



Robuustheid van kerncentrales, historie en ontwikkelingen

Mario van der Borst, KIVI Den Haag, 30 November 2018

Inhoud

- Vooraf
- Korte cursus kernenergie en de risico's
- Risico analyse in kernenergie: deterministisch en probabilistisch
- Voorbeelden van robuustheid verbeteringen
- Conclusie

Vooraf: Engelse titel: Resilience

- terugveerelasticiteit ; veerkracht ; vermogen in de zin van verend vermogen ; verend vermogen ; herstellingsvermogen ; marge
- Maar ook: op alles voor bereid zijn ; robuust ; voorbereid op het onverwachte
- **Hier : robuustheid!**

Warmte uit Atoomkernen

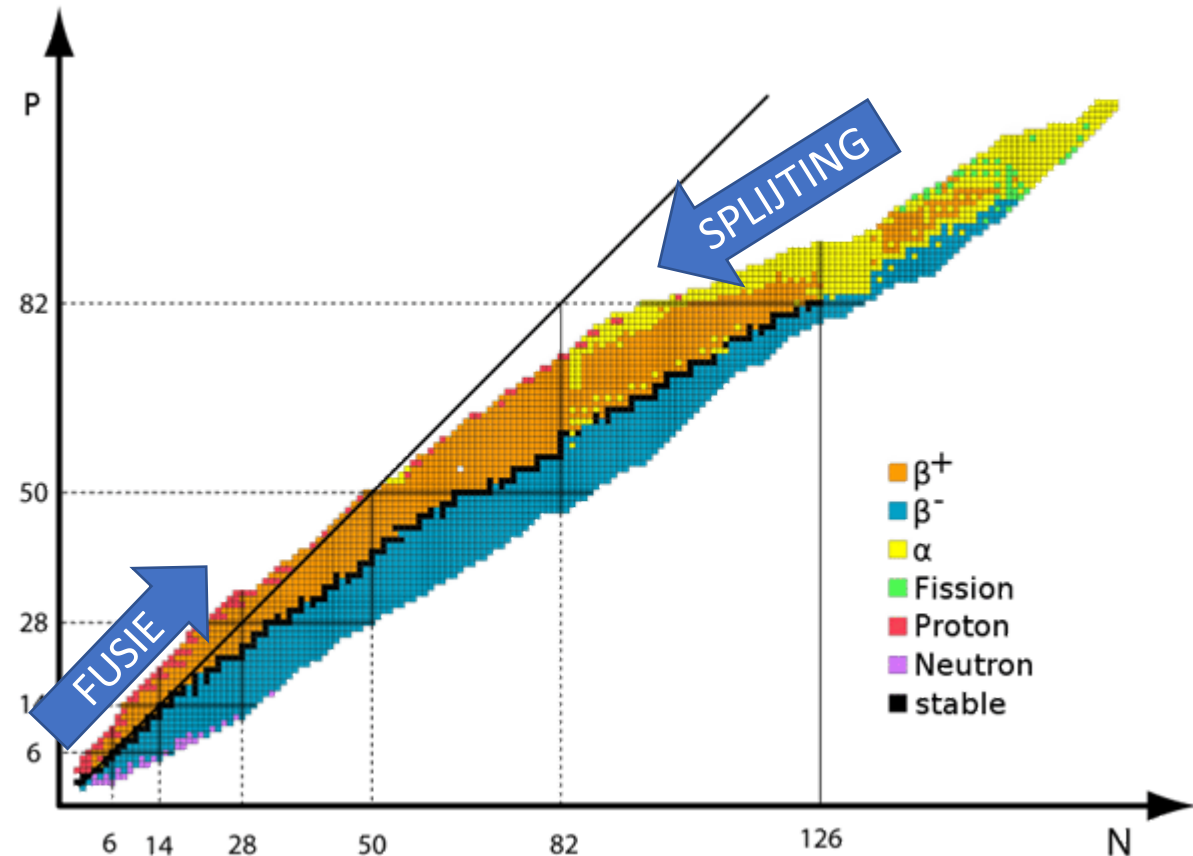
$$E=mc^2$$

Kernfusie

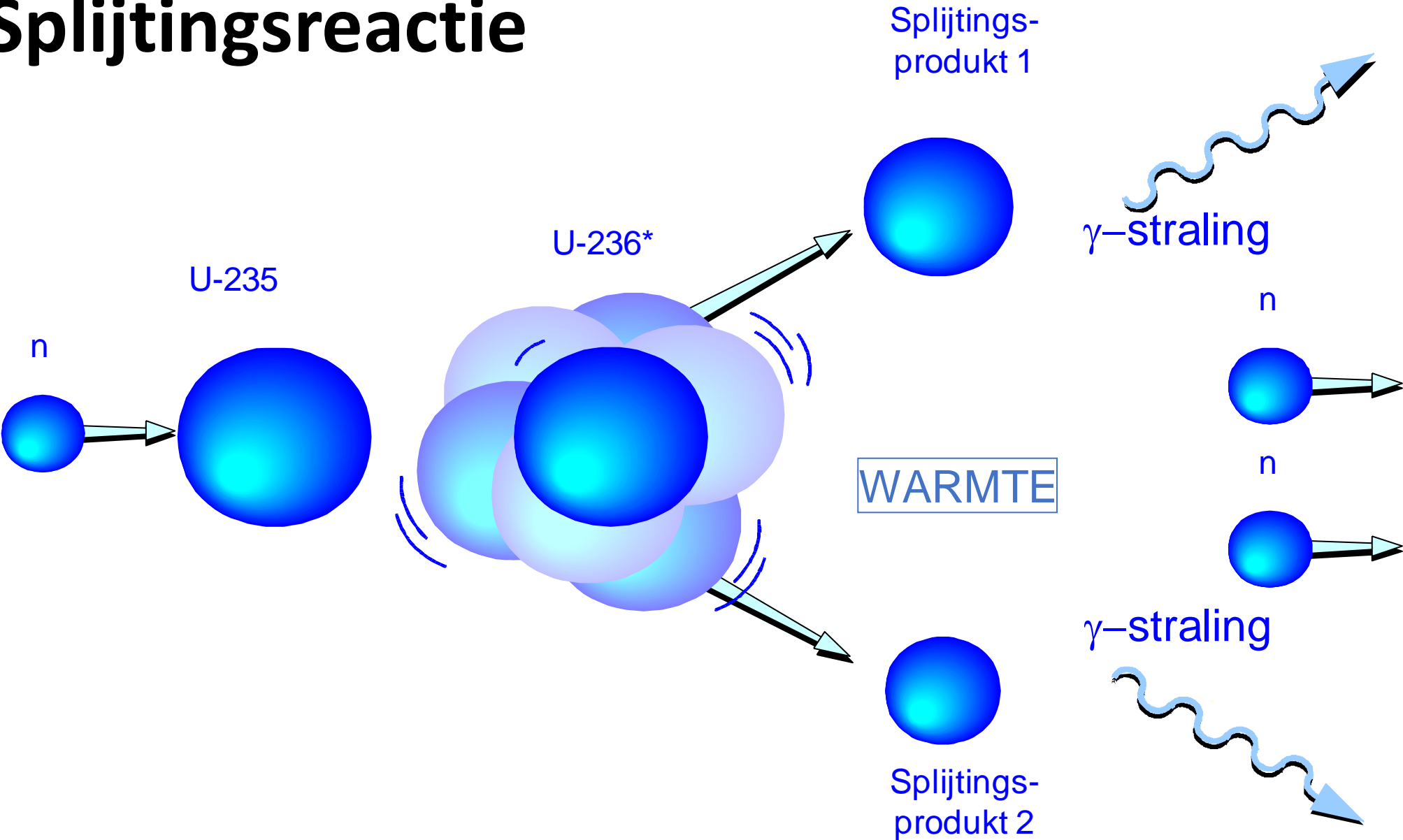
- Kleine kern naar groter
- Hoge druk en temperatuur
- Energie bron van sterren

Kernsplijting

- Grote kernen naar klein
- Kritische massa nodig
- 2 mogelijke isotopen:

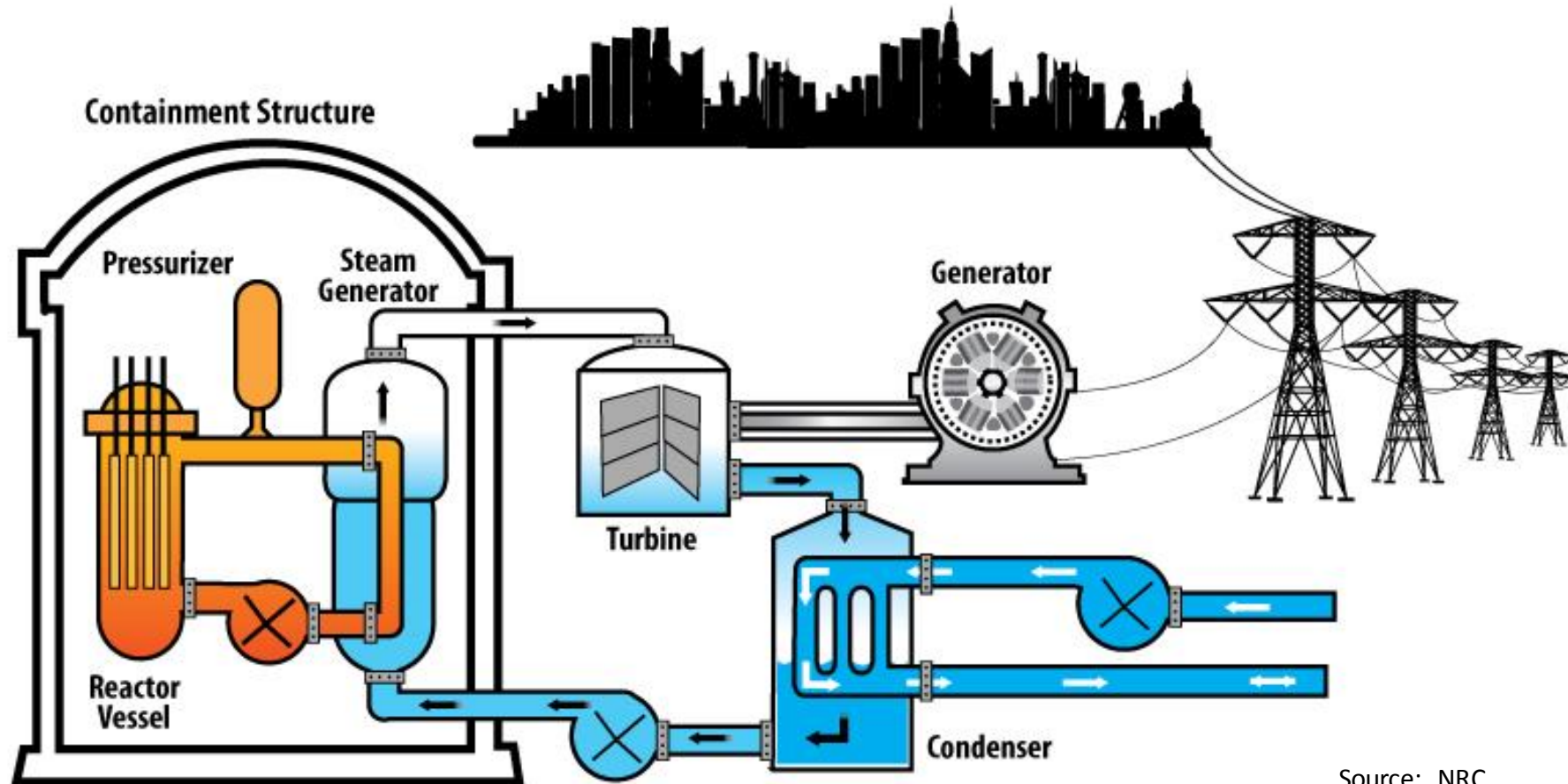


Splijtingsreactie



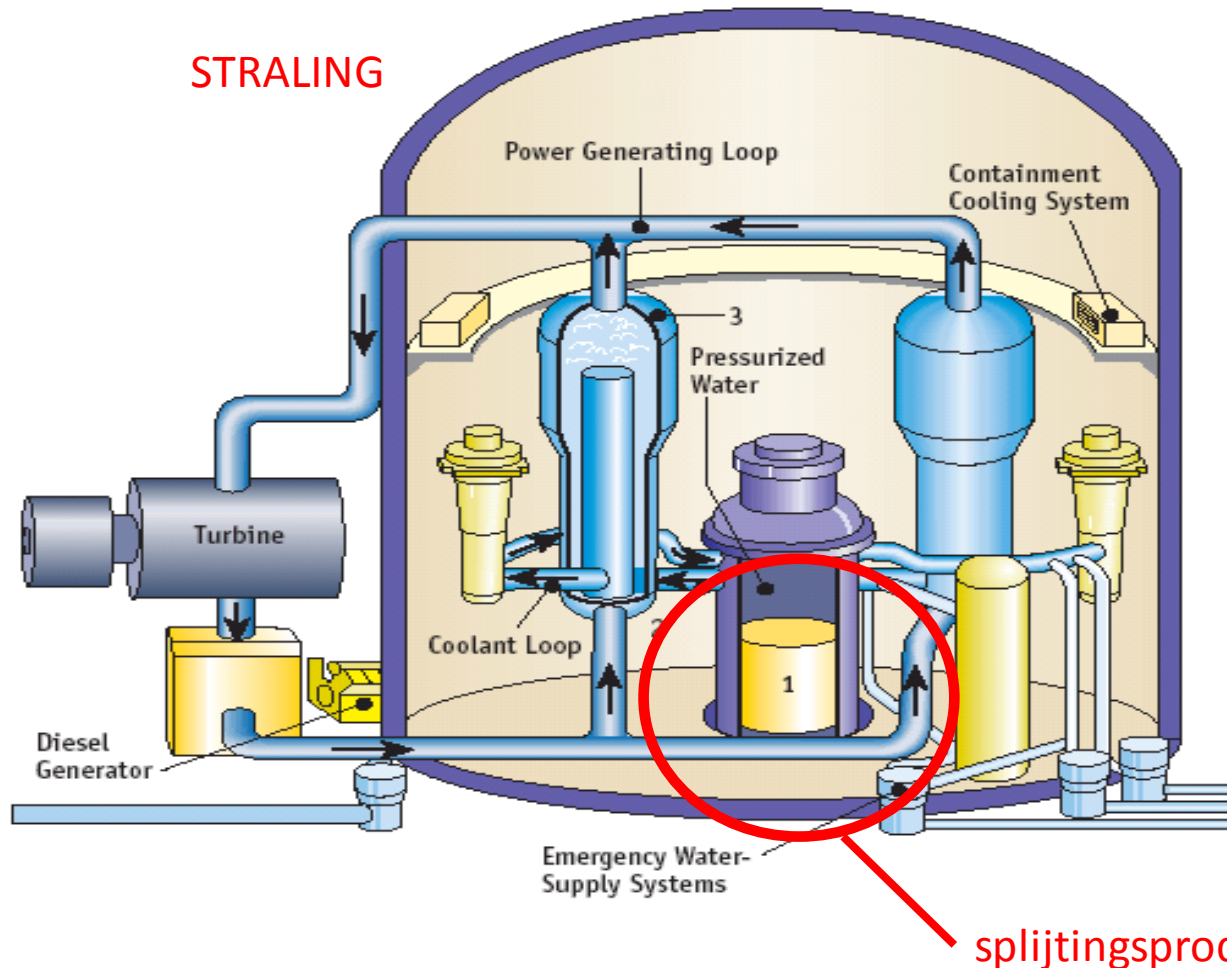
De warmte kun je omzetten in een Kerncentrale

The Pressurized-Water Reactor (PWR)



Source: NRC

Waar zit het risico?



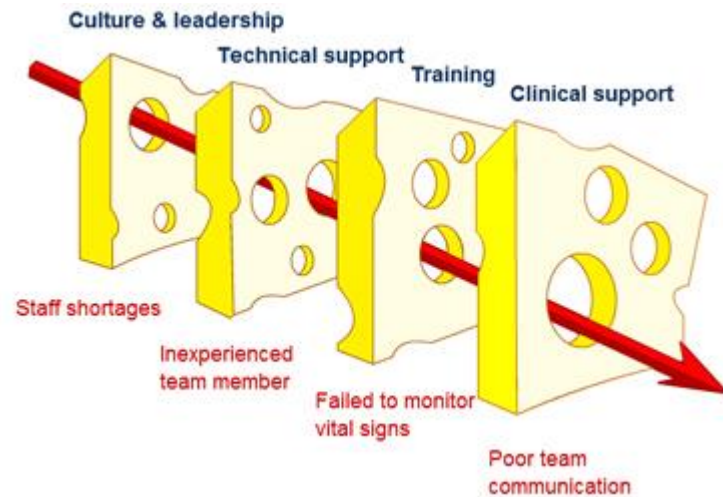
- Normale straling naar omgeving en lozingen op water en lucht zijn verwaarloosbaar klein
- Dit is ook zo tijdens storingen en beheerste ongevallen
- Daardoor kan risicoanalyse zich concentreren op niet beheerste ongevallen en op de reactorkern

Lozingen (lucht en water)

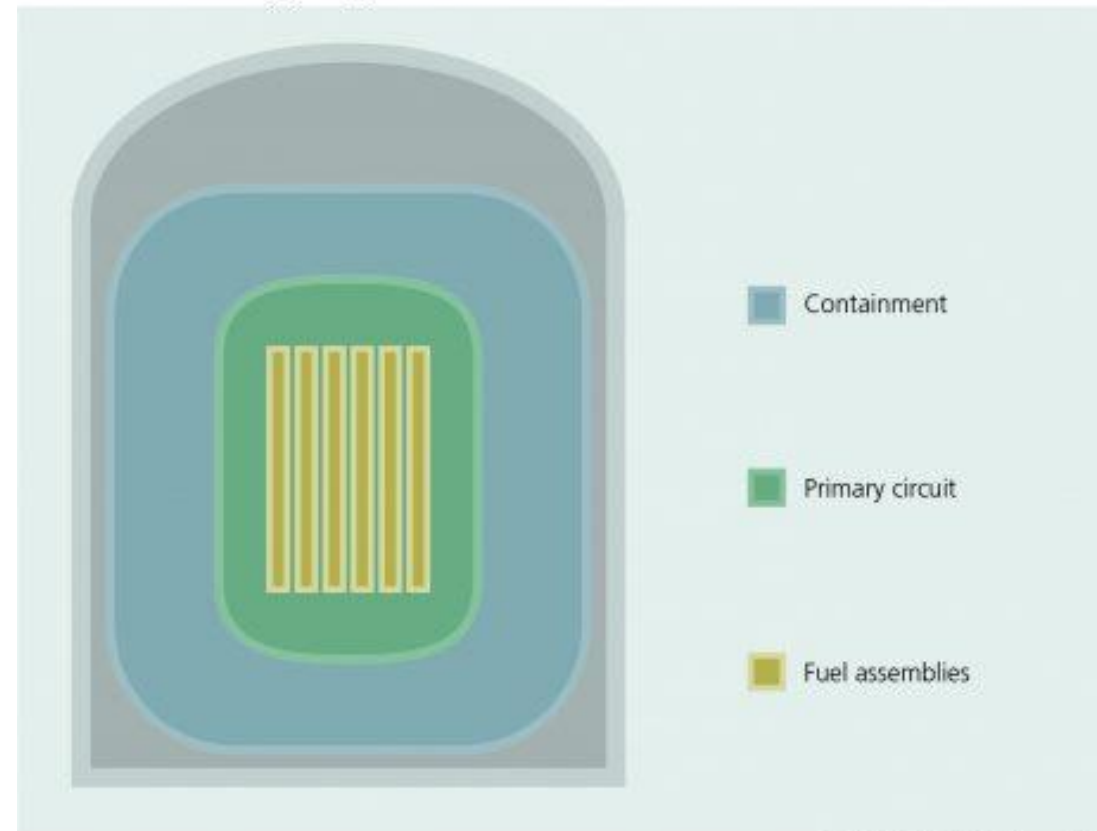
splijtingsproducten

Oorspronkelijke ontwerp-beginselen

- Barrière concept
- Zwitserse kaas
- Marge
- Fail safe
- Single failure proof



Barriers for trapping radioactive substances



Graphic: KEYSTONE, Source: ENSI

Risico analyse

Deterministisch

- Structurele analyse
- Breukmechanica
- Procestechiek
- Seismische analyse
- Thermohydraulica
- Twee-fase stroming
- Reactorfysica
- Bronterm analyse
- Stralingsfysica
- Corrosie techniek
- Stralingsveiligheid
- I&C
- Etc.
- DESIGN BASED ACCIDENT (GAU)

Complementair

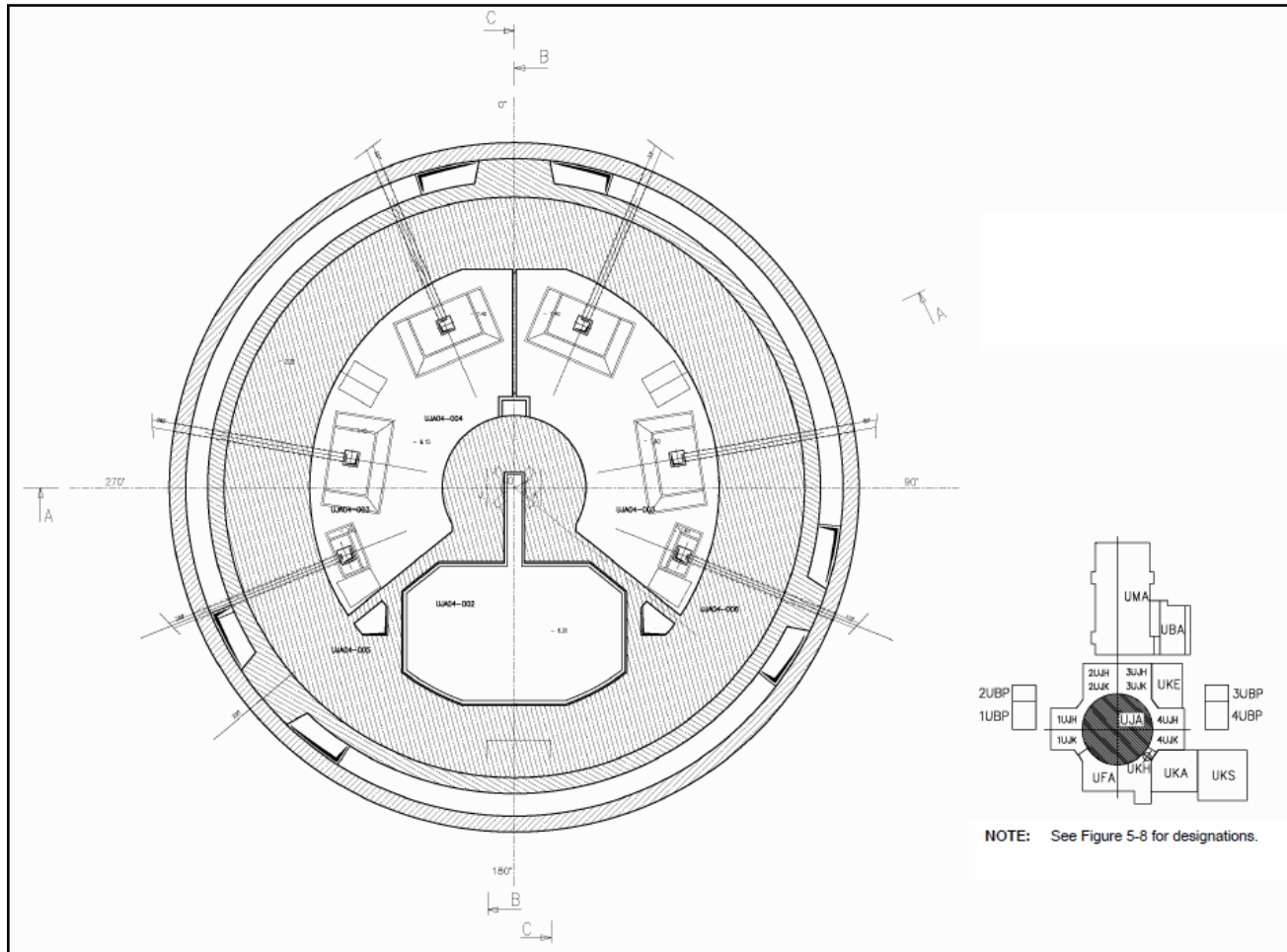
Probalistisch

- Combinatie van foutenboom- en gebeurtenisboom-technieken
- Top gebeurtenis kan zijn:
 - Level 1: Kernschade
 - Level 2: kans op grote brontermen
 - Level 3: Risico voor de omgeving
- Doel is:
 - Begrijpen van koppelingsverschijnselen (afhankelijkheden)
 - Ranking van faalmogelijkheden
 - en daarmee prioriteit bepalen
 - En minder het bepalen van het totale risico
- Speciale aandacht voor:
 - Human failure (Omission and commission)
 - Common Cause failures
 - Seismic PSA
 - Gedrag van een gesmolten kern
 - Verspreiding van het radioactief materiaal (binnen en buiten)

Wat heeft de complementaire analyse opgeleverd?

- Verbetering van de robuustheid van nieuwe en oude kerncentrales
 - Nieuwe: door betere ontwerpen
 - Oude: door back-fitting en learning organization
 - Tienjaarlijkse evaluatie van ontwerp en bedrijfsmethoden (TOPA)
 - Benchmarking (WANO en IAEA)
 - Zelfevaluatie
 - Storingsonderzoek
 - Internationale uitwisseling van ervaringen

Ruimtelijke scheiding



- Verdediging tegen brand, interne explosies en –overstroming
- Verdediging tegen externe explosie en vliegtuigongeval
- Verdediging tegen corrosieve atmosfeer, lekkages, etc.
- Meegenomen in nieuwste ontwerpen: EPR, AP1000, ESBWR, ABWR, APR1400, VVER1200, Hualong One
- Backfitting in NL, B, G en CH.

Design Extension Systemen



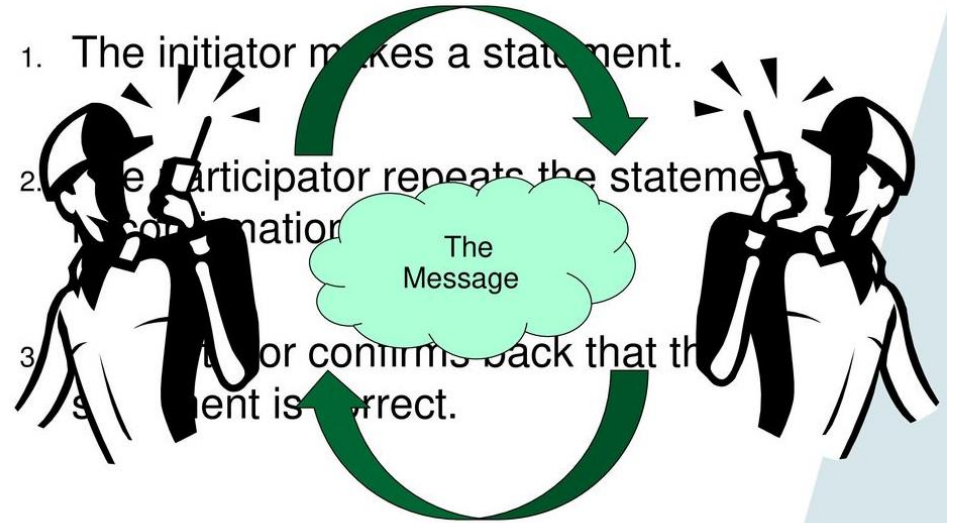
- Kleine diverse systemen
- Lagere kwaliteitsklasse
- Maatregel tegen stochastische, en ruimtelijke CCF en zeer zeldzame externe gebeurtenissen
- In nieuwe ontwerpen: EPR, AP1000
- Backfitting: NL, CH, B

Human Performance Tools

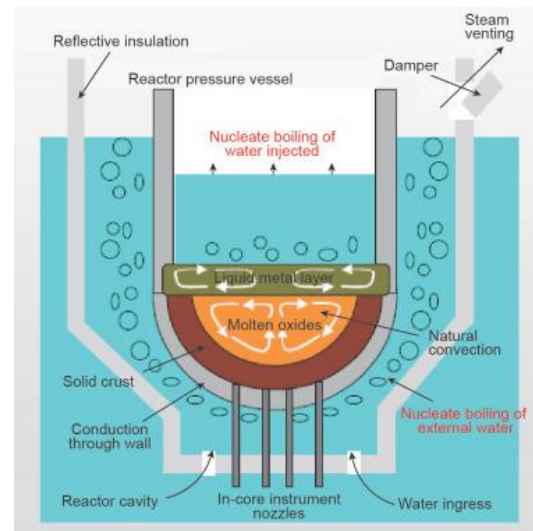
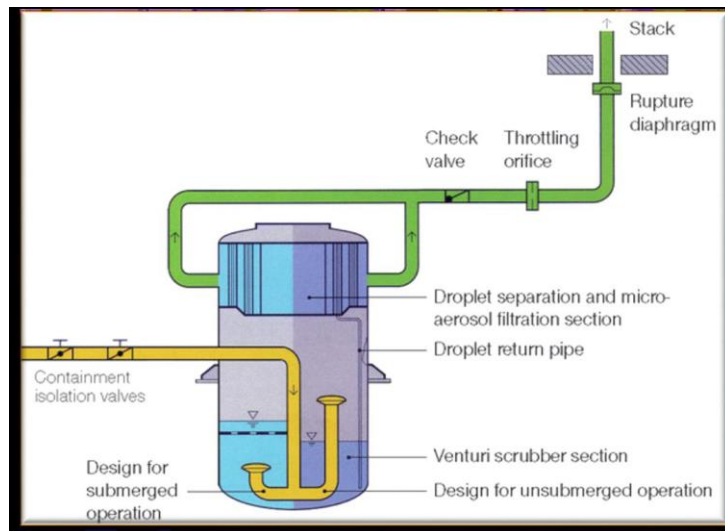
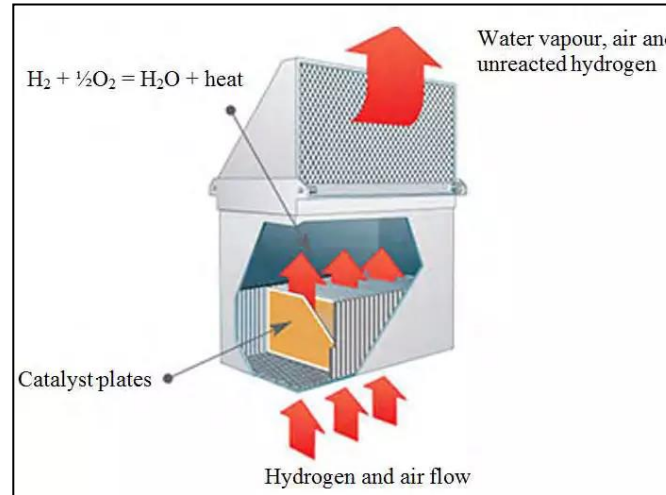
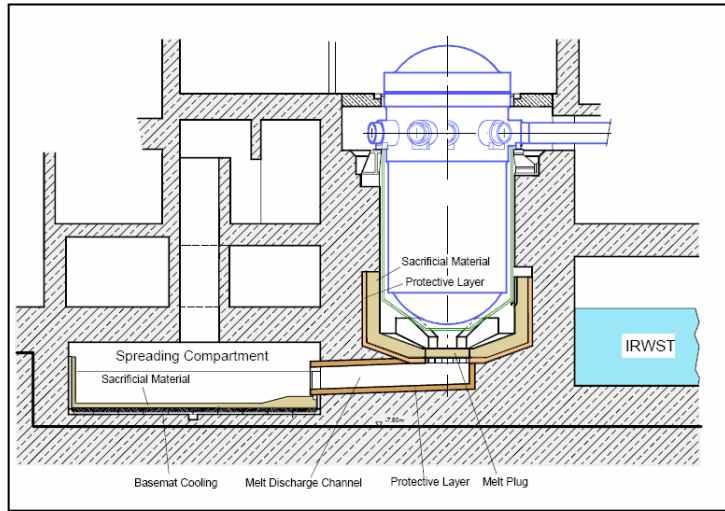
- Toolbox meeting
- Pre-job-Brief
- Peer checking
- 3-way communication
- Fonetisch alfabet
- Maintenance simulator
- STAR
- Questioning attitude
- Performer Centered Coaching

3 Way Communication

1. The initiator makes a statement.
2. The participant repeats the statement for confirmation.
3. The initiator or confirms back that the statement is correct.



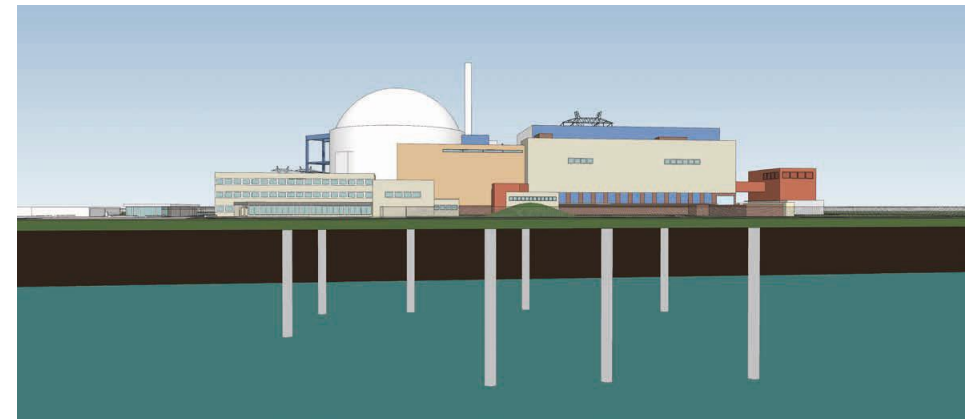
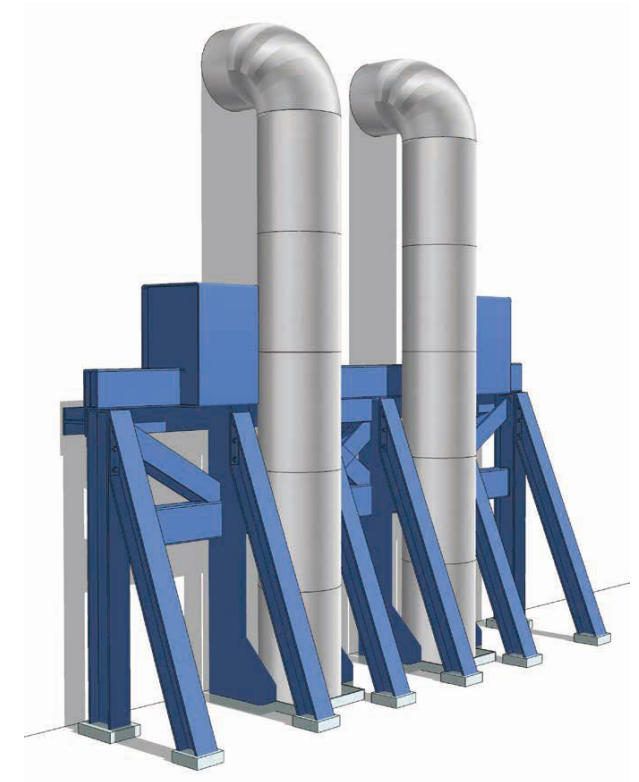
Accident Management Systemen



	New	Backfit
Core catcher	Y	N
H ₂ recombiner	Y	Y
Containment venting	Y	Y
In-vessel arrest	Y	Y
Containment monitoring	Y	Y
Environment monitoring	Y	Y

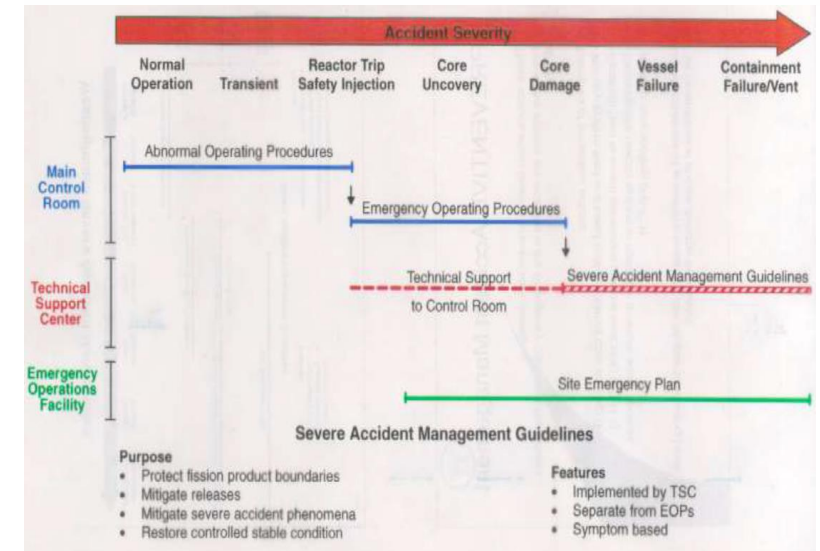
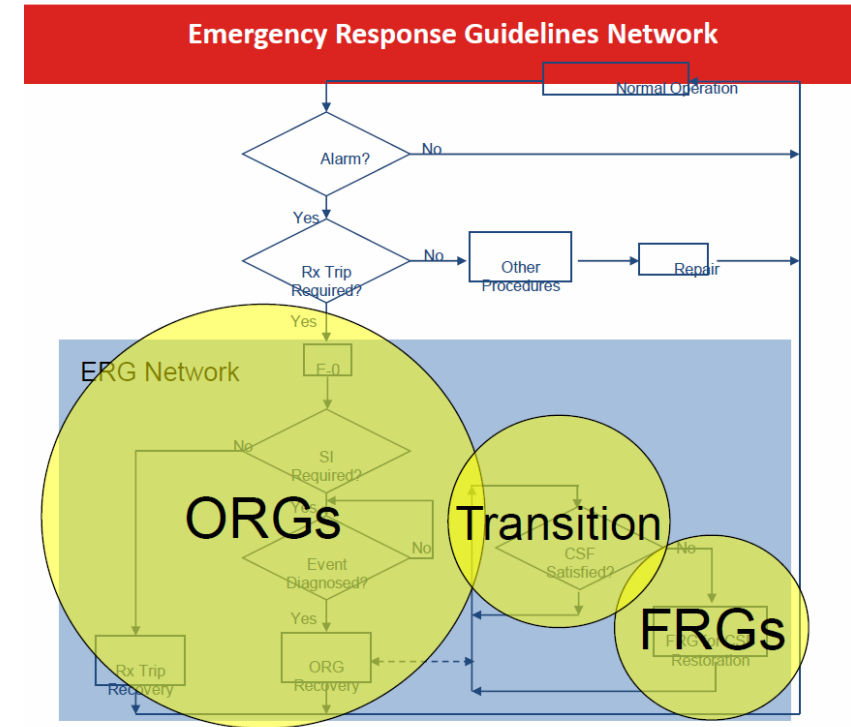
Uitbreiding Ongevalsspectrum

- Verlies van elektriciteitsnet en noodroomsystemen
- Verlies van all voedingswater
- Aardbevingen
- Vliegtuigongeval
- Gasexplosie
- Extreem zeldzame overstroming
- Meerdere dagen afgesloten van de buitenwereld



Ongevals management

- Training
- Simulator
- Symptom based emergency procedures
- Two sets of complementary emergency procedures (ORG and FRG)
- Two independent teams
- Communication model
- Extended with SAMG (third team in other room)



Conclusie

- Nucleaire wereld heeft geleerd van ongevallen, maar vooral van veiligheidsanalyses
- Dit heeft geresulteerd in structurele oplossing, welke meerdere problemen afdekken
- Waardoor de ontwerpen (oud en nieuw) robuuster zijn