

FACHGESPRÄCH 2017

Deterministische Unfallanalysen zu ausgewählten mitigativen Notfallmaßnahmen

Dr. Alexander Kerner, Dr. Thomas Steinrötter, Michael Kowalik, Horst Löffler

Einführung (1)

- Bewertung der Sicherheit der laufenden KKW und der Wirksamkeit von mitigativen Notfallmaßnahmen für ein breites Spektrum von möglichen Ereignissen (Stör- und Unfälle) ausgehend vom Normalbetrieb
- Aktuelle Arbeiten auf dem Gebiet der Simulation von Stör- und Unfallszenarien
 - Berechnungen von radioaktiven Freisetzungen infolge von Unfallszenarien
 - Berechnungen für das H₂-Management im Reaktorgebäude außerhalb des Sicherheitsbehälters
 - **Bewertung der Wirksamkeit von Notfallmaßnahmen, die in deutschen KKW nach den Unfällen in Japan eingeführt wurden**
 - Wiederholte Bewertung der Wirksamkeit von Notfallmaßnahmen, die in deutschen KKW vor den Unfällen in Japan eingeführt wurden
- Ergebnisse in diesem und dem nächsten Vortrag

Einführung (2)

- Für die Bewertung der Wirksamkeit von Notfallmaßnahmen (NFM) führen wir deterministische Analysen durch
- Betrachtet werden die mit dem Rechencode MELCOR erzielten Ergebnisse für eine DWR-Referenzanlage für den Unfallablauf
 - „langfristiger Station Blackout“
- Dieser Unfallablauf wird analysiert
 - mit den Notfallmaßnahmen, wie diese bis zu den Unfällen in Japan vorlagen und
 - zusätzlich mit ausgewählten Notfallmaßnahmen, die nach den Unfällen in Japan umgesetzt wurden
- **Ziel der Untersuchung:** quantitative Aussagen zur Wirksamkeit der verbesserten Notfallstrategien bei DWR

Einführung: ausgewählte Notfallmaßnahmen und Notfallstrategien

- Maßnahmen des anlageninternen Notfallschutzes und Nachrüstungen bis zu den Unfällen in Japan:
 - **Primär- und sekundärseitiges Druckentlasten und Bespeisen**
 - **Gefilterte Druckentlastung des Sicherheitsbehälters (SHB)**
- Nach den Unfällen in Japan implementierte Maßnahmen des anlageninternen Notfallschutzes im „Notfallhandbuch“ und Notfallstrategien im neuen „Handbuch Mitigativer Notfallmaßnahmen“ (HMN):
 - **Vorhaltung mobiler Dieseldgeneratoren**
 - Zweite diversitäre primäre Wärmesenke
 - Fest installierte zusätzliche Bespeisungsmöglichkeit für das BE-Lagerbecken für den Anschluss einer mobilen Pumpe außerhalb des SHB bzw. Reaktorgebäudes (RG)
 - Anschaffung zusätzlicher mobiler Pumpenaggregate
 - Nutzung betrieblicher Systeme zur Bespeisung des Reaktorkühlkreislauf nach Druckentlastung

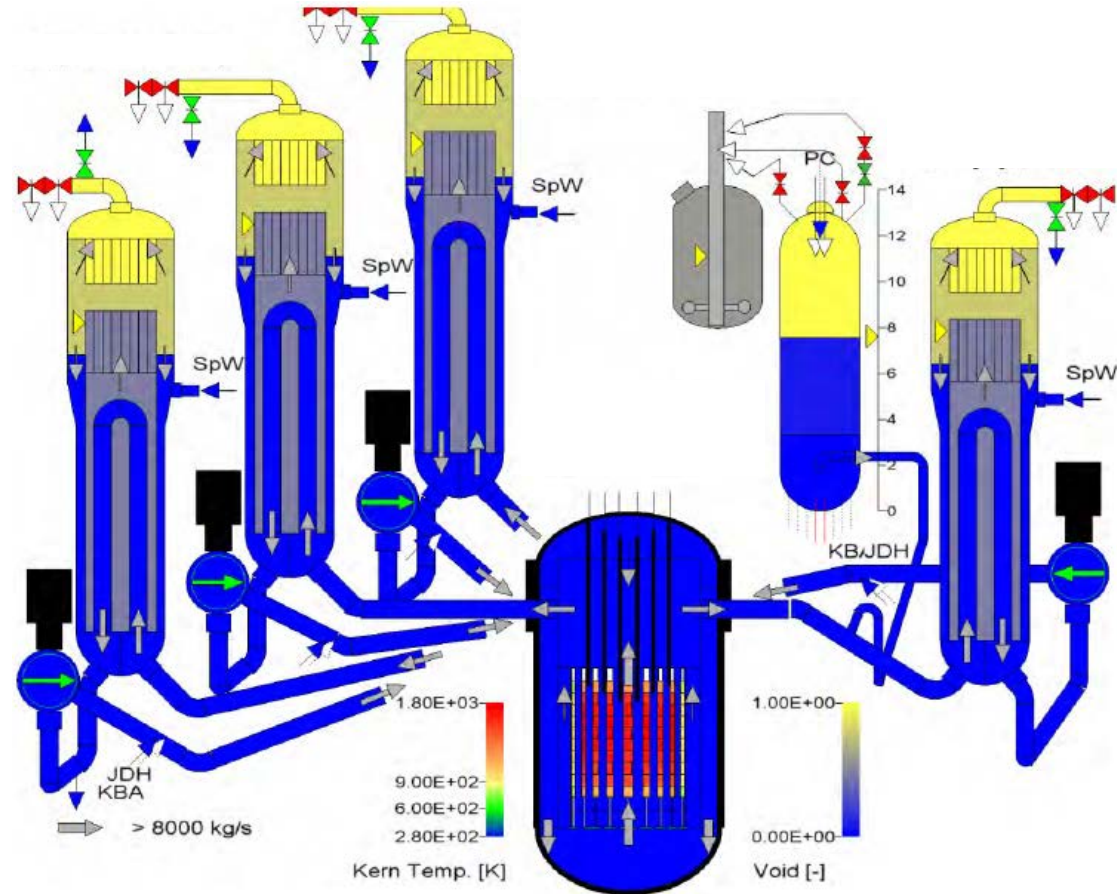
Charakteristische Merkmale des verwendeten Simulationsmodells (1)

Modellierung der Referenzanlage

■ Reaktordruckbehälter und Reaktorkern

- Modellierung der Kerneinbauten, um Veränderung und Zerstörung dieser Strukturen berechnen zu können
- Kernbereich:
 - 5 radiale Ringe
 - 15 axiale Maschen

■ Reaktorkühlkreislauf

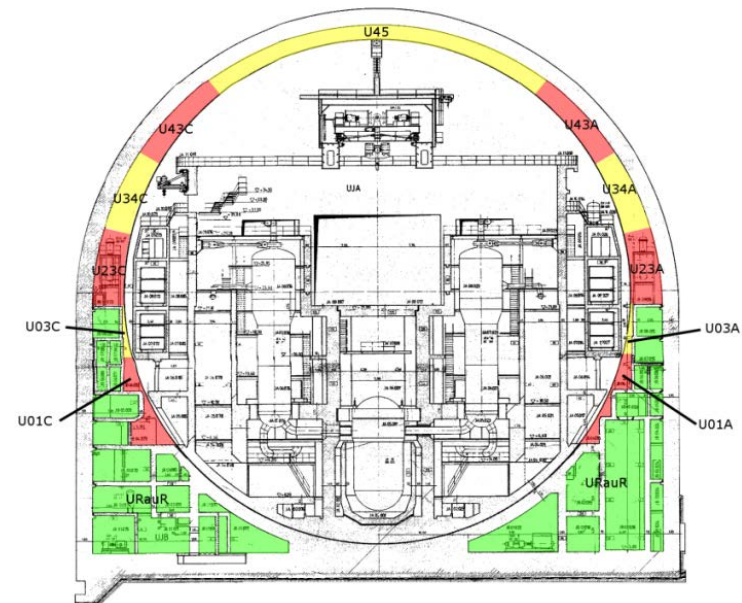
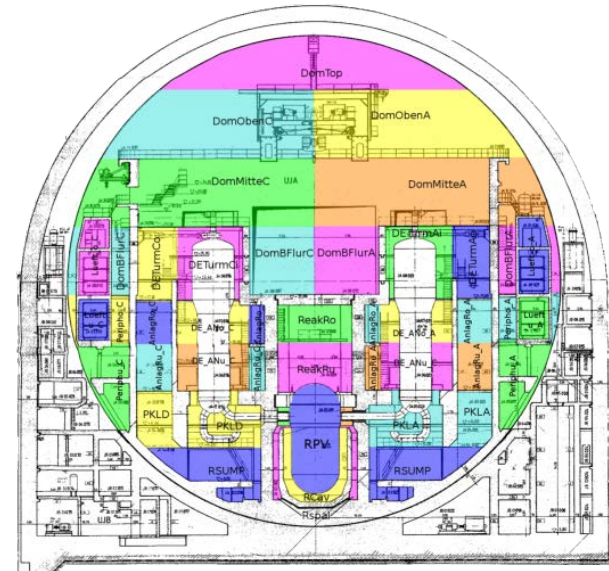


Charakteristische Merkmale des verwendeten Simulationsmodells (2)

Modellierung der Referenzanlage

■ Reaktorsicherheitsbehälter und Reaktorgebäude-Ringraum

- Detaillierte Modellierung um atmosphärische Schichtungs- und Konvektionseffekte annähernd realistisch abbilden zu können
- 58 passive autokatalytische Rekombinatoren (**PAR**) in 37 Räumen nachgebildet
- **Gefilterte Druckentlastung des SHB** (Filtermodell von MELCOR)

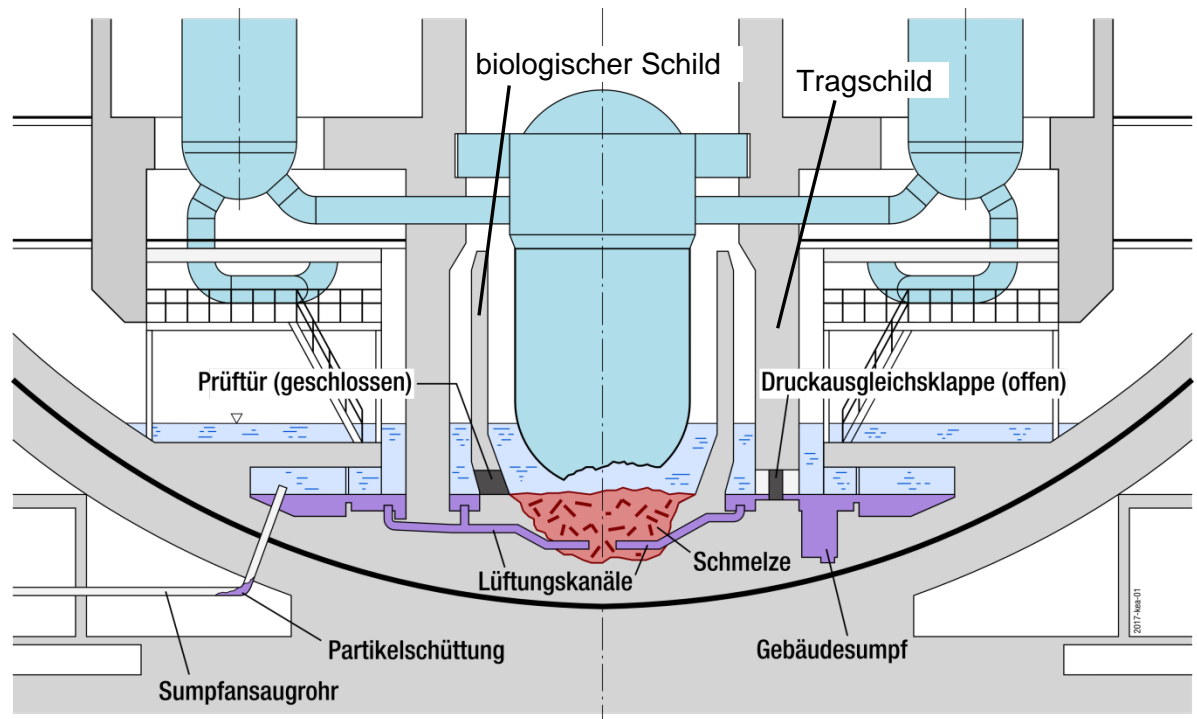


Charakteristische Merkmale des verwendeten Simulationsmodells (3)

Modellierung der Referenzanlage

■ Unterer SHB-Bereich

- Modelliert in 3 Bereiche mit Schmelzeübertrag zwischen den Bereichen
 - Reaktorgrube
 - Ringspalt
 - RSB-Sumpf

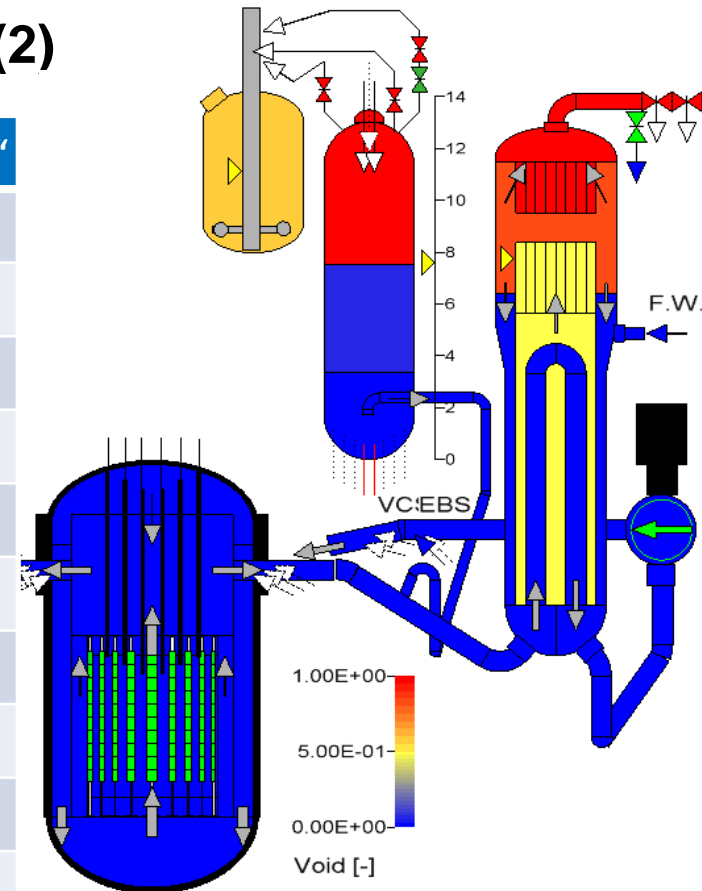


Analysen zum langfristigen Station Blackout (1)

- **Basisfall:** Analyse mit Notfallmaßnahmen (vor den Unfällen in Japan)
 - Sekundärseitige Druckentlastung und passive Bespeisung aus Speisewasserleitung und -behälter
(Annahme: mobile Pumpe zur DE-Bespeisung nicht verfügbar)
 - Primärseitige Druckentlastung und Bespeisung durch Druckspeicher
 - Simulation aller PARs und der gefilterten Druckentlastung des SHB
- **Variante „2mDG“:** zusätzlich präventive Maßnahme des Notfallhandbuchs „2 mobile Notstromdieselgeneratoren verfügbar“
 - 10 h nach Ereignis kann der Kühlkreislauf aus den Flutbecken bespeist werden
 - 4 Pumpen des Zusatzboriersystems (4 x 2 kg/s) und
 - eine Beckenkühlpumpe (175 kg/s bei 5 bar)
 - **Langfristiges Ziel dieser Maßnahme:**
 - Wiederherstellung der Kernkühlung und
 - Übergang in das Kreislaufkühlen mittels einer Beckenkühlpumpe

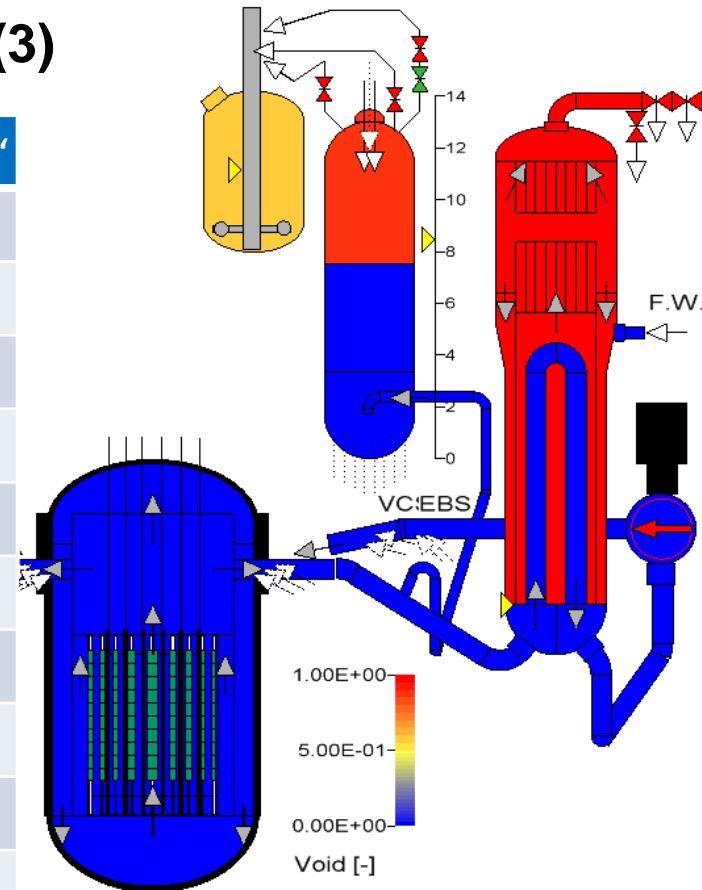
Analysen zum langfristigen Station Blackout (2)

Zeitablauf [h:min:s]	Basisfall / Analyse „2mDG“
Station Blackout	00:00:00
RESA	00:00:04
1. Öffnen SV der DE (FD-Druck > 88,3 bar)	00:00:20
Füllstände DE < 4 m	00:32:00
NFM: Sekundärseitiges Druckentlasten (SDE)	01:10:30
Beginn Nachspeisen aus SpW-Behälter (passiv)	01:41:00
Beginn Einspeisung Druckspeicher	02:25:00
Beginn zyklisches Öffnen DH-Abblaseregelventil	04:25:00
Füllstand RDB < Unterkante Kühlmittelleitung	07:55:00
NFM: Primärseitige Druckentlastung (PDE)	07:55:00
Beginn Kernfreilegung	07:58:00
Vollständige Kernfreilegung	08:05:00
Beginn Brennelementschäden	08:15:00
Ende Druckspeichereinspeisung	09:28:00



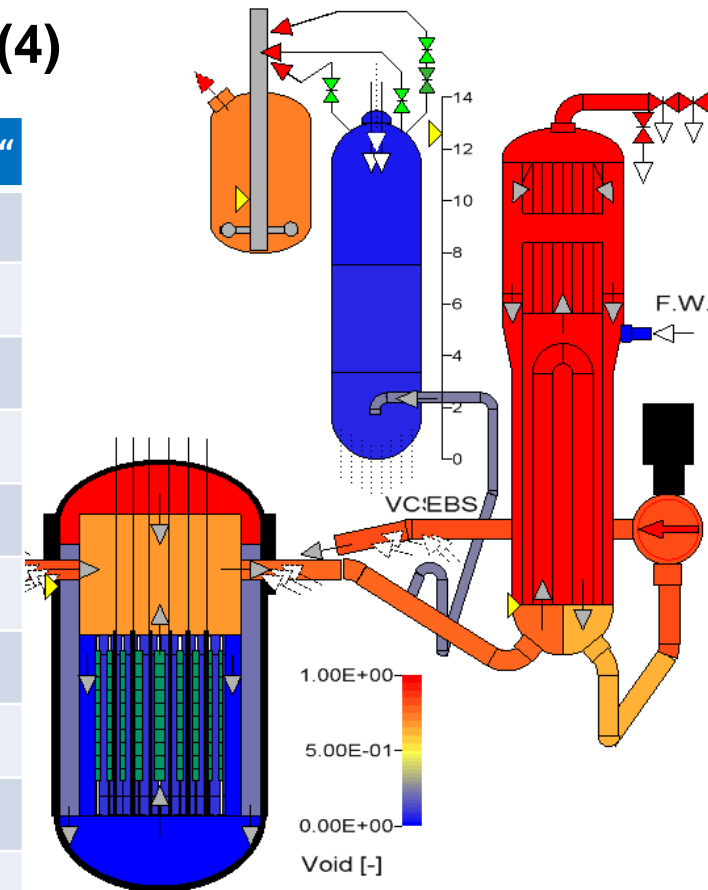
Analysen zum langfristigen Station Blackout (3)

Zeitablauf [h:min:s]	Basisfall / Analyse „2mDG“
Station Blackout	00:00:00
RESA	00:00:04
1. Öffnen SV der DE (FD-Druck > 88,3 bar)	00:00:20
Füllstände DE < 4 m	00:32:00
NFM: Sekundärseitiges Druckentlasten (SDE)	01:10:30
Beginn Nachspeisen aus SpW-Behälter (passiv)	01:41:00
Beginn Einspeisung Druckspeicher	02:25:00
Beginn zyklisches Öffnen DH-Abblaseregelventil	04:25:00
Füllstand RDB < Unterkante Kühlmittelleitung	07:55:00
NFM: Primärseitige Druckentlastung (PDE)	07:55:00
Beginn Kernfreilegung	07:58:00
Vollständige Kernfreilegung	08:05:00
Beginn Brennelementschäden	08:15:00
Ende Druckspeichereinspeisung	09:28:00



Analysen zum langfristigen Station Blackout (4)

Zeitablauf [h:min:s]	Basisfall / Analyse „2mDG“
Station Blackout	00:00:00
RESA	00:00:04
1. Öffnen SV der DE (FD-Druck > 88,3 bar)	00:00:20
Füllstände DE < 4 m	00:32:00
NFM: Sekundärseitiges Druckentlasten (SDE)	01:10:30
Beginn Nachspeisen aus SpW-Behälter (passiv)	01:41:00
Beginn Einspeisung Druckspeicher	02:25:00
Beginn zyklisches Öffnen DH-Abblaseregelventil	04:25:00
Füllstand RDB < Unterkante Kühlmittelleitung	07:55:00
NFM: Primärseitige Druckentlastung (PDE)	07:55:00
Beginn Kernfreilegung	07:58:00
Vollständige Kernfreilegung	08:05:00
Beginn Brennelementschäden	08:15:00
Ende Druckspeichereinspeisung	09:28:00

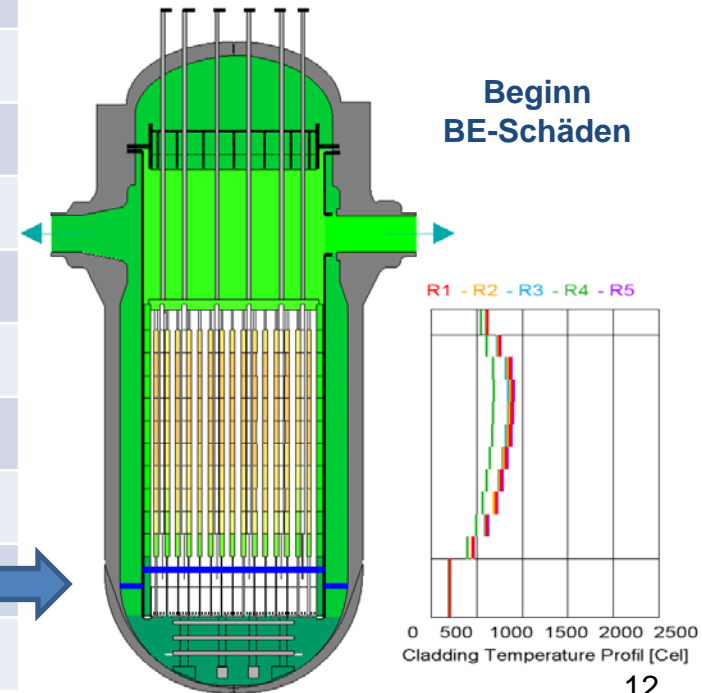


Analysen zum langfristigen Station Blackout (5)

Zeitablauf [h:min:s]	Basisfall / Analyse „2mDG“
Station Blackout	00:00:00
RESA	00:00:04
1. Öffnen SV der DE (FD-Druck > 88,3 bar)	00:00:20
Füllstände DE < 4 m	00:32:00
NFM: Sekundärseitiges Druckentlasten (SDE)	01:10:30
Beginn Nachspeisen aus SpW-Behälter (passiv)	01:41:00
Beginn Einspeisung Druckspeicher	02:25:00
Beginn zyklisches Öffnen DH-Abblaseregelventil	04:25:00
Füllstand RDB < Unterkante Kühlmittelleitung	07:55:00
NFM: Primärseitige Druckentlastung (PDE)	07:55:00
Beginn Kernfreilegung	07:58:00
Vollständige Kernfreilegung	08:05:00
Beginn Brennelementschäden	08:15:00
Ende Druckspeichereinspeisung	09:28:00

Hinweise zu NFM:

- Sekundärseitige NFM bringen signifikanten Zeitgewinn
- Primärseitige NFM verhindern Kernschmelzen unter Hochdruck

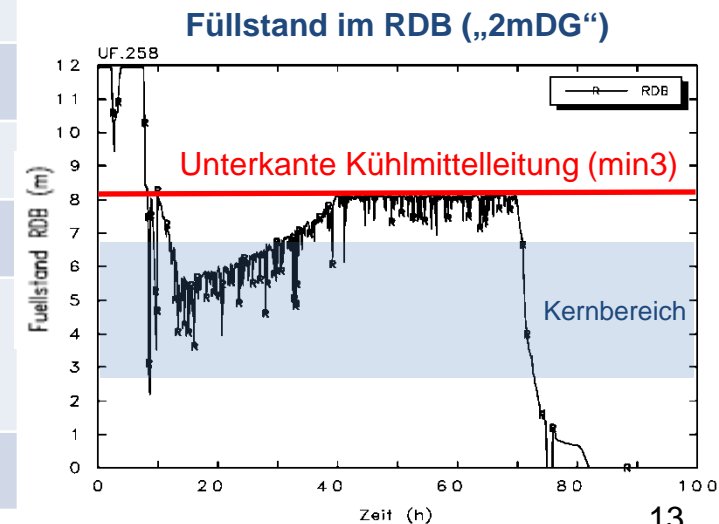


Analysen zum langfristigen Station Blackout (6)

Zeitablauf [h:min:s]	Basisfall	Analyse „2mDG“
Mobile Dieselgeneratoren verfügbar	-	10:00:00
Einspeisung Pumpen Zusatzboriersystem	-	10:01:00
Beginn Versagen untere Kerntagestruktur	12:34:00	-
RDB-Versagen	13:55:00	
Beginn Schmelze-Beton-Wechselwirkung	13:55:00	-
- Reaktorgrube	17:03:00	
- Ringspalt / SHB-Sumpf		
Beginn erste gefilterte Druckentlastung	40:17:00	53:21:34
Ende Einspeisung Pumpen Zusatzboriersys.	-	69:44:00
Beginn Versagen untere Kerntagestruktur	s.o.	74:22:00
RDB-Versagen	s.o.	75:50:00
Beginn Schmelze-Beton-Wechselwirkung		75:50:00
- Reaktorgrube		
- Ringspalt / SHB-Sumpf		83:36:00
Analyseende		97:13:20

Hinweise zur Analyse „2mDG“:

- Inhalt der Flutbecken wird über Pumpen des Zusatzboriersystems eingespeist (Beckenkühlpumpe kann nicht gegen vorherrschenden Druck einspeisen)
- Übergang in den Kreislaufkühlbetrieb nicht möglich, da RDB-Füllstand unterhalb Unterkante Kühlmittleitung (min3)

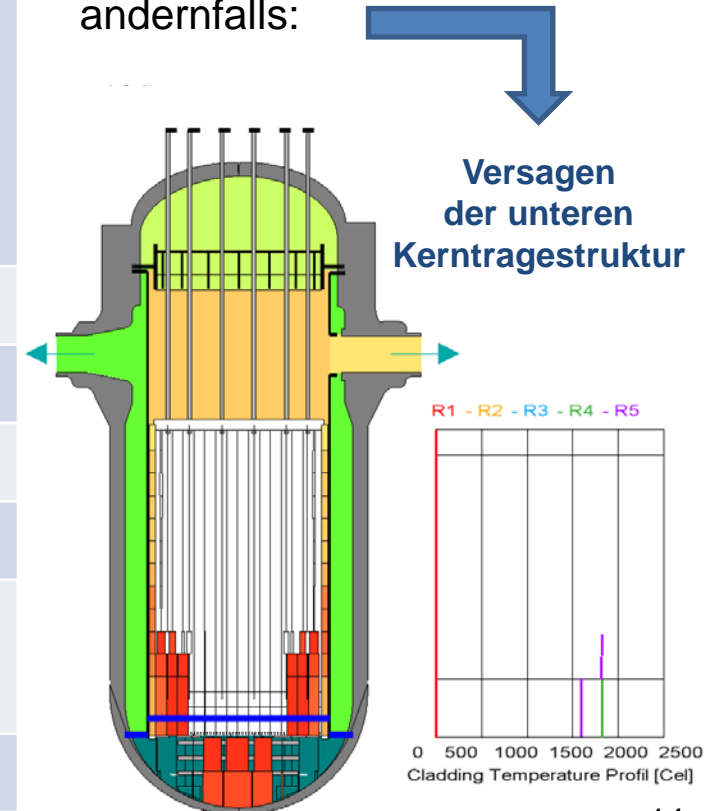


Analysen zum langfristigen Station Blackout (7)

Zeitablauf [h:min:s]	Basisfall	Analyse „2mDG“
Mobile Dieselgeneratoren verfügbar	-	10:00:00
Einspeisung Pumpen Zusatzboriersystem	-	10:01:00
Beginn Versagen untere Kerntragestruktur	12:34:00	
RDB-Versagen	13:55:00	
Beginn Schmelze-Beton-Wechselwirkung - Reaktorgrube - Ringspalt / SHB-Sumpf	13:55:00 17:03:00	
Beginn erste gefilterte Druckentlastung	40:17:00	53:21:34
Ende Einspeisung Pumpen Zusatzboriersys.	-	69:44:00
Beginn Versagen untere Kerntragestruktur	s.o.	74:22:00
RDB-Versagen	s.o.	75:50:00
Beginn Schmelze-Beton-Wechselwirkung - Reaktorgrube - Ringspalt / SHB-Sumpf		75:50:00 83:36:00
Analyseende		97:13:20

Hinweise zur Wirksamkeit NFM:

- Signifikanter Zeitgewinn für Reparaturmaßnahmen im Unfall, um Kernkühlung mit den Notkühlsystemen wieder herzustellen, andernfalls:



Analysen zum langfristigen Station Blackout (8)

Ergebnis der vergleichenden Analysen:

- Der Einsatz der mobilen Notfalldieselegeneratoren bringt einen erheblichen Zeitgewinn, hinsichtlich
 - RDB-Versagen um 62 h
 - Einleitung gefilterter Druckentlastung um 13 h
- Ziel des Kreislaufkühlens wird nicht erreicht, da Beckenkühlpumpe nicht einspeisen kann
 - ⇒ **Vorrangiger Einsatz der Beckenkühlpumpe (vor den Zusatzborierpumpen) könnte die Umschaltung auf Kreislaufkühlen ermöglichen**
- Die Wasserstofferzeugung aus der Zirkon-Wasser-Reaktion findet verzögert und langsamer statt, bleibt in der Gesamtmenge annähernd gleich
- Freisetzung von Radionukliden in die Umgebung (über die gefilterte Druckentlastung) wird reduziert

Zusammenfassung

- Die GRS führt deterministische Unfallanalysen durch, um u. a. die Wirksamkeit von mitigativen Notfallmaßnahmen zu bewerten

- Vergleichende Analysen zum Station Blackout (SBO)

Die zusätzliche Notfallmaßnahme „mobile Notstromdieselmotoren“ sind wirksam und führen zu wesentlichen Zeitgewinnen hinsichtlich der Zeitpunkte

- des RDB-Versagens sowie

- der Initiierung der ersten gefilterten Druckentlastung des SHB.

⇒ **Der Zeitgewinn kann für zusätzliche Maßnahmen und für einen Übergang der Anlage in einen sicheren Zustand genutzt werden**

⇒ **Der Übergang in das Kreislaufkühlen wird in der Analyse nicht erreicht**

- **Ausblick:** Die durchgeführten Analysen basieren auf definierten Zeitpunkten für die Einleitung der Maßnahmen. Sensitivitätsanalysen, in welchen Zeitfenstern Maßnahmen wirksam sind, werden aktuell durchgeführt.

Vielen Dank!