

Tagung Kernenergie - Wann steigt Deutschland wieder ein?

Was wurde aus den „fortschrittlichen“ Reaktorkonzepten?

Dipl. Ing. Jürgen Schöttle

Programm

- Entwicklung der Reaktoranlagen
- Technologie Gen. 3 +
- Anlagensicherheit
- Wirtschaftliche Aspekte
- Kosten für den Ersatz der 3 stillgelegten KKW

Entwicklung von Kernkraftwerken

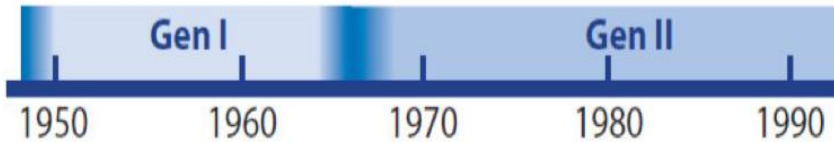
Generation I

Early prototype reactors

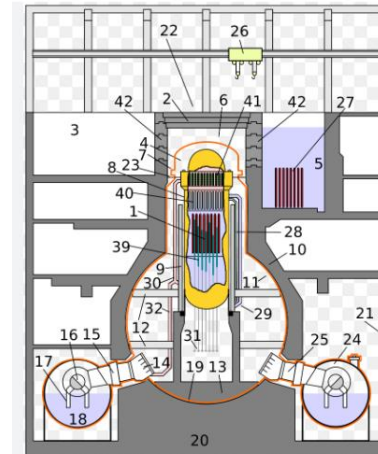


Generation II

Commercial power reactors

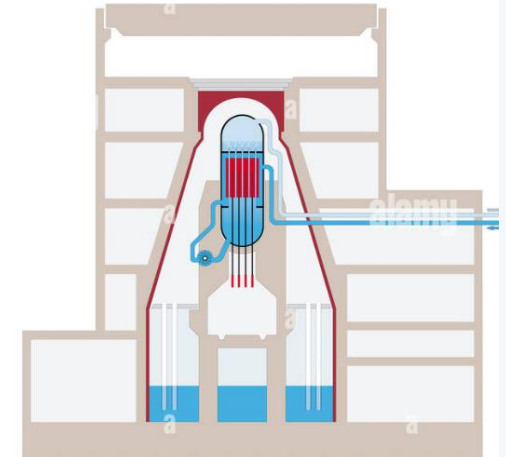


Harrisburg
 Fukushima
 Mühleberg
 Würgassen
 Obrigheim

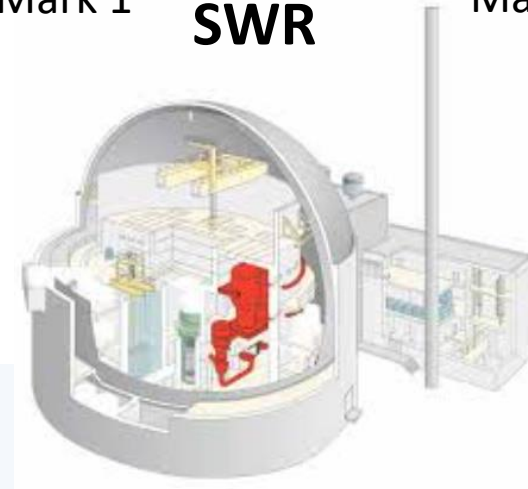


Mark 1

SWR

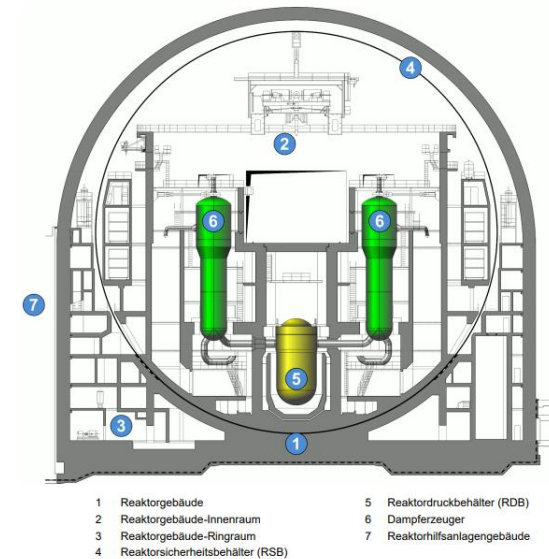
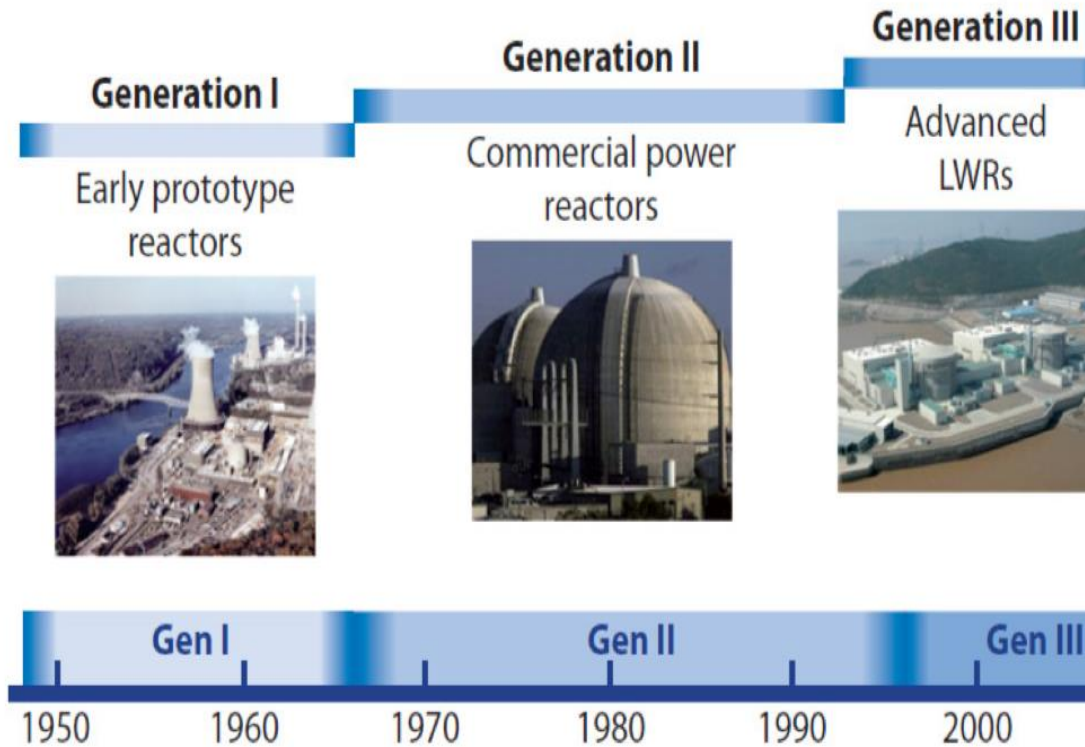


Mark 2



DWR

Entwicklung von Kernkraftwerken

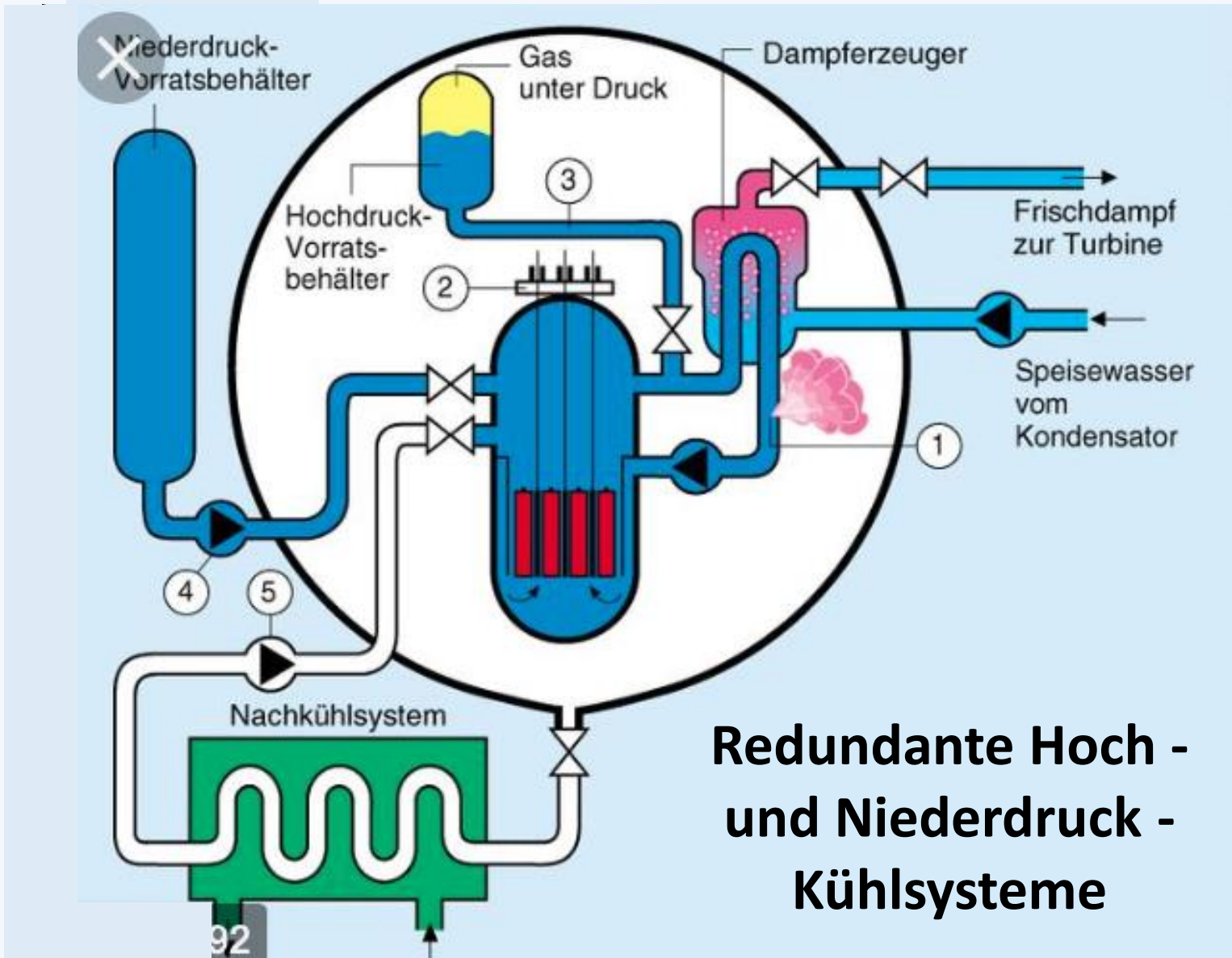


Harrisburg
Fukushima
Mühleberg
Würgassen
Fessenheim

Phillipsburg 1
Gösgen
Biblis
Konvoi

Konvoi
Emsland
Isar 2
Neckarwestheim 2

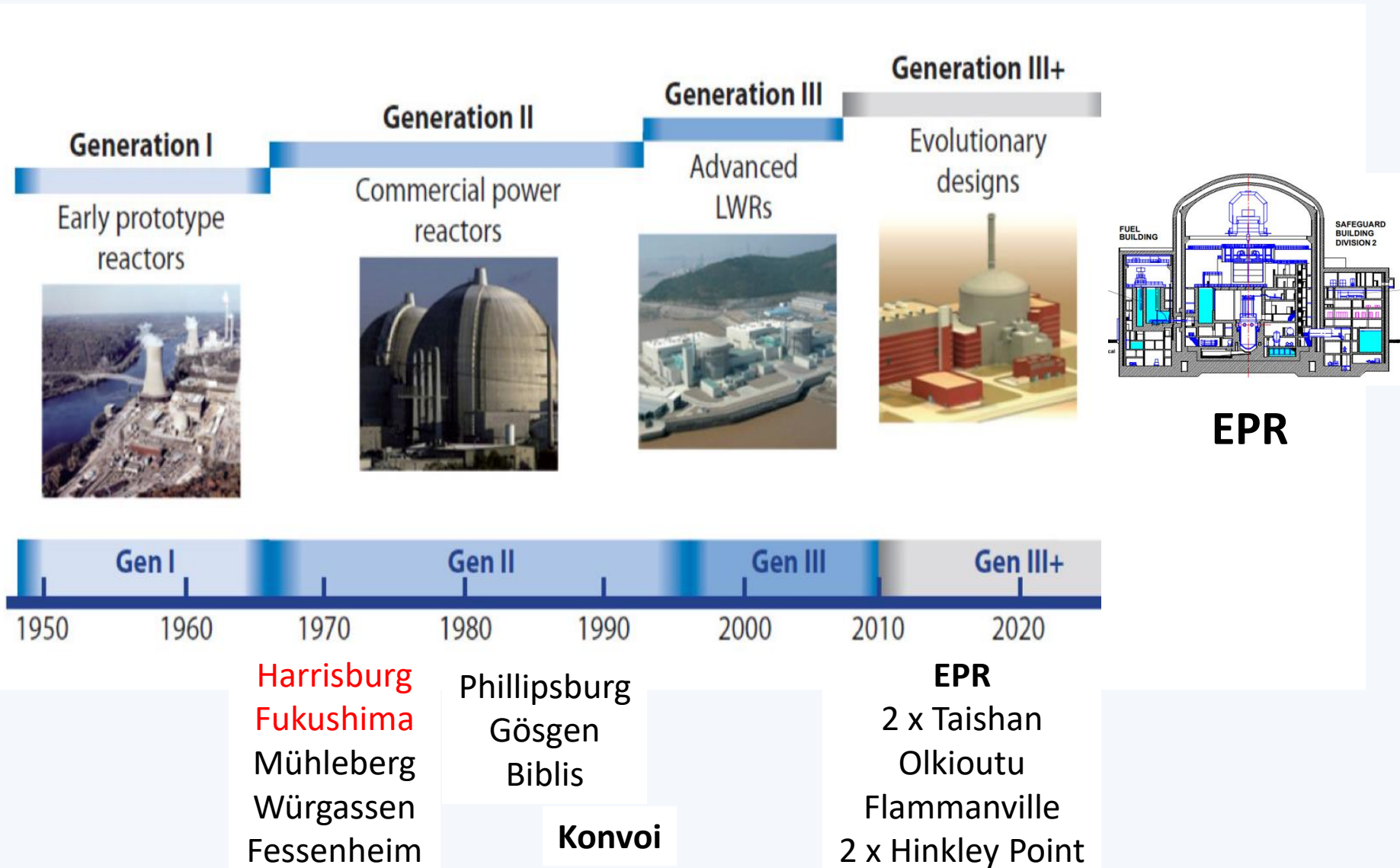
Systemsicherheit



Redundante Sicherheitssysteme

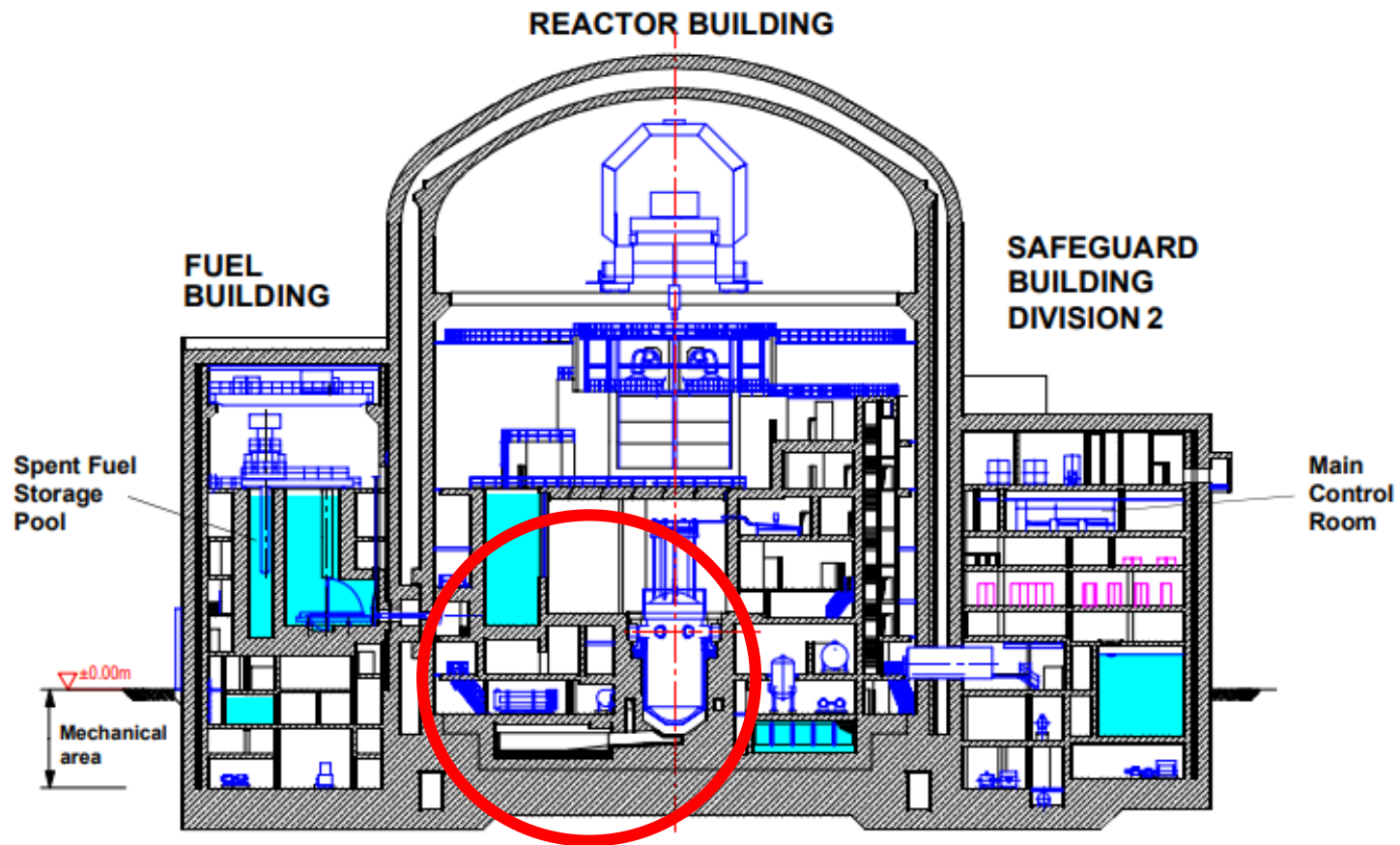


Entwicklung von Kernkraftwerken



EPR

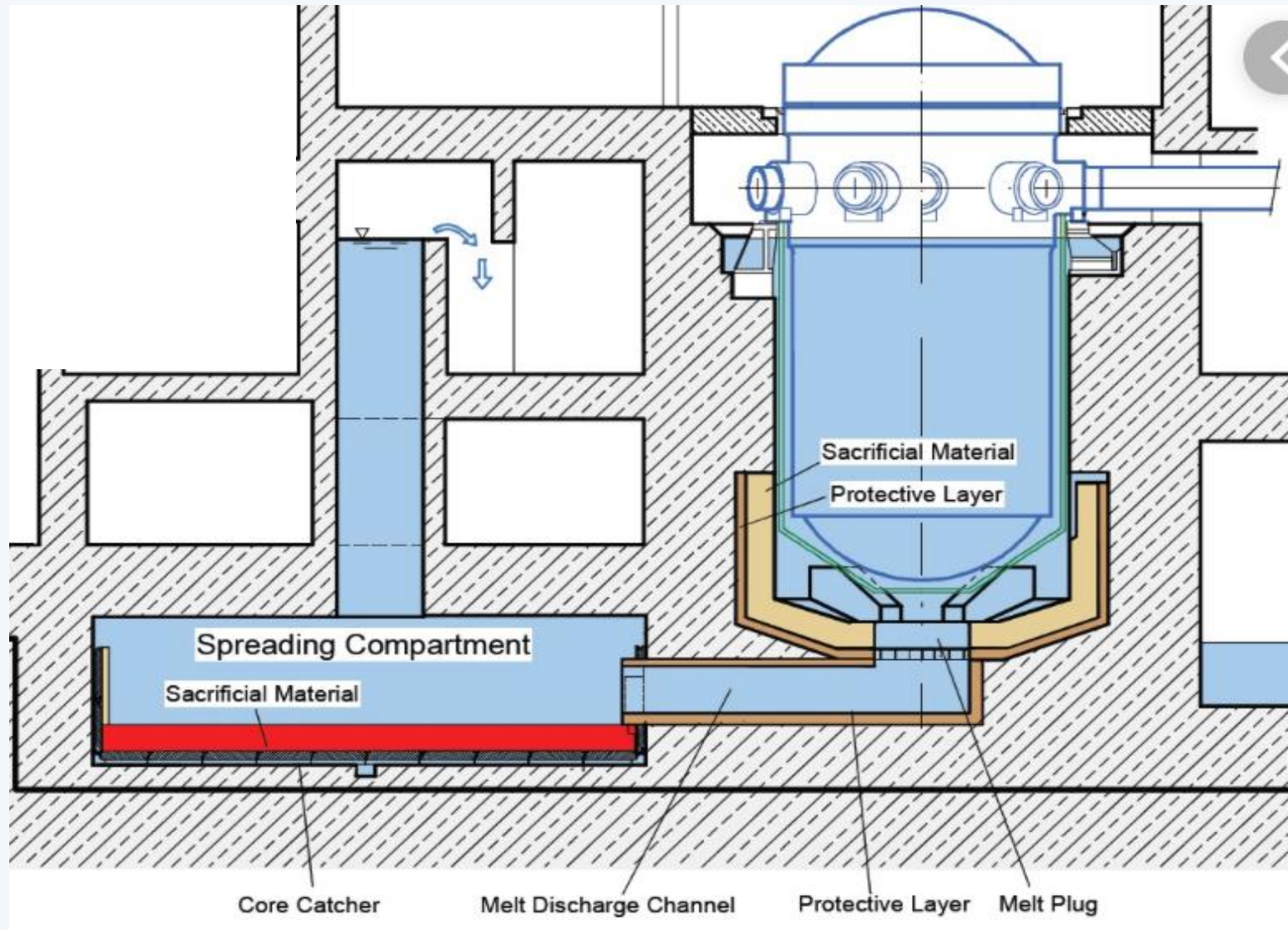
European Pressurized Water Reactor



IYNC 2000 , April 9-14, 2000

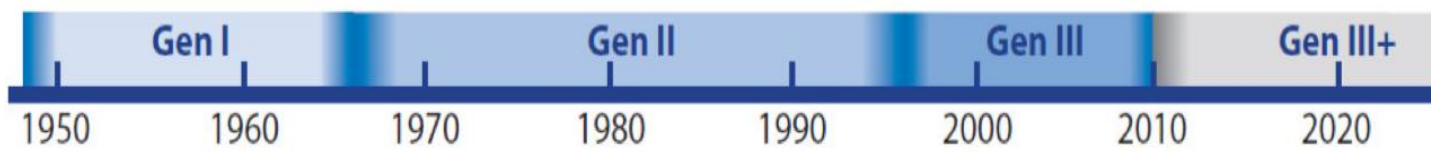
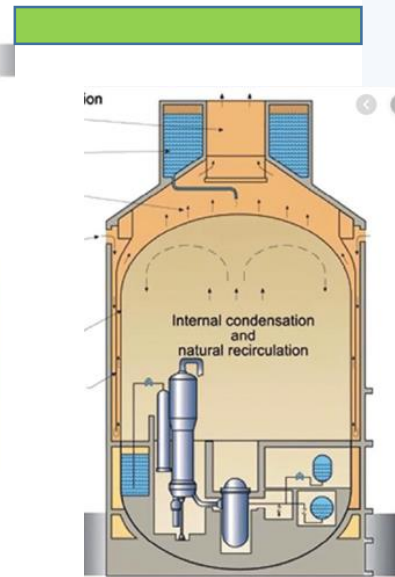
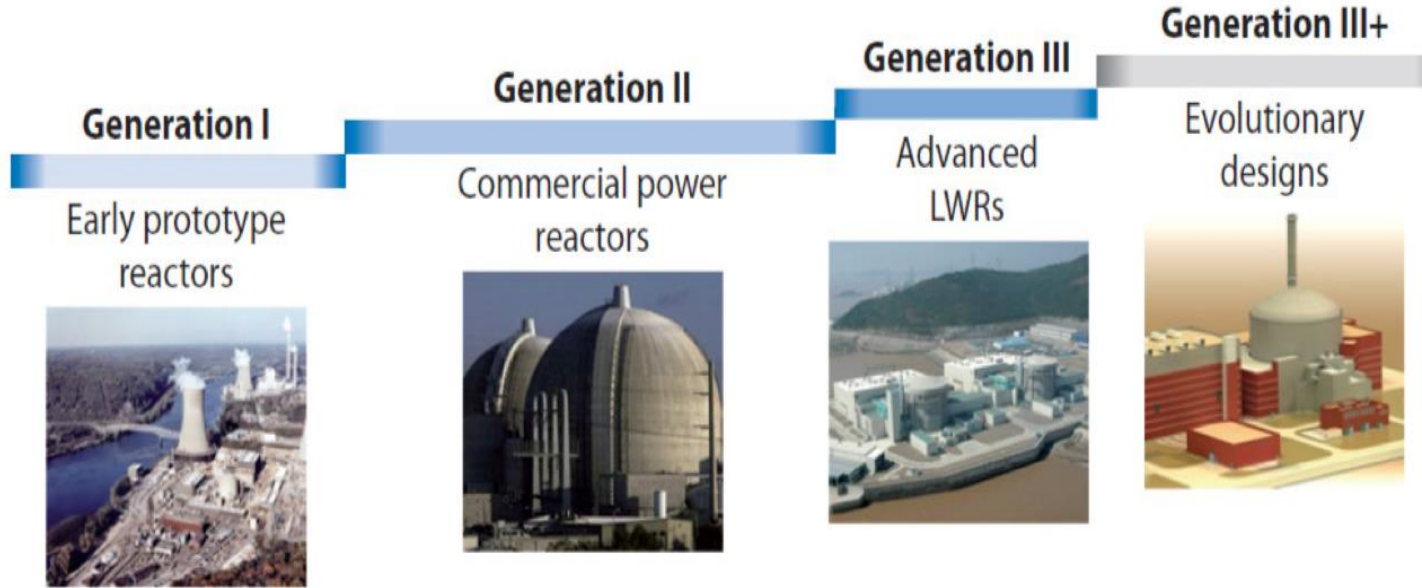
Framatome- Siemens
Figure 6.dsf

Core-Catcher



Entwicklung von Kernkraftwerken

Generation III +
mit passiven Notkühlsystemen



Harrisburg
Fukushima
Mühleberg
Würgassen
Fessenheim

Phillipsburg
Gösgen
Biblis
Konvoi

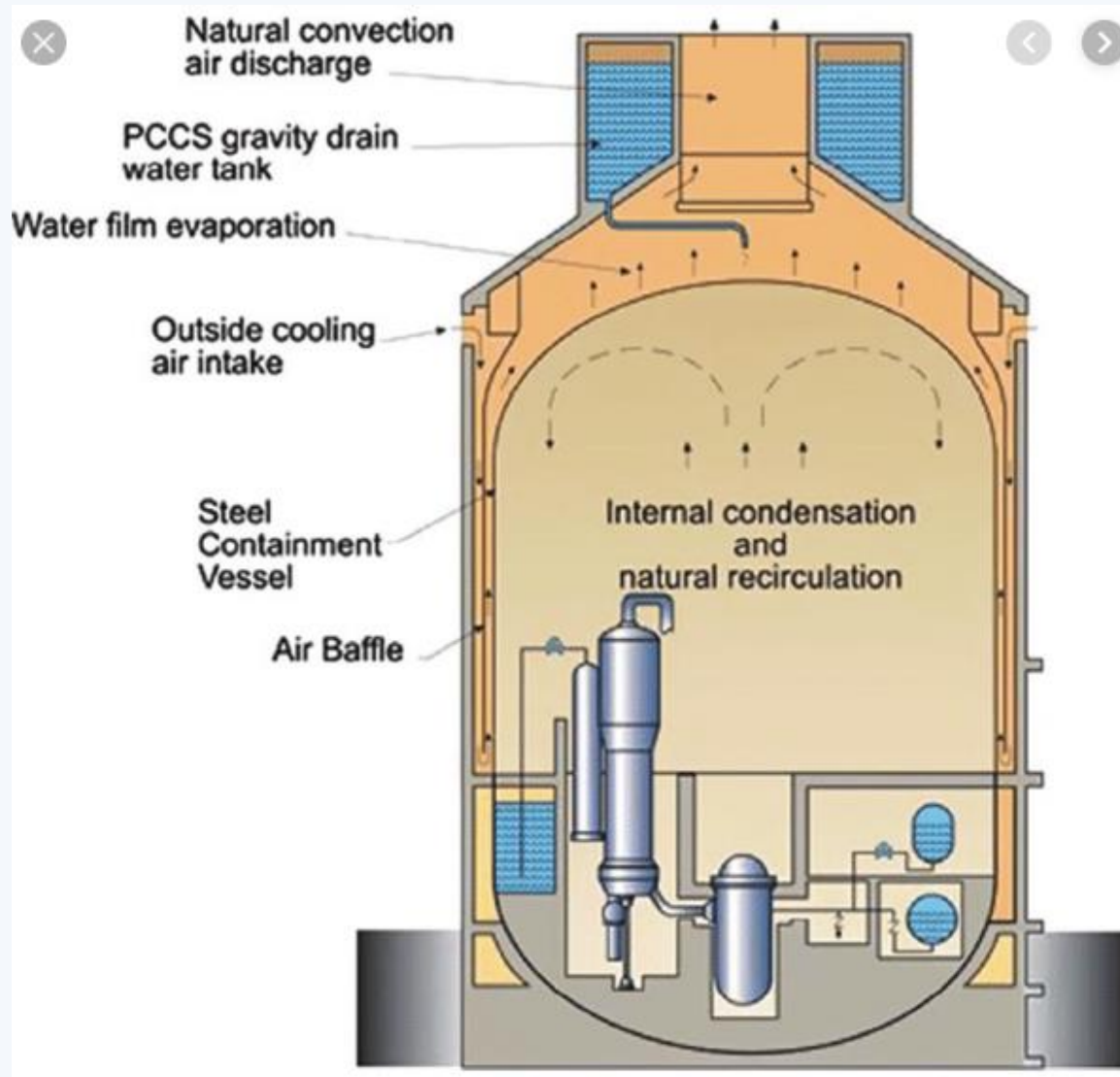
EPR
2 x Taishan
Olkiluoto
Flammanville
2 x Hinkley Point

16 Anlagen im Betrieb

AP 1000 USA
APR von Toshiba
Hualong China
WWER-1000 Russl
EPR 2.0 Frankreich
ab 2036 in Betrieb

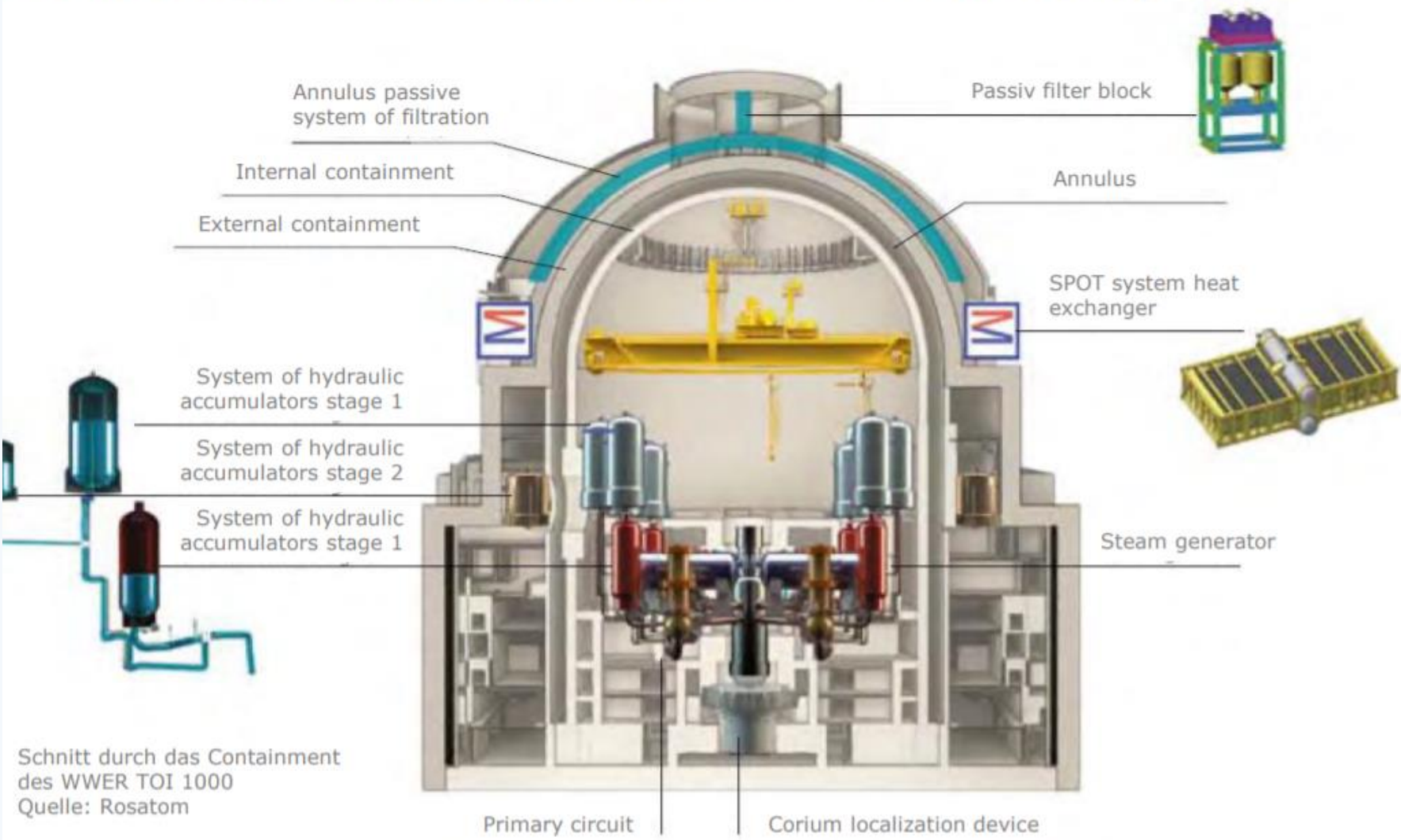
Kernkraftwerk Generation III + 2.0

AP 1000 WESTINGHOUSE



Kernkraftwerk Generation III + 2.0

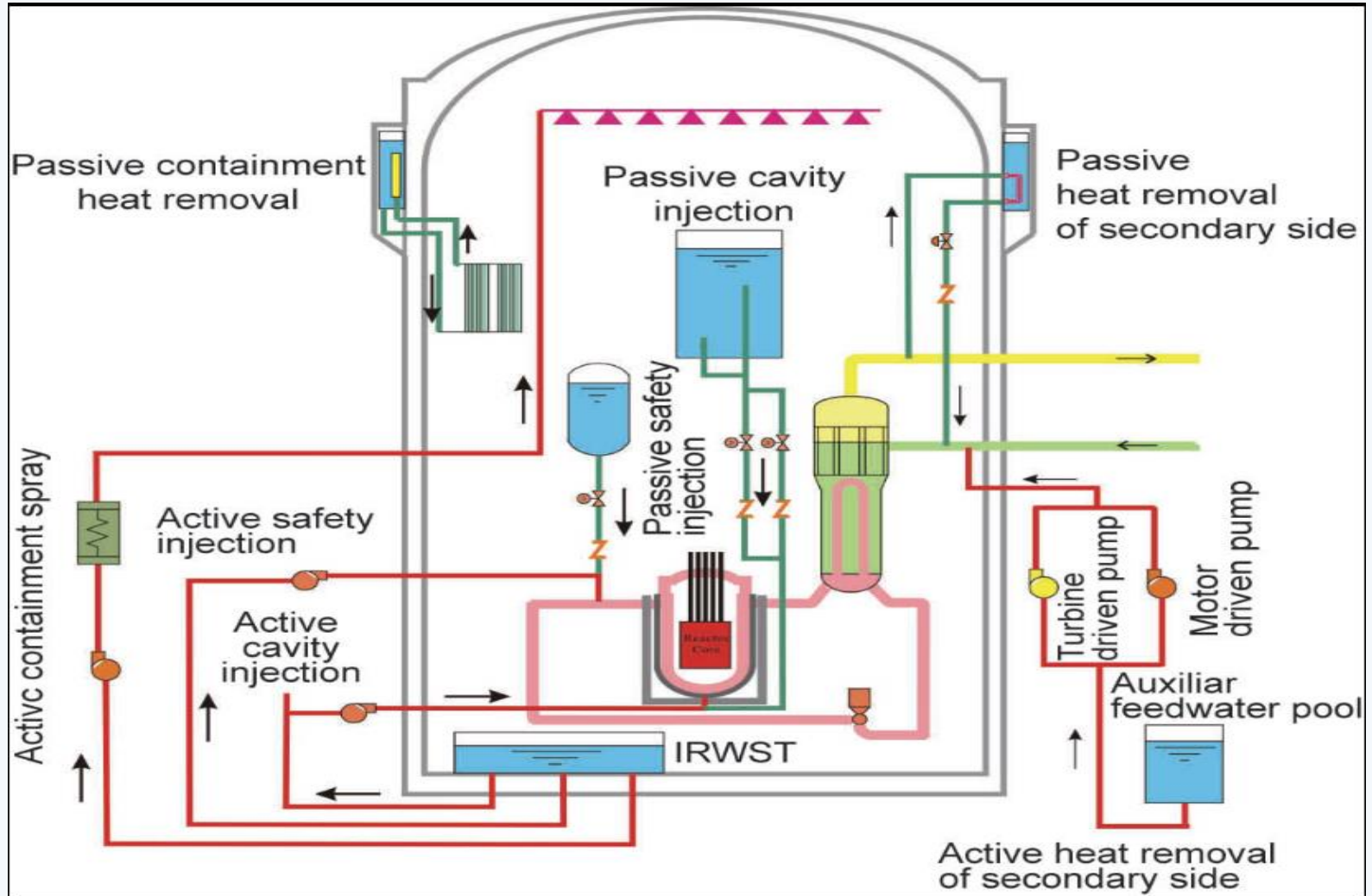
Kernreaktoren der Generation III - WWER-1000/1200



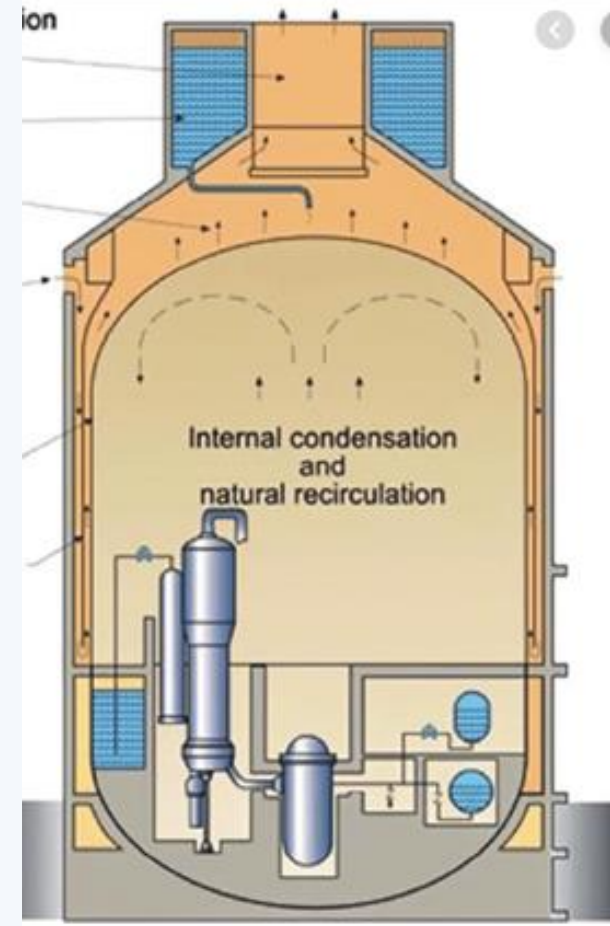
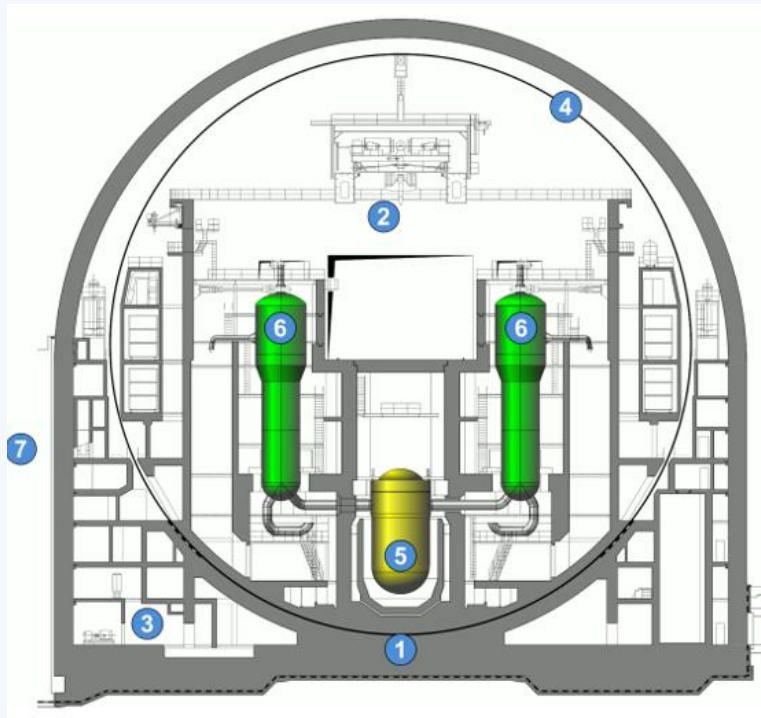
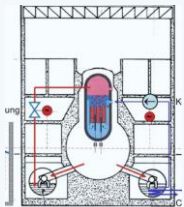
Nowoworonesch 2

Kernkraftwerk Generation III + 2.0

Hualong one China



Größenentwicklung der Reaktoranlagen

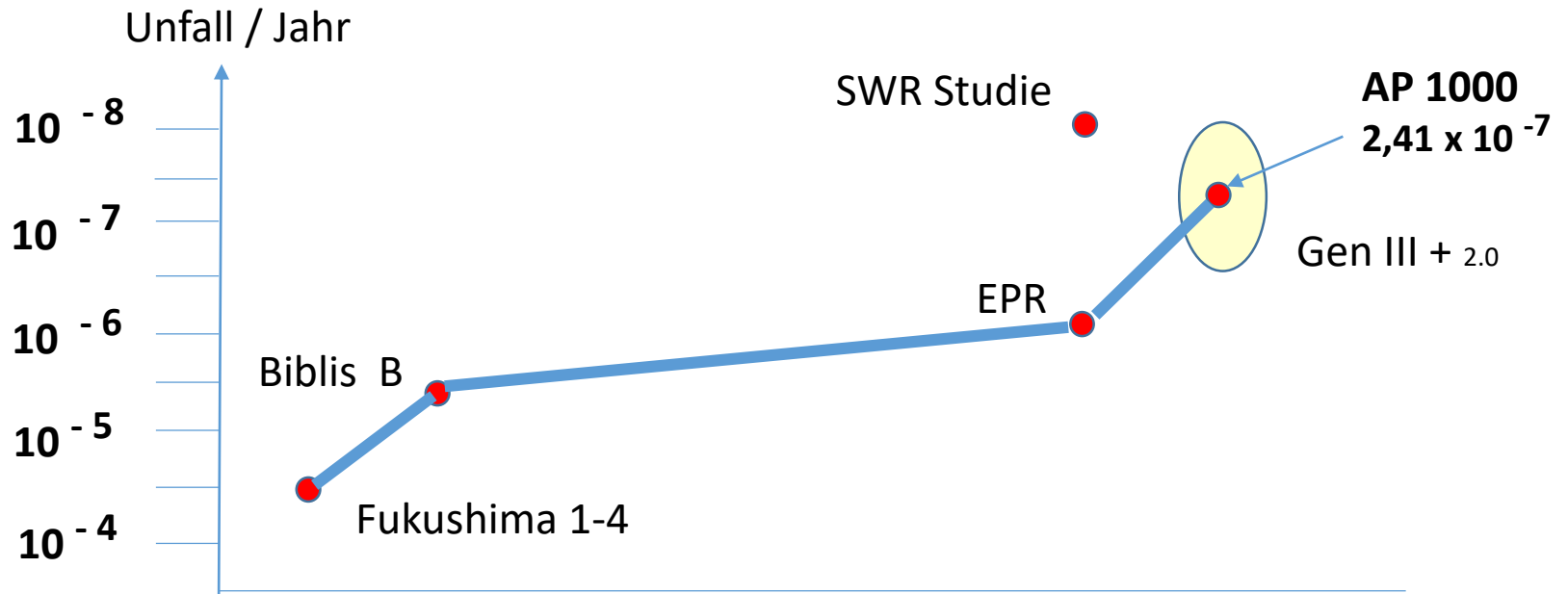


Fukushima
Mark 1

Emsland
Konvoi

Sanmen 1
AP 1000

Sicherheit gegen schweren Unfall



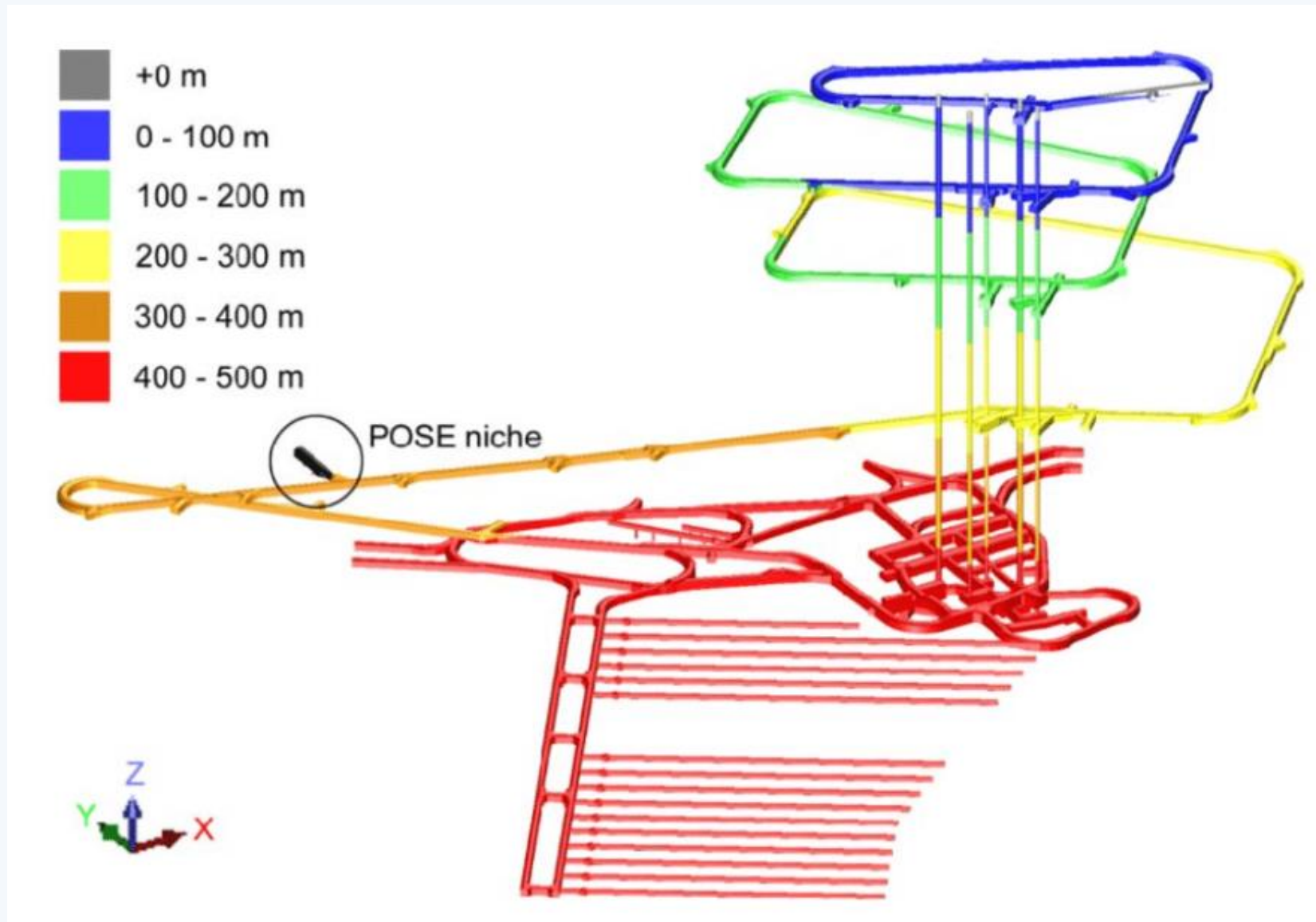
$2,41 \times 10^{-7}$ heißt, alle 24 Millionen Jahre einen schweren Störfall / Reaktor

Kernkraftwerks -Mythen

- **Endlager**
- Laständerungsgeschwindigkeit
- Kühlwasser im Sommer
- Versicherbarkeit

Endlager ONKALO für hochradioaktive Abfälle

Finnland



Endlagerkonzept Finnland



spez. Herstellkosten Kernkraftwerke

Typ Hersteller	Projekt	Land	Leistung	Bauzeit pro Block	Kunden- preis	Herstell- kosten	spez. Herstellkosten
			MW	Jahre	Mio Euro	Mio Euro	Mio € / MW
Konvoi Siemens	KKW Emsland	D	1400	5	1.750	1.200,0	0,9
	KKW Niedereichbach	D	1400	5	1.750	1.200,0	0,9
	KKW Neckarwestheim	D	1400	5	1.750	1.200,0	0,9
EPR Areva	Taishan 1 / 2	China	3.200	6,5	8.000	8.000	2,5
	Olkilouto	Finnland	1.600	18	3.000	11.000	6,9
	Flammanville	Frankreich	1.600	18	3.400	13.000	8,1
	Hinkley Point 1 / 2	England	3.200	10	21.000	27.000	8,4
EPR 2.0 Areva	Bauprojekte 1/ 6	Frankreich	9.600	7	50.000	50.000	5,2
	EPR 2.0 skaliert	Europa	1.600	6	6.400	6.400	4,0
Hualong 2.0 CNNC	Bauprojekte	China	1.000	4	2.000	2.000	2,0
AP1000 Westinghouse	Vogtle 3 / 4	USA	2.200	13	14.000	31.000	14,1
APR 1400 Kepco	Barakah 1 / 4	VAE	5.600	8	24.000	32.000	5,7
WWER 1200 Rossatom	Akkuyu 1 / 4	Türkei	4.800	7	18.000	20.000	4,2
WWER 1200 Rossatom	El-Dabaa NPP 1 / 4	Ägypten	4.800	6	22.000	22.000	4,6

spez. Investkosten Energieerzeugungsanlagen

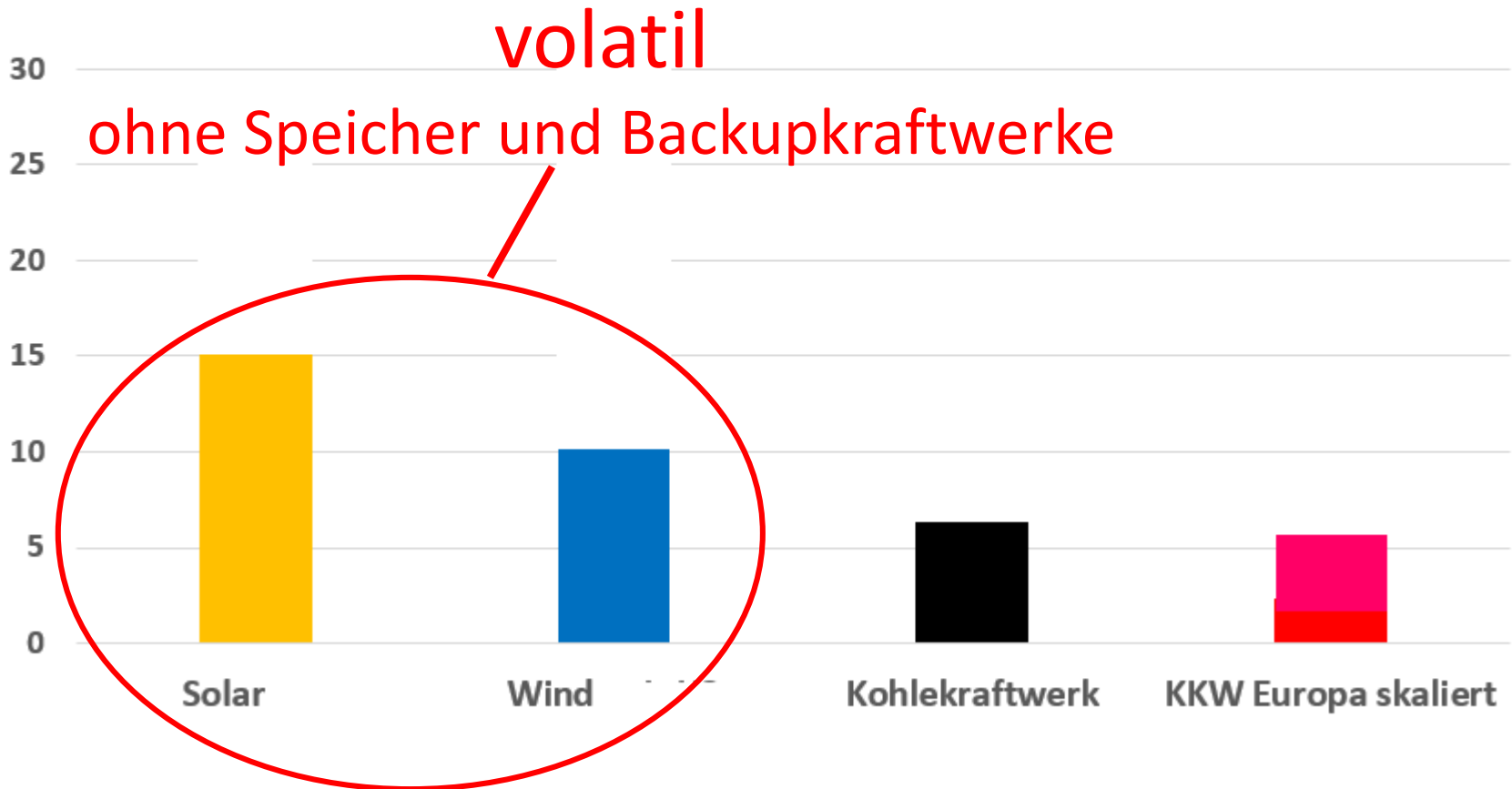
in Cent / kWh

Erzeugungsart	Investkosten Mio. €/MW	Vollast stunden	Laufzeit Jahr	Stromerz./ Laufzeit MWh	spezifische Inv.Kosten Cent/kWh
Solardach (10 kW)	1,5	900	20	18.000	8,33
Wind onshore	1,5	1.800	25	45.000	3,33
Wind offshore	4,0	3.500	20	70.000	5,71
Gasturbine	0,5	3.000	25	75.000	0,67
Kohlekraftwerk	0,8	8.000	60	480.000	0,17
KKW Europa heute	8,0	8.000	60	480.000	1,67
KKW Europa skaliert	4,0	8.000	60	480.000	0,83

Energieerzeugungskosten

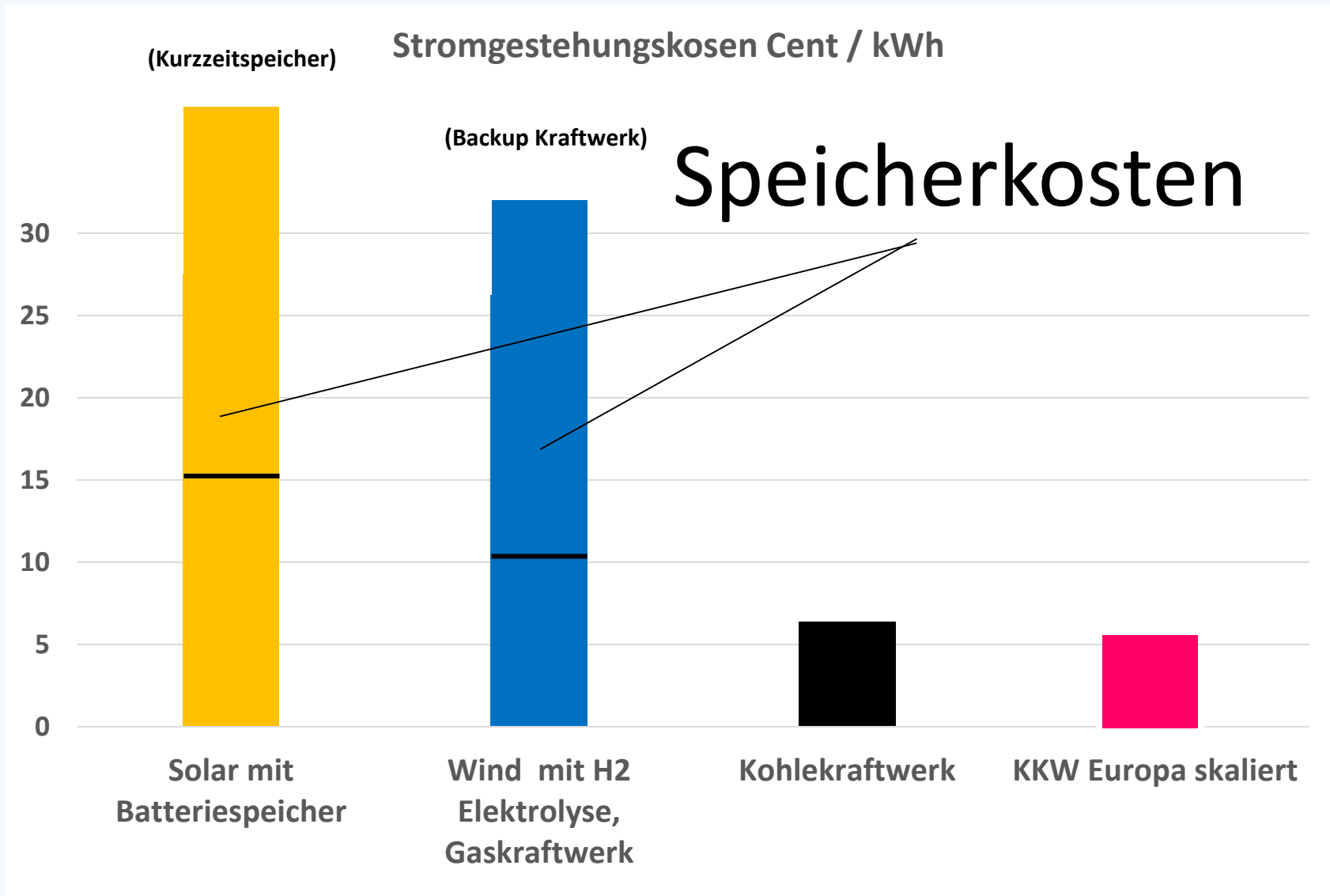
Investabschreibung über die gesamte Betriebszeit

Stromgestehungskosten Cent / kWh



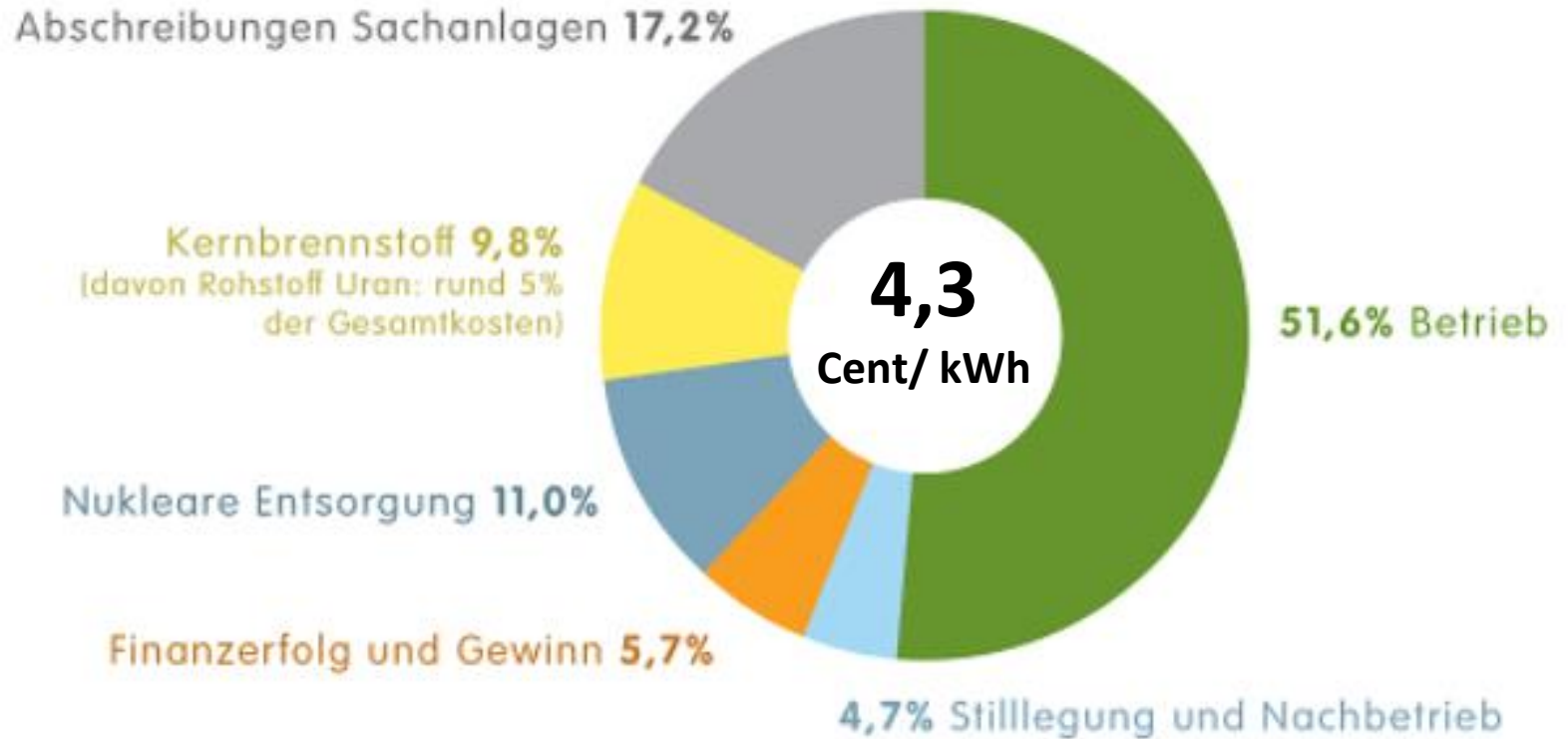
Energieerzeugungskosten

Investabschreibung über die gesamte Betriebszeit



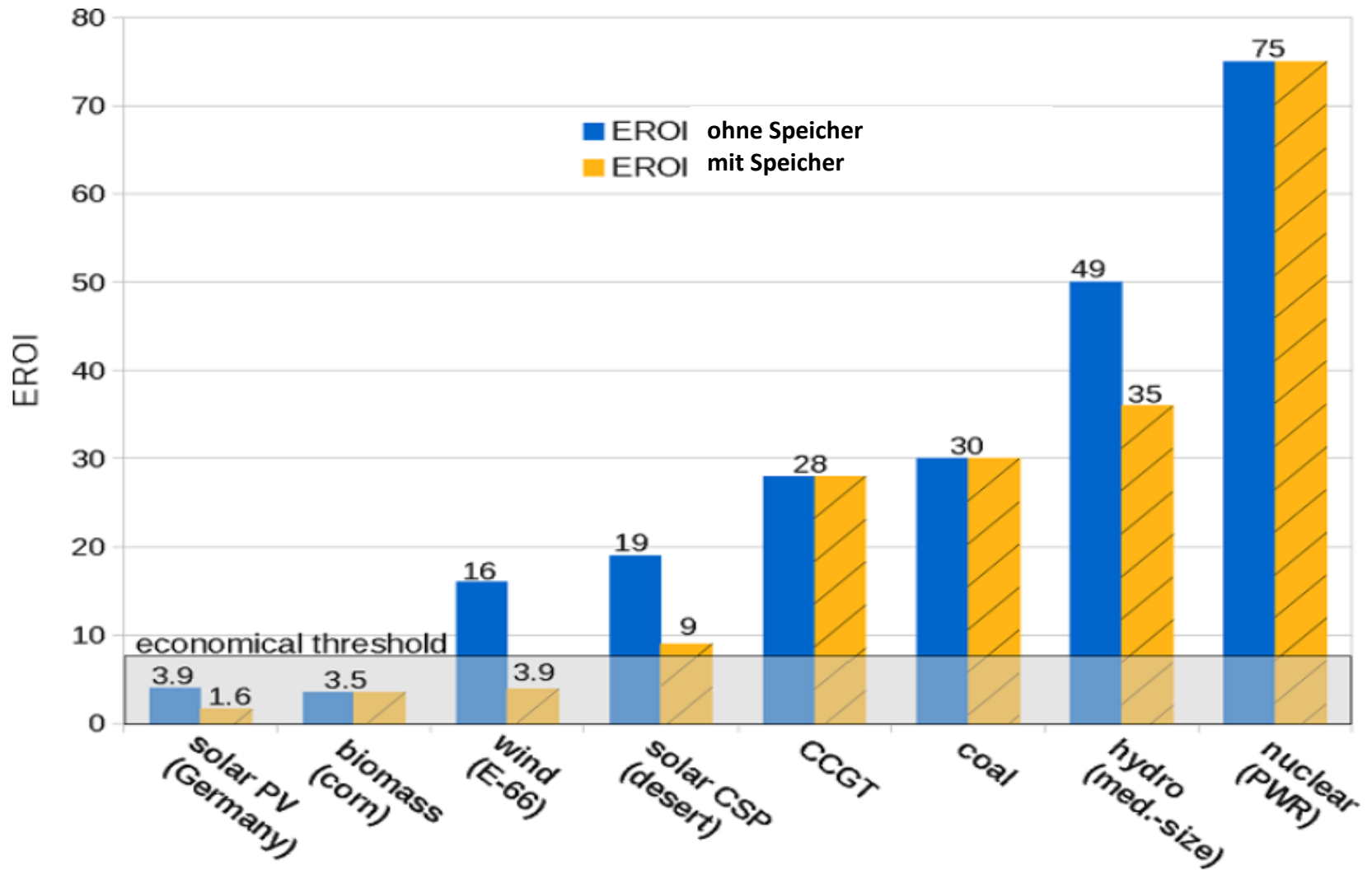
Kostenstruktur Kernkraftwerke

Kostenstruktur im Kernkraftwerk Gösgen (normalisiert*)

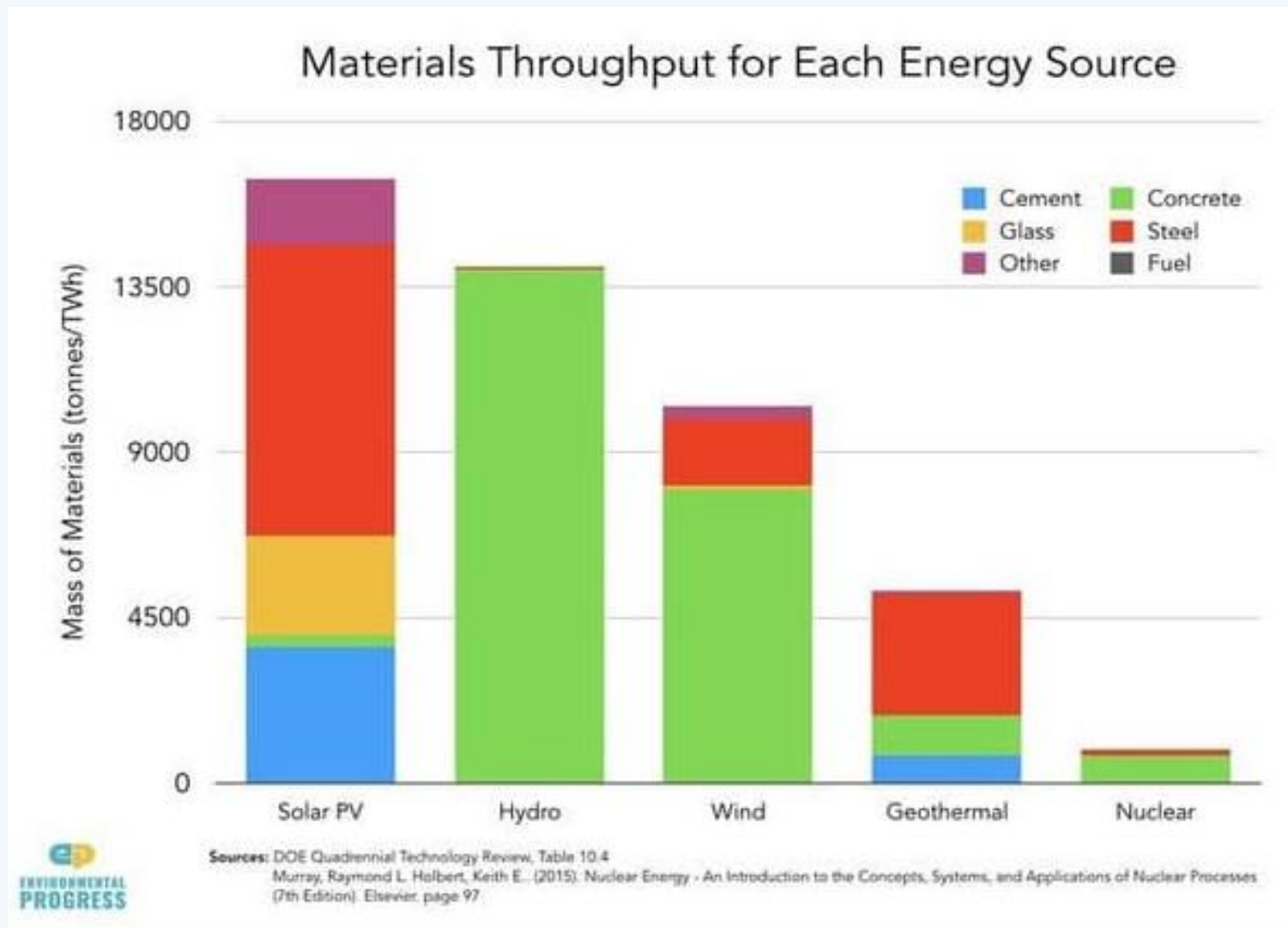


* Normalisierte Gesamtkosten 2021: 4,31 Rp./kWh. Quelle: KKG AG, Geschäftsbericht 2021

Erntefaktoren



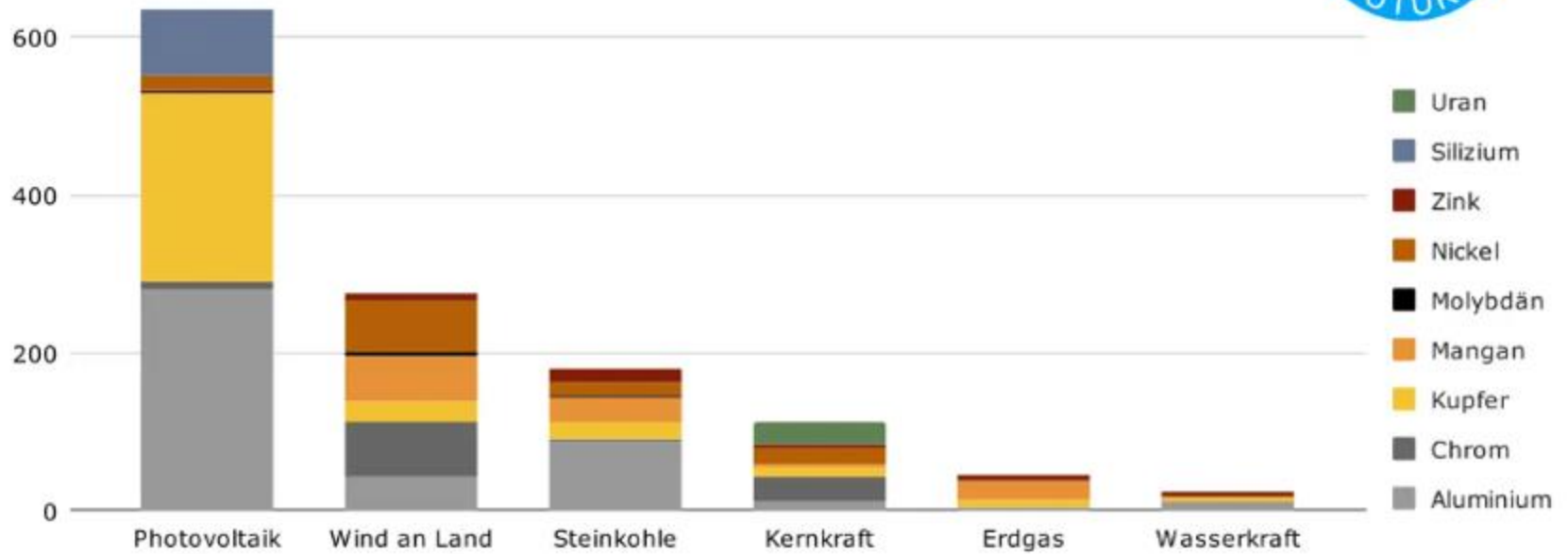
Materialaufwand in Tonnen /TWh



Metallbedarf in kg / GWh

Metallbedarf von Energiequellen

in kg pro GWh_{el} über den Lebenszyklus in Europa



Quelle: UNECE (2021)

Invest. Kosten, Ersatz 3 Kernkraftwerke

Investkosten bei Ersatz der 3 Kernkraftwerken durch Solar- und Windkraftanlagen, H2 Erzeugung und Gasturbinen					
ohne Kosten für Netzausbau, Netzstabilisierung, H2 Speicher und Umstellung auf E- / H2 Verbraucher					
Daten				Eingabefelder	
Investkosten	Mio / MW	Vollaststunden	h / Jahr	Ausbau-anteil %	Dach-anlagen
Solar	1,5	Solar	900	35%	50%
Wind onshore	1,5	Wind onshore	1800	55%	
Wind offshore	4	Wind offshore	3500	10%	
H2 Elektrolyse	1	Kernkraftwerk	8000	0%	
Gaskraftwerke	0,5	Leistung einer Gaskraftwerk MW el	300	100%	
Kernkraftwerke	4	Wirkungsgrad Gaskraftwerk	40%		
		H2 Erzeugung Wirkungsgrad	65%		
Leistung der abgesch. KWW MW el	4.200	H2 Transport, Speich Wirkungsgrad	80%		
		H2 Erzeugung Auslastung	50%		
		Nutzbarer Solar + Windstrom	80%		
Ergebnisse					
Stromerz. der abgesch. KKW TWh el / a	34	Anlagengröße	MW p		
notwendige H2 Erzeugung	20%	Wind onshore	4,2		
notwend. Nettoergie mit H2 TWh / a	40	Wind offshore	6		
H2 Brutto Energie m. H2 Verl. Erz/Trans/Rückv.	73	Solar Freianlagen	10		
Erforderliche H2 TWh / a	39	Solar Dachanlagen	0,01		
erforderliche H2 Leistung MW el	9.757	H2 Elektrolyse	17		
erforderliche Solar Leistung MW el	28.244				
erforderliche Wind onsh Leistung MW el	22.192				
erforderliche Wind offsh Leistung MW el	2.075				
		Zubau	MW p	Anzahl Anlagen	
		Wind onshore	22.192	5.284	
		Wind offshore	2.075	346	
		Solar Freianlagen	14.122	1.412	
		Solar Dachanlagen	14.122	1.412.205	
		H2 Anlagen	9.757	574	
		Gaskraftwerke	4.200	14	
		EE Anlagen Gesamt	52.511		
Investkosten	Millionen €	Kosten Neubau KKW Mio €	16.800		
Solar	42.366				
Wind onshore	33.288				
Wind offshore	8.300				
H2 Elektrolyse	9.757				
Gaskraftwerke	2.100				
Summe Kosten CO2 freie Energieerzeugung	95.811				

Invest.-Kosten, Ersatz von 3 Kernkraftwerken



CO₂ frei

3 x 1.400 MW



Windanlagen
Onsh. 5.284 á 4 MW
Offsh. 346

Solaranlagen
Dach 1.4 Mio
Freifl. 1.400

H₂ Erzeugungs-
Anlagen
574 á 17 MW

H₂ Gaskraftwerke
14
á 300 MW

Zusammenfassung

Wenn wir so weitermachen wie bisher, werden **Energiekosten, Versorgungssicherheit, Deindustrialisierung und Wohlstandsverlust** die zukünftigen Herausforderungen sein.

Eine Energiewende ohne einen Mix mit neuen Technologien, wie fortgeschrittene Reaktoren und Fusionsanlagen, wird langfristig nicht gelingen.



Tagung Kernenergie - Wann steigt Deutschland wieder ein?

Was wurde aus den „fortschrittlichen“ Reaktorkonzeptenen?

Homepage

www.energiewende-juergen-schoettle.de