Probabilistische Veiligheidsanalyses

in Nederland

Cor Molenaar

11-11-2026

NRG PALLAS

Nuclear. For Life.

Overzicht

- Waarom
- Wat
- Hoe
- Waar
- Waarvoor nog meer

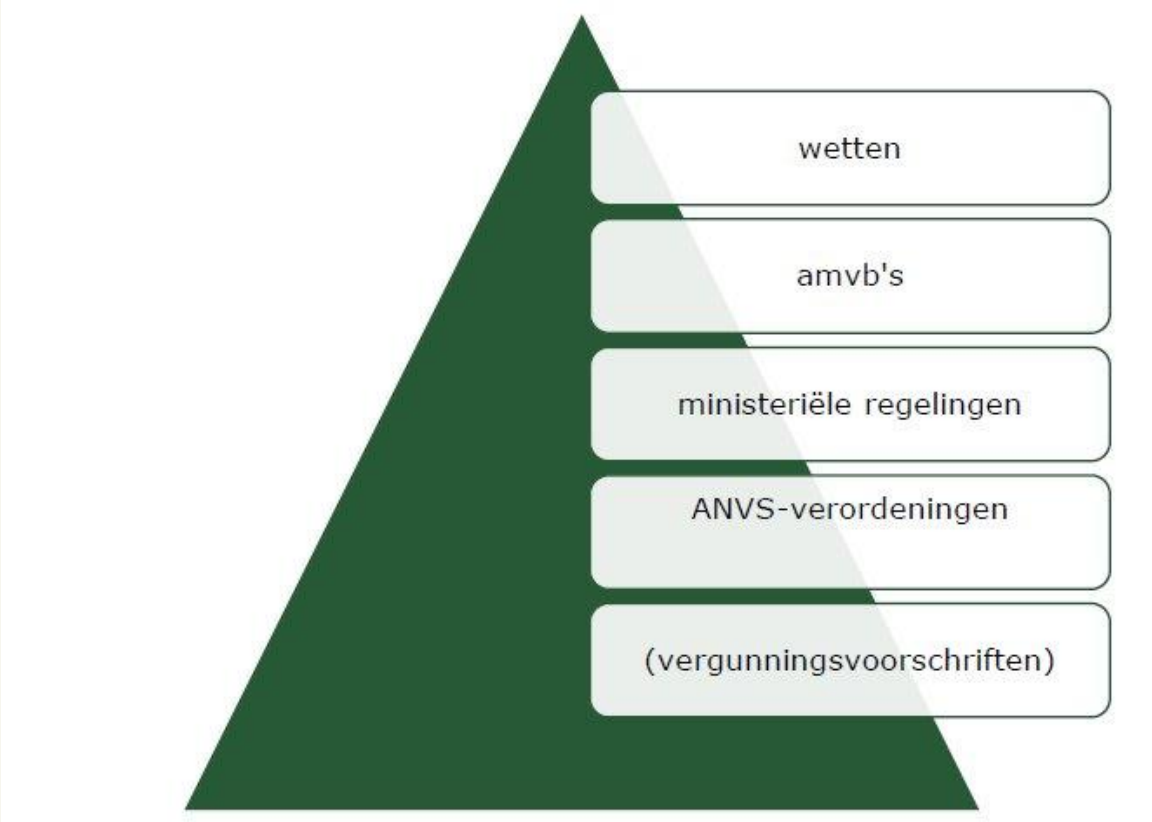
Waarom: Veiligheidsdoelstelling: IAEA SF-1

De basis veiligheidsdoelstelling is het beschermen van de bevolking en het milieu tegen de schadelijke effecten van ioniserende straling

Dit vergt maatregelen:

1. om de blootstelling van mensen aan straling en lozingen naar de omgeving te beheersen;
2. om de kans te minimaliseren op gebeurtenissen die kunnen leiden tot het verlies van controle over een radioactieve bron (een reactor kern, een kettingreactie, afval etc.);
3. om de gevolgen van zulke gebeurtenissen te beperken.

Waarom: Wet- en regelgeving nucleaire veiligheid en stralingsbescherming





En hieronder nog handreikingen

Waarom: Kernenergiewet

Artikel 15

287

[Wijziging(en) zonder datum inwerkingtreding aanwezig. Zie het wijzigingenoverzicht.]

Het is verboden zonder vergunning van de Autoriteit:

a. splijtstoffen of ertsen te vervoeren, voorhanden te hebben, binnen of buiten Nederlands grondgebied te brengen of te doen brengen, dan wel zich daarvan te ontdoen;

b. een inrichting, waarin kernenergie kan worden vrijgemaakt, splijtstoffen kunnen worden vervaardigd, bewerkt of verwerkt, dan wel splijtstoffen worden opgeslagen, op te richten, inwerking te brengen, in werking te houden, buiten gebruik te stellen of te wijzigen of een inrichting, waarin kernenergie kon worden vrijgemaakt, splijtstoffen konden worden vervaardigd, bewerkt of verwerkt, dan wel splijtstoffen werden opgeslagen, te ontmantelen;

c. een uitrusting, geschikt om een vaartuig of ander vervoermiddel door middel van kernenergie voort te bewegen, daarin aan te brengen of aangebracht te houden, dan wel zodanige daarin aangebrachte uitrusting in werking te brengen, in werking te houden of te wijzigen.

Waarom: Regelgevend kader

Regeling nucleaire veiligheid kerninstallaties

- Art. 6.1: *De vergunninghouder van een kerninstallatie waarvoor na 14 augustus 2014 een vergunning voor het oprichten ervan is of wordt verleend, stelt zich bij het oprichten, in werking brengen, in werking houden, het buiten gebruik stellen en het ontmantelen van de kerninstallatie ten doel om, en neemt alle maatregelen die nodig zijn om, ongevallen te voorkomen, of, als een ongeval zich voordoet, de gevolgen van dat ongeval te beperken en te vermijden dat:*

  a. *zich vroegtijdige radioactieve lozingen voordoen die noodmaatregelen buiten de locatie van de kerninstallatie noodzakelijk maken maar waarbij onvoldoende tijd rest om die maatregelen uit te voeren;*

  b. *zich grote radioactieve lozingen voordoen die beschermingsmaatregelen zouden vereisen die niet beperkt kunnen worden in tijd of ruimte.*

Waarom: Regelgevend kader

Besluit kerninstallaties, splijtstoffen en ertsen

- Art. 6.1.h: …, *alsmede een risicoanalyse van de schade buiten de inrichting als gevolg van die [gepostuleerde begin-]gebeurtenissen;*
- Art 6.1.i: *een risicoanalyse van de schade buiten de inrichting als gevolg van buiten-ontwerpongevallen;*

Regeling nucleaire veiligheid kerninstallaties

- Art. 11.2: *De vergunninghouder zorgt ervoor dat de nucleaire veiligheid van de kerninstallatie op systematische en verifieerbare wijze wordt onderzocht en geëvalueerd …*

Handreiking veilig ontwerp en bedrijven van kernreactoren / Dutch Safety Requirements

- Art. 5 (1): *The licensee/applicant shall be in the position to provide documentary evidence on plant safety covering all the stages during the lifetime of the plant. The safety demonstrations shall be documented in the Safety Analysis Report. The Safety Analysis Report shall be complete, comprehensible and verifiable. The Safety Analysis Report shall be updated whenever necessary to document the actual status of plant safety.*

Waarom: Veiligheidsconcept

Handreiking veilig ontwerp en bedrijven van kernreactoren / Dutch Safety Requirements

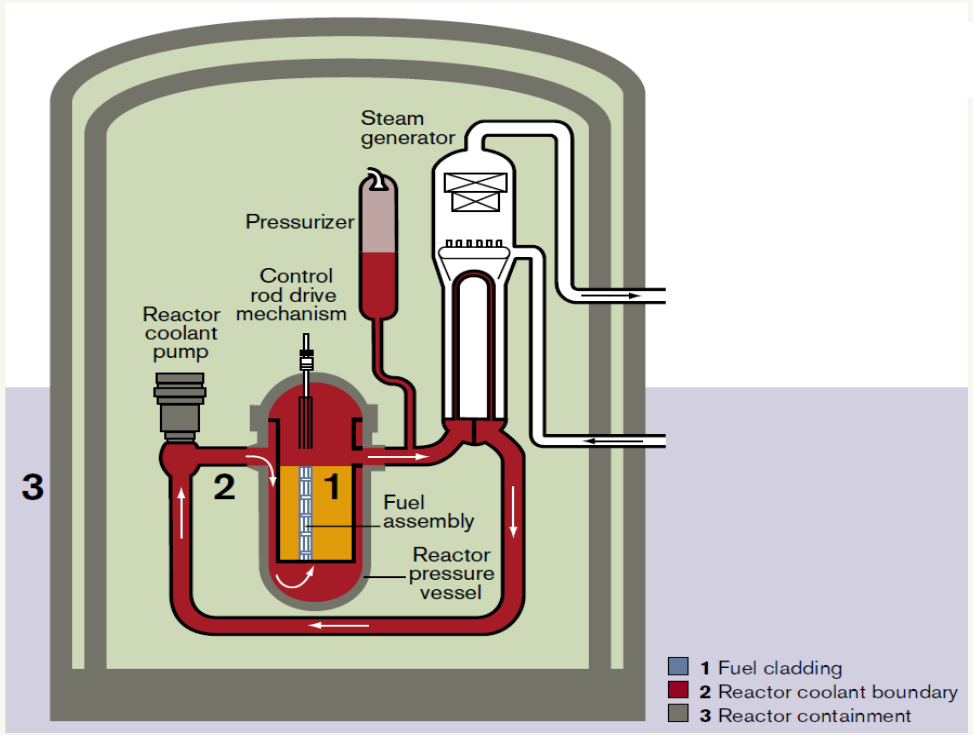
- Art. 5 (5): *The following deterministic and probabilistic methods shall be applied to demonstrate that the technical safety requirements are fulfilled. The methods comprise*
  a. *the deterministic analysis of events and conditions,*
  b. *the measurement and experiment,*
  c. *the engineering judgement, and*
  d. *the probabilistic analysis.*
- Annex 4: *Requirements on safety demonstration and documentation*

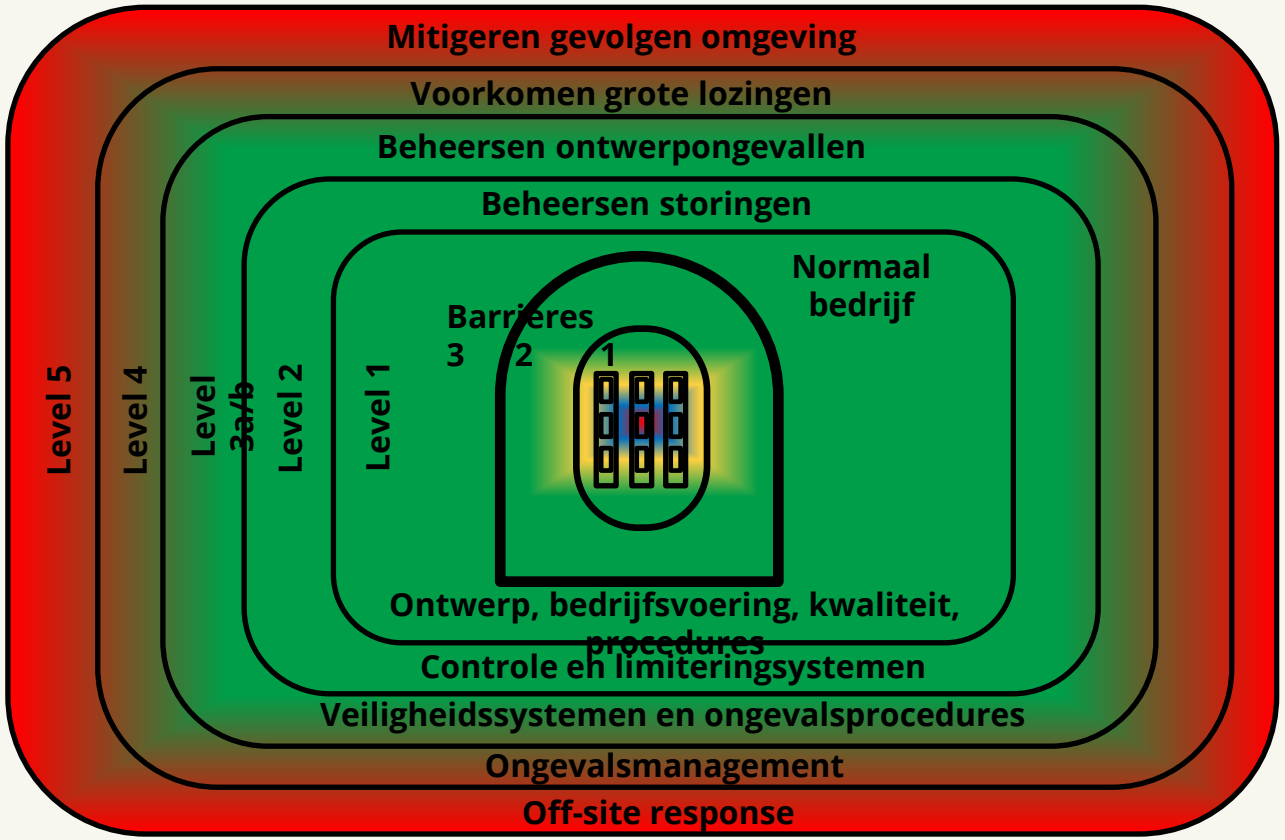
Waarom: Veiligheidsconcept

Basisprincipes

Barriere-benadering

Defence in Depth (gelaagde veiligheid)





Wat

- Probabilistic Safety Analysis; PSA
- Risico = kans x gevaar, ‘mogelijk gevolg van’
- Uitkomst is ‘goed genoeg’

- L1: selecteren van begingebeurtenissen & berekenen kans op kernschade
- L2: berekenen vrijgekomen radioactieve stoffen
- L3: berekenen gevolgen van vrijkomen radioactieve stoffen

- Toetsen aan wettelijke limieten voor individuele en groepsrisico

§ 3. Weigering van vergunningen

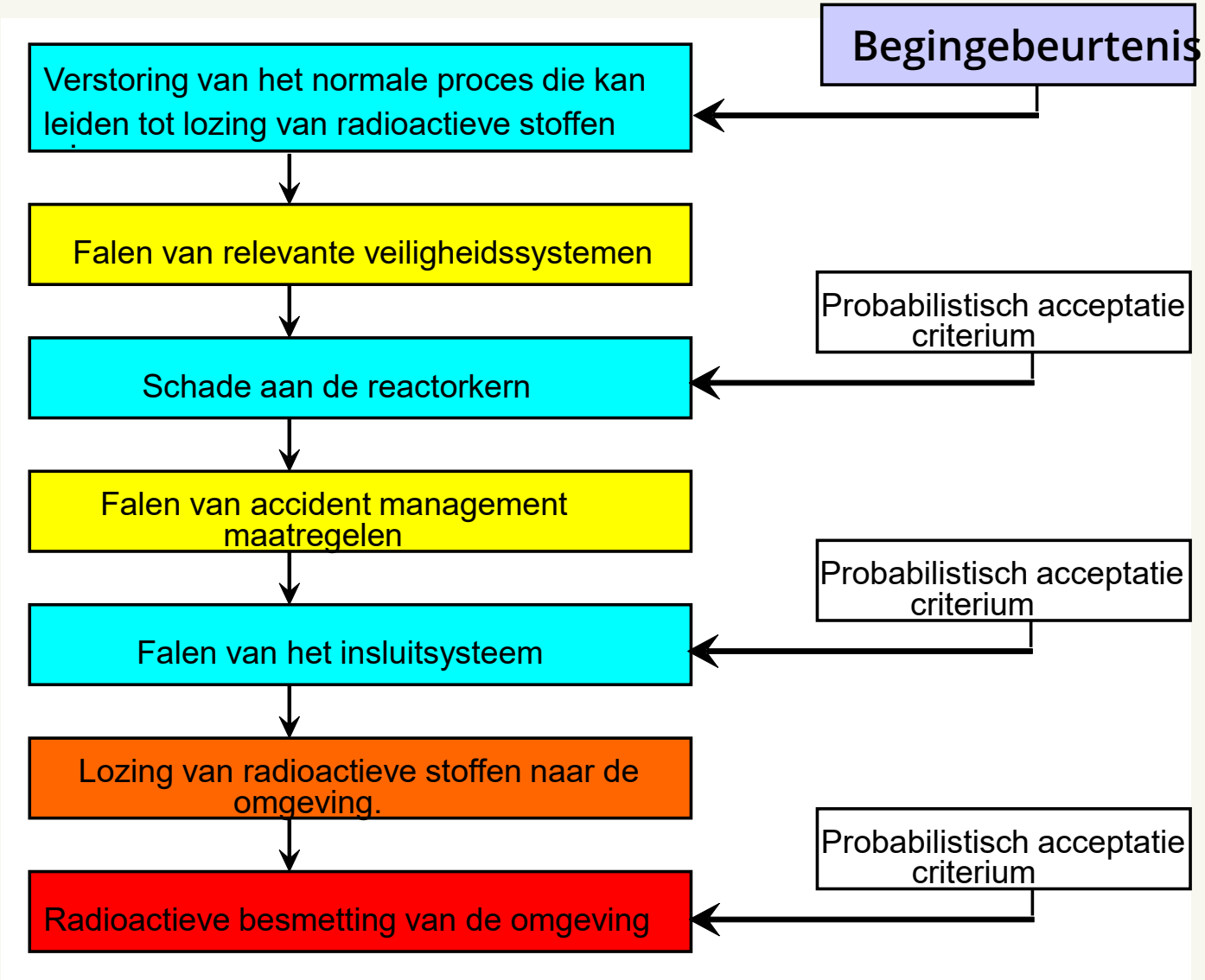
Artikel 18 22

3 Een vergunning voor het oprichten, in werking brengen of houden of wijzigen van een inrichting, waarin kernenergie kan worden vrijgemaakt, kan worden geweigerd, indien de waarden in de krachtens artikel 6, eerste lid, onder i, verrichte risicoanalyse een van de volgende waarden overschrijden:

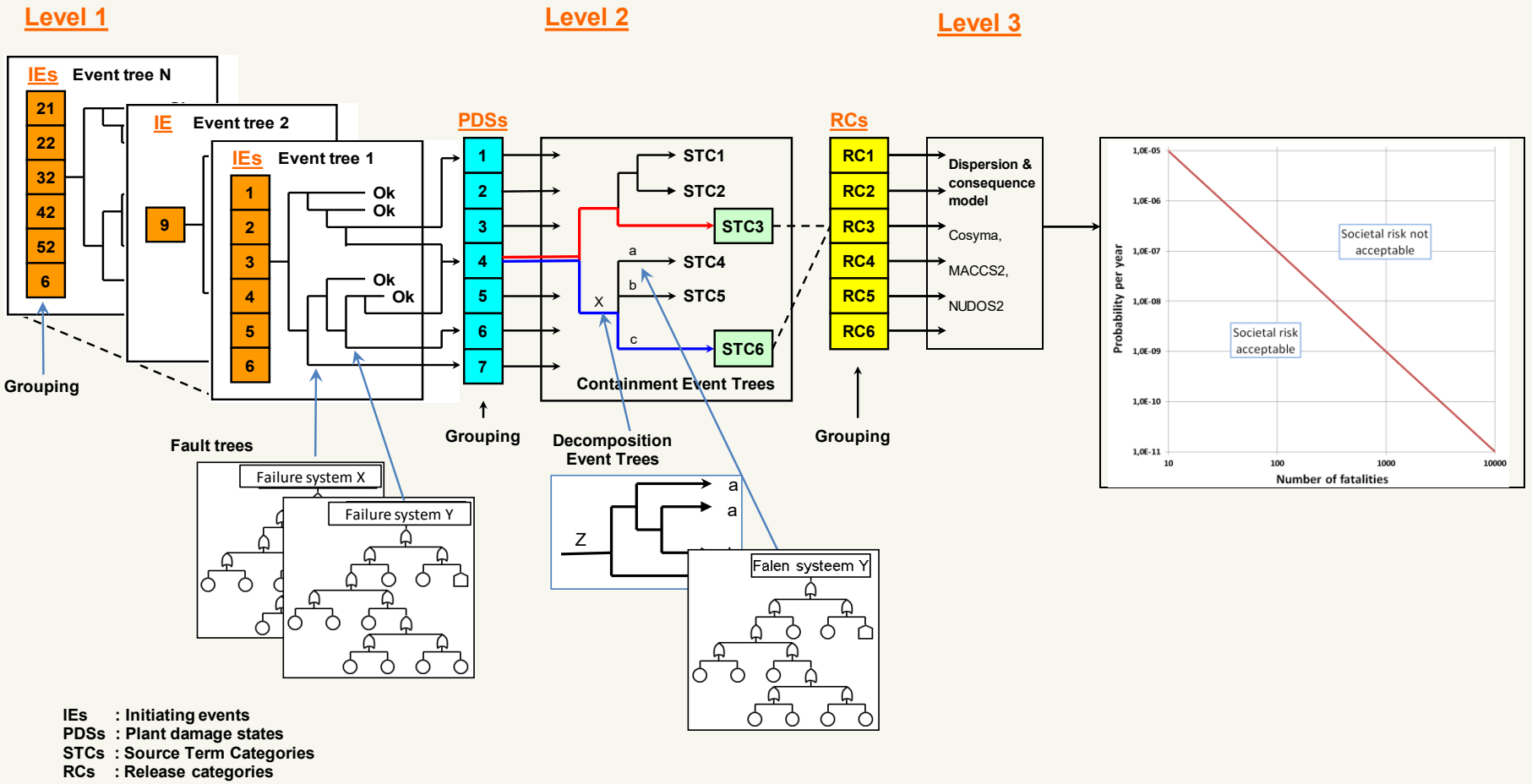
a. een kans van 10^{-6} per jaar dat een persoon, die zich permanent en onbeschermd buiten de desbetreffende inrichting zou bevinden, overlijdt als gevolg van een buiten-ontwerpongeval;

b. een kans van 10^{-5} per jaar dat buiten de desbetreffende inrichting een groep van ten minste 10 personen direct dodelijk slachtoffer is van een buiten-ontwerpongeval, of voor n maal meer direct dodelijke slachtoffers een kans die n^2 maal kleiner is.

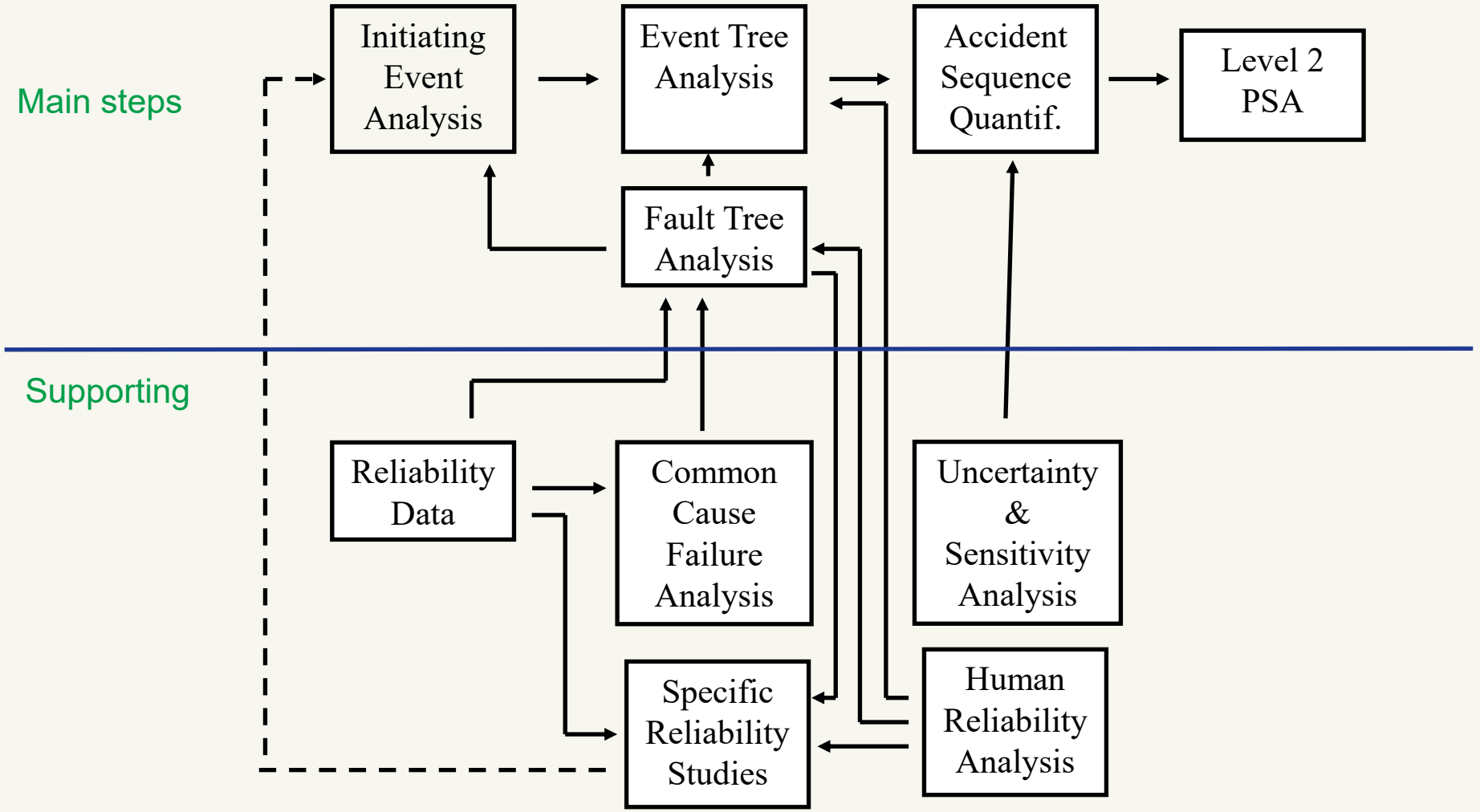
Hoe


Begingebeurtenis
Verstoring van het normale proces die kan leiden tot lozing van radioactieve stoffen
Falen van relevante veiligheidssystemen
Probabilistisch acceptatie criterium
Level 1
Schade aan de reactorkern
Falen van accident management maatregelen
Probabilistisch acceptatie criterium
Level 2
Falen van het insluitsysteem
Lozing van radioactieve stoffen naar de omgeving.
Probabilistisch acceptatie criterium
Level 3
Radioactieve besmetting van de omgeving

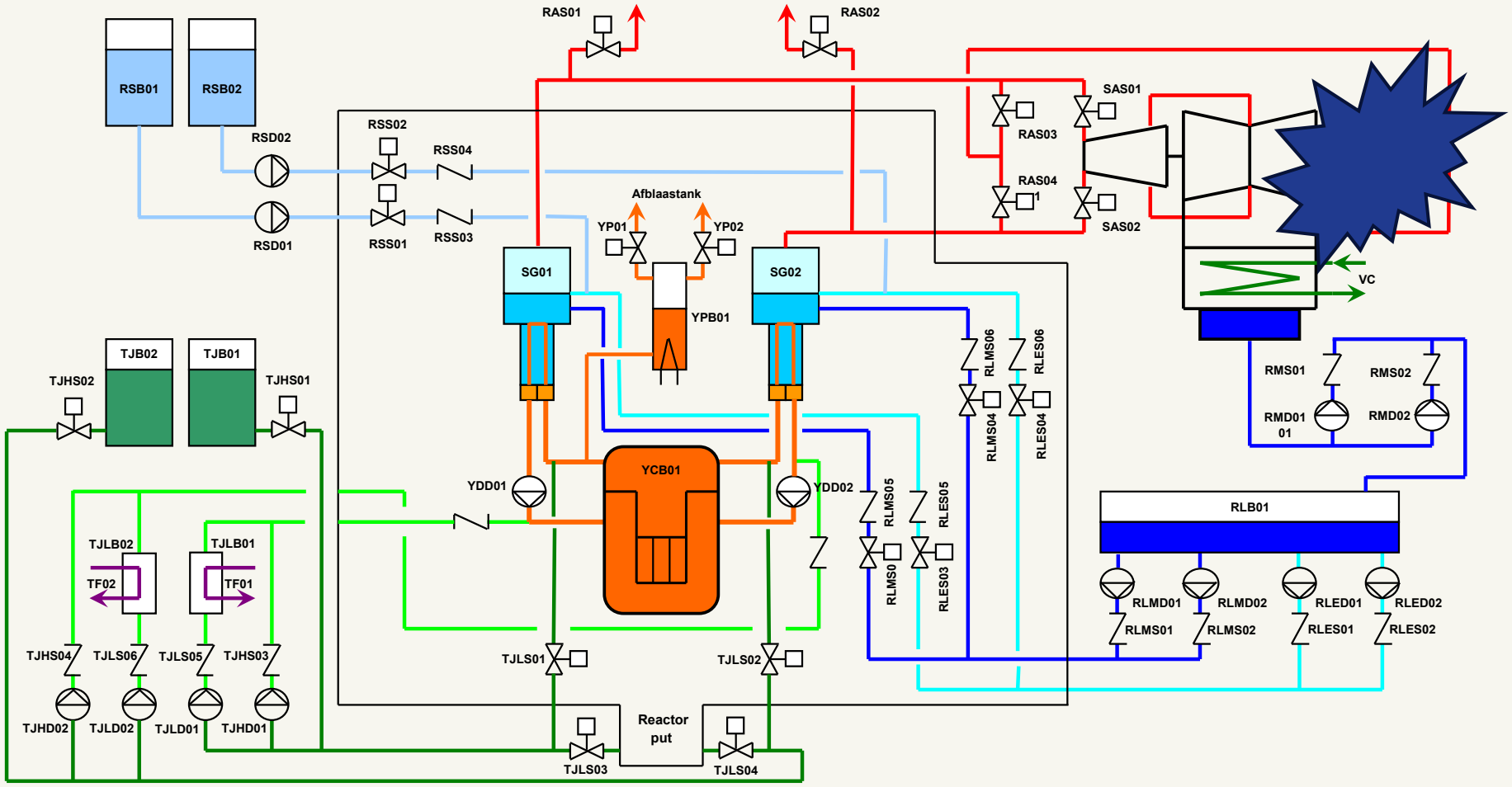
Hoe


Level 1
Level 2
Level 3
IEs
Event tree N
21
22
32
42
52
6
IE
Event tree 2
9
IEs
Event tree 1
1
2
3
4
5
6
Ok
Ok
Ok
Ok
Grouping
PDSs
1
2
3
4
5
6
7
Grouping
STC1
STC2
STC3
a
STC4
b
STC5
X
c
STC6
Containment Event Trees
RCs
RC1
RC2
RC3
RC4
RC5
RC6
Grouping
Dispersion & consequence model
Cosyma,
MACCS2,
NUDOS2
Fault trees
Failure system X
Failure system Y
Decomposition Event Trees
Z
a
a
Falen systeem Y
Probability per year
1,0E-05
1,0E-06
1,0E-07
1,0E-08
1,0E-09
1,0E-10
1,0E-11
10
100
1000
10000
Number of fatalities
Societal risk not acceptable
Societal risk acceptable
IEs : Initiating events
PDSs : Plant damage states
STCs : Source Term Categories
RCs : Release categories

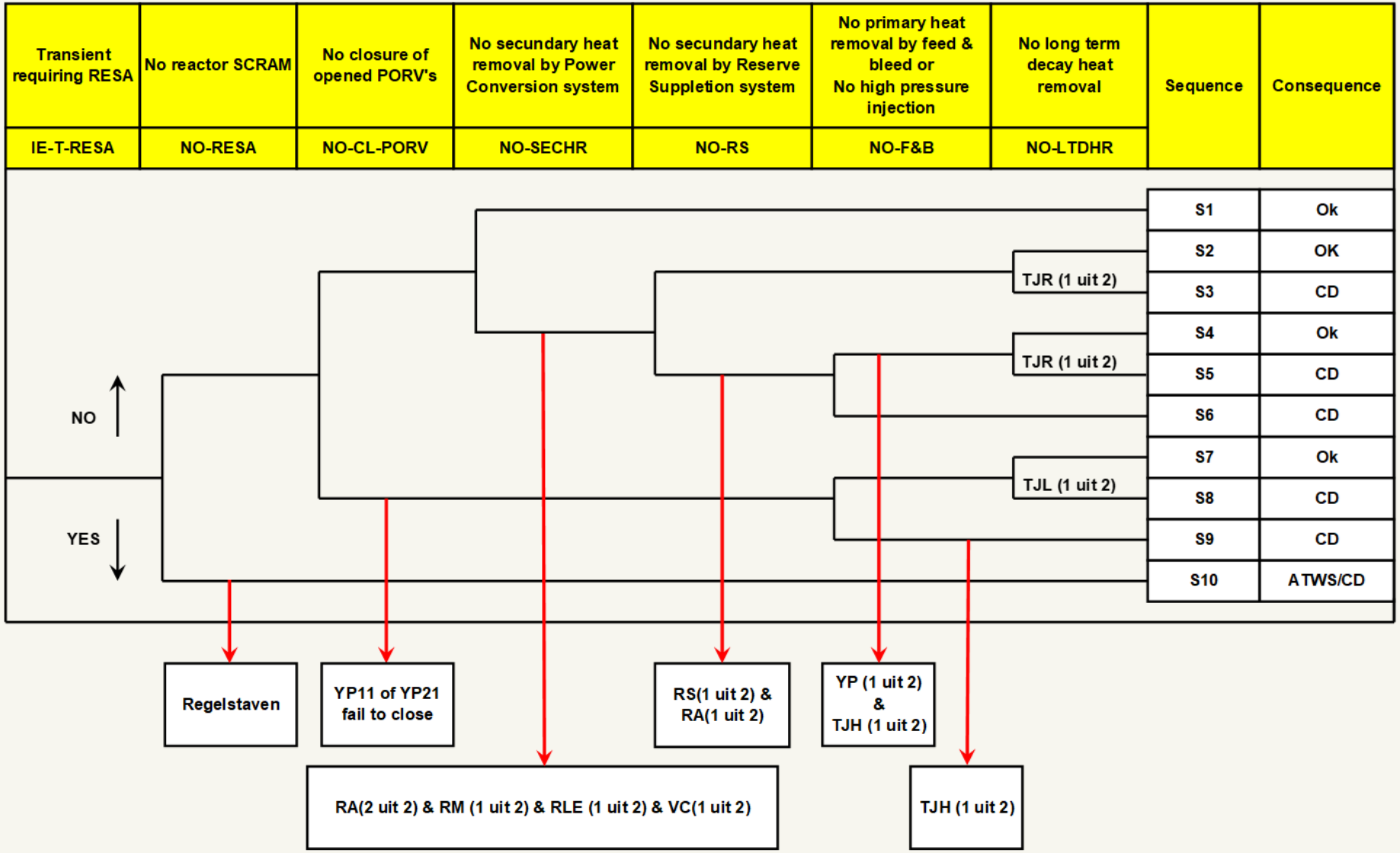
Hoe: Level 1 PSA



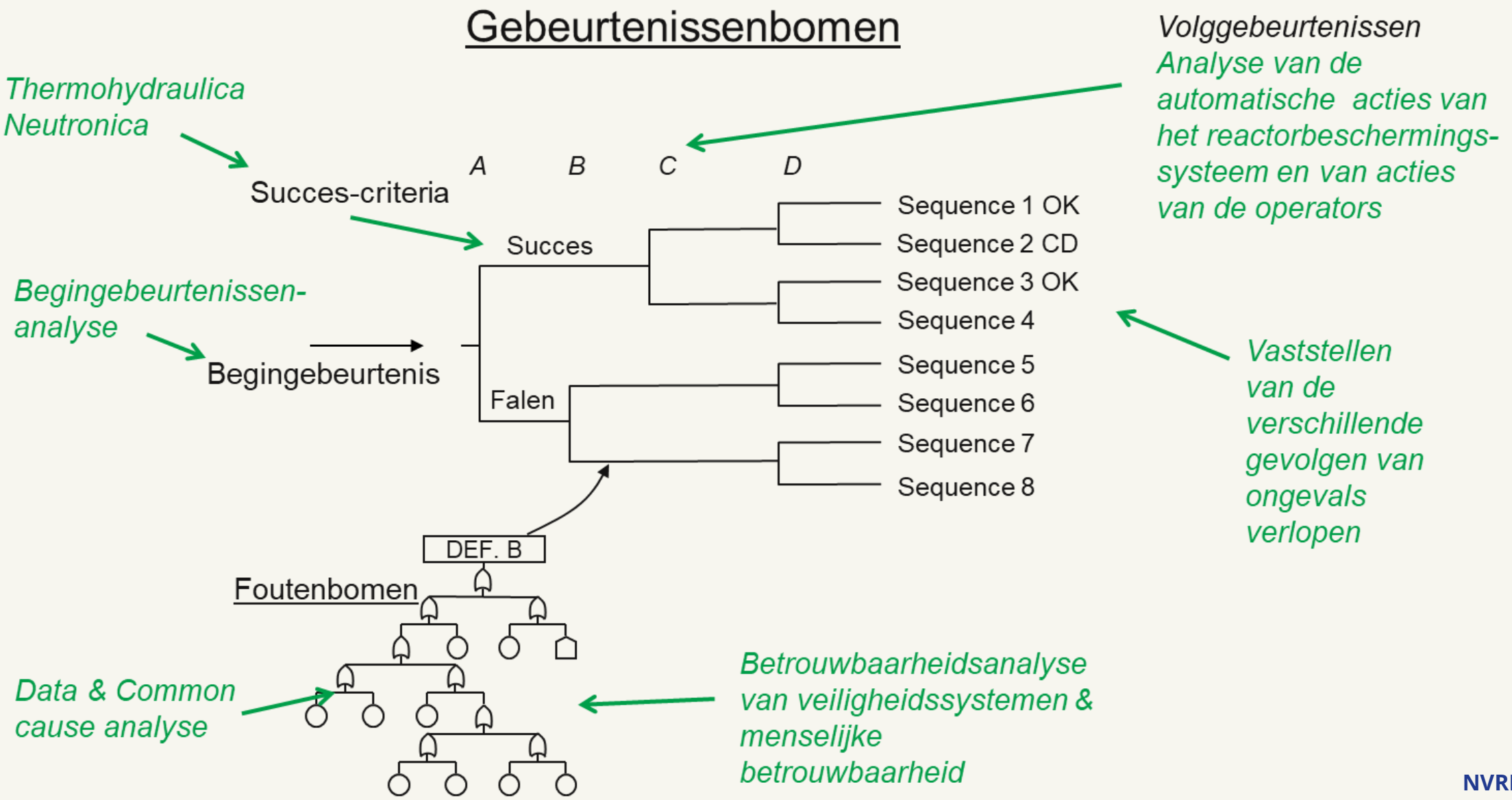
Hoe: Level 1 PSA



Hoe: Level 1 PSA



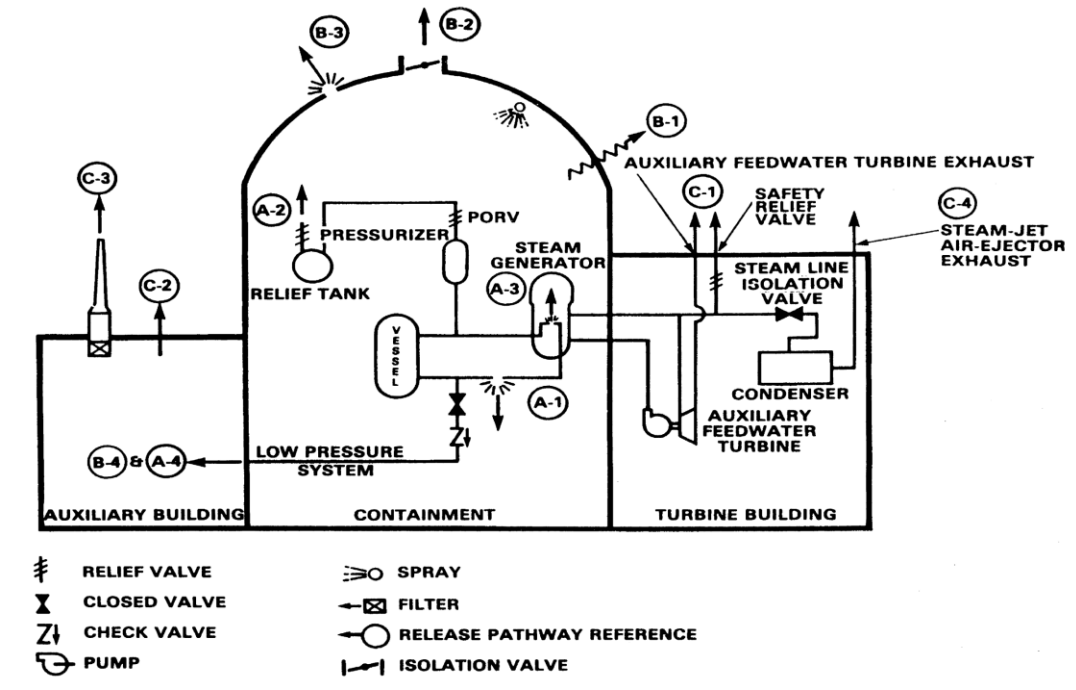
Hoe: Level 1 PSA



Hoe: Level 2 PSA

Voor alle plant damage states uit de PSA niveau 1:

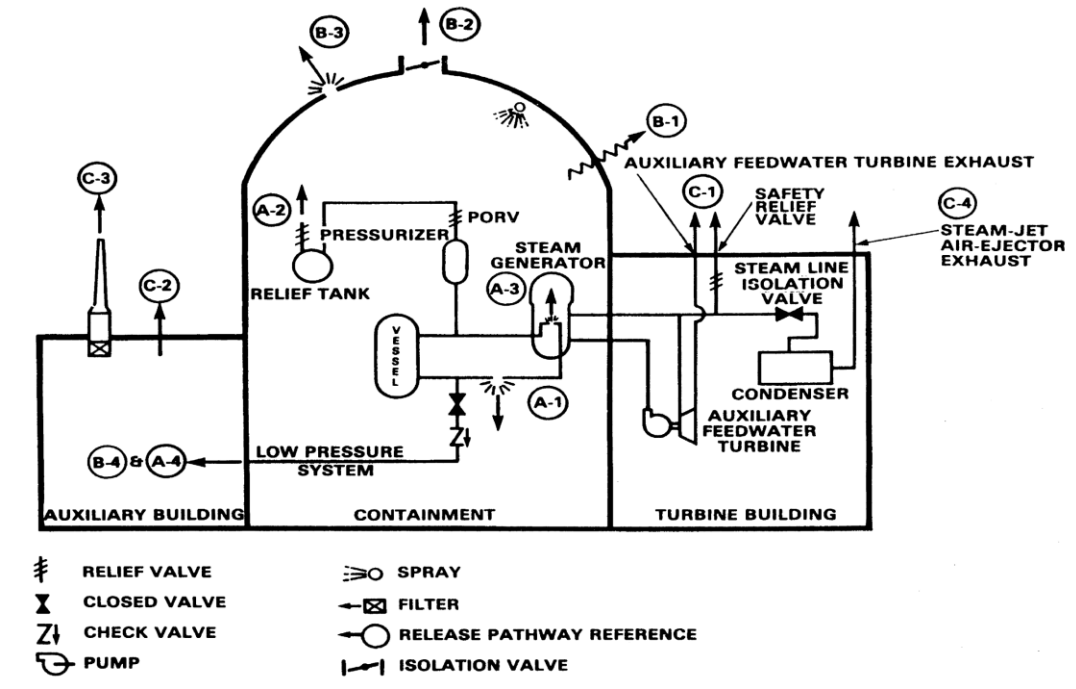
Reken uit hoeveel radioactieve stoffen vanuit de beschadigde splijtstof door de diverse barrières dringen en zich over de diverse reactorsystemen verspreiden. Hoeveel komt vrij in de buitenlucht?



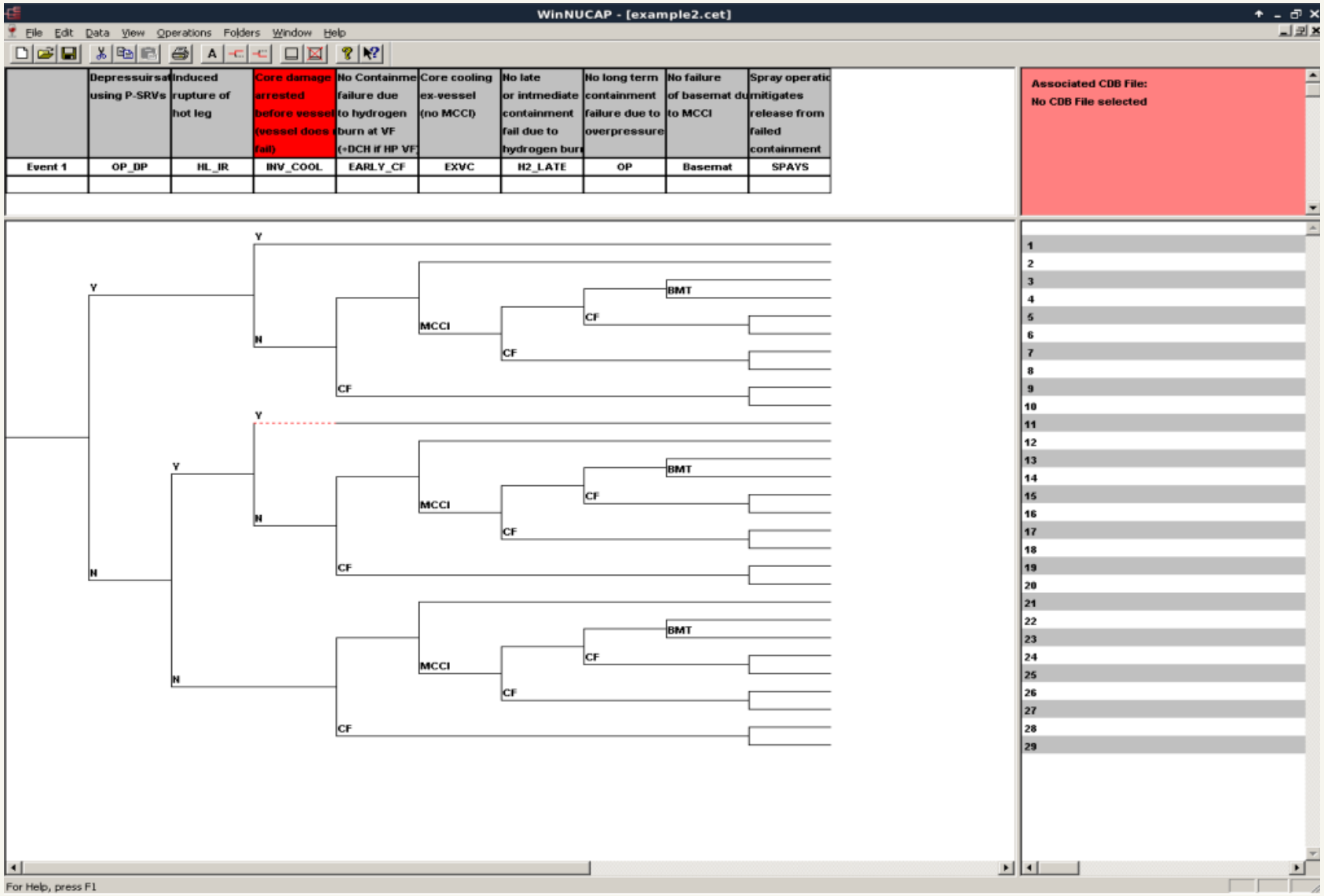
Hoe: Level 2 PSA

APET opgebouwd uit een aantal tijdstappen. De tijdstappen zijn gebaseerd op kenmerkende gebeurtenissen in het ongevalsverloop :

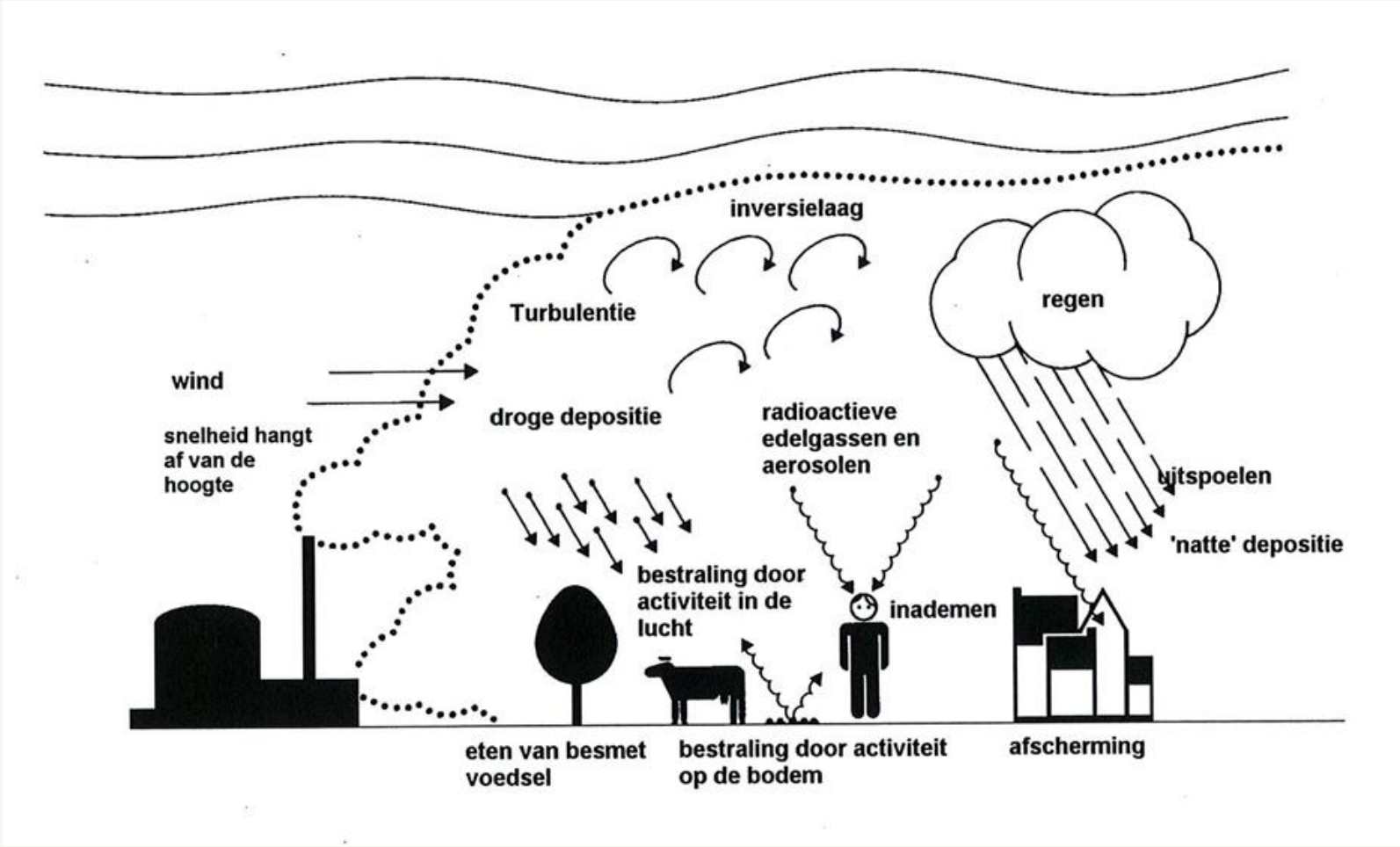
- *Heel vroeg*: tussen CD en falen van vat
  - Scheuren van het primaire ssyteem, H_2, herstel koeling
- *Vroeg*: rondom vat falen
  - Vatexplosie, DCH, H_2
- *Tussen*: Kern-beton interactie en druk opbouw in containment door “ex vessel” processen
  - MCCI, H_2
- *Laat*: na falen containment



Hoe: Level 2 PSA



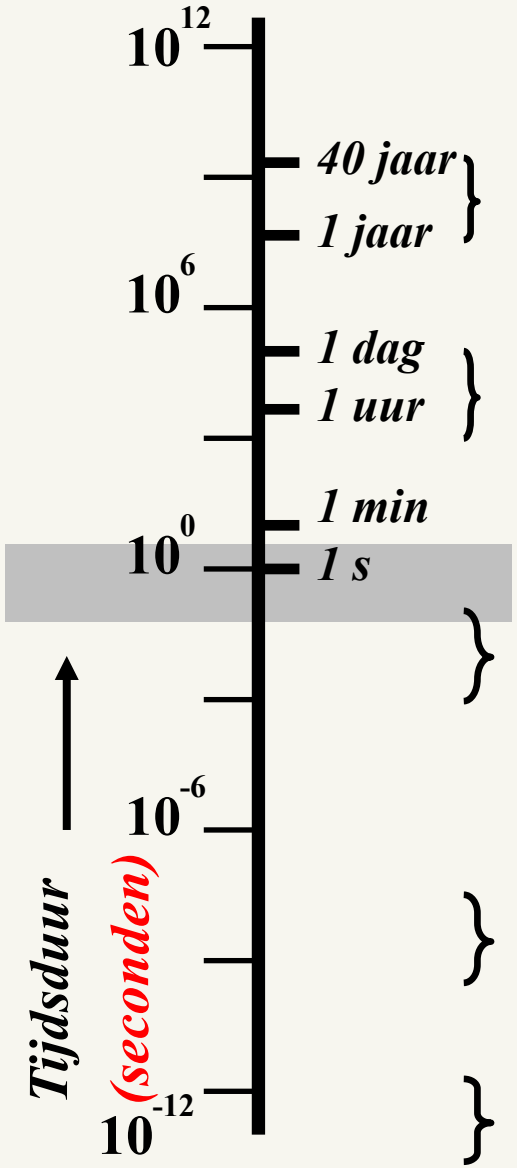
Hoe: Level 3 PSA



Hoe: Level 3 PSA

Tijdsduur tussen bestraling en effect

- VROEGE of ACUTE EFFECTEN
- LATE EFFECTEN



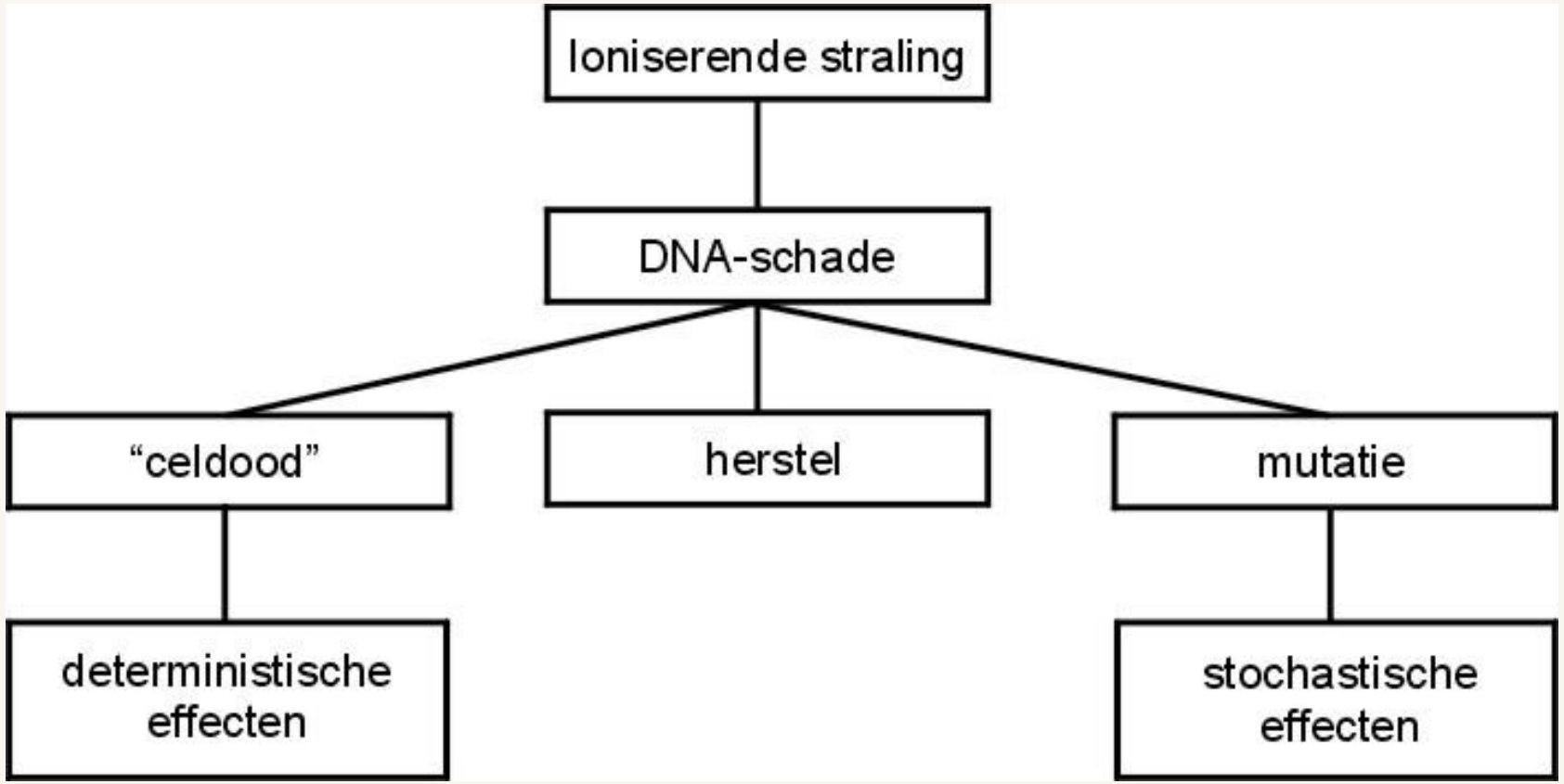
Late effecten

Vroege (acute) effecten

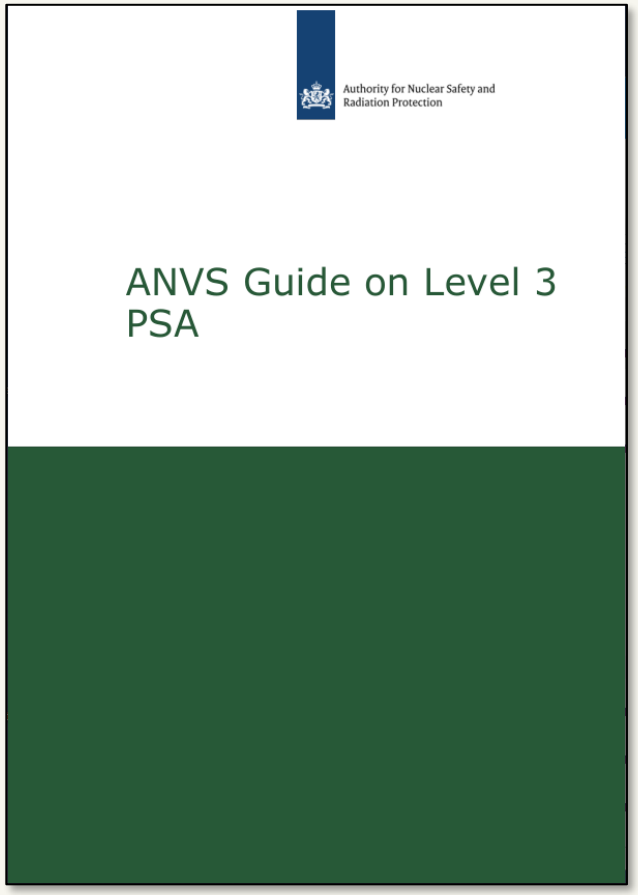
Chemische reacties tussen radicalen en moleculen → chemische beschadigingen

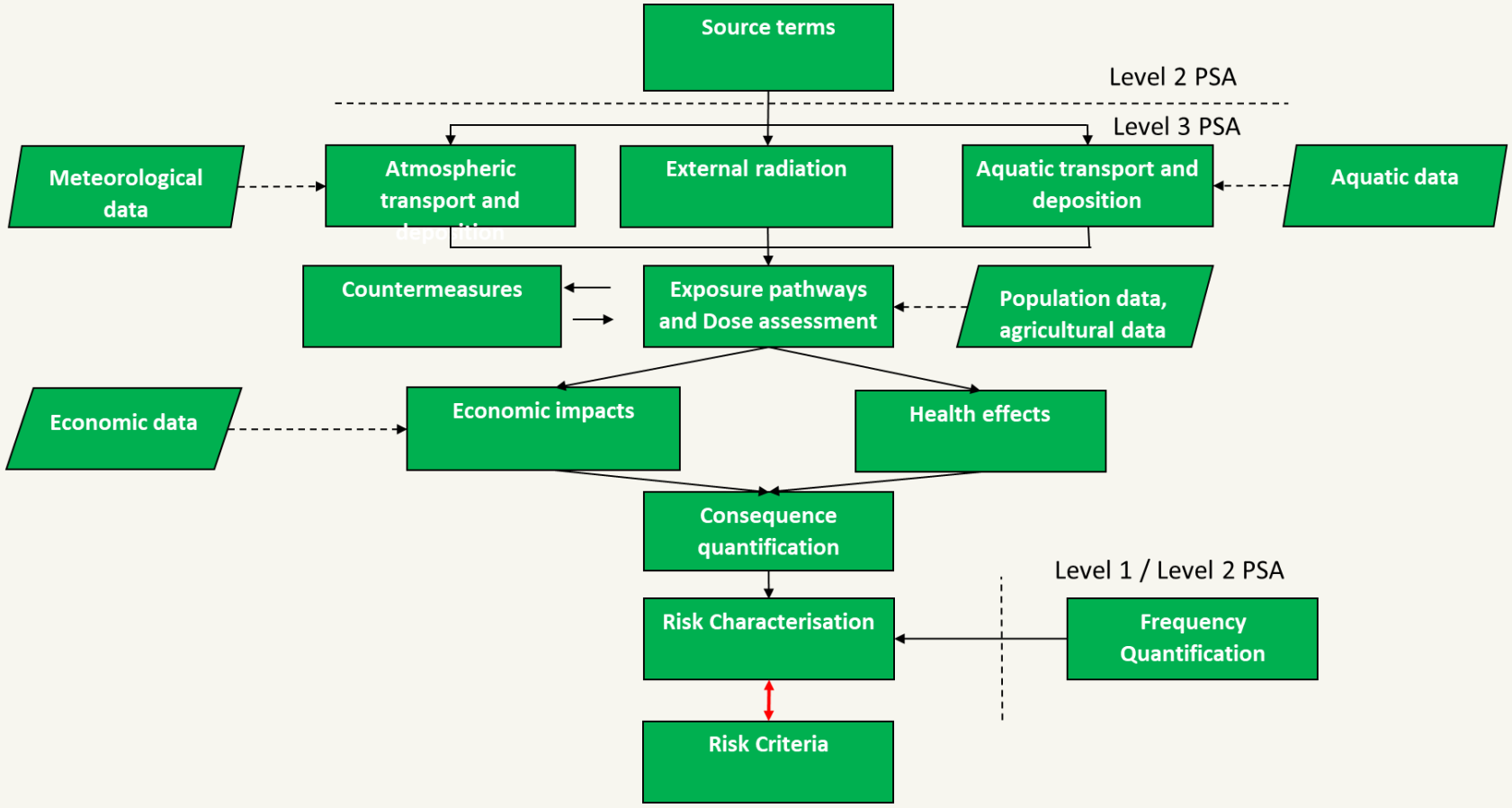
Herverdeling binnen getroffen molecuul

Hoe: Level 3 PSA



Hoe: Level 3 PSA





Waar



In the Netherlands, there are six sites that house nuclear facilities, which involve a range of applications

1 High Flux Reactor and other facilities Petten

Research reactor
Commissioned: 1961
Licensee: Nuclear Research and Consultancy Group

2 Urenco Almelo

Uranium enrichment facility
Commissioned: 1973
Licensee: Urenco

3 Higher Education Reactor Delft

Research reactor
Commissioned: 1963
Licensee: Reactor Institute Delft (RID)

4 Nuclear Power Plant Dodewaard

In safe enclosure

Nuclear power plant
Commissioned: 1969 Shutdown: 1997
Licensee: Joint Nuclear Power Plant Nederland

5 COVRA Nieuwdorp

Central Organisation for Radioactive Waste
Commissioned: 1982
Licensee: COVRA

6 Nuclear Power Plant Borssele

Nuclear power plant
Commissioned: 1973
Licensee: EPZ

Waarvoor nog meer:...

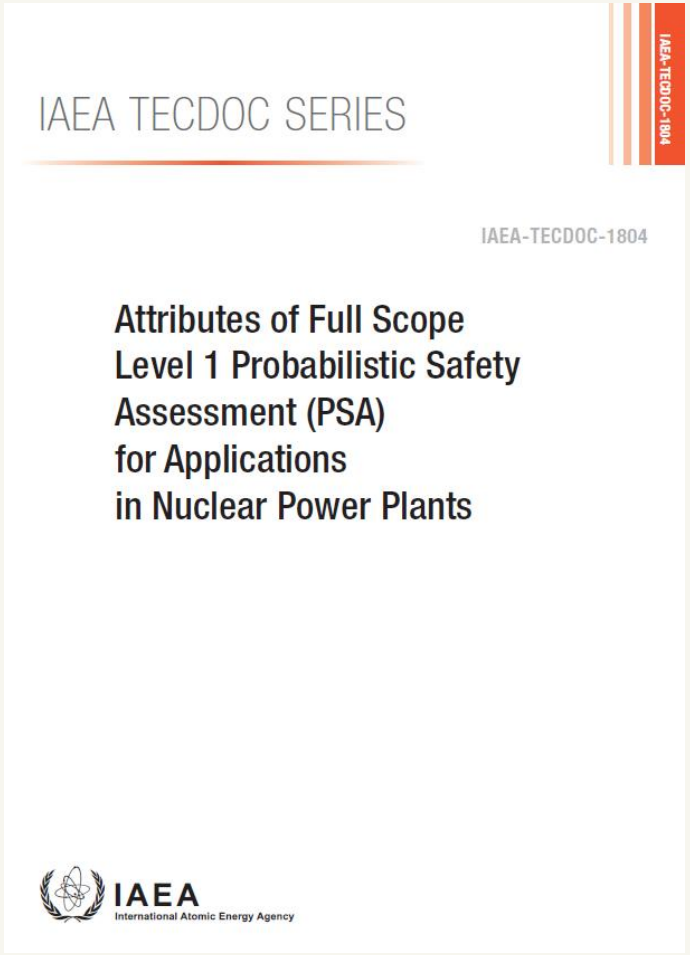
Kwalitatief

- 1-ste orde / lage orde minimale deelverzamelingen: single point of failure
- Componenten van 1 type of 1 systeem in een minimale deelverzameling
- Meerdere menselijke fouten in een minimale deelverzameling
- Componenten, handelingen etc. in minimale deelverzamelingen in zelfde locatie
- Componenten in minimale deelverzameling met identiek onderhoud

Kwantitatief

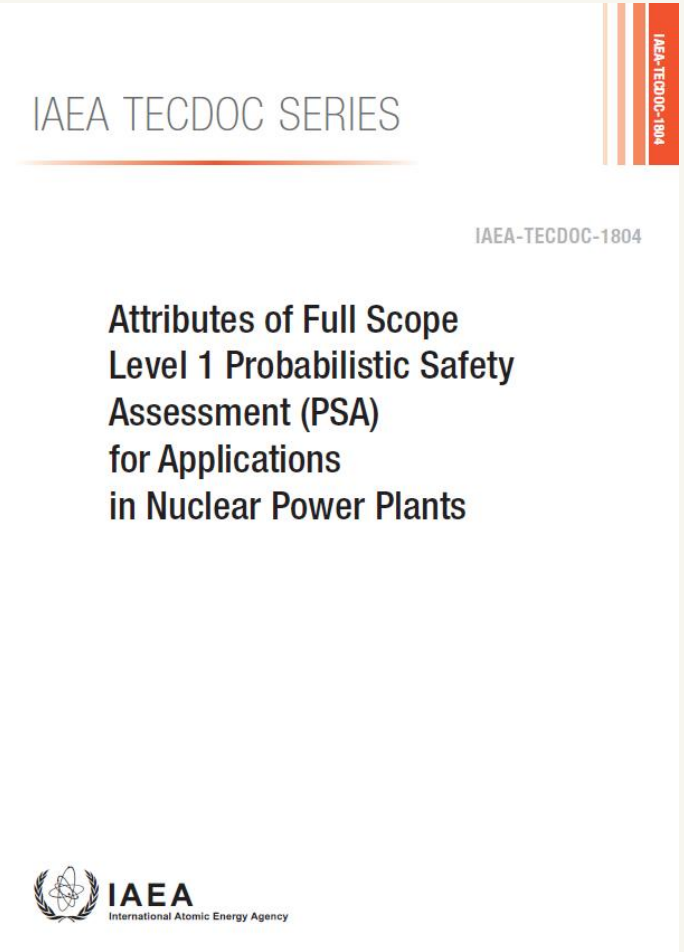
- Importance measures like: Fussel-Vesely importance, Risk Reduction Worth, Risk Achievement Worth, Birnbaum Importance
- Onzekerheid

Waarvoor nog meer:…



1. **Safety assessment:** to assess the overall safety of the plant and to develop an understanding of the main contributors to risk.
2. **Design stage:** to provide support for design improvements during the design and pre-operational state.
3. **NPP operation:** to provide support for day-to-day operation of the plant (not including permanent changes to design or operational practices).
4. **Permanent changes to the operating plant:** to assess the safety significance of proposed permanent changes to the plant systems, structures and components or administrative controls (e.g. operating procedures, the licensing basis) as an aid to decision making.
5. **Oversight activities:** to support plant performance monitoring and assessment (both regulatory and industry).
6. **Evaluation of safety issues:** to evaluate the significance of safety issues.

Waarvoor nog meer:…



Importance measures: Fussel-Vessely, RAW, RRW

Core damage frequency

Conditional core damage probability

Dominant scenarios

10-yearly evaluations

Waarvoor nog meer: optimalisatie

