

7 pages.

# RISICO-ANALYSES VAN KERNCENTRALES

J.N.T. JEHEE  
A.J. SEEBREGTS

VERSCHIJNT IN 'SPECIAL MAGAZINE' VAN DE NEDERLANDSE VERENIGING  
VOOR BEDRIJFSZEKERHEIDSTECHNOLOGIE, NVvB

Het Energieonderzoek Centrum Nederland (ECN) is het centrale instituut voor onderzoek op energiegebied in Nederland. ECN verricht fundamenteel en toegepast onderzoek op het gebied van kernenergie, fossiele-energiedragers, duurzame energie, milieuaspecten van de energievoorziening, informatica en de ontwikkeling en toepassing van nieuwe materialen. Ook energiestudies vormen een onderdeel van het onderzoekprogramma.

Bij ECN zijn ruim 900 medewerkers werkzaam. De opdrachten worden verkregen van de overheid en van organisaties en industrieën uit binnen- en buitenland.

De resultaten van het ECN-onderzoek worden neergelegd in diverse rapportenseries, bestemd voor verschillende doelgroepen, van opdrachtgevers tot de internationale wetenschappelijke wereld.

Deze RX-serie wordt gebruikt voor het uitbrengen van pre-prints, artikelen die in een tijdschrift of in proceedings van conferenties of symposia in definitieve vorm zullen verschijnen.

Gelieve niet te refereren aan het rapportnummer, maar de verwijzing te gebruiken die hiernaast op de titelpagina figureert: 'Te verschijnen in ...' of 'Voor publikatie aangeboden aan ...'.

Energieonderzoek Centrum Nederland  
Service Unit Algemene Diensten  
Sectie Rapporten  
Postbus 1  
1755 ZG Petten  
Telefoon: (02246) 43 23  
Fax : (02246) 34 83

Dit rapport is te verkrijgen door het overmaken van f 20,-  
op girorekening 3977703 ten name van:  
ECN, SU Algemene Diensten, Petten,  
onder vermelding van het rapportnummer.

© Energieonderzoek Centrum Nederland,  
Petten 1991



## RISICO-ANALYSES VAN KERNCENTRALES

Auteurs: J.N.T. Jehee, A.J. Seebregts, Energieonderzoek Centrum Nederland, Petten

### Inleiding

Probabilistische risico-analyses van kerncentrales worden uitgevoerd om het risico te bepalen door systematisch de mogelijke gevolgen van een breed spectrum van ongevalsinitiatoren te analyseren. Het risico kan worden uitgedrukt in de kans op kernsmelten, op radioactieve lozingen of op schadelijke gevolgen voor de omgeving. In navolging van het risicobeleid van de overheid voor chemische installaties, zoals dit tot uitdrukking komt in de verplichting tot externe-veiligheidsrapportages (EVR's) of bijvoorbeeld de brochure 'Omgaan met risico's' [1], zullen probabilistische risico-analyses worden vereist voor kerncentrales.

### Historisch overzicht

De eerste uitgebreide risico-analyse van kerncentrales was de Amerikaanse 'Reactor Safety Study' uit 1975 [2], gevolgd door de Duitse Risico-Studie, Fase A [3], en een tweetal Nederlandse studies [4,5]. De belangstelling voor en het gebruik van risicostudies groeide wereldwijd sterk na het ongeval op Three Mile Island in 1979, en het ongeval in Tsjernobyl in 1986. Recent voltooide analyses zijn de Amerikaanse NUREG-1150 studie [6] en de Duitse Risico-Studie, Fase B [7]. Op dit moment zijn ruim dertig risico-analyses van kerncentrales uitgevoerd.

### Veiligheidsconcept: 'verdediging in de diepte'

Het veiligheidsconcept van kerncentrales in het Westen is gebaseerd op het 'verdediging in de diepte'-principe (Eng.: defense-in-depth principle), met de volgende elementen:

- het hanteren van gepaste veiligheidsmarges bij het ontwerp en bij het bedrijf van de centrale, gericht op

een vermindering van de frequenties van optredende storingen,

- het uitvoeren van een veiligheidsanalyse die aan moet tonen dat een aantal gepostuleerde ongevallen (ontwerpongevallen) niet leidt tot beschadiging van de reactorkern, en

- de aanwezigheid van verschillende fysieke barrières in het ontwerp die de lozing van radioactieve stoffen naar de omgeving verhinderen of beperken.

### Deterministische versus probabilistische analyses

Het ontwerp van de veiligheidssystemen van kerncentrales is traditioneel voor een belangrijk deel gebaseerd op een deterministische analyse van de eerder genoemde ontwerpongevallen. Hierbij worden veiligheidsfuncties zoals de reactorafschakeling, de kernkoeling en de rol van de reactorinsluitconstructie (Eng.: containment) beschouwd. Op basis van deterministisch gekozen randvoorwaarden, zoals het enkelvoudig falen van componenten en conservatieve veronderstellingen over de warmte-overdracht, dient te worden aangetoond dat ernstige gevolgen, met name kernbeschadiging of significante lozingen van radioactieve stoffen, niet optreden.

In een probabilistische analyse wordt een kans toegekend aan het falen van systemen. Zo'n analyse, die uitgaat van een breed spectrum van ongevalsinitiatoren, levert een meerwaarde omdat op systematische wijze het gehele ontwerp van de kerncentrale wordt doorgelicht inclusief de relaties tussen verschillende systemen en de rol van operators.

### Doelstellingen en gebruik

Complementair aan de deterministische veiligheidsanalyses worden probabilistische analyses in toenemende mate gebruikt door de overheid en de exploi-

tanten en leveranciers van kerncentrales. Zo kan met deze techniek de systeembetrouwbaarheid worden verbeterd, test- en onderhoudsperiodes worden geoptimaliseerd, en de bijdragen van dominante ongevalsscenario's worden gereduceerd. Verder kan het ontwerp worden getoetst aan risico-criteria ten aanzien van de kans op kernsmelten, radioactieve lozingen en schadelijke gevolgen voor mens en milieu. Omdat de resultaten sterk afhankelijk zijn van de gehanteerde veronderstellingen, de reikwijdte van de analyse en de gebruikte gegevens (zoals faalkata en fysische parameters), is een richtlijn vereist voor toetsing aan de Nederlandse risico-criteria.

Als belangrijkste toepassingen van probabilistische analyses worden momenteel gezien: (1) het verschaffen van inzicht in de zwakke punten van een ontwerp en het evalueren van wijzigingen hierin, en (2) het operationeel gebruik van de resultaten voor een optimale en veilige bedrijfsvoering.

#### Niveaus binnen de risico-analyse

In de uitvoering van de risico-analyse kunnen drie niveaus worden onderscheiden. Een niveau-1 analyse bepaalt, op basis van de frequenties van ongevalsinitiatoren en een betrouwbaarheidsanalyse van de diverse systemen, de totale kans van de ongevalsscenario's die leiden tot kernbeschadiging. Het is dit deel van de risico-analyse dat voor een groot gedeelte de bedrijfszekerheid van de veiligheidssystemen van de kerncentrale beschouwt, en dat hierna uitgebreider zal worden beschreven.

Uitgaande van de kernsmeltscenario's bepaalt een niveau-2 analyse de kans op falen van de reactor-insluitconstructie en tevens de karakteristieken van de bijbehorende ongevalslozing (de bronterm). Bij deze analyse spelen thermo-hydraulische en chemische processen een belangrijke rol.

Op basis van het spectrum van ongevalslozingen, bepaalt tenslotte een niveau-3 analyse de externe gevolgen in termen van gezondheidsschade, zowel acuut als laat, en van economische effecten. Weer-

statistieken en gegevens over demografie en grondgebruik zijn hiervoor essentieel; ook kunnen hierbij preventieve maatregelen worden beschouwd zoals evacuatie en jodiumprofylaxe.

#### Niveau-1 risico-analyse

##### *Globale structuur en methoden (zie figuur 1)*

Het verzamelen van gegevens over het ontwerp en de bedrijfsprocedures, en het selecteren van de relevante ongevalsinitiatoren, vormen in deze analyse de eerste stap.

De ongevalsinitiatoren bepalen de structuur van de ongevalsverlopen (ook wel gebeurtenissenverlopen genoemd) met de relevante veiligheidssystemen; de ongevalsinitiatoren bevatten interne en externe gebeurtenissen, zoals diverse soorten leidingbreuk, uitval van elektriciteit, overstroming en aardbeving. In figuur 2 is een voorbeeld gegeven van zo'n verloop. De beschikbaarheid of de faalkans van de systemen wordt doorgaans bepaald met foutenboomtechnieken.

Naast menselijke fouten geeft falen van componenten als gevolg van een gemeenschappelijke oorzaak (common cause) een belangrijke bijdrage tot de kans op kernsmelten. Vanwege de gebruikelijke redundantie van componenten is onafhankelijk falen minder van belang. Het gemeenschappelijk falen van componenten wordt met speciale modellen gekwantificeerd en in de foutenboom opgenomen.

De test- en onderhoudsprocedures worden veelal direct in de betreffende foutenboom opgenomen, terwijl corrigerende operatoracties tijdens een ongeval gewoonlijk apart in het gebeurtenissenverloop voorkomen.

'Bedrijfs-specifieke' faalgegevens van componenten verdienen de voorkeur, tenzij er weinig of geen bedrijfservaring is. In dat geval kan worden geput uit generieke databases van vergelijkbare ontwerpen of gebruik worden gemaakt van expertmeningen.

Tenslotte worden de ongevalsverlopen gekwantificeerd waarbij de kans op kernsmelten wordt bepaald.

Dominante ongevalsverlopen kunnen vervolgens worden geïdentificeerd. Indien een niveau-2 analyse ook tot de studie behoort, worden de verlopen zodanig in groepen bij elkaar gevoegd, dat de verlopen binnen één groep eenzelfde soort progressie van het kernsmeltongeval tot gevolg hebben. Verdere details, ook voor niveau-2 en niveau-3 analyses, zijn te vinden in [8].

### *Onzekerheden*

Onzekerheden worden veroorzaakt door onder andere een gebrek aan kennis omtrent faalgegevens, modelveronderstellingen, de vraag in hoeverre de analyse volledig is, en niet in de laatste plaats door de menselijke factor. Indien mogelijk, dienen deze onzekerheden in het resultaat te worden gereduceerd, door bijvoorbeeld experts te raadplegen, en te worden geanalyseerd, bijvoorbeeld met een gevoeligheidsanalyse of met Monte Carlo technieken.

Vanwege de onzekerheden dient te worden opgemerkt dat aan kwantitatieve resultaten van probabilistische risico-analyses geen absolute waarde dient worden gehecht; zij geven een indicatie van de grootte van het risico met de relatieve bijdragen van verschillende systemen en componenten.

### *Huidige ontwikkelingen*

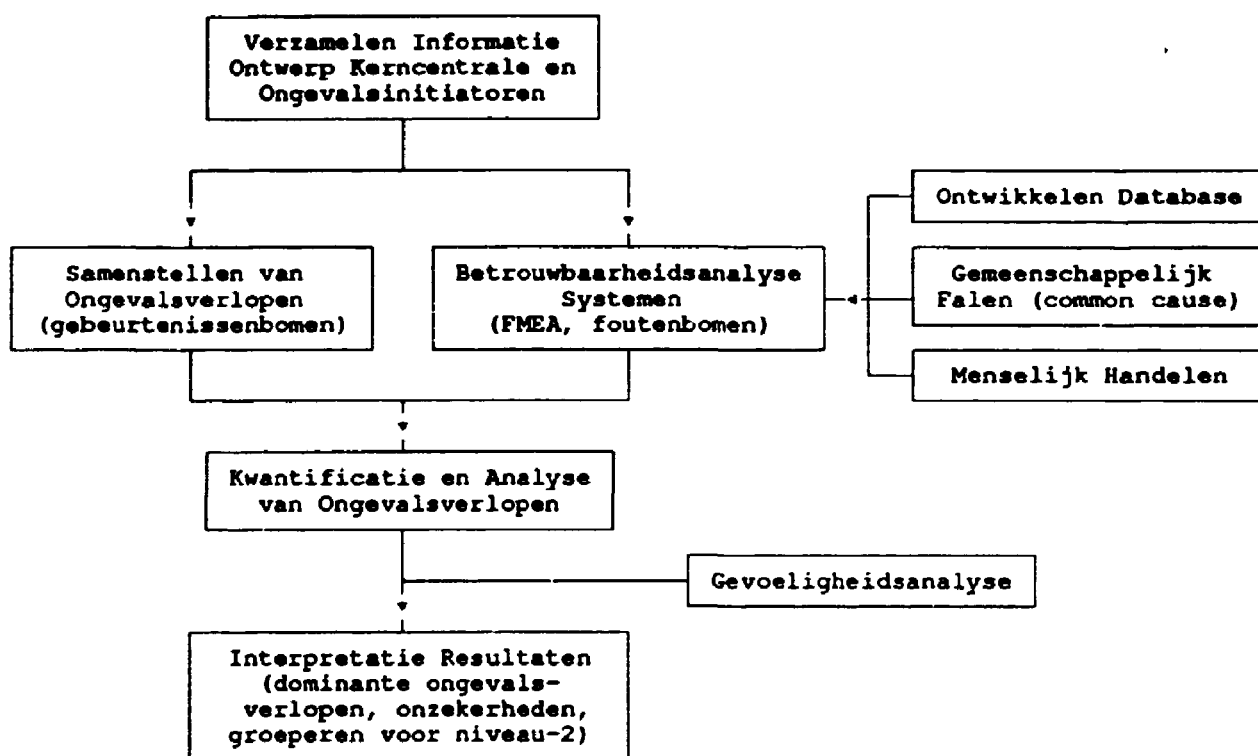
Momenteel staat het gebruik van de probabilistische resultaten voor een optimale bedrijfsvoering sterk in de belangstelling. Modellen en gegevens worden geëvalueerd met een personal computer. Nieuwe bedrijfservaring wordt daarbij opgenomen in het gegevensbestand en aangegeven kan worden wat het gevolg is van het buiten-bedrijf zijn van een component of systeem. Een andere mogelijkheid is het bepalen van maximaal toelaatbare tijden dat veiligheidssystemen bij onderhoud of reparatie buiten bedrijf mogen zijn.

### Conclusies

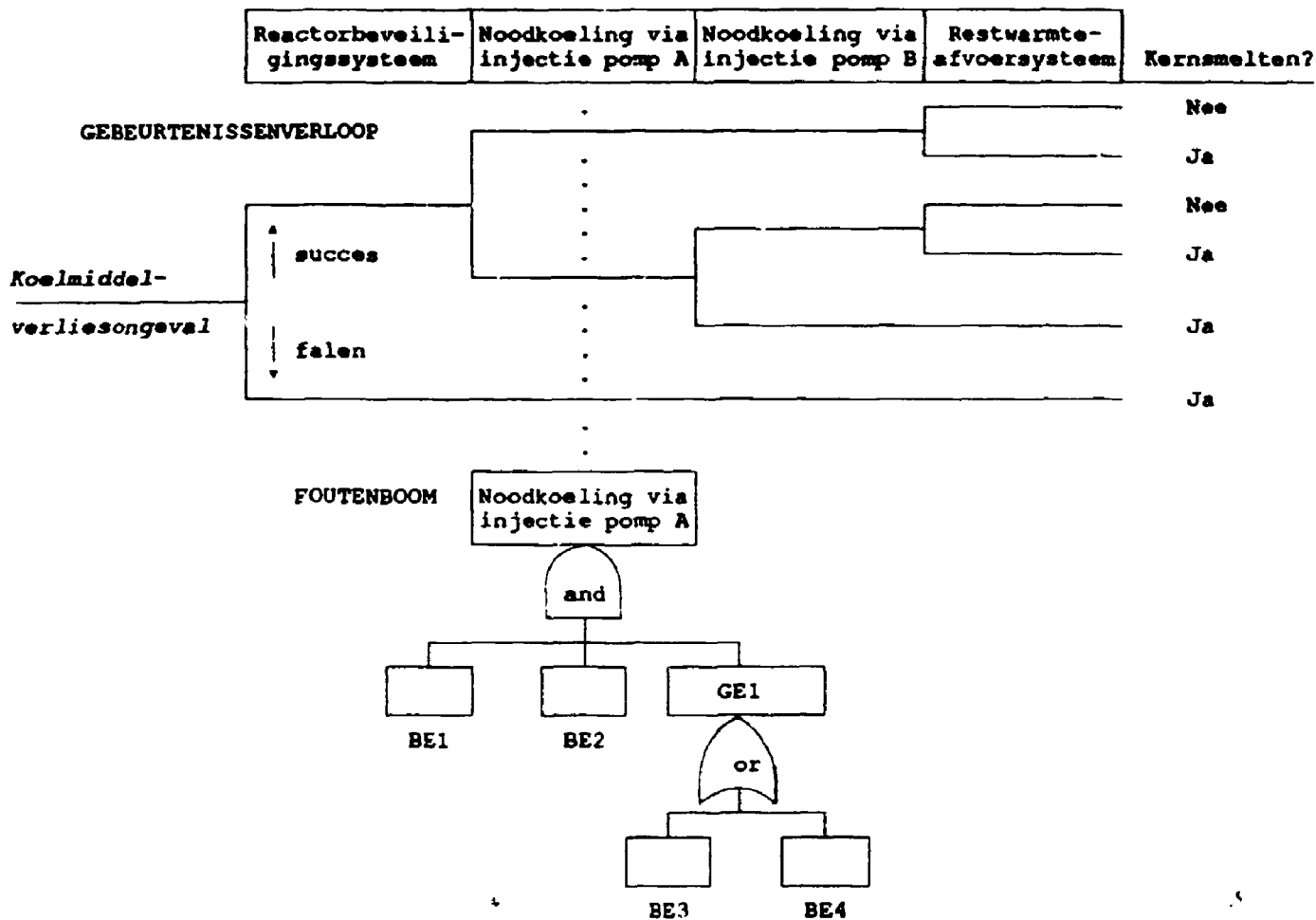
Probabilistische risico-analyses worden in toenemende mate gebruikt, en wel complementair aan de traditionele deterministische veiligheidsanalyses waarbij een beperkt aantal ontwerpgevallen wordt beschouwd. De belangrijkste toepassing is momenteel het gebruik om zwakke plekken te identificeren en in de toekomst om de bedrijfservaring meer systematisch te analyseren. De niveau-1 risico-analyse maakt gebruik van gangbare technieken zoals gebeurtenissenverlopen en foutenbomen. Uitgaande van een spectrum van ongevalsinitiatoren met betrouwbaarheidsanalyses van systemen, wordt de kans op kernsmelten berekend. Risico-analyses zijn onmisbaar voor toekomstige toetsing aan kwantitatieve risico-criteria van de Nederlandse overheid, hetgeen vanwege de onzekerheden zorgvuldig dient te geschieden.

### Referenties:

- [1] 'Omgaan met risico's', bijlage Nationaal Milieubeleidsplan, Ministerie van VROM, Den Haag, 1989.
- [2] 'Reactor Safety Study, An Assessment of Accident Risks in U.S. Commercial Nuclear Power Plants', U.S. Nuclear Regulatory Commission, WASH-1400 (NUREG-75/014), Washington D.C., oktober 1975 (draft in 1973).
- [3] 'Deutsche Risikostudie Kernkraftwerke', Gesellschaft für Reaktorsicherheit, Köln, 1979.
- [4] 'Risico-Analyse van de Splijstofcyclus In Nederland' (RASIN), Sep, Arnhem, 1975.
- [5] 'Kerncentrales en Volksgezondheid' (KEV), Rapport van de Commissie Kernenergie 3500 MWe, september 1975.
- [6] 'Severe Accident Risks: An Assessment for Five U.S. Nuclear Power Plants', U.S. Nuclear Regulatory Commission, NUREG-1150, Washington D.C., juni 1989.
- [7] 'Deutsche Risikostudie Kernkraftwerke Phase B', Gesellschaft für Reaktorsicherheit, 1990.
- [8] 'Probabilistic Risk Assessment in the Nuclear Power Industry', R.R. Fullwood, R.E. Hall, Brookhaven National Laboratory, New York, 1988.



Figuur 1. Schematische weergave van een niveau-1 risico-analyse.



Figuur 2. Voorbeeld van een eenvoudig gebeurtenissenverloop; de faalkans van de veiligheidssystemen wordt gekwantificeerd via foutenbomen.