwoord op de vraag, hoe veilig kerncentrales zijn om elektriciteit op te wekken.

Ongevallen met kerncentrales voor energieopwekking..
Het in 1957 opgerichte International Atomic Energy Agency[6] heeft in 1990 de International Nuclear and Radiological Event Scale[7], kortweg INES geïntroduceerd.

INES

Alle nucleaire incidenten worden ingeschaald in de INES-indeling en vanaf INES schaal 2 verplicht gerapporteerd aan de IAEA en via het Incident Reporting System (IRS) van de IAEA naar alle lidstaten gezonden[8].

Een historische lijst uitgegeven door de IAEA van alle INES 1 t/m 7 incidenten heb ik niet kunnen vinden.

- Op WikipediA is te vinden, dat er tot nu toe twee level 7 incidenten zijn geweest (Chernobyl in 1986 en Fukushima in 2011) en een level 6 incident (Kyshtym in 1956)[9]. WikipediA geeft drie verschillende pagina's met een opsomming van nucleaire ongevallen.
  Let op: de data uit kolom 2 en 4 komen van dezelfde pagina af.

INES schaal	Nuclear **power plant** accidents and incidents[10]. Zie PM 1	List of **civilian** nuclear incidents[11] Zie PM 2		Jaren	List of **radiation and other** accidents and incidents[12], (pm waaronder ook **enkele militaire**) Zie PM 1	List of **military** nuclear incidents[13] Zie PM 3
	Kolom 2	Kolom 3			Kolom 4	Kolom 5
INES 7	2	2		<1950	4	3
INES 6	1	1		'50-'60	16	27
INES 5	3	3		'60-'70	14	22
INES 4	4	7		'70-'80	3	10

[6] https://www.iaea.org/ huist in Wenen, Oostenrijk en zet zich in voor vreedzame toepassingen van kernenergie
[7] https://www.iaea.org/topics/emergency-preparedness-and-response-epr/international-nuclear-radiological-event-scale-ines
[8] https://www-news.iaea.org/Default.aspx hoe informatie op de site van IAEA wordt gepubliceerd
[9] https://en.wikipedia.org/wiki/International_Nuclear_Event_Scale
[10] https://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_and_radiation_accidents_and_incidents
[11] https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_civilian_nuclear_accidents
[12] https://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_and_radiation_accidents_and_incidents (WikipediA, 2018)
13 https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_military_nuclear_accidents

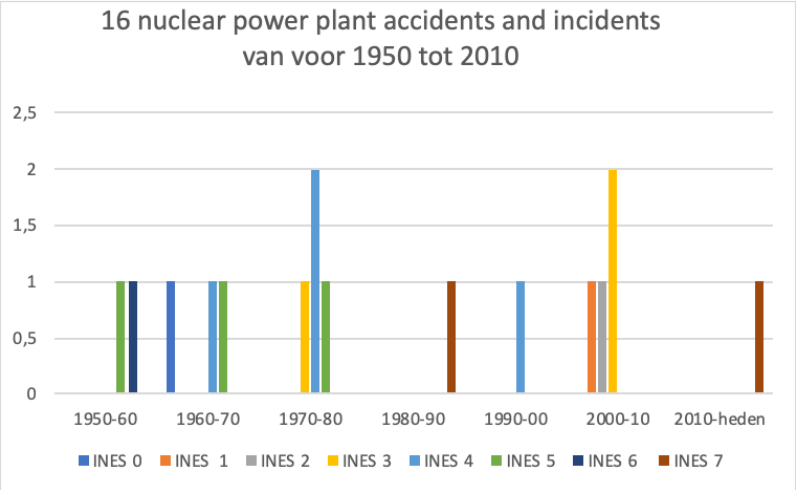
INES 3	3	3		’80-‘90	10	8
INES 2	1	3		’90-2000	12	1
INES 1	1	0		’00-‘10	6	2
INES 0		1		’10-nu	3	0
nog geen schaal toegewezen	8					
Opgeteld>	23	20			68	73

PM 1: casus is opgenomen als er meerdere doden zijn te betreuren en/of meer dan US$100 miljoen eigendom schade is veroorzaakt
PM 2: casus is opgenomen als tenminste INES level 2, de schade moet goed gedocumenteerd zijn en de operatie moet in principe niet militair zijn
PM 3: casus moet goed gedocumenteerd en zijn; er moet substantiële schade zijn; schade moet direct gerelateerd zijn aan radioactief materiaal; de operatie in principe voor militaire doeleinden; de schade moet een ongeluk zijn en niet opzettelijk zijn aangebracht

Vergeleken met het civiele aantal van 20 incidenten, is het aantal van totaal 73 militaire incidenten opvallend, waaronder incidenten met onderzeeboten en vliegtuigen, met name tussen 1950 en 1980. Vanaf 1990 werden 3 militaire incidenten geteld.

- Beelden zeggen meer dan 1000 woorden: deze WikipediA data gevisualiseerd.
  Opmerking vooraf: er zitten enkele kleine verschillen tussen de aantallen van de verschillende lijsten. Zonder die verschillen te willen bagatelliseren, gaat het mij om het beeld dat opgeroepen wordt over de verdelingen van de metingen over de tijd. In het bijzonder over de indruk die dit wekt: dat de aantallen ongevallen en incidenten afnemen. Chernobyl is in deze lijsten een opvallende uitschieter.

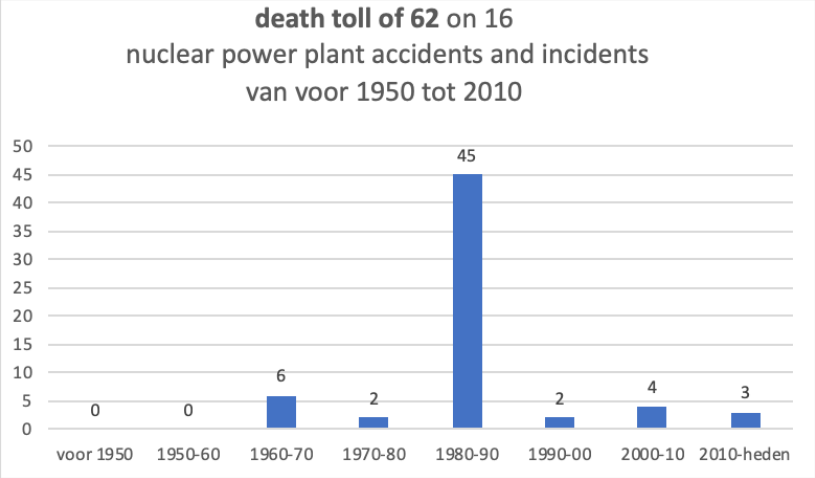
  Kolom 2 in beeld, en daaronder het aantal dodelijke slachtoffers dat in WikipediA bij deze opsomming wordt vermeld.



15 ongevallen hebben een INES schaal gekregen; nog een ander ongeval vond plaats bij een centrale in 1975, Rusland.
Dat maakt 16 ongevallen. Aan deze 16e is nog geen INES waardering gegeven.

Opvallend: tussen 2000 en 2010 waren er 4 INES incidenten, terwijl er daarvoor in 20 jaar maar 2 waren. Althans volgens deze opgave.

Van de 62 vermelde dodelijke slachtoffers waren er 45 van Chernobyl, 1986.

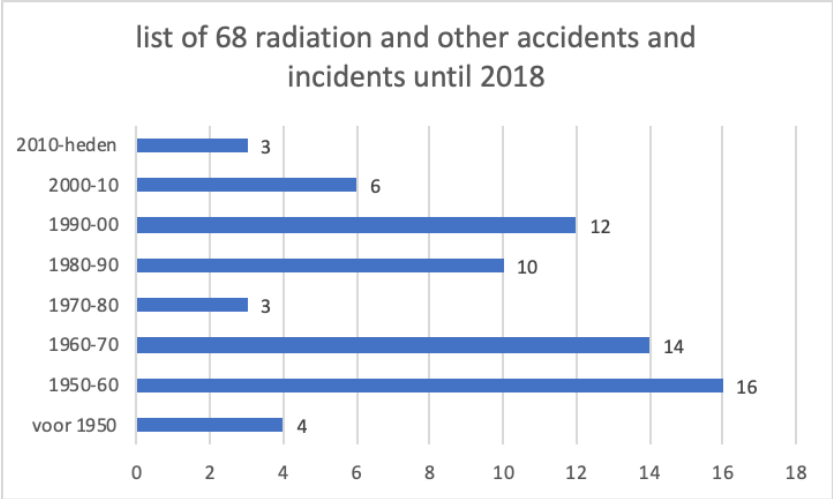


Voor de volledigheid: hier zijn 2 slachtoffers bij Fukushima opgenomen (in andere lijsten staat dat getal op 0) en is er 1 slachtoffer in de categorie INES 0 toegevoegd.

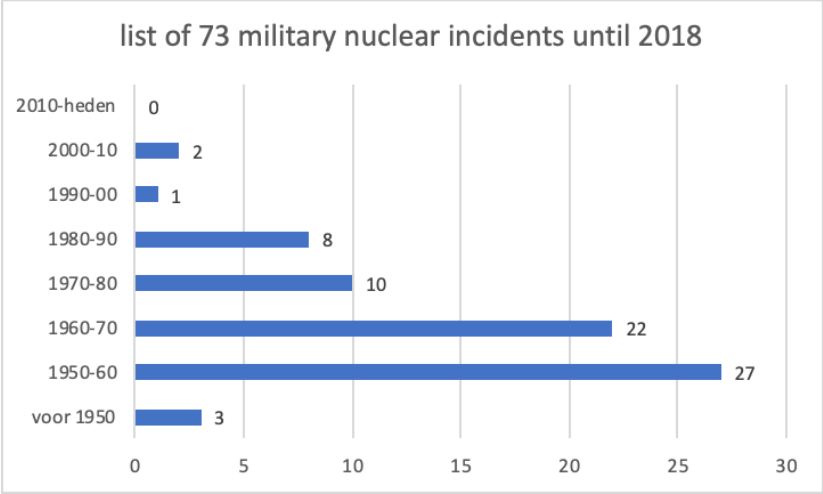
Let op: niet opgenomen is in dit overzicht, dat voor de ramp in 1957 bij Kyshtym 50 directe tot wel 8000 latere doden zijn gevallen[14]. Ook niet dat de 4000 latere slachtoffers, die andere overzichten ook aan Chernobyl toeschrijven.

Kolom 3 visualiseren laat ik achterwege, omdat deze nauwelijks iets toevoegt aan Kolom 2.

Kolom 4 in beeld



Kolom 5 in beeld



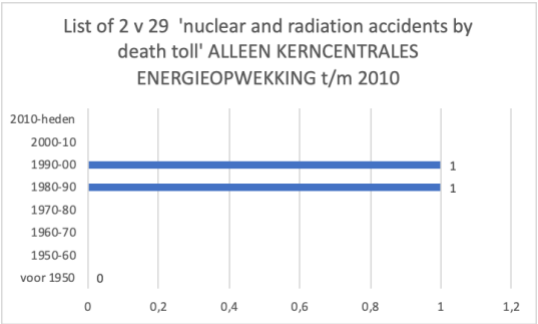
[14] https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_nuclear_and_radiation_accidents_by_death_toll#cite_note-windscale-2

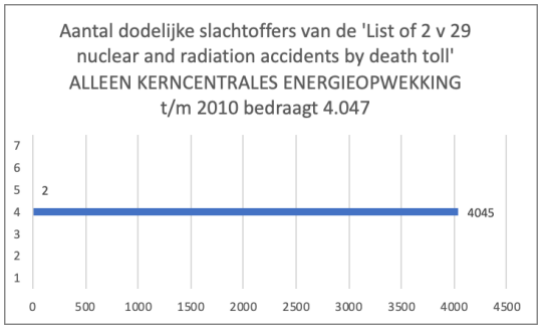
- Op WikipediA staat ook pagina ‘List of nuclear and radiation accidents by death toll’ (WikipediA, 2018)[15]. Deze vermeldt specifiek 29 incidenten met dodelijke ongevallen t/m 2010. Naast ongevallen met kernreactoren voor elektriciteitsopwekking op het land, zijn ook ongevallen met kernonderzeeërs opgenomen en ongevallen tijdens radio therapie behandelingen. Het eerste gerapporteerde dodelijke ongeval dateert van 1945 (WikipediA, 2018). Het laatste van 2010. Sinds 1946 vielen in 72 jaar bij 27 van de 29 ongevallen opgeteld 173 doden.

  Bij nadere beschouwing zijn maar 2[16] van deze 29 incidenten toe te rekenen aan kerncentrales voor energieopwekking. Minstens 14 van de 29 zijn ongevallen in laboratoria en bij bestralingen van patiënten. 2 van de 29 betreffen ongelukken met Sovjet onderzeeërs. Kyshtym, 1957 Soviet Union, een militair complex voor de vervaardiging van atoomwapens, is de grootste kernramp met een geschat aantal van 8000 dodelijke slachtoffers. Net als het Windscale ongeluk (ook wel bekend als Sellafield) in 1957, geschat 33 slachtoffers, een atoombom gerelateerd militaire installatie betrof.

  Tot en met 2010 waren de twee enige ongelukken met centrales voor elektriciteitsopwekking Chernobyl in 1986 en het Tokaimura ongeluk in 1999.
  Aan Chernobyl schrijft het overzicht 45 doden toe. De WHO berichtte in 2005, 19 jaar na dato, dat tot 4000 mensen uiteindelijk zouden sterven als gevolg van blootstelling aan radioactiviteit van het Chernobyl ongeluk (joint release WHO/IAEA/UNDP, 2018). Dat verhoogt het te verwachten dodental tot 4045.

  Dit meegenomen in de cijfers t/m 2010, levert de volgende grafieken op:

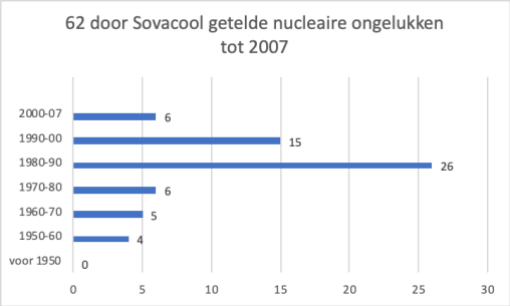


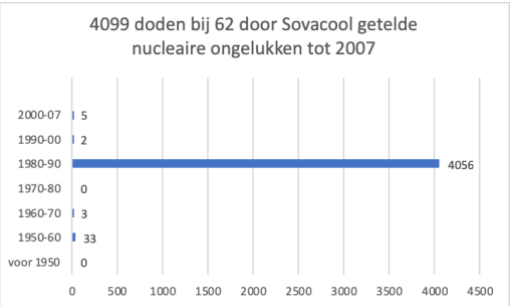


- Surfend op internet doemt regelmatig de naam van professor Benjamin Sovacool[17] op. Met name zijn studie ‘The costs of failure: A preliminary assessment of major energy accidents, 1907-2007’ wordt vaak aangehaald. Het verscheen in het door Elsevier uitgegeven blad Energy Policy, in 2008 (Sovacool, 2008). Voor ‘costs of failure’ zijn ‘dodelijke omgevallen’ en ‘financiële schade’ als parameters gekozen. Sovacool beschrijft gedetailleerd hoe deze energie-ongevallen zijn gevonden en zet zelf kritische kanttekeningen bij de gevolgde zoekmethode. Een m.i. helder wetenschappelijk opgezette ‘voorlopige vaststelling’ van door Sovacool c.s. in totaal 279 grootste wereldwijd gevonden energie rampen. In hun overzicht staan 62 nucleaire ongevallen. Het valt op, dat de kernramp bij Kyshtym er niet in voor komt. Chernobyl staat wel in de lijst en Fukushima weer niet, want optredend na 2007.

[15] https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_nuclear_and_radiation_accidents_by_death_toll#cite_note-windscale-2
[16] Als bij een eerste controle niet geheel duidelijk was of het een kerncentrale voor opwekking elektriciteit is, dat daarna vastgesteld via internet
[17] http://www.sussex.ac.uk/profiles/373957

In beeld gebracht, leidt dat tot de volgende grafieken:





Vergeleken met vorige grafieken, is opvallend dat Sovacool maar liefst 26 ongelukken noteerde tussen 1980 en 1990.

Bij nader inzien van Sovacool's 62 'major energy accidents', blijkt dat daarin ook sluitingen (shut downs) van installaties opgenomen zijn. Sluitingen nadat inspectie mankementen aan het licht bracht, maar voordat een ongeluk gebeurde. In dat geval heeft de financiële gevolgschade ervoor gezorgd, dat de casus is opgenomen en niet een 'accident'. Aannemende dat 'accident' in het Nederlands 'ongeluk' of 'ongeval' of, als het een ernstig ongeluk betreft, zelfs als 'ramp' wordt verstaan, waarbij mensenlevens zijn te betreuren. Van een ramp in de zin van 'dodelijke ongevallen' is bij tijdige sluiting immers geen sprake. Van een 'financiële ramp' bij langdurige reparatie voor de eigenaren al gauw wel.
Sovacool's lijst bevat daarnaast ook een aantal gevallen van ongelukken bij nucleaire opwerkfabrieken, research lab's en opslag faciliteiten.

- In 2011 publiceerde Sovacool in het wetenschappelijke blad GAIA (Sovacool, Questioning the Safety and Reliability of Nuclear Power; an assessment of nuclear incidents and accidents, 2011). Sovacool concludeert dat grote nucleaire ongelukken onvermijdelijk ook in de toekomst zullen gebeuren. Het blijft mensenwerk en techniek kan falen. Als je niet kijkt naar de hoeveelheid energie die wordt geproduceerd, dan scoort kernenergie als de tweede 'meest fatale' bron van energie, waarbij wordt gerefereerd naar (Sovacool, 2008). In het artikel geeft hij een verder uitgewerkte lijst (105 nucleaire ongelukken waar hij eerder er 62 telde) vergeleken met zijn voorlopige lijst uit 2008.

- Tenslotte geeft WikipediA ook nog de pagina 'List of nuclear power accidents by country'[18], waar ongelukken t/m 2017 op staan vermeld. Voor 3 van de 11 landen, namelijk Frankrijk, Japan en de UK, zijn daarbij ook INES schalen opgegeven. INES 1 komt daarin al 7x voor, terwijl kolom 2 en 3 hierboven, voor de INES 1 categorie respectievelijk slechts 1 en 0 ongelukken vermelden. Het is niet onlogisch om te veronderstellen dat INES 1 ongelukken ook bij de andere 8 van de 11 landen zijn voorgevallen. Goed voorbeeld: onder aan de pagina staat bij België, dat die sectie moet worden aangevuld: naast 3 INES 2 en een INES 4 ongeval, zouden tussen 2007 en 2016 nog 94 incidenten van schaal INES 1 zijn voorgevallen. Het laat zien, dat van compleetheid van de lijsten niet kan worden uitgegaan. Zeker niet in de lagere schalen.

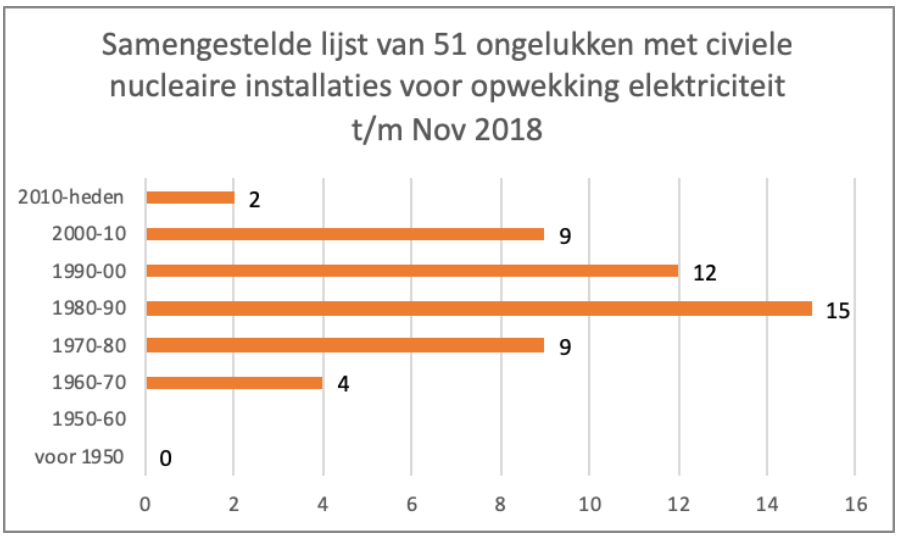
Tussenbalans 1:
Er is geen compleet historisch overzicht van ongelukken in kernenergiecentrales te vinden. Niet zo raar als het misschien lijkt: welke industrie houdt zo'n overzicht wel bij en publiceert daarover?

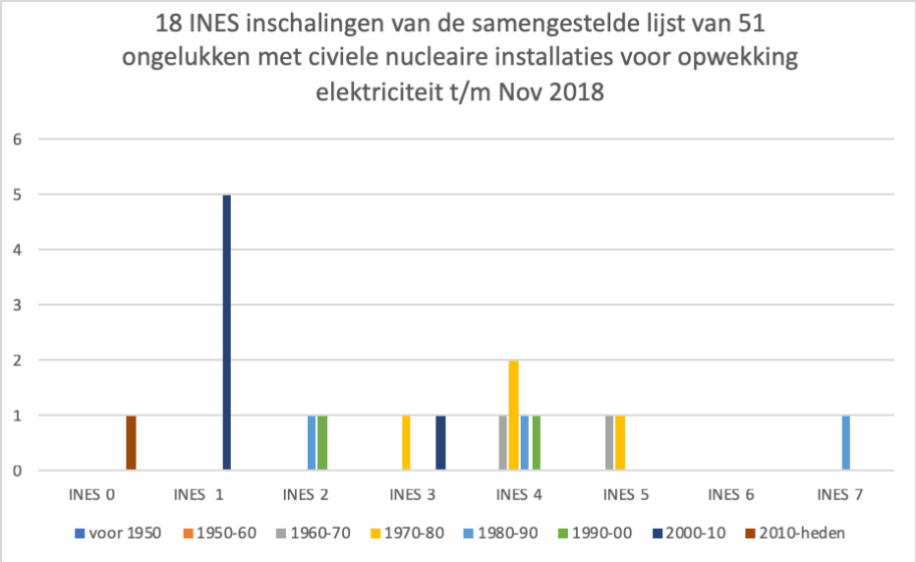
[18] https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_nuclear_power_accidents_by_country

Internet, m.n. WikipediA levert verschillende verzamelingen op. De criteria voor de lijsten verschillen. Vaak zijn ze door meerdere personen samengesteld en aangevuld in de loop der tijd. Deze pagina's leveren extra inzichten, aanvullend op de 15 kernongelukken met een INES schaal 1 t/m 7 (kolom2). De wetenschappelijk zoektocht van Sovacool naar energie-industrie rampen, vermeldt 62 ongevallen met nucleaire installaties, later aangevuld tot 105. Voor Sovacool is een ramp met alleen financiële consequenties ook reden om als ongeval op zijn lijst te komen. Om een zo compleet mogelijk overzicht te hebben, geeft een uit alle gevonden data samengesteld overzicht, met uitsluiting van dubbeltellingen, het meest volledige inzicht in het aantal ongelukken met civiele nucleaire installaties voor de levering van elektriciteit.
Met een 'ongeluk' wordt dan een onverwachte bedrijfssituatie bedoeld, waarbij schade aan de installatie en/of omgeving wordt veroorzaakt, mogelijk met dodelijke slachtoffers als gevolg.

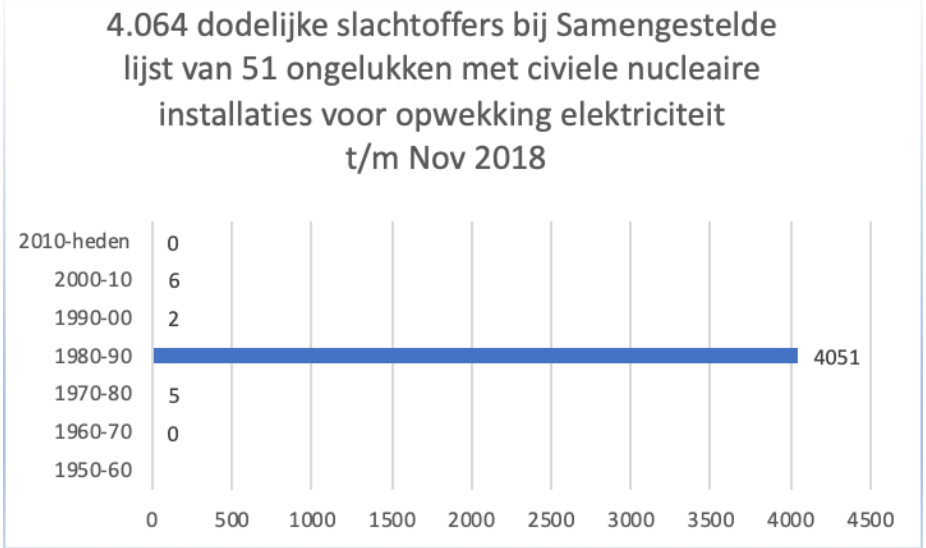
Uit zes verschillende verzamelingen samengestelde lijst van 51 ongelukken met civiele nucleaire installaties, bedoeld voor de levering van elektriciteit.
Data zijn opgenomen uit de volgende bronnen:
1. Nuclear and radiation accidents and incidents (WikipediA, 2018)
2. List of nuclear and radiation accidents by death toll (WikipediA, 2018)
3. List of civilian nuclear accidents (WikipediA, 2018)
4. The costs of failure: A preliminary assessment of major energy accidents, 1907-2007 (Sovacool, 2008)
5. De aangevulde lijst die Sovacool in 2011 publiceerde (Sovacool, Questioning the Safety and Reliability of Nuclear Power; an assessment of nuclear incidents and accidents, 2011)
6. List of nuclear power accidents by country (WikipediA, 2018)

Nogmaals: Van bron 1 t/m 6 zijn (na aftrek van dubbeltellingen) zijn alleen ongelukken geteld met nucleaire elektriciteitscentrales en geen ongelukken upstream of downstream daarvan in de productieketen. **Bijlage AA** geeft de volledige lijst met hyperlinks naar relevante web pagina's.





Niet van alle ongelukken is de INES schaal vermeld. Mogelijk hebben meer ongevallen een INES waardering 1 of hoger gekregen.



Chernobyl, 1986, alleen is verantwoordelijk voor 4047 ofwel 99,7% van de 4.062 dodelijke slachtoffers. Daarin zijn 4000 slachtoffers opgenomen, die verwacht worden te sterven met als doodsoorzaak de opgelopen straling van de Chernobyl ramp.

Voor Fukushima zijn 2 dodelijke ongevallen opgenomen; beide medewerkers van de installatie, die niet aan de gevolgen van blootstelling aan radioactiviteit zouden zijn omgekomen, maar ten gevolge van andere verwondingen. De United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation (UNSCEAR) rapporteerde (United Nations, 2013) dat er geen waargenomen of verwachte gezondheidseffecten zijn van het Fukushima ongeluk.
Vermeldenswaard in dat verband is een artikel uit 2012, dat eerst op de website van De Groene Rekenkamer werd gepubliceerd (Rigel, 2018). Het noemt, dat ten gevolge van de evacuatie rondom Fukushima door 'evacuatie stress' meer dan 1600 doden te betreuren zouden zijn. Hoewel dit een bijzonder aspect van deze ramp is, wellicht van elke ramp waar een evacuatie een gevolg is, tellen we deze 1600 slachtoffers niet mee. De reden is dat bij geen enkele andere ramp, dit gegeven tot nu toe naar voren is gebracht en dus ook niet traceerbaar is meegeteld. Wel meetellen van dit getal voor Fukushima, zou dan vergelijking met andere rampen scheef trekken.

Enkele kritische opmerkingen hierbij:

- *In de regel is van elk ongeluk of nucleaire installatie informatie te vinden op het internet en is daaraan getoetst of opname in deze samengestelde lijst terecht is. In een enkel geval is*

informatie aangepast. Bij ongeval 25 v 51 zijn 4 dodelijke slachtoffers toegevoegd. Voor Chernobyl is 47 aangehouden zoals UNSCEAR uiteindelijk in 2011 heeft vastgesteld. De 4000 gevolgdoden zijn schattingen.

- *De hyperlinks in de lijst van deze 51 ongelukken, verwijzen naar pagina's waar dikwijls ook andere voorvallen op vermeld staan. Voorvallen, die niet in de gebruikte 6 bronnen als ongeval of incident zijn opgenomen, maar naar aard en omvang daar mogelijk wel op zouden thuishoren. Nader onderzoek zou dat kunnen uitwijzen. Ongeval 4 v 51 is naar aanleiding van zo'n lezing als (enige) ongeluk aan de samengestelde lijst toegevoegd*
- *Er zijn 24 projecten toegevoegd uit bron 6. Tien daarvan komen ook voor in bron 5, de in 2011 bijgestelde lijst van Sovacool. Alle 24 ongevallen zijn relatief 'klein'. Ze zijn bijgeteld, omdat ze m.i. duidelijk betrekking hebben op nucleaire installaties voor elektriciteitsopwekking.*
- *Sommige ongevallen uit bron 6 staan daarop vermeld op basis van een enkel krantenbericht als bron. Die bleken niet verifieerbaar en ontbreken daarom in de lijst van 51.*
- *Onzekerheid bestaat over aantal en aard van ongelukken met installaties in landen, die tot de vroegere Sovjet Unie behoorden. Ongeluk 29 v 51 in 1992 is het eerste ongeluk dat ooit door officiële Russische media zou zijn gemeld. Ook Japan is niet altijd even open geweest over ongelukken en andere voorvallen. Openheid over en/of ongelukken rapporteren/toegeven is niet in elk land een vanzelfsprekendheid. Er is wel bekend, dat er meer ongelukken zouden hebben plaats gevonden, maar details ontbreken. In ieder geval ontbreken rapportages van daarvoor verantwoordelijke overheden of toezichtsorganen. Het is niet onwaarschijnlijk, dat de werkelijke lijst ongelukken langer wordt, als die data wel voorhanden zouden zijn. Of nu nog dergelijke ongelukken voor het oog van de wereld verborgen kunnen worden gehouden, lijkt onwaarschijnlijk, maar is niet onmogelijk.*
- *Later overlijden aan de gevolgen van ongelukken is een moeilijk te toetsen feit. Voor Chernobyl worden tot 4000 slachtoffers daarvoor bijgeteld. Het draait daarbij om de gehanteerde definities. Vaak worden alleen slachtoffers meegeteld die binnen 30 dagen na het ongeval overlijden (verkeerslachtoffers en arbeidsongevallen[19]). Aantallen sterfgevallen ten gevolge van stralingsoverdoses na 30 dagen (in andere landen misschien andere termijnen) kunnen hoog zijn en blijven dan buiten de tellingen. Terwijl deze latere slachtoffers wel meetellen, relevanter zou zijn in vergelijkingen. Het is dus altijd oppassen geblazen bij het vergelijken van cijfers.*

Tussenbalans 2

Er zijn geen ongevallen en slachtoffers meegeteld, die upstream of downstream van de kerncentrale zijn gevallen; noch ongelukken in testreactoren en onderzoekslaboratoria. In de samengestelde lijst zijn alle gevonden ongelukken met kerncentrales voor de opwekking van elektriciteit opgenomen. Het is waarschijnlijk, dat meer ongelukken hebben plaats gevonden. Met name in de lagere INES waarden. Door mij verifieerbare details heb ik niet gevonden. Ik heb niet de indruk, dat er grotere rampen op deze lijst ontbreken, zeg met INES waarden boven 3 à 4. Deze zouden waarschijnlijk waarneembare effecten hebben gehad, ver voorbij de grenzen van de nucleaire fabriek of landsgrenzen en daardoor het nieuws hebben gehaald.

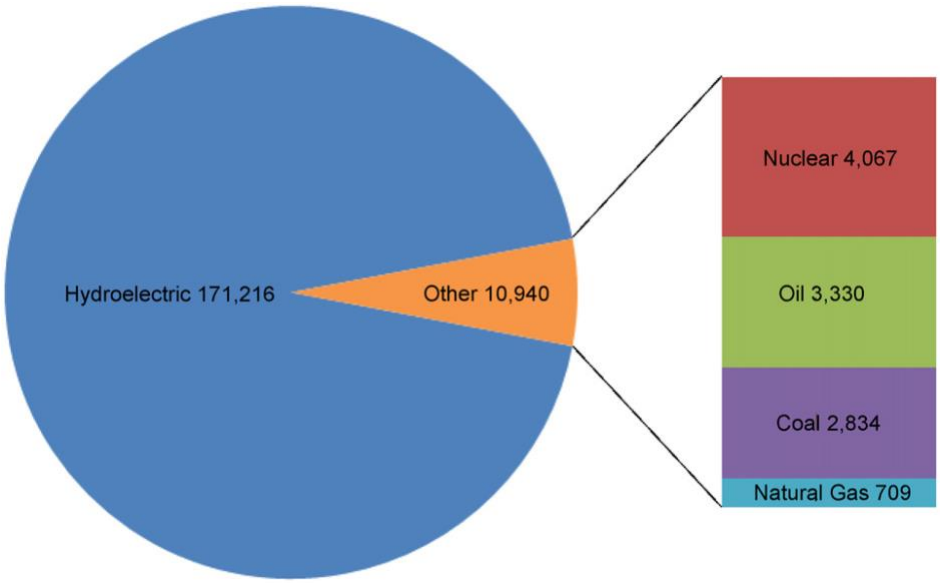
Ten opzichte van andere toepassingen, bijvoorbeeld militaire en medische, hebben kerncentrales voor de opwekking van elektriciteit voor een relatief beperkt aantal ongevallen gezorgd. Van de 51 ongelukken op de samengestelde lijst hebben 7 tot in totaal 64 directe dodelijke slachtoffers geleid. In geval van Chernobyl worden tot 4000 latere slachtoffers verwacht als gevolg van opgelopen radioactieve straling. Een ramp als Fukushima met de hoogste INES schaal van 7, heeft slechts 2 slachtoffers veroorzaakt en dat ten gevolge van andere oorzaken dan radioactiviteit. Sinds Chernobyl in 1986 zijn 12 dodelijke slachtoffers toe te schrijven aan radioactiviteit. Allen zijn personeel van de betrokken installaties. Het niet meetellen van dodelijke slachtoffers na een bepaald aantal dagen van het ongeval is een aspect, dat niet vergeten mag worden, als aantallen worden vergeleken.

[19] https://www.swov.nl/feiten-cijfers/factsheet/verkeersdoden-nederland en https://www.volksgezondheidenzorg.info/onderwerp/letsels/cijfers-context/arbeidsongevallen#definities

Om met meer zekerheid te kunnen concluderen dat elektriciteitsopwekking door kerncentrales een veilige methode is, is vergelijking met ongeval statistieken van andere vormen van elektriciteitsopwekking nodig.

Hoeveel ongevallen / doden zijn er voorgevallen bij andere dan nucleaire energie centrales?
Zoals hiervoor ook al bij de zoektocht naar cijfers over ongevallen met kerncentrales, dienen de antwoorden zich niet zomaar aan. Statistieken worden pas achteraf opgemaakt en lang niet allemaal met dezelfde uitgangspunten. Ongelukken kunnen op alle plekken in de productieketen gebeuren. Een nuttig onderscheid om in het achterhoofd te houden, is het volgende:
Upstream activiteiten >>> energie opwekking >>> downstream activiteiten.
Typische upstream activiteiten zijn mijnbouw en bulktransport door olietankers. Voorbeelden van downstream aspecten zijn opslag van nucleair afval en broeikasgassen.

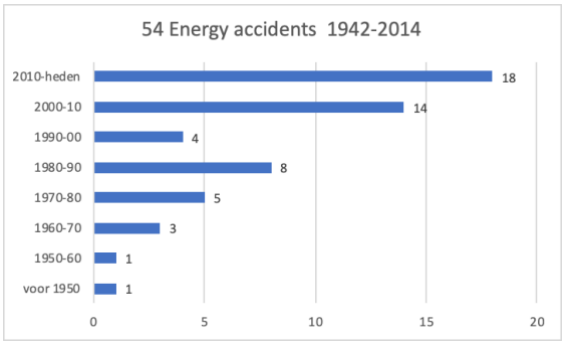
- Sovacool keek naar de hele productie keten en heeft 279 'major energy' ongelukken gevonden tussen 1907 en 2007 (Sovacool, 2008). Daarbij zijn 182.156 dodelijke slachtoffers gevallen. De meeste slachtoffers vielen in 1975 bij de doorbraak van de Shimantan dam in China: 171.000. De op een na meeste slachtoffers vielen bij Chernobyl: 4056. (let op: UNSCEAR komt tot een iets lager getal van 47 + 4000 later te verwachten slachtoffers). Het derde ergste ongeluk was de explosie van een olieleiding in de Niger Delta, Nigeria, waarbij 1078 mensen omkwamen. Verzameld per energiebron, zijn de 279 ongelukken als volgt verdeeld (blz. 1806, fig. 1 Sovacool):

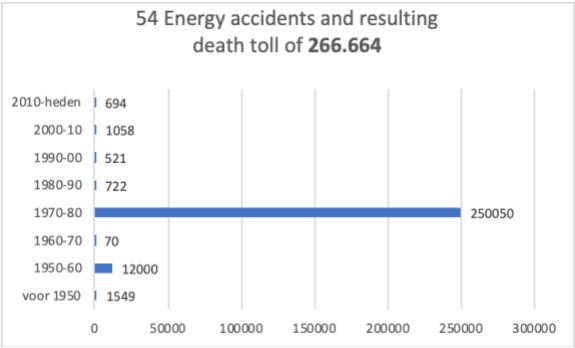


  Chernobyl is het grootste ongeluk met een kernenergie centrale ooit.

- WikipediA geeft met pagina Energy Accidents een selectie van 54 ongevallen in de energie-industrie (WikipediA, 2018)**.** De selectie van 54 energieongelukken start met een koolstof explosie in een Chinese mijn in 1942 en vermeld o.a. 12.000 doden t.g.v. de Grote Smog in Londen in 1952. De lijst komt qua tijdspanne overeen met de eerdere lijst met nucleaire ongevallen. Overigens komen Chernobyl en enkele andere kernrampen in beide lijsten wel voor, maar de grote kernramp bij Kyshtym in 1957 weer niet. De 54 opgenomen ongelukken veroorzaakten totaal 266.664 doden. In China, 1975, had de breuk van de Shimantan-dam 250.000 doden tot gevolg: met groot verschil het energie-ongeluk met het grootste aantal

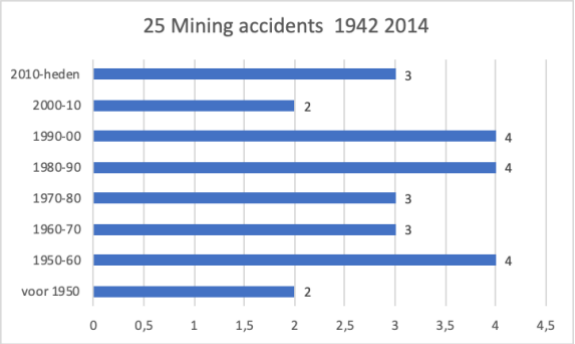
dodelijke slachtoffers tot gevolg. Kolenwinning wordt als verreweg het gevaarlijkste genoemd van alle energie gerelateerde activiteiten.

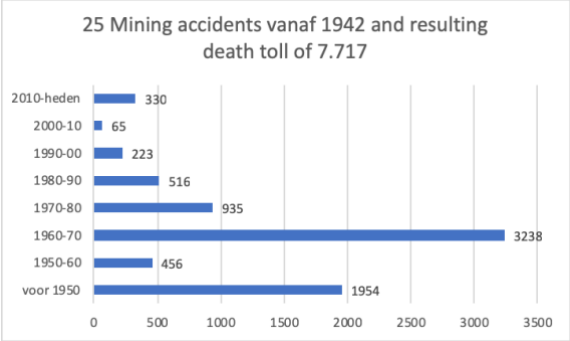




(WikipediA, 2018)

- WikipediA informeert ook over energie gerelateerde rampen op haar pagina 'Mining Accidents' (WikipediA, 2018). Die lijst start al in 1872. Gebeurtenissen vanaf 1942 zijn hieronder meegenomen, beginnend bij een mijnramp in China waar ook de opsomming van 'Energy Accidents' mee begon. De 25 ongelukken tellen 7.717 doden.





- WikipediA noteert op haar pagina 'Energy accidents' dat verreweg de meeste dodelijke slachtoffers vallen door luchtverontreiniging ten gevolge van energieproductie (WikipediA, 2018). WHO rapporteert, dat elk jaar 4,2 miljoen mensen omkomen als gevolg van blootstelling aan luchtverontreiniging in de buitenlucht (WHO, 2018). Daar komen nog 3,8 miljoen doden bij t.g.v. blootstelling aan walmende kookvuren en brandstoffen binnenshuis. Samen 8 miljoen doden t.g.v. luchtverontreiniging.

- De WHO publiceerde op 28 mei 2018 (World Health Organization, 2018) over de top 10 oorzaken van overlijden. In 2016 stierven wereldwijd 56,9 miljoen mensen. De top 10 oorzaken waren in het algemeen ziektes, falen van het lichaam. Luchtverontreiniging leidt tot doodsoorzaken die in deze top 10 voorkomen, maar daar vermeld staan onder hun medische diagnose. Bijvoorbeeld 25% van alle hartfalen zou het gevolg zijn van luchtverontreiniging.

- Ter reflectie: WikipediA grossiert in lijstjes met ongelukken. De pagina 'List of disasters'[20] verwijst naar andere pagina's met verzamelingen van rampen. Ter reflectie is deze noemenswaard: de 'List of accidents and disasters by death toll'[21] (WikipediA, 2018), waaronder: ongelukken in amusementsparken (101 doden), vliegtuigongevallen (2917 doden), liefst 59

[20] https://en.wikipedia.org/wiki/Lists_of_disasters
[21] https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_accidents_and_disasters_by_death_toll

ongelukken met kabelbanen (438 doden) vanaf 1943, 229 ongelukken door ontploffingen (23.186 doden) vanaf 1942, 138 industriële ongelukken vanaf 1942 met 37.753 doden als gevolg (waarvan ca. 20.000 in Bhopal, India) plus een lange rij van scheepsrampen, nog eens kernrampen en stralingsongelukken, spoorwegongelukken, verkeersongelukken en doden t.g.v. smog. Ook nog slachtoffers van 'stampedes' (in paniek geraakte groepen mensen), ingestorte bouwwerken en grote branden. De tsunami die het ongeluk met de centrale van Fukushima inleidde, maakte langs de kust van Japan ruim 19.000 slachtoffers inclusief 2.550 vermisten (WikipediA, 2018). En de tsunami die in 2004 nabij Sumatra door een zeebeving werd opgestuwd, leidde tot ongeveer 290.000 doden (WikipediA, 2018).

Tussenbalans 3

De zoektocht heeft geen ongevallen in andere energiecentrales opgeleverd. De nucleaire ramp in Chernobyl is de enige ramp in een kernenergie centrale en ook nog eens de op een na grootste energieramp ooit.

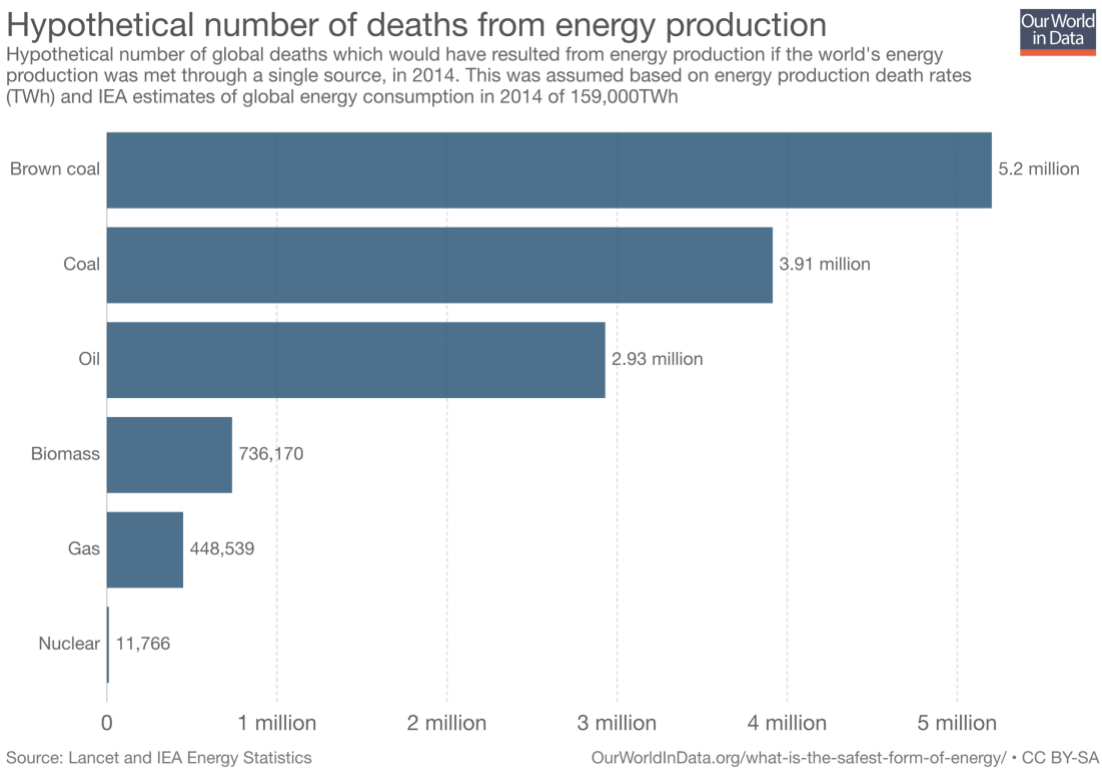
Ongevallen gebeuren vooral upstream en downstream in de ketens. Kijkend naar de energie productieketens, blijkt de Shimantan damdoorbraak in China, met 171.000 doden (Sovacool) of 250.000 doden (WikipediA), verreweg de grootste ramp ooit.

Zeer opmerkelijk is, dat er jaarlijks 8 miljoen doden vallen ten gevolge van luchtverontreiniging door verbranding van fossiele- en bio-brandstoffen. Bij dit aantal slachtoffers verbleken alle cijfers van dodelijke slachtoffers in de energie productieketens.

Om te kunnen beoordelen of kernenergie een veilige opwekmethode van elektriciteit is, lijkt een betere methode om naar de hele keten te kijken, inclusief gezondheidseffecten zoals van luchtverontreiniging. Op dezelfde wijze als de 4000 slachtoffers zijn meegeteld in de weging van Chernobyl, welke in de jaren na 1986 verwacht worden te vallen, ten gevolge van opgelopen radioactieve straling in 1986.

Ongevallen en slachtoffers bij alle energieproductievormen vergeleken

In 2007 publiceerde het medische tijdschrift The Lancet over gezondheidseffecten van elektriciteitsproductie in Europa per primaire energiebron (Wilkinson, 2018). De cijfers omvatten zowel acute als chronische gevolgen, zoals bijvoorbeeld radio actieve straling en luchtverontreiniging. Deze EU-cijfers zijn gebruikt om uit te rekenen, hoeveel doden per energiebron zouden vallen, als alle energie wereldwijd en exclusief door een van deze bronnen zou worden geproduceerd. Dat is voor de wereldwijde energie verbruik in 2014 van 159.000 TWh als volgt In kaart gebracht (Ritchie, 2018):



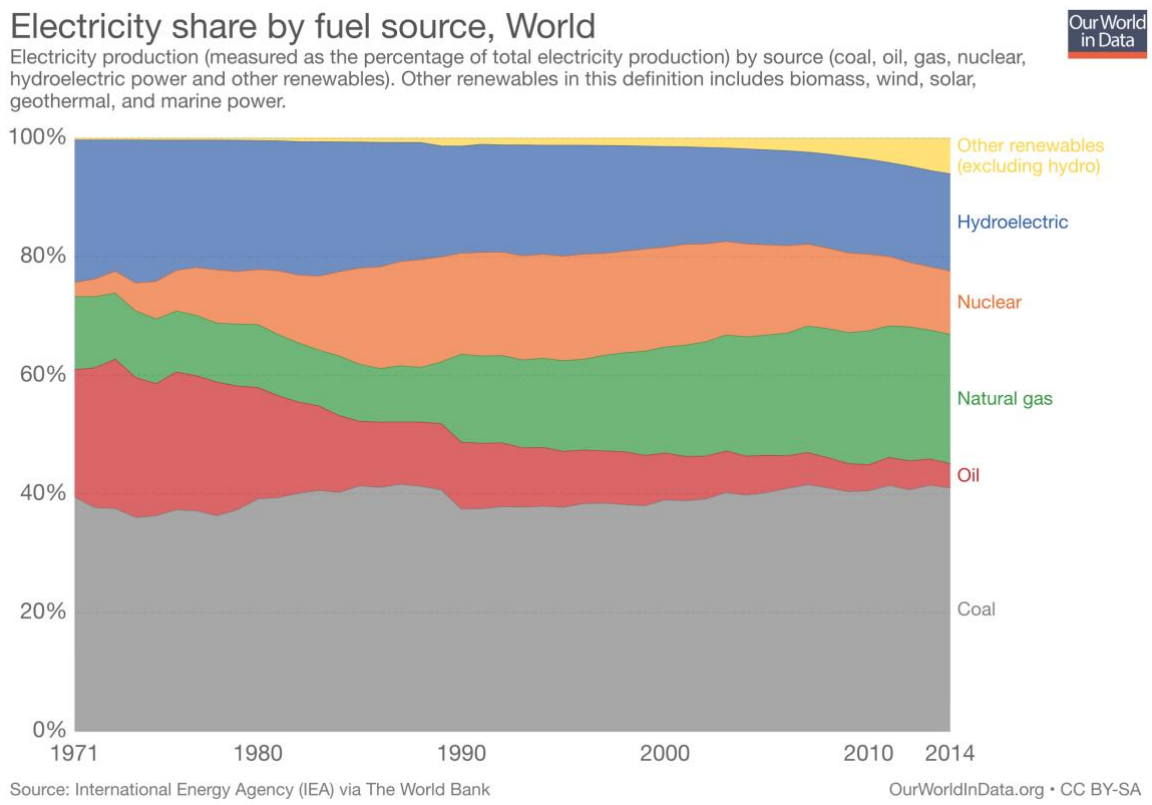
Dus als alle energie via steenkool zou worden geproduceerd, zou dat jaarlijks wereldwijd tot 3,91 miljoen dodelijke slachtoffers leiden ten gevolge daarvan. Zou alleen kernenergie worden gebruikt, dan zou deze productie 11.766 slachtoffers vergen: 0,76% van de doden die steenkool verbranden veroorzaakt. Hannah Ritchie gaf het artikel met o.a. deze grafiek, de veelzeggende titel ‘ It goes completely against what most believe, but out of all major energy sources, nuclear is the safest’.

Een beperkt deel van alle energie wordt opgewekt met kernenergie. Ook wordt nucleaire (primaire) energie van civiele kerncentrales vrijwel exclusief voor de productie van elektriciteit gebruikt (International Energy Agency, 2018)[22]. In 2014 werd nucleair een equivalent van 661.326 ktoe[23] energie geproduceerd, waarvan 653.701 door elektriciteitscentrales, zoals af te lezen uit tabellen. De overige 7.625 ktoe kwam voor rekening van CHP plants (combined heat and power plants).

In 2014 werd wereldwijd 10,71% van alle elektriciteit via kernenergie geproduceerd (Roser, 2018):

22 https://www.iea.org/statistics/?country=WORLD&year=2016&category=Key%20indicators&indicator=TPESbySource&mode=chart&categoryBrowse=false&dataTable=BALANCES&showDataTable=true

23 The tonne of oil equivalent (**toe**) is a unit of energy defined as the amount of energy released by burning one tonne of crude oil.



Waterkracht leverde 16,35% en andere hernieuwbare bronnen nog 6,03%. Steenkool alleen was goed voor 41,01% van de elektriciteitsproductie. Zou in 2014 het gebruik van steenkool geheel door kernenergie zijn vervangen, dan zou dat 41,01%*(3,91mln – 11.766) = 1,599 miljoen slachtoffers wereldwijd hebben voorkomen.

WikipediA geeft het volgende staatje van het aantal doden per PWh voor 14 verschillende energiebronnen gedurende 1212, m.u.v. een casus uit 2011 (WikipediA, 2018). Op twee na, betreft het 100% elektriciteitsopwekking. De cijfers zijn van wetenschapper/schrijver James Conca, zoals vermeld op diens website pagina 'How deadly is your Kilowatt?' (Conca, 2018).

Energy source	Mortality rate (in deaths/PWh)	Percentage of energy type	Year
Coal (China)	170,000[6]	75% (electricity)	2012
Coal (global)	100,000[6]	41% (electricity)	2012
Oil	36,000[6]	33% (total energy)	2012
Oil	36,000[6]	8% (electricity)	2012
Biofuel/biomass	24,000[6]	21% (total energy)	2012
Coal (US)	10,000[6]	32% (electricity)	2012
Natural Gas	4,000[6]	22% (electricity)	2012
Hydro (global)	1,400[6]	16% (electricity)	2012
Wind (UK)	<1,000[7]	3.81% (electricity)[8]	2011
Solar – rooftop	440[6]	<1% (electricity)	2012
Wind	150[6]	2% (electricity)	2012
Nuclear (global)	90[6]	11% (electricity)	2012
Hydro (US)	5[6]	6% (electricity)	2012
Nuclear (US)	0.1[6]	19% (electricity)	2012

China blijkt een zeer gevaarlijk land om mijnwerker te zijn: 1,7 x gevaarlijker dan het gemiddelde mondiale cijfer voor mijnbouw.

Nuclear, kernenergie, scoort met 0,1 doden/PWh verreweg het laagste: 50x lager dan waterkracht in de US.

Dat er zo weinig dodelijke ongevallen in de US-kernenergie productieketen vallen, schrijft Conca toe aan het sterke optreden van de NRC, de Nuclear Regulatory Commission[24].

Tussenbalans 4
Gevoegd bij de voorgaande tussenbalansen, is dit is een buitengewoon sterk pleidooi voor het in ieder geval als eerste uitfaseren van bruinkool (In Europa grootschalig gebruikt door Duitsland) en steenkool als brandstof en het grootschalig overschakelen op kernenergie voor elektriciteitsopwekking.
Wat moet je hier nog aan toevoegen?
Waarschijnlijk, dat ook voor ander energie gebruik wereldwijd waar mogelijk men zou moeten overschakelen op kernenergie. En dan hebben we het nog niet eens over de grotere CO2 uitstoot van fossiele brandstoffengebruik ten opzichte van kernenergie[25], waar dat van belang is om de opwarming van de aarde te beperken tot 1,5grC volgens de Paris Agreement (UNFCC, 2015).
Toch is de weerstand tegen kernenergie zeer groot. Waar zit dat in?

Hoe gaan enkele notoire experts, bestuurders, bedrijven en ngo's hiermee om? Tot welke conclusies komen zij, naar aanleiding van hun bevindingen?

- Benjamin Sovacool is een veel aangehaalde wetenschapper en auteur over energie in het algemeen en kernenergie in het bijzonder. Hierboven is al gebruik gemaakt van zijn in 2008 gepubliceerde 'preliminary assessment of major energy accidents, 1907-2007'. Een lijst die hij in 2011 verder aanvulde. Hij heeft meer gepubliceerd.
    - In 2010 was hij medeauteur van het artikel 'Nuclear Renaissance: A Flawed Proposition' met als ondertitel ' Nuclear power has never been safe and it never will be. Efficiency gains and investments in renewable sources of energy will be sufficient to power the planet without resorting to nuclear reactors' (D'Agostino, July 2010)[26]. Wat betreft veiligheid geeft het artikel toe, de ongevalscijfers van nucleaire opwekking verbleken bij die van fossiele brandstoffen, maar nog steeds veel slechter zijn dan van hernieuwbare energie bronnen, die weinig tot geen risico op kanker opleveren (blz. 33). Ook wordt aangevoerd dat energiebesparing tot 30-75% van het US energiegebruik mogelijk is. Verder, dat investeren in hernieuwbare energie veel beter loont dan in kerncentrales.
    - In 2016 volgde met andere auteurs het artikel 'Reassessing the safety of nuclear power' (Spencer Wheatly, January 2016)[27] in Energy research & Social Science 15 (2016). Het artikel vat resultaten samen van een recente analyse van 216 nucleaire ongelukken en incidenten over de gehele nucleaire productieketen. De database zou 2x zo groot zijn als de tot dan best beschikbare vorige dataset. Als onderscheidende parameter is geleden schade in US$ genomen. Niet onveiligheid of aantal slachtoffers. De auteurs concluderen, dat nucleaire ongelukken afnemen in frequentie, maar toe in ernst (lees: US$). De kans dat een ongeluk als Fukushima nog eens voorkomt, wordt ingeschat als 50% in elke 60-150 jaar voor de 388 actieve reactoren (in 2016). Het artikel stelt o.a. vraagtekens bij de INES indeling, omdat deze niet goed of niet zorgvuldig (consistent) kernrisico's zou identificeren en 'projecteren'. Vanuit oogpunt van schade zou Fukushima een INES schaal moeten krijgen van 10 of 11, waar het nu een 7 heeft. Dat gaat met

[24] https://www.nrc.gov/
[25] In ieder geval als we dit beperken tot de CO2 productie tijdens de elektriciteitsopwekking en niet over de hele keten rekenen
[26] De tekst van het artikel kan worden opgevraagd via https://www.researchgate.net/publication/292639340_Nuclear_Renaissance_A_Flawed_Proposition
[27] https://ac.els-cdn.com/S2214629615301067/1-s2.0-S2214629615301067-main.pdf?_tid=b5788b33-1b3d-4259-a568-674a437834f1&acdnat=1541669539_1bab3358d640eee8d43f79870fed73a9

name op voor zgn. ‘dragon kings’: gebeurtenissen welke zowel extreem groot zijn (a ‘king’), als uniek van aard (a ‘dragon’)[28]. Fukushima en Chernobyl zijn beide ‘dragon kings’, omdat ze samen 84 % van de totale opgenomen schade in de dataset vertegenwoordigen.

- Datzelfde jaar (Benjamin K. Savocool, 2016) publiceert hij een boek waarin 15 controversiële vragen over energie worden behandeld. Vraag 14 luidt: ‘Is Nuclear Energy worth the risk?’. Hij belicht standpounten van voorstanders en tegenstanders. Bij de voorstanders vat hij samen: dat kernreactoren geen directe CO2 emissies uitstoten, minimaal afval en vervuiling veroorzaken en een sleutelrol kunnen spelen in het globale energie systeem. Namens de tegenstanders voert hij aan: dat kerncentrales erg duur zijn, afhankelijk zijn van subsidies, radioactief afval produceren en een bedreiging vormen voor de omgeving gedurende de gehele kernenergie ‘life cycle’. Als gemeenschappelijk (common ground) concludeert Sovacool, dat: kernenergie ‘could be promoted’ omdat het geringe CO2 emissies heeft, hoog scoort op veiligheid en risico’s transparant en volledig inzichtelijk voor de consument (mijn woorden: het publiek, de gemeenschap) kunnen worden gemaakt.

- In Nederland is anti-kernbeweging Wise[29], World Information Service on Energy, sinds haar oprichting in 1987 een fervente tegenstander. Haar missie is een wereld zonder kernenergie. Wise stelt o.a. dat sinds de ramp in de kerncentrale in Tsjernobyl in 1986 al tientallen serieuze en veel meer kleinere ongelukken zich hebben voorgedaan in nucleaire installaties. Ook stelt Wise , dat deze ongelukken slechts zelden het nieuws halen en dat vaak radioactief materiaal in het milieu komt en installaties versneld moeten worden stilgelegd om erger te voorkomen (Wise Nederland, 2018). Voor de opslag van kernafval is na 50 jaar nog geen veilige en definitieve oplossing gevonden. Wise is van mening dat het absurd en onethisch is om dit gevaarlijke afval te produceren, waarvoor wij in de toekomst niet onze verantwoordelijkheid kunnen nemen. Kortom, Wise is tegen elke vorm van kerncentrales voor energieopwekking. Nu Wise in 2018 haar 40-jarig bestaan viert, voert zij een onderzoek uit om oude argumenten te toetsen aan nieuwe realiteit. Met als overkoepelende vraag: “Hebben we kernenergie nodig om klimaatverandering tegen te gaan?’ (Wise, 2018)[30] publiceerde Wise op 9 november 2018 de resultaten daarvan. Een gedegen werk, waarin het anti-kernenergie geluid helder doorklinkt in de argumentatie, terwijl relevante vragen rondom kernenergie behandeld worden.

- Documentatie- en onderzoekscentrum kernenergie Laka[31] is uit de anti kernbeweging afkomstig en in 1988 opgericht. Laka heeft systematisch een groot en toegankelijk archief opgebouwd over kernenergie. De acties tegen kernenergie in Nederland vanaf 1960 zijn op een aparte website te vinden: Stopkernenergie [32]. Laka houdt alle incidenten bij die door de IEAE worden gepubliceerd. Welke IAEA wel elk jaar publiceert, maar na 12 maanden van haar site weghaalt. Op de Laka website zijn deze rapporten wel te vinden. Ook wordt op kaarten aangegeven, waar incidenten plaatsvonden en worden details vermeld van elk incident: zeer informatief. En zoals zij aangeven: relevanter dan ooit, om overzicht over de vele informatie en historie beschikbaar te houden nu de discussie over de rol van kernenergie weer opleeft.

- Milieudefensie heeft zich in de jaren ‘80 flink geroerd tegen kernenergie. Op vele manieren zet milieudefensie zich in om ons bestaan op planeet Aarde duurzaam en eerlijk te maken. Milieudefensie streeft naar gebruik van energie die 100% duurzaam, veilig en eerlijk is. Zonder

[28] https://en.wikipedia.org/wiki/Dragon_King_Theory
[29] https://wisenederland.nl/
[30] https://wisenederland.nl/sites/default/files/images/WISE_klimaat-energie-rapport_A4%20definitief_0.pdf
[31] https://www.laka.org/ons.html
[32] https://www.stopkernenergie.nl/

vervuiling door gebruik van olie, kolen, hout en aardgas (Milieudefensie, 2018). Kernenergie is geen specifiek item en Milieudefensie spreekt zich momenteel niet uit voor of tegen gebruik ervan.

- Greenpeace vindt kernenergie overbodig in het door haar ontwikkelde haalbare en betaalbare energiescenario, waarin kernenergie, gas en vervuilende kolencentrales overbodig zijn. Maart 2014 publiceerde Greenpeace haar 2030 Energy Scenario (Greenpeace, 2018) waarin een Europees netwerk beschreven is, dat in 2030 voor ¾ hernieuwbare elektriciteit levert. Kolen en kernenergie worden daarin uitgefaseerd. Opvallend is, dat na 2015 weinig meer over energie scenario's verschenen lijkt. Nog beter gezegd: www zoektochten november 2018 op Greenpeace leveren geen wereldomspannende scenario's meer op. Het lijkt mij nogal stil rondom Greenpeace.

- Urgenda streeft 'naar een circulaire economie, welke draait op duurzame energie en groene grondstoffen' met een energie voorziening die in 2030 geheel fossielvrij is (Urgenda, 2018). In 2030 wordt aardgas niet meer gebruikt en is energie grotendeels afkomstig van zonnepanelen en windmolens, waarbij opslagsystemen zorgen voor energie als zon en wind niet genoeg kunnen leveren. Inzet van kernenergie komt in dit plan geheel niet voor.

- In navolging van het EU-Klimaatverdrag van Parijs, werd 27 juni 2018 de tekst voorgesteld voor de eerste Nederlandse Klimaatwet[33]. Daarin staat o.a. het streven om in 2030, resp. 2050 49% resp. 95% minder CO2 uit te stoten t.o.v. 1990 en in 2050 het aandeel hernieuwbare energie op 100% te brengen (hoofdstuk2, art 3). Een Klimaatplan moet worden opgesteld waarin staat hoe aan deze doelen in de komende 5 jaar wordt gewerkt en de richting dient aangegeven, hoe het klimaatbeleid in de 10 jaar daarna zal zijn. Er zijn zgn. Klimaattafels ingesteld (vijf hoofdtafels en 32 subtafels) waar publieke en private partijen en organisaties met elkaar afspreken, hoe deze doelen kunnen worden behaald. Aan de hand daarvan wordt uiterlijk in 2019 een eerste Klimaatplan opgesteld. Via de website www.klimaatakkoord.nl zijn de vorderingen te volgen. Over kernenergie wordt op een vraag beantwoord, dat kernenergie nu geen optie is in het Klimaatakkoord, al is kernenergie niet uitgesloten. Voor 2050 speelt kernenergie hoogstens een rol via de Kennis- en Innovatieagenda[34]. Aan de tafel Elektriciteit is nieuwbouw van kerncentrales geen onderwerp van discussie.

Tussenbalans 5

Sovacool lijkt zijn uitingen wat bij te stellen. Wees hij eerder kernenergie af, lijkt hij zijn mening wat te hebben bijgesteld. De kernenergiesector is veiliger dan gedacht. Sovacool's criterium is meer gaan liggen op de gevolgschade ten gevolge van ongevallen dan op schade aan menselijke slachtoffers. Op de vraag: 'Is Nuclear Energy worth the risk?' geeft hij geen afwijzend antwoord. Overigens is dit antwoord niet zijn eigen mening, maar de samenvatting van de verschillende opinies over het antwoord op deze vraag.

Opvallend is dat Wise, notoire tegenstander van kernenergie, zich in 2018 de vraag heeft gesteld, of kernenergie nodig is om de klimaatverandering tegen te gaan. In wat haar 40-jarig jubileum publicatie is, presenteert Wise haar stevig onderbouwd oordeel, dat kernenergie een onverstandige en ook onnodige optie is. Onverstandig, omdat kernenergie potentieel zeer grote schade kan veroorzaken aan mensenlevens en milieu. Onnodig, omdat andere bronnen veel veiliger, steeds goedkoper worden en sneller opschaalbaar zijn. Milieudefensie, Greenpeace en Urgenda bepleiten

[33] https://www.tweedekamer.nl/kamerstukken/wetsvoorstellen/detail?cfg=wetsvoorsteldetails&qry=wetsvoorstel%3A34534

[34] https://www.klimaatakkoord.nl/actueel/nieuws/2018/06/12/kernenergie

allen hernieuwbare energie en het uitbannen van fossiele brandstoffen, maar zijn relatief stil over kernenergie. Wat logisch is, als je ervan overtuigd bent dat hernieuwbare bronnen voldoende kunnen voldoen aan de vraag naar energie en dus kernenergie niet aanvullend nodig is. Het komt er dan op aan, hoe aantoonbaar hernieuwbare energievormen aan de verwachtingen kunnen voldoen. Aan de Nederlandse klimaattafels wordt bij het vormgeven van het Klimaatplan kernenergie niet uitgesloten, maar is ook geen onderwerp van gesprek.
Geen van de aangehaalde bronnen heeft als argument genoemd, het grote aantal slachtoffers ten gevolge van luchtverontreiniging door gebruik van fossiele brandstoffen.

Het debat over kernenergie laait op
Kernenergie wordt weer als optie besproken. Dagelijks is teveel gezegd, maar Nederlandse media besteden er vaker anders dan louter negatief kritische aandacht aan. Het hiervoor al aangehaalde Wise jubileum rapport is er een in een reeks van voorbeelden:

- 29 maart 2018 besteedde Focus haar NPO zendtijd aan het onderwerp 'De Thorium Theorie'[35]
- In het NRC van 8 september 2018: 'Ssst, over kernenergie hebben we het even niet'[36]
- Column van politieke veteraan Hans Wiegel in de Telegraaf op 14 september 2018: 'Gebruik kernenergie terug op de agenda'[37]
- 20 oktober 2018 in het FD het volgende artikel van Ralf Bodelier: 'Kernenergie maakt groei zon en wind mogelijk'[38]

In november 2018 kwam dat in een ware stroomversnelling:

- 4 november in zijn column in de Telegraaf, sprak Wiegel weer over kernenergie: 'Deskundigen: spreek over kernenergie'[39]
- En deze mag je niet missen: op de avond van dezelfde dag het tv-programma 'Zondag met Lubach' van 4 november 2018[40]
- 5 november 2018 de uitzending van Nieuwsuur naar aanleiding van de voorzet van fractievoorzitter VVD'er Klaas Dijkhoff om kernenergie serieus te nemen (0.54 – 10.07 minuten)[41]
- Naar aanleiding daarvan besprak Stand.nl met voor- en tegenstanders in haar 22 minuten durende radio-uitzending op 6 november 2018 van 09.32 -09.54 uur uitgebreid de stelling' Nederland moet inzetten op kernenergie'[42]. Dit geeft goed aan hoe over kernenergie wordt gedacht.
- 7 november 2018 volgt dan de satirische reactie van Wise op de uitzending van Zondag op Lubach van 4 november 2018[43]
- Op 5 november 2018 reageerde Greenpeace op de berichtgeving van Zondag op Lubach met dit artikel op haar website 'De onbelangrijke rol van kernenergie in de toekomst'[44]
- Op 6 november 2018 reageerde minister van Economische Zaken en Klimaat, Eric Wiebes, op een vraag van de Tweede Kamer over nieuwe initiatieven rondom kernenergie in Nederland. Extra kernenergie lijkt niet waarschijnlijk al in 2030 te kunnen bijdragen aan het terugdringen van CO2. Kernenergie is wel optie op de langere termijn om in 2050 over CO2 vrij regelbaar

[35] https://www.npostart.nl/focus/29-03-2018/VPWON_1283740
[36] https://www.nrc.nl/handelsblad/2018/09/08/#312
[37] https://www.telegraaf.nl/nieuws/2558006/gebruik-kernenergie-terug-op-de-agenda
[38] https://fd.nl/futures/1274079/kernenergie-maakt-groei-zon-en-wind-mogelijk
[39] https://www.telegraaf.nl/nieuws/2756336/deskundigen-spreek-over-kernenergie
[40] https://www.npostart.nl/zondag-met-lubach/04-11-2018/VPWON_1282531
[41] https://www.npostart.nl/nieuwsuur/05-11-2018/VPWON_1290410
[42] https://www.nporadio1.nl/spraakmakers/onderwerpen/479002-stand-nl-nederland-moet-inzetten-op-kernenergie
[43] https://www.laka.org/nieuws/2018/woensdag-met-wise-terugslag-voor-lubach-9867
[44] https://www.greenpeace.org/nl/klimaatverandering/10570/de-onbelangrijke-rol-van-kerncentrales-in-de-toekomst/

vermogen te beschikken. Op dit moment lijkt er geen belangstelling van marktpartijen om in kerncentrales te investeren (Eric Wiebes, Ministerie van Economische zaken, 2018)

- De site Klimaatverandering is in haar blog 'Kernenergie' op 7 november 2018 positief over de wending van de discussie over kernenergie in het kader van klimaatverandering, zonder daarbij overigens een voorkeur uit te spreken: aan alle energietechnologieën kleven voor- en nadelen. De blog pleit vooral voor een goede vergelijking van die technologieën[45]
- 'Nucleair is weer terug op de agenda' was een achtergrondartikel vrijdag 9 november van NRC, waarin 5 vragen rondom kernenergie worden behandeld[46]
- 9 november in Twistgesprek laat de NRC ecomodernist Bart Coenen en Peer de Rijk van antikernenergie organisatie Wise aan het woord onder de kop 'Zonder kernenergie halen we de klimaatdoelen niet'[47]
- Diederik Samsom (zelf kernfysicus, ooit tegenstander van kernenergie en nu onafhankelijk voorzitter van de onderhandelingstafel Gebouwde Omgeving voor het nieuwe nationale klimaatakkoord), in een radio interview op vrijdag 9 november 2018, sluit kernenergie niet uit. Aan elke energieproductie methode, ook aan hernieuwbare, kleven nu eenmaal ook nadelen. Gezien de hoge investeringskosten lijkt kernenergie hem nu niet goed mogelijk.
- 9 november publiceerde Wise ter gelegenheid van haar 40 jarig bestaan haar nieuwe rapport 'Het klimaat rond kernenergie', waarin ze de vraag beantwoordt 'Hebben we kernenergie nodig om klimaatverandering tegen te gaan?'[48]
- 10 november volgde in het NRC 'Botsende idealen blijven geloofwaardig' waarin Rosanne Hertzberger opinieert, dat 'wereldbeelden, idealen, dromen, verlangens en emoties botsen' in de soort verhitte discussies zoals nu over kernenergie.[49]
- Dezelfde dag kopte de Telegraaf 'Is het tijd om kernenergie te overwegen?' en liet voorstander en ecomodernist van Dorp aan het woord met weer de Rijk, tegenstander en directeur van Wise.[50]

Tussenbalans 6

Inde loop van 2018 en begin november 2018 in het bijzonder is de discussie over gevaren, nut en noodzaak van kernenergie intensiever geworden. De discussie over klimaatverandering is daar debet aan. Niet de onveiligheid van kerncentrales. Meningen voor en tegen kernenergie werden opnieuw geventileerd. Met name de reactie van Wise op de uitzending van Lubach laat goed zien, hoe groot het verschil van opvattingen is. In ieder geval is kernenergie een meer publiek gespreksthema geworden. Wat het lang niet is geweest. De reactie van minister Wiebes spiegelt het uitgangspunt van de Nederlandse regering, dat de wijze van energie produceren vooral een private zaak is en niet een van de overheid. Dat is wat raar, waar de overheid inzet op een geheel andere manier van energie produceren. Wat niet zomaar strookt met de commerciële belangen van energieproducenten, zonder flankerend beleid van diezelfde overheid. Het is vooralsnog niet duidelijk, of de nu intensievere discussie voldoende doorzet en tot een hernieuwde grondige overweging van de inzet van kernenergie leidt.

---

[45] https://klimaatverandering.wordpress.com/2018/11/07/kernenergie/
[46] https://www.nrc.nl/nieuws/2018/11/09/volstrekt-niet-meer-uit-te-sluiten-a2754660
[47] https://www.nrc.nl/nieuws/2018/11/09/twistgesprek-10-a2754679
[48] https://wisenederland.nl/nieuw-rapport-kernenergie-en-het-klimaat
[49] https://www.nrc.nl/nieuws/2018/11/10/botsende-idealen-blijven-geloofwaardig-a2754681
[50] https://digitalpublishing.telegraaf.nl/static/cci/index.html?epub=https://digitalpublishing.telegraaf.nl/cdn/premium/9e5b8915096d5c379b9eb0d546b00b31/web/OPS/cciobjects.json#/pages/24-25

Eindbalans
Het korte antwoord op de vraag 'Hoe veilig zijn kerncentrales om elektriciteit op te wekken?' is, dat die relatief veilig zijn, gemeten naar aantal ongevallen en dodelijke slachtoffers. De compleetheid van de feiten waarop dit is gebaseerd, is niet volledig. Er is gerede twijfel, dat niet alle ongelukken zijn gemeld, op juiste waarde geschat en dus geteld.
Als de opwekmethoden van elektriciteit vergeleken worden, levert dat geen informatie op over ongelukken met andere dan nucleaire technieken.
Vergelijking van gehele ketens van energieproductiemethoden (upstream, productie-installatie en downstream laat zien, dat kernenergie per opgewekte kWh als de veiligste productiemethode scoort. Met name downstream tellen de slachtoffers t.g.v. luchtverontreiniging door verbranding van fossiele brandstoffen zeer zwaar mee. Daarbij vergeleken zijn aantallen slachtoffers door stralingsziekten vrijgekomen bij nucleaire ongelukken in kerncentrales, zeer beperkt. Chernobyl alleen is verantwoordelijk voor 99,6% van alle dodelijke nucleaire slachtoffers. Het aantal ongevallen met nucleaire installaties is wellicht zo gering, omdat het toezicht op veiligheid zeer streng is. Een strengheid, die alles te maken lijkt te hebben met de gevreesde grote schade aan menselijke slachtoffers en materiele zaken t.g.v. een kernramp in een dichtbevolkt gebied.
Ook als we kijken naar doodsoorzaken door andere soorten ongelukken, bijvoorbeeld verkeersslachtoffers, valt kernenergie daarbij in het niet. Dat doet denken aan wat Rosling c.s. constateerden: ons denken over de feitelijke wereld, loopt achter bij de feiten.

Vervolgvraag
Gebruik en toekomst van kernenergie wordt in het huidige debat naar voren gebracht als een van de middelen om klimaatverandering te beteugelen, door CO2 uitstoot terug te brengen. Parallel daaraan zou ook de overweging meegewogen kunnen worden, dat verbranden van fossiele brandstoffen jaarlijks ruim 4 miljoen slachtoffers eist. Er is een sterke stroming en er zijn ook steekhoudende argumenten om klimaatverandering vooral te beteugelen door inzet van hernieuwbare energie zoals zonnepanelen en windenergie en inzet van kernenergie, ook al is die inmiddels relatief veilig gebleken, af te bouwen.

'Een mens lijdt dikwijls het meest door het lijden dat hij vreest'. Eerder dan te proberen de afwijzende opinie over kernenergie te veranderen, is de vraag relevant of kernenergie op korte of lange termijn nodig is als primaire energiebron. Is dat antwoord positief, dan moet de aandacht onvermijdelijk gaan naar het bijstellen van de publieke opinie over de inzet van kernenergie. In het belang van de toekomstige wereldbevolking.

De eerste vraag, welke in de volgende notitie wordt beantwoord, luidt:

> Kan de wereldgemeenschap het zich wel permitteren om kernenergie, specifieker kernsplitsing, als energiebron af te schrijven voordat andere, meer acceptabele bronnen voldoende voorhanden zijn?

Haaren, 24 november 2018
Ad Komen
https://www.linkedin.com/in/adkomen/

Bibliografie

Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming. (2017). *Rapportage ongewone gebeurtenissen in Nederlandse nucleaire inrichtingen in 2016.* Den Haag: Autoriteit Nucleaire Veiligheid en Stralingsbescherming.

Benjamin K. Savocool, M. A. (2016). Is nuclear energy worth the risk? In M. A. Benjamin K. Savocool, *Fact and Fiction in GLOBAL ENERGY POLICY, 15 contentious questions* (pp. 249-270). Baltimore: Johns Hopkins University Press.

BP (Britisch Petroleum), blz 47. (2018). *BP Statistical Review of World energy, June 2018.* London: BP Distribution Services.

Conca, J. (2018, Oktober 25). *How Deadly is your Kilowatt? we rank the killer energy sources d.d Jun 10, 2012*. Opgehaald van www.forbes.com: https://www.forbes.com/sites/jamesconca/2012/06/10/energys-deathprint-a-price-always-paid/#3586a750709b

D'Agostino, b. K. (July 2010). Nuclear Reniassance: A Flawed Proposition. *Chemical engineering Progress*, 4 pages (29, 31 ,33 and 35).

Eric Wiebes, Ministerie van Economische zaken. (2018, November 6). *Kamerbrief met reactie op verzoek over kernenergie .* Opgehaald van Rijskoverheid NL: https://www.rijksoverheid.nl/documenten/kamerstukken/2018/11/06/kamerbrief-met-reactie-op-verzoek-over-kernenergie

Greenpeace. (2018, November 9). *Greenpeace.* Opgehaald van Greenpeace: https://www.greenpeace.de/files/publications/201402-power-grid-report.pdf

IAEA. (2018, Oktober 25). *The database on Nuclear Power Peactors*. Opgehaald van IAEA, Power Reactor Information System: https://pris.iaea.org/pris/

IAEA, International Atomic Energy Agency, blz 13. (2018). *Energy, Electricity and Nuclear Power Estimates for the Period up to 2050, 2018 edition.* Wenen: IAEA.

IEA, International Energy Agency, blz 20. (2017). *World Energy Outlook 2017, from poverty to prosperity.* Parijs: OECD/IEA.

IEAE, blz 15. (2018). *Energy, Electricity and Nuclear Power estimates for the period up to 2050.* Wenen: IAEA.

International Energy Agency. (2018, November 7). *Statistics, global energy data at your fingertips*. Opgehaald van IEA: https://www.iea.org/statistics/?country=WORLD&year=2016&category=Key%20indicators&indicator=TPESbySource&mode=chart&categoryBrowse=false&dataTable=BALANCES&showDataTable=true

International Energy Agency. (2018, November 7). *Statistics, Global energy data at your fingertips*. Opgehaald van IEA: https://www.iea.org/statistics/?country=WORLD&year=2016&category=Key%20indicators&indicator=TPESbySource&mode=chart&categoryBrowse=false&dataTable=BALANCES&showDataTable=true

J.A.Draisma, VeiligheidNL. (2018, Oktober 26). Opgehaald van www.omroepmax.nl: https://www.omroepmax.nl/fileadmin/Data/Televisie/Meldpunt/PDF/In_en_om_huis_65-plus.pdf

joint release WHO/IAEA/UNDP. (2018, Oktober 29). *Chernobyl: the true scale of the accident*. Opgehaald van World Health Organization: https://www.who.int/mediacentre/news/releases/2005/pr38/en/

Milieudefensie. (2018, November 9). *over ons > thema's > energie*. Opgehaald van Milieudefensie: https://milieudefensie.nl/over-ons/themas/energie

Pinker, S. (2011). *The Better Angels of our Nature, why violence has declined.* London, England: Viking Penguin, the Penguin Group.

Rhodes, R. (2018). *Energy, a human history.* New York: Simon & Schuster Paperbacks.

Rigel, T. (2018, 10 30). *Evacuation Fukushima Deadlier Than The Radiation*. Opgehaald van http://theo rigel.nl: http://theorichel.nl/Evacuation-Fukushima-deadlier-than-the-radiation
Ritchie, H. (2018, November 7). *It goes completely against what most believe, but out of all major energy sources, nuclear is the safest.* Opgehaald van Our World in Data: https://ourworldindata.org/what-is-the-safest-form-of-energy
Roser, H. R. (2018, November 7). *Energy Production & Chganging Energy Sources*. Opgehaald van Our World in Data: https://ourworldindata.org/energy-production-and-changing-energy-sources
Rosling, H., Rosling, O., & Ronnland, A. R. (2018). *Factfulness.* London, England: Sceptre.
Sandman, P. M. (1993, 2012). *Responding to Community Outrage, strategies for effective risk communication.* USA: American Industrial Hygiene Association.
Sousa, L. d. (2007, july 10). *discussions about energy and our future*. Opgehaald van The Oil Drum: Europe: http://www.theoildrum.com/node/2746
Sovacool, B. K. (2008). The costs of failure: A preliminary assessment of major energy accidents, 1907-2007. *Energy Policy 36* , 1802-1820.
Sovacool, B. K. (2011). Questioning the Safety and Reliability of Nuclear Power; an assessment of nuclear incidents and accidents. *GAIA*, 95-103.
Spencer Wheatly, B. K. (January 2016). Reassessing the safety of nuclear power. *Energy rea=search & Social Science*, 96-100.
UNFCC. (2015). *Paris Agreement.* Bonn: United Nations Framework Convention on Climate Change.
United Nations. (2013). *UNSCEAR 2013 Report Vol. I.* Opgeroepen op Oktober 2018, van www.unscear.org: http://www.unscear.org/docs/publications/2013/UNSCEAR_2013_Report_Vol.I.pdf
Urgenda. (2018, November 9). *over urgenda/missie en werkwijze.* Opgehaald van Urgenda: https://www.urgenda.nl/wp-content/uploads/Urgenda-Rapport-Duurzame-Energie-in-2030-v2-2017.pdf
WHO. (2018, oktober 26). *Air Pollution*. Opgehaald van World Health Organization: http://www.who.int/airpollution/en/
WikipediA. (2018, Oktober 25). *Energy accidents*. Opgehaald van WikipediA: https://en.wikipedia.org/wiki/Energy_accidents
WikipediA. (2018, Oktober 25). *List of accidents and disasters by death toll*. Opgehaald van WikipediA: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_accidents_and_disasters_by_death_toll
WikipediA. (2018, 10 31). *List of civilian nuclear accidents*. Opgehaald van WikipediA: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_civilian_nuclear_accidents
WikipediA. (2018, 10 31). *List of military nuclear accidents*. Opgehaald van WikipediA: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_military_nuclear_accidents
WikipediA. (2018, Oktober 24). *List of nuclear and radiation accidents by death toll*. Opgehaald van WikipediA: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_nuclear_and_radiation_accidents_by_death_toll#cite_note-windscale-2
WikipediA. (2018, 10 31). *List of nuclear and radiation accidents by death toll*. Opgehaald van WikipediA: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_nuclear_and_radiation_accidents_by_death_toll#cite_note-windscale-2
WikipediA. (2018, November 16). *List of nuclear power accidents by country*. Opgehaald van WikipediA: https://en.wikipedia.org/wiki/List_of_nuclear_power_accidents_by_country
WikipediA. (2018, Oktober 25). *Mining accident*. Opgehaald van WikipediA: https://en.wikipedia.org/wiki/Mining_accident
WikipediA. (2018, 10 31). *Nuclear and radiation accidents and incidents*. Opgehaald van WikipediA: https://en.wikipedia.org/wiki/Nuclear_and_radiation_accidents_and_incidents
WikipediA. (2018, November 7). *zeebeving Sendai 2011*. Opgehaald van WikipediA: https://nl.wikipedia.org/wiki/Zeebeving_Sendai_2011

WikipediA. (2018, November 7). *Zeeebving Indische Oceaan 2004*. Opgehaald van WikipediA: https://nl.wikipedia.org/wiki/Zeebeving_Indische_Oceaan_2004

Wilkinson, A. M. (2018, November 7). *Electricity generation and health (sept 15, 2007).* Opgehaald van The Lancet: https://www.thelancet.com/journals/lancet/article/PIIS0140-6736(07)61253-7/fulltext?code=lancet-site#section-3d6acba1-acea-4be2-8dc9-b7e14e5b6583

Wise. (2018, November 9). *Nieuw rapport 'kernenergie en het klimaat'.* Opgehaald van Wise Nederland: https://wisenederland.nl/sites/default/files/images/WISE_klimaat-energie-rapport_A4%20definitief_0.pdf

Wise Nederland. (2018, oktober 25). *Gevaren van kernenergie*. Opgehaald van Wise Nederland: https://wisenederland.nl/kernenergie/gevaren-van-kernenergie

World Health Organization. (2018, mei 24). *The top 10 causes of death*. Opgehaald van World Health Organization: http://www.who.int/news-room/fact-sheets/detail/the-top-10-causes-of-death

WWF International. (2016). *Living Planet Report 2016.* Gland, Switzerland: WWF International.

Bijlage AA Samengestelde lijst van 51 ongevallen t/m 17 november 2018

	date	Location of accident	Description of accident or incident in civil nuclear power stations producing electricity only	Death toll	INES level	
1	1966, October 5	Frenchtown Charter Township, Michigan, US	Partial core meltdown of the Fermi 1 reactor at the Enrico Fermi Nuclear Generating Station. No radiation leakage into the environment.	0		
2	1967, May	Scotland, United Kingdom	Partial meltdown at Dumfries and Galloway. Graphite debris partially blocked a fuel channel causing a fuel element to melt and catch fire at the Chapelcross nuclear power station. Contamination was confined to the reactor core. The core was repaired and restarted in 1969, operating until the plant's shutdown in 2004			From nuclear weapons production purposes turned to power generation
3	1969, January 21	Lucens reactor, Vaud, Switzerland	On January 21, 1969, it suffered a loss-of coolant accident, leading to a partial core meltdown and massive radioactive contamination of the cavern, which was then sealed.	0	5	PM: The linked WikipediA page qualifies this as INES 4
4	1969, October 17	Saint-Laurent-des-Eaux, France	50 kg of uranium in one of the gas cooled reactors began to melt.		4	
5	1973, August 11	Palisades, Michigan, USA	Steam generator leak causes manual shutdown of pressurized water reactor operated by the Consumers Power Company	0		
6	1975, February 6	Sosnovyi Bor, Leningrad Oblast, Russia	There was reportedly a partial nuclear meltdown in Leningrad nuclear power plant reactor unit	3		
7	1975, January 8	Mihama, Japan	Radioactivity released from Mihama nuclear power plant	0		
8	1975, March 22	Browns Ferry, Alabama, USA	Fire burns for 7 h and damages more than 1600 control cables for three nuclear reactors, disabling core cooling systems	0		
9	1975, December 7	Greifswald, East Germany	Electrical error causes fire in the main trough that destroys control lines and five main coolant pumps	0	3	
10	1976, January 5	Jaslovské Bohunice, Czechoslovakia	Malfunction during fuel replacement. Fuel rod ejected from reactor into the reactor hall by coolant (CO2)	2	4	
11	1977, February 22	Jaslovské Bohunice, Czechoslovakia	Severe corrosion of reactor and release of radioactivity into the plant area, necessitating total decommission	0	4	
12	1978, November 2	Fukushima No1, Japan	Japan's first criticality accident at No 3 reactor, this accident was hidden for 29 years and reported on 22 Mar 2007	0		
13	1979, March 28	Three Mile Island, Pennsylvania, United States	partial core meltdown due to operator errors. There is a small release of radioactive gases. See also Three Mile Island accident health effects.	0	5	
14	1980, March 13	Saint-Laurent-des-Eaux, France	A brief power excursion in Reactor A2 led to a rupture of fuel bundles and a minor 80 GBq (2,200 mCi) release of nuclear materials at the Saint-Laurent Nuclear Power Plant. The reactor was repaired and continued operation until its decommissioning in 1992.		4	
15	1981, March 8	Tsuruga, Japan	278 workers exposed to excessive levels of radiation during repairs of Tsuruga nuclear plant	0		Different reports are available; see also
16	1983, August 1	Pickering nuclear Reactor	LOCA loss of coolant accident. Pressure tube, that holds the fuel bundles, ruptured due to hydriding. All four	0		

		2, Pickering, Ontario, Canada	reactors re-tubed with new materials (Zr-2.5%Nb) over ten years			
17	1984, April 14	Bugey, France	Electrical cables failed at the command center of the Bugey Nuclear Power Plant and forced a complete shutdown of one reactor	0		
18	1984, June 13	Platteville, Colorado, USA	Moisture intrusion causes 6 fuel rods to fail at Fort St. Vrain nuclear plant, requiring emergency shutdown from Public Service Company of Colorado	0		
19	1985, June 9	Oak Harbor, Ohio, USA	Loss of feedwater provokes Toledo Edison Company to inspect Davis-Besse facility, where inspectors discover corroded reactor coolant pumps and shafts	0		
20	1986, March	Bruce nuclear Reactor 2, Bruce County, Ontario, Canada	LOCA Loss of coolant accident. Pressure tube rupture during pressurizing test (reactor shut down). Pressure tube holds the fuel bundles	0		
21	1986, April 11	Plymouth, Massachusetts, United States	Recurring equipment problems force emergency shutdown of Boston Edison's Pilgrim Nuclear Power Plant	0		
22	1986, April 26	Chernobyl, Chernobyl Raion (Now Ivankiv Raion), Kiev Oblast, Ukraininan SSR, Soviet Union	Overheating, steam explosion, fire, and meltdown, necessitating the evacuation of 300,000 people from Chernobyl and dispersing radioactive material across Europe (see Effects of the Chernobyl disaster)	47 (56 according Sovacool) direct plus 4000 long term	7	28 were early deaths and 19 died between 1987-2004[51] (UNSCEAR, 2018); see also UNSCEAR 2008 report for detailed reporting
23	1986, May 4	Hamm-Uentrop, Germany	Operator actions to dislodge damaged fuel elements at the thorium high-temperature reactor released radioactivity to 4 km^2 surrounding the facility	0		Proto type, far from successful
24	1987, December 17	Hesse, Germany	Stop valve fails at Biblis Nuclear Power plant and contaminates local area	0		
25	1988, September 10	Surry, Virginia, USA	Refueling cavity seal fails and destroys internal pipe system at Virginia Electric Power Company's Surry Unit 2, forcing 12 months outage	4		4 workers died later (see pg 15 of report through this link)
26	1989, March 5	Tonopah, Arizona, USA	Atmospheric dump valves fail at Arizona Public Service Company's Palo Verde Unit 1, leading to main transformer fire and emergency shut down	0		
27	1989, September 10	Tarapur, Maharashtra, India	Operators at the Tarapur Atomic Power Station find that the reactor had been leaking radioactive iodine at more than 700 times normal levels. Repairs to the reactor take more than a year	0		
28	1989, November 24	Greifswald, East Germany	Electrical error causes fire in the main trough that destroys control lines and 5 main coolant pumps and almost induces meltdown	0		
29	1992	Leningrad, Russian Federation	An RBMK reactor released a radioactive cloud which traveled over north-eastern Europe. Russian officials declared that they saw no immediate danger posed by the event			The internet page informs this to be the first reported incident announced in the news media !!

[51] http://www.unscear.org/unscear/en/chernobyl.html

30	1992, May 13	Tarapur, Maharashtra, India	A malfunctioning tube causes the Tarapur Atomic Power Station to release 12 curies of radioactivity	0		
31	1992, August 2	Pickering nuclear Reactor 1, Pickering, Ontario, Canada	A Heavy water leak of 2300 trillion becquerels of radioactive tritium into Lake Ontario, resulting in increased levels of tritium in Toronto drinking water	0		
32	1993, March 31	Bulandshahr, Uttar Pradesh, India	The Narora Atomic Power Station suffers a fire at two of its steam turbine blades, damaging the heavy water reactor and almost leading to a meltdown	0		
33	1994, December 10	Pickering nuclear Reactor 2, Pickering, Ontario, Canada	LOCA loss of coolant accident. A spill of 185 tons of heavy water. The Emergency Core Cooling System was used to prevent a meltdown	0		
34	1995, February 2	Kota, Rajasthan, India	The Rajasthan Atomic Power Station leaks radioactive helium and heavy water into the Rana Pratap Sagar River, necessitating a two-year shutdown for repairs	N/A		
35	1995, December	Tsuruga, Japan	The fast breeder Monju Nuclear Power Plant sodium leak. State-run operator Donen was found to have concealed videotape footage that showed extensive damage to the reactor	0		
36	1996, February 20	Sosnovyi Bor, Leningrad Oblast, Russia	Leaking valve forces shutdown Millston Nuclear Power Plant Units 1 and 2, multiple equipment failures found			
37	1996, September 2	Waterford, Connecticut, United States	Balance-of-plant equipment malfunction forces shutdown and extensive repairs at Crystal River Unit 3	0		
38	1999, June 18	Shika, Japan	A fuel loading system malfunctioned and set off an uncontrolled nuclear reaction and explosion	0		
39	1999, September 30	Ibaraki Prefecture, Japan	Tokaimura nuclear accident killed two workers, and exposed one more to radiation levels above permissible limits.	2	4	
40	1999, December 27	Blayais, France	An unexpectedly strong storm flooded the Blayais Nuclear Power Plant, forcing an emergency shutdown after injection pumps and containment safety systems failed from water damage	0	2	
41	2003, April 10	Paks, Hungary	Collapse of fuel rods at unit 2 during its corrosion cleaning led to leakage of radioactive gases. It remained inactive for 18 months.	0	3	
42	2004, May 16	Cattenom-2, Lorraine, France	Sub-standard electrical cable trays at the Cattenom-2 nuclear reactor caused a fire in an electricity tunnel, damaging many safety system cables	0	1	
43	2004, August 9	Fukui Prefecture, Japan	Steam explosion at Mihama Nuclear Power Plant kills 4 workers	4	1	PM: another source mentions 5 fatalities
44	2005, June 16	Braidwood, Illinois, USA	Exelon's Braidwood nuclear station leaks tritium and contaminates local water supplies	0		
45	2006, July 25	Fukushima, Japan	A tsunami flooded and damaged the plant's 5 active reactors, drowning two workers. Loss of backup electrical power led to overheating, meltdowns, and evacuations. One man died suddenly while carrying equipment during the clean-up. The plant's 6th reactor was inactive at the time.	2	7	Loss of live not due to radiation or nuclear blast
46	2007, July 16	Kashiwazaki, Japan	A severe earthquake (measuring 6.8 on the Richter magnitude scale) hit the region where Tokyo Electric's Kashiwazaki-Kariwa Nuclear Power Plant is located and radioactive water spilled into the Sea of Japan; as of March 2009, all of the reactors remained shut down for damage verification and repairs. The plant with seven units is the largest single nuclear power	0	1	

			station in the world, which now again is shutdown due to the Fukushima accident			
47	2008, July 13	Tricastin, France	Dozens of liters of wastewater contaminated with uranium were accidentally poured on the ground and runoff into a nearby river	0	1	
48	2009, August 9	Gravelines, France	Assembly system failed to properly eject spent fuel rods from the Gravelines Nuclear Power Plant, causing the fuel rods to jam and the defueling operation to be suspended	0	1	
49	2009, December 21	Darlington nuclear station. Claringt on, Ontario, Canada	Around 200,000 liters of water with trace amounts of radioactive isotope tritium coming from a storage tank mistakenly released by workers into Lake Ontario, representing 0.1% of the monthly allowed amounts of tritium for this power plant	0		
50	2011, March 14	Pickering nuclear Plant A Pickering, Ontario, Canada	A leak of 73 cubic meters (73,000 liters) of demineralized water into Lake Ontario from a failed pump seal. There was negligible risk to the public according to the Canadian Nuclear Safety Commission	0		
51	2012, April 5	Penly, France	Fire on a primary pump of the second reactor, followed by a small radioactive leak into the containment	0	1	