© 2011 Westinghouse Electric Company LLC. All Rights Reserved.

AP1000® - Bedeutung passiver Sicherheitssysteme vor dem Hintergrund von Fukushima

Dr. Norbert Haspel,

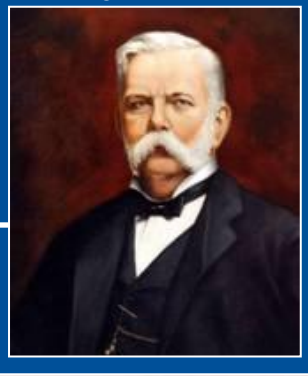
Steffen Fuchs

Westinghouse

© 2011 Westinghouse Electric Company LLC. All Rights Reserved.

Westinghouse Electric Company

Gegründet 1886 von George Westinghouse



Verantwortlich für einige weltweit bedeutende Errungenschaften:

- Wechselstrom-Technologie
- 1. gewerbliche Rundfunk-sendung (KDKA-1920)
- USS Nautilus (U-Boot)
- 1. Kamera auf dem Mond

Dez. 1957: Erster kommerzieller Kernreaktor

April 2009: „First nuclear concrete“AP1000® Sanmen

Shippingport, Pennsylvania, am 2.12.1957
Heutiger Standort: Beaver Valley bei Pittsburgh

Westinghouse

AP1000 is a trademark or registered trademark in the United States of Westinghouse Electric Company LLC, its subsidiaries and/or its affiliates. This mark may also be used and/or registered in other countries throughout the world. All rights reserved. Unauthorized use is strictly prohibited. Other names may be trademarks of their respective owners.

© 2011 Westinghouse Electric Company LLC. All Rights Reserved.

Übersicht

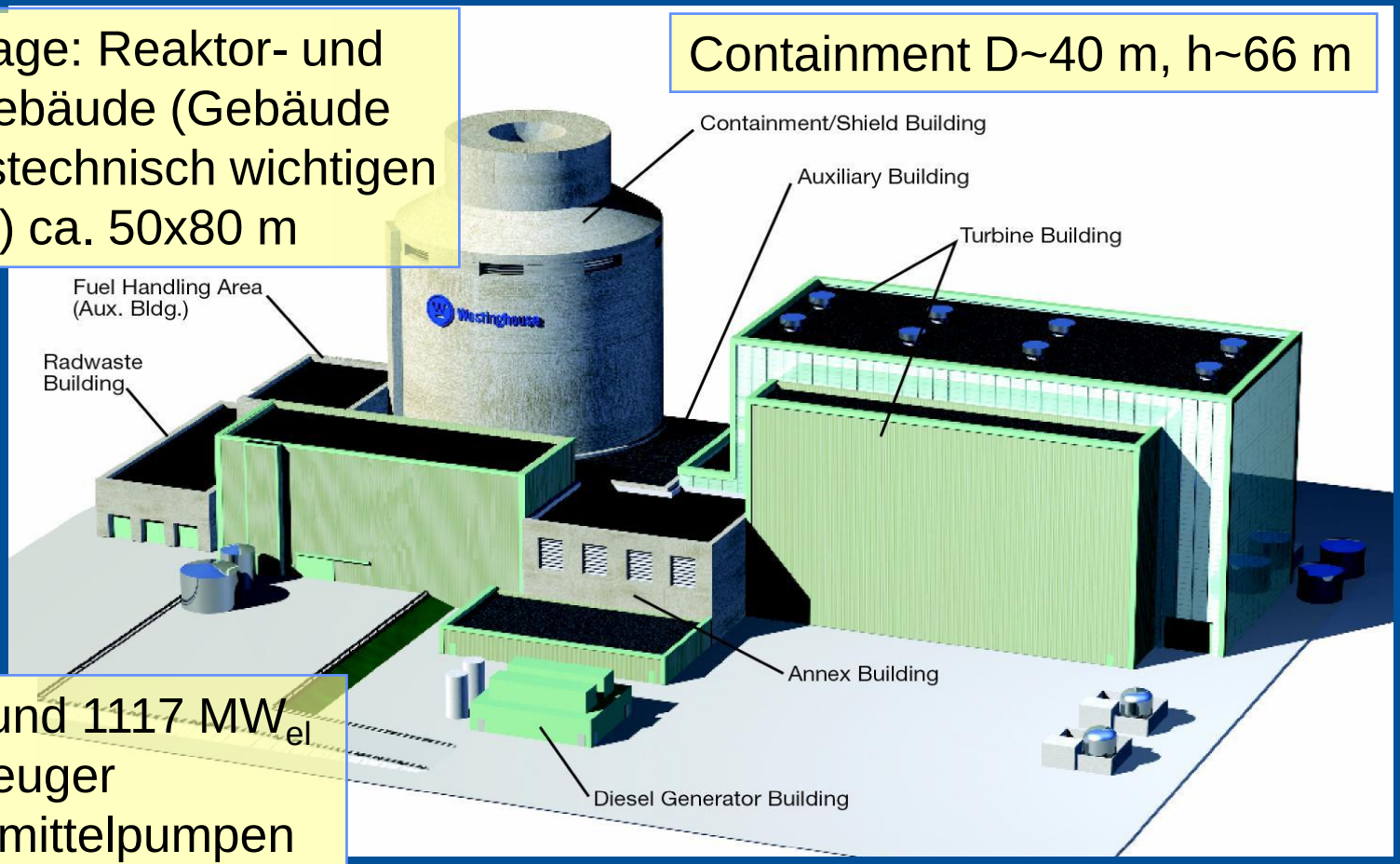
1) **Vorstellung des AP1000®**
2) Passive Sicherheitssysteme
3) Verhalten eines AP1000® während langanhaltendem Verlust der externen Spannungsversorgung
4) Zusammenfassung und Ausblick

© 2011 Westinghouse Electric Company LLC. All Rights Reserved.

Der AP1000® von Westinghouse

kompakte Anlage: Reaktor- und Hilfsanlagengebäude (Gebäude mit sicherheitstechnisch wichtigen Komponenten) ca. 50x80 m

Containment D~40 m, h~66 m

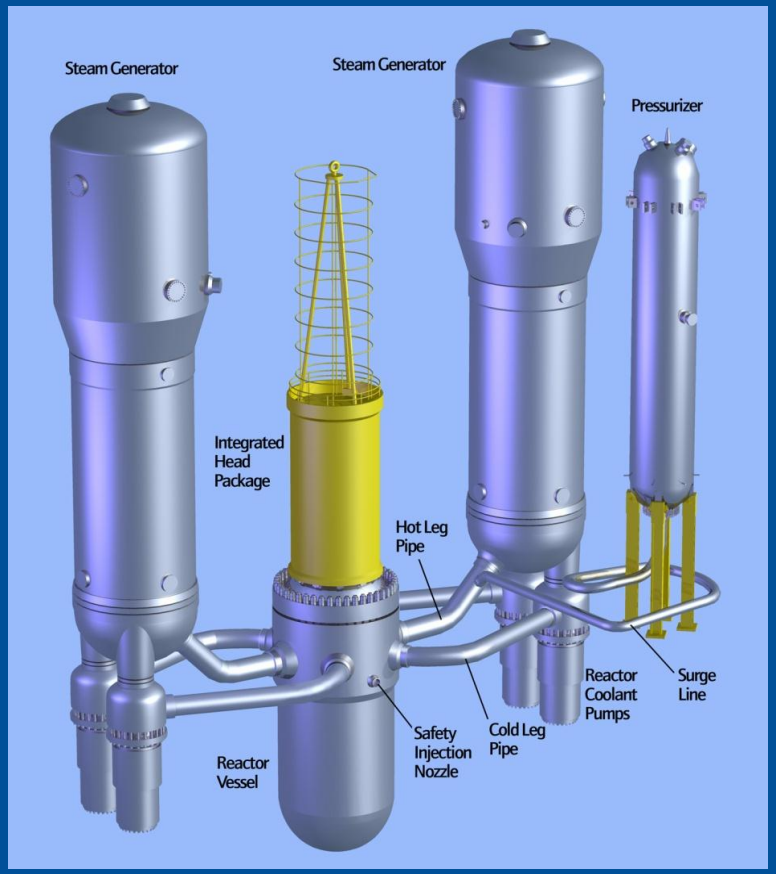


3415 MW_{th} und 1117 MW_{el}
2 Dampferzeuger
4 Hauptkühlmittelpumpen

© 2011 Westinghouse Electric Company LLC. All Rights Reserved.

AP1000® Überblick (1)

- Basis für den NSSS Teil des AP1000® ist ein Westinghouse DWR
- zahlreiche Detailverbesserungen (z. B. Hauptkühlmittelpumpen ohne Wellen-dichtungen, größerer Druckhalter)
- Neu: „no AC“ – keine Sicherheitsfunktion benötigt gesicherte Notstromversorgung
- Aktive betriebliche Systeme sind dennoch im Sinne von „defense-in-depth“ vorhanden
- Funktionsfähigkeit in umfangreichen Tests und Analysen nachgewiesen
- Design von der US NRC zertifiziert



© 2011 Westinghouse Electric Company LLC. All Rights Reserved.

Vergleich AP1000® -“konventioneller” DWR

Zur Störfallbeherrschung benötigte Sicherheitssysteme am Beispiel eines Kühlmittelverlustörfalls (KMV) und einer Betriebstransiente:

rot: aktive Systeme (Wechselstromversorgung notwendig)

grün passive Systeme (max. einmalige Ansteuerung erforderlich)

Störfall	Konventioneller DWR	AP1000®
KMV: Kleines Leck im Reaktorkühlsystem	• Hochdruckeinspeisung • Sekundärseitige Wärmeabfuhr • Druckspeicher • Niederdruckeinspeisung • Nachwärmeabfuhr	• Core-Makeup-Tanks • Automatische Druckabsenkung • Druckspeicher • IRWST-/Sumpfeinspeisung (mittels Schwerkraft) • Passive Containmentkühlung
Betriebstransiente: Verlust Hauptwärme-senke	• Sekundärseitige Wärmeabfuhr • Nachwärmeabfuhr	• Passive Kernkühlung (PRHR) • IRWST als Wärmesenke • Passive Containmentkühlung

Westinghouse

© 2011 Westinghouse Electric Company LLC. All Rights Reserved.

Übersicht

1) Vorstellung des AP1000®
2) **Passive Sicherheitssysteme**
3) Verhalten eines AP1000® während langanhaltendem Verlust der externen Spannungsversorgung
4) Zusammenfassung und Ausblick

© 2011 Westinghouse Electric Company LLC. All Rights Reserved.

Passive Systeme gemäß IAEA-Definition

(“Safety related terms for advanced nuclear plants”, IAEA-TECDOC-626, 1991)

Kat.	Merkmale	Beispiele
A	- Keine externe Energieversorgung - Keine Ansteuerung - Keine mechanisch bewegten Teile - Kein bewegtes Arbeitsmedium	Physische Barrieren wie Rohre oder Wände
B	- Keine externe Energieversorgung - Keine Ansteuerung - Keine mechanisch bewegten Teile	Kühlsysteme basierend auf Dichteunterschieden (Naturumlauf, Kamineffekt)
C	- Keine externe Energieversorgung - Keine Ansteuerung	Gefilterte Druckentlastung aktiviert durch Berstscheiben, Rückschlagarmaturen
D	- Der Prozess wird aktiv angesteuert (Keine manuelle Ansteuerung!) - Die für die Ausführung erforderliche Energie muss in gespeicherter Form vorliegen (z. B. Batterie, Druckluft)	Systeme die einmalig aktiviert werden und in “fail-safe”-Logik auslösen: z. B. Reaktorschnell-abschaltung , mit Druckluft oder Federkraft bewegte Ventile

Westinghouse

© 2011 Westinghouse Electric Company LLC. All Rights Reserved.

Wirkmechanismen der passiven Sicherheitssysteme

- **Grundprinzip: Die erforderlichen Sicherheitsfunktionen benötigen keine Wechselstromversorgung**
- **Wirkprinzipien:**
  - Natürliche Konvektion
  - Verdampfung und Kondensation
- **Betätigung von Armaturen mittels gespeicherter Energie:**
  - Gase unter Druck (Stickstoff, Luft)
  - Batterien
- **Keine Personalhandlungen in den ersten 72 Stunden nach Störfalleintritt**

© 2011 Westinghouse Electric Company LLC. All Rights Reserved.

AP1000® mehrstufiges Sicherheitskonzept

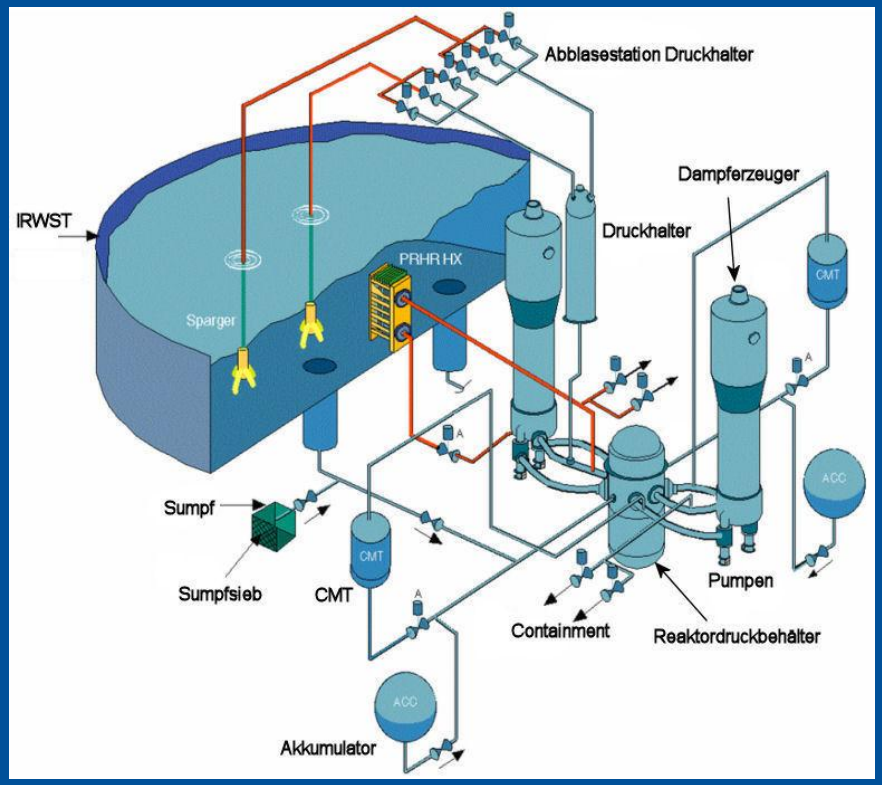
Es wird ein mehrstufiges Sicherheitskonzept unterstützt:

- Erste Ebene: aktive Systeme
  - Aktive Systeme werden grundsätzlich zuerst aktiviert, um das Ansprechen der passiven Sicherheitssysteme zu vermeiden
  - Ausgelegt, um bei vorhandener Wechselstromversorgung alle Sicherheitsfunktionen zu erfüllen
- Zweite Ebene: passive Sicherheitssysteme
  - Sind alleinige Referenz bei der Lizenzierung
  - Dementsprechende Anforderungen an Auslegung, Fertigung und Montage
- Dritte Ebene: Maßnahmen zur Beherrschung auslegungsüberschreitender Ereignisse:
  - Beispiel: Feed-and-Bleed als Backup für pass. Wärmeabfuhrsystem

Westinghouse

© 2011 Westinghouse Electric Company LLC. All Rights Reserved.

Passive Sicherheitssysteme AP1000® Reaktorkühlsystem



CMT	Core Make-up Tank
IRWST	In-containment Refueling Water Storage Tank
RKS	Reaktorkühlsystem
PRHR	Passive Residual Heat Removal System

Nachwärmeabfuhr im Naturumlauf (PRHR) bei intaktem Primärkreis

Passive RKS-Einspeisung in allen Druckbereichen bei Leckstörfällen:

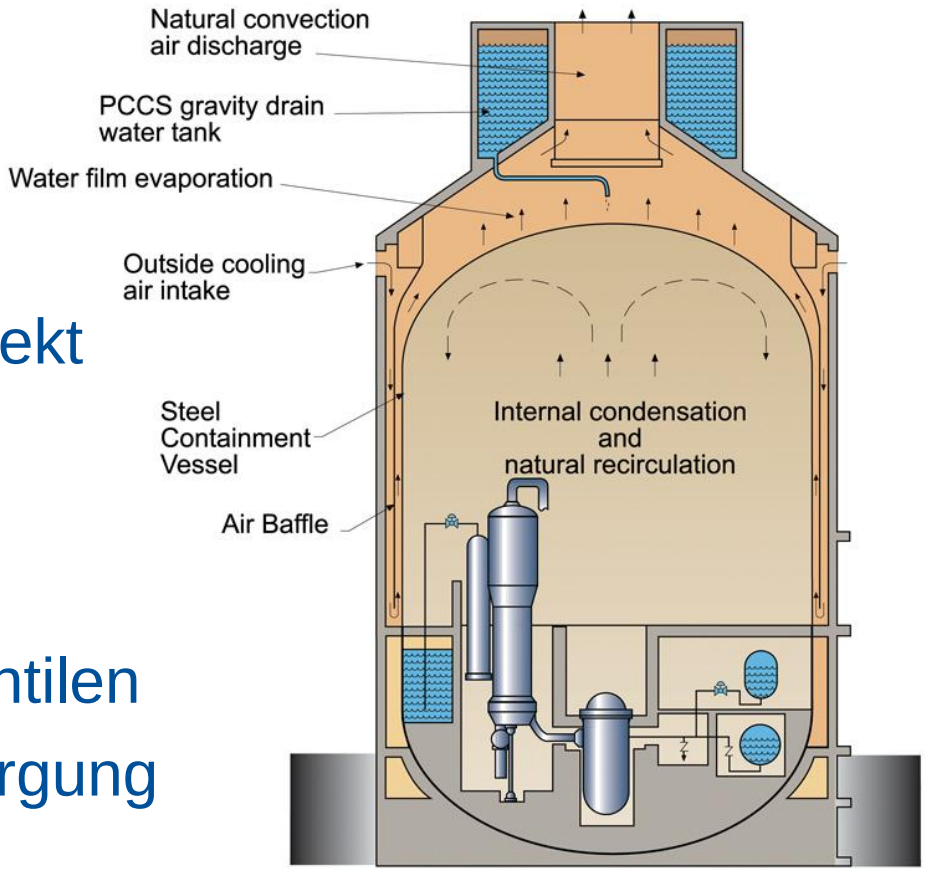
- hoch: CMTs (Schwerkraft)
- mittel: Druckspeicher (N_2-Polster)
- niedrig: durch Schwerkraft aus IRWST und Sumpf nach automatischer Druckentlastung

Westinghouse

© 2011 Westinghouse Electric Company LLC. All Rights Reserved.

Passive Sicherheitssysteme AP1000® Wärmeabfuhr aus Containment

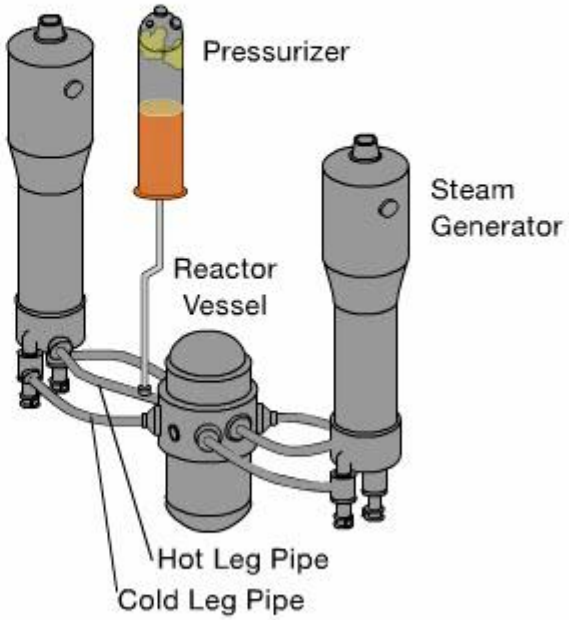
- Kondensation an der Containment-Innenseite
- Konvektion an der Containment-Außenseite; unterstützt durch Kamineffekt
- Verbesserung der Wärmeabfuhr durch Verdunstungskühlung
- Einmaliges Öffnen von Ventilen
- Keine Wechselstromversorgung erforderlich



AP1000 Passive Containment Cooling System

© 2011 Westinghouse Electric Company LLC. All Rights Reserved.

Beispiel: Passive Einspeisung und Kern-kühlung bei Kühlmittelverlussttörfall (LOCA)



© 2011 Westinghouse Electric Company LLC. All Rights Reserved.

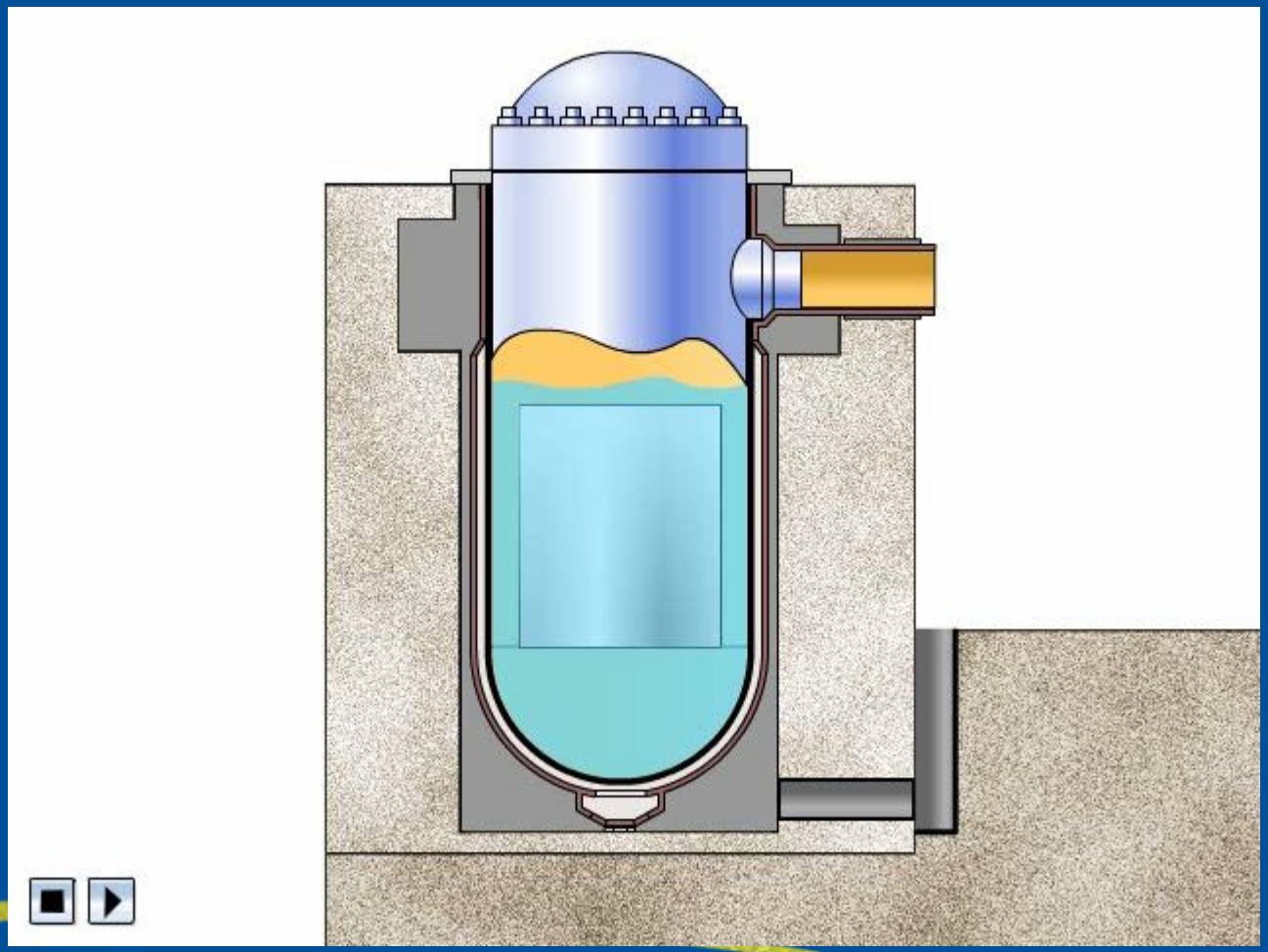
Passive Sicherheitssysteme AP1000® Auslegungsüberschreitende Ereignisse

- Andauernder Verlust der Kernkühlung → Verlust kühlbarer Kern-Geometrie → im weiteren Verlauf: Kernschmelze
- Zurückhaltung der Kernschmelze im Reaktordruckbehälter (RDB) durch Kühlung der RDB-Außenwand: „*In-Vessel-Retention*“
- Thermische Reaktorleistung angepasst an Größe des RDB: Nachzerfallsleistung kann über die RDB-Oberfläche abgeführt werden
- Reaktorkaverne so gestaltet, dass Wasserzu- und Dampfabfuhr möglichst effektiv den RDB kühlen
- Schutz der Barriere „Druckführende Umschließung“

Westinghouse

© 2011 Westinghouse Electric Company LLC. All Rights Reserved.

Beispiel: Rückhaltung der Kernschmelze im Reaktordruckbehälter



© 2011 Westinghouse Electric Company LLC. All Rights Reserved.

Übersicht

1) Vorstellung Passive Sicherheitssysteme
2) Vorstellung des AP1000®
3) **Verhalten eines AP1000® während langanhaltendem Verlust der externen Spannungsversorgung**
4) Zusammenfassung und Ausblick

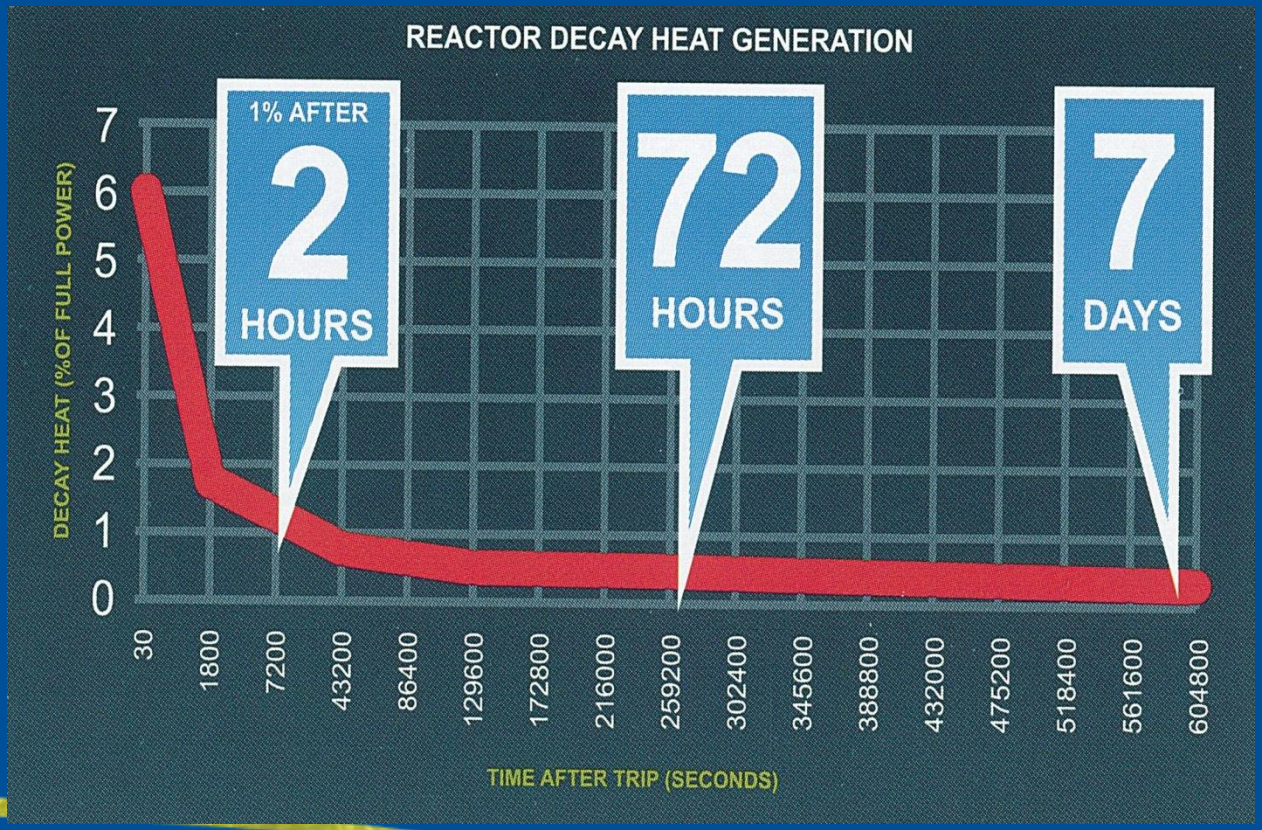
© 2011 Westinghouse Electric Company LLC. All Rights Reserved.

Langzeit Station-Blackout – zeitlicher Ablauf

Ein Hauptauslöser für die nachfolgenden Ereignisse in Fukushima war der langanhaltende Verlust der Wechselstromversorgung (Station-Blackout)

Folge: Verlust der Wärmesenke (Loss of Ultimate Heat Sink) zur Abfuhr der Nach-zerfallsleistung aus Reaktorkern- und BE-Becken

Umfangreiche Analysen über das Verhalten des AP1000® unter vergleichbaren Rand-bedingungen



Westinghouse

© 2011 Westinghouse Electric Company LLC. All Rights Reserved.

AP1000® während Station-Blackout Ergebnisse der durchgeführten Analysen

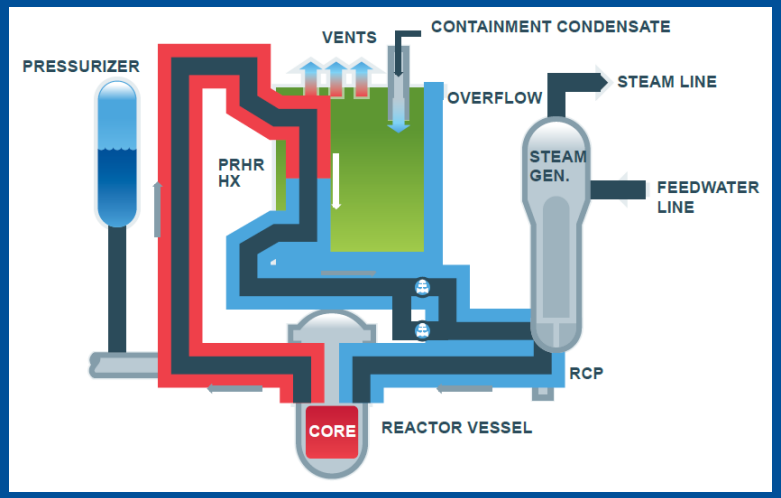
Zeit [h]	Vorgänge in Reaktorkühlsystem und *BE-Becken*
0-1	Station-Blackout, Reaktorschnellabschaltung (RESA) DE dampfen aus, niedriger DE-Füllstand aktiviert Passive Kernkühlung (PRHR) ***Ausfall der aktiven BE-Beckenkühlung, beginnender Temperaturanstieg***
2	Nachzerfallsleistung < 1%
3	***BE-Becken beginnt zu sieden, Ergänzung des verdampften Wassers erfolgt mittels Schwerkraft aus angrenzenden Behältern für mindestens 72 h***
5	IRWST beginnt infolge Wärmeeintrag aus PRHR zu sieden, Dampf kondensiert an Containment-Innenwänden
6-7	Durch Druck- und Temperaturanstieg im Containment wird Containment-Kühl-system aktiviert – Wasser aus Tank auf Containmentdach (Passive Containment Cooling System PCCS) wird über Containmentoberfläche verteilt – Wärmeabfuhr aus Containment über Naturkonvektion und Verdunstungskühlung
>72	Ggf. erste aktive Eingriffe erforderlich: •Nachfüllen PCCS-Tank auf Containmentdach •***Nachfüllen BE-Becken***

Westinghouse

© 2011 Westinghouse Electric Company LLC. All Rights Reserved.

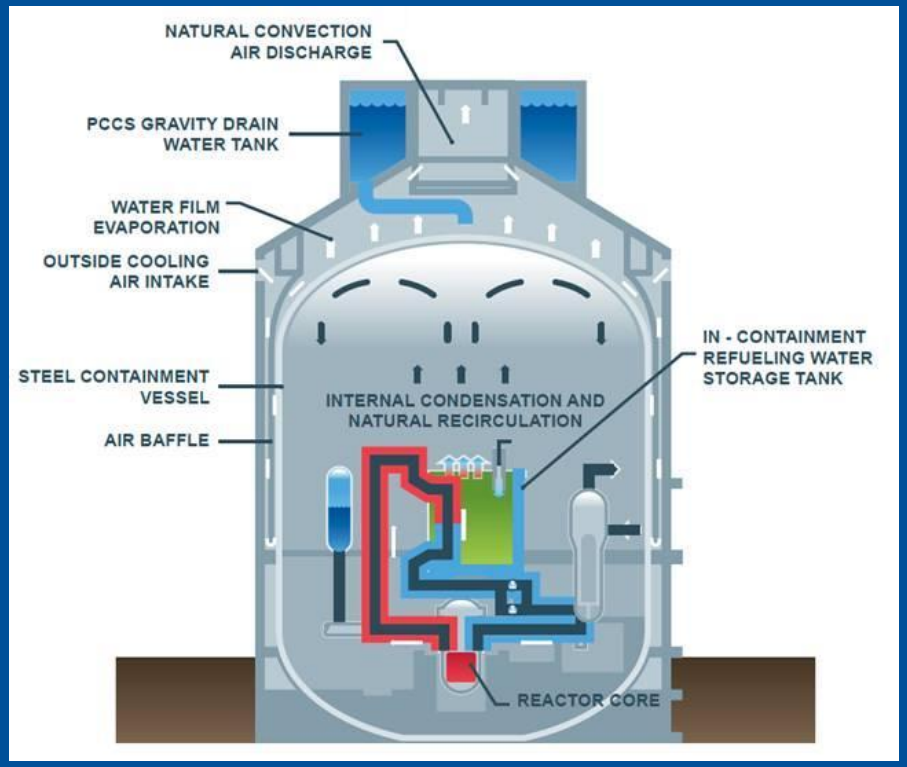
AP1000® während Station-Blackout Wärmeabfuhr aus RKS und Containment

Wärmeabfuhr aus dem Reaktorkühlsystem (RKS)



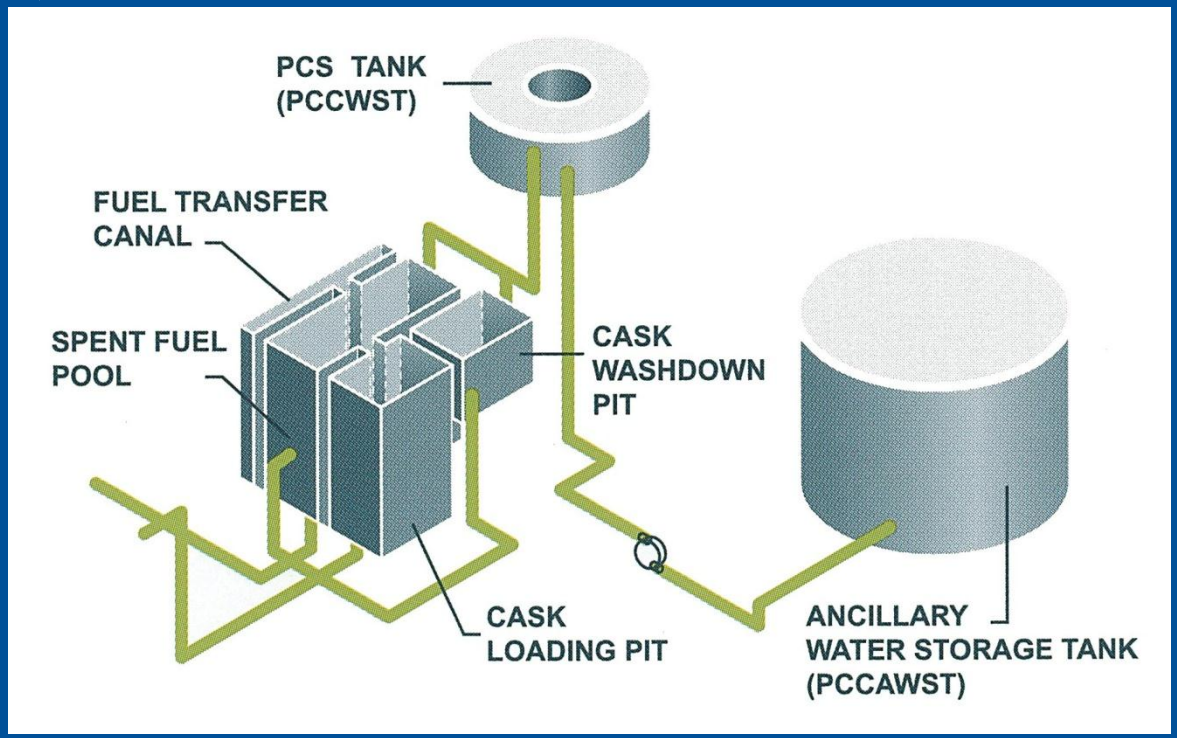
Da kein Leck vorliegt, werden die Einspeisesysteme nicht benötigt.

Wärmeabfuhr aus dem Containment



© 2011 Westinghouse Electric Company LLC. All Rights Reserved.

AP1000® während Station-Blackout Nachspeisequellen BE-Becken



Mögliche Nachspeisung ohne Pumpen aus Containment-Kühlsystem PCCWST (Behälter auf Containment-Dach)

Auffüllung PCCWST (Passive Containment Cooling Water Storage Tank) mit Pumpen aus internen (s. Abbildung) oder externen (z. B. mit Feuerlöschwasser) Quellen

Für mindestens 72 h ausreichende Vorräte in:

- BE-Becken (Spent Fuel Pool)
- Transportbehälter-Beladebecken (Cask Loading Pit)
- Transportbehälter-Reinigungsbecken (Cask Washdown Pit)

© 2011 Westinghouse Electric Company LLC. All Rights Reserved.

Übersicht

1) Vorstellung des AP1000®
2) Passive Sicherheitssysteme
3) Verhalten eines AP1000® während langanhaltendem Verlust der externen Spannungsversorgung
4) **Zusammenfassung und Ausblick**

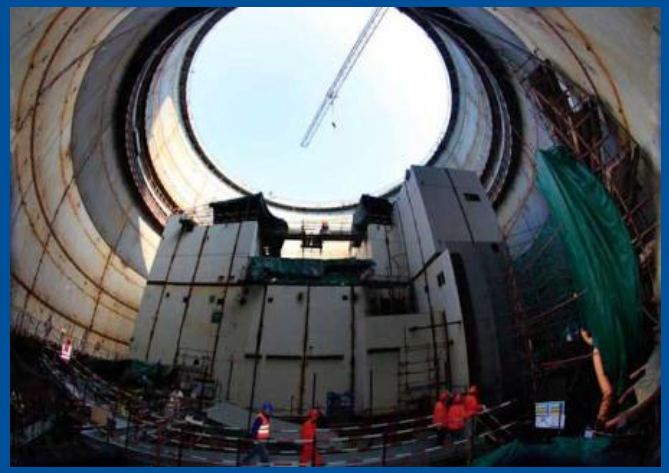
Westinghouse

© 2011 Westinghouse Electric Company LLC. All Rights Reserved.

Making it happen…where we are

China:

- Baustelle Sanmen mit Zieltermin Nov. 2013
- Alle wesentlichen Meilensteine auch für 2011 im Zeitplan
- RDB im Sept. 2011 gesetzt



USA:

- Baustellenarbeiten weit fortgeschritten
- DCD 19 von NRC positiv bewertet
- Freigabe der Arbeiten nach Abschluss des Public Hearings

DCD: design control document

Westinghouse

© 2011 Westinghouse Electric Company LLC. All Rights Reserved.

Zusammenfassung

- Die passiven Sicherheitssysteme und das gestaffelte Schutzkonzept des AP1000® liefern ausreichend Schutz vor Ereignissen wie in Fukushima.
- Für mindestens 72 Stunden sind weder Personalhandlungen noch ist Wechselstrom erforderlich.
- Die nachfolgenden Handlungen beschränken sich weitgehend auf das Nachfüllen von Wasserreserven.
- Alle erforderlichen externen Anschlüsse sind vorhanden.
- Diese Maßnahmen sind Bestandteil des Betriebs- und Notfallhandbuchs und werden regelmäßig trainiert.

© 2011 Westinghouse Electric Company LLC. All Rights Reserved.

… und Ausblick…

- Die gesamte Konstruktion des AP1000® zeichnet sich durch Kompaktheit und Einfachheit aus und ermöglicht damit eine kommerzielle Wettbewerbsfähigkeit zu größeren Anlagen.
- Verbesserung der öffentlichen Wahrnehmung und Akzeptanz des AP1000® durch die passiven Sicherheitssysteme.
- Das Design des AP1000® wurde von der US-NRC und anderen Genehmigungsbehörden überprüft und akzeptiert.
- Vier AP1000® sind zur Zeit im Bau; für weitere steht der Baubeginn kurz bevor…

… und weitere AP1000® werden folgen…

Westinghouse

Vielen Dank für Ihre Aufmerksamkeit.
Fragen?
Westinghouse