

Externe kosten van kernenergie

Hoe zwaar wegen calamiteiten?

EINDRAPPORT

Rapport

Delft, december 2008

Opgesteld door: M.N. (Maartje) Sevenster
F. (Femke) de Jong
M.D. (Marc) Davidson
H.J. (Harry) Croezen



Colofon

Bibliotheekgegevens rapport:

M.N. (Maartje) Sevenster, F. (Femke) de Jong, M.D. (Marc) Davidson,

H.J. (Harry) Croezen

Externe kosten van kernenergie

Hoe zwaar wegen calamiteiten?

Delft, CE Delft, december 2008

Kernenergie / Ongevallen / Risico's / Prijsstelling / Kosten

Publicatienummer: 08.3648.73

Alle CE-publicaties zijn verkrijgbaar via www.ce.nl

Opdrachtgever Greenpeace NL.

Meer informatie over de studie is te verkrijgen bij de projectleider

M.N. (Maartje) Sevenster.

© copyright, CE Delft, Delft

CE Delft

Oplossingen voor milieu, economie en technologie

CE Delft is een onafhankelijk onderzoeks- en adviesbureau, gespecialiseerd in het ontwikkelen van structurele en innovatieve oplossingen van milieuvraagstukken. Kenmerken van CE-oplossingen zijn: beleidsmatig haalbaar, technisch onderbouwd, economisch verstandig maar ook maatschappelijk rechtvaardig.

De meest actuele informatie van CE Delft is te vinden op de website: www.ce.nl.

Dit rapport is gedrukt op 100% kringlooppapier.

Inhoud

Samenvatting	1
1 Inleiding	3
1.1 Aanleiding	3
1.2 Doel onderzoek	3
1.3 Leeswijzer	4
2 Achtergrond	5
2.1 Inleiding	5
2.2 Risicoaversie	5
2.3 Risicoaversie in externe kostenbepaling	8
2.4 Schade in externe kostenbepaling	9
3 Analyse	11
3.1 Inleiding	11
3.2 Betalingsbereidheid burger voor eigen verzekering	11
3.3 Betalingsbereidheid burger voor verzekering centrale	12
3.4 Acceptatiebereidheid verzekeringsmaatschappij	13
3.5 Premieberekeningen	14
3.5.1 Literatuurwaarden (risiconeutraal)	14
3.5.2 Theoretisch (inclusief risicoaversie)	16
3.6 Samenvattend	17
4 Bespreking	19
4.1 Vergelijkbare risico's?	19
4.2 Conclusies	19
4.3 Aanbevelingen	21
Literatuur	23
A Theoretische kansverdelingsfunctie	29
B Huidige structuur aansprakelijkheid	31

Samenvatting

In verschillende ketens van energiewinning tot consumptie bestaan risico's met een relatief kleine kans maar zeer grote schade. In het geval van kernenergie is zo een risico de kans op *containment failure* in een kerncentrale, waarbij radioactiviteit vrijkomt in de (verre) omgeving van de centrale. In overeenstemming met internationale afspraken dient een exploitant zich voor minimaal 700 miljoen Euro aan schade te verzekeren. Dit bedrag valt echter in het niet bij de potentiële schade: de kosten van de ramp in Tsjernobyl worden geschat op 430 miljard US\$. In het geval van een grote ramp wordt de schade dus vrijwel volledig door de maatschappij gedragen, deels door de overheid die garant staat voor een aanvullend schadebedrag en deels door slachtoffers met ongedekte schade.

Het bestaan van onverzekerde risico's wil zeggen dat er externe kosten bestaan: kosten voor derden van productie die niet in de elektriciteitsprijs zijn opgenomen. Een andere bewoording van hetzelfde is dat de overheid kernenergie momenteel (impliciet) subsidieert door het grootste deel van de risicoaansprakelijkheid voor haar rekening te nemen. In dit onderzoek is geprobeerd deze onbetaalde rekening in beeld te brengen.

De externe kosten van risico's worden door twee zaken bepaald. Aan de ene kant simpelweg de *verwachtingswaarde* van het risico: kans maal effect. Aan de andere kant speelt bij risico's met kleine kans, maar grote gevolgen, de *risicoaversie* een belangrijke rol. Risicoaversie staat voor het verschijnsel dat individuen (of bedrijven) risico's die een gelijke verwachtingswaarde *hebben*, niet dezelfde waarde *toekennen*. Een cruciaal aspect bij de waardering van risico's of de maximale schade is vergelijkbaar met het eigen kapitaal of bezit (of beter: welvaart). Hoe klein de kans ook is, weinigen zullen bereid zijn het risico te lopen om alles kwijt te raken wat men heeft.

Wanneer de maatschappij of verzekeraar risicoavers is, wil dat zeggen dat de externe kosten van het bestaan van risico's *hoger* zijn dan de verwachtingswaarde ofwel dat de externe kosten van een ongeval met grote schade maar een kleine kans hoger zijn dan die van een ongeval met kleine schade en een grote kans, ook al hebben deze ongevallen dezelfde verwachtingswaarde.

Hoewel met name in het geval van kernenergie risicoaversie een belangrijke rol speelt, zijn in de literatuur geen berekeningen te vinden die de risicoaversie goed meenemen. *Zonder* het meenemen van de risicoaversie, dat wil zeggen in een risiconeutrale berekening, zijn de externe kosten van een kerncentrale ten gevolge van onverzekerde risico's waarschijnlijk van de orde van enkele miljoenen Euro's op jaarbasis. Dit bedrag is beperkt ten opzichte van de circa 100 tot 200 miljoen Euro operationele kosten per jaar. Het meewegen van risicoaversie kan de externe kosten tientallen keren hoger doen uitvallen. Echter, zolang er niet meer bekend is over daadwerkelijke waarden van risicoaversie is

het heel moeilijk een realistische waarde of zelfs onder- of bovengrens aan te geven.

Uit een Zwitserse studie komt naar voren dat mensen niet bereid zijn te betalen voor volledige verzekering van deze risico's van kernenergie: mensen zijn niet bereid de prijsverhoging van hun elektriciteit te betalen die noodzakelijk is om het volledige risico van kerncentrales te dekken. Hieruit kan - met de nodige voorzichtigheid - geconcludeerd worden dat volledige dekking door de exploitant vanuit het oogpunt van economische efficiëntie niet aantrekkelijk is. Een andere conclusie uit het feit dat mensen niet bereid zijn te betalen voor volledige internalisering is dat kernenergie niet in een vrije markt past. De vraag of een volledige verzekeringsdekking überhaupt mogelijk is, is hiermee nog niet beantwoord.

Zolang de dekking van de private verzekering niet volledig is, is er sprake van een oneerlijke prijs voor kernenergie. Omdat de (ongedekte) risico's niet op de goede manier kunnen worden gekwantificeerd en uitgedrukt in termen van externe kosten per kWh kernenergie, zouden beleidsmakers het voorzorgsprincipe moeten toepassen. Uit een stakeholderconsultatie binnen het NEEDS-project kwam naar voren dat risico en risicoaversie niet gekwantificeerd zouden moeten worden in een kosten-batenanalyse, maar dat de afweging altijd een beleidsmatige afweging zou moeten zijn.



1 Inleiding

1.1 Aanleiding

In verschillende ketens van energiewinning tot consumptie bestaan risico's met een relatief kleine kans maar zeer grote schade. In het geval van kernenergie is zo een risico de kans op *containment failure* in een kerncentrale, waarbij radio-activiteit vrijkomt in de (verre) omgeving van de centrale.

Internationaal zijn afspraken gemaakt dat voor dergelijke risico's minimaal een bepaald bedrag aan aansprakelijkheid wordt verzekerd. In Nederland bedraagt het verzekerde bedrag voor een ongeluk met een kerncentrale anderhalf miljard Euro, waarvan 700 miljoen Euro voor rekening van de exploitant (zie bijlage B). Dit bedrag valt echter in het niet bij bijvoorbeeld de schade van minimaal 430 miljard US\$ die de ramp in Tsjernobyl tot nu toe veroorzaakte (zie CE, 2007). In het geval van een grote ramp wordt de schade dus vrijwel volledig door de maatschappij gedragen.

'In the nuclear industry, the operators have always benefited from a favourable liability regime concerning the risks they generate. (...) This (*financial*) cap artificially reduces the operators' risk costs and impedes their full internalization and coverage.' Fiore, 2008

Het bestaan van onverzekerde risico's wil zeggen dat er externe kosten bestaan: kosten van productie voor derden die zich niet in de prijs uiten. Een andere bewoording van hetzelfde is dat de overheid kernenergie momenteel (impliciet) subsidieert door het grootste deel van de risicoaansprakelijkheid voor haar rekening te nemen (zie ook Fiore, 2008)¹. Het bestaan van deze onbetaalde rekening is in strijd met de idee van een *level playing field*, een eerlijke concurrentie tussen verschillende energiebronnen en leveranciers. Overigens geldt ook binnen andere energieketens dat sprake is van impliciete subsidiering door het afwentelen van bepaalde schades op de maatschappij, zoals door uitstoot van schadelijke emissies.

1.2 Doel onderzoek

Vanwege de zeer kleine kans op een groot ongeval blijkt het in praktijk lastig om de externe kosten of 'subsidie' te kwantificeren. In deze verkennende studie gaan we daarom in op de volgende vraag:

Zijn de ongedekte risico's uit te drukken in externe kosten per kWh kernenergie?

¹ De vraag kan ook worden gesteld of de exploitant bijvoorbeeld de afvalopslag en -eindberging in het huidige systeem wel voldoende betaalt. Ook aan het begin van de keten spelen risico's op grootschalige vervuiling etc.

Zoals uiteengezet in CE, 2007 is de verwachtingswaarde een steeds minder geloofwaardige risicomaat naarmate de kans op een bepaald ongeval kleiner wordt maar de gevolgen groter. In deze studie wordt de methode voorgesteld om zoals verzekeringsmaatschappijen naar risico's te kijken en op die manier tot een goede schatting te komen van de externe kosten van een kernramp, die kan worden vergeleken met andere externe kosten van energieopwekking, zoals die van klimaateffecten of luchtvervuiling².

Het oorspronkelijke onderzoeksplan richtte zich vooral op concrete informatie uit de verzekeringswereld, zowel voor kerncentrales zelf als voor andere energiecentrales. Het bleek in praktijk echter zeer lastig om dergelijke informatie boven tafel te krijgen, omdat betrokken partijen in principe geen belang bij en geen verplichting tot het beschikbaar stellen van data hebben. Er is daarom gekozen voor een meer theoretische benadering.

1.3 Leeswijzer

In hoofdstuk 2 gaan we verder in op de theorie die aan externe kostenbepalingen ten grondslag ligt en welke plaats risicomaten hierin innemen. Vervolgens bespreken we in hoofdstuk 3 diverse bronnen uit de literatuur die dezelfde problematiek bestuderen en geven een aantal theoretische berekeningen van verzekeringspremies bij een hogere dekking voor private aansprakelijkheid. In hoofdstuk 4 volgen een korte discussie, conclusies en aanbevelingen.

² Het feit dat een kernongeval zeer langdurige effecten heeft maakt het nog lastiger om de externe kosten te kwantificeren. In dit rapport wordt hier niet op ingegaan; we gaan er vanuit dat de totale schade van een ongeval op de een of andere manier bekend is, inclusief toekomstige schade.



2 Achtergrond

2.1 Inleiding

Externe effecten zijn neveneffecten van een activiteit waarvan de kosten en baten niet bij het bedrijf terechtkomen. Kosten worden dan niet in de prijs verwerkt, maar door andere partijen gedragen en zijn dus extern.

De externe kosten van een kerncentrale hebben te maken met emissies van bijvoorbeeld broeikasgassen, de radiologische emissies en de (ongedekte) risico's op ongevallen. De externe kosten *exclusief* ongevallen bedragen 0,0012-1,05 Eurocent per kWh (CE, 2007). De externe kosten van een kernramp worden mede bepaald door de mate waarin men niet of juist wel bereid is risico's te lopen: de risicoaversie. Met name bij risico's waarbij de kans zeer klein is, maar de schade zeer groot, speelt het begrip risicoaversie een belangrijke rol. In dit hoofdstuk gaan wij daarop nader in.

2.2 Risicoaversie

Om het risico van een kernongeluk uit te drukken in een kwantitatieve maat (bijvoorbeeld per kWh per jaar) moet een zogenaamde risicomaat gehanteerd worden.

Een technische oftewel risiconeutrale risicomaat is de verwachtingswaarde:

$$risico = kans \times omvang \text{ gevolg} \quad (1)$$

Omdat we bij kernongelukken te maken hebben met risico's met een zeer kleine kans, maar een zeer groot gevolg, is deze technische risicomaat een onderschatting. Reden hiervoor is dat de meeste economische spelers risicoavers zijn (zie onder). Een mogelijke risicomaat is in het geval van risicoaversie niet de verwachtingswaarde, maar bijvoorbeeld:

$$verwachtingswaarde + (A * standaarddeviatie) \quad (2)$$

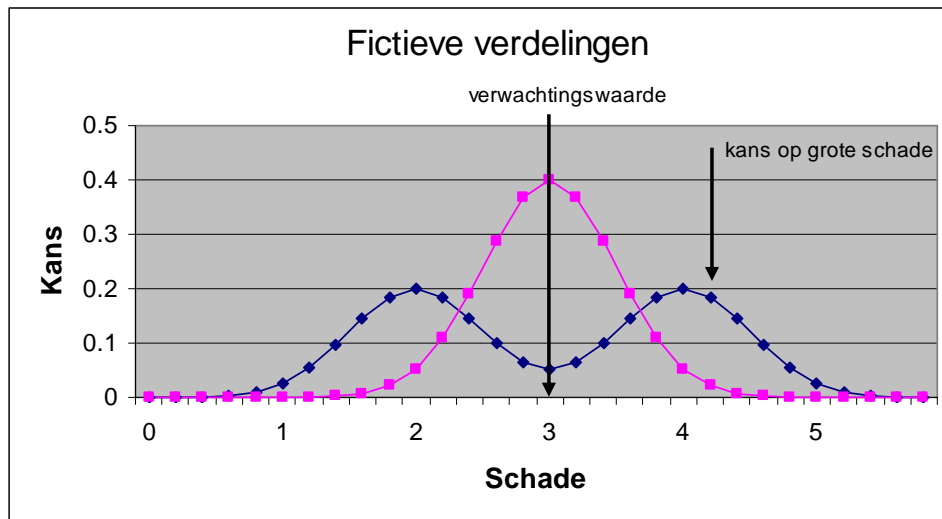
waar de standaarddeviatie de wortel uit de variantie is en A gerelateerd aan de risicoaversie coëfficiënt (RA , zie 2.4). De standaarddeviatie geeft weer dat hoe minder voorspelbaar de gevolgen zijn waarmee je 'morgen' kunt worden geconfronteerd, hoe zwaarder ze meetellen.

Risicoaversie staat voor het verschijnsel dat individuen (of bedrijven) risico's die 'technisch' gezien gelijk zijn niet dezelfde waarde toekennen. Hoewel risicoaversie in hoge mate subjectief is, heeft het ook een objectieve component. Een cruciaal aspect bij de waardering van risico's is of de maximale schade vergelijk-

baar is met het eigen kapitaal of bezit (of beter: welvaart). Hoe klein de kans ook is, weinigen zullen bereid zijn het risico te lopen om alles kwijt te raken wat men heeft (of voor een bedrijf om failliet te gaan).

Het begrip risicoaversie leggen wij uit aan de hand van Figuur 1. Hierin zijn twee kansverdelingfuncties getekend, met verschillende *variantie*³. Als men simpelweg naar de gemiddelde waarde kijkt, de *verwachtingswaarde*, zijn beide risicofuncties gelijkwaardig. In beide gevallen is de verwachtingswaarde 3. Toch ervaren de meeste mensen de risico's *niet* als gelijkwaardig. Bij de blauwe functie is de kans op **grote** schade (groter dan 4 bijvoorbeeld) groter dan bij de roze curve. De blauwe curve ligt voor hogere schades boven de roze curve (Figuur 1). Wanneer men risicoavers is, prefereert men de roze functie boven de blauwe, omdat de spreiding om het gemiddelde voor deze functie kleiner is.

Figuur 1 Fictieve kansverdelingen voor bepaalde schade



Risicoaversie verklaart bij individuen bijvoorbeeld het afsluiten van ziektekostenverzekeringen. Gemiddeld gezien betaalt een individu in zijn of haar leven meer aan premies dan hij of zij aan ziektekosten zou betalen. Anders zouden verzekeringsmaatschappijen immers failliet gaan. Toch achten de meesten het de moeite waard een verzekering af te sluiten voor wanneer opeens zeer hoge ziektekosten zouden moeten worden betaald.

Wanneer men daarom een risicofunctie zou moeten waarderen met een enkel getal - de *risicomaat* - dan kent een risicoavers persoon een hogere waarde toe aan de blauwe functie in de figuur dan de roze functie (Figuur 1).

³ De variantie is een maat voor de *spreiding* van de waarden.

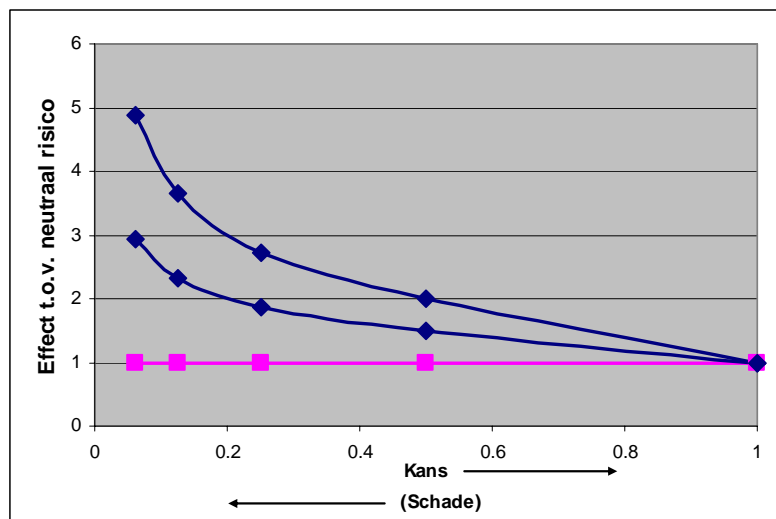


Risicoaversie speelt echter ook bij de verzekeringsmaatschappij zelf in de manier waarop die haar premies vaststelt. In het voorbeeld van de ziektekostenverzekering is er voor de verzekeringsmaatschappij weinig risico: omdat vrijwel iedereen zo'n verzekering heeft zijn er jaarlijks min of meer gelijke inkomsten en uitgaven. De premie hoeft slechts een beetje hoger te zijn dan de verwachtingswaarde om alle kosten te dekken en winstgevend te zijn.

Dit ligt echter anders wanneer één partij een risico wil laten verzekeren met mogelijk zeer grote schade, maar een heel kleine kans. De verzekeringsmaatschappij loopt dan het risico om heel veel geld uit te moeten betalen en zal dan niet alleen de verwachtingswaarde maar ook de variantie van de kansverdeling meenemen in de premiebepaling. Dit is, evenals bij individuen, een eigenschap van de zogenaamde utiliteitsfunctie, die door economen wordt gebruikt om de welvaart van een persoon of bedrijf (economische speler) weer te geven. De utiliteitsfunctie geeft weer hoeveel waarde iemand hecht aan bepaalde gebeurtenissen, goederen, et cetera.

Het effect van risicoaversie wordt weergegeven in Figuur 2, voor een 'alles of niets' risico: er is maar één schade die kan optreden met één bepaalde kans, anders is de schade nul. Alle punten op de roze curve hebben dezelfde verwachtingswaarde, maar rechts op de lijn is de kans op een ongeval groot en links op de lijn is de kans op een ongeval kleiner, maar het gevolg groter. Bij een kans van 1 op een ongeval heeft risicoaversie geen effect op de risicomaat: deze is gelijk aan de verwachtingswaarde. Indien de kans op een ongeval afneemt, neemt de variantie en daarmee de risicomaat van een risicoavers persoon toe. De blauwe curven geven het effect van risicoaversie weer: hoe sterker de risicoaversie, des te hoger de risicomaat (en des te hoger de ligging van de curve).

Figuur 2 Weergave van het effect van verschillende sterkte van 'risicoaversie' (blauwe curven) op ongevallen met gelijkblijvend *technisch* risico (roze lijn)



Bron: CE, 2007.

Bij grote kans op die ramp (bijna 1) heeft risicoaversie geen effect, omdat de onvoorspelbaarheid dan eigenlijk klein is en de verwachtingswaarde dicht bij de totale schade ligt. Hoe kleiner de kans op een (groot) ongeval, hoe sterker het effect van de risicoaversie.

Leidt een ongeval met een kans van 1% op 100 doden tot dezelfde externe kosten als een ongeval met een kans van 0,01% op 10.000 doden alleen omdat de verwachtingswaarden hetzelfde zijn? Dit hangt af van de context: in een dorp met 11.000 inwoners is het tweede een alles ontwrichtende ramp. Dit is wat onder andere door risicoaversie wordt weergegeven. Voor een verzekeringsmaatschappij speelt het totale kapitaal dan ook een grote rol in de risicoaversie: zelfs een minieme kans om het totale kapitaal te moeten uitkeren is onacceptabel.

Hieronder leggen wij nog enkele centrale begrippen uit.

Risicoaversie coëfficiënt (RA):

Een RA gelijk aan 1 geeft een neutrale houding ten opzichte van risico weer. De risicomaat is dan gelijk aan de verwachtingswaarde.

Loading factor:

In veel theoretische beschouwingen over verzekeren wordt niet met een RA gewerkt, maar met een *loading factor* (of *load factor*): het percentage waarmee de premie wordt verhoogd ten opzichte van de verwachtingswaarde. In deze *loading factor* zitten dus zowel gewone kosten van de verzekeringsmaatschappij verwerkt als een zekere mate van risicoaversie. De *loading factor* wordt constant verondersteld, hoewel het toepassen van een echte RA zou leiden tot een *loading factor* die hoger wordt naarmate de kans kleiner is en de schade groter. Een *loading factor* van 0% leidt tot een premie die gelijk is aan de verwachtingswaarde.

Risicofactor:

De risicofactor geeft aan hoeveel hoger een bepaalde risicomaat uitkomt dan de verwachtingswaarde (averse risicomaat/neutrale risicomaat). Een risicofactor van 1 betekent dus risicomaat = verwachtingswaarde.

2.3 Risicoaversie in externe kostenbepaling

Om de externe kosten te berekenen met risicoaversie zou de volgende informatie nodig zijn:

- de kansverdelingfunctie $f(x)$, die weergeeft welke kans bij schade x hoort;
- de utiliteitsfunctie, waaruit de risicoaversie coëfficiënt RA blijkt.

Vervolgens zou de bepaling van de externe kosten er als volgt uit zien:

$$\int_D^{\infty} (x - D)^{RA} f(x) dx \quad (3)$$



De factor D staat voor het eventuele deel van de risico's dat al gedekt is door een verzekering betaald door de private ondernemer. In het geval van kerncentrales zou D dus 700 miljoen Euro zijn (zie bijlage B). Als in deze formule $D=0$ en $RA=1$ wordt ingevuld, dan is het resultaat de verwachtingswaarde. Voor $RA > 1$ geeft de vergelijking een risicoaverse bepaling van de externe kosten.

In praktijk is dit echter een lastige berekening, omdat zowel $f(x)$ als de utiliteitsfunctie en dus RA in de meeste situaties onbekend zijn. Bovendien is in het geval van kerncentrales de vraag welke utiliteitsfunctie zou moeten worden gebruikt - die van verzekeringsmaatschappijen of van de maatschappij?

2.4 Schade in externe kostenbepaling

Voor het 'meten' van de echte schade die ontstaat als het ongeval optreedt bestaan verschillende methoden, die algemeen worden toegepast bij het bepalen van externe kosten.

Een deel bestaat uit daadwerkelijke (economische) schade. Veel posten worden echter door middel van zogenoemde *gebleken voorkeur* (*revealed preference*) of *verklaarde voorkeur* (*stated preference*) gekwantificeerd. Uitgangspunt is dat mensen een zekere hoeveelheid geld overhebben voor het voorkómen van bepaalde schade of risico's (betalingsbereidheid of *willingness to pay*, WTP) of voor een zekere hoeveelheid geld bepaalde schade of risico's willen accepteren (acceptatiebereidheid, *willingness to accept*, WTA). Zulke WTP- of WTA-waarden worden ofwel bepaald door mensen direct hiernaar te vragen (verklaarde voorkeur) ofwel door daadwerkelijke waarden af te leiden uit marktgegevens (gebleken voorkeur). Een voorbeeld van dit laatste zijn lagere huisprijzen rond vliegvelden vanwege geluidsoverlast; hieruit kan dus een 'gebleken acceptatiebereidheid' voor lawaai worden afgeleid.



3 Analyse

3.1 Inleiding

Zoals in hoofdstuk 2 uiteengezet, is risicoaversie een belangrijk onderwerp bij het bepalen van de externe kosten als gevolg van ongedekte risico's van kerncentrales.

In dit hoofdstuk worden drie methodes besproken waarmee de hoogte van de risicoaversie bepaald zou kunnen worden:

- 1 De betalingsbereidheid van de burger voor een aanvullende verzekering voor de gevolgen van een kernramp.
- 2 De betalingsbereidheid van de burger voor een hogere dekking van de verzekering van een kerncentrale.
- 3 De acceptatiebereidheid van de verzekeringsmaatschappij om het risico op zich te nemen.

Op basis van gegevens uit de literatuur over deze methodes proberen we af te leiden welke risicomaat (zie hoofdstuk 2) bij externe kosten berekeningen zou moeten worden toegepast.

3.2 Betalingsbereidheid burger voor eigen verzekering

In theorie zou een individu een aanvullende verzekering kunnen nemen voor de gevolgen van een kernramp. Hieruit zou een WTP-waarde (betalingsbereidheid) blijken, die aangeeft wat de consument ervoor overheeft om een bepaald risico af te kopen. Het verschil tussen de WTP-waarde en de verwachtingswaarde van het risico zou een maat voor de risicoaversie zijn.

Schneider en Zweifel (2004) noemen dergelijke verzekeringen als mogelijkheid om meer inzicht te krijgen in het belang dat individuen hechten aan verhoogde zekerheid. Tegelijkertijd geven zij aan dat dit een theoretische optie is omdat dergelijke verzekeringen niet bestaan.

We merken overigens op dat het afsluiten van een dergelijke verzekering de externe kosten niet doen afnemen, omdat de verzekeringskosten niet bij de exploitant komen te liggen, zoals wel het geval is bij een aansprakelijkheidsverzekering (paragraaf 3.4).

Een tweede optie is om risicoaversie van burgers af te leiden uit andere (financiële) dossiers, meestal op basis van WTA-waarde (acceptatiebereidheid). Zo leiden Eeckhoudt et al. (2000) de risicoaversie af uit het gedrag van beleggers en passen een relatieve RA^4 van 2 toe op een kernramp met kans van 1 per miljoen jaar. De externe kosten per kWh liggen dan 20 maal hoger dan in het risico-neutrale geval (de risicofactor is dus 20). Bij een risicoaversie-coëfficiënt van 3 is de factor 385. Zij wijzen er op dat er ook studies bestaan die een risicoaversie-coëfficiënt van 47 vaststellen voor bepaalde risico's. De vraag is of deze coëfficiënten, die zijn afgeleid uit het gedrag van beleggers, ook van toepassing zijn op de nucleaire risico's. Eeckhoudt et al. (2000) claimen dat een risicoaversie-coëfficiënt van meer dan 2,5 tot inconsistenties leidt in het geval van een kernramp: de WTP-waarde zou dan even hoog zijn als de mogelijke schade.

De door Eeckhoudt et al. (2000) geprefereerde waarde van 20 voor de risicofactor komt overeen met een schatting van de OESO (2003). In ExternE (1995) wordt een ruwe schatting van 35 gegeven.

3.3 Betalingsbereidheid burger voor verzekering centrale

De betalingsbereidheid van de consument, afgeleid uit de acceptabel geachte prijsverhoging van kernenergie bij een hogere dekking van de private aansprakelijkheidsverzekering, geeft zicht op een economisch efficiënte hoogte van de dekking. In een studie voor Zwitserland hebben Schneider en Zweifel (2004) gekeken naar de bereidheid van consumenten om een hogere prijs te betalen voor elektriciteit wanneer dit het gevolg is van een hogere dekking van de aansprakelijkheidsverzekering van de exploitant. De verplichte dekking van 700 miljoen CHF (Zwitserse Frank) werd als startpunt genomen. De berekeningen van de premieverhoging bij een hogere dekking nemen een zekere mate van risicoaversie mee via een *loading* factor van in totaal 30% (Zweifel en Umbricht, 2002) en dezelfde kansverdelingfunctie werd gebruikt als in Fiore (2008) (zie bijlage A). Zoals Zweifel en Umbricht (2002) zelf ook opmerken geeft het gebruik van een constante *loading* factor waarschijnlijk een onderschatting van de kostenverhoging.

Uit het onderzoek van Schneider en Zweifel (2004) bleek dat een verhoging van deze verplichte dekking tot tenminste 4 miljard CHF waarschijnlijk economisch efficiënt zou zijn. Dat wil zeggen dat de marginale betalingsbereidheid (WTP, in dit geval uit verklaarde voorkeur) hoger is dan de marginale kosten voor een dergelijke aanvullende dekking. De marginale WTP-waarde is volgens de studie ongeveer 0,002 CHF per kWh (1,3% van de elektriciteitsprijs, omgerekend 0,13 Eurocent per kWh).

⁴ De RA (zie tekstbox 2.1) kan zowel absoluut als relatief gedefinieerd worden; we gaan niet verder in op de precieze theorie. Het is voldoende om de RA te zien als een maat die aangeeft hoe zwaar de 'standaarddeviatie' van een bepaald risico meeweegt in de beoordeling van een economische speler (zie formule (2) en (3)).



Op basis hiervan zou voorzichtig kunnen worden geconcludeerd dat de huidige private dekking in Nederland ook met 700 miljoen Euro nog verre van economisch efficiënt is. De huidige dekking is weliswaar lager in Zwitserland (hoewel niet lager dan de tot dusver geldende dekking in Nederland), maar een dekking van 4 miljard CHF vertaalt zich naar ongeveer 2,5 miljard Euro. Als de betalingsbereidheid van Nederlandse consumenten vergelijkbaar is met die van de Zwitsers, zou een verhoging van het verzekerde bedrag dus tot hogere economische efficiëntie leiden. De betalingsbereidheid zal echter onder andere afhangen van de (gemiddelde) nabijheid van kerncentrales en dus valt te verwachten dat ze lager is in Nederland dan in Zwitserland.

In paragraaf 3.5 bespreken we de precieze premies die in de studie van Schneider en Zweifel (2004) zijn gehanteerd. Deze zijn berekend in Zweifel en Umbricht, (2002). We merken echter op dat we de berekeningen niet hebben gereconstrueerd (zie bijlage A).

3.4 Acceptatiebereidheid verzekeringsmaatschappij

De premie voor de private verzekering van een kerncentrale met een volledige dekking zou de *acceptatiebereidheid* (WTA) weergeven van de verzekeringsmaatschappij die het risico op zich neemt. Dit lijkt op het eerste gezicht niet hetzelfde als de acceptatiebereidheid van de samenleving (verzameling individuele burgers) als geheel. Zelfs een exploitant met een volledig dekkende verzekering stelt individuen bloot aan door hen mogelijk niet geaccepteerde risico's en er blijft dus sprake van externe schade (zie bijvoorbeeld Verhoef, 1999). In dat geval kunnen we echter stellen dat de dekking van de 'aansprakelijkheidsverzekering' nog niet compleet is: een theoretisch complete dekking zou namelijk ook andere dan fysieke en financiële schades moeten dekken.

Hoewel de premie dus strikt genomen geen directe maat is voor de externe kosten, geeft ze bij de juiste dekking wel een indirecte maat en een redelijk geaccepteerde manier van internalisering. Binnen ExternE (2005) worden bijvoorbeeld calamiteiten op de werkplaats, waarbij alleen onder werknemers slachtoffers vallen, niet meegenomen in externe kosten bepalingen als de werkgever voldoende verzekerd is (zie ook Hirschberg, 2004). De hiervoor betaalde verzekeringspremie komt immers tot uitdrukking in de prijs van het geleverde product. Daarmee geeft de premie ook een beeld van wat op dit moment een 'impliciete subsidie' aan kernenergie kan worden genoemd en wordt als zodanig wel als externe kosten betiteld (zie ook Friends of the Earth Europe in oktober 2007⁵).

In Fiore (2008) wordt de hoogte van de impliciete subsidie berekend op basis van een theoretische kansverdelingfunctie (zie bijlage A), informatie over premies bij huidige dekking in Frankrijk en een aanname voor risicoaversie van de verzekeringsmaatschappij analoog aan een zogenaamde 'loading factor'. Er wordt zowel een basis *loading* factor van 30% aangenomen (dit is een algemene standaard waarde) als een extra *loading* factor voor risicoaversie van 5 of 10%.

⁵ Nuclear industry: Face your demons; towards full liability for nuclear power plant operators.

Omdat Fiore (2008) volgens standaardaanpak deze risico *loading* factor niet als onderdeel van de kale ('eerlijke') premie zien, wordt de betaalde premie gecorrigeerd voor deze factor. Als je ervan uit gaat dat verzekeringsmaatschappijen de hogere risicofactor (10%) toepassen, dan is de kale premie dus *lager* dan wanneer de lagere factor (5%) wordt aangenomen. Uit de kale premie wordt afgeleid wat de verwachtingswaarde van het risico is en die valt dan dus ook lager uit. Vervolgens is dan ook het complete risico (gedekt plus ongedekt gedeelte) lager en vallen in deze berekening bij een lagere kale premie ook de externe kosten (impliciete subsidie) lager uit.

De gebruikte kansverdelingfunctie geeft een kans van ongeveer 1 op 5 miljoen voor schade van 100 miljard Euro. Dergelijke combinaties van kans en schade zijn gebaseerd op literatuur en *expert estimates* en zijn redelijk algemeen (zie tabel in bijlage A).

De resulterende 'subsidie' wordt gegeven in Tabel 1.

Tabel 1 Impliciete subsidie in miljoen Euro per reactor per jaar volgens Fiore (2008)

	Factor = 5%	Factor = 10%
Bij dekking van 91 mln. Euro	0,87	0,83
Bij dekking van 700 mln. Euro	0,54	0,51

Volgens deze berekeningen zouden de ongedekte risico's ruim 800 duizend Euro bedragen, ten opzichte van de huidige verzekeringspremies die per jaar en per reactor 110 duizend Euro bedragen voor de verplichte dekking van 91 miljoen Euro⁶ (Fiore, 2008). In het geval van de nieuwe dekking van 700 miljoen Euro zijn de ongedekte risico's ruim een half miljoen.

Deze waarden zijn echter nog steeds gebaseerd op de verwachtingswaarde (de risiconeutrale benadering) en dus een onderschatting van de daadwerkelijke 'impliciete subsidie'.

3.5 Premieberekeningen

3.5.1 Literatuurwaarden (risiconeutraal)

Uit de literatuur is een aantal praktijk- en theoretische waarden af te leiden van premies bij een bepaalde hoogte van de dekking. Zoals opgemerkt in paragraaf 3.4 neemt geen van de theoretische bepalingen daadwerkelijk risicoaversie mee.

⁶ De premie betreft hier alleen het deel dat niet uit eigen kapitaal wordt gedekt, dat wil zeggen 31 miljoen Euro.



In Tabel 2 geven we een overzicht. De procentuele verhouding tussen de premie en de dekking varieert tussen de bronnen, waarschijnlijk deels omdat verschillende waarden voor de dekking door eigen kapitaal meespelen. In grote lijn is wel duidelijk dat naarmate de dekking hoger wordt ook de kans dat het volledige bedrag moet worden uitgekeerd afneemt en het percentage dus lager wordt. Alleen bij zeer extreme risicoaversie zou dit niet het geval zijn.

Tabel 2 Literatuurwaarden verzekeringspremies voor verschillende reactoren

	Dekking ⁷ (miljard)	Premie (miljoen per jaar)	%	
Zweifel & Umbricht, 2002 (CH)	0.7	1,46	0.21%	CHF, praktijk
	1	1,72	0.17%	CHF, praktijk
	2	1,74	0.09%	CHF, theorie ^(a)
	4	1,93	0.05%	CHF, theorie ^(a)
	10	2,19	0.02%	CHF, theorie ^(a)
Gelder, 2005 (NL)	0,34	0,45	0.13%	EUR, praktijk
Fiore, 2008 (FR)	0,091	0,11	0.12%	EUR, praktijk

(a) voor kans van 1 op miljoen op schade van 100 miljard CHF en inclusief *loading factor* van 30%.

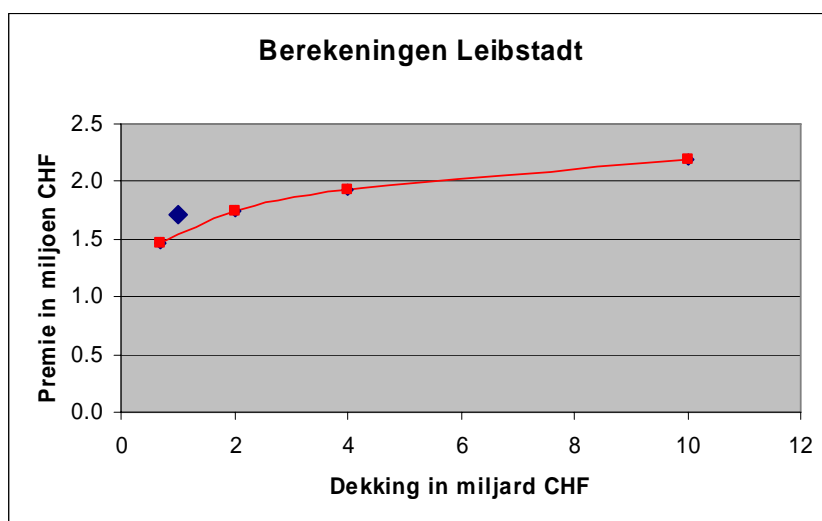
De verwachtingswaarde volgens Zweifel en Umbricht (2002) is ongeveer 2,3 miljoen CHF⁸. We zien dat bij een theoretische dekking van 10 miljard CHF de jaarlijkse premie inclusief *loading factor* min of meer gelijk is aan de verwachtingswaarde. De premieverhoging ten opzichte van de dekking van 700 miljoen CHF is dan 50%. Dit is een ondergrens van de premieverhoging voor totale dekking omdat de berekening in essentie nog steeds risiconutraal is en omdat de dekking 10 miljard CHF is en niet ongelimiteerd. Daar staat tegenover dat een kans van 1 op miljoen op schade van 100 miljard CHF voor de meeste modernere reactoren waarschijnlijk aan de hoge kant is (zie tabel bijlage A).

In Figuur 3 worden de berekeningen van Zweifel en Umbricht (2002) weergegeven, zoals die ook in Tabel 2 staan. Hun berekeningen gingen uit van de situatie in 2000 waarbij de verplichte dekking 0,7 miljard was. De rode lijn geeft dus de toename van de premie weer die zij berekenen voor een verhoging van de dekking ten opzichte van 2000. Het blauwe punt geeft echter de premie aan die gold bij de daadwerkelijke verhoging van de dekking in 2001 naar 1 miljard CHF. We zien dat deze premie hoger ligt dan wat Zweifel en Umbricht (2002) verwachten op basis van hun berekeningen. Vanwege de fout in hun berekening (zie voetnoot 8), kan niet met zekerheid worden gezegd of dit een gevolg is van duidelijke risicoaversie van de verzekeringsmaatschappij.

⁷ Een deel van deze dekking is in praktijk overigens gedekt door eigen kapitaal en valt dus strikt genomen niet onder de verzekering.

⁸ Volgens onze eigen berekening zou dit 4 miljoen CHF moeten zijn, zie ook bijlage A.

Figuur 3 Theoretische premies zonder risicoaversie, afgeleid uit huidige premie voor Leibstadt-reactor (Zweifel & Umbricht, 2002)



3.5.2 Theoretisch (inclusief risicoaversie)

Met behulp van dezelfde functionele vorm als Zweifel en Umbricht (2002) en Fiore (2008) is berekend wat de premie in een risicoaverse berekening zou zijn, bij dekking van 10 miljard respectievelijk 100 miljard en eigenschappen van de kansverdeling zoals in Zweifel en Umbricht (2002).

Voor de kansverdeling van Zweifel en Umbricht (2002) vinden we een verwachtingswaarde ('eerlijke' premie) van 1,9 miljoen. Met een risicoaversie die leidt tot een exponent $RA=1,1$ (zie formule (3) en formule (4) in bijlage A) zou de (kale) premie 2,9 miljoen zijn (risicofactor 1,6) en bij $RA=1,5$ is de premie ruim 41 miljoen (risicofactor 22). Deze resultaten worden weergegeven in Figuur 4.

Ten opzichte van de kale premie bij dekking van 700 miljoen CHF (Tabel 2, 1^{ste} rij) leidt de verwachtingswaarde als risicomaat tot een verhoging van 70% van de premie, voor een dekking van 10 miljard CHF, zoals ook uit de berekeningen van Zweifel en Umbricht (2002) bleek. Bij enige mate van risicoaversie is sprake van een ruime verdubbeling (factor 2,5) en bij een hogere mate van risicoaversie zou de premie ruim 35 maal hoger liggen dan bij de huidige dekking. Voor een dekking van 100 miljard loopt de risicofactor bij $RA=1,5$ op tot 45 (zie Figuur 4) en zou de kale premie bijna 90 maal zo hoog zijn als de huidige premie voor dekking van 700 miljoen.

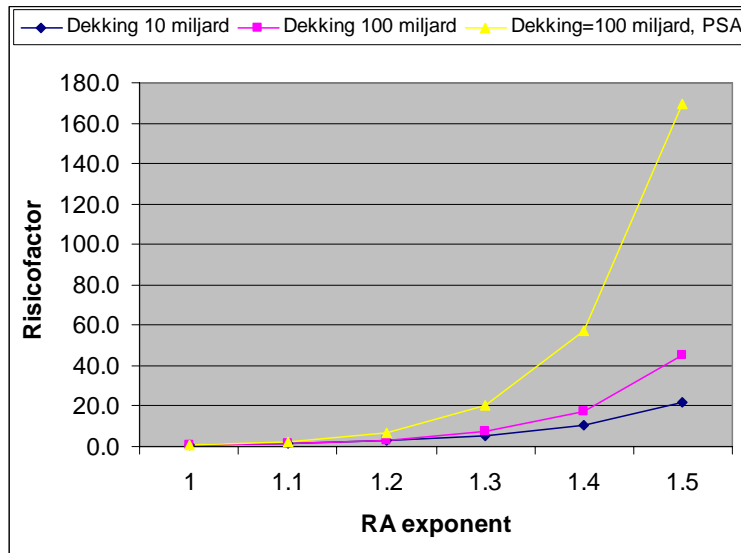
We hebben de theoretische functie ook geijkt aan de PSA-gegevens⁹ volgens Hirschberg et al. (2004) onder aanname dat elke dode gelijk staat aan 1 miljoen schade. De parameters hiervoor staan in bijlage A. Hoewel hiermee de PSA zeker niet precies wordt gereproduceerd geeft de fit wel een redelijk beeld van

⁹ Probabilistic Safety Assessment, waarin wordt berekend op grond van theoretische modellen waarin kansen en gevolgen op allerlei 'failures' zijn opgenomen, wat de kans is op een daadwerkelijk ongeval waarbij radioactiviteit ontsnapt en de bevolking kan bedreigen.



het grote middendeel van de kansverdeling. Met deze parameters zijn de kansen op grote schades veel lager¹⁰, maar de risicofactor die naar voren komt uit risico-averse maten is daarmee ook vele malen hoger.

Figuur 4 Risicofactor gebaseerd op 'kale' premieberekeningen voor verschillende mate van risicoaversie, dekking en kansverdeling (voor uitleg over risicofactor en RA exponent, zie hoofdstuk 2)



Naarmate de dekking hoger wordt heeft de exponent *RA* een grotere invloed op de risicofactor, omdat steeds meer van de 'staart' van de kansverdeling, waar kansen klein zijn maar schades groot, mee gaat tellen. Ook voor de kansverdeling met kleinere kansen (PSA) wordt de risicofactor snel groter met toenemende risicoaversie. Dit betekent dat het verschil tussen een risicoaverse en een risiconeutrale premie veel groter is.

3.6 Samenvattend

De benadering via de burger is theoretisch de juiste, maar in praktijk niet mogelijk. De benadering via de verzekeringsmaatschappij wordt in de literatuur veel gevolgd, maar in geen enkele studie wordt risicoaversie echt op de juiste manier meegenomen. Risicofactoren van 20 tot 35 zoals in de literatuur genoemd zijn zeker te verwachten, maar zolang er niet meer bekend is over daadwerkelijke waarden van risicoaversie is het heel moeilijk een realistische waarde of zelfs onder- of bovengrens aan te geven.

¹⁰ De kans op 1.500 doden is ongeveer 1 op miljoen volgens de PSA.



4 Bespreking

4.1 Vergelijkbare risico's?

Realistische risicoaverse premieberekeningen zijn voor een kerncentrale niet voorhanden. Het is lastig om parallellen te trekken met andere typen omstandigheden en risico's, zowel vanwege de mogelijk enorme omvang van de schade van een kernramp als vanwege de lange termijn waarop deze schades zich manifesteren. Anderzijds is het wel zo dat de eventuele honderden miljarden aan schade niet allemaal ineens hoeven te worden gecompenseerd. In hoeverre dit het insolventierisico voor de verzekeraars verkleint, hangt mede af van het precieze systeem van herverzekeren en het aantal reactoren dat op een of andere manier in een pool verzekerd is. Deze factoren zullen de risicoaversie in de praktijk beïnvloeden.

Een mogelijke parallel zou getrokken kunnen worden met rampen zoals in Bhopal in 1984. Ook uit deze andere dossiers met mogelijke grootschalige rampen en/of langdurige schades lijken echter geen concrete gegevens omtrent premies en risicoaversie af te leiden.

4.2 Conclusies

Momenteel dient een exploitant in de EU zich voor minimaal 700 miljoen Euro aan schade te verzekeren; een schijntje vergeleken met de potentiële schade van een kernongeval. De kosten van de ramp in Tsjernobyl worden geschat op 430 miljard Euro (CE, 2007). In dit rapport is geprobeerd te achterhalen hoeveel de premiestijging zal bedragen indien de dekking van exploitanten verhoogd wordt.

In de literatuur worden de premieverhogingen als gevolg van een grotere dekking bepaald met een risiconeutrale benadering. Bij risico's met een kleine kans, maar met grote gevolgen, zoals een kernramp, speelt risicoaversie echter een grote rol. We hebben daarom theoretisch berekend hoe de premie van kerncentrales zou kunnen stijgen als er rekening wordt gehouden met - verschillende maten van - risicoaversie.

Verhoging dekking zonder risicoaversie

In het geval van een grote kernramp zijn de kosten van een ongeluk waarschijnlijk vele malen hoger dan de huidige dekking van de aansprakelijkheidsverzekering door de exploitant. Hoewel het neutrale risico pas compleet gedekt is bij een premie die gelijk is aan de verwachtingswaarde is in praktijk met de huidige dekking ook een groot deel van het neutrale risico gedekt. Aangezien de meeste theoretische berekeningen een constante *loading factor* gebruiken in plaats van een daadwerkelijke risicoaversie coëfficiënt¹¹, zijn berekende premie-

¹¹ Een *loading factor* is geen goede maat voor risicoaversie omdat bij de *loading factor* nog steeds alleen de verwachtingswaarde van het risico wordt gebruikt.

verhogingen bij verhoogde dekking dan ook relatief klein. Volgens Fiore (2008) zou een dekking tot 100 miljard goed mogelijk moeten zijn ('*largely feasible*').

In hun jaarverslag van 2006 voorzien de Verenigde Assurantiebedrijven Nederland (VAN) mogelijke capaciteitsproblemen bij in werking treden van de nieuwe dekking van € 700 miljoen volgens de Conventie van Parijs (aanpassing Wet Aansprakelijkheid Kernongevallen in 2008). Volgens privé communicatie met de Atoompool (april 2008) zijn er echter inmiddels geen problemen meer te verwachten.

Verhoging dekking met risicoaversie

Bij het verzekeren van kerncentrales speelt risicoaversie een grote rol, omdat we te maken hebben met een kleine kans op een ongeluk met grote gevolgen.

Theoretische berekeningen met een aangenomen kansverdelingsfunctie en aangenomen risicoaversie laten zien dat verhoging van de premie van 700 miljoen naar 10 miljard (berekeningen in Zwitserse Frank, maar geldig voor alle valuta) minstens een 2,5 maal zo hoge premie tot gevolg zou hebben (met risicofactor 1,6). Dit is ondanks het feit dat de huidige dekking al ruimschoots de verwachtingswaarde¹² van het totale theoretische risico dekt. Bij een hogere risicofactor van ongeveer 20 zou de premie 35 zo hoog komen te liggen bij verhoging van dekking van 700 miljoen naar 10 miljard. Voor een risicofactor van ongeveer 45 zou de premie bij verhoging van dekking van 700 miljoen naar 100 miljard - nog dichter bij een 'complete' dekking - zo'n 90 maal hoger komen te liggen. In de literatuur worden risicofactoren van 20 tot 35 niet onwaarschijnlijk geacht (zie paragraaf 3.2).

Een andere benadering om de externe kosten van de onverzekerde risico's te bepalen is via de '*willingness to pay*' van consumenten.

Uit een Zwitserse studie blijkt dat een verhoging van de dekking ten koste van de exploitant tot hogere economische efficiëntie zou leiden omdat consumenten bereid zijn de extra kosten hiervan te betalen in de kWh-prijs (tot maximaal 1,3% van de kWh-prijs in die studie). Volgens die studie is de dekking waarvoor dat geldt tenminste 4 miljard CHF ten opzichte van 700 miljoen CHF nu¹³. Een dekking van ongeveer 4 miljard CHF is nog altijd minstens een of twee ordegrottes lager dan te verwachten maximale schades (GAO, 1987; CE, 2007). Hieruit kan geconcludeerd worden dat volledige dekking door de exploitant vanuit het oogpunt van economische efficiëntie niet aantrekkelijk is. Een andere conclusie uit het feit dat mensen niet bereid zijn te betalen voor volledige internalisering is dat kernenergie niet in een vrije markt past.

¹² Kans maal gevolg.

¹³ Gezien de kennelijke fouten in die studie is de economisch efficiënte dekking waarschijnlijk lager dan 4 miljard (zie bijlage A).



4.3 Aanbevelingen

Alleen een zeer uitgebreid, wiskundig actuariaatsonderzoek, waarbij gebruik gemaakt kan worden van informatie over de opbouw van daadwerkelijke premies die kerncentrales betalen, zal waarschijnlijk enig inzicht kunnen bieden in realistische premies voor hogere dekking van aansprakelijkheidsverzekeringen. Daar komt nog bij dat de premie slechts een indirecte maat is voor de huidige externe kosten zolang de dekking niet helemaal volledig is.

Wellicht is daarom een principiële standpunt steviger te onderbouwen: zolang de dekking van de private verzekering niet volledig is, is er sprake van een oneerlijke prijs voor kernenergie. Overheden kunnen ervoor kiezen om dit te accepteren, maar dit kan niet op basis van kosten-batenanalyses. Een dergelijke lijn is ook gekozen in het NEEDS-project (zie tekstbox).

New Externalities Developments for Sustainability

Binnen het NEEDS-project (vervolg ExternE) wordt een link gelegd tussen risico, risicoaversie en het voorzorgsprincipe (NEEDS, 2006). De conclusie van een stakeholder consultation is dat risico en risicoaversie niet gemonetariseerd kunnen (moeten) worden (NEEDS, 2007) en dat beleidsmakers het voorzorgsprincipe moeten toepassen om zo nodig de resultaten van een kosten-batenanalyse af te wijzen als risico's aanwezig zijn maar niet gekwantificeerd (NEEDS, 2006).

Het nieuwe rapport over externe kosten van kernenergie (NEEDS, 2008) gaat overigens uit van een verwaarloosbare kans op ongevallen met EPR omdat zelfs in het geval van een 'core melt' de radioactieve wolk nauwelijks kan ontsnappen.

Eventueel zou kunnen worden gekozen voor een optimaal efficiënte dekking, zoals in Schneider en Zweifel (2004). Specifiek onderzoek naar de betalingsbereidheid van Nederlanders (bijvoorbeeld in geval van een nieuwe kerncentrale) zou kunnen worden gekoppeld aan prijsverhoging door hogere verzekering. Ook voor de bepaling hiervan is echter inzicht in te verwachten premies nodig, maar omdat dit voor een gelimiteerde dekking is, zou dit iets eenvoudiger kunnen zijn.



Literatuur

CE, 2007

M.N. (Maartje) Sevenster, H.J. (Harry) Croezen
Nieuwe elektriciteitscentrale in Nederland, de vergeten kosten in beeld
Delft : CE Delft, 2007

Eeckhoudt, 2000

L. Eeckhoudt, C. Schieber, T. Schneider
Risk aversion and the external cost of a nuclear accident
In : Journal of Environmental Management, 58, (2000); p.109

ExternE, 1995

ExternE: Externalities of Energy. Volume 5: Nuclear.
Brussels : European Commission, 1995

ExternE, 2005

P. Bickel, R. Friedrich
Externalities of Energy
Methodology 2005 update, 2005
Brussels : European Commission, 2005

Fiore, 2008

K. Fiore
The nuclear liability limit in the OECD conventions : an implicit subsidy
Maastricht : Maastricht University, 2008

GAO, 1987

K. Fultz
A perspective on liability protection for a nuclear plant accident
Washington DC : US General Accounting Office (GAO), 1987

Gay, 2005

R. Gay
General Insurance Premiums when Tail fatness is unknown: a fat premium representation theorem
Melbourne : Monash University, Department of Econometrics and business statistics, 2005

Profundo, 2005

J.W. Gelder
Verlengde opening van Borssele: risico's en kosten
Castricum : Profundo, 2005

Hirschberg, 2004

S. Hirschberg, P. Burgherr, A. Hunt

Accident risks in the energy sector: comparison of damage indicators and external costs

Berlin : Conference on the probabilistic safety assessment and management (PSAM7) conference, 2004

Large, 2005

J. Large

European Pressurised Reactor at Olkiluoto 3, Finland, Review of the Finnish STUK assessment ; (STUK OL3 inspection report), 2005

<http://www.greenpeace.org/raw/content/international/press/reports/european-pressurised-reactor-a.pdf>

visited December 2008

NEEDS, 2006

Report on the methodology for the implementation of the precautionary principle
Technical paper n° 7.3 - RS1b, 2006

NEEDS, 2007

Reporting and evaluation of the survey on the externality concept

Deliverable n° 12.2 - RS2b, 2007

NEEDS, 2008

Final report on technical data, costs and life cycle inventories of nuclear power plants

Deliverable n° 14.2 – RS1a, 2008

OECD, 2003

Nuclear electricity generation: what are the external costs?

Paris : OECD, Nuclear Energy Agency (NEA), 2003

Rumyantsev, 2006

A.N. Rumyantsev

Quantile estimate of the uncertainties of PSA for objects of the nuclear power industry

In : Atomic Energy, Vol.101, No.3 (2006) p. 617-624

Schneider & Zweifel, 2004

Y. Schneider and P. Zweifel

How much internalization of nuclear risk through liability insurance?

In : Journal of risk and uncertainty, vol.. 29, No.3 (2004) ; p.219

Sevenster, 2007

M. Sevenster

Risk measures in monetary valuation of LCA results

Presentation at the Conference on Life Cycle Management, Zurich, 2007



Verhoef, 1999

E. Verhoef

Handbook of Environmental and Resource Economics, Chapter 13

J. van den Bergh (ed.)

Cheltenham : Edward Elgar, 1999

Zweifel & Umbricht, 2002

P. Zweifel and R. Umbricht

Extended coverage of nuclear risk - on what conditions?

Bern : Forschungsprogramm Energiewirtschaftliche Grundlagen, BundesAmt für Energie, 2002



Externe kosten van kernenergie

Hoe zwaar wegen calamiteiten?

Bijlagen

Rapport

Delft, december 2008

Opgesteld door: M.N. (Maartje) Sevenster
F. (Femke) de Jong
M.D. (Marc) Davidson
H.J. (Harry) Croezen





A Theoretische kansverdelingsfunctie

Zowel Fiore (2008) als Zweifel en Umbricht (2002) gebruiken de volgende functie in hun berekeningen:

$$y = \exp[a + b \ln(x)]$$

$$f(x) = \frac{b}{x} \frac{y}{(1+y)^2}$$

De constanten a en b worden hierin bepaald aan de hand van huidige dekking en premie, plus aanname voor de *loading* factor en een bepaalde 'expert judgement' voor extreme risico's. Zweifel en Umbricht (2002) gebruiken bijvoorbeeld kansen van 1 op 10 miljoen of 1 op miljoen voor een ramp met schadeomvang van 10 tot 200 miljard. Fiore (2008) gaat uit van een kans van ongeveer 1 op 5 miljoen voor schade van € 100 miljard.

Tabel 3 Kansen per (reactor) jaar¹⁴ op ongeval ('core melt + release') voor verschillende reactortypes gegeven in literatuur

Bron/centrale	Reactor type	Kans op ongeval	Schade	Opmerking
ExternE (1995)	PWR	1:100.000		Gemiddeld aantal studies
Muehleberg (Hirschberg, 2004)	BWR 320	1:1.000.000		PSA (per GW-jaar)
Olkiluoto (RNSA, 2005)	EPR	5:10.000.000		Ontwerp specificaties voor max. 100 TBq Cesium-137 release
Tsjernobyl (Hirschberg, 2004)	RBMK	2:10.000	436 miljard US\$	Geschatte kans
Gebruikt in premie studies				
Fiore (2008)		2:10.000.000	100 miljard Euro	Op basis van literatuur
Zweifel en Umbricht (2002)		1:1.000.000 1:10.000.000	10-200 miljard Euro	Op basis van <i>expert opinion</i>

¹⁴ De kans op een ongeval is waarschijnlijk deels van de omvang van de reactor afhankelijk, maar eisen zijn in het algemeen in de vorm van kans per jaar. De gevolgen (hoeveelheid vrijkomend radioactief materiaal) zijn waarschijnlijk wel direct afhankelijk van de omvang van de reactor.

Omdat deze kansverdelingsfunctie (PDF) zodoende enige mate van acceptatie lijkt te genieten hebben we geprobeerd om deze ook te gebruiken om de *RA* echt mee te nemen in bepaling van de premie. Hiervoor is het echter nodig om ook hogere orde 'momenten' van de PDF te kunnen berekenen en dat bleek niet mogelijk met deze functie (niet integreerbaar).

Bovendien konden wij de resultaten van Zweifel en Umbricht (2002) niet reproduceren. Evenals in een review van het HSK¹⁵ bij de studie van Zweifel en Umbricht (2002) komen wij op andere waarden van *a* en *b* en op een verwachtingswaarde van rond de 4 miljoen CHF in plaats van 2.276 miljoen CHF.

Tabel 4 Waarden parameters verschillende berekeningen. Waarden tussen haakjes geven resultaat voor *a* en *b* als in Zweifel en Umbricht (2002)

	Z&U (2002)	HSK	CE	CE (psa)
A	1,5468	1,5119	1,5118	8,7
B	1,0576	1,0687	1,0687	0,7
Verwachtingswaarde (in miljoen CHF)	2,276	3,6 (4,0)	3,56 (3,89)	0,01
Dekking 10 miljard (100 miljard voor PSA)				
Premie (3) (RA=1,0 = verw. waarde)	--	--	1,9	0,015
Premie (3) (RA=1,1)	--	--	2,9	0,040
Risicofactor	--	--	1,6	2,6
Premie (3) (RA=1,5)	--	--	41,4	2,60
Risicofactor	--	--	22	170

Het is echter wel mogelijk hogere orde momenten te bepalen voor een gelimiteerde bovengrens zoals een dekking van 10 miljard.

Dit is analoog aan de formule (3) in hoofdstuk 2 :

$$\int_0^D (x)^{RA} f(x) dx + \int_D^{\infty} D^{RA} f(x) dx \quad (4)$$

We nemen dekking $D=10$ of 100 miljard en $RA=1,1$ of 1.5.

Tabel 4 geeft deze voor zowel de parameters die de functie van Zweifel en Umbricht (2002) reproduceren als de parameters die een fit geven van de PSA voor een Europese kerncentrale uit Hirschberg et al. (2004) voor de aanname dat elke dode voor een miljoen CHF aan schade staat.

In alle gevallen is de maat met $RA=1,5$ gelijk aan een risicomaat volgens formule (2) met $A < 1$.

¹⁵ Hauptabteilung fuer die Sicherheit der Kernanlagen.



B Huidige structuur aansprakelijkheid

Binnen diverse platforms zijn afspraken gemaakt over aansprakelijkheid en dekking in het geval van een ongeval met een kerncentrales. De Conventie van Parijs, met aanvulling onder de Conventie van Brussel, is ingesteld door de OESO. De Conventie van Wenen is onder toezicht van de IAEA. In aanvulling op deze conventie bestaat de Conventie voor 'Supplementary Cover' die ook door partijen kan worden geratificeerd die niet in de Conventie van Wenen meedoen. In de Verenigde Staten bestaat de Price-Anderson Act. De dekkingen in verschillende 'lagen' voor al deze overeenkomsten worden in Tabel 5 beschreven. Een Special Drawing Right (SDR) is op dit moment ongeveer een Euro ofwel 1.6 US\$.

Tabel 5 Dekkingen (benadering) onder bestaande aansprakelijkheidconventies

	Paris/Brussels (OECD)	Vienna (IAEA)	CSC (IAEA)	Price Anderson (US)
Operator (minimum)	€ 700 million	SDR 300 million		US\$ 300 million
Collective of operators (retrospective)				US\$ 96 million per reactor
State	€ 500 million			US\$ 10 billion for DOE facilities
Collective of states	€ 300 million		~ SDR 300/MWth	
Total private 'cover'	€ 0.7 billion	SDR 0.3 billion		~ US\$ 10 billion

Het private deel van deze verplichte dekkingen kan door een individuele verzekeringsmaatschappij i.h.a. niet worden gegarandeerd. Daarom is er sprake van samenwerkingsverbanden en herverzekering. Atoomverzekeraars zijn verenigd in de Nederlandse Atoompool (BV Bureau van de Nederlandse Pool voor Verzekering van Atoomrisico's) die als herverzekeraar optreedt voor buitenlandse atoompools en vice versa. Via dergelijke atoompools is er sprake van een mondiaal systeem van herverzekeringen. Ook de Nederlandse Milieupool (herverzekering voor milieuschadeverzekeringen) speelt een rol in de verzekering van nucleaire faciliteiten in Nederland.