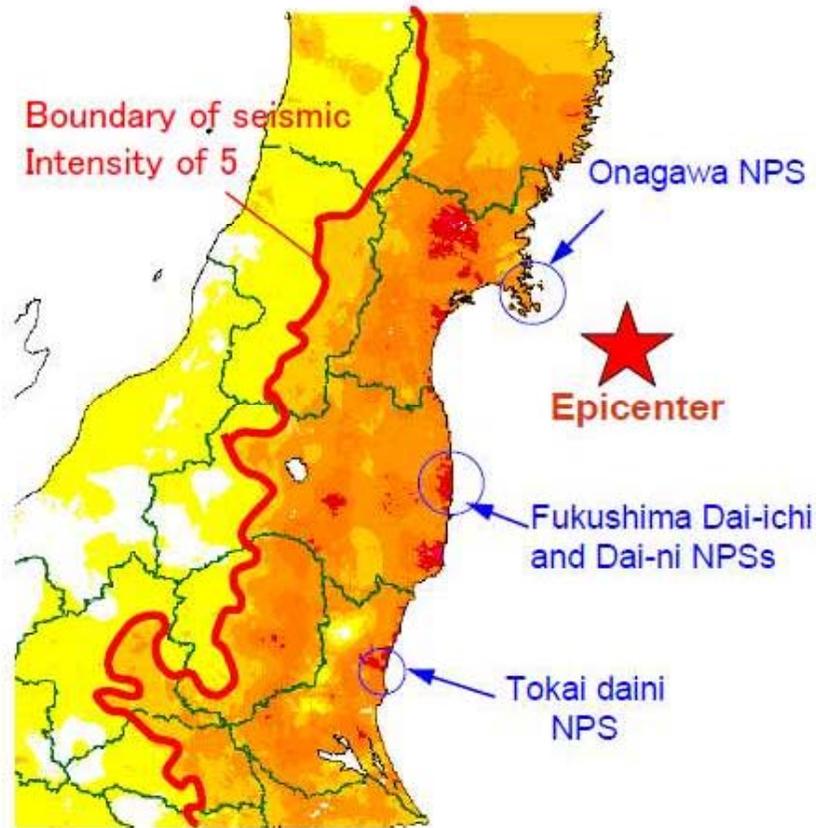


Fukushima - Lehren für die Schweiz?

- Wichtigste Aspekte des Unfallablaufs
- Ursachen
- Defizite und Versäumnisse in Fukushima
- Sicherheitsstatus und –abklärungen in den Schweizer Kraftwerken
 - ENSI Forderungen & Stresstest
- Restrisiko

Fukushima Dai-ichi	Unit 1	Unit 2	Unit 3	Unit 4	Unit 5	Unit 6
Electric output (MWe)	460	784	784	784	784	1100
Commercial Operation	1971/3	1974/7	1976/3	1978/10	1978/4	1979/10
Reactor Model	BWR3	BWR4		BWR5		
Prim.Cont.Vessel Model	Mark-1 (Torus)				Mark-2	
Number of Fuel Assemblies in the Core	400	548	548	548	548	764

Fukushima Dai-ni	Unit 1	Unit 2	Unit 3	Unit 4
Electric Output (MWe)	1100	1100	1100	1100
Commercial Operation	1982/4	1984/2	1985/6	1987/8
Reactor Model	BWR5			
PCV Model	Mark-2	Mark-2 Advance		
Number of Fuel Assemblies in the Core	764	764	764	764



Seismic Intensity 4 5- 5+ 6- 6+ 7 (JMA 1st Rep.)

Reference: JMA Release [Online]. <http://www.jma.go.jp/jma/index.html>
Partially modified by JNES.

11. 03. 2011, 14:46, JST
Magnitude Mw: 9,1
Epicenter ca. 130 km entfernt
Tiefe EC: 23,7 km

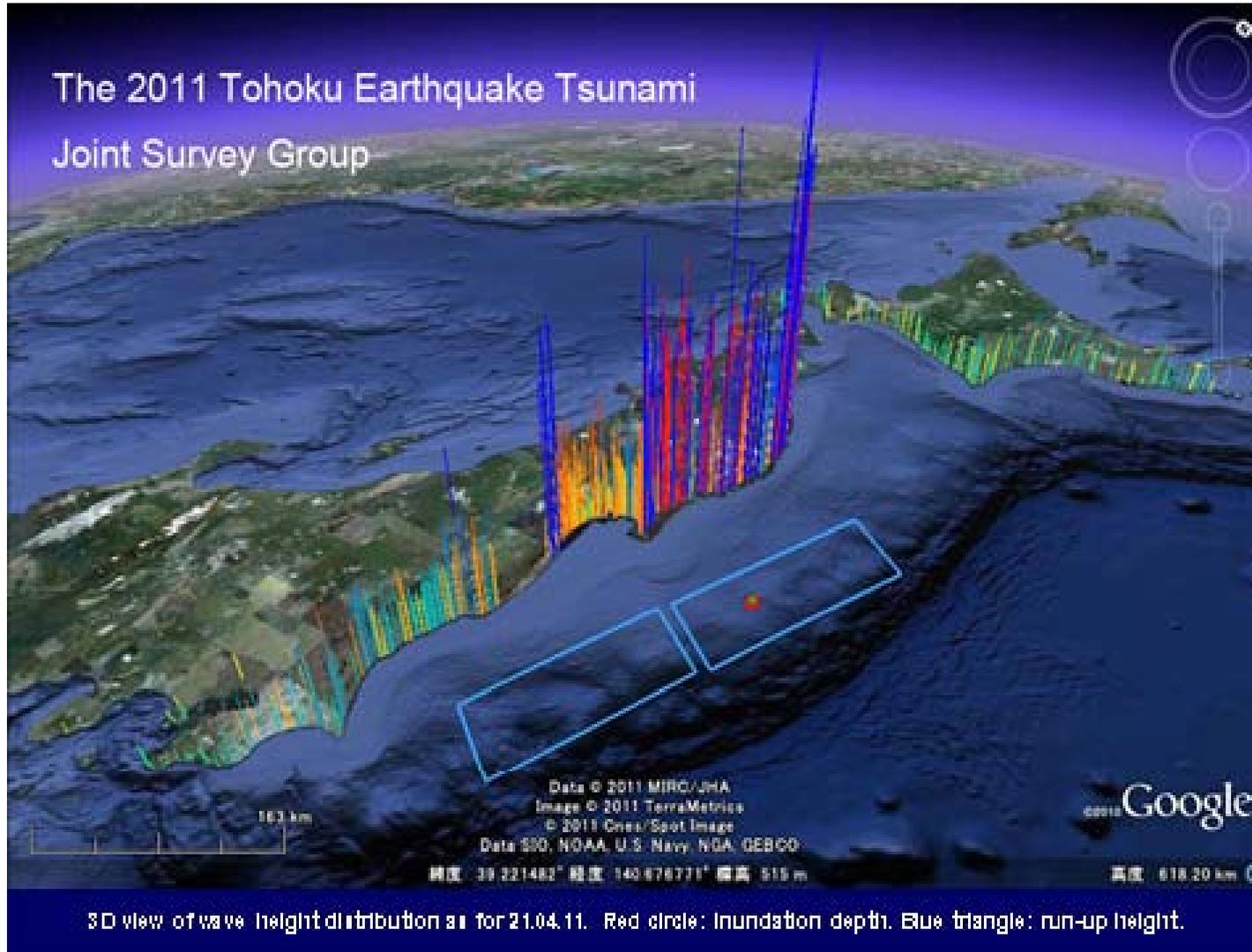
Nach Erdbeben die nuklearen Schutzziele eingehalten:

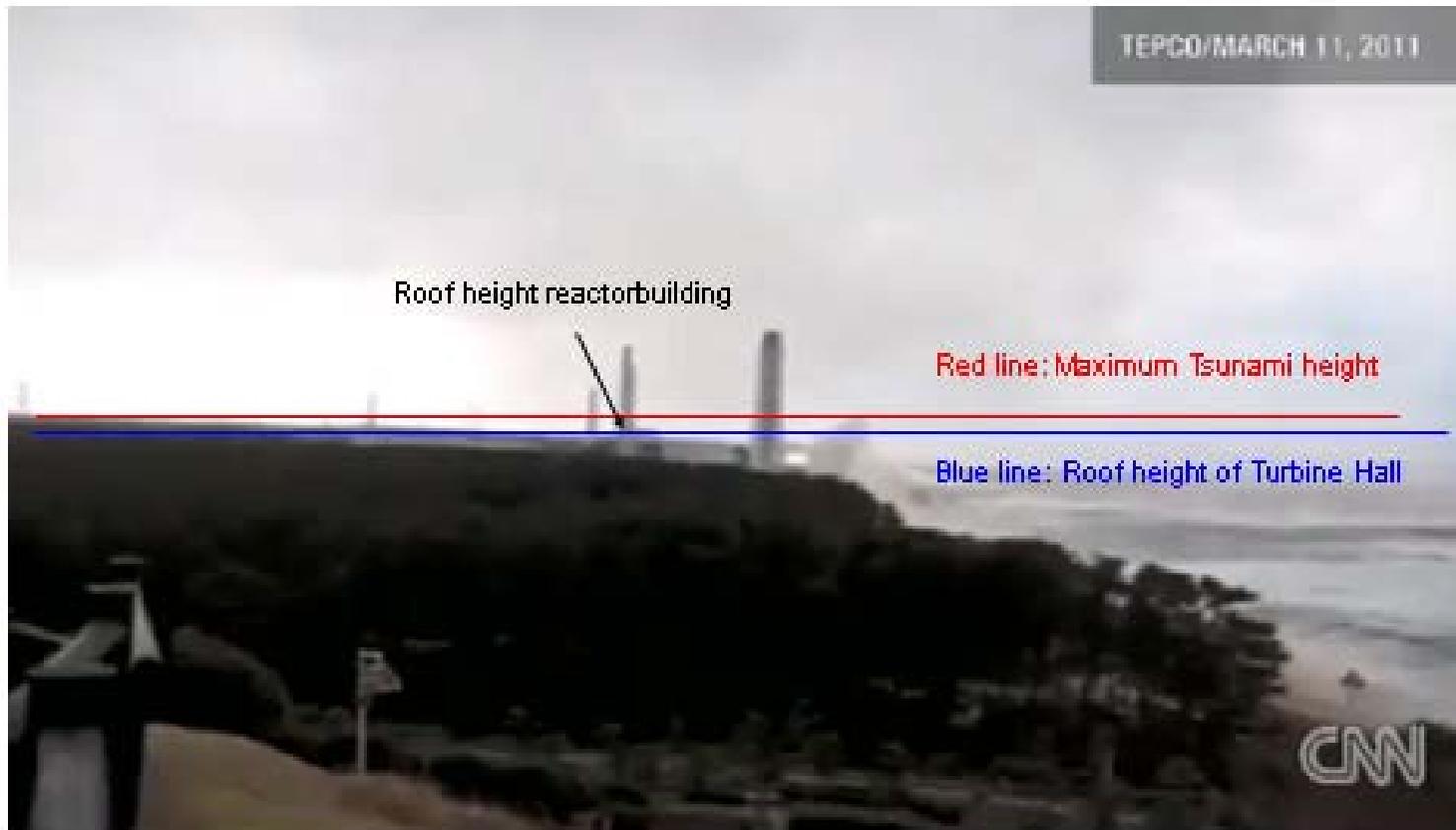
1. Reaktor abgeschaltet
2. Notkühlung gestartet
3. Primärcontainment abgeschlossen

Intensitätsverteilung während der Hauptphase des Bebens

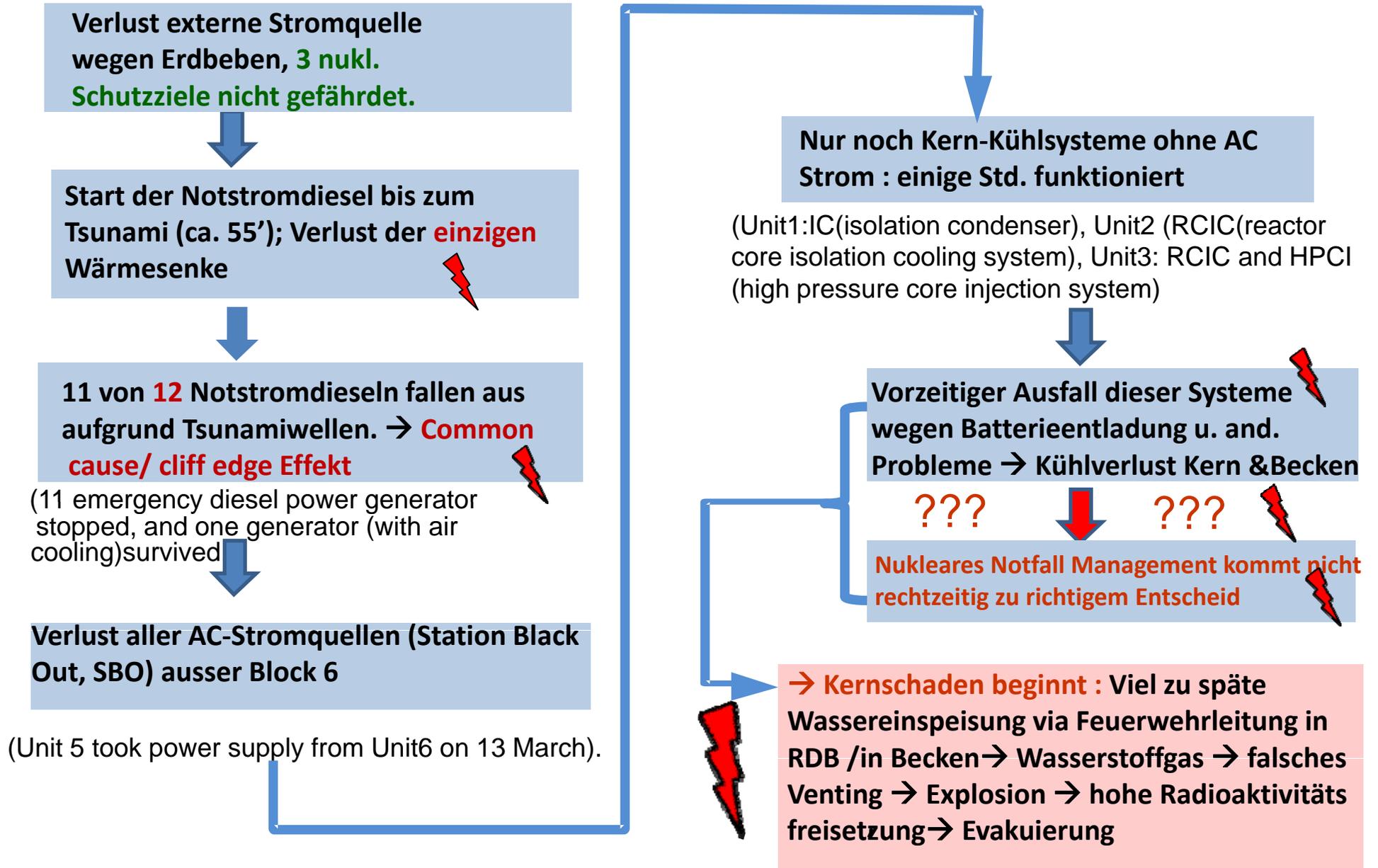
Fukushima - Lehren für die Schweiz?

Tsunami wellenhöhen und Eindringtiefen am 11.3. (von Prof. Gusiakov Tsunami Laboratory Nowosibirsk)

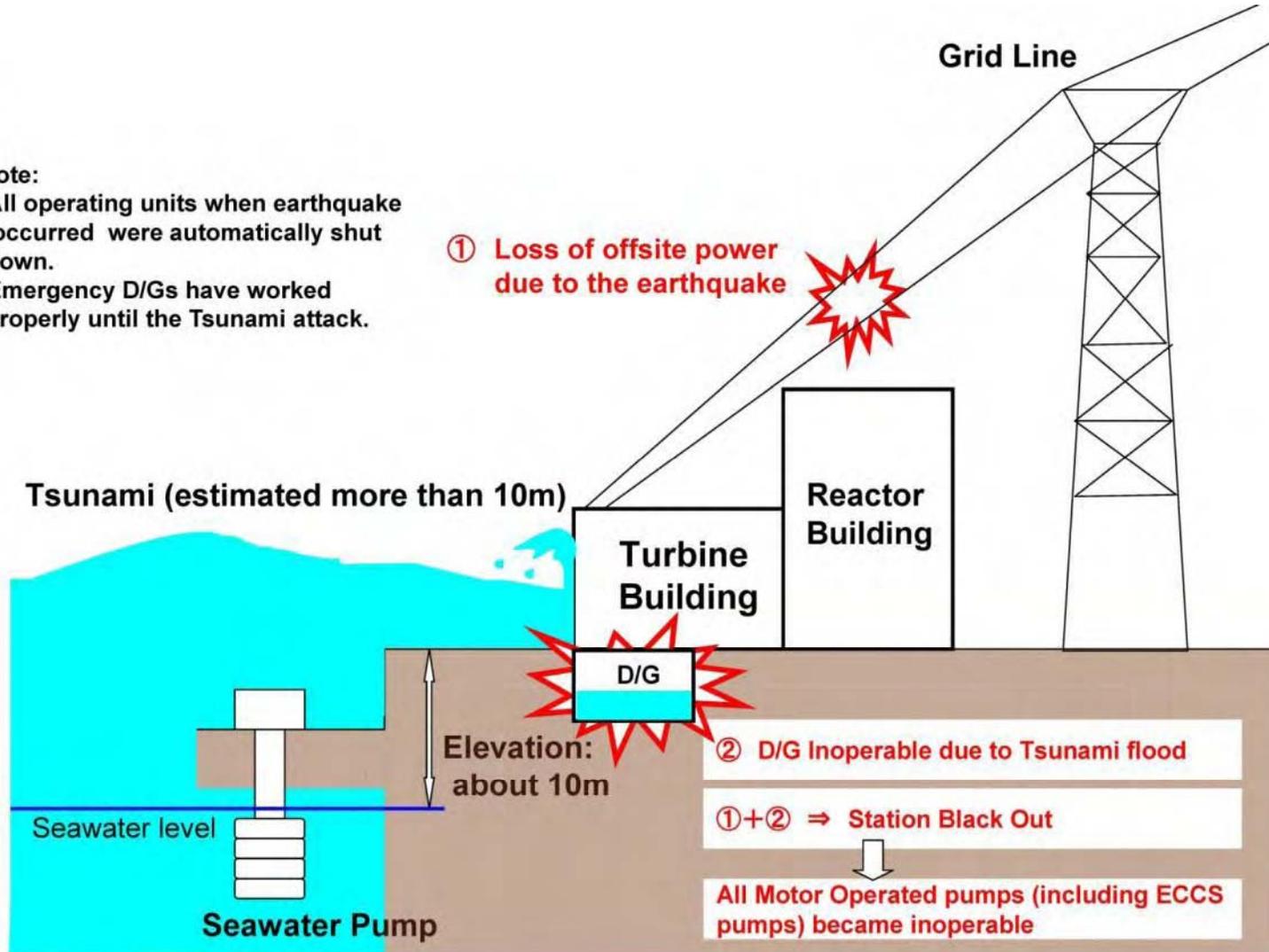


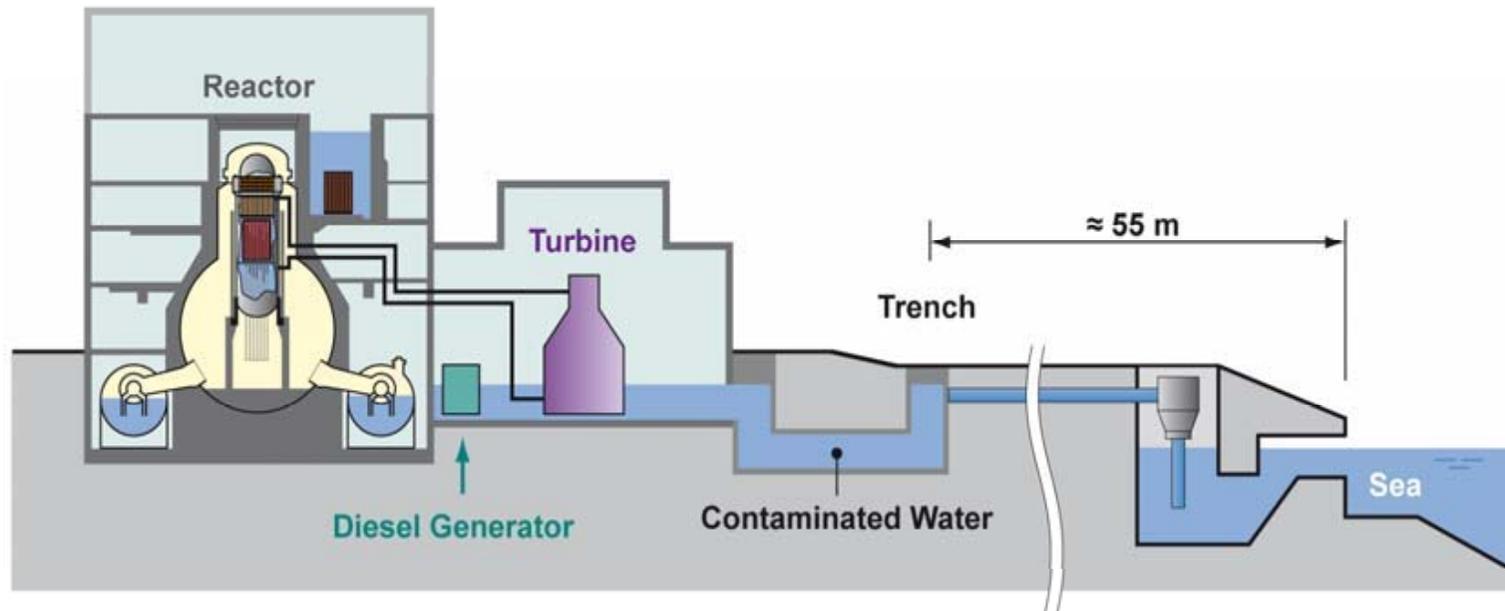


The moment the tsunami hits Fukushima 1

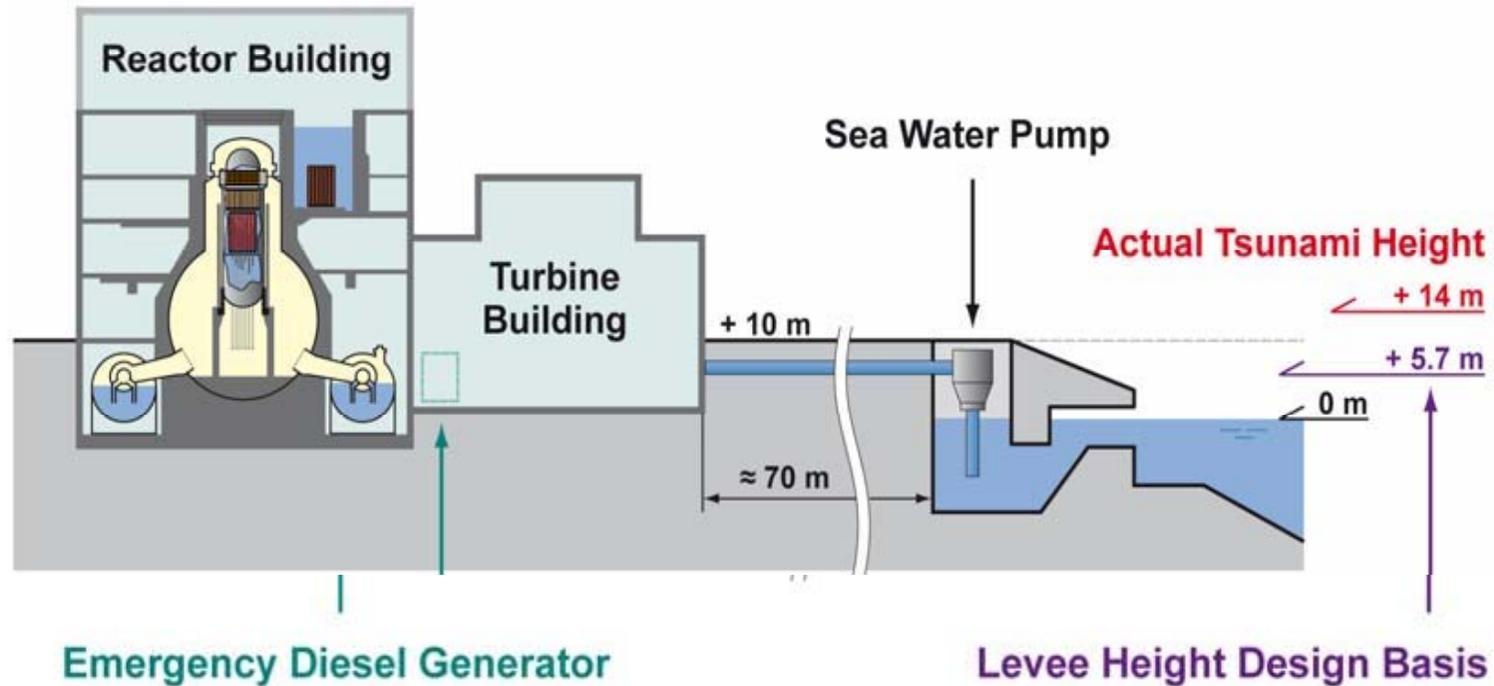


Note:
 -All operating units when earthquake occurred were automatically shut down.
 -Emergency D/Gs have worked properly until the Tsunami attack.





- Geflutete Rohrleitungs- und Kabelkanäle → zerstörte Diesel und Schaltanlagen und Batterieräume → Langanhaltender Station Black Out (L-SBO) → **keine ausreichende Dichtheit der Strukturen**
- Zerstörte Meerwasserpumpen → Verlust **einzig**e Wärmesenke (Kühlung von: Reaktor, BEB und Dieselaggregate) → **keine Diversität in der Kühlmittelfassung (Grundwasserbrunnen, Kühltürme)**



- ▶ Seawall war aufgrund der Flutwelle des chilenischen Erdbebens 1960 auf **5,7 m** bestimmt worden. **Keine** Berücksichtigung regionaler historischer Tsunamis → **zu niedrige Tsunamiverbauung (unzureichende Nachrüstung im 2002)**
- ▶ Bodenniveau Fukushima Dai-ichi : + 10 m.

The Fukushima Daiichi Accident



► Question: Is this accident a matter of **residual risk** of nuclear energy?

History data of earthquake-induced tsunamis with maximum amplitudes above 10 m hitting the coasts of Japan and the Kuril Islands (Russia) over the past 513 years					
Date and Country	Affected Region	Earthquake ¹⁾	Tsunami ²⁾	Victims	
11.03.2011	Japan	Japan	M = 9.0	23 m	> 10 000
04.10.1994	Russia	Kuril Islands	M = 8.3	11 m	Not specified
12.07.1993	Japan	Sea of Japan	M = 7.7	31.7 m	330
26.05.1983	Japan	Noshiro	M = 7.7	14.5 m	103
07.12.1944	Japan	Kii Peninsula	M = 8.1	10 m	40
02.03.1933	Japan	Sanriku	M = 8.4	30 m	3 000
01.09.1923	Japan	Tokaido	M = 7.9	12 m	2 144
07.09.1918	Russia	Kuril Islands	M = 8.2	12 m	50
15.06.1896	Japan	Sanriku	M = 7.6	38 m	26 380
24.12.1854	Japan	Nankaido	M = 8.4	28 m	3 000
29.06.1780	Russia	Kuril Islands	M = 7.5	12 m	12
24.04.1771	Japan	Ryukyu Islands	M = 7.4	85 m	13 500
28.10.1707	Japan	Japan	M = 8.4	11 m	30 000
31.12.1703	Japan	Tokaido-Kashima	M = 8.2	10,5 m	5 200
02.12.1611	Japan	Sanriku	M = 8.0	25 m	5 000
20.09.1498	Japan	Nankaido	M = 8.6	17 m	200

► Simple Estimation:

Within the past 513 years 16 tsunamis with maximum amplitudes above 10 m and induced by earthquakes of magnitudes between 7.4 and 9.2 have been recorded for Japan and the adjacent Kuril Islands (Russia).

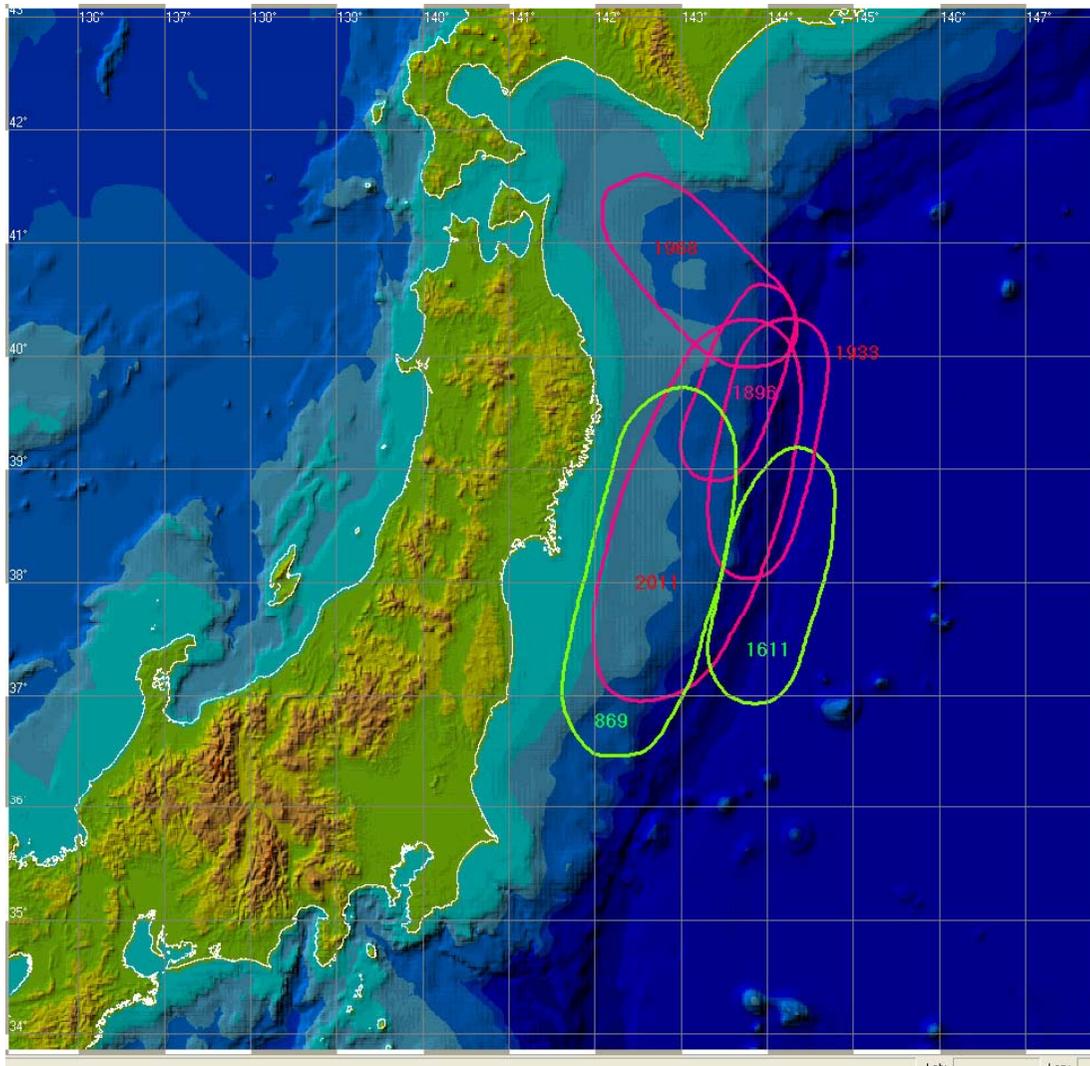
► Experienced Frequency:

$$f = 16/513 \text{ a} \approx 0.0312 \text{ a}^{-1}$$

Thus, within a **thirty** years period one severe tsunami with a maximum amplitude of more than 10 m has to be expected in Japan!

► No, it is rather a matter of obviously having ignored a high specific risk!

Sources: Dr. Johannes Nöggerath, Swiss Nuclear Society, March 28, 2011, www.tsunami-alarm-system.com ¹⁾ magnitude ²⁾ maximum amplitude

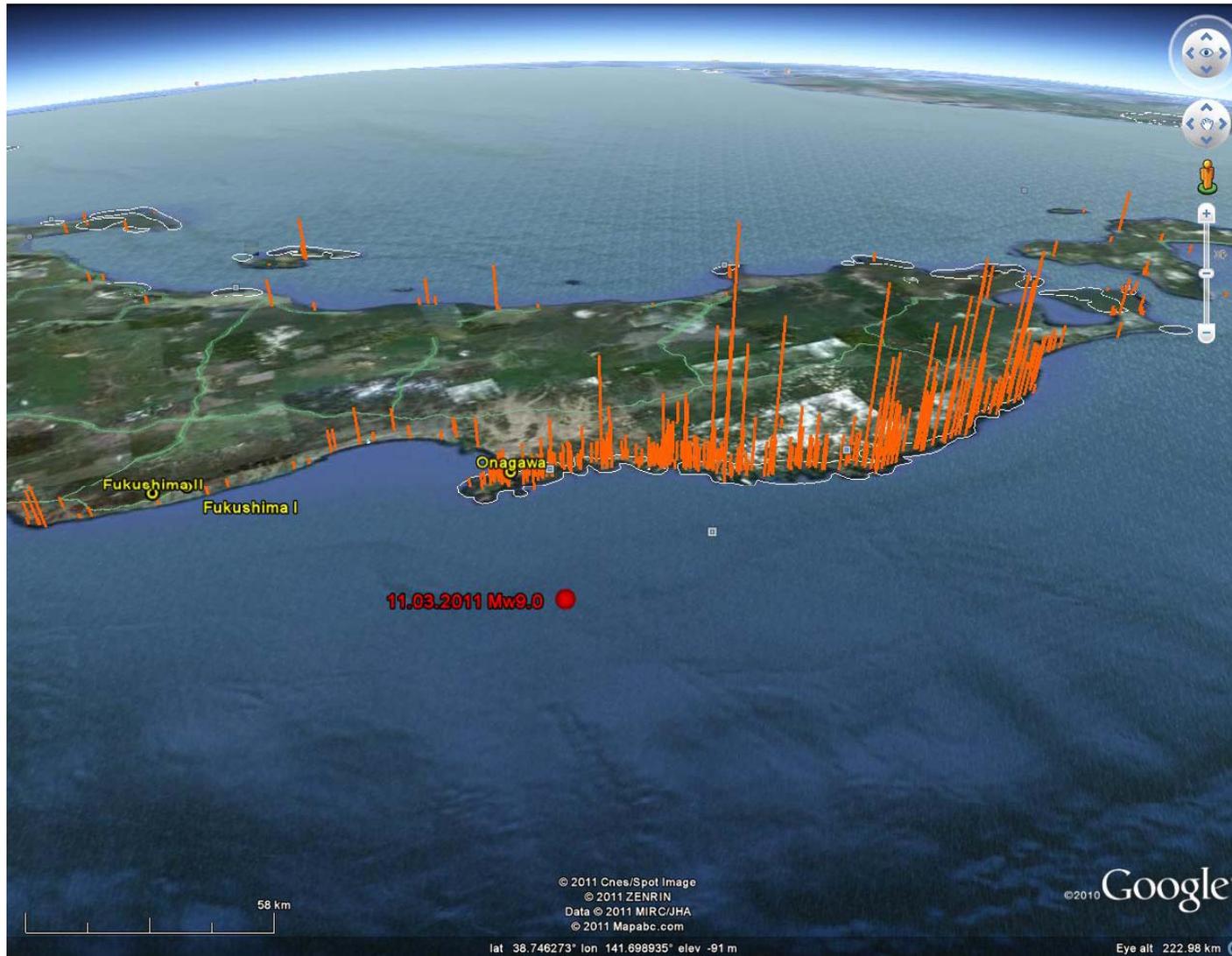


Source areas of major historical tsunamis in the Tohoku area.

Green line shows source position based on macroseismic and descriptive data

Red line - based on instrumental (tide-gauge) data.
(m. Genehmigung Prof. Gusiakov)

Reale Risikoeinschätzung wurde Nicht gemacht

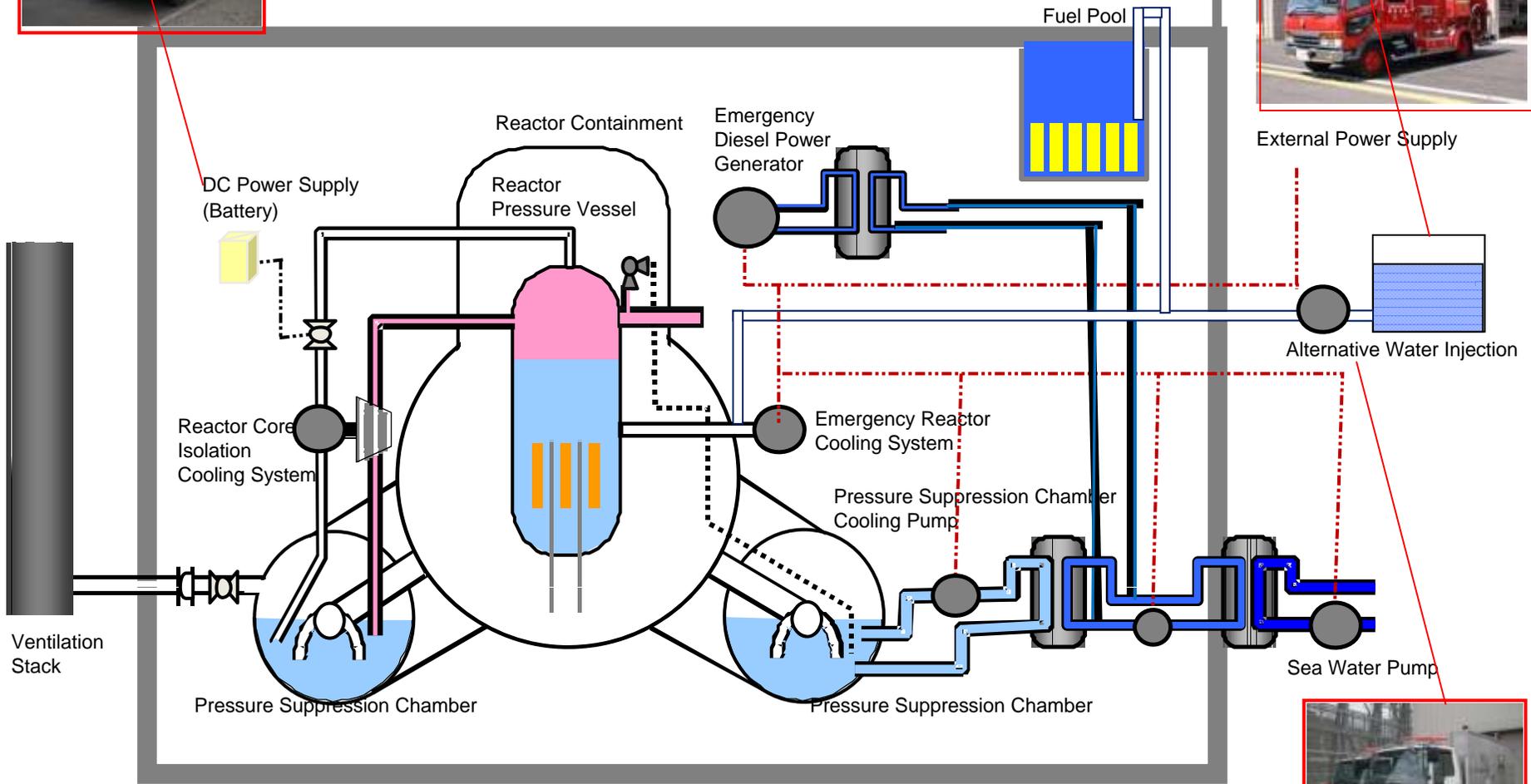


Map of reported
historical
Tsunami run-ups along
the Tohoku coast.

Retrieval made for the
time period from
800 AD until 1965.
(m. Genehmigung
Prof. Gusiakov)

Fukushima - Lehren für die Schweiz?

Zu späte, nicht ausreichende Notfall-Massnahmen





Fukushima - Lehren für die Schweiz?

Fukushima: Auslegung und Notfallbereitschaft?



Was heisst „**unzureichende Auslegung und Notfallbereitschaft**“ bei genauerer Betrachtung?

→ Bericht der japanischen Regierung an IAEA Mitte Juni 2011, 750 Seiten:

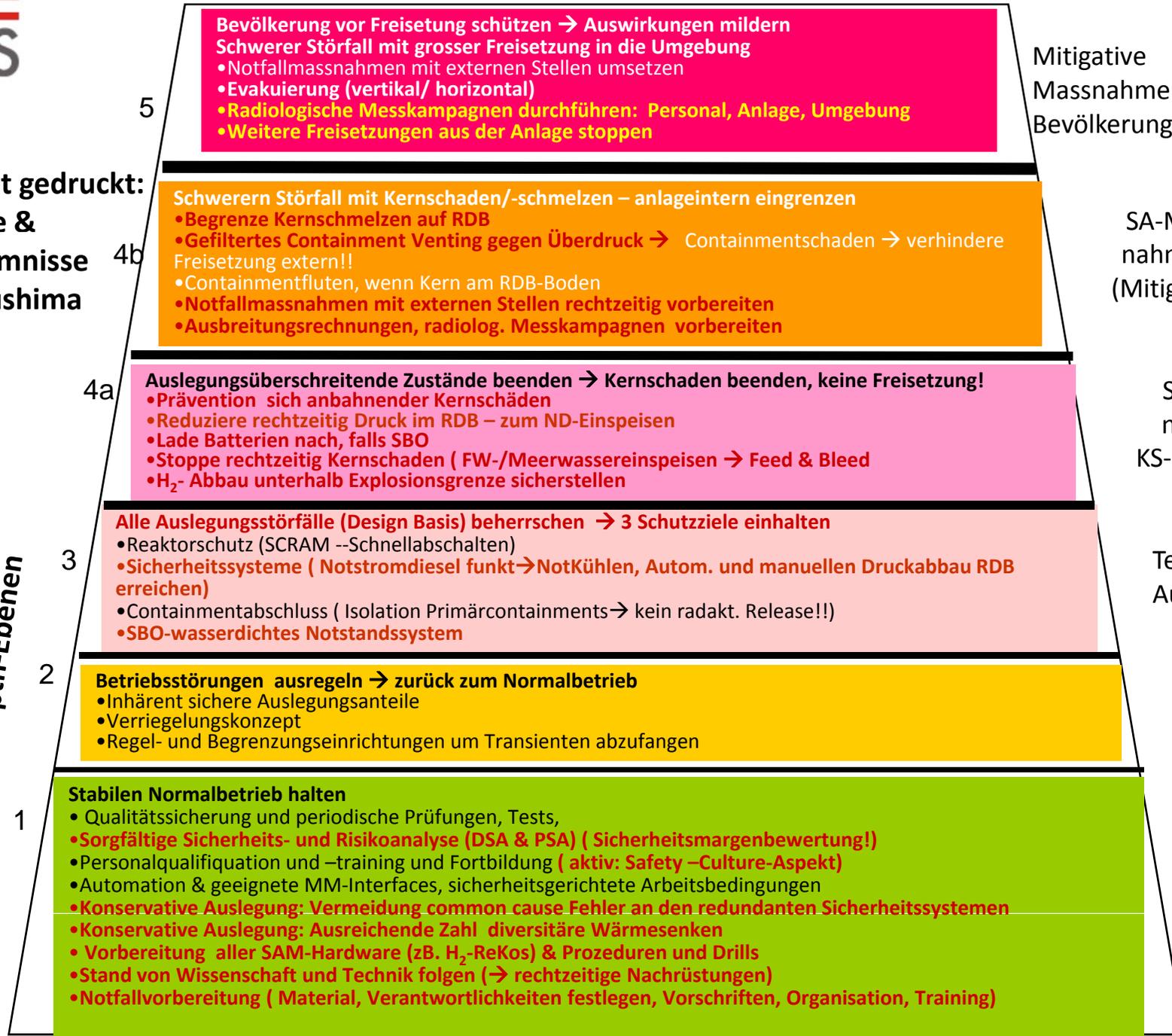
**Report of the Japanese Government to the IAEA Ministerial Conference on Nuclear Safety
- The Accident at TEPCO's Fukushima Nuclear Power Stations -
June 2011
Nuclear Emergency Response Headquarters
Government of Japan**

Wichtig zum Verständnis:

Defence –in-Depth –Prinzip zur nuklearen Sicherheit!

Fett ,rot gedruckt:
Defizite &
Versäumnisse
In Fukushima

Defense -of-depth-Ebenen



5
Bevölkerung vor Freisetzung schützen → Auswirkungen mildern
Schwerer Störfall mit grosser Freisetzung in die Umgebung
• Notfallmassnahmen mit externen Stellen umsetzen
• Evakuierung (vertikal/ horizontal)
• Radiologische Messkampagnen durchführen: Personal, Anlage, Umgebung
• Weitere Freisetzen aus der Anlage stoppen

Mitigative
Massnahmen für
Bevölkerung & Personal

4b
Schwerem Störfall mit Kernschaden/-schmelzen – anlageintern eingrenzen
• Begrenze Kernschmelzen auf RDB
• Gefiltertes Containment Venting gegen Überdruck → Containmentschaden → verhindere Freisetzung extern!!
• Containmentfluten, wenn Kern am RDB-Boden
• Notfallmassnahmen mit externen Stellen rechtzeitig vorbereiten
• Ausbreitungsrechnungen, radiolog. Messkampagnen vorbereiten

SA-Mass-
nahmen II
(Mitigation)

4a
Auslegungsüberschreitende Zustände beenden → Kernschaden beenden, keine Freisetzung!
• Prävention sich anbahnender Kernschäden
• Reduziere rechtzeitig Druck im RDB – zum ND-Einspeisen
• Lade Batterien nach, falls SBO
• Stoppe rechtzeitig Kernschaden (FW-/Meerwassereinspeisen → Feed & Bleed
• H₂- Abbau unterhalb Explosionsgrenze sicherstellen

SA-Mass-
nahmen I
KS-Prävention

3
Alle Auslegungsstörfälle (Design Basis) beherrschen → 3 Schutzziele einhalten
• Reaktorschutz (SCRAM --Schnellabschalten)
• Sicherheitssysteme (Notstromdiesel funkt→NotKühlen, Autom. und manuellen Druckabbau RDB erreichen)
• Containmentabschluss (Isolation Primärcontainments → kein radakt. Release!!)
• SBO-wasserdichtes Notstandssystem

Technische
Auslegung

2
Betriebsstörungen ausregeln → zurück zum Normalbetrieb
• Inhärent sichere Auslegungsanteile
• Verriegelungskonzept
• Regel- und Begrenzungseinrichtungen um Transienten abzufangen

1
Stabilen Normalbetrieb halten
• Qualitätssicherung und periodische Prüfungen, Tests,
• Sorgfältige Sicherheits- und Risikoanalyse (DSA & PSA) (Sicherheitsmargenbewertung!)
• Personalqualifikation und –training und Fortbildung (aktiv: Safety –Culture-Aspekt)
• Automation & geeignete MM-Interfaces, sicherheitsgerichtete Arbeitsbedingungen
• Konservative Auslegung: Vermeidung common cause Fehler an den redundanten Sicherheitssystemen
• Konservative Auslegung: Ausreichende Zahl diversitäre Wärmesenken
• Vorbereitung aller SAM-Hardware (zB. H₂-ReKos) & Prozeduren und Drills
• Stand von Wissenschaft und Technik folgen (→ rechtzeitige Nachrüstungen)
• Notfallvorbereitung (Material, Verantwortlichkeiten festlegen, Vorschriften, Organisation, Training)

Sicherheitsanalyse:

Risiko für grosse Tsunamireignisse über lange Zeit falsch eingeschätzt

SE3: Auslegung (Nachrüstdefizite):

- zu wenig hohe Tsunamiverbauung
- Sicherheit der Notstromanlagen gegen gemeinsamen Ausfall (common cause failure)
- Dichtigkeit der Gebäude und Strukturen mangelhaft
- Zuverlässigkeit der Hochdruckeinspeisesysteme (SBO Zeiten) zu gering
- Keine dichte, gehärtete (SBO) Notstandsredundanz

SE4: Notfallbereitschaft: (fairerweise: Widrige Umstände Gesamtkatastrophe berücksichtigen!)

- Notfallhardware, Vorbereitung und Training nicht ausreichend für Multiplant versagen
- PC-Venting nicht geeignet
- Keine Alternativeinspeisewege/vorbereitungen für BE-Becken
- Notfallmanagement zwischen Anlage – TEPCO – Behörde – Regierung nicht klar geregelt, lange Entscheidungswege → -Zeiten zu lang
- Radioaktivitäts-Ausbreitungssimulationen nicht schnell genug verfügbar
- Radioaktivitätsmesskampagnen zu langsam angelaufen

Nationale Safety Culture: Behörde:

- Unabhängigkeit nicht garantiert
- Regelwerk nicht auf dem internationalen Stand (IAEA)
- Kommunikation zur Bevölkerung mangelhaft

KKL Not- und Nachkühlsysteme

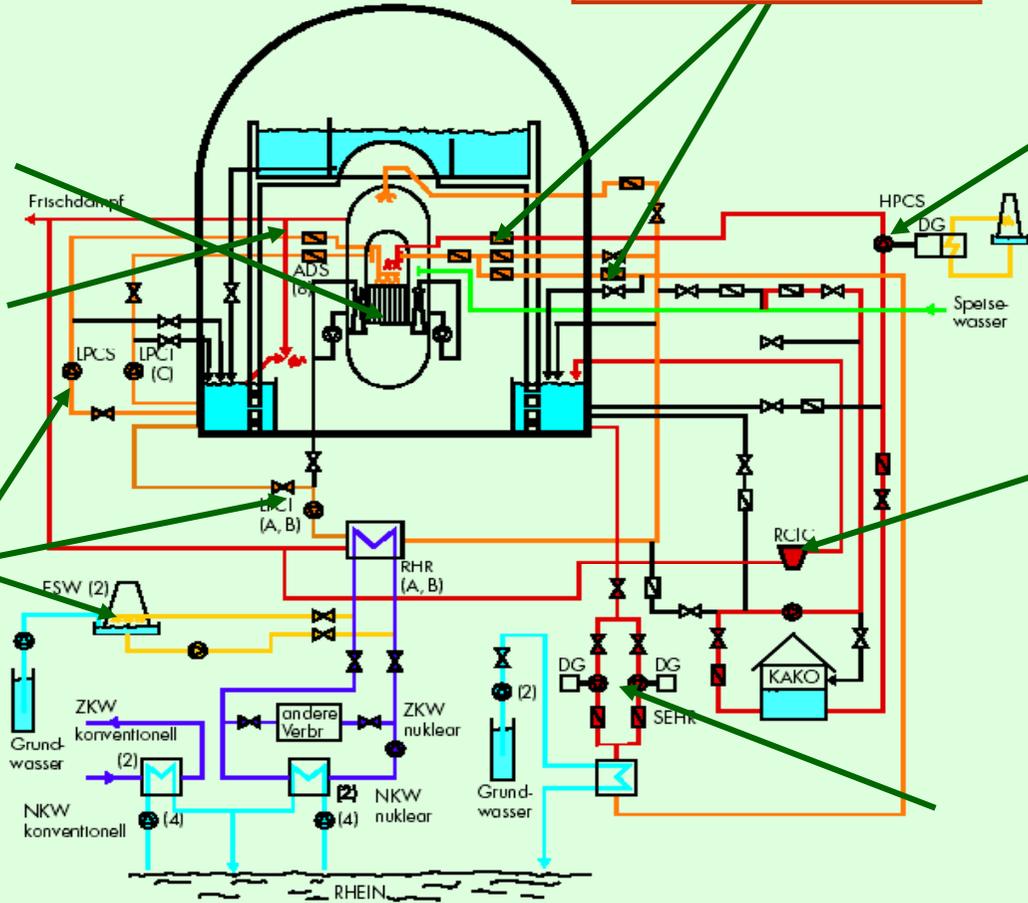
Containment Isolations System zum Einschluss von radioaktiven Stoffen

SGK
SOSIN
SNS

2 diversitäre Abschalt-Systeme:
1 N2-Stab Schnellabschalt-system
1 Bor-Vergiftungssystem

16 redundante ADS-Druckentlastungsventile

2 Niederdruck-Einspeisestränge mit:
4 Niederdruck-Pumpen
2 Dieselgeneratoren
2 Notkühltürme mit je eigenen Grundwasserbrunnen



1 Hochdruckeinspeise-system mit:
1 Dieselgenerator mit 1 eigenen Grundwasserbrunnen

= HP-Diversität

1 Hochdruckeinspeise-system mit:
Restdampfturbinen-antrieb

2 Autarke Notstandstränge (= SEHR-System) mit:
2 Niederdruck-Pumpen
2 Dieselgeneratoren
2 eigene Grundwasserbrunnen

ADS	Automatisches Druckabbausystem	RHR	Nachzerfallswärmeabfuhrsystem
HPCS	Hochdruckkernsprühsystem	ESW	Notkühlwasser
LPCS	Niederdruckkernsprühsystem	ZKW	Zwischenkühlwasser
LPCI	Niederdruckflutsystem	NKW	Nebenkühlwasser
RCIC	Kernisolationskühlsystem	KAKO	Kaltkondensatbehälter
SEHR	Notfallkühlsystem	DG	Dieselgenerator

Auslegungsebene:

Redundante Notstromversorgungen: bei allen KKW sehr gut durch 3-5 Diesel &WKW realisiert

Diversität bei Notstromversorgungen: bei allen KKW sehr gut durch zusätzliche autarke , gehärtete, wasserdichte, FLA, terrrorsichere Notstandssysteme zur Kühlung (nur CH und D)

Diversitäre Wasserfassungen für verschiedene Notkühlsysteme vs. Notstandssysteme: Bei 3 KKW realisiert. KKM hat gutes verteiltes Ansaugsystem, wird zusätzliche Aare-unabhängige Wärmesenke (zB. Kühlturm) für das SBO-Notstandssystem nachrüsten

SSE-feste Beckenkühlung: Bei KKL und KKG realisiert. Bei KKB und KKM im Prinzip realisiert, aber Schutz gegen SSE noch verbessern.

Hochwasser: Nachweis gegen 10'000 jähriges Hochwasser & Wehr-, Dammbrüche sind für 3 Werke heute an ENSI einzureichen. CH-KKW sind sicher gegen **extremes** Hochwasser. KKM wird am Pumpenhaus NKW Nachrüstungen vornehmen.

Erdbeben: Nachweis gegen 10'000 jähriges Erdbeben „SSE“ nach neuer PEGASOS Erdbebengefährdung Schweiz“ durchführen. Sicherheitssysteme von allen KKW sind gegen **extremes** EB ausgelegt mit ausreichenden Sicherheitsmargen. CH: Schärfste EB-Anforderungen in Europa!!

Anmerkung: Bei uns wird gegen extrem seltene Naturgefahren ausgelegt (1/10'000 y). In Fukushima versagte die Auslegung bei einer Naturgefahr die eine Häufigkeit von 1/100 bis 1/ 1000 hat! → riesiger Unterschied!!

Notfallbeherrschung:

Notfallbereitschaft: CH-Gesetz fordert das in voller Konsequenz.

Severe Accident Management wurde in allen Werken eingeführt und wird von der Behörde bzgl. Hardware-Massnahmen, Organisation, Prozeduren und periodischer Trainings kontinuierlich inspiziert. Es ist ein sehr guter Zustand erreicht. Für alle Betriebszustände – auch Revisionszeit

Gefiltertes Containment Venting: Bei allen CH-Werken Anfang der 90er Jahre realisiert mit MOV und manuell zu öffnendem Ventil.

Containment Fluten: bei allen CH-KKW realisiert

Feed&Bleed-Hardware & Prozeduren: (RDB resp. DE-Druckabbau, bei allen CH-KKW realisiert, Einspeisestutzen von aussen zugänglich → RDB und BE-Becken redundant vorhanden)

Externes Notfall-Lager Raitnau (max. 1 std Heliflug): neue, zusätzliche Verbesserung für die nukleare Beherrschung von schweren Naturkatastrophen für alle KKW

Beherrschung Ausdampfen BE-Becken bei SBO: KKG, KKL Vorkehrungen vorhanden; KKB und KKM: Notfallmassnahmen (SE4) verbessern

CH-Notfallplanung kohärent: KKW → ENSI → Kanton → BABS/NAZ → LAR(Bund)

ENSI, Sicherheitsbehörde:

Unabhängigkeit: in der Schweiz gegeben als eigenständiges Inspektorat, getrennt von BFE
KEG/KEV: neues (2004) Kernenergiesicherheitsgesetz, enthält alle neuen Erkenntnisse der letzten 20 Jahre

- **KKW-Stresstest-Auslegung**

Prüfung, ob die spezifische Auslegung ausreichend stabil und robust ist, um auch unter Einwirkung von verschiedenen harten Randbedingungen (→ Stressoren) ein schnelles, katastrophales Versagen (Fukushima) zu verhindern.

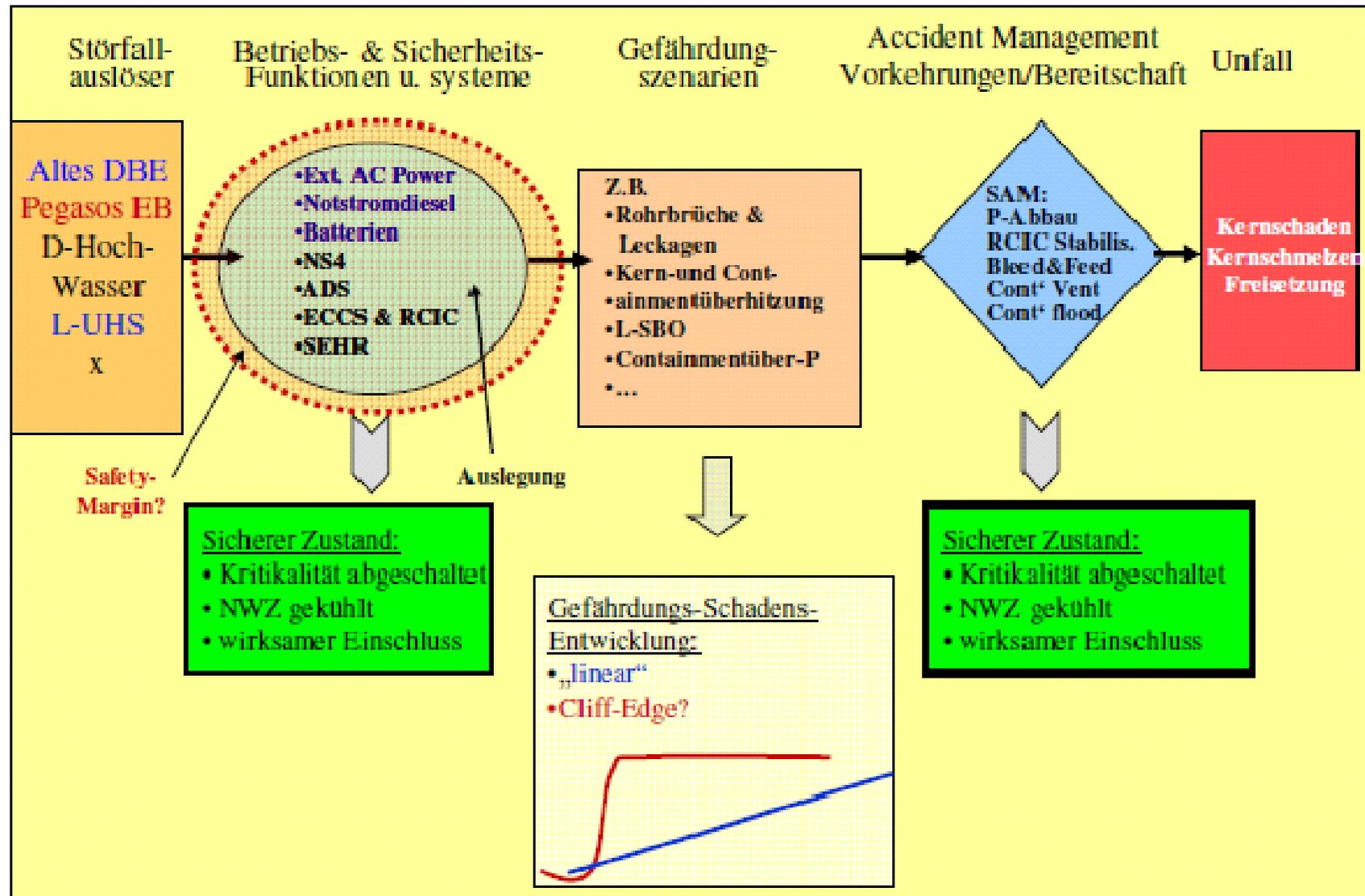
Mit dem ST wird geprüft, ob selbst bei härtesten Randbedingungen (→ Gefährdungsannahmen) bei unseren landestyp. Naturgefahren (→ EB, HW, Kombination = Störfallauslöser) die Sicherheitssysteme (→ safety functions, SE 3) wirksam sind und selbst für diese Fälle ausreichende Reserven (→ **Safety Margins**, Konservativitäten) enthalten sind.

Dabei soll gezeigt werden, dass

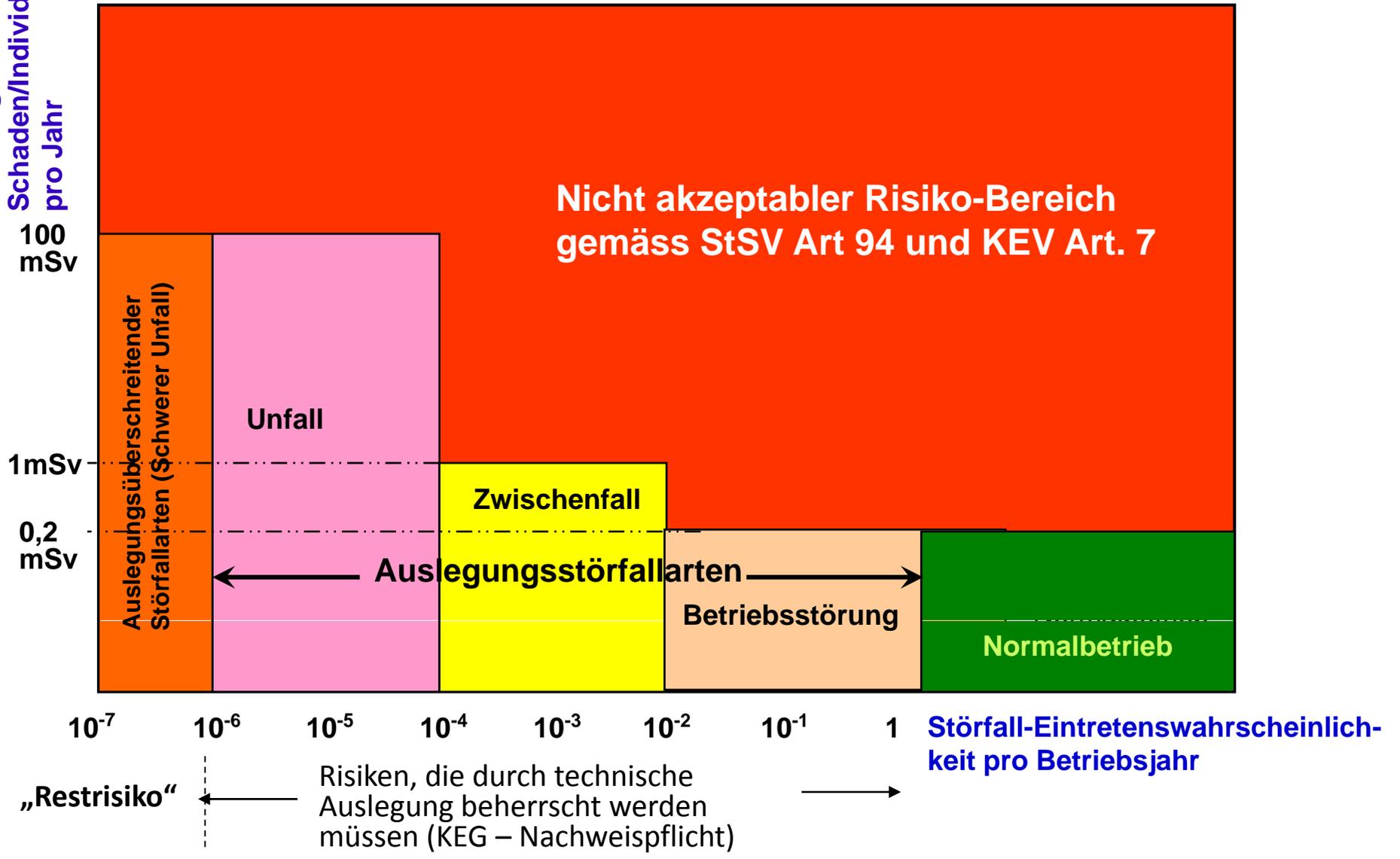
1. die betroffenen Sicherheitssysteme (safety functions) möglichst „linear“ und nicht unter **cliff edge-Effekt** versagen (Robustheit)
2. ausreichende Zeit- und Handlungsspielräume für Gegenmassnahmen (→ SAM) offen bleiben

- **KKW-Stresstest-Notfallmassnahmen**

- Ist das SAMG der CH-KKW (interne Massnahmen + externes Lager Reitnau) ausreichend als Vorkehrung gegen sehr seltene, extrem schwere Ereignisse?



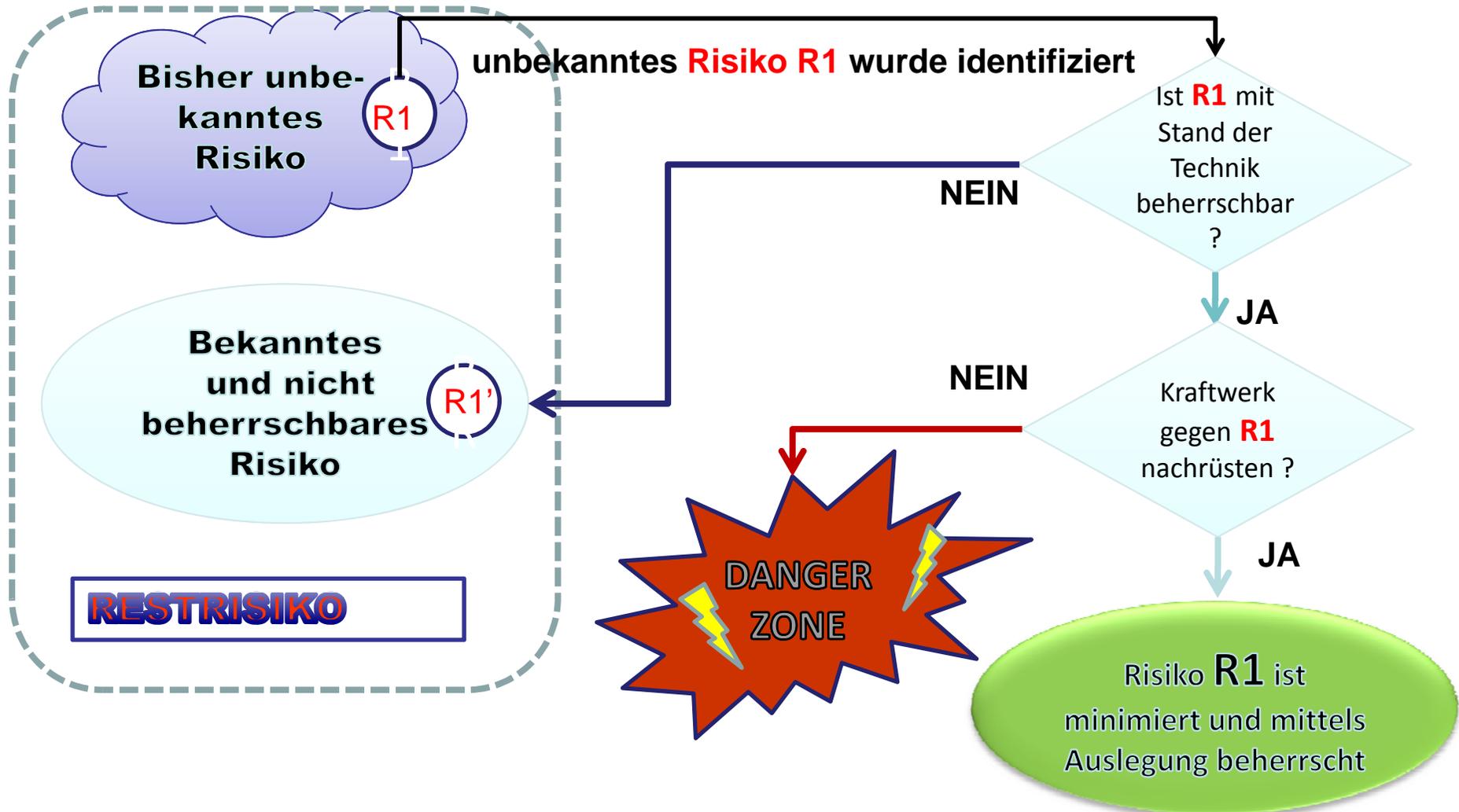
Radiologischer Folgeschaden/Individuum pro Jahr



Risiken, die durch technische Auslegung beherrscht werden müssen (KEG – Nachweispflicht)

Risikoart	Eintrittswahrscheinlichkeit [1/y]
Restrisiko: Grosser Kometeneinschlag; ungeplanter & gezielter FLA (bisher nicht bekannt, nicht/unzureichend beherrschbar)	< 1E-6
Risiken der Störfall-kategorie 3	1E-6 bis 1E-4
Risiken der Störfall-kategorie 2	1E-4 bis 1E-2
Risiken der Störfall-kategorie 1	1E-2 bis 1
Tägliche Risiken	

Basis: (14'000 Reaktorjahre Erfahrung!)



- Auslegungsüberprüfung - immer wieder aufs neue wichtig!!
- Brennelementbecken ein nicht immer mit erster Priorität behandeltes Thema
- Notfallprozeduren – weiter verbessern auf der Basis des Fu-Unfalles
- Auch in ruhigen Zeiten : PSA und DAS- Sicherheitsanalytik ist wichtig.

Vermutlich werden aber auch bald Japaner zu uns kommen, um zu lernen...

- **Fukushima-Unfall war m. E. kein sog. „Restrisiko“ – sondern man hat offensichtliche, grosse Risiken ignoriert, und sich um deren Beseitigung über 2 Jahrzehnte nicht ausreichend gekümmert !**
- **Die Schweizer Werke - auch das KKM - sind sehr, sehr sicher!**
- **Denn sie haben praktisch alles bereits in ihrer Auslegung – oder weitere Massnahmen in den 90ern nachgerüstet - was Fukushima zur Beherrschung des Unfalles fehlte.**
- **Das werden nun vor allem auch die Ergebnisse des EU-Stresstests zeigen, an dem die Schweiz teilnimmt: Hier werden auch unsere älteren KKW auf guten Rängen liegen!!**