

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

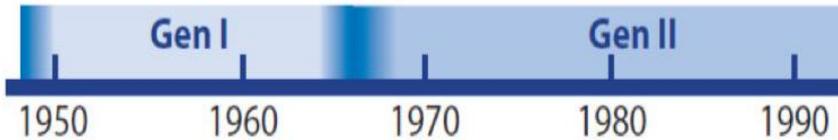
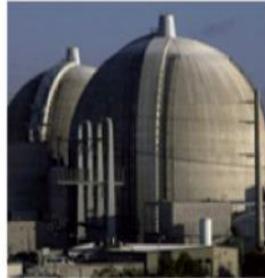
Generation I

Early prototype reactors

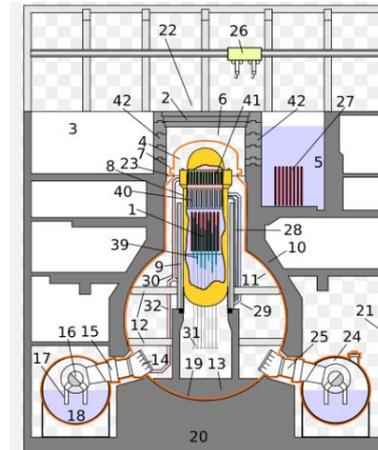


Generation II

Commercial power reactors

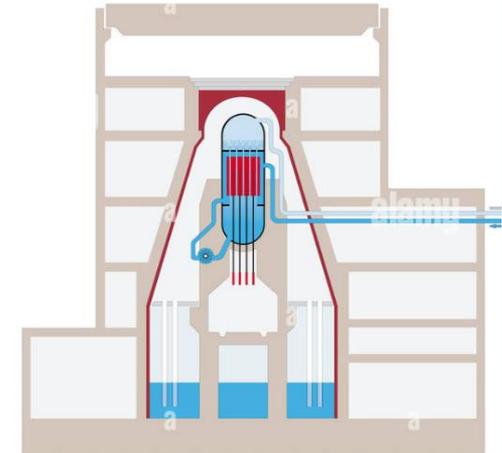


- Harrisburg
- Fukushima
- Mühleberg
- Würgassen
- Obrigheim

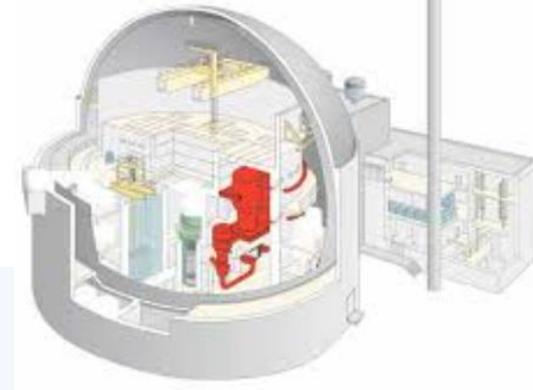


Mark 1

SWR

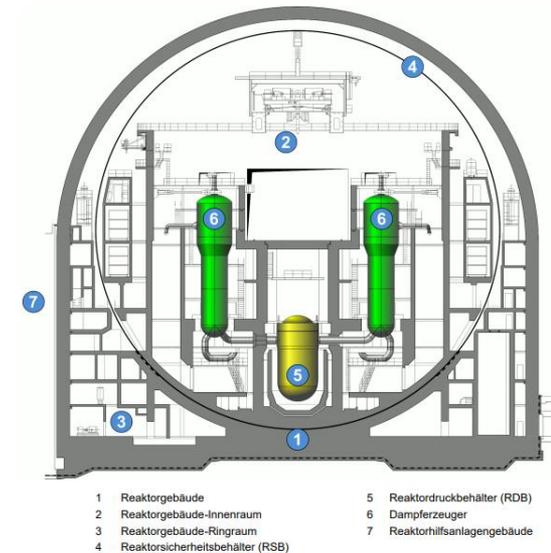
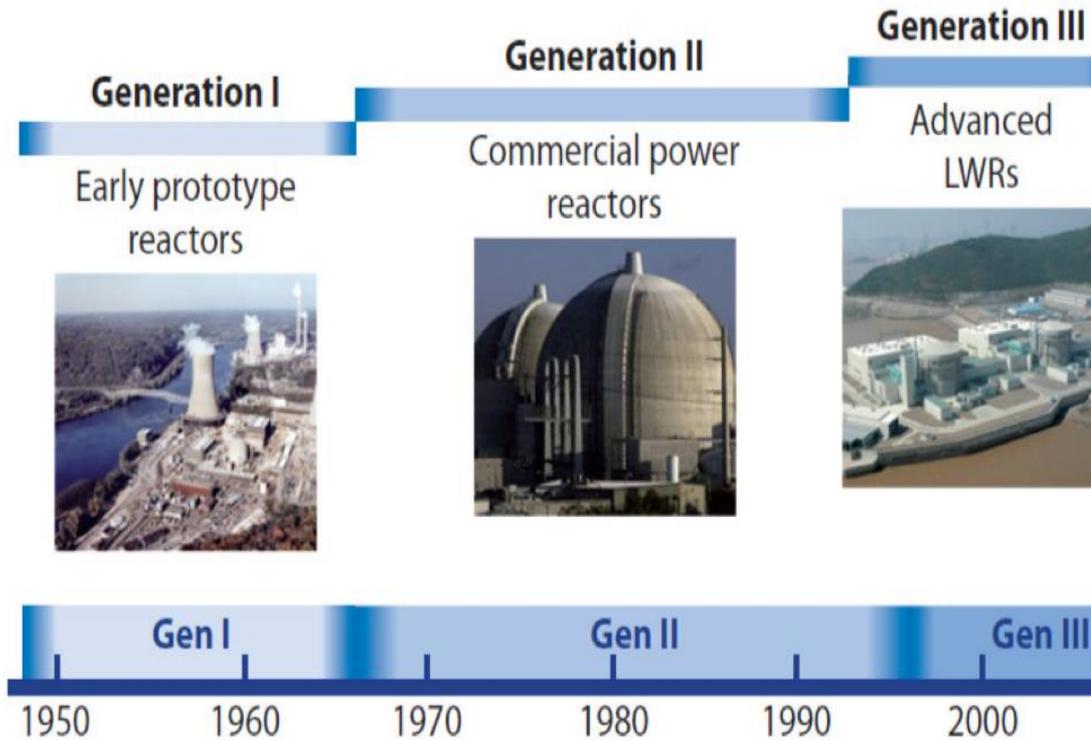


Mark 2



DWR

Entwicklung von Kernkraftwerken

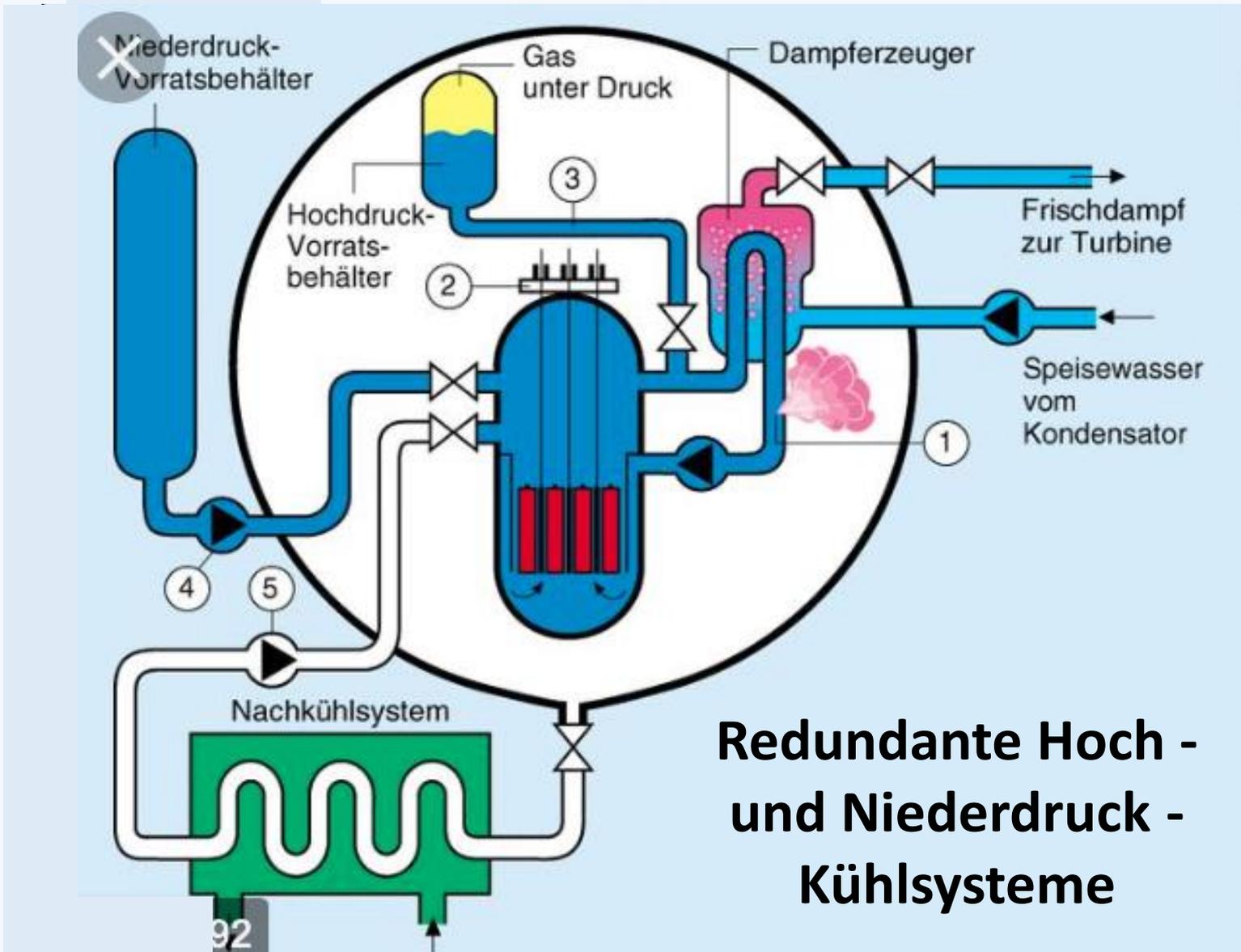


Harrisburg
Fukushima
Mühleberg
Würgassen
Fessenheim

Phillipsburg 1
Gösgen
Biblis
Konvoi

Konvoi
Emsland
Isar 2
Neckarwestheim 2

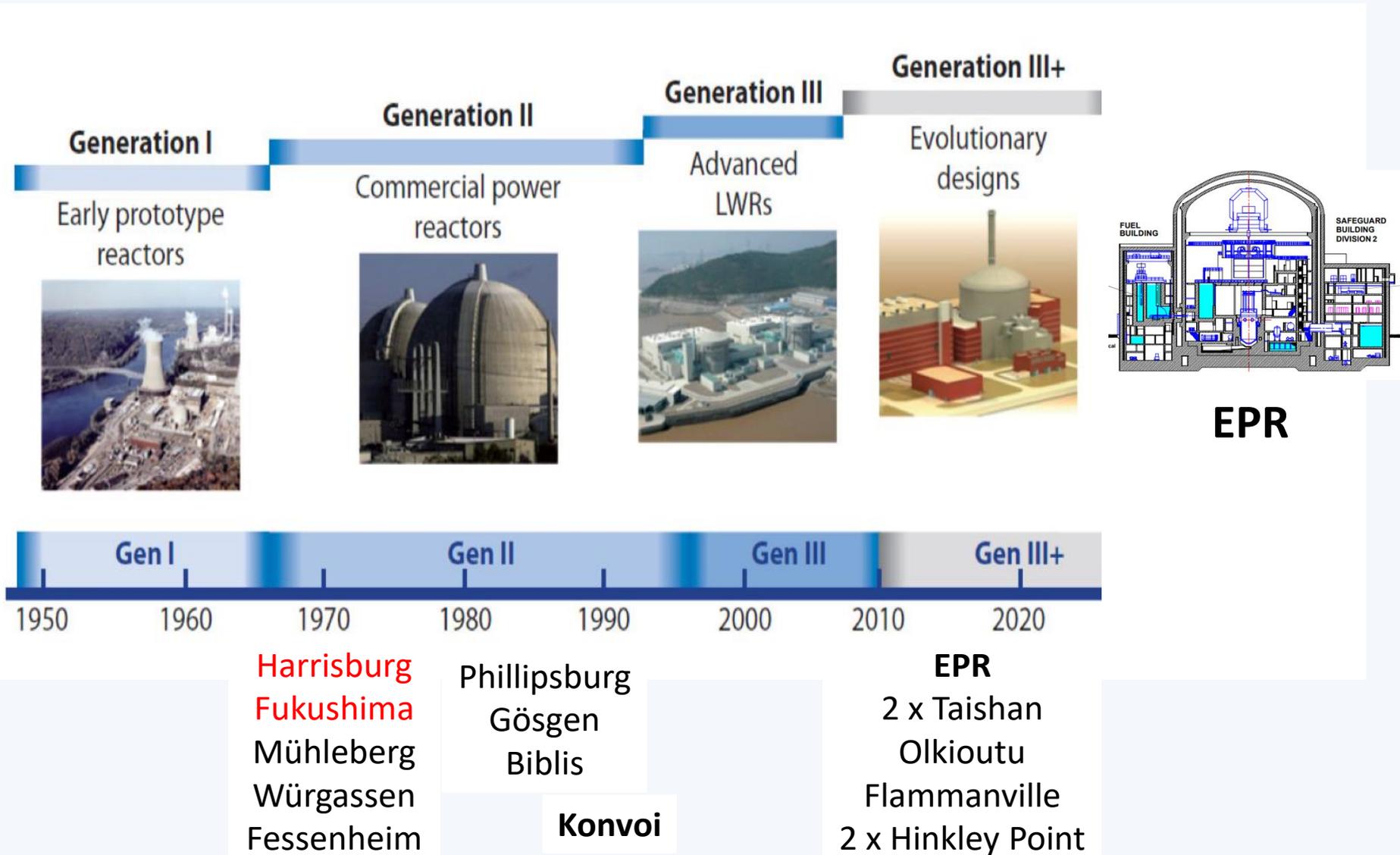
Systemsicherheit



Redundante Sicherheitssysteme

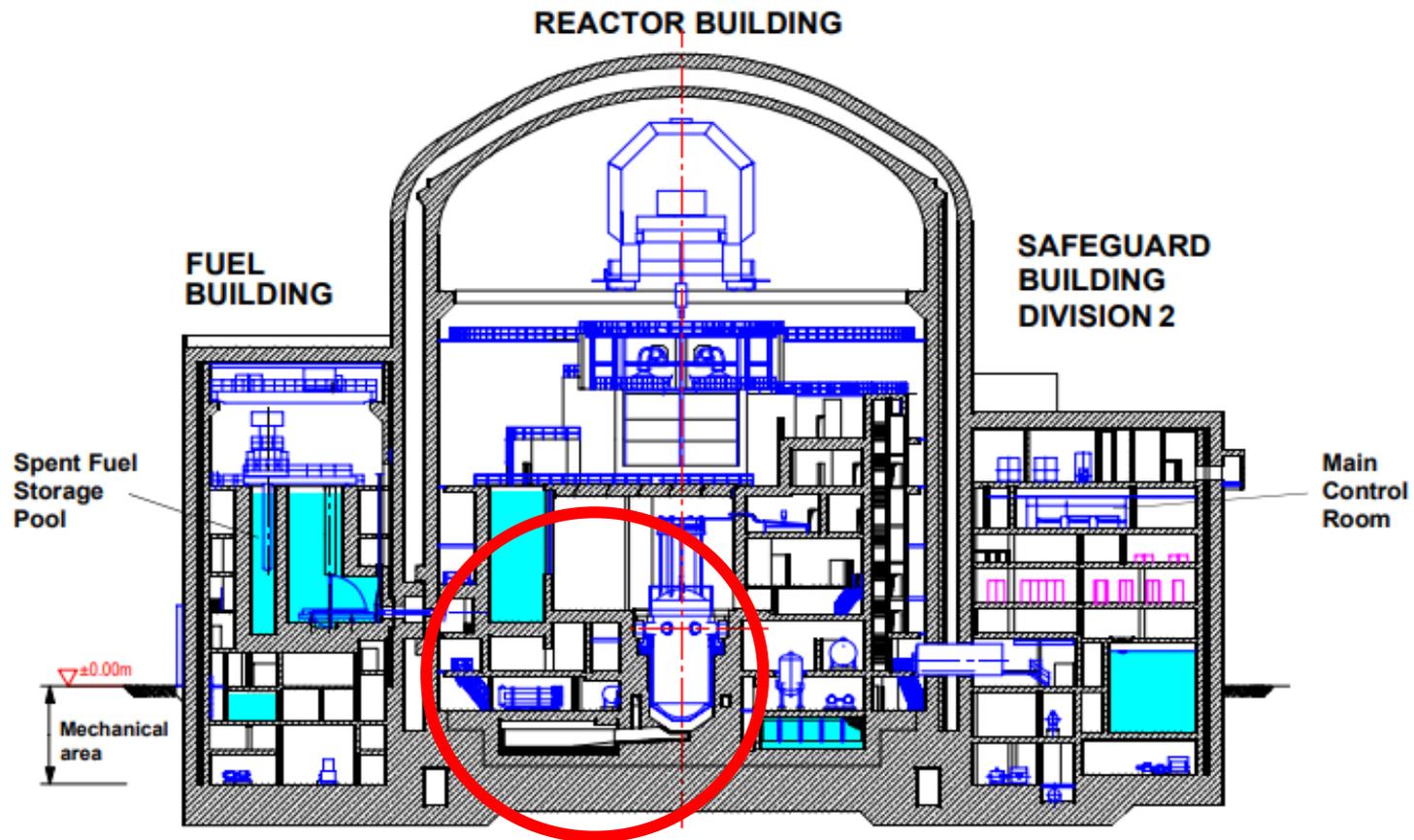


Entwicklung von Kernkraftwerken



EPR

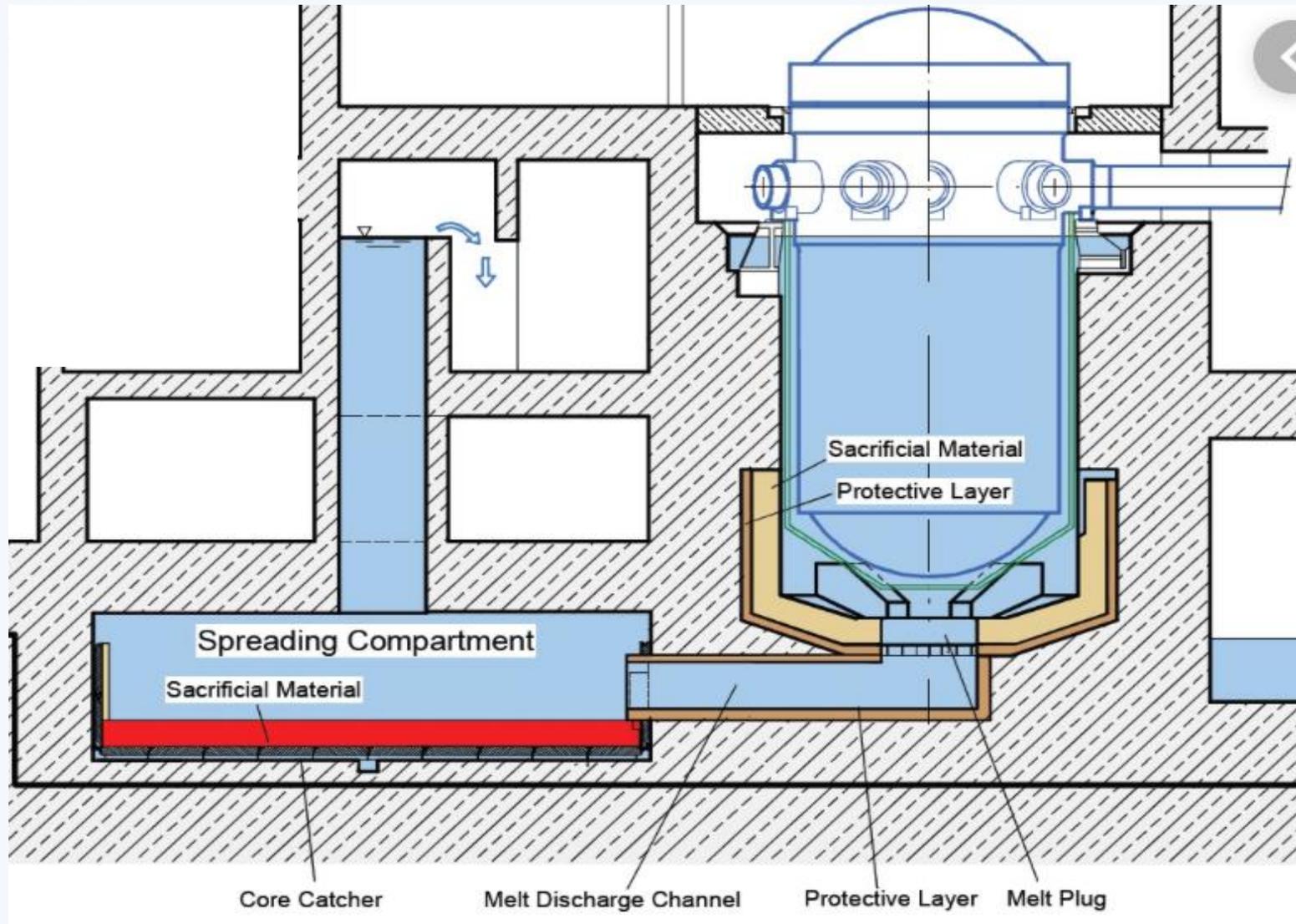
European Pressurized Water Reactor



IYNC 2000 , April 9-14, 2000

Framatome- Siemens
Figure 6.dsf

Core-Catcher



Entwicklung von Kernkraftwerken

Generation III +
mit passiven Notkühlsystemen

Generation I

Early prototype reactors



Generation II

Commercial power reactors



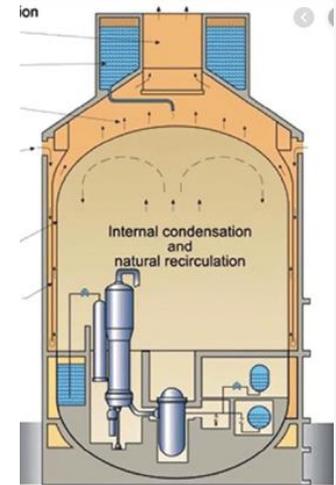
Generation III

Advanced LWRs



Generation III+

Evolutionary designs



16 Anlagen im Betrieb

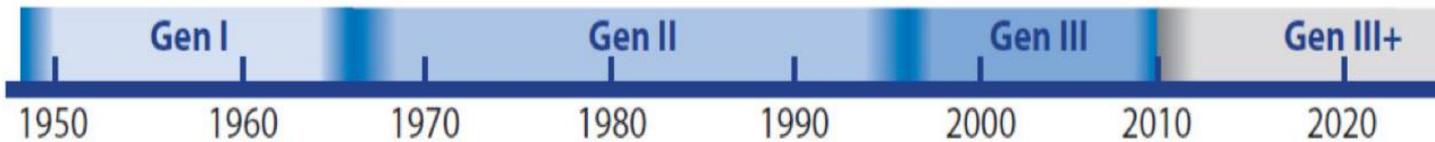
AP 1000 USA

APR von Toshiba

Hualong China

WWER-1000 Russl

EPR 2.0 Frankreich
ab 2036 in Betrieb



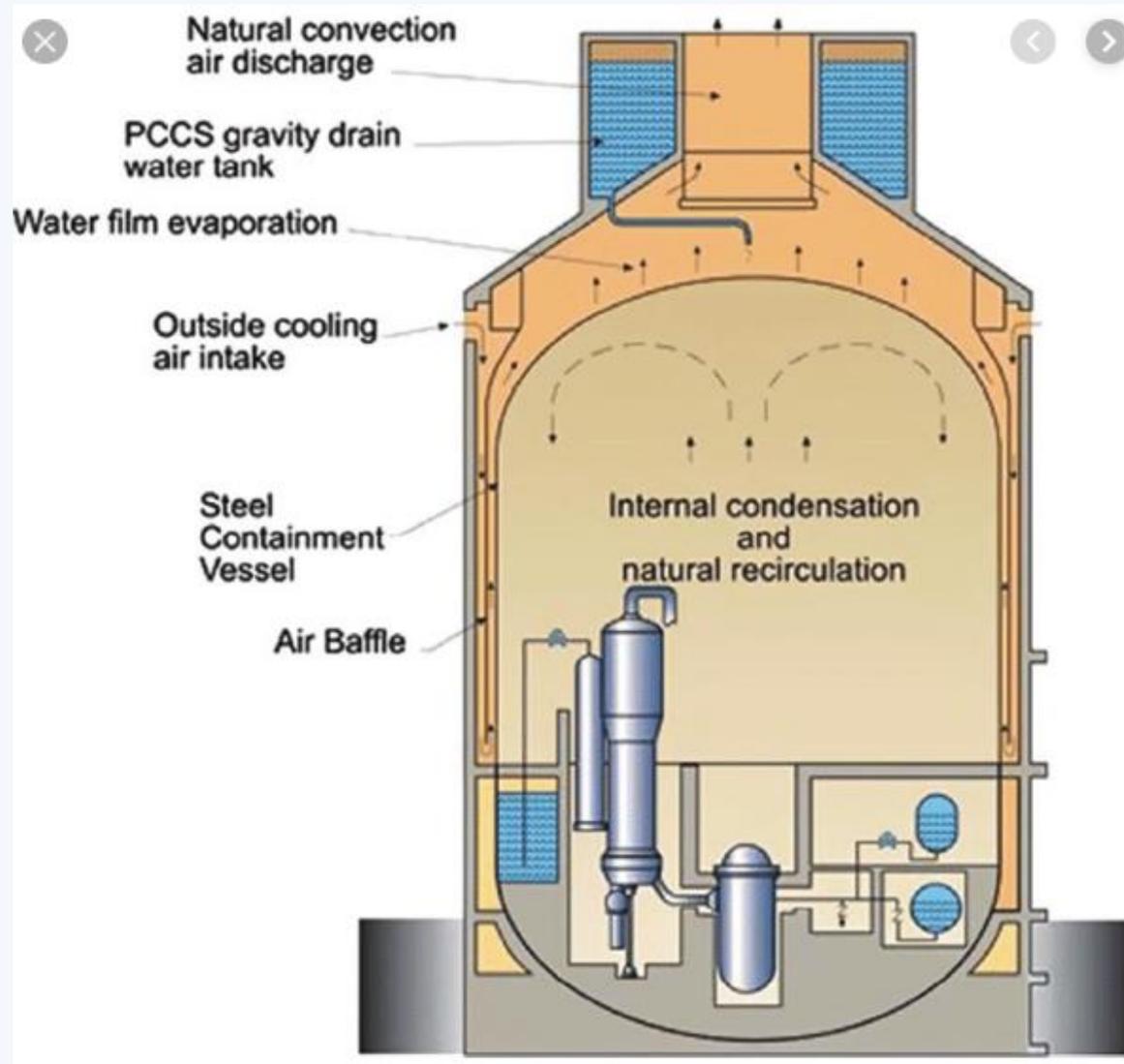
Harrisburg
Fukushima
Mühleberg
Würgassen
Fessenheim

Phillipsburg
Gösgen
Biblis
Konvoi

EPR
2 x Taishan
Olkiluoto
Flammanville
2 x Hinkley Point

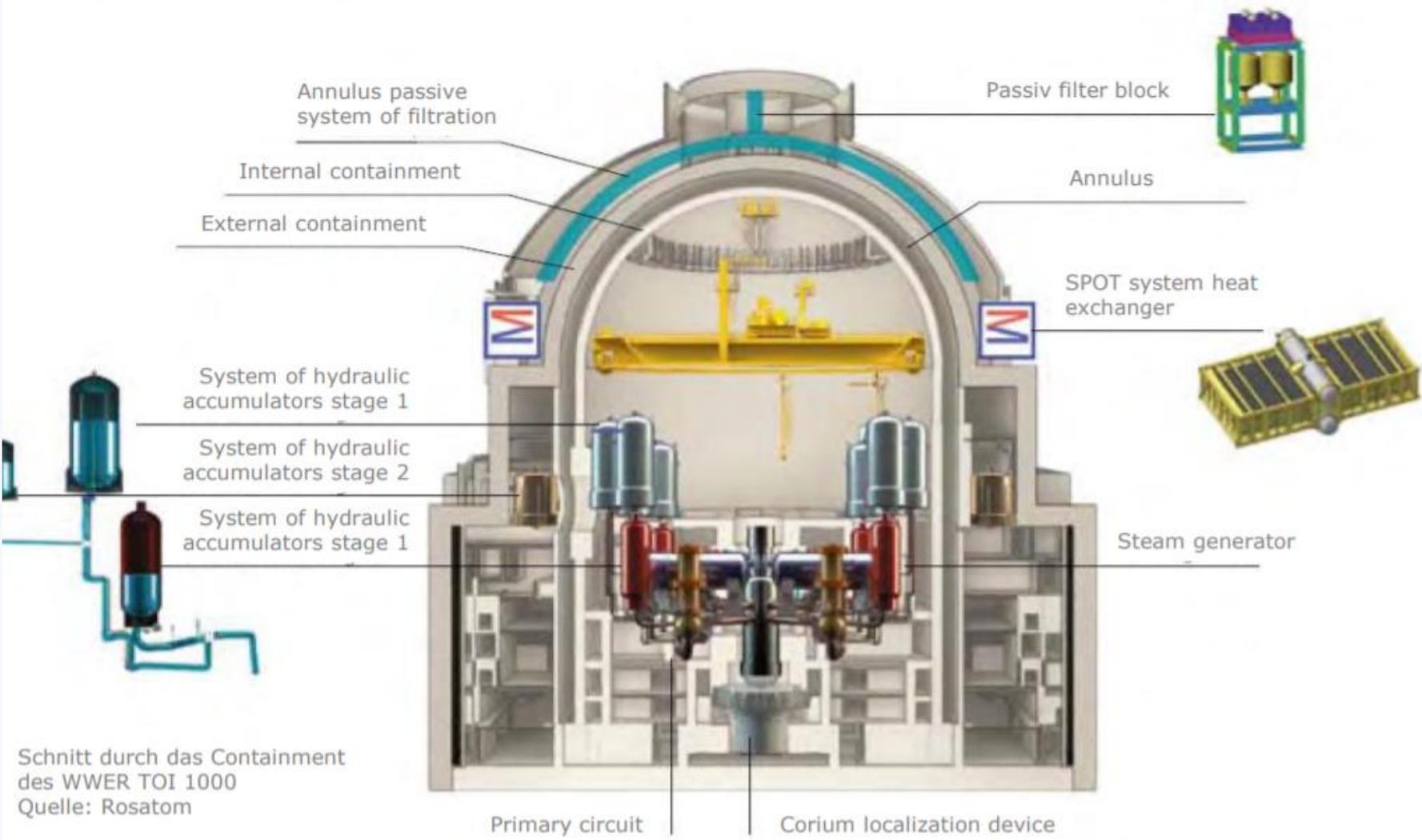
Kernkraftwerk Generation III + 2.0

AP 1000 WESTINGHOUSE



Kernkraftwerk Generation III + 2.0

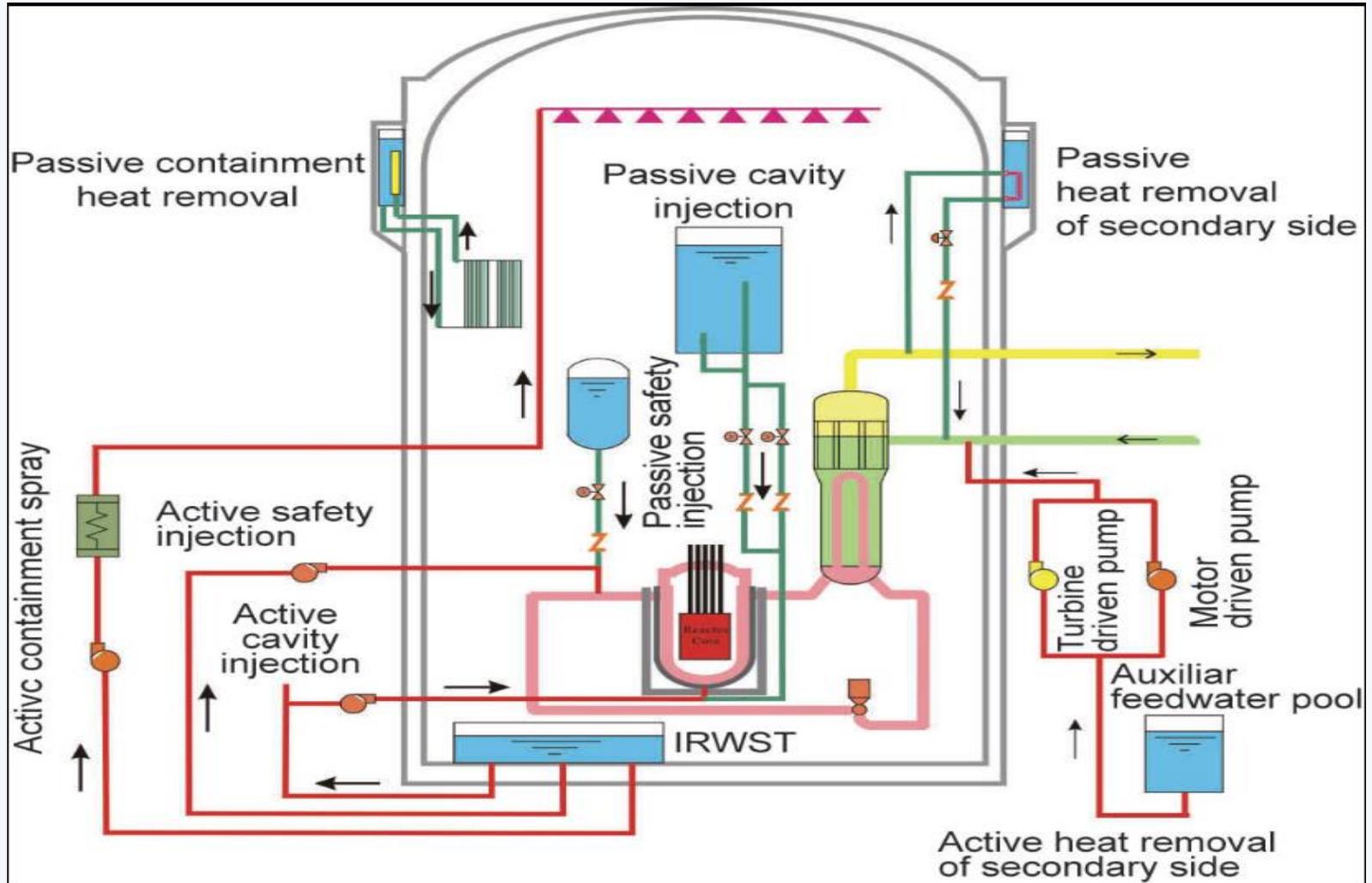
Kernreaktoren der Generation III - WWER-1000/1200



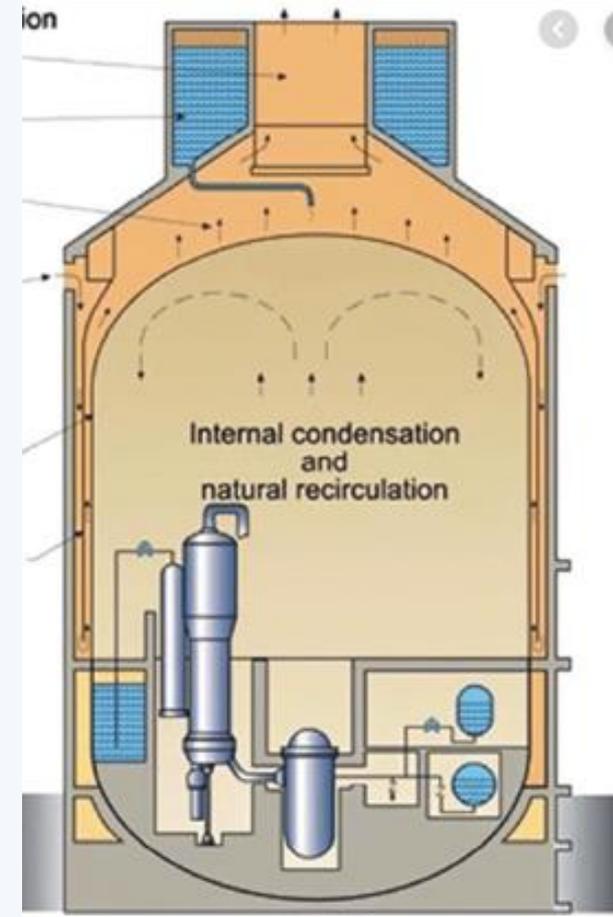
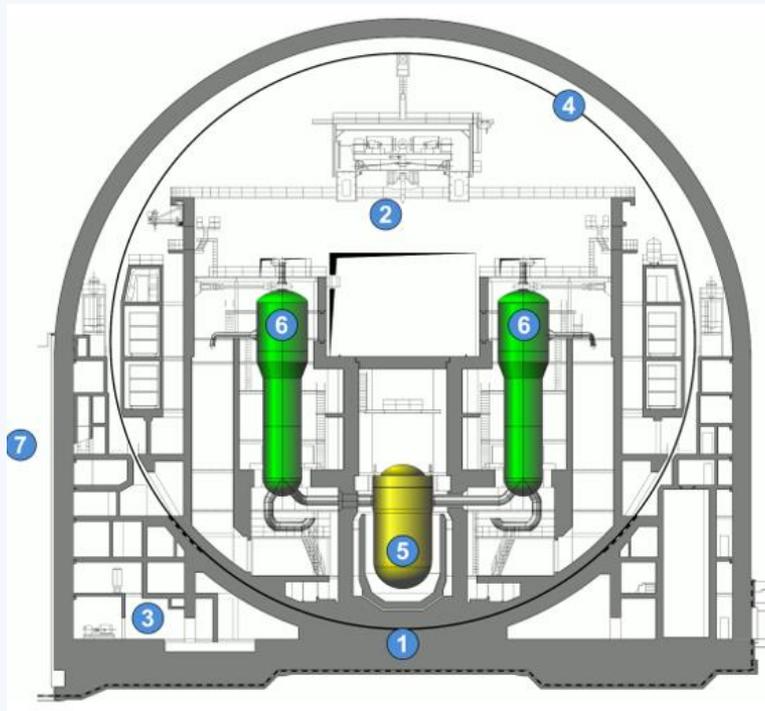
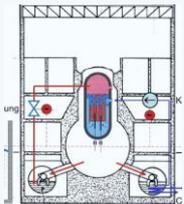
Nowoworonesch 2

Kernkraftwerk Generation III + 2.0

Hualong one China



Größenentwicklung der Reaktoranlagen

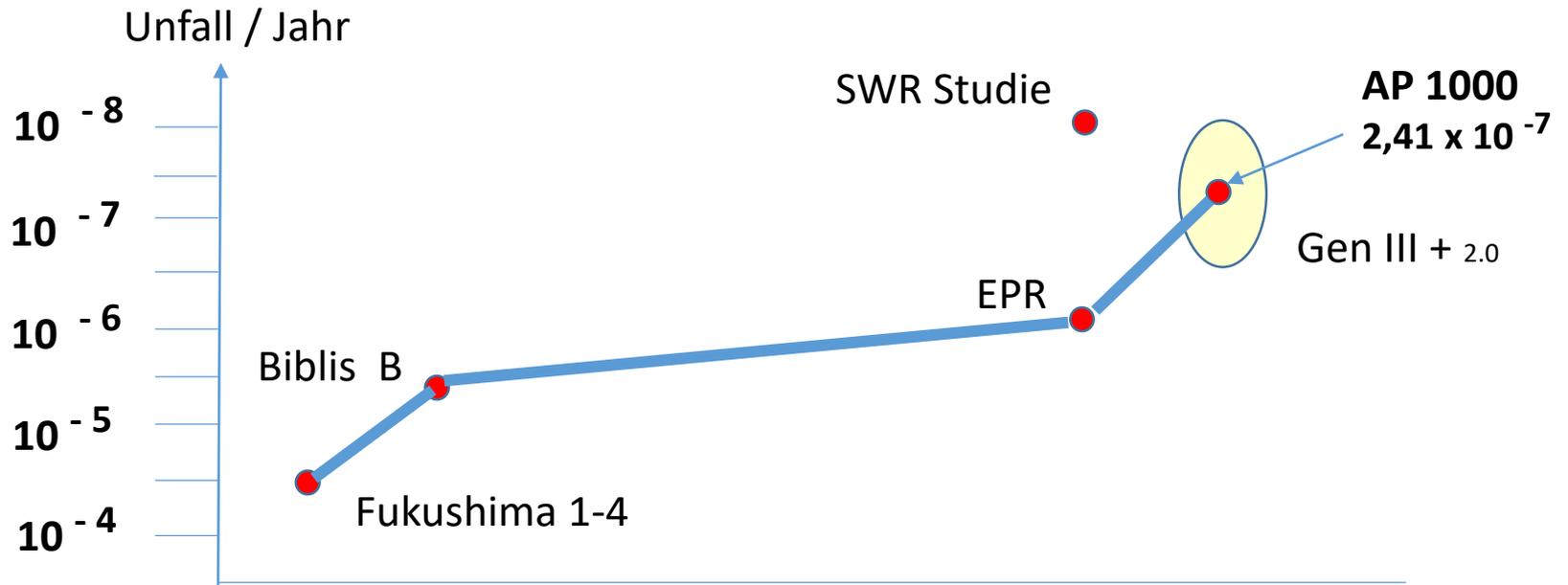


Fukushima
Mark 1

Emsland
Konvoi

Sanmen 1
AP 1000

Sicherheit gegen schweren Unfall



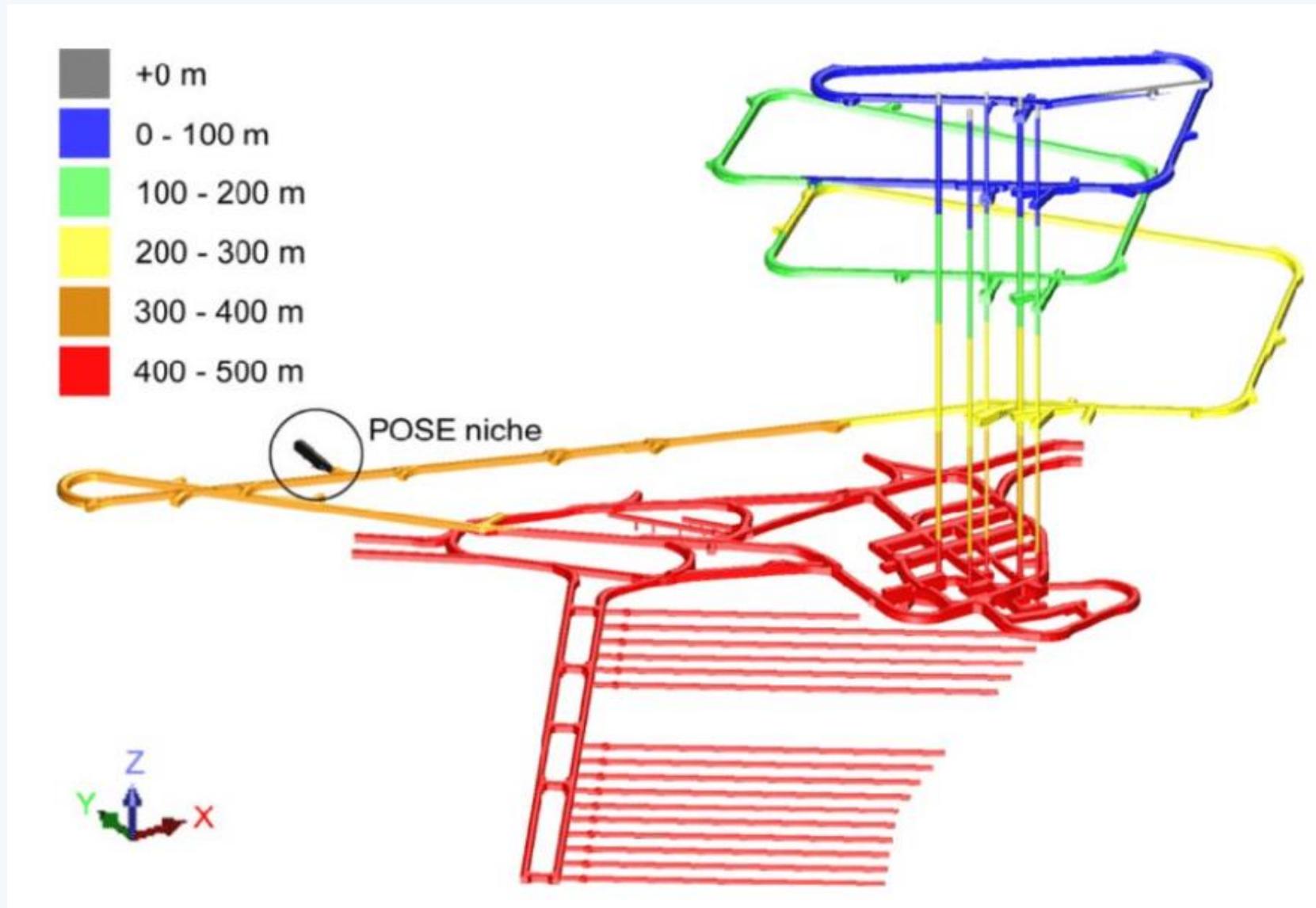
$2,41 \times 10^{-7}$ heißt, alle 24 Millionen Jahre einen schweren Störfall / Reaktor

Kernkraftwerks -Mythen

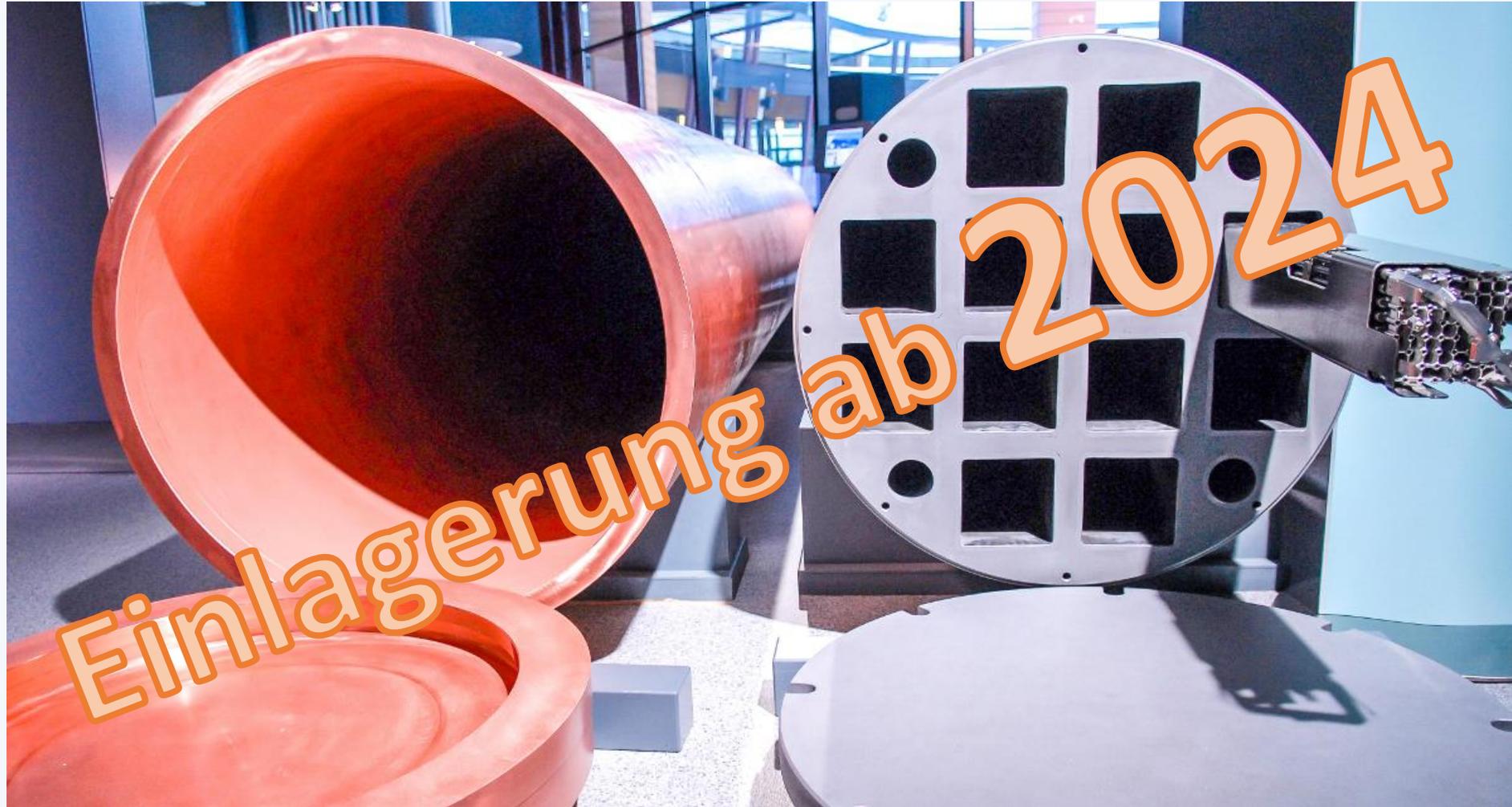
- **Endlager**
- Laständerungsgeschwindigkeit
- Kühlwasser im Sommer
- Versicherbarkeit

Endlager ONKALO für hochradioaktive Abfälle

Finnland



Endlagerkonzept Finland



Kernkraftwerks -Mythen

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

spez. Investkosten Energieerzeugungsanlagen

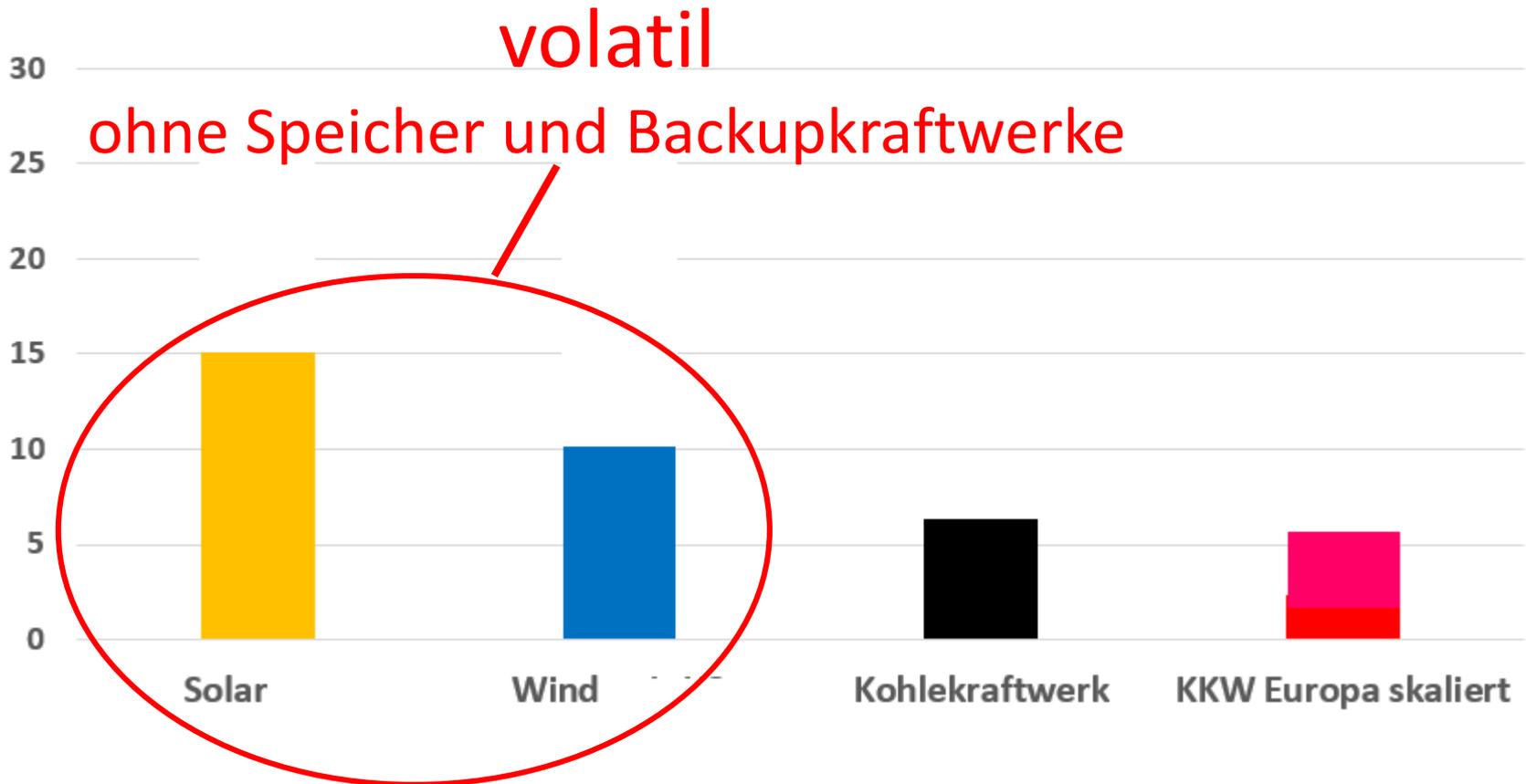
in Cent / kWh

| 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

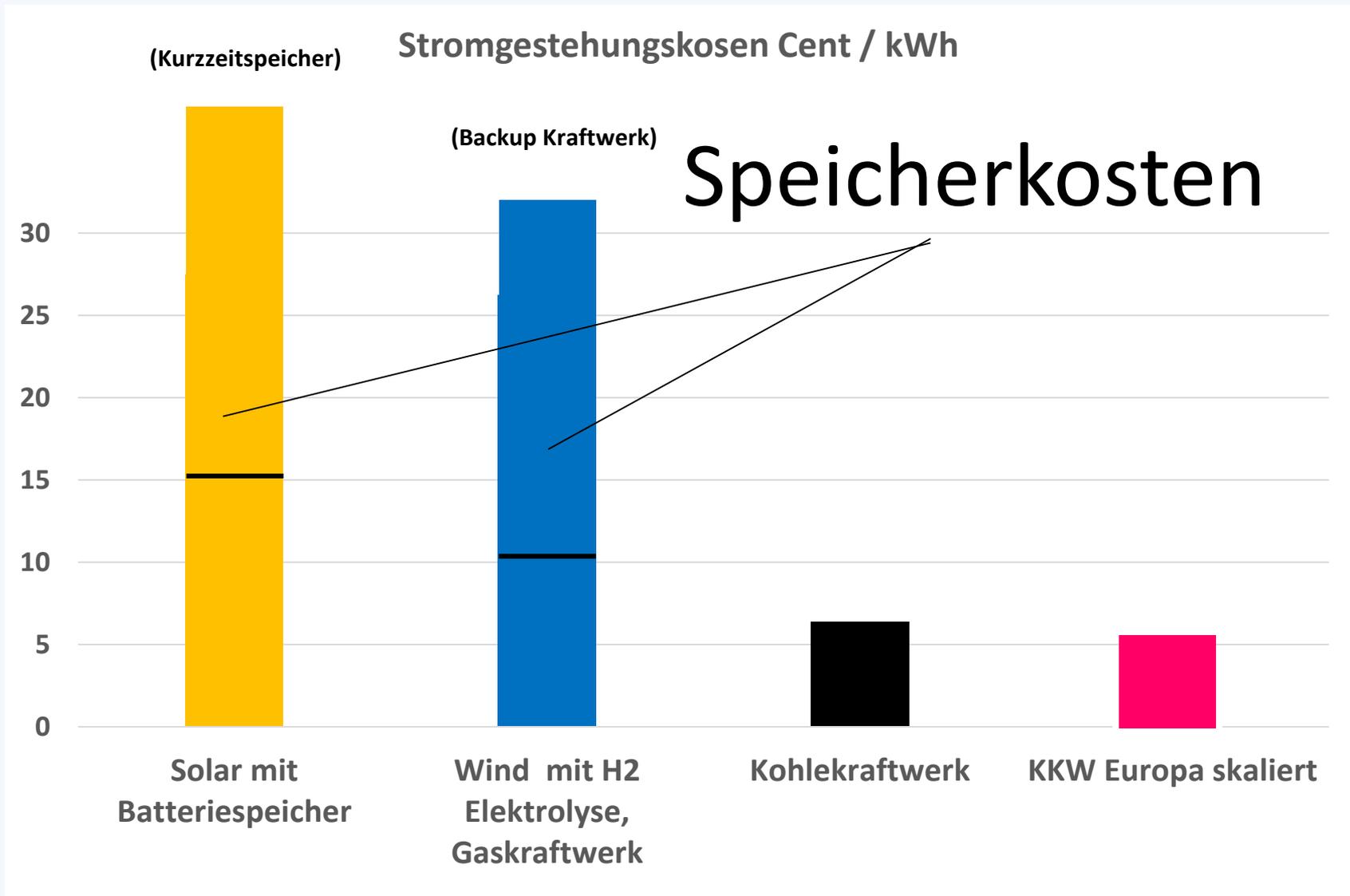
Investabschreibung über die gesamte Betriebszeit

Stromgestehungskosten Cent / kWh



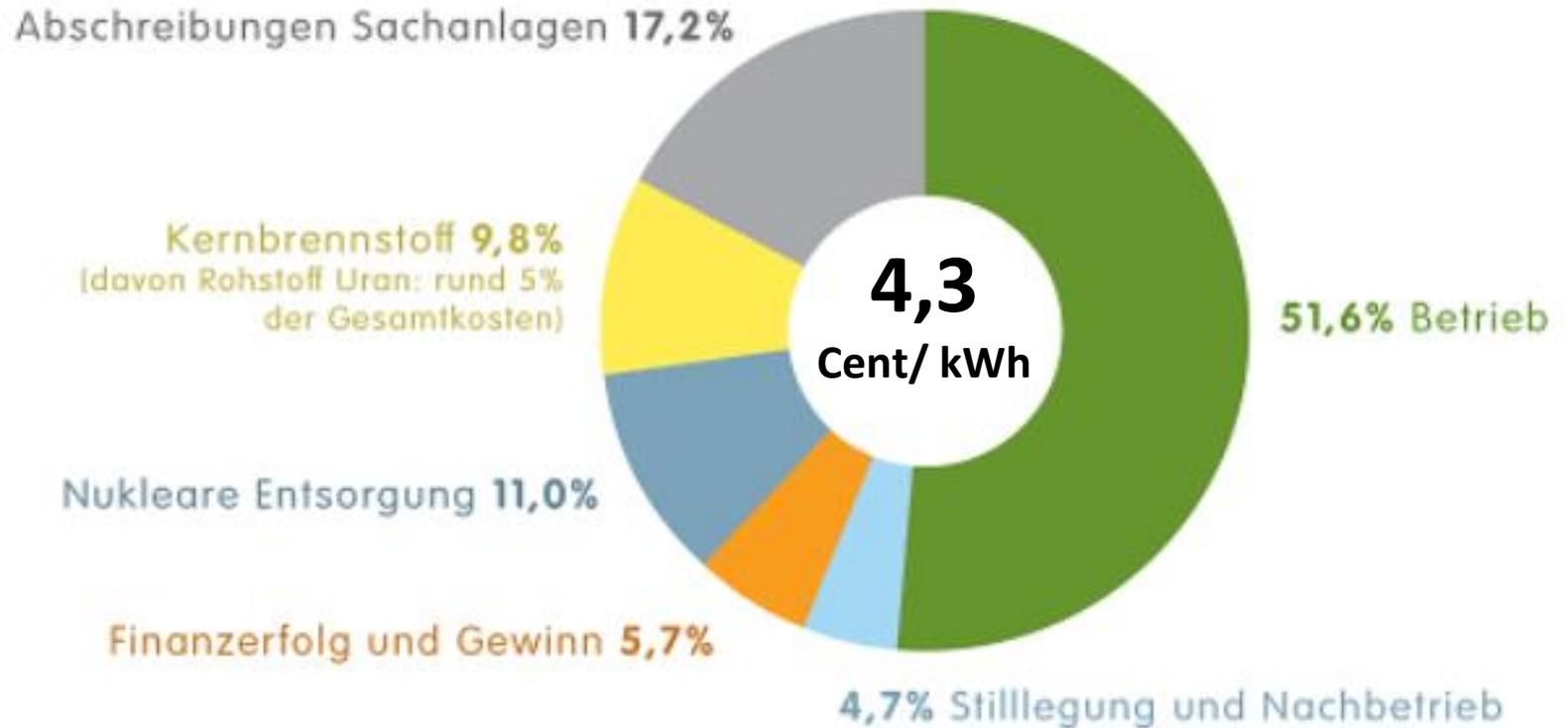
Energieerzeugungskosten

Investabschreibung über die gesamte Betriebszeit



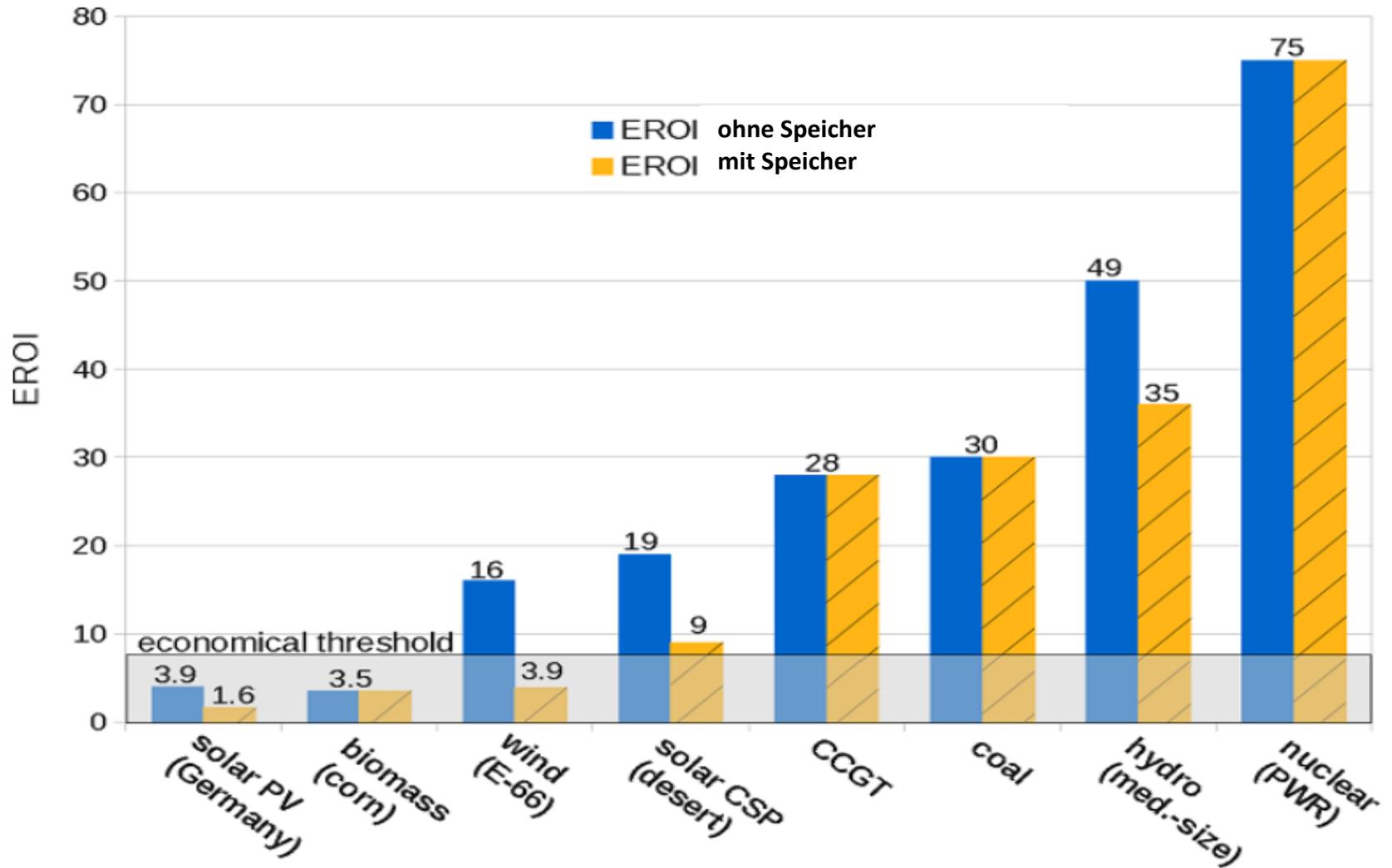
Kostenstruktur Kernkraftwerke

Kostenstruktur im Kernkraftwerk Gösgen (normalisiert*)

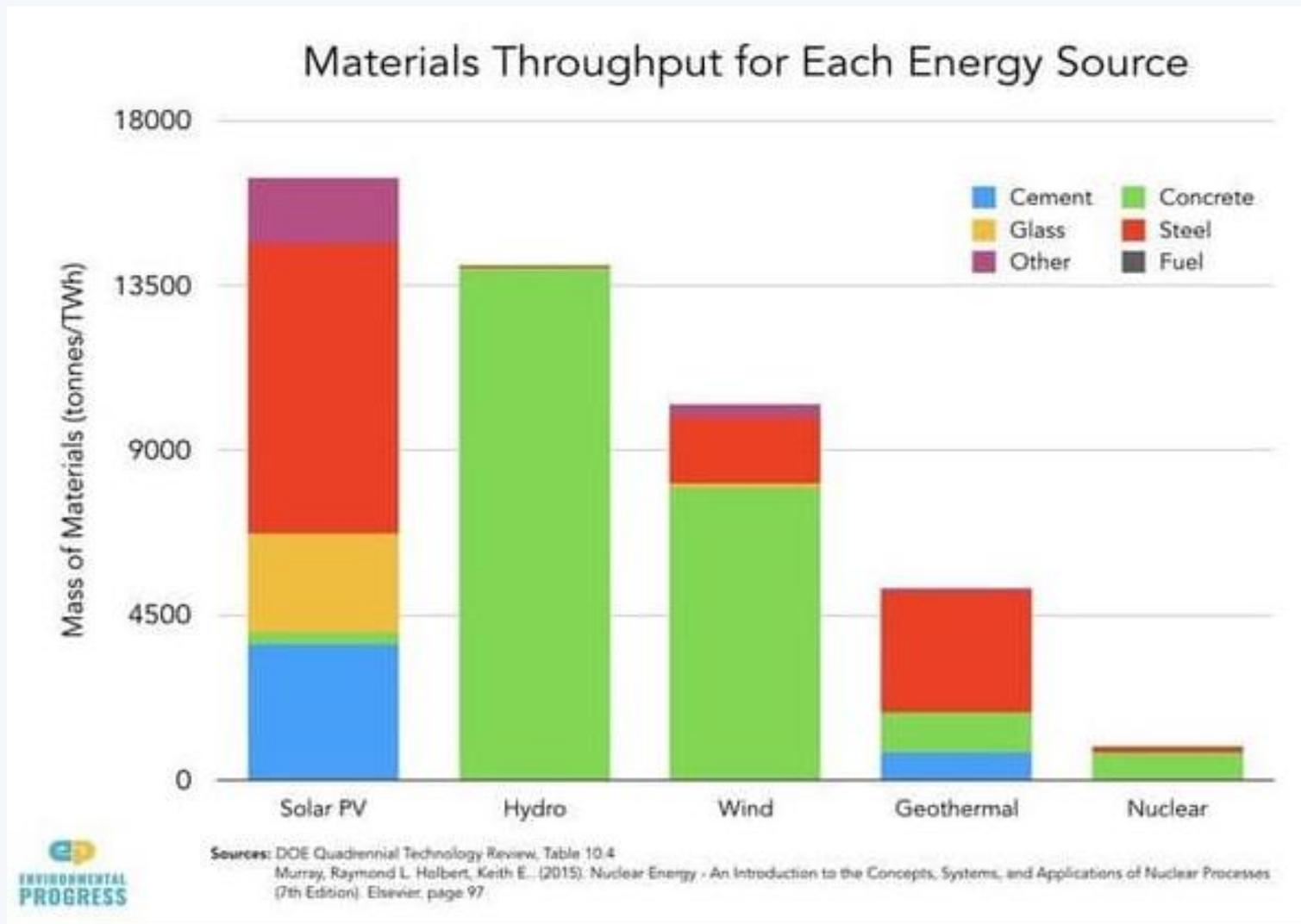


* Normalisierte Gesamtkosten 2021: 4,31 Rp./kWh. Quelle: KKG AG, Geschäftsbericht 2021

Erntefaktoren



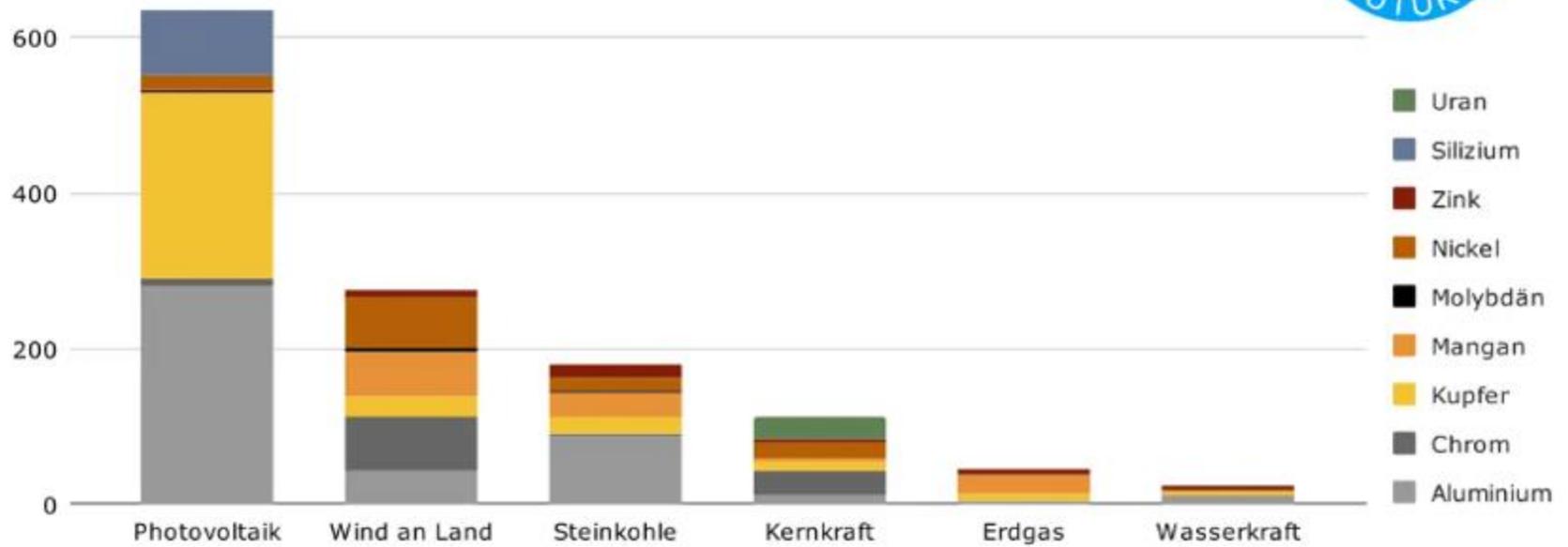
Materialaufwand in Tonnen /TWh



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 € | | | | |
| 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 | Kosten Neubau KKW Mio € | 16.800 | | |

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“ Reaktorkonzepten?

Homepage

www.energiewende-juergen-schoettle.de