

The background of the slide is a composite image. The top half shows an aerial view of Zurich, Switzerland, featuring the city's architecture, the Limmat river, and a bridge. The bottom half is a close-up of a hand holding a small, dark, cylindrical object, possibly a nuclear fuel pellet, against a blurred background.

KERNENERGIE - Nuklearenergie in der Schweiz – wo geht die Reise hin?

Annalisa Manera

Labor Nukleare Sicherheit und Mehrphaseströmungen

September 25, 2025

- Einige Kuriositäten über Kernenergie
- Kernenergie heute in der Schweiz
- Ist Kernenergie umweltfreundlich?
- Kann Kernenergie zur Dekarbonisierung beitragen?
- Wie viel Strom aus einem KKW?
- Herausforderungen der Skalierung (ohne Kernenergie)
- Schweiz 2050
- Kernenergie Weltweit
- Kernenergie - Stand der Technik
- Rohstoffe
- Abfall
- Bauzeit
- Kosten

Japan will radioaktives Fukushima-Wasser ins Meer leiten

Durch einen Tunnel soll radioaktiv verseuchtes Kühlwasser im Meer entsorgt werden. Trotz letzter Inspektion misstrauen Fischer den japanischen Behörden und der Betreiberfirma des Atomkraftwerks Fukushima, Tepco.

Donnerstag, 29.06.2023, 12:23 Uhr

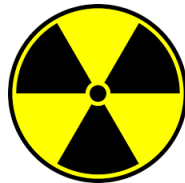


1 Liter

1 Liter

1 Liter

1 Liter



Das Trinken von 4L Fukushima-Wasser verursacht die gleiche Strahlendosis wie das Essen einer Banane



1 Liter

1 Liter

2L/Tag, jeden Tag für die nächsten 350 Jahre



Gemessene radioaktive Dosis für russische Soldaten:
12-mal weniger Strahlung als ein CT-Scan

$$= \frac{1}{12} \text{ } \text{☢}$$

CT Scan
Computed Tomography



Cleveland Clinic ©2023



Ukraine-Krieg: Russen leiden nach Tschernobyl an Strahlenkrankheit



[Anna-Lena Burkard](#)

[Ukraine](#), 30.04.2023 - 19:44

Onagawa: Japanese tsunami town where nuclear plant is the safest place

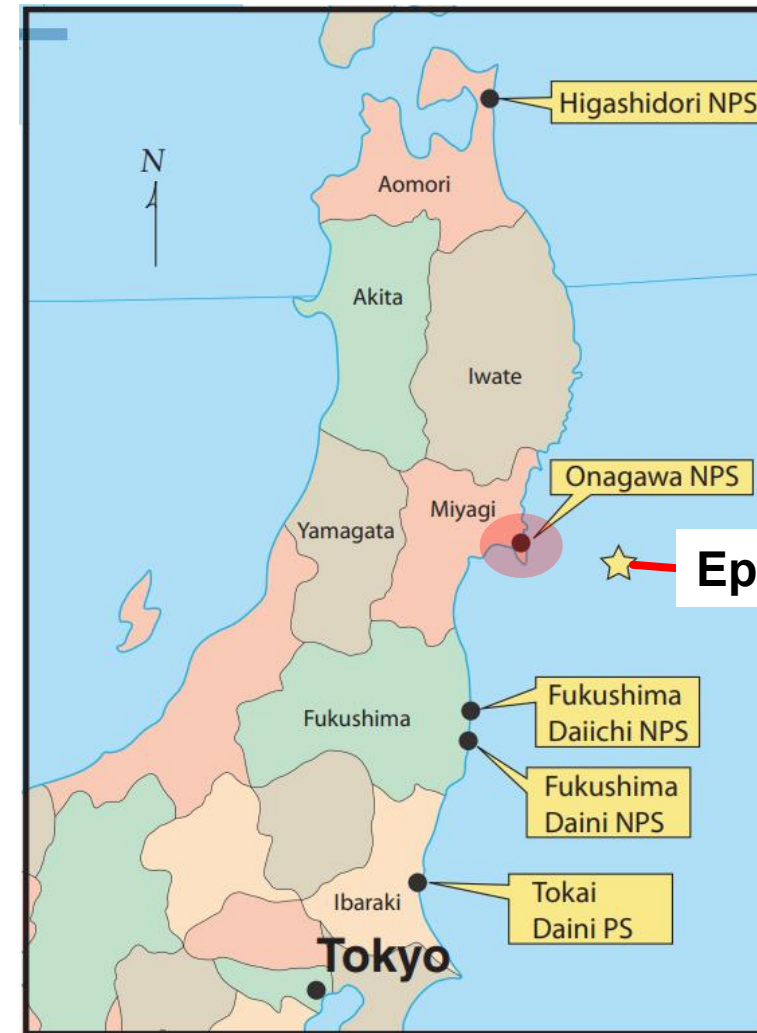
Hundreds of survivors shelter next door to power station reactors in stark contrast to Fukushima disaster 75 miles away



Tsunami survivors outside the Onagawa nuclear power station where they have been sheltering. Photograph: Vincent Yu/AP

As a tsunami ravaged the Japanese fishing town of Onagawa hundreds of residents fled for the safest place they knew: the local nuclear power plant.

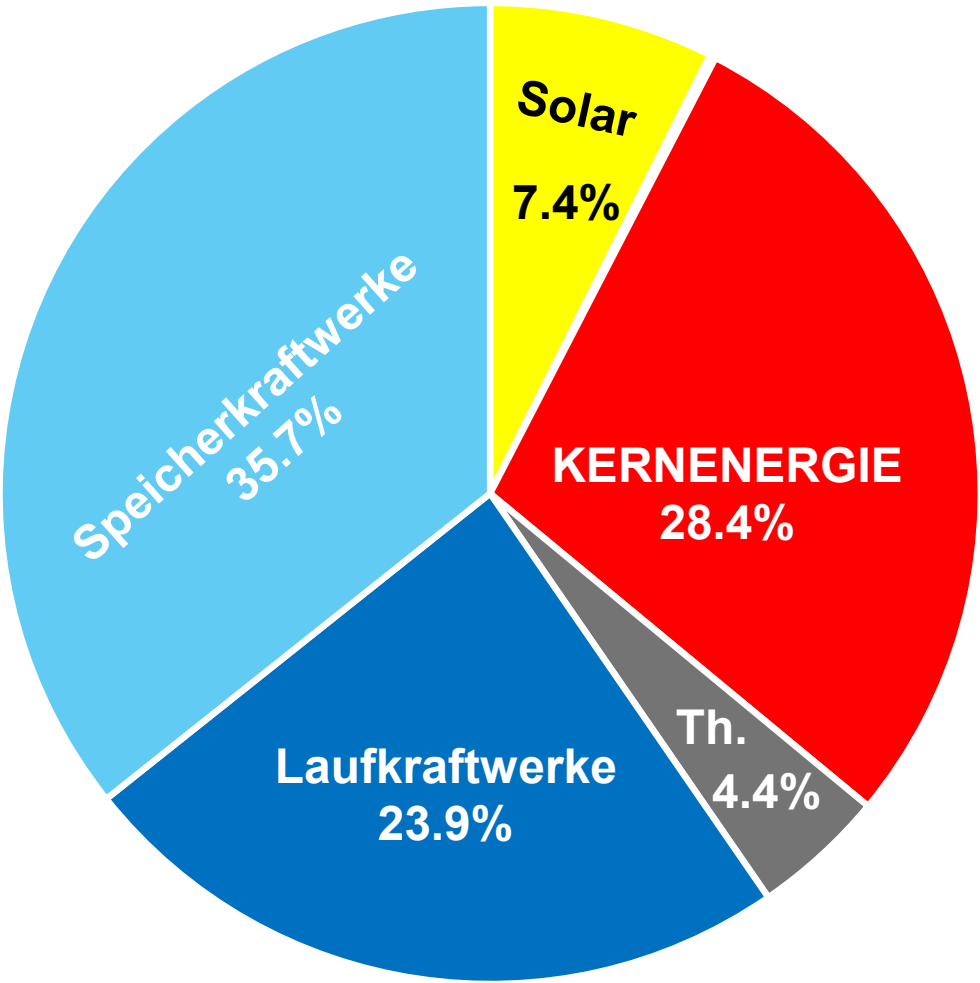
More than two weeks later 240 remain, watching TV or playing ball games with their children in a building next to three atomic reactors. It's a startling contrast to the damaged Fukushima nuclear plant 75 miles south-east, where radiation leaks have forced an evacuation of area residents and terrified the nation.



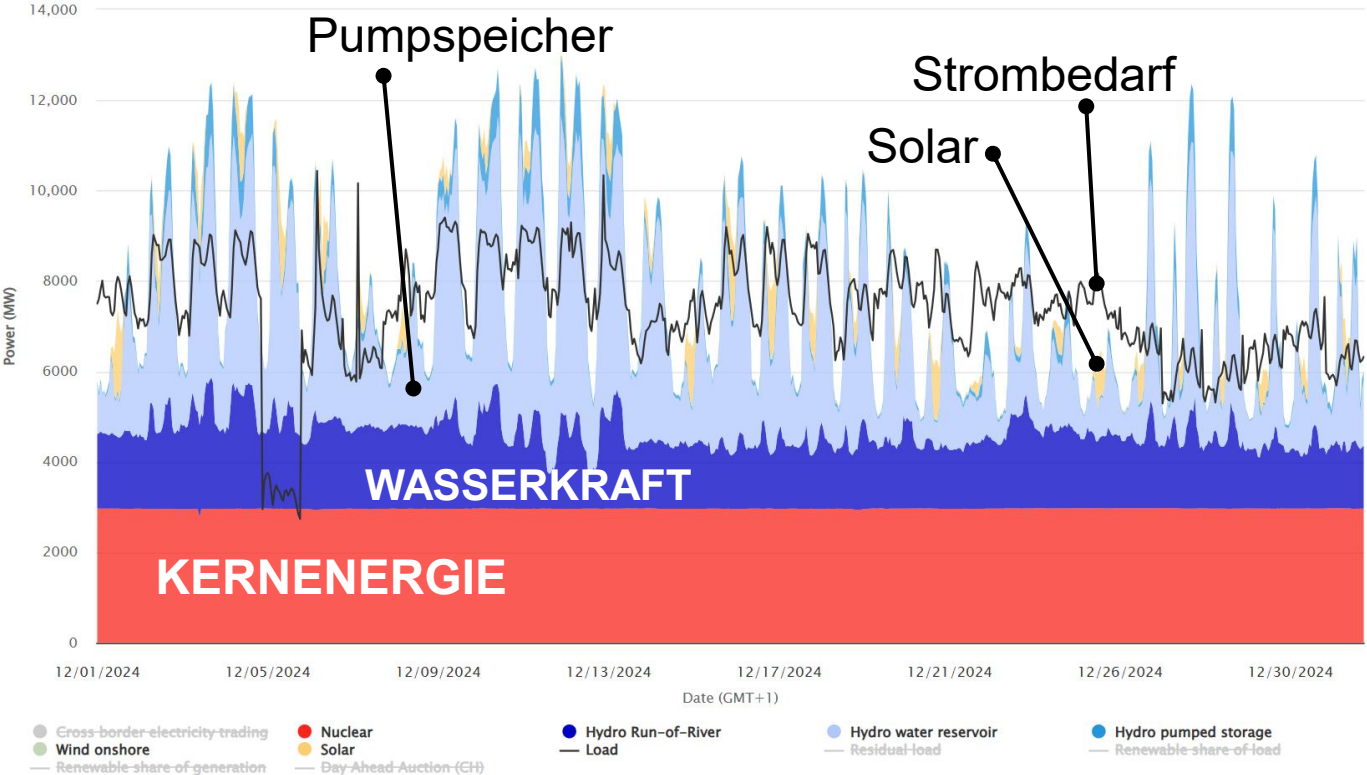
Onagawa KKW nach Tsunami in Japan sicherster Ort.
Wurde mehrere Monate lang zum Zufluchtsort für
Hunderte von Einwohnern.

Kernenergie in der Schweiz

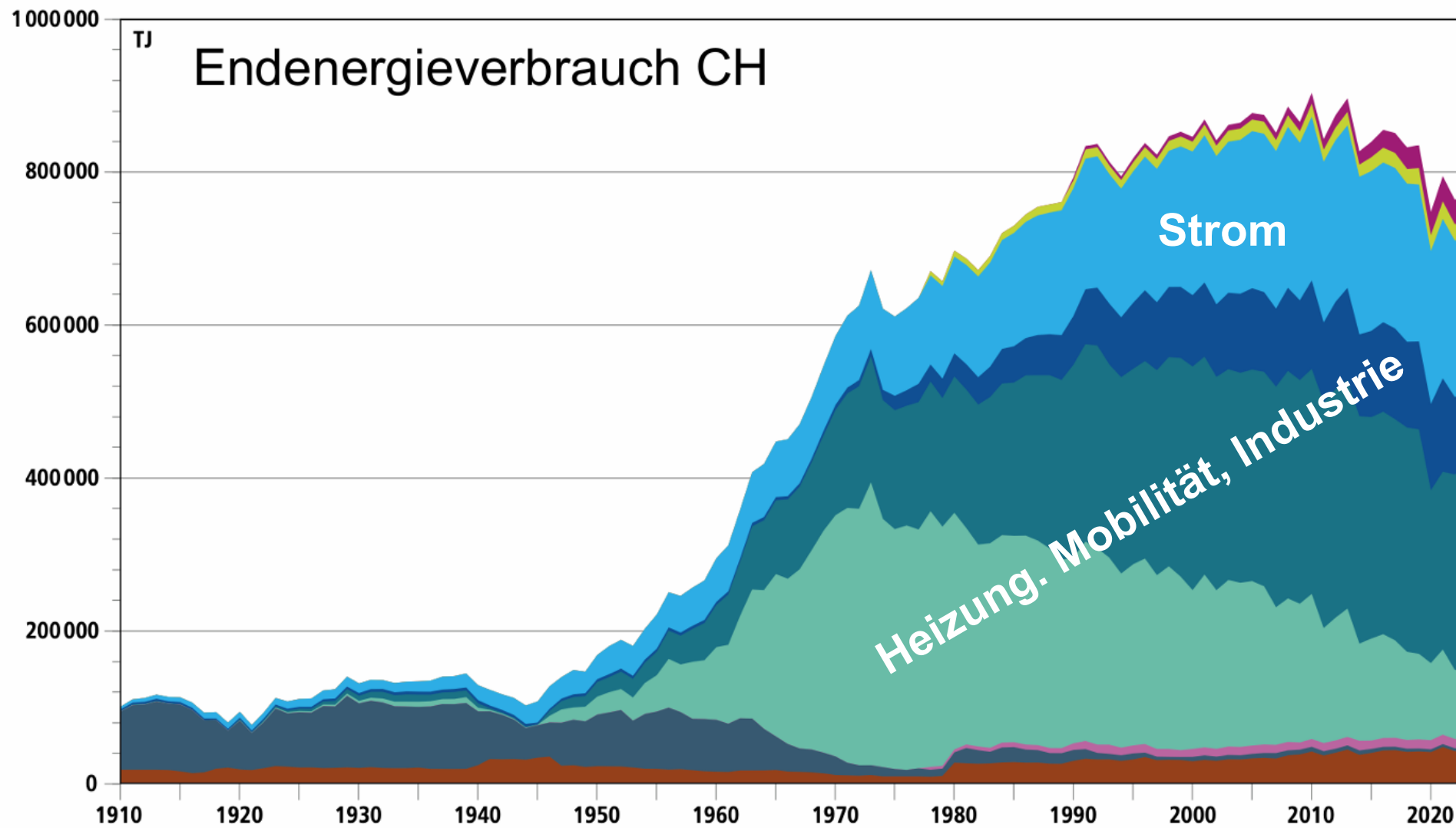
Jahr 2024



Dezember 2024



Wichtiger Beitrag der Kernenergie im Winter für eine stabile, wetterunabhängige Stromproduktion (~ 40% Winter-Strom)



Übrige erneuerbare Energien
Autres énergies renouvelables

Fernwärme
Chaleur à distance

Elektrizität
Electricité

Gas
Gaz

Treibstoffe
Carburants

Erdölbrennstoffe
Combustibles pétroliers

Industrieabfälle
Déchets industriels

Kohle
Charbon

Holz
Bois

Ist Kernenergie umweltfreundlich?

LCA-Analyse (Ökobilanz)

Nachhaltigkeit

Treibhausgase
(Klimakrise)

Landverlust

Rohstoffverfüg-
barkeit

Schadstoff-
emissionen

Abfallströme

Sicherheit

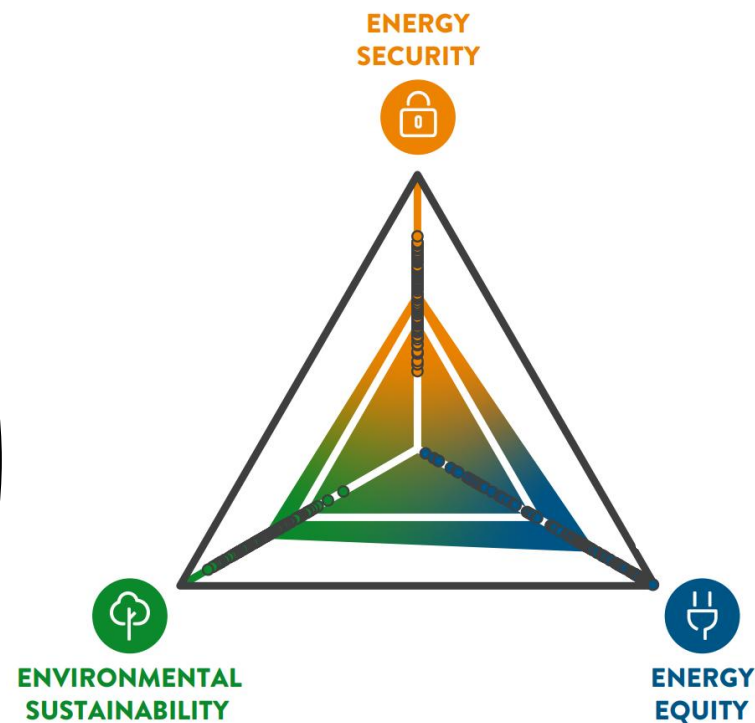
Auswirkungen
auf Gesundheit

Ökonomie
Soziale Faktoren

Die Energiedichte ist entscheidend!

Grafik von Prasser

Energy trilemma



Source: World Energy Council

Kernenergie: Energie Äquivalenz (Energiedichte)



Eine Kernreaktion erzeugt $> 1,000,000$ mal mehr Energie als eine chemische Reaktion

Hohe Energiedichte



- Kleine Menge Brennstoff
- Kleiner Landbedarf
- Geringe Menge an Abfall

Alle Schweizerische KKW:

- Produzieren 23 TWh/Jahr
- Brennstoffkosten ~ 200 Millionen CHF/Jahr
 $< 1\%$ Kosten Brennstoffimporte

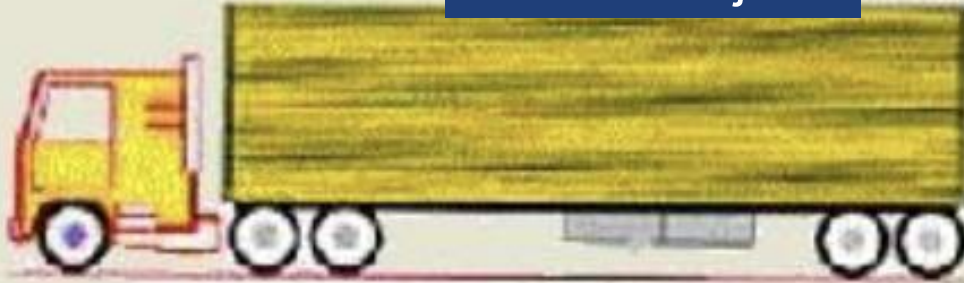
Ein einzelnes Uranbrennstoffpellet (1 cm^3) erzeugt die gleiche Energie wie:

- 1 Tonne Kohle
- 454 Liter Öl
- 480 m^3 Gas

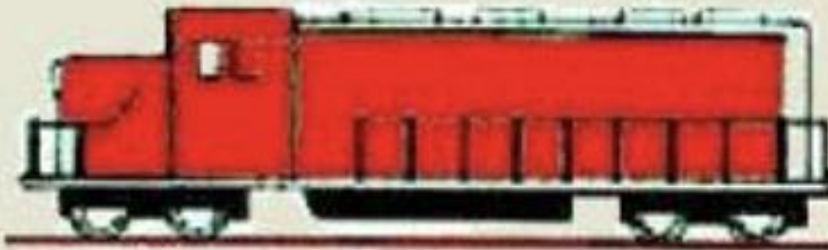


1,000 megawatts of electricity uses...

7708 GWh/jahr

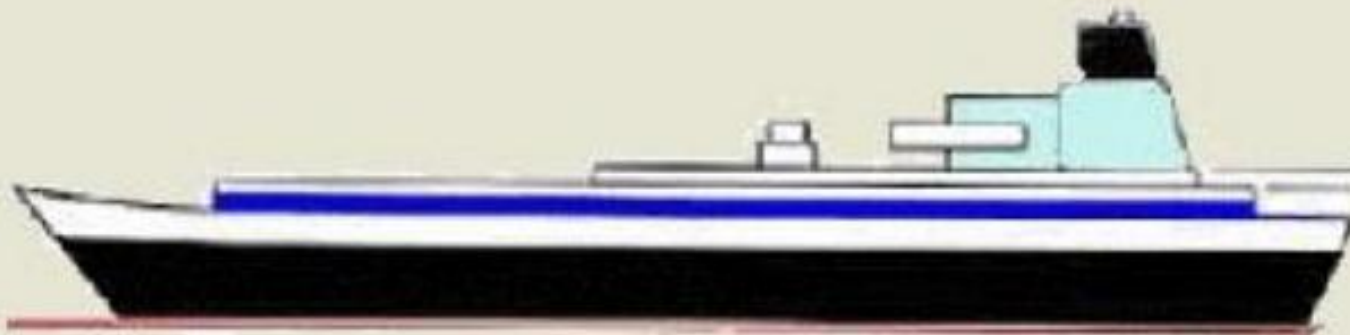


KERNKRAFTWERK
~ 30 tonnen/Jahr Brennstoff



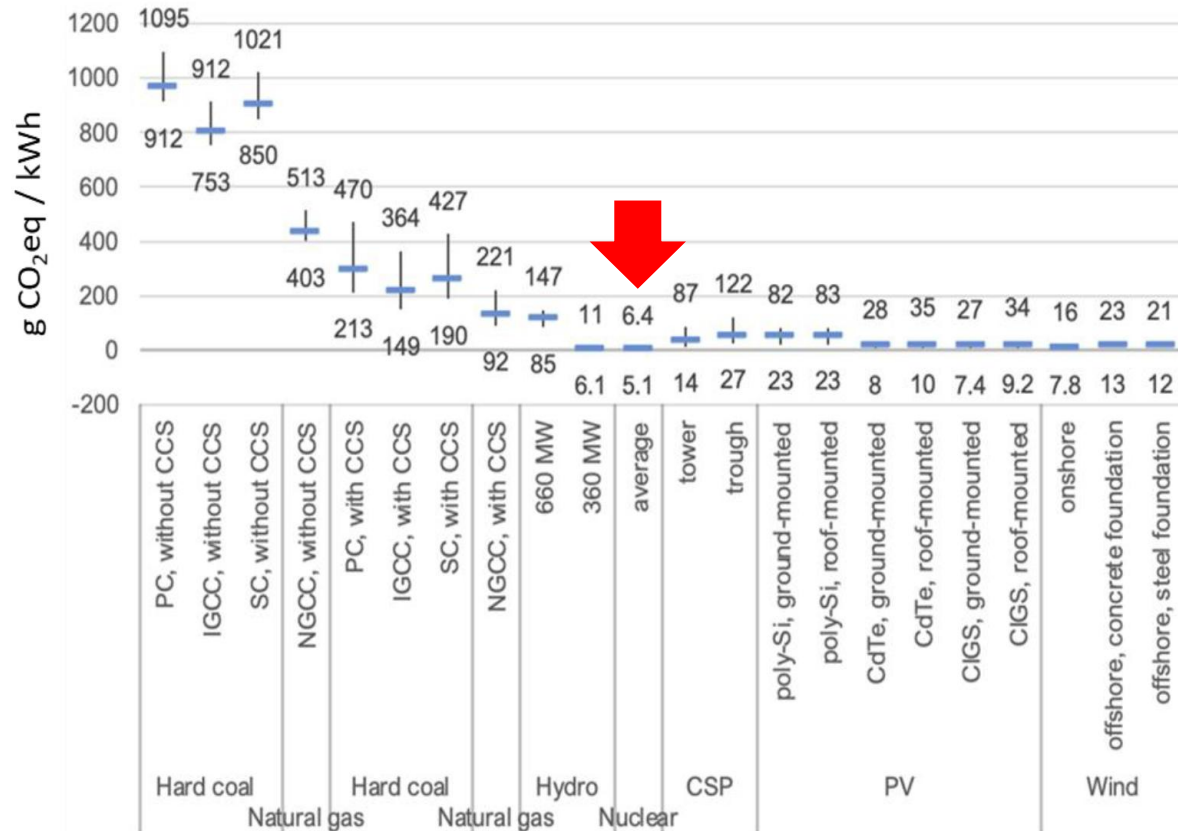
GASKRAFTWERK
4375 m³/Stunde gas

KOHLEKRAFTWERK
240 Tonne/Stunde



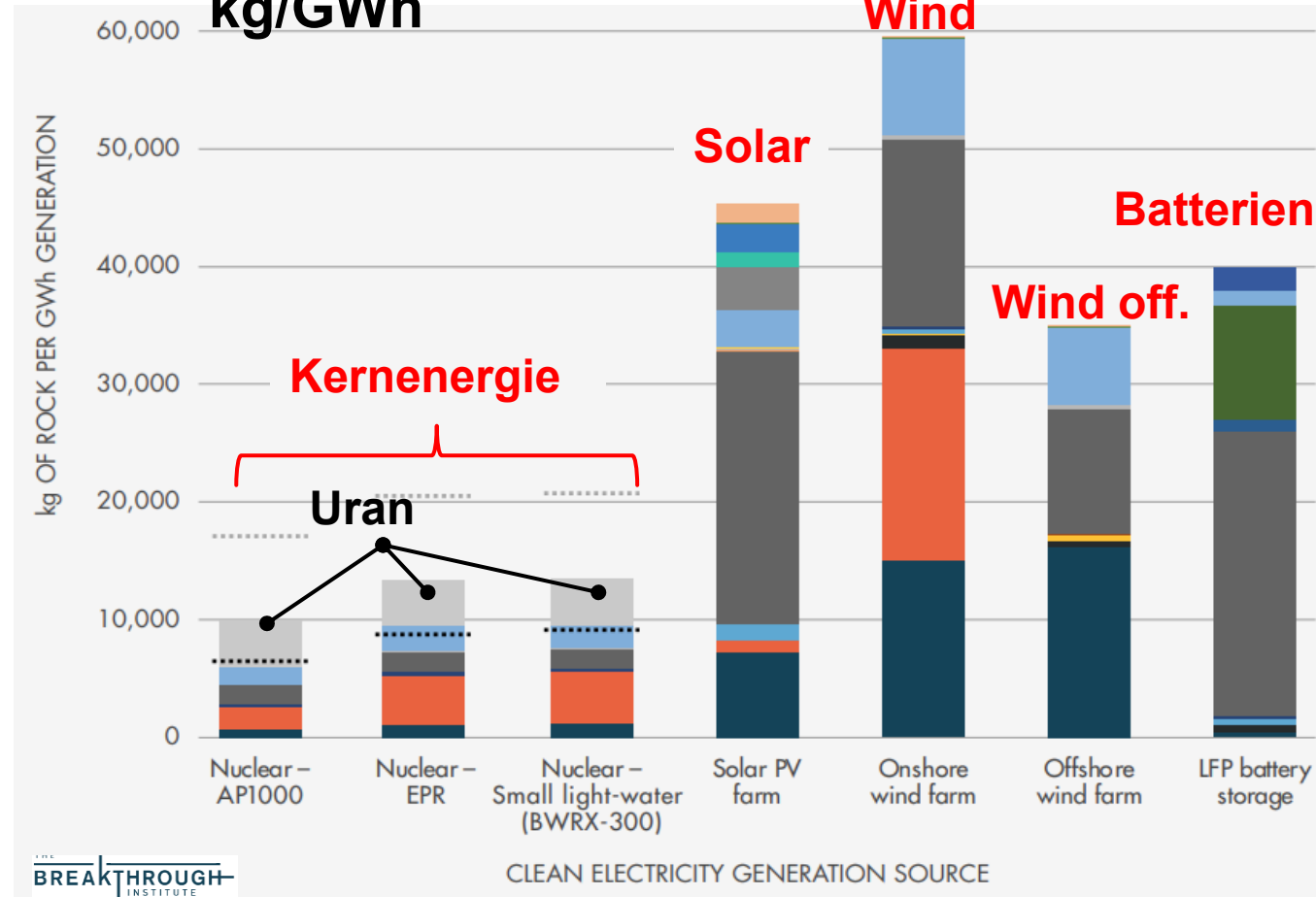
1177 Barrel Öl / Stunde

CO₂-äquivalente Emissionen [g/kWh]



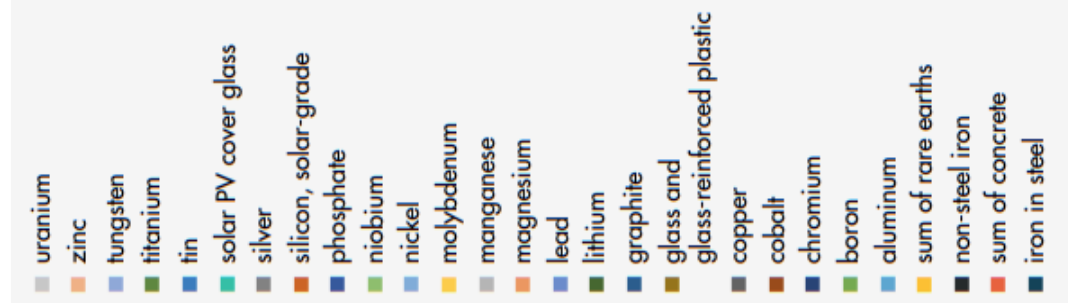
United Nations Economic Commission for Europe, Unece (2022)

Bergbauintensität der Energieerzeugung kg/GWh



BREAKTHROUGH INSTITUTE

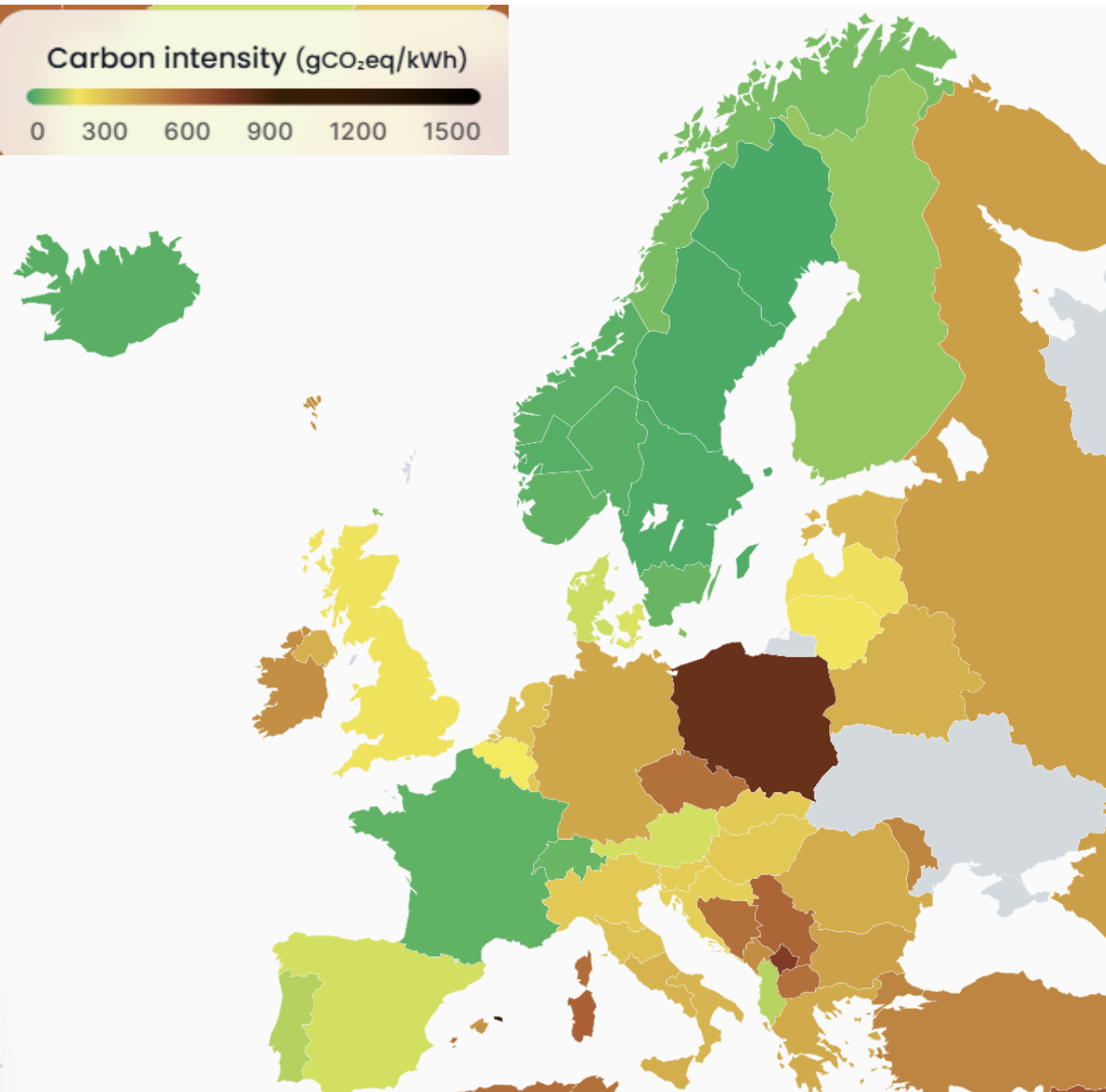
CLEAN ELECTRICITY GENERATION SOURCE



Kernenergie in der EU-Taxonomie seit 2022

Kernenergie und Dekarbonisierung des Strommix

CO2 Emissionen - Strom (Jahr 2024)



Länder, die ihren Strommix erfolgreich dekarbonisiert haben (in grün):

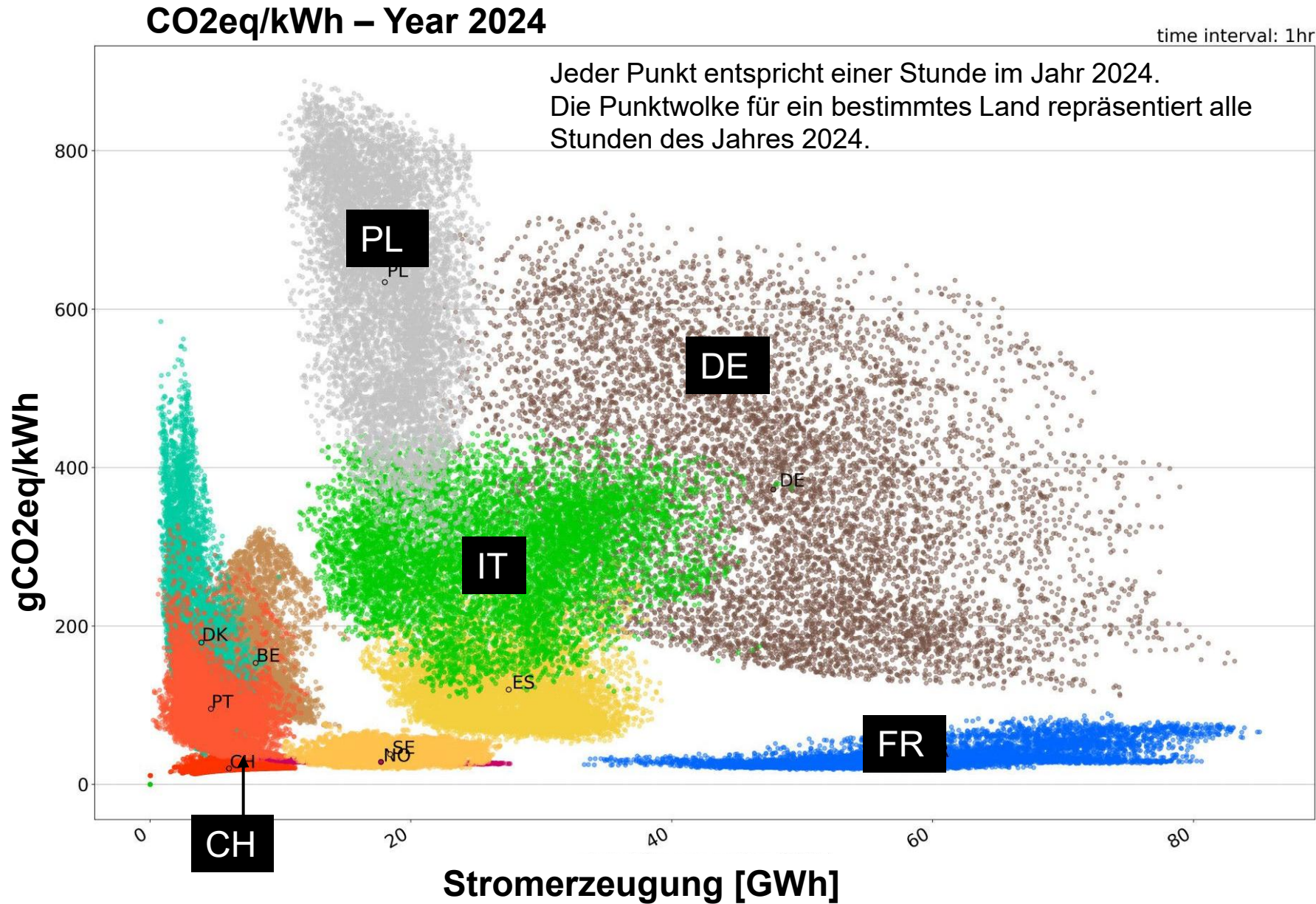
- Schweden (Kernenergie + Erneuerbare)
- Frankreich (Kernenergie + Erneuerbare)
- Schweiz (Kernenergie + Erneuerbare)
- Finnland (Kernenergie + Erneuerbare)
- Norwegen (90 % Wasserkraft + 10 % Wind)
- Island (70 % Wasserkraft + 30 % Geothermie)

Norwegen- und Island-Modelle sind nicht in andere Länder „exportierbar“, da sie von der jeweiligen Ländertopologie (Berge, Vulkane) abhängig sind.

Alle anderen Länder, die ihren Strommix erfolgreich dekarbonisiert haben, nutzen eine Kombination aus erneuerbaren Energien und Kernenergie

CO₂-Emissionen im Zusammenhang mit der Stromerzeugung

@BotElectricity v0.8
Source: ENTSO-E, IPCC 2014

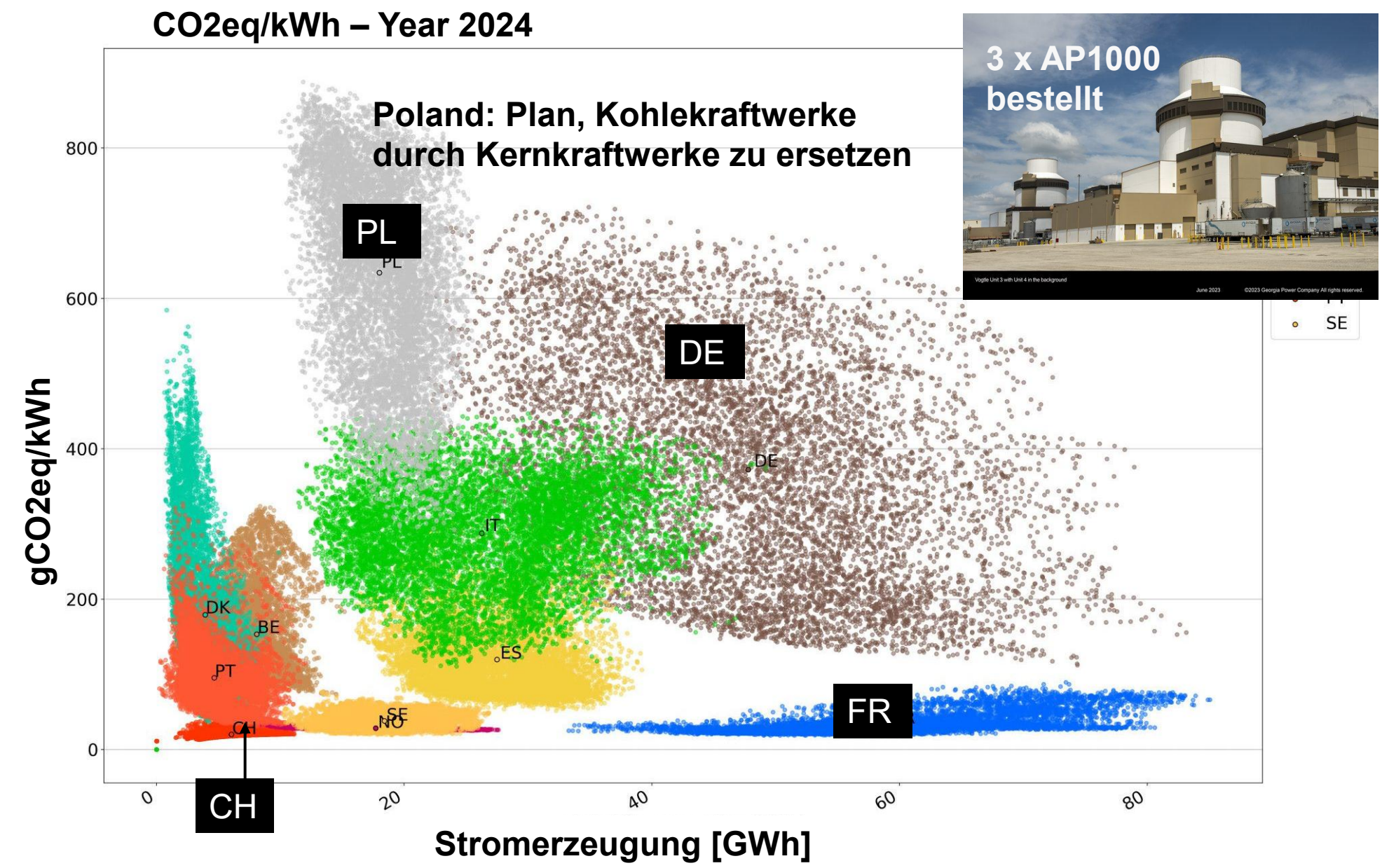


Deutschland und Frankreich sind in ihrer Dekarbonisierungsstrategie unterschiedliche Wege gegangen:

- Frankreich: mit Kernenergie + 25 % erneuerbaren Energien
- Deutschland: Atomausstieg und hoher Anteil erneuerbarer Energien (ergänzt durch Gas und Kohle)

Hinweis: In keiner einzigen Stunde des Jahres weist Deutschland eine so gute CO₂-Bilanz auf wie Frankreich.

CO2-Emissionen im Zusammenhang mit der Stromerzeugung



@BotElectricity v0.8
Source: ENTSO-E, IPCC 2014

Die Stromproduktion in der Schweiz ist bereits CO2-arm – Jahr 2022

- Die Schweiz ist eines der Länder mit den geringsten CO2-Emissionen bei der Stromproduktion
- Länder in Europa mit geringem CO2-Ausstoß haben Kernenergie in ihrem Strommix
- Ausnahmen: Norwegen mit ~ 90 % Wasserkraft; Island: 70 % Wasserkraft, 30 % Geothermie

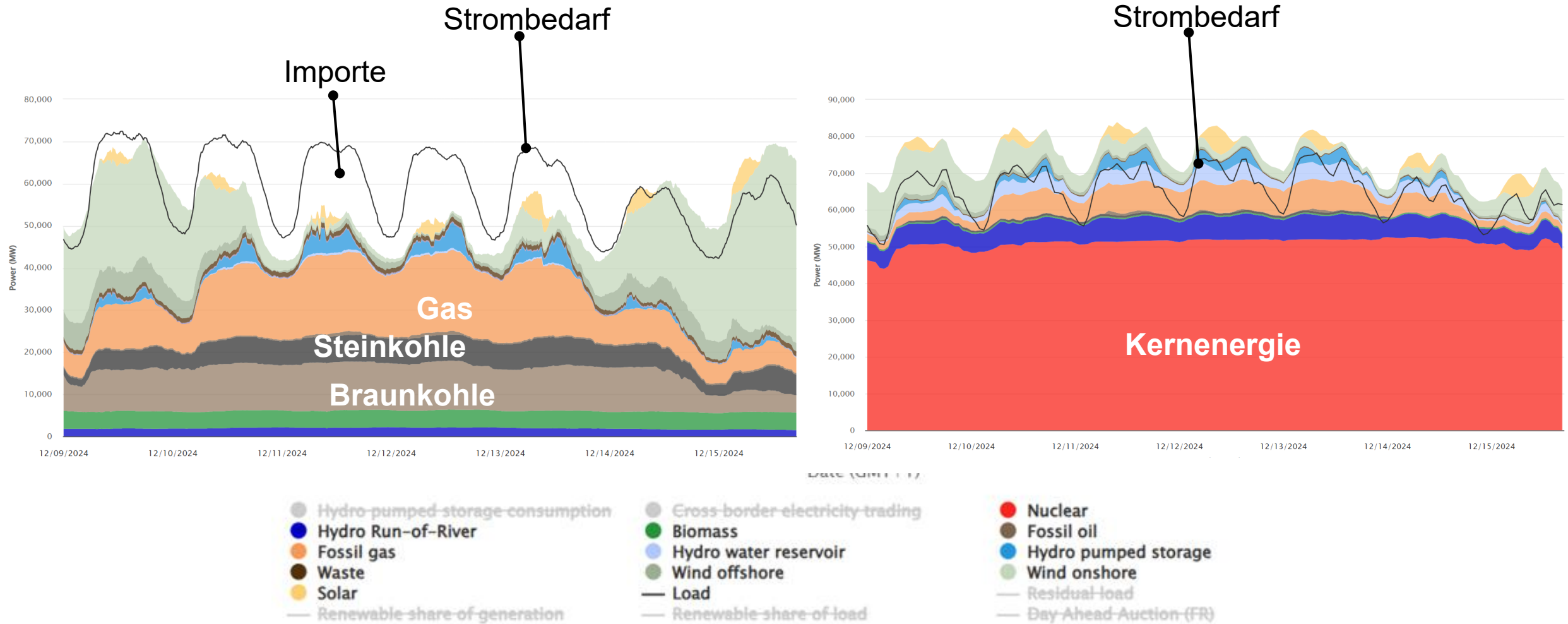
Country	gCO ₂ -equiv/kWh	Oil %	Gas %	Coal %	Nuclear %	Wind %	Solar %	Biomass %	Hydro %	Wind, solar, biomass %	Nuclear + fossile %
Norway	29	0.5	0.5	0.0	0.0	10.4	0.1	0.1	88.3	10.7	1.0
Sweden	45	1.6	0.2	<0.01	29.8	19.4	1.4	7.4	40.3	28.1	31.6
Switzerland	46	3.6	0.0	0.0	37.0	0.1	4.3	0.2	54.8	4.6	40.6
France	85	2.1	9.2	0.9	63.3	8.2	4.3	2.1	9.8	14.6	75.5
Finland	131	4.9	1.8	4.1	34.3	16.6	0.4	19.1	18.8	36.1	45.1
Austria	158	5.3	18.2	0.2	0.0	10.7	4.2	5.6	55.8	20.5	23.7
Spain	217	4.0	30.6	2.7	20.5	21.7	11.5	2.4	6.6	35.6	57.8
Netherlands	356	5.0	39.6	12.1	3.4	17.9	13.9	8.0	0.1	39.8	60.1
USA	367	0.9	39.3	19.3	18.0	10.1	4.8	1.2	6.0	16.1	77.5
Italy	372	5.3	50.7	7.6	0.0	7.1	9.9	6.6	10.7	23.7	63.6
Germany	385	3.2	16.5	31.1	6.3	21.7	10.1	8.1	3.0	39.9	57.1
Japan	483	3.9	34.2	32.9	5.4	1.0	10.2	4.5	7.6	15.7	76.4
Poland	635	2.7	7.0	69.2	0.0	11.0	4.6	4.3	1.2	19.9	79.0
World	436	3.1	22.1	35.7	9.2	7.5	4.5	2.4	15.2	14.4	70.1

Data: ourworldindata.org/electricity-mix

Kein Land hat sowohl die Kernenergie als auch die fossile Energieerzeugung abgeschafft.

Bandenergie: Beispiel – Deutschland vs Frankreich

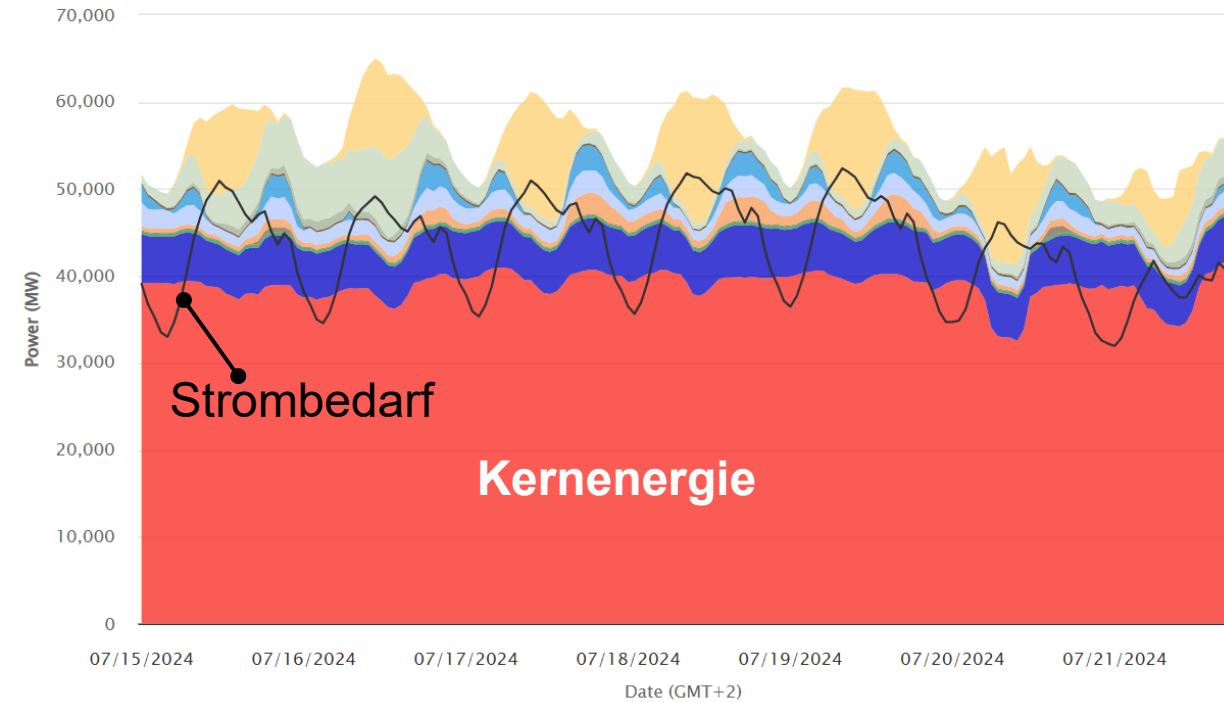
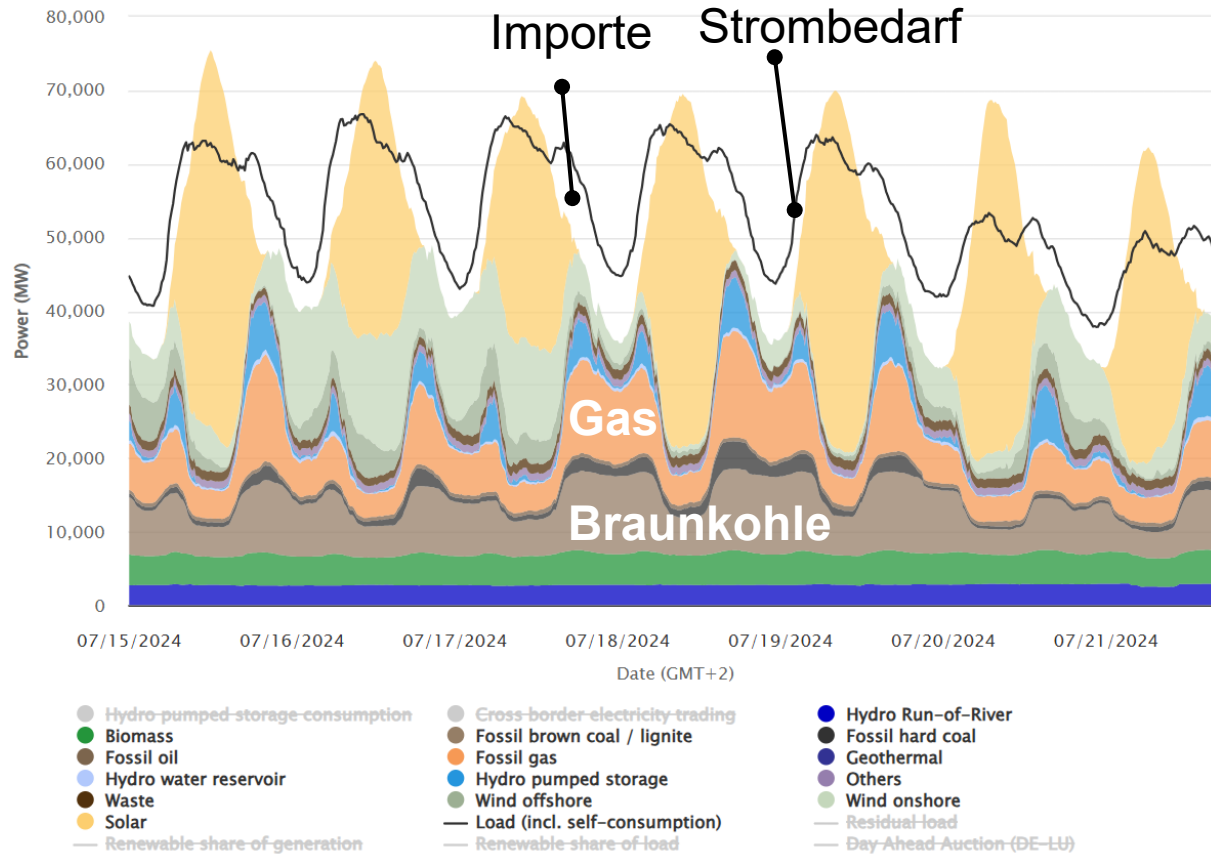
Nov 9 – 15, 2024



Deutschland verfügt über ~4x mehr installierte Solarkapazität als Frankreich

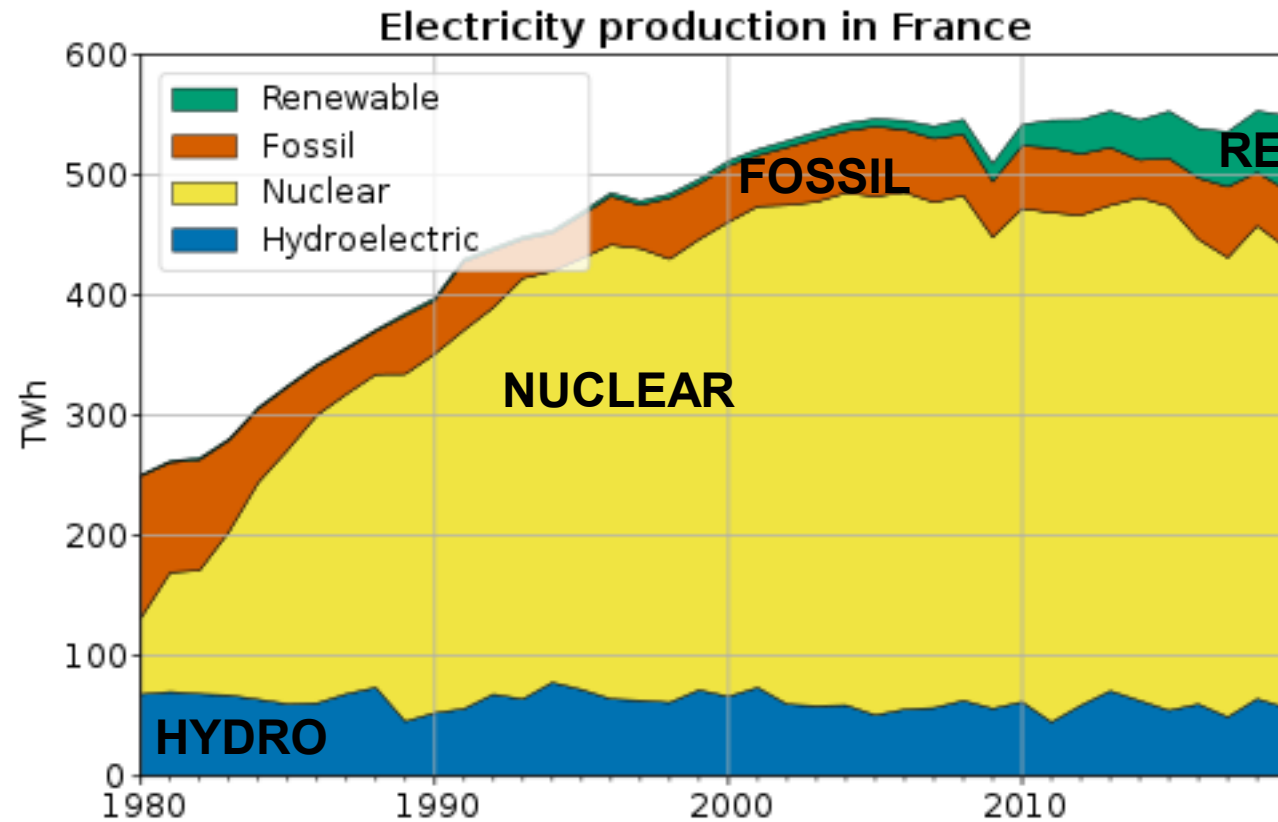
Beispiel – Deutschland vs Frankreich

Jul 15 – 21, 2024

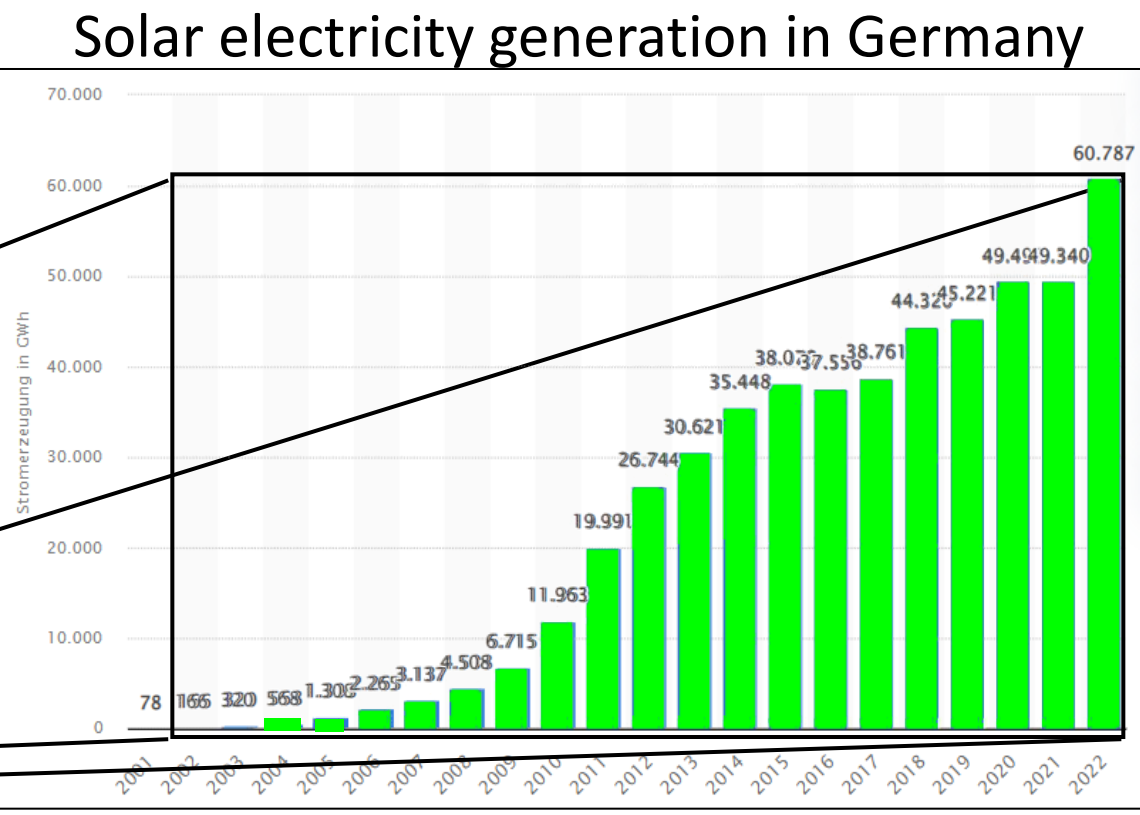
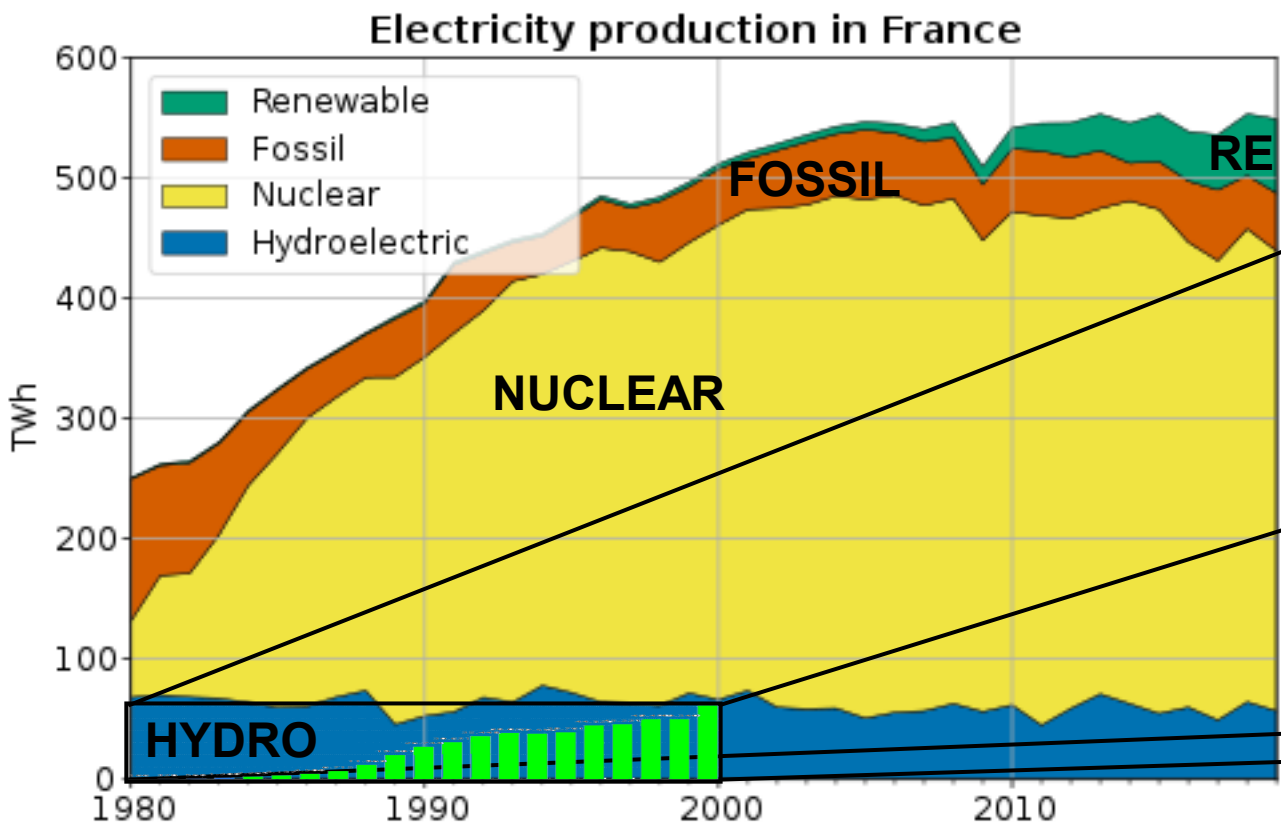


Deutschland verfügt über ~4x mehr installierte Solarkapazität als Frankreich

20 Jahre Kapazitätsaufbau in Deutschland und Frankreich



20 Jahre Kapazitätsaufbau in Deutschland und Frankreich



Wie viel Strom aus einem KKW?

Wie viel Strom aus einem KKW?

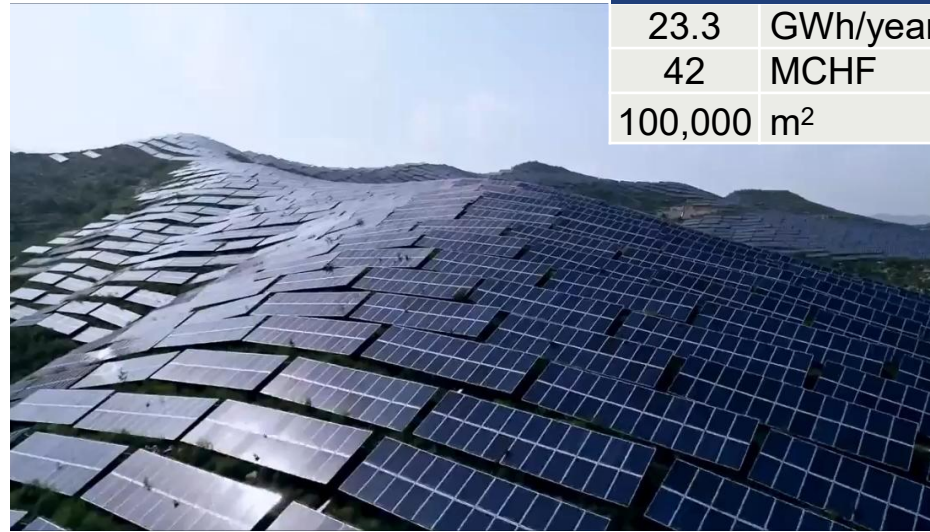
535 x

Switzerland
Gondosolar

ETH zürich



23.3	GWh/year
42	MCHF
100,000	m ²



1363 x

12 TWh/Jahr

- Mit Kernenergie: 1 KKW (EPR)
- Mit Alpinsolar: 535 Gondosolar
- Mit Wind: 1363 Windkraftanlage (4.26 MW)



Leibstadt
Kühlturm

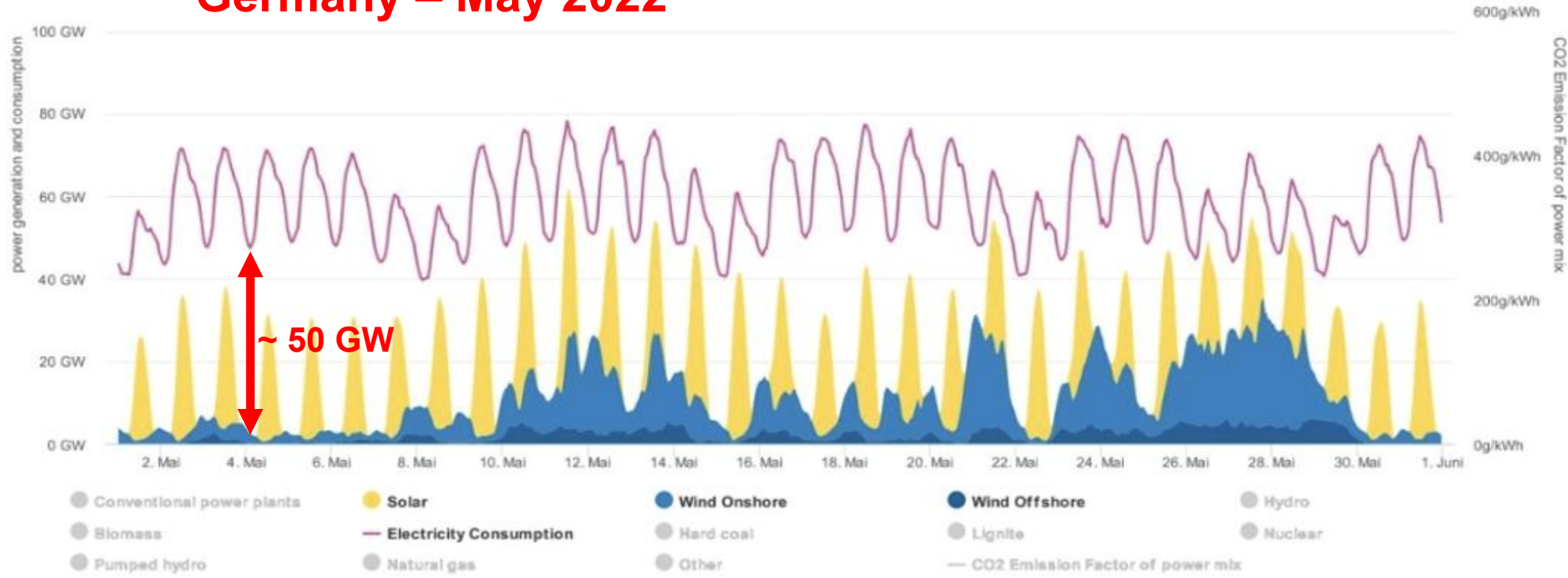
129m



200m

Herausforderungen der Skalierung (ohne Kernenergie)

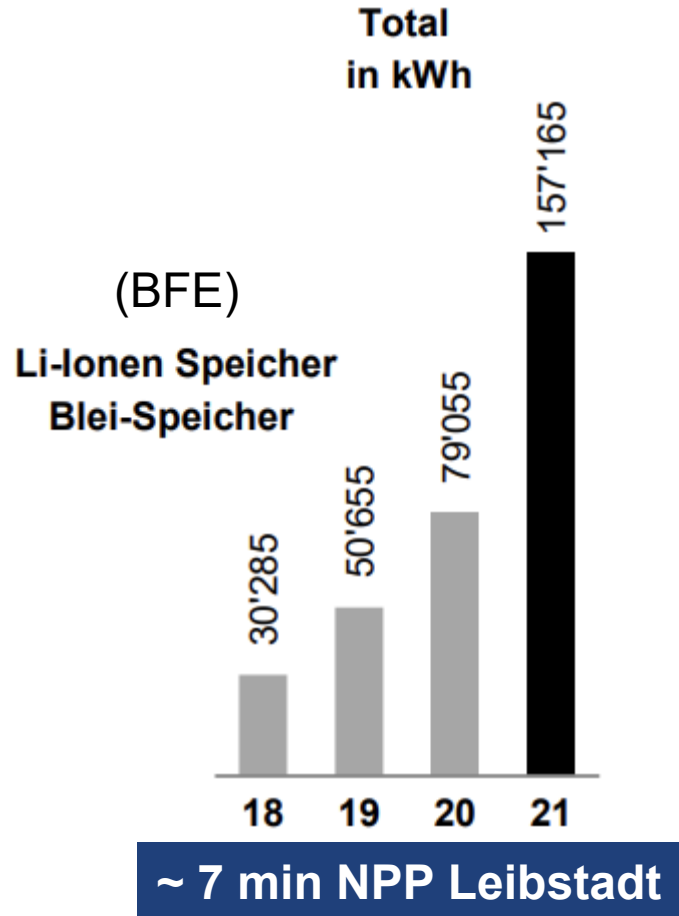
Germany – May 2022



Wieso nicht mit Batterien?

Ein Blick auf die Zahlen...Batterien sind nicht für die saisonale Speicherung geeignet

Gesamte installierte Batteriekapazität in der Schweiz



Kapazität aller Batterien in der Schweiz: weniger als 160.000 kWh
(was das Kernkraftwerk KKL in ~7 Minuten produziert)

Cottingham: Europe's biggest battery storage system switched on

5 days ago

BBC

NEWS

196 MWh

~ 10 min 1300 MWe NPP



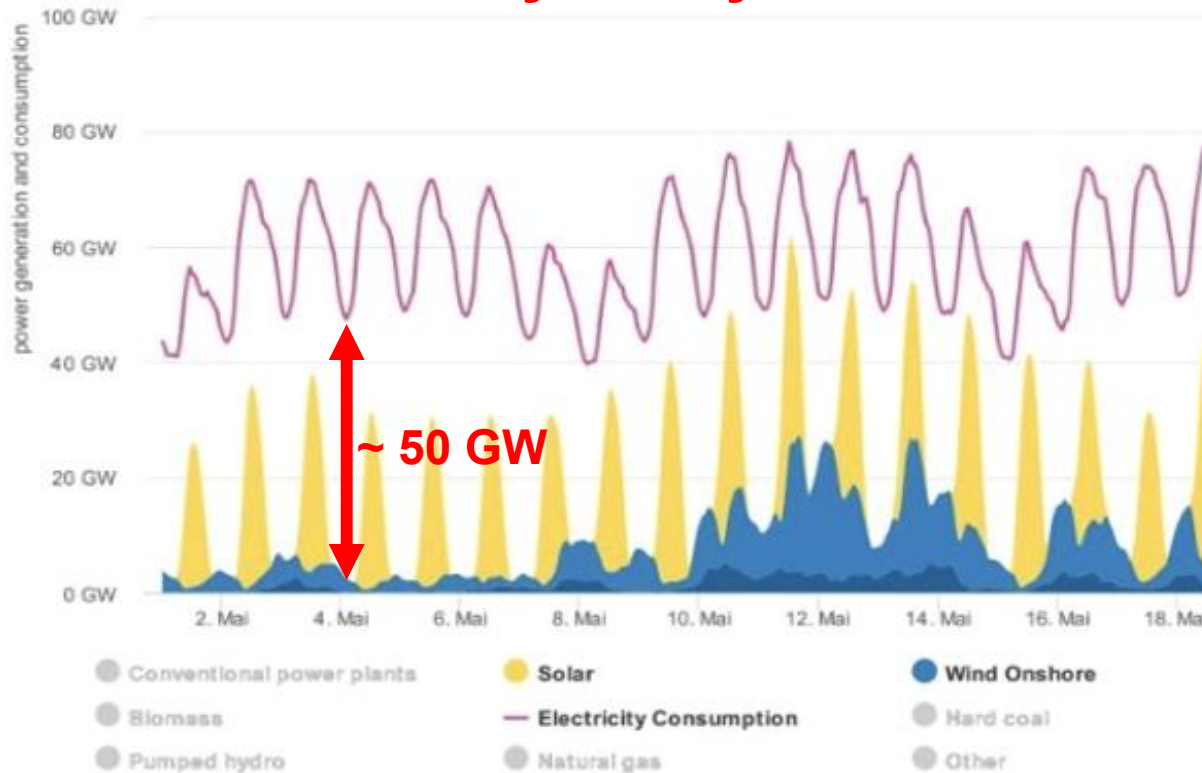
The battery energy storage system in Cottingham can hold enough electricity to power 300,000 homes for two hours

Der größte Batteriepark Europas kann die Energie speichern, die ein typisches Kernkraftwerk in 10 Minuten Betrieb erzeugt.

Beispiel Deutschland

Wieso nicht mit Batterien?

Germany – May 2022



Größter Batteriepark Europas seit 2023 in Betrieb

Cottingham: Europe's biggest battery storage system switched on

5 days ago

BBC



NEWS

196 MWh



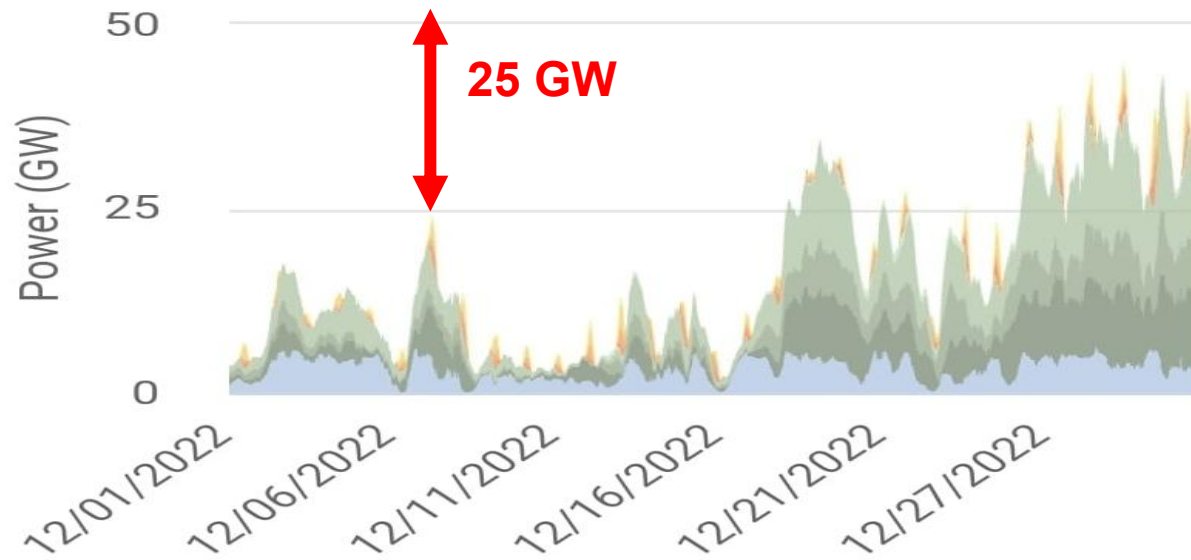
The battery energy storage system in Cottingham can hold enough electricity to power 300,000 homes for two hours

Um die fehlenden 50 GW für nur eine Stunde bereitzustellen (50 GWh),
Man bräuchte 255 Cottingham-Batterieparkes

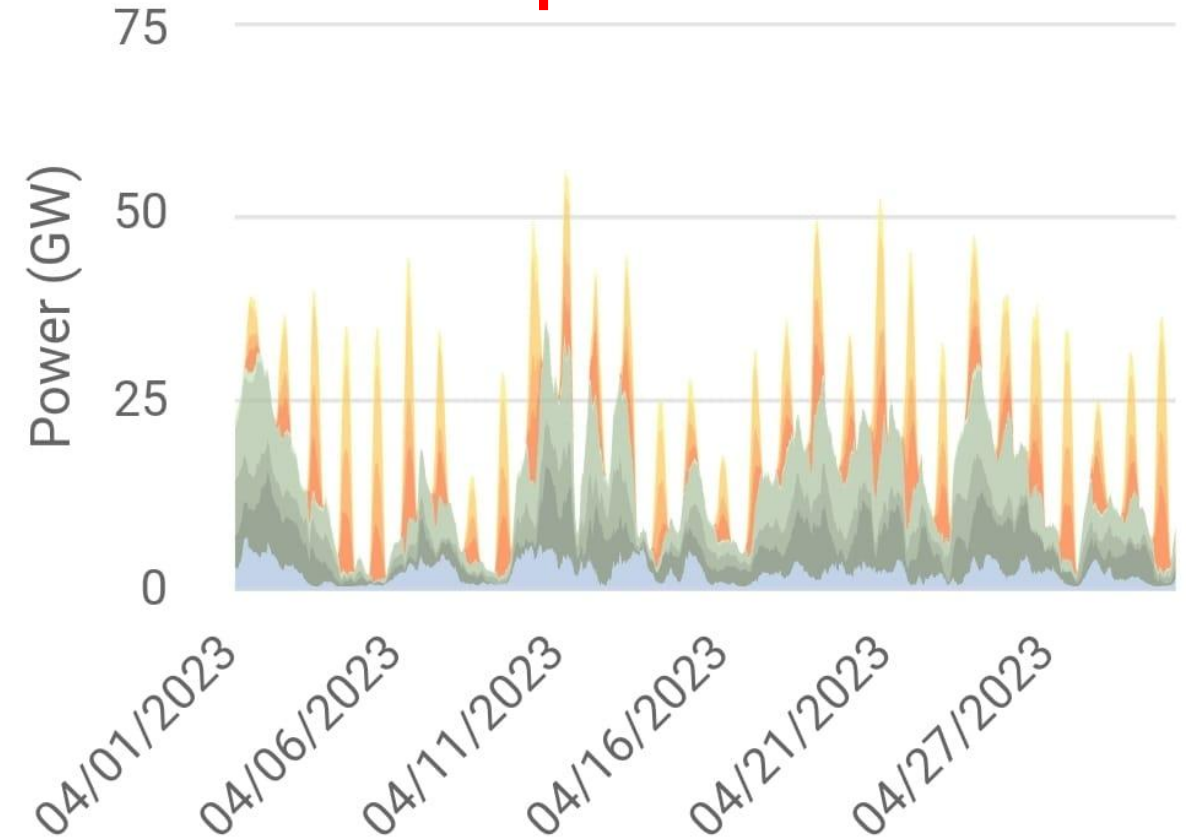
Beispiel Deutschland

Wind/Solar Stromproduktion

Dec 2022



Apr 2023



Ein Blick auf die Zahlen - die Herausforderungen der Skalierung

ENERGY VAULT

1 Tonne Material auf 100 m => 0,27 kWh (16 Minuten Betrieb einer Waschmaschine)



Energy Vault

Energy storage company

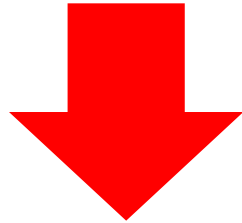


Ein Blick auf die Zahlen: Die Herausforderung der Skalierung

**NPP Beznau => 6000 GWh/year electricity (6 TWh/Jahr)
+ 170 GWh/year district heating**

REFUNA

170 GWh Fernwärme vom Kernkraftwerk Beznau



Zukunftsplan

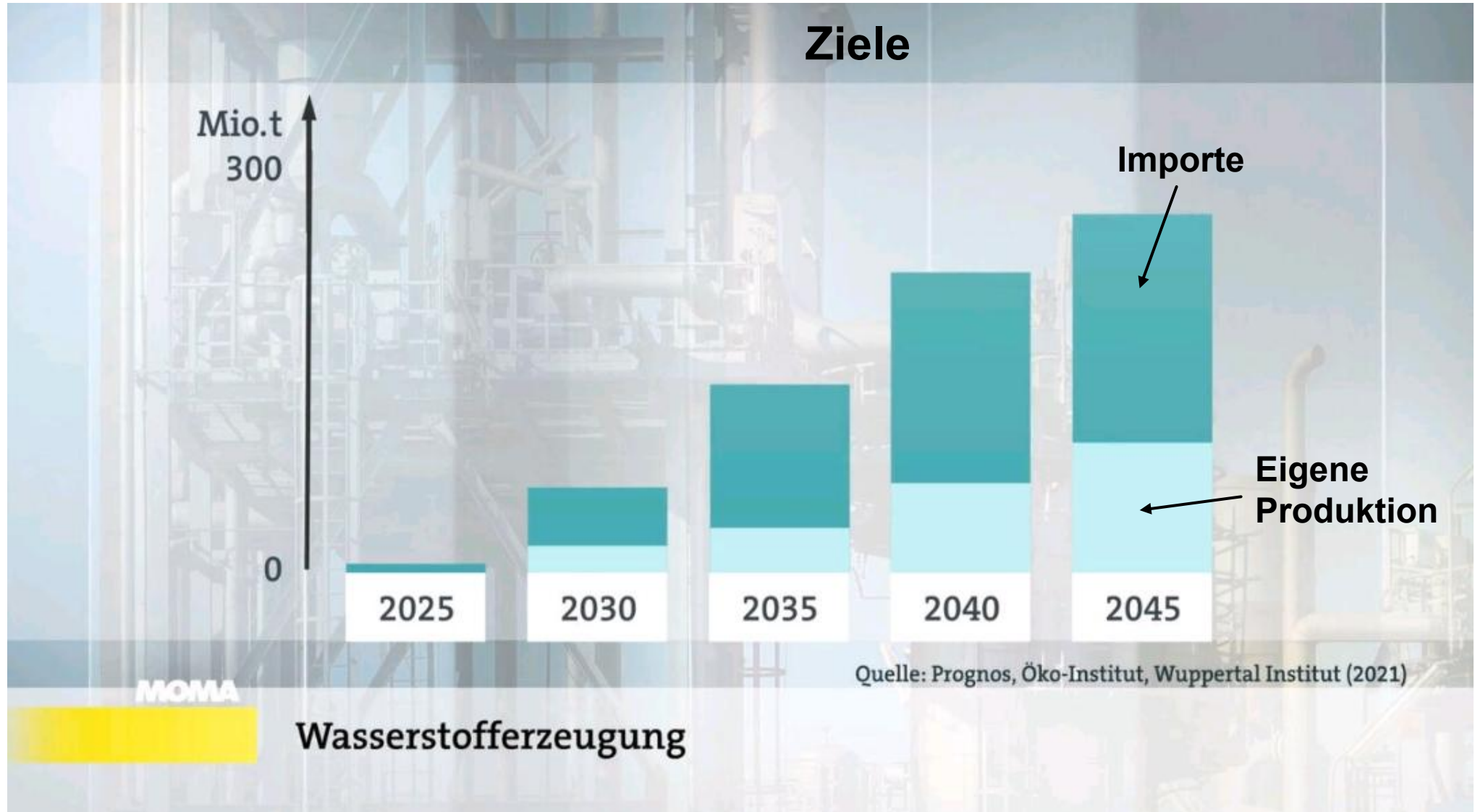
- 34'000 t Holzpellets pro Jahr
- mit 1700 LKWs geliefert

Wenn wir alle Schweizer Kernkraftwerke ersetzen wollen, müssen wir 23.000 GWh/Jahr ersetzen!



Schweiz: Importe von Wasserstoff?

Deutschland eigenen Wasserstoffbedarf



Wasserstoff

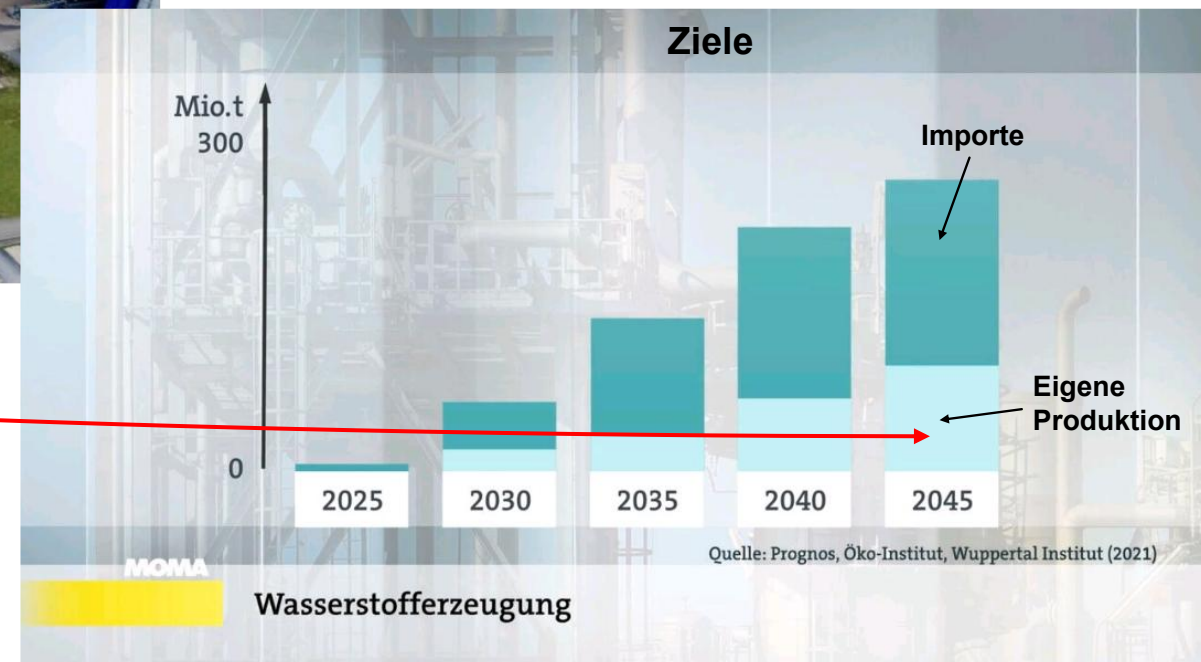


300 MW Wasserstoffsproduktionsanlage / Lingen (DE)

2 tonne Wasserstoff pro Stunde
(17,500 tonne/Jahr)

mehr als 5400 x

Nur für den inländischen Produktionsanteil



Schweiz 2050



Schweiz - Bis 2050

+ 25 TWh (Elektrifizierung) + 23 TWh (heutige KKW aus)

ETH zürich

Ziel: 28 TWh PV, 13 TWh Wind (x4 Solar, x84 Wind im Vergleich zu heute)

- Erhebliche Subventionen erforderlich, um den notwendigen Ausbau erneuerbarer Energien zu unterstützen.
- Hohe Anteile an PV und Wind erfordern genaue Wettervorhersagen
- Eine geringe Integration des Strommarktes und begrenzte Nettostromimporte im Winter würden die Strompreise erheblich erhöhen.
- Bei begrenzten Netto-Winterimporten muss die Schweiz ihren Winterstrombedarf stärker auf Wind- und Gasenergie decken, was zu einem deutlichen Anstieg der Kosten der Stromversorgung führt.
- Stromimporte scheinen im Vergleich zu inländischen Stromquellen weiterhin eine unpopuläre Lösung zu sein.

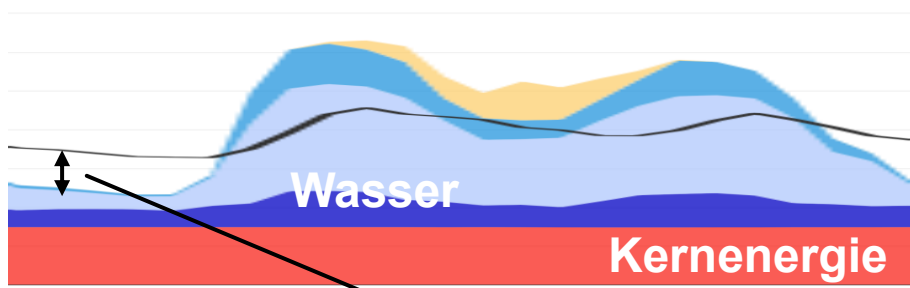
- Axpo: => 7 – 9 TWh/Jahr aus Gaskraftwerken (ohne neue KKW) notwendig
- ETHZ: => Importe synthetischer Treibstoffe für Industrie und Luftfahrt notwendig: Die Produktion würde Solaranlagen in einer Größenordnung erfordern, die in der Schweiz nicht gebaut werden können.

Schweiz: Deutliche Steigerung der Stromimporte im Winter

Typischer Wintertag 2050

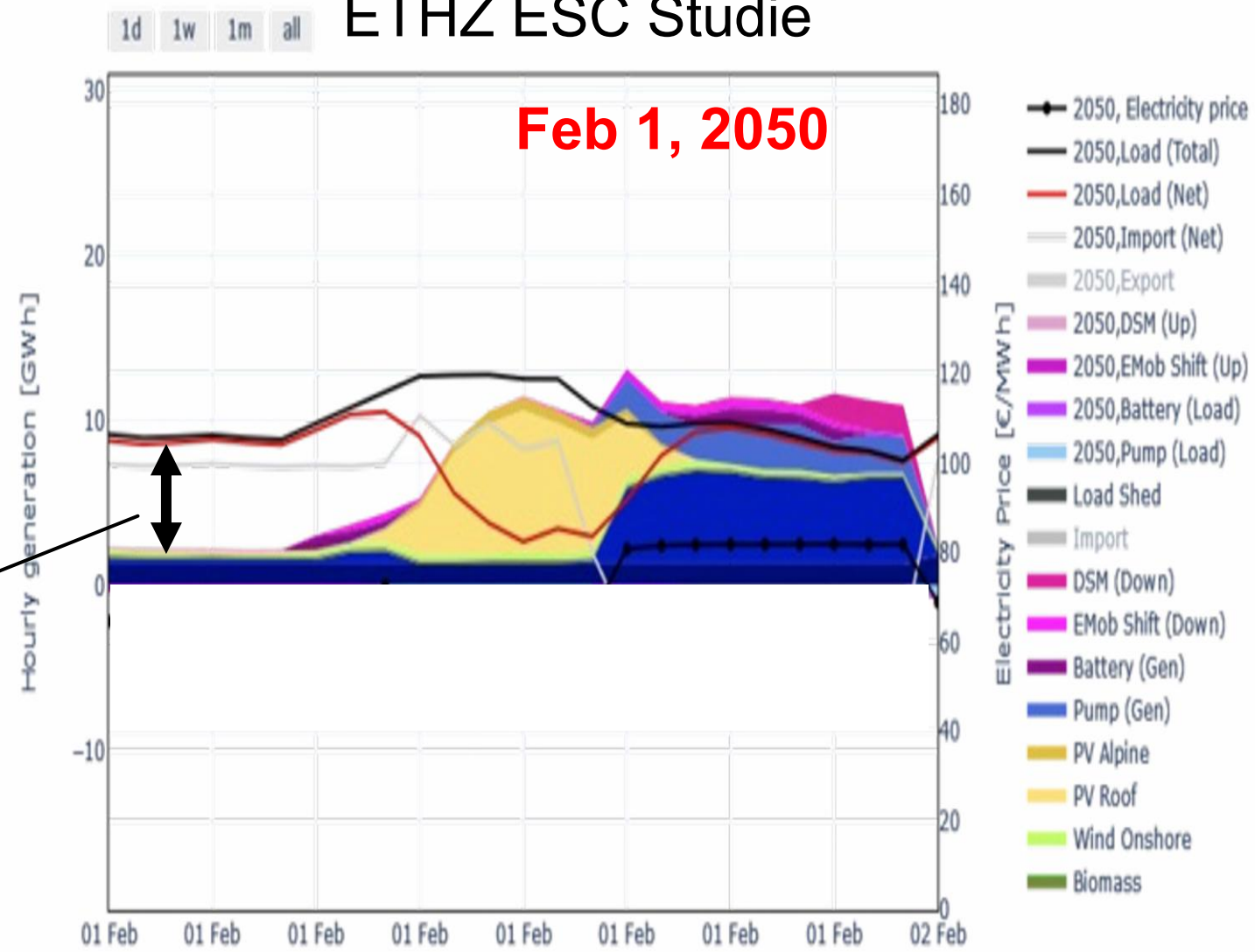
ETHZ ESC Studie

Feb 1, 2024



- Cross-border electricity trading
- Nuclear
- Hydro Run-of-Rive
- Hydro water reservoir
- Hydro pumped storage
- Wind onshore
- Solar
- Load
- Residual load

Feb 1, 2050



Schweiz - Bis 2050

+ 25 TWh (Elektrifizierung)

+ 23 TWh (heutige KKW aus)

BFE/SWEET Studie 2050 (Mai 2025)

Ziel: 28 TWh PV, 13 TWh Wind

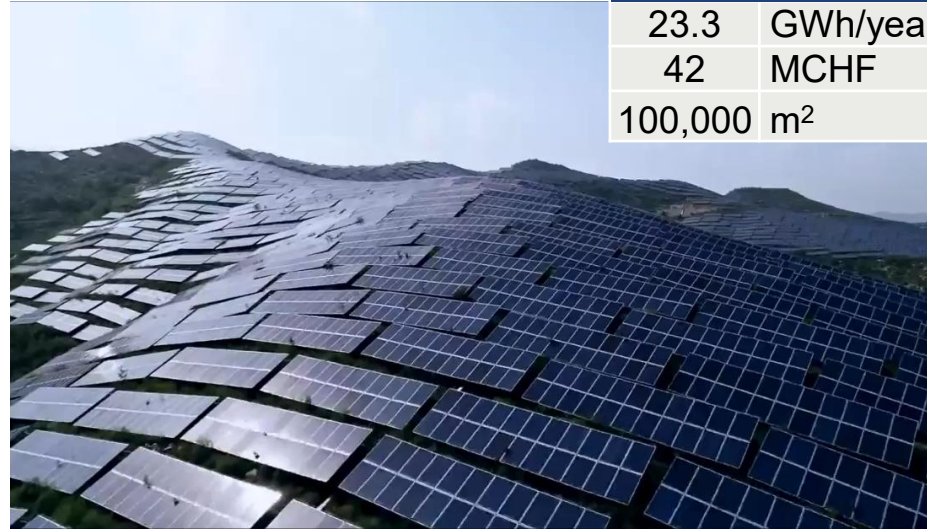
12 TWh/Jahr

- Mit Kernenergie: 1 KKW (EPR)
- Mit Alpinsolar: 535 Gondosolar
- Mit Wind: 1363 Windkraftanlage (4.26 MW)

535 x

Switzerland
Gondosolar

23.3	GWh/year
42	MCHF
100,000	m ²



ETH zürich

1363 x



1x



Leibstadt
Kühlturm

129m



Kosten: 12 TWh/Jahr mit Wind

EPR (12 TWh / Jahr)



571x Burg AG (geplant)



35	MW
5	Windkraftanlage
25	million CHF
21	GWh



12 TWh

CHF 14.3 Milliarden

750x Gotthard-Windpark (in Betrieb)



11.75	MW
5	Windkraftanlage
32	million CHF
16	GWh



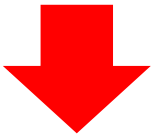
12 TWh

CHF 24 Milliarden

524x Sainte-Croix (geplant)



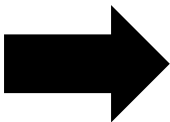
13.7	MW
6	Windkraftanlage
42	million CHF
22	GWh



12 TWh

CHF 22.9 Milliarden

Lebensdauer Windkraftanlage ~ 25 Jahren
Kernkraftwerk 60+ Jahren



Nach 25 Jahren **wiederholen sich die Investitionskosten für Windkraftanlagen**. Kosten für Netzausbau, Backup etc. nicht enthalten.



Kernenergie Weltweit

Länder, die bereits Kernenergie nutzen (32 Länder)

Mit Kernkraftwerken im Bau (13 Länder)

Argentinien, Weißrussland, Brasilien, China, Indien, Iran, Japan, Russland, Vereinigtes Königreich, Slowakei, Südkorea, Ukraine, Vereinigte Staaten

Mit Plänen für den Bau neuer KKW (12 Länder)

Bulgarien, Frankreich, Tschechische Republik, Schweden, Finnland, Niederlande, Rumänien, Ungarn, Slowenien, Vereinigtes Königreich, Vereinigte Arabische Emirate, Pakistan, Kanada

Derzeit keine neuen KKW geplant (4 Länder)

Armenien, Mexiko, Südafrika, Taiwan

Mit Plänen zum Atomausstieg (4 Länder)

[Deutschland: keine KKW in Betrieb seit April 2023]

Belgien (LTO), Deutschland, Spanien (LTO), Schweiz(LTO)

LTO = Lebenszeitverlängerung

Europa (Stand Juni 2025):

- 167 NPPs in Betrieb (148.8 GWe)
- 13 NPPs im Bau (14 GWe)

Weltweit (stand Juni 2025)

- 416 NPPs in Betrieb (376,2 GWe)
- 61 NPPs im Bau (63.8 GWe)

+ mehrere geplant

Länder, die bereits Kernenergie nutzen (32 Länder)

**Mit Kernkraftwerken im Bau
(13 Länder)**

Argentinien, Weißrussland, Brasilien, China, Indien, Iran, Japan, Russland, Vereinigtes Königreich, Slowakei, Südkorea, Ukraine, Vereinigte Staaten

**Mit Plänen für den Bau neuer KKW
(12 Länder)**

Bulgarien, Frankreich, Tschechische Republik, Schweden, Finnland, Niederlande, Rumänien, Ungarn, Slowenien, Vereinigtes Königreich, Vereinigte Arabische Emirate, Pakistan, Kanada

**Derzeit keine neuen KKW geplant
(4 Länder)**

**Mai 16, 2025
Verbot für neues
Kernkraftwerk aufgehoben**

Süda

**Feb 14, 2025
Vorschlag zur Umkehr des
Atomausstiegs von der
Regierung angenommen**

**Mit Plänen zum Atomausstieg
(4 Länder)**

[Deutschland: keine KKW in Betrieb seit April 2023]

Belgien (LTO), Deutschland, Spanien (LTO), Schweiz(LTO)

LTO = Lebenszeitverlängerung

Europa (Stand Juni 2025):

- 167 NPPs in Betrieb (148.8 GWe)
- 13 NPPs im Bau (14 GWe)

Weltweit (stand Juni 2025)

- 416 NPPs in Betrieb (376,2 GWe)
- 61 NPPs im Bau (63.8 GWe)

+ mehrere geplant

Newcomers

Mit KKW in Bau
(3 Länder)

Bangladesh, Egypt, Turkey

Mit Plänen für den Bau neuer KKW
(10 Länder)

[Polen & Saudi-Arabien stehen kurz vor dem Baubeginn]

Estonia, Ghana, Indonesia, Jordan, Kenya, Nigeria, **Poland**, **Saudi Arabia**, Uganda, Uzbekistan

Entscheidungsphase
(17 Länder)

Algeria, Burkina Faso, El Salvador, Ethiopia, Indonesia, Kazakhstan, Morocco, Niger, Philippines, Rwanda, Senegal, Sri Lanka, Sudan, Thailand, Tunisia, Zambia, Zimbabwe

Italien => Wiedereinstieg?

Okt 6, 2024 => **Kasachstan**: Referendum zum Einstieg in die Kernenergie angenommen

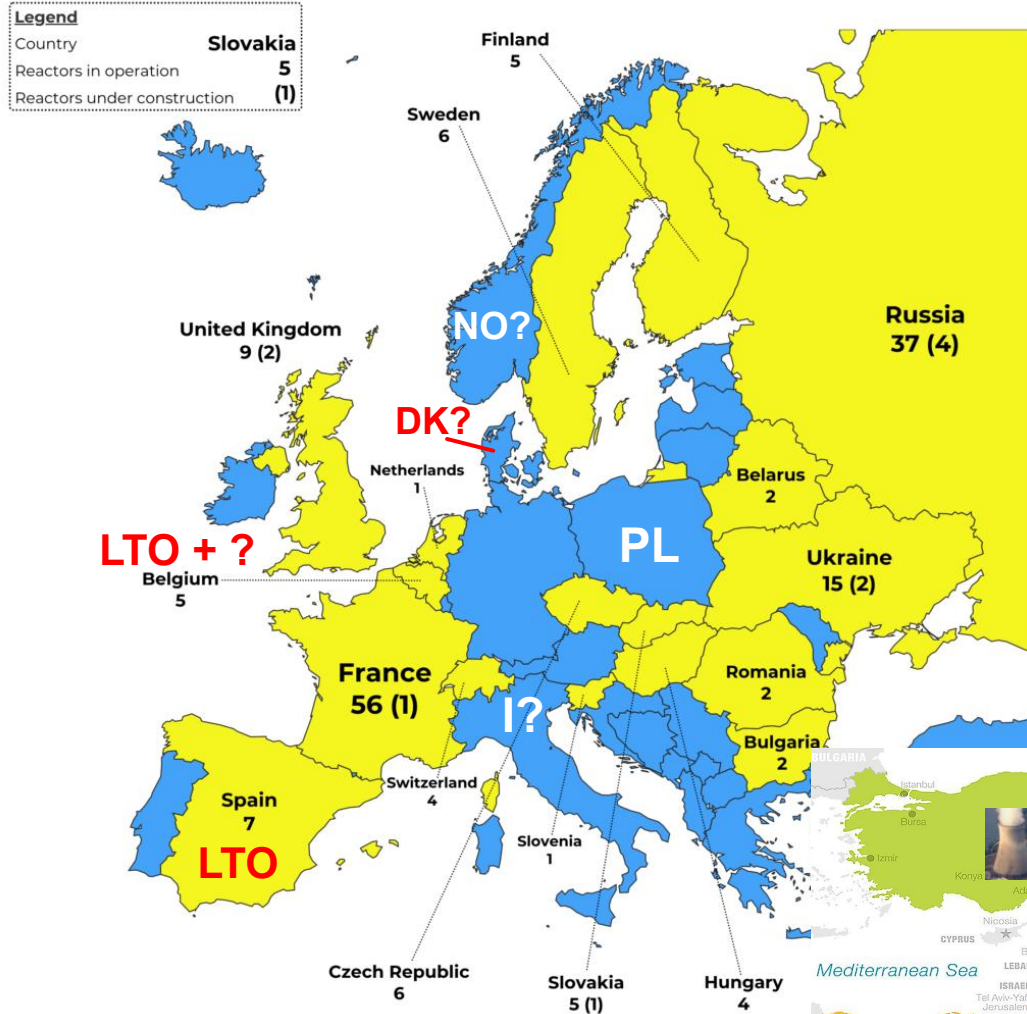
Jan 2025 => **Norwegen**: Norsk Kjernekraft (Bergen) plant SMR-Kraftwerke. Vier potenzielle Standorte identifiziert.

April 2025 => **Italien**: Wiedereinstieg? Partnerschaft (Enel, Ansaldo Energia und Leonardo) für neue KKWs

May 2025 => **Denmark** überdenkt Kernenergieverbot zur Stärkung der Energiesicherheit. Regierung startet Studie zur Rolle der Kernenergie im Energiemix. 55 % der Bevölkerung unterstützen neue Kernkraftwerke

Kernenergie in Europa und Nachbarländern

- Schweden: von 100 % erneuerbarer zu 100 % fossilfreier Strom bis 2040,
- Großbritannien: 2 KKW im Bau, 2 weitere KKW geplant
- NL: 2 bis 4 neue KKW geplant, Regierung stellt 5 Milliarden Euro bereit
- PL: 3 KKW aus den USA bestellt
- Tschechische Republik: 2 KKW bei Südkorea bestellt
- Frankreich: Mehrere neue Kernkraftwerke geplant
- Rumänien: Vertrag über 2 neue KKW unterzeichnet
- Bulgarien: Vertrag über 2 neue KKW unterzeichnet
- Slowakei: genehmigter Regierungsplan für ein neues KKW
- Ungarn: Die Regierung hat dem Parlament einen Gesetzentwurf für zwei neue KKW vorgelegt

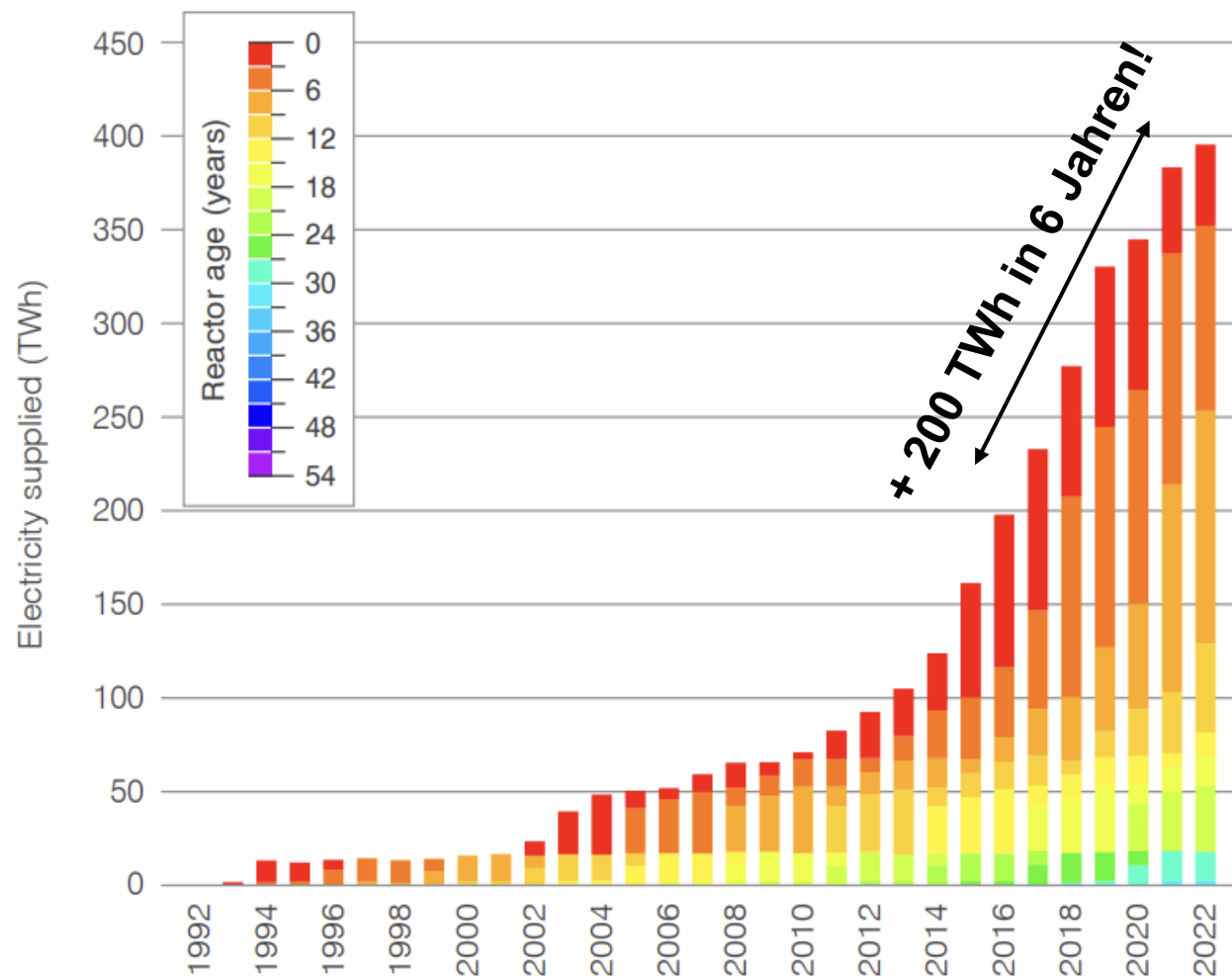


*Die Zahlen in der Abbildung sind etwas alt



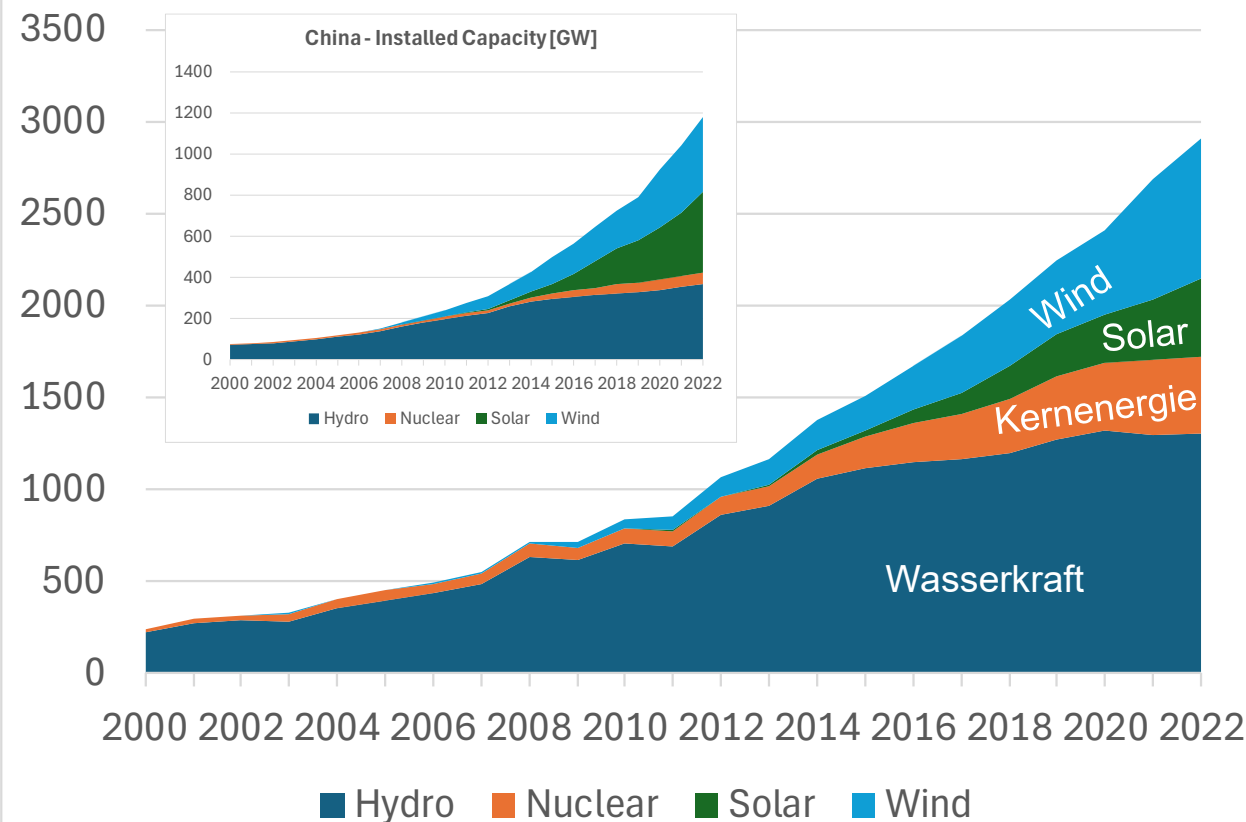
Interessante Beispiele - China

Nuclear electricity production



Source: World Nuclear Association, IAEA PRIS

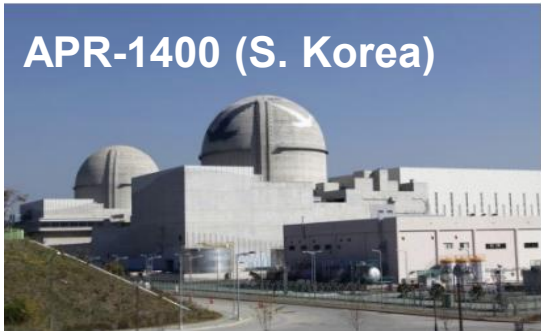
China - Produced energy [TWh]



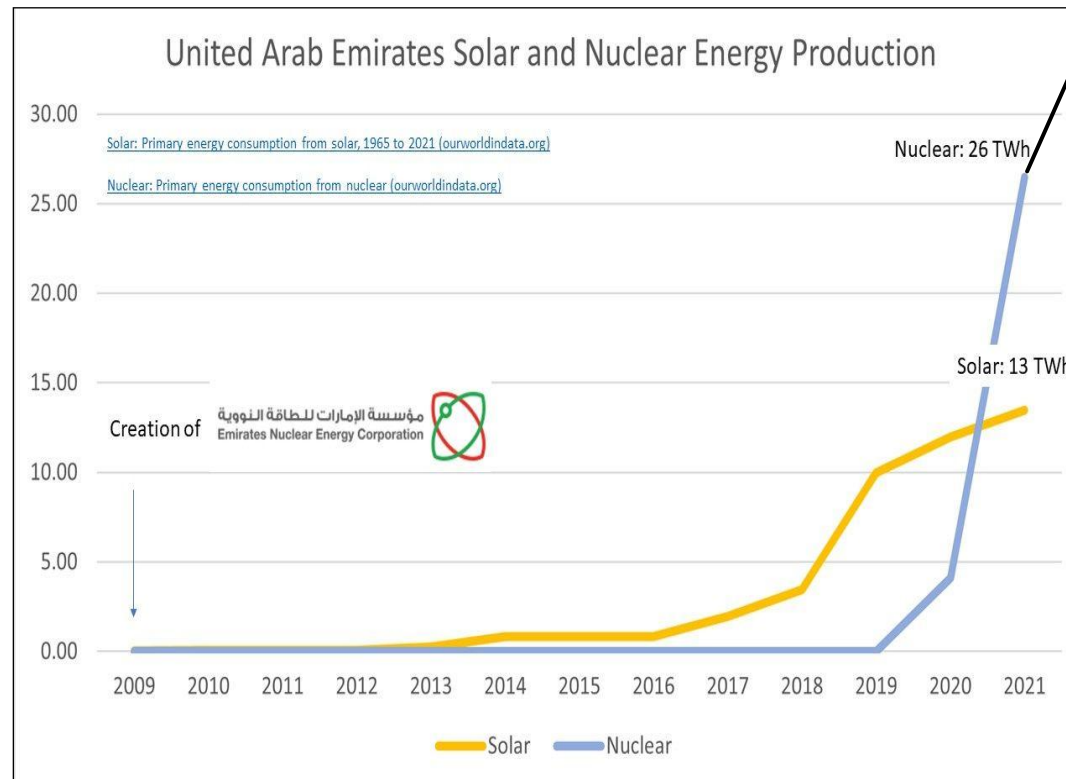
Seit Anfang der 2000er Jahre in China:

- 55 KKW in Betrieb genommen
- 36 Blöcke sind derzeit im Bau
- 20 weitere Blöcke sind genehmigt

Beispiel Südkorea (Keine Probleme mit der Lieferkette und know-how)



4 größere KKW in 9 Jahren!
Kosten = 24 Milliarden USD



2024 => 42 TWh

- Juli 2024: Tschechien hat 2 APR-1400 bestellt
- Aug 2024: UAE plant 2 – 4 weitere grosse KKW

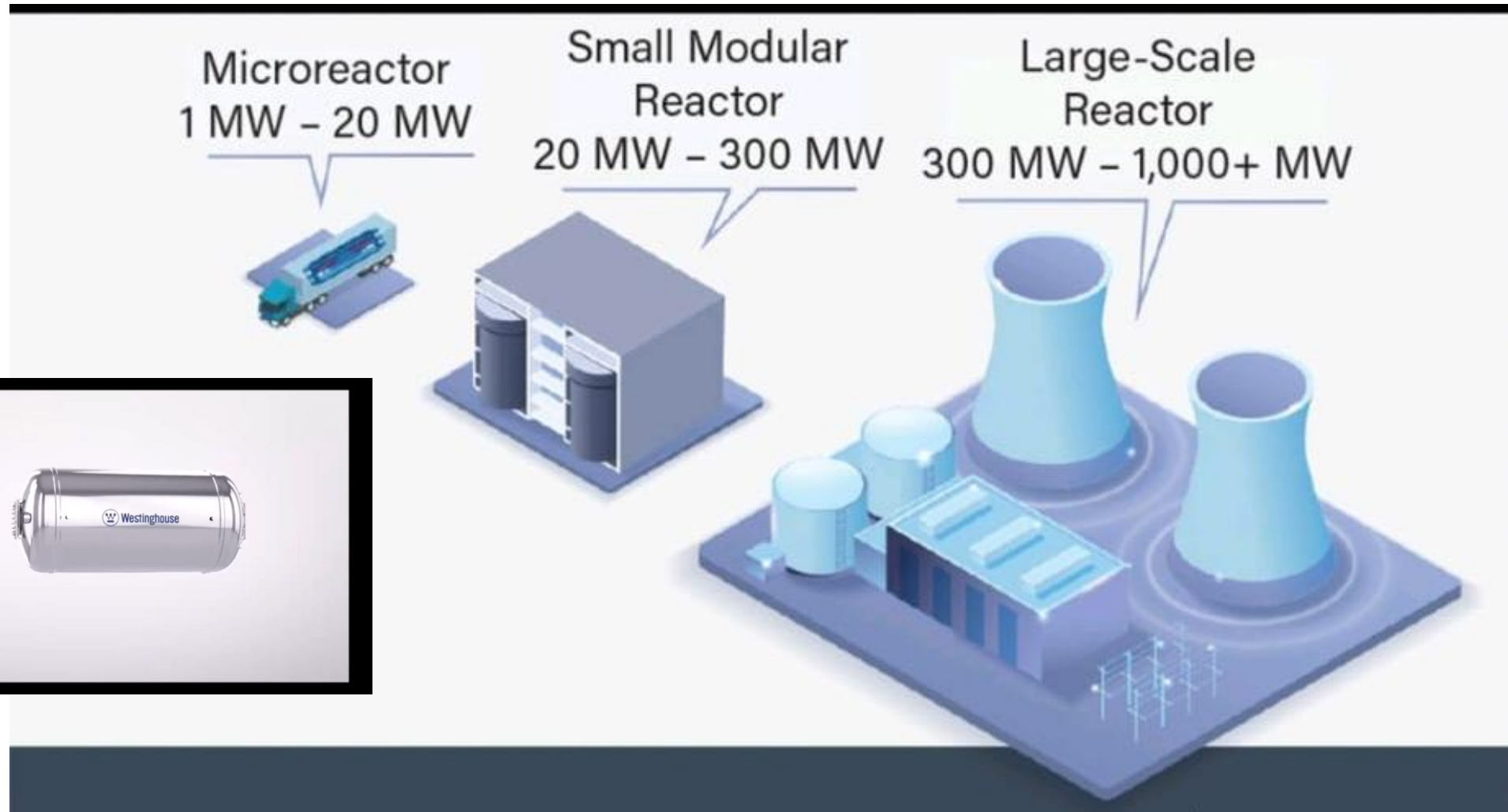
42 TWh mit Gondosolar
=> 168 km², 75.6 Milliarden CHF

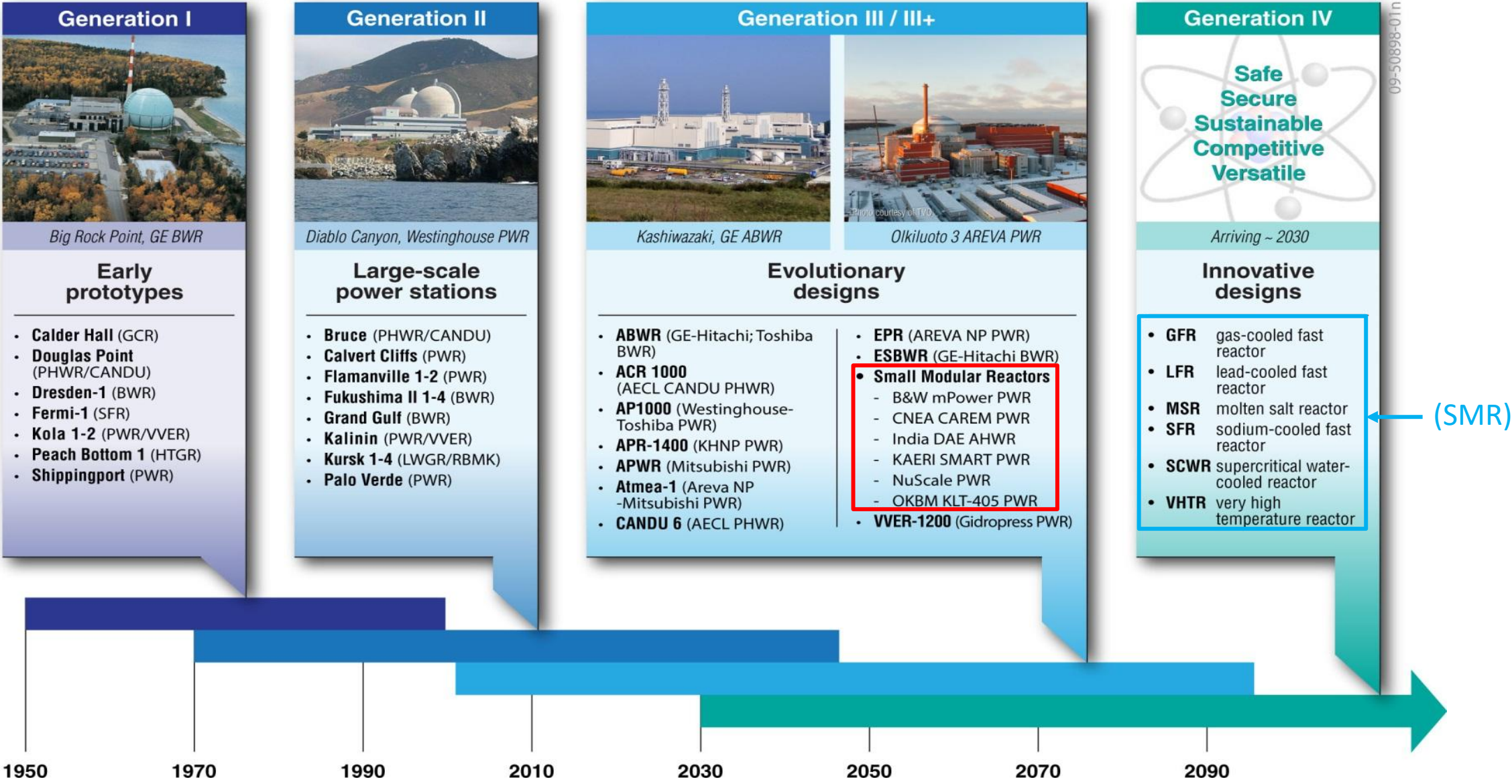


STAND DER TECHNIK

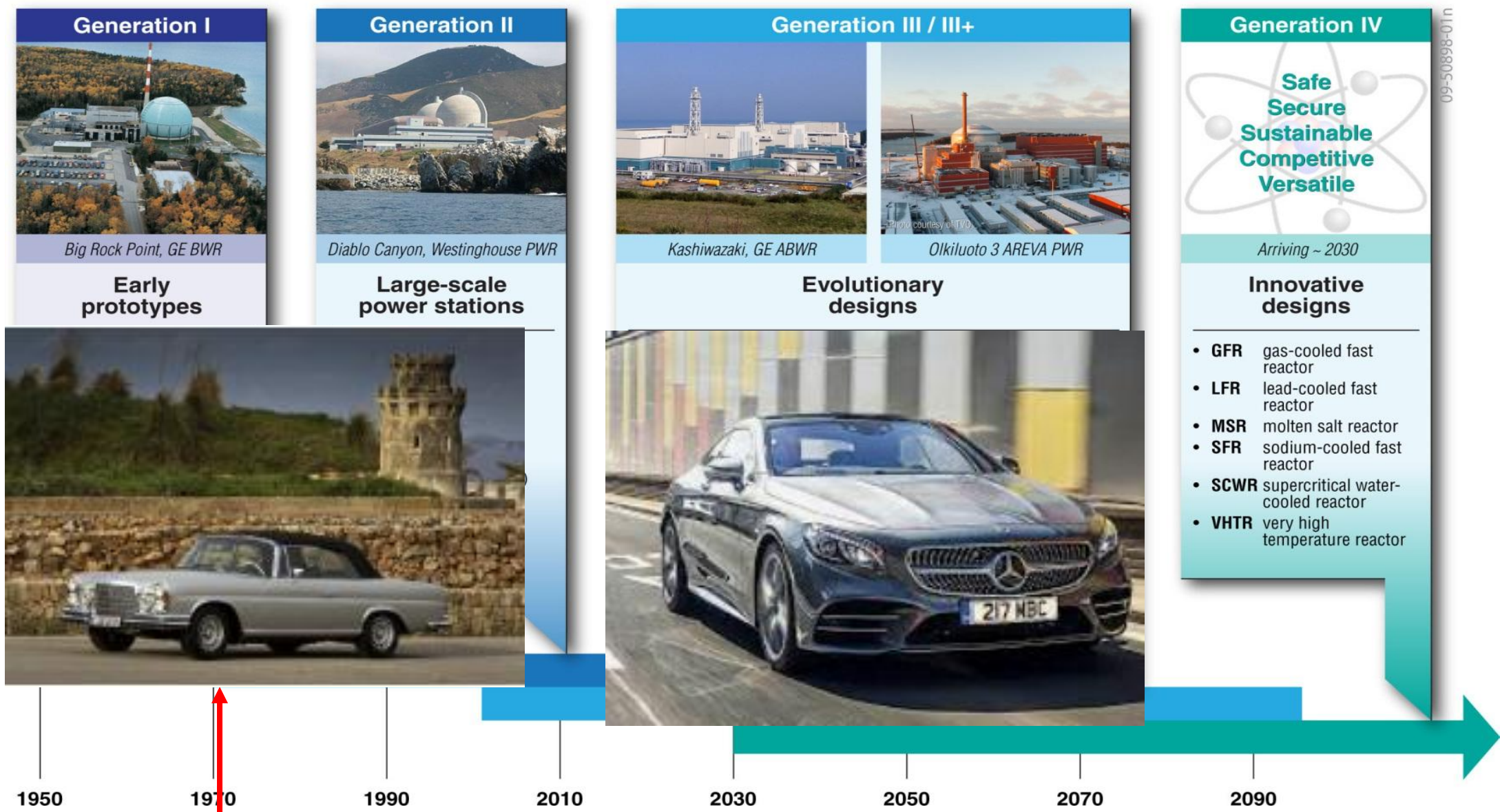
Neue Entwicklungen im Reaktordesign

KKW-GRÖSSENKLASSIFIZIERUNG





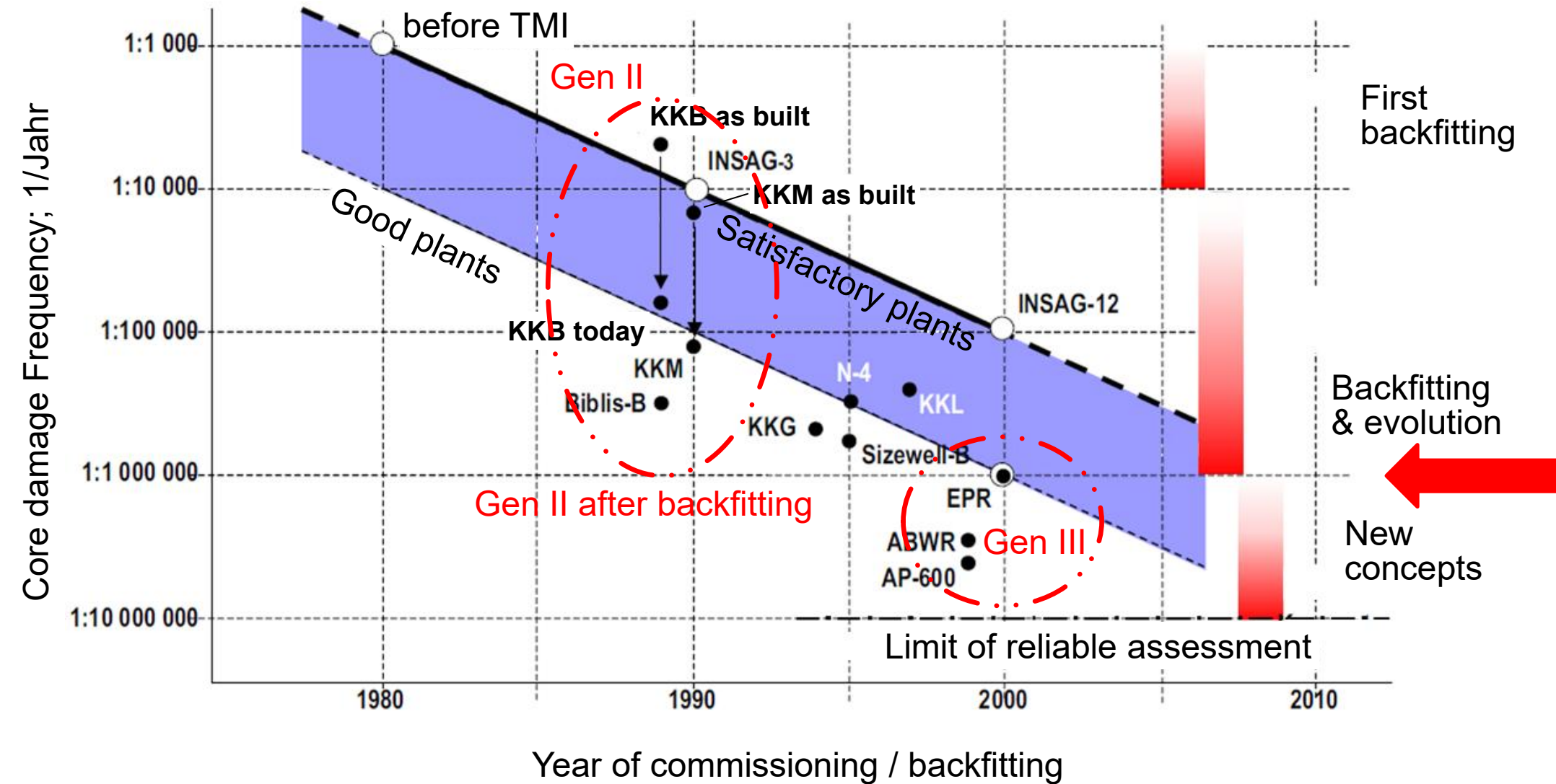
Neue Entwicklungen im Reaktordesign



**Fukushima Daichi (1971)
wurde nicht nachgerüstet**

**Fukushima-Reaktor nicht mit derzeit auf dem Markt
befindlichen KKW vergleichbar**

Zuwachs des Sicherheit im Reaktor Design



Meteorit mit 1-km Durchmesser



S. Hirschberg, et al., 2005.

Die Sicherheit hat im Laufe der Jahre kontinuierlich und stark zugenommen

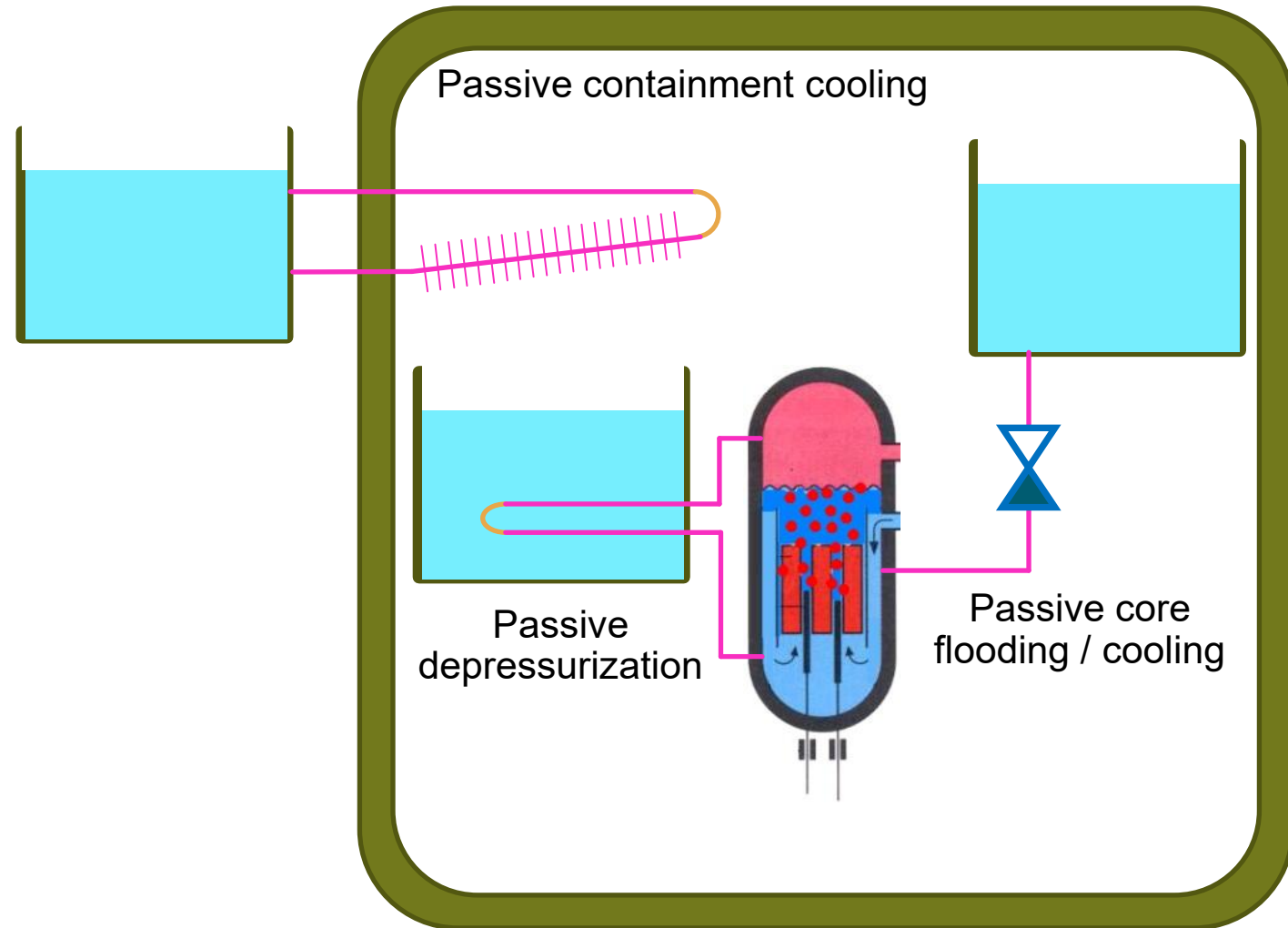
Gen-III+: passive Sicherheitssysteme

Radikale Änderung der Sicherheitsphilosophie:

- Sehr unwahrscheinliche schwere Unfälle (bisher außerplanmäßige Unfallszenarien) sind nun integraler Bestandteil des KKW Entwurfs.
- Neue Sicherheitssysteme speziell für den Umgang mit schweren Unfällen

Passive Sicherheitssysteme

General Electric ESBWR

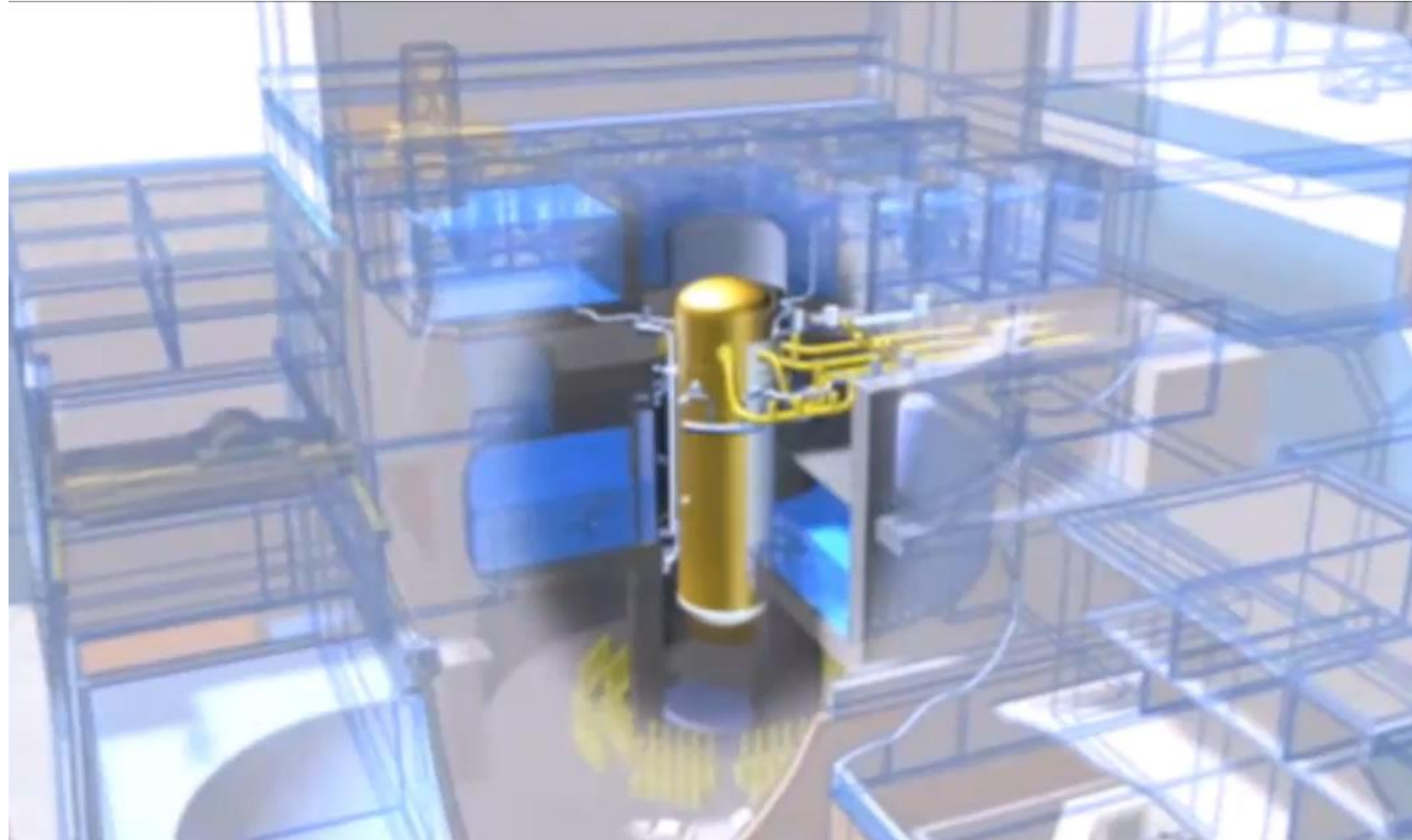
**GEN III+**

Passive Sicherheitssysteme:

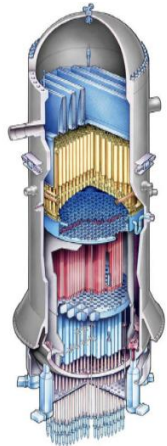
Sie funktionieren auf physikalischer Prozesse (Wärmeübertragung, Naturumlauf, unz.) ohne dass Strom oder Eingriffe von Operator erforderlich sind

Die Kernschadenshäufigkeit ist nicht die ganze Geschichte

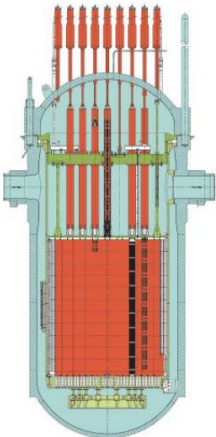
- „Grace period“ von 3-7 Tagen, bis ein menschliches Eingreifen erforderlich ist
- „Praktische Beseitigung“ von Storfällen die zum Freisetzung von Radioaktivität führen ($<10^{-7}$ /Jahr)



Grosse KKW der Generation III/III+ auf dem Markt und bereits in Betrieb: Beispiele

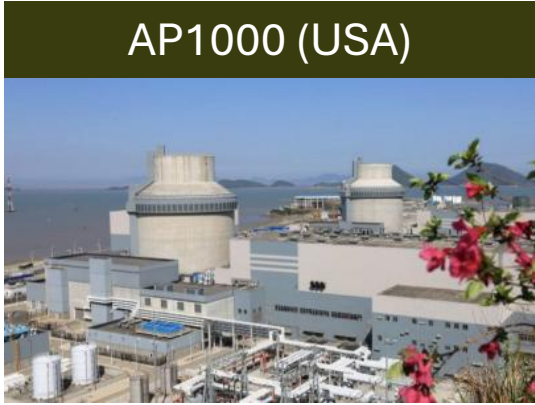


In Betrieb: 4 (Japan)
Im Bau: 2 (Japan)



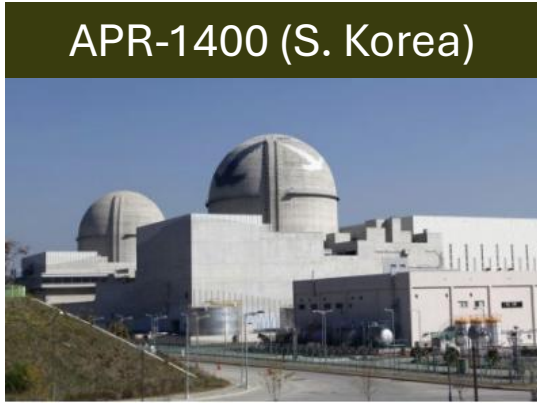
In Betrieb: 3 (China, Finland)
Im Bau: 2 (UK), 1 (FR)

Geplant: 2 (UK), > 6 (FR)



In Betrieb: 6 (China, USA)

Bestellt: 3 (PL)



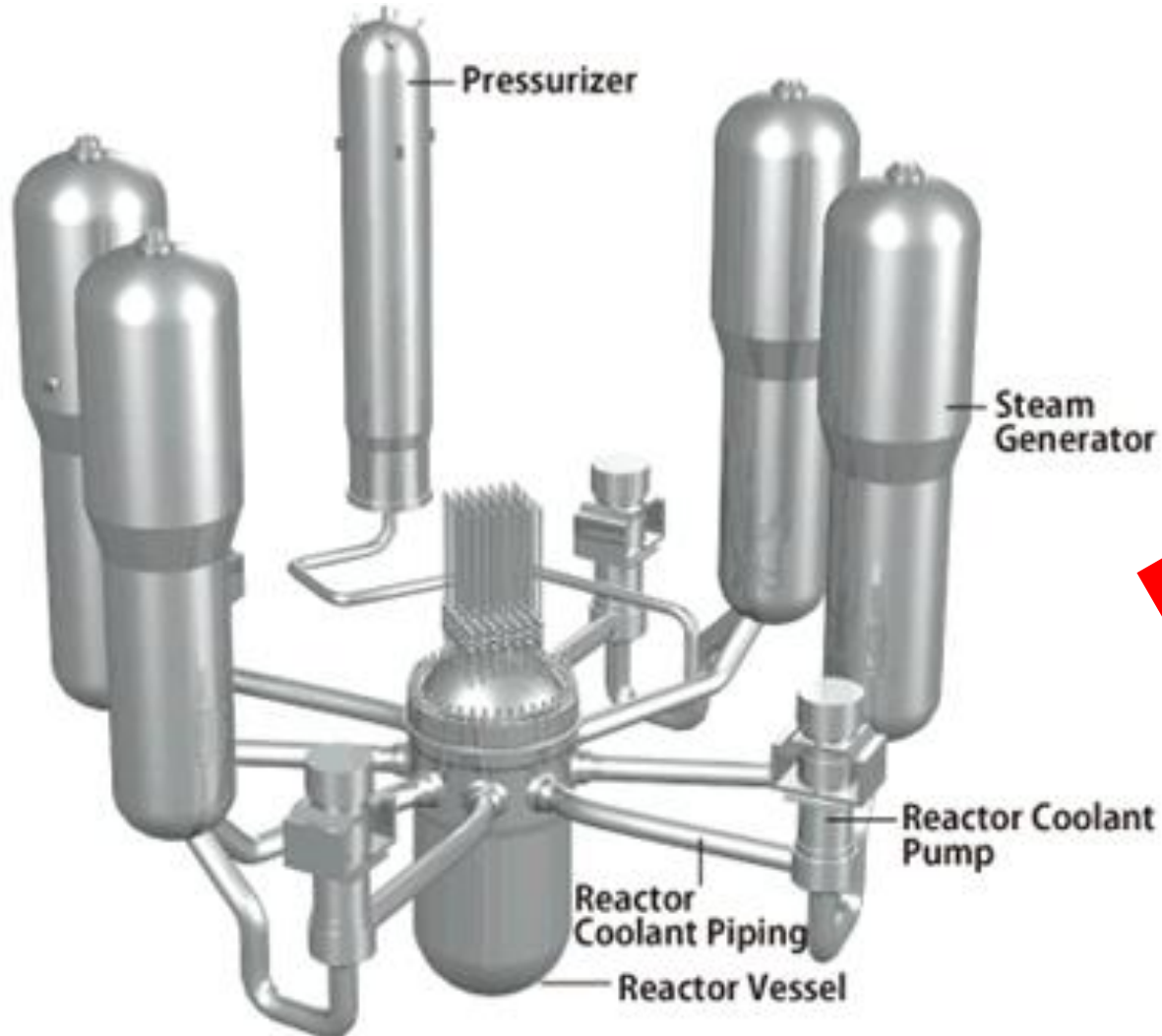
In Betrieb: 8 (4 in S.Korea, 4 in UAE)
Im Bau: 2 (S. Korea)

Bestellt: 2 (CZEC)
Geplant: 2–4 (UAE), 2 in Poland

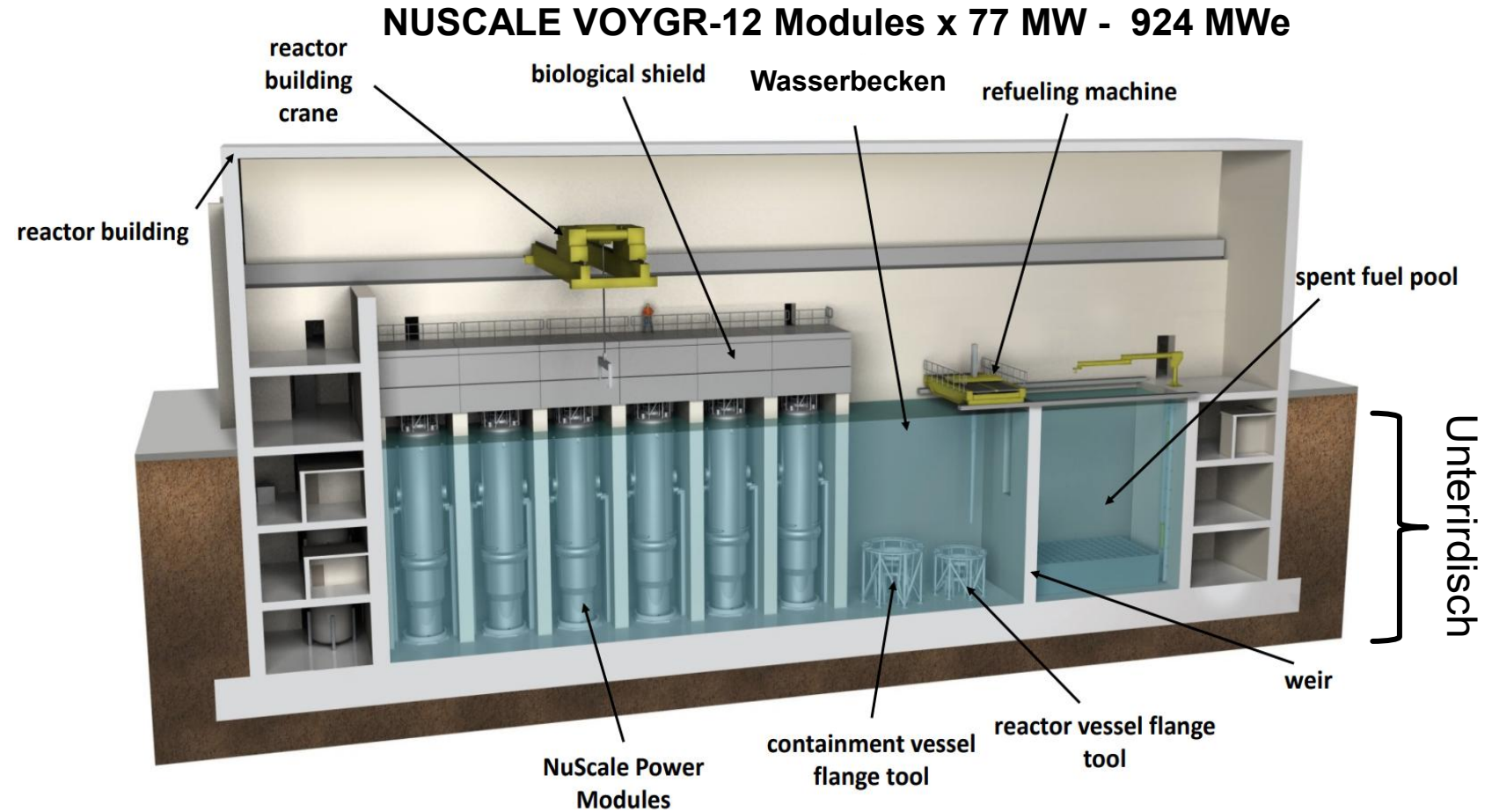
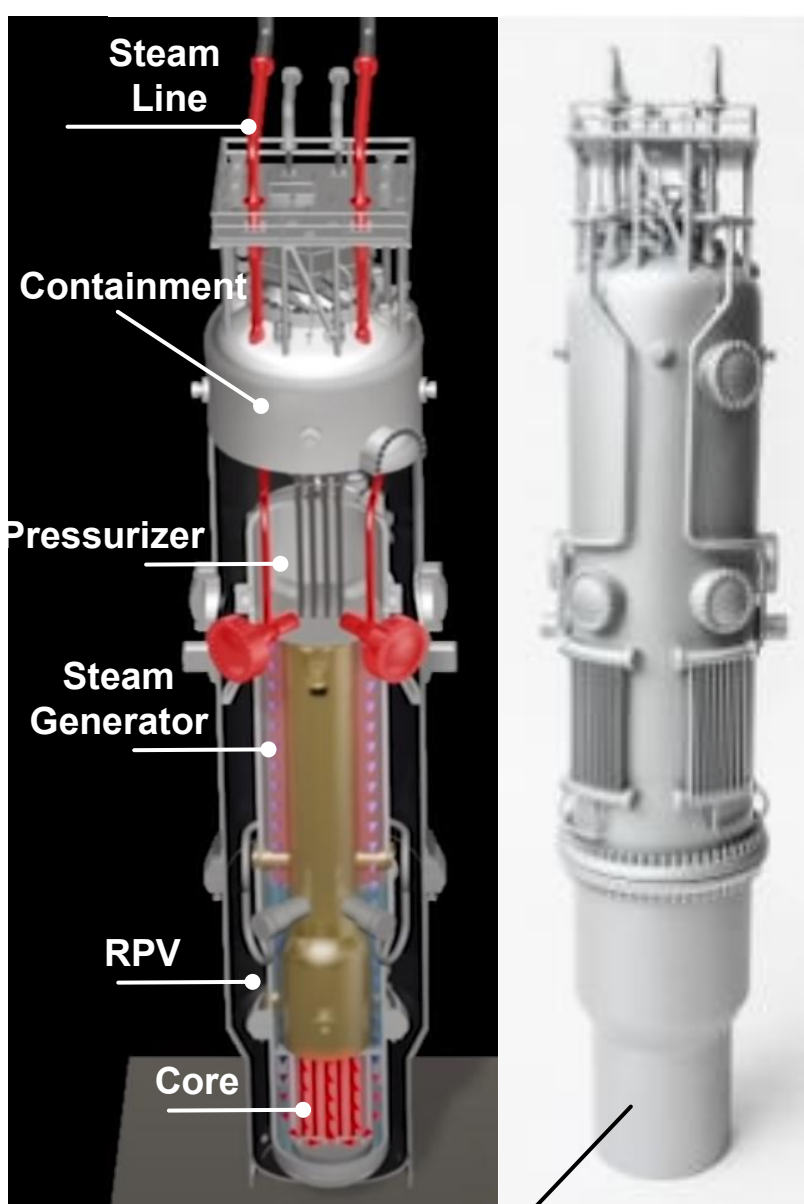
+mehrere Pilotprojekte für Wasserstoff-Produktion

SMRs – kleine modulare Reaktoren

- Einfacheres Design
- Modular, Fabrikfertigung (effizienter und billiger)
- Geringere Kapitalkosten und kürzere Bauzeiten



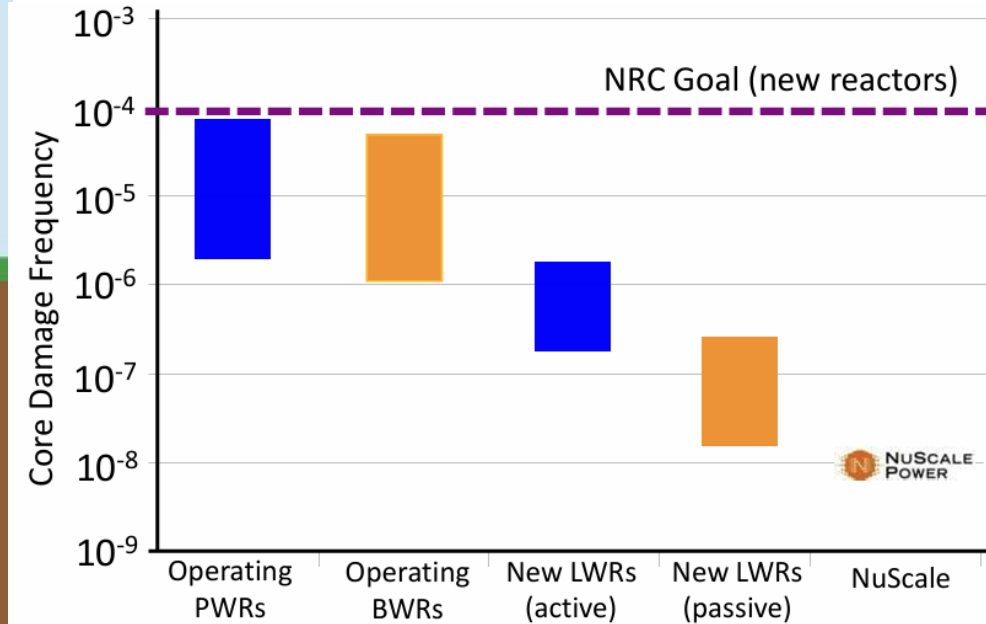
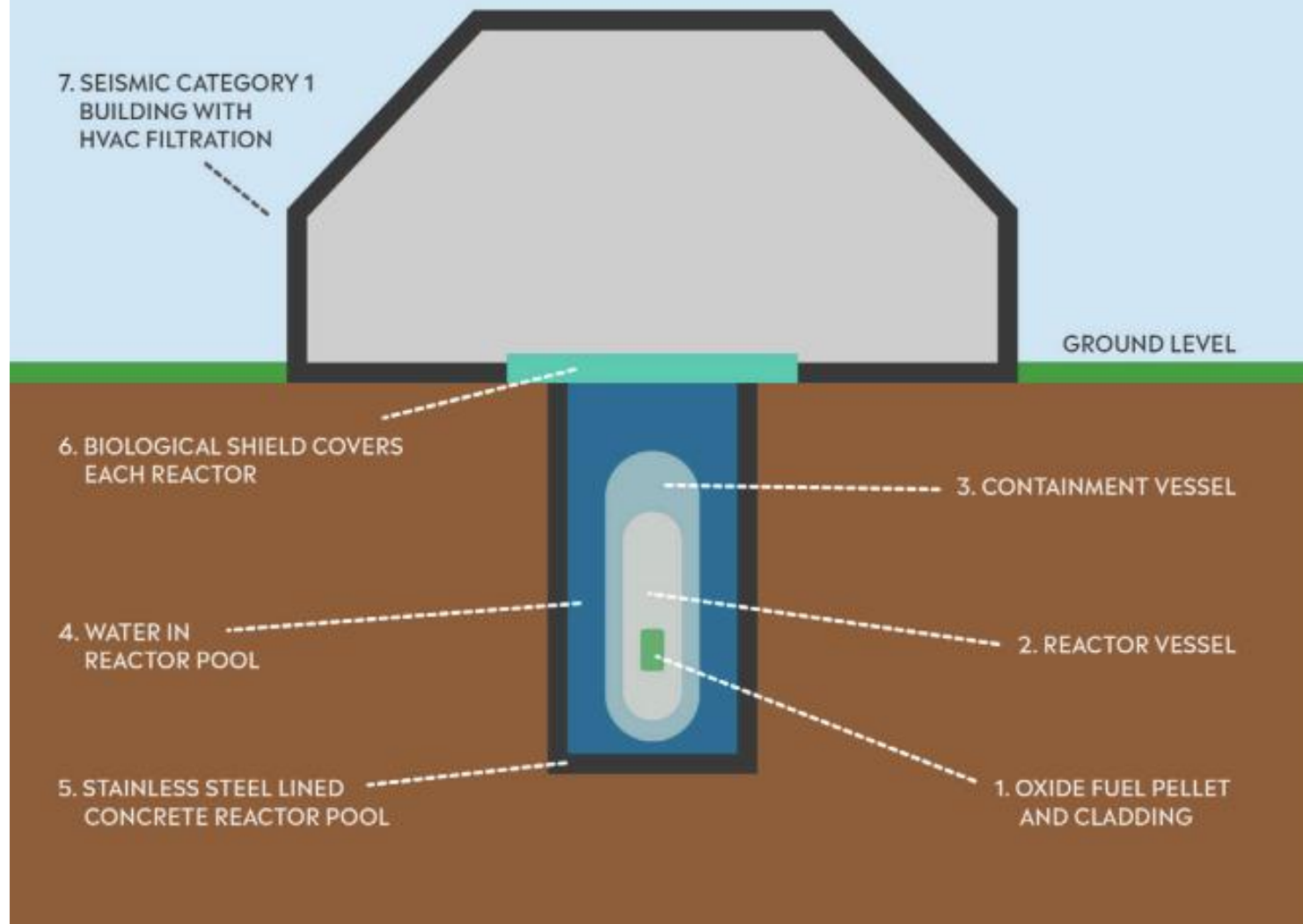
SMRs – kleine modulare Reaktoren



- Klein, modular
- Reduzierte Bauzeit (~ 2-3 Jahre pro Modul)
- Walk-away Safe / Passive Sicherheitssysteme



NUSCALE'S BARRIERS



**Notfallplanungszone begrenzt auf den Anlagenumfang
(keine Evakuierung notwendig, auch bei schweren Storfällen)**

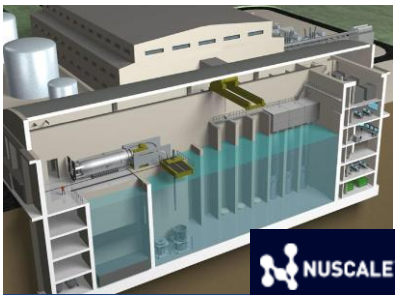
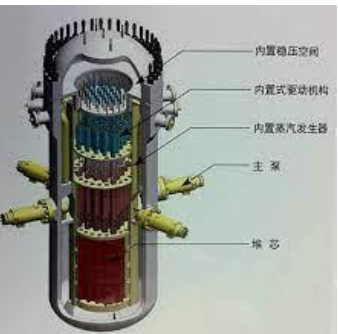
SMR bereits auf dem Markt oder bis 2030 verfügbar (nicht nur für Strom)



Wassergekühlt



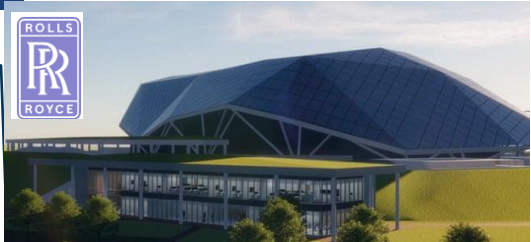
BWRX-300 (GE/Hitachi) für
Ontario Power, ab 2028
Baugenehmigung seit Apr 2025



NuSCALE (6 x 77 MW)
Genehmigt in USA
(May 2025)



NUWARD (EdF/Technicatome)
170 MW, ab 2030



UK SMR (Rolls Royce), 443 MW
im Bieterverfahren ausgewählt für UK (Juni 2025)

Na-gekühlt

Brutreaktor!
In Kombination mit der
Wiederaufbereitung ermöglicht es
die Schließung des
Brennstoffkreislaufs

Terrapower (USA), 345 MW
Gen-IV. Baugenehmigung
eingereicht (2024)
Genehmigungsprozess in UK
gestartet (Apr 2025)

Gasgekühlt

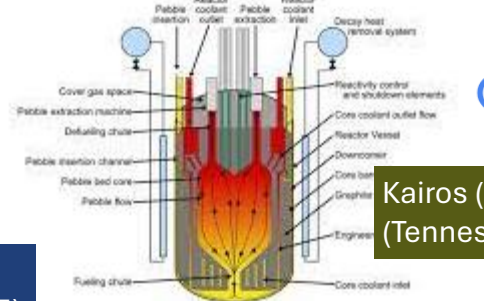
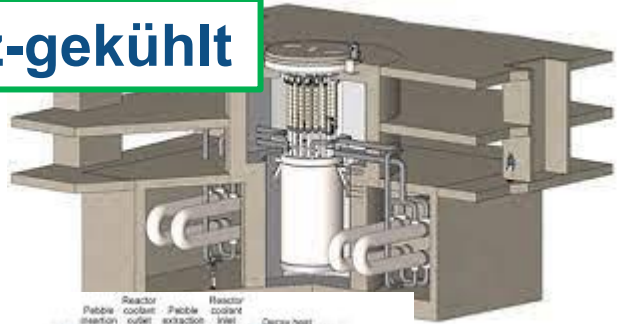


X-energy (USA)
DOW,
Baugenehmigung
eingereicht
(2025)



Japan: H2 aus
gasgekühltem
Kernreaktor bis 2028

Salz-gekühlt



NPP Beznau => 6000 GWh/year electricity (6 TWh/Jahr)
+ 170 GWh/year district heating



Zukunftsplan für REFUNA

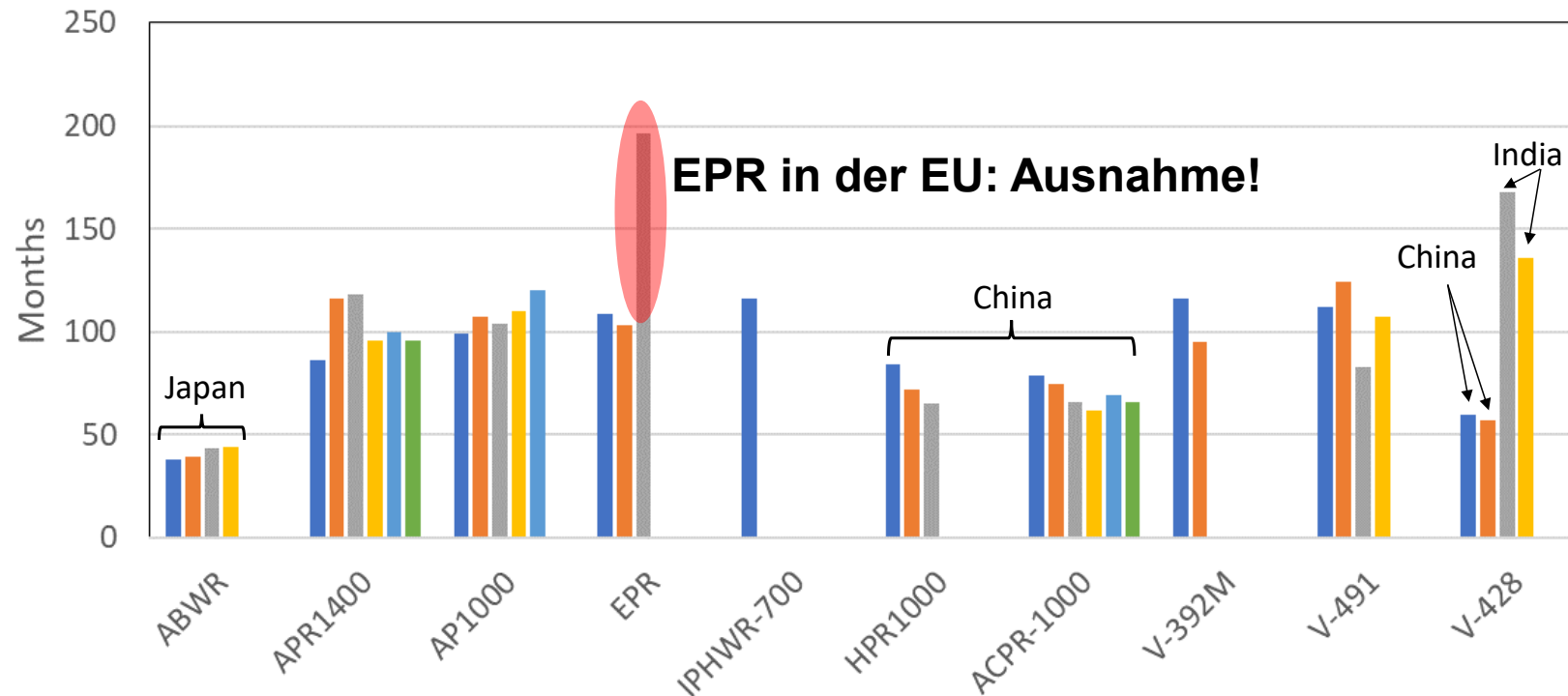
- 34.000 Tonnen Holzpellets pro Jahr
- Lieferung mit 1700 LKWs

Steady-Energy (VTT Startup)
+ Fortum + Tractebel

LDR-50 (Finnland)



Bauzeit



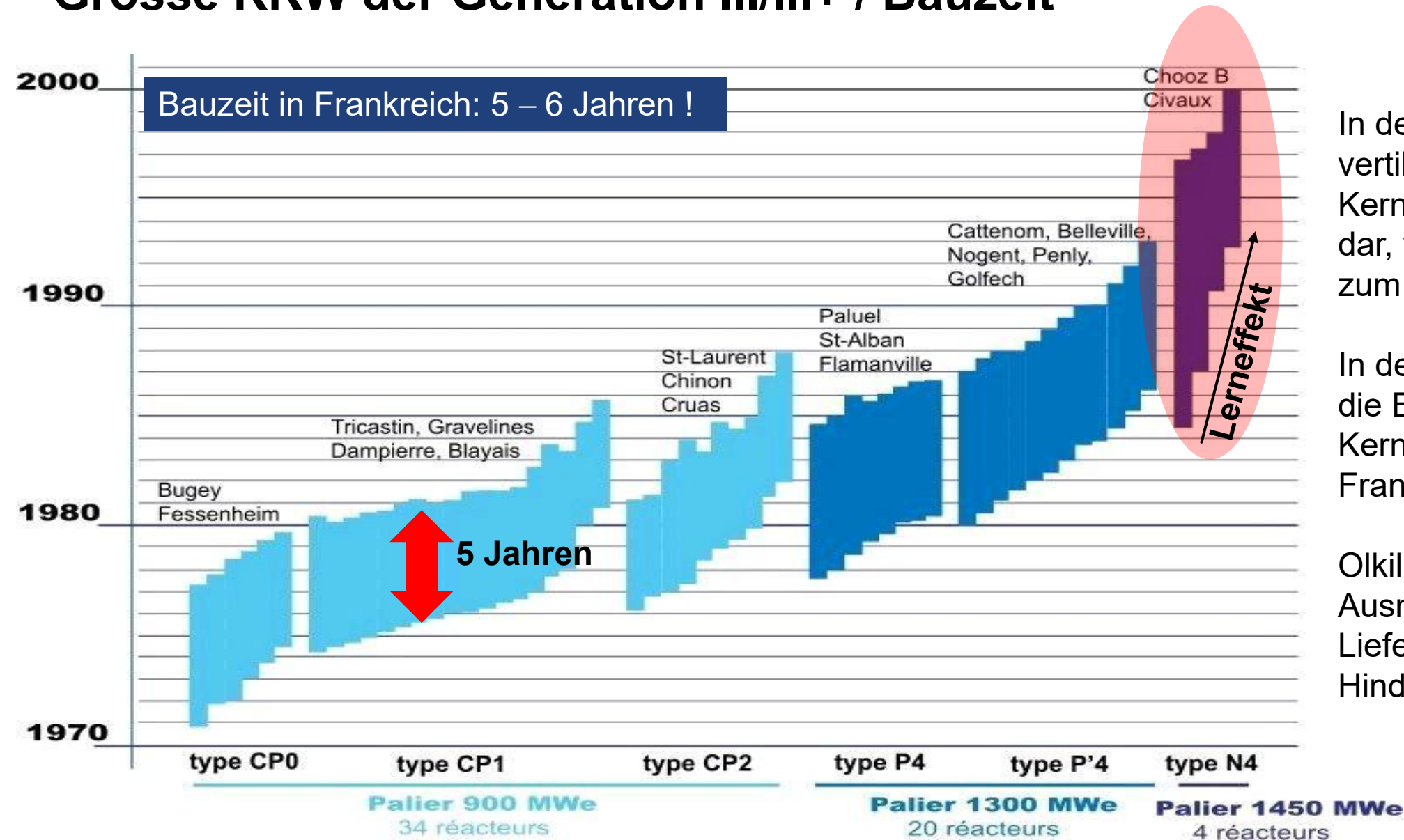
Grosse KKW Generation III/III+ Stand Dezember 2023

- 38 in Betrieb
- 51 im Bau (20 in China).

In Europa und den USA:

- Notwendigkeit des Wiederaufbaus der Lieferkette (keine neuen Kernkraftwerke seit über drei Jahrzehnten)
- Unvollständige Detailplanung zu Baubeginn
- Schwieriger regulatorischer Rahmen:
OL3 (FI), Vogtle 3&4 (USA), Hinkley Point (UK): Änderungen der Anforderungen während des Baus des KKW
Bsp. Hinkley Point: 7000 Änderungen angefordert

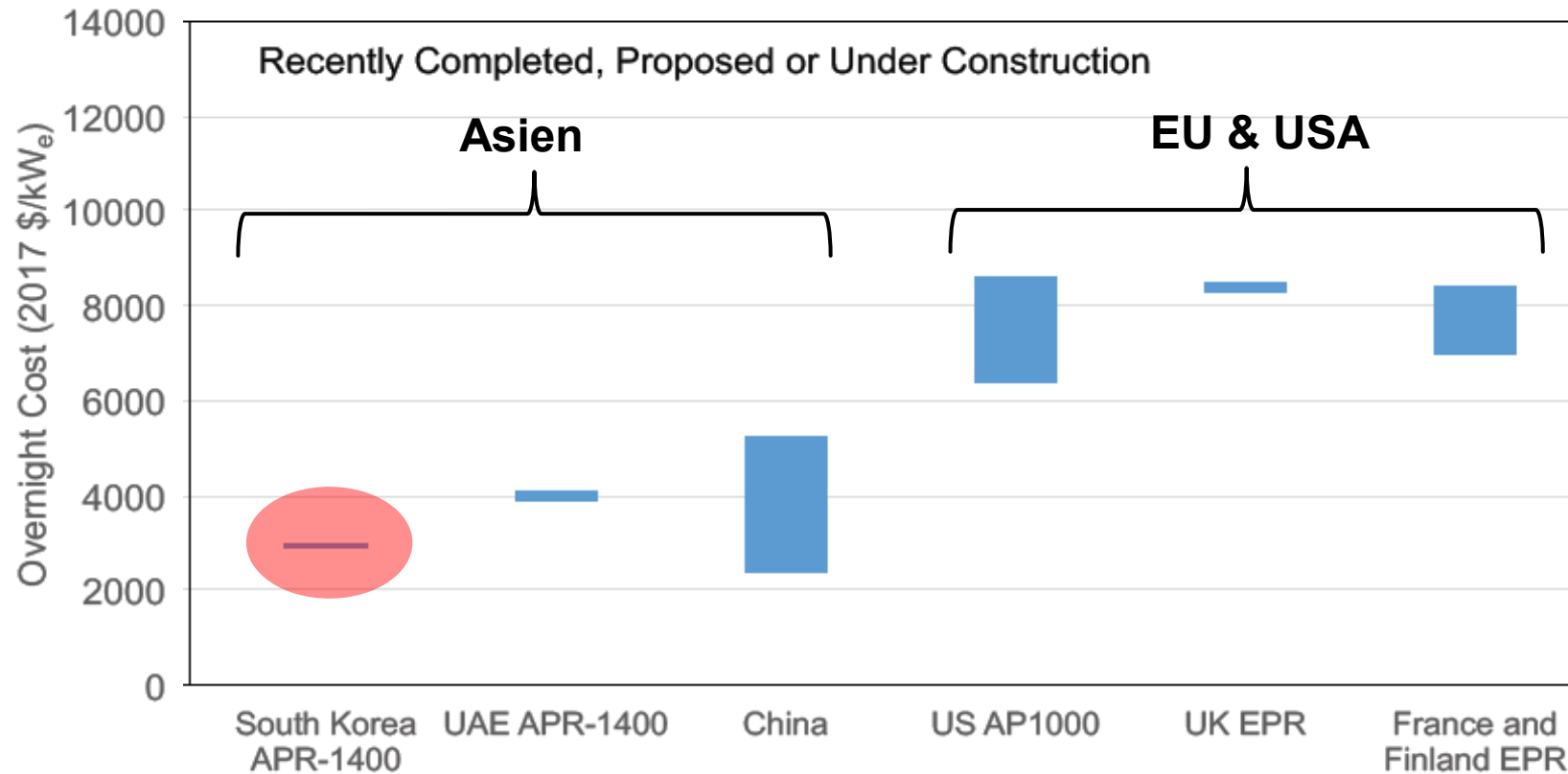
Grosse KKW der Generation III/III+ / Bauzeit



In der Grafik stellt jeder vertikale Balken ein Kernkraftwerk in Frankreich dar, vom Baubeginn bis zum Bauende.

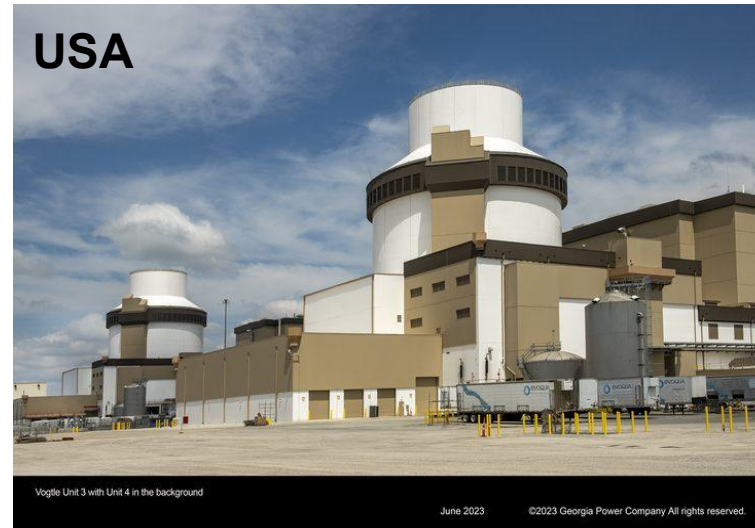
In der Vergangenheit betrug die Bauzeit eines Kernkraftwerks in Frankreich 5-6 Jahre.

Olkiluoto/Flamanville sind Ausnahmen (fehlende Lieferkette, regulatorische Hindernisse, enz.)



Hauptunterschiede zwischen Asien und den USA/Europa

- In Asien hat man nie aufgehört, Kernkraftwerke zu bauen
- In Asien beginnt der Bau erst, wenn die Detailplanung weitgehend abgeschlossen ist!
- In den USA/Europa wurde mit dem Bau mit einem Fertigstellungsgrad von < 50 % begonnen
- In den USA/Europa gehen Erfahrung/Know-how durch Pensionierungen, Unterbrechungen der Lieferkette usw. verloren.



Der zweite Reaktor in Hinkley C (UK) wird 25 % schneller gebaut

Lerneffekt:

- neue Schweißmethode entwickelt, die viermal schneller ist als beim ersten Mal.
- Modularisierung wurde verstärkt, um mehr Arbeiten unter Fabrikbedingungen durchführen zu können



Die Lieferkette in USA und Europa wird wiederhergestellt



Rohstoffe - Uranium

Uran Ressourcen

WNA, OECD/NEA, ERI

Langfristig:

Entwicklungspipeline an aktuellen, in der Entwicklung befindlichen, geplanten und „potential-supply“ Projekten bis 2040 zu erweitern.

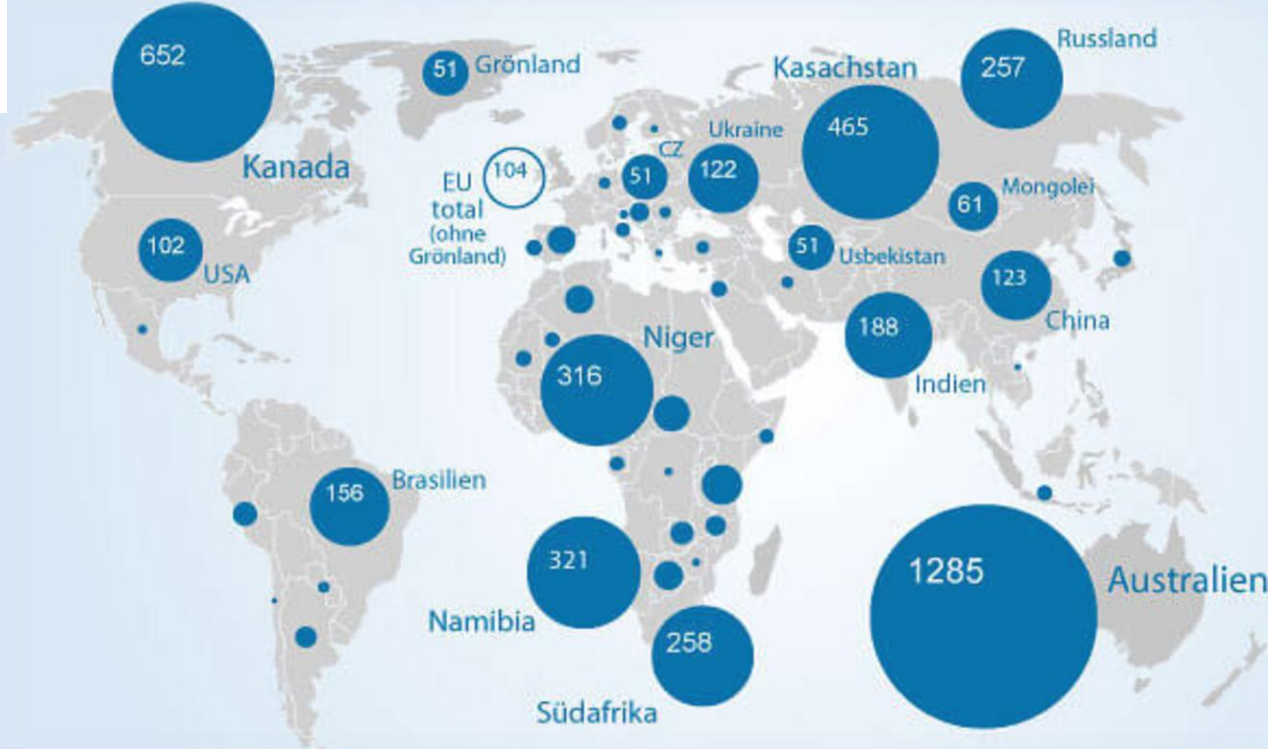
Es gibt mehr als ausreichende Projekterweiterungen, Uranressourcen und andere Projekte, um dies zu erreichen, vorausgesetzt, die wirtschaftlichen Bedingungen bieten Anreize für die erforderlichen Investitionen im erforderlichen Zeitrahmen.

Zugesicherte Ressourcen für Uranpreis von \$260/kg

Uranium deposits

(Top 8 Countries, in 1000 t, 2019)

- Australia (1285)
- Canada (652)
- Kasachstan (465)
- Namibia (321)
- Niger (316)
- South Afrika (258)
- Russia (257)
- India (188)



Anreicherungskapazität (2020)

OPERATOR	REGION	Kapazität (SWU, 2020)	Marktanteil	
			2020	2018
CNNC	China	6300	10.8%	11%
Rosatom	Russia	26200	44.9%	46%
Orano	France	7500	12.8%	12%
Cameco	Canada	46		0%
Urenco	Netherlands, United Kingdom, Germany, United States	18300	31.4%	30%

Source: World Nuclear Association [138].

Uran Ressourcen

Derzeit werden in EU und USA die Kapazitäten erweitert

 Reuters

US uranium enrichment industry gets new lease of life after ban on Russian imports

The ban on imports of enriched uranium from Russia will help drive investments into the domestic market, according to Urenco.

14 May 2024

US regulator authorises Urenco plant to increase enrichment

The US Nuclear Regulatory Commission has approved Urenco USA's licence amendment request to increase uranium enrichment levels up to 10% at its facility in New Mexico.

Friday, 13 December 2024



 World Nuclear News

IsoEnergy reopens US underground uranium mine

The main decline at the Tony M mine in Utah was successfully reopened on 26 July, and work has begun to rehabilitate the underground...

8 Aug 2024

 Yale E360

A Nuclear Power Revival Is Sparking a Surge in Uranium Mining

A push for nuclear power is fueling demand for uranium, spurring the opening of new mines. The industry says new technologies will eliminate pollution from...

4 Apr 2024



 Reuters

Britain to build Europe's first next generation nuclear fuel facility

Britain is investing almost 200 million pounds (\$251.14 million) to build Europe's first facility to produce high-assay, low-enriched...

8 May 2024

 Bloomberg.com

French Firm Boosts Uranium Mining and Enrichment Capacities as Market Tightens

France's Orano SA is boosting uranium mining and processing capacity as supplies of the nuclear fuel tighten on stronger demand and moves to...

3 weeks ago



Urenco's first capacity expansion to be at its US site

06 July 2023

Urenco has approved an investment to expand enrichment capacity at its US site in New Mexico, known as UUSA.

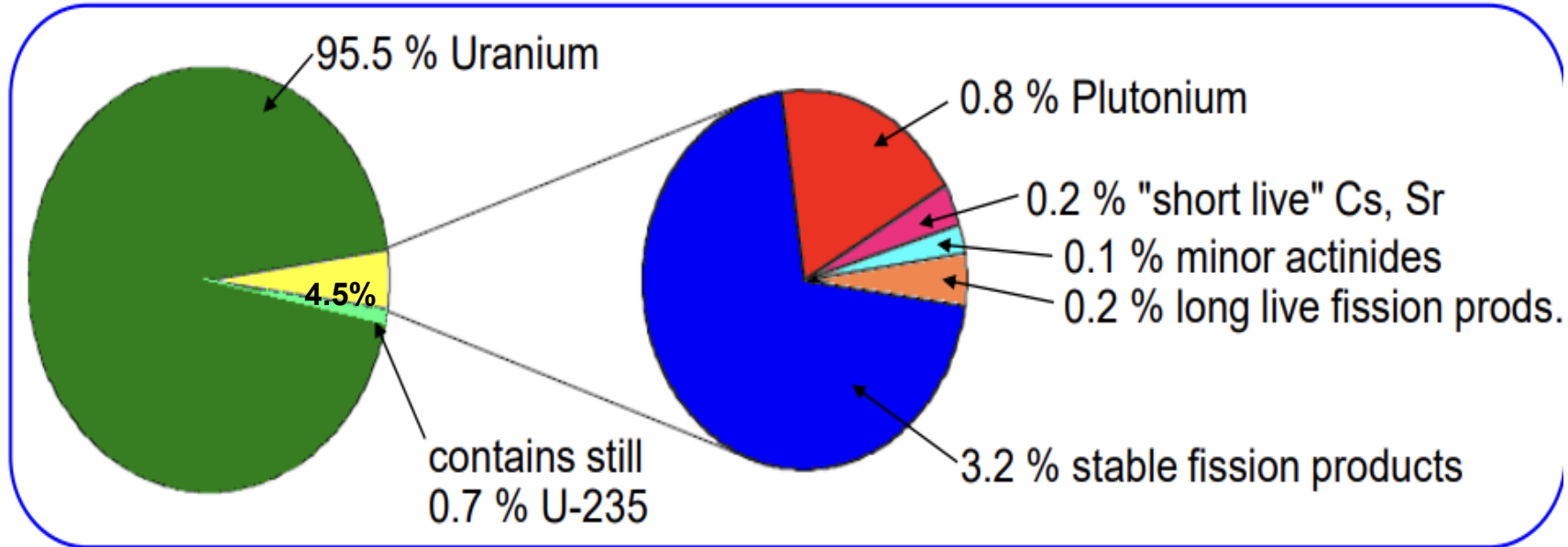


ETH zürich

Abfall

Kernenergie / Abfall – zu gefährlich und keine Lösung (?)

Zusammensetzung abgebrannter Brennelemente



**1,3 % des verbrauchten
Brennstoffs sind
hochradioaktiv**

**Abfall (Schweiz) für alle KKW
bis 60 Lebensjahre => Total
von 1500 m³ hochaktiver**

Kernenergie / Abfall – zu gefährlich und keine Lösung (?)



Zwilag

Abfälle aus Medizin, Industrie und Forschung werden im Bundeszwischenlager aufbewahrt, das ebenfalls in Würenlingen steht

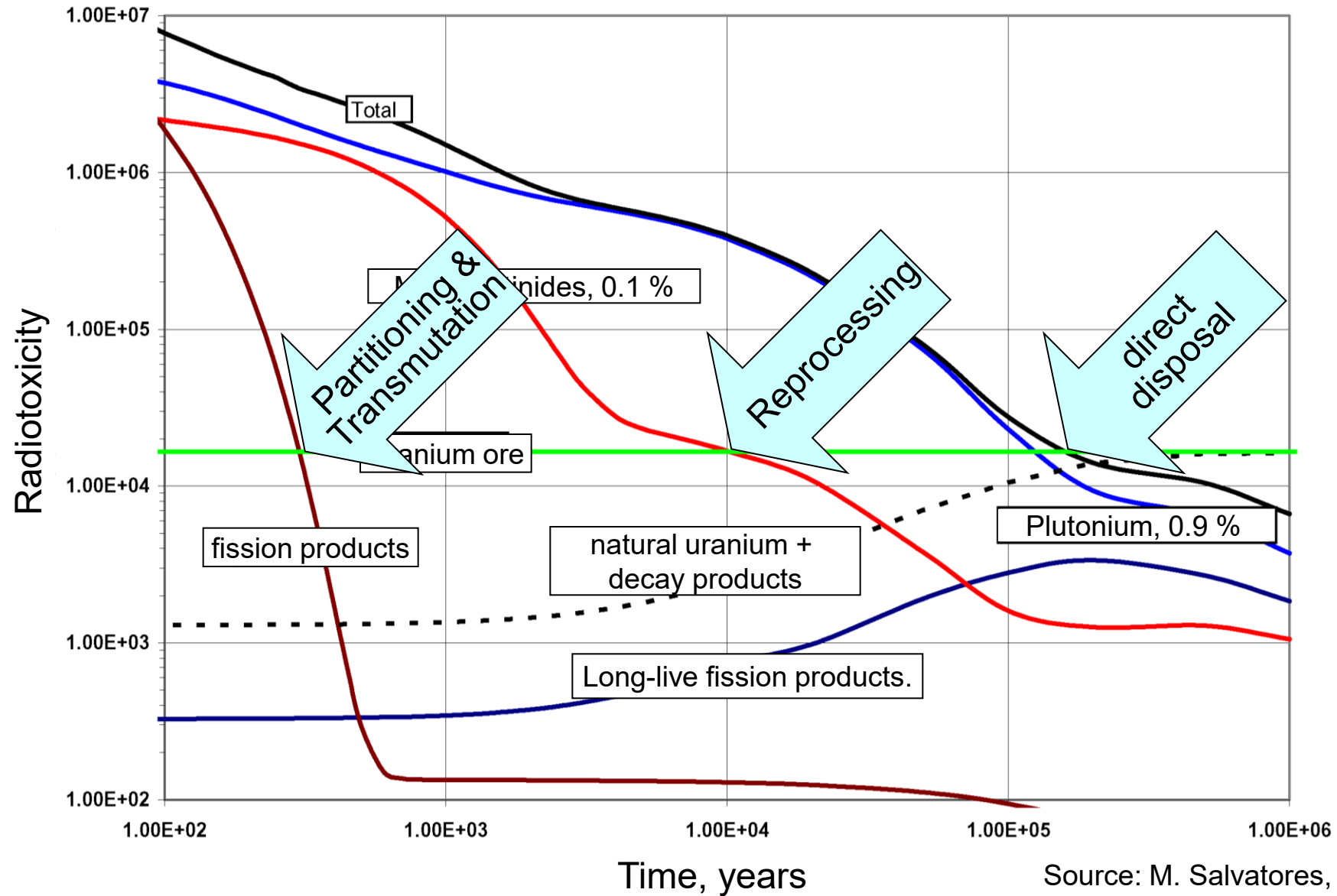
Heute befinden sich die radioaktiven Abfälle in Zwischenlagern. Bei den KKWs und im Zwilag AG gibt es genügend Zwischenlagerkapazität für sämtliche Abfälle aus Betrieb und Stilllegung der fünf Schweizer Kernkraftwerke, bis geologische Tiefenlager gebaut ist.

Abgebrannter Brennelemente

- Vier- bis fünfjährigem Einsatz im Reaktor
- Die verbrauchten Brennelemente werden 5 bis 10 Jahre zur Kühlung in Lagerbassins (Abklingbecken) unter Wasser gelagert
- dann in Transport- und Zwischenlagerbehälter verpackt und in Zwischenlager gebracht. Dort verbleiben sie bis zum Transport in ein Tiefenlager

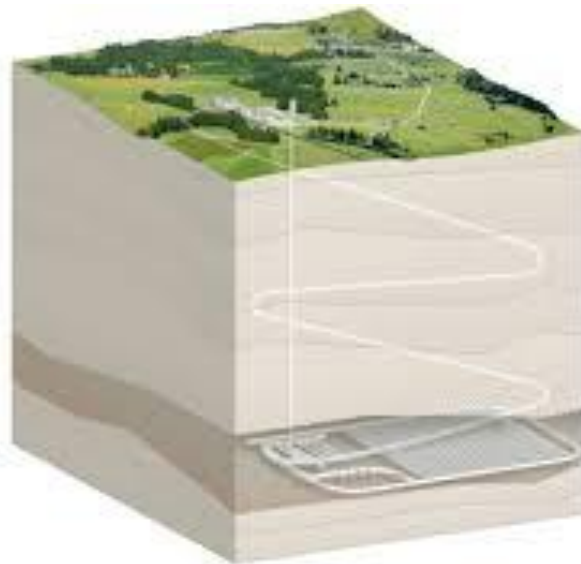
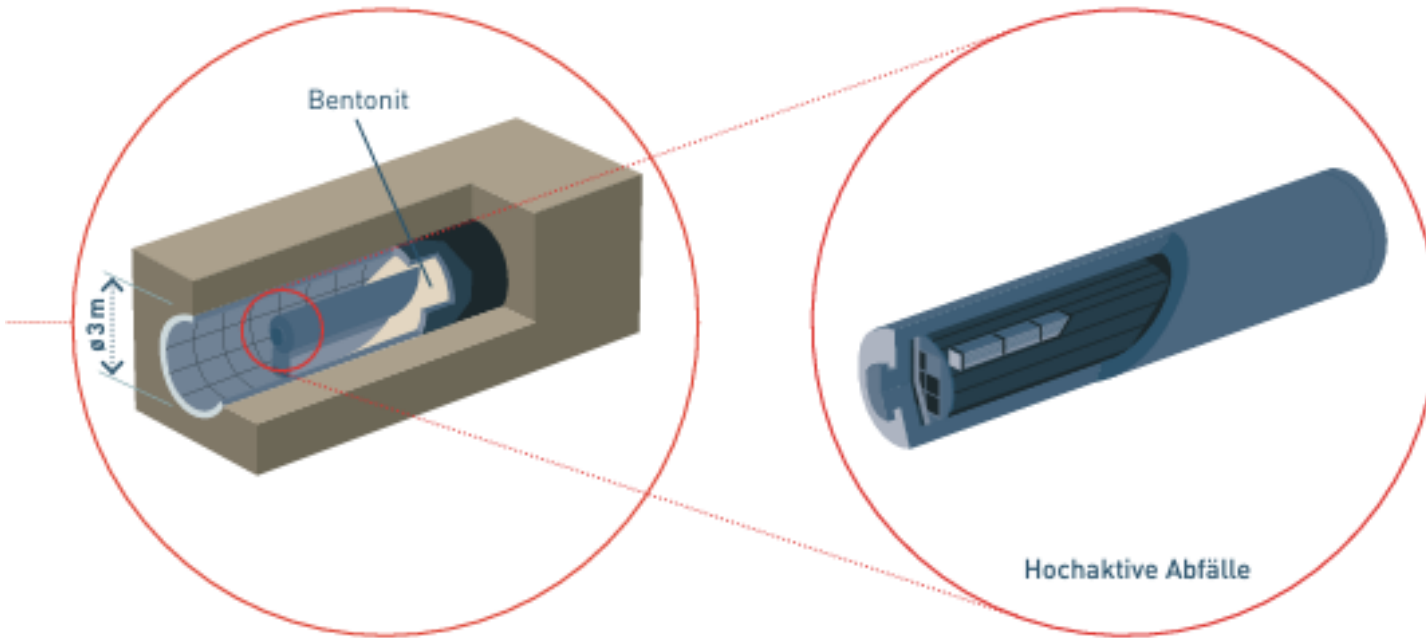
Transmutation

Reduction of radiotoxicity in spent fuel

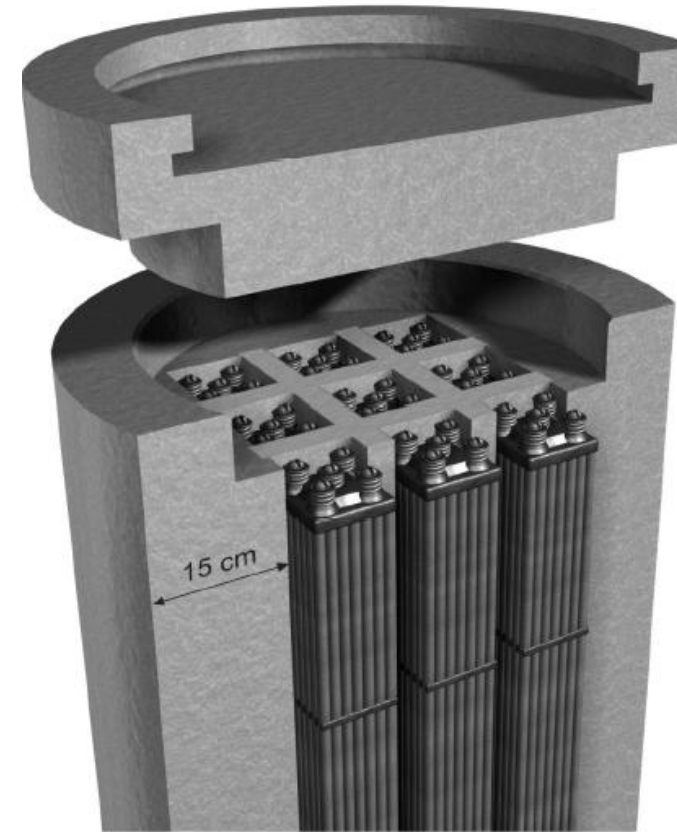


VERFÜLLUNG

BEHÄLTER



Hohe spezifische Wertschöpfung
→ „komfortable“ Entsorgung



Kanister für die Tiefenlagerung
von hochaktivem Abfall

Bildquelle: Johnson et al., 2002.

Total von 1500 m³ hochaktiver Abfall (Schweiz).
Mit Kanister 9300 m³

Abfall im Tiefenlager:

Radioaktiv ↔ Chemisch-toxisch

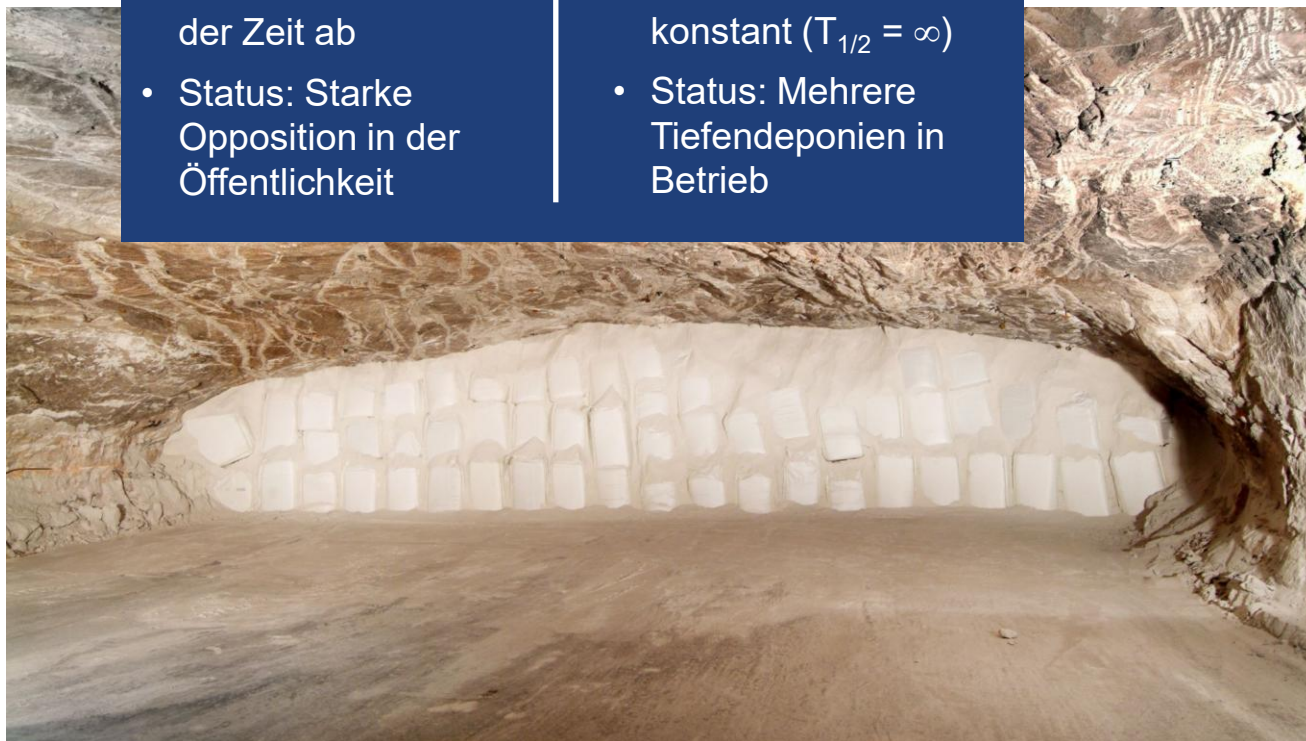
- Unterschiedliche Schädigungsmechanismen (chemisches Gift, interne Strahlenwirkung)
- Vergleichbare Wirkung im Organismus (akut giftig bzw. krebserregend)
- Identischer Ausbreitungs- und Expositionspfad (über Nahrungsketten und Trinkwasser)
- Toxizität fällt mit der Zeit ab
- Status: Starke Opposition in der Öffentlichkeit
- Toxizität bleibt konstant ($T_{1/2} = \infty$)
- Status: Mehrere Tiefendeponien in Betrieb

Endlager

Herfa-Neurode, DE

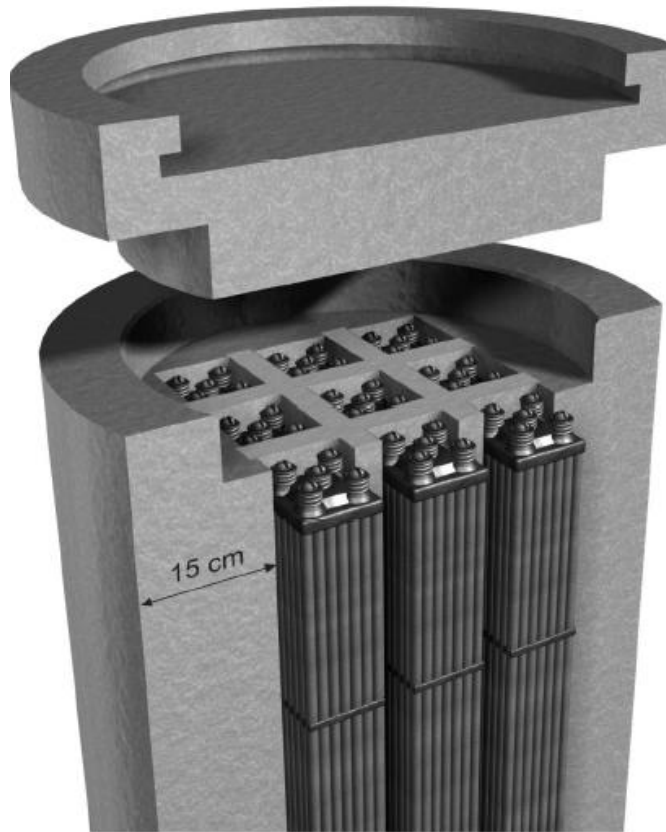
State-of-the-art unterirdisches Endlager für **hochgiftige chemische Abfälle** in Deutschland

Deponie innerhalb 300 m Salzschrift.



Endlager

Hohe spezifische Wertschöpfung
→ „komfortable“ Entsorgung



Aufgrund der hohen Energiemenge, die durch Kernbrennstoff erzeugt wird, und damit der hohen Einnahmen, können wir uns einen teureren (sichereren!) Entsorgungskanister für nukleare Abfälle im Vergleich zu chemischen Abfällen leisten.

Kanister für die Tiefenlagerung
von hochaktivem Abfall Bildquelle: Johnson et al., 2002.

Total von 1500 m³ hochaktiver Abfall (Schweiz).
Mit Kanister 9300 m³

Niedrige spezifische Wertschöpfung
→ kostengünstige Lösung erforderlich



Gebinde mit chemisch-toxischem Abfall

Bildquelle: <https://www.kpluss.com>

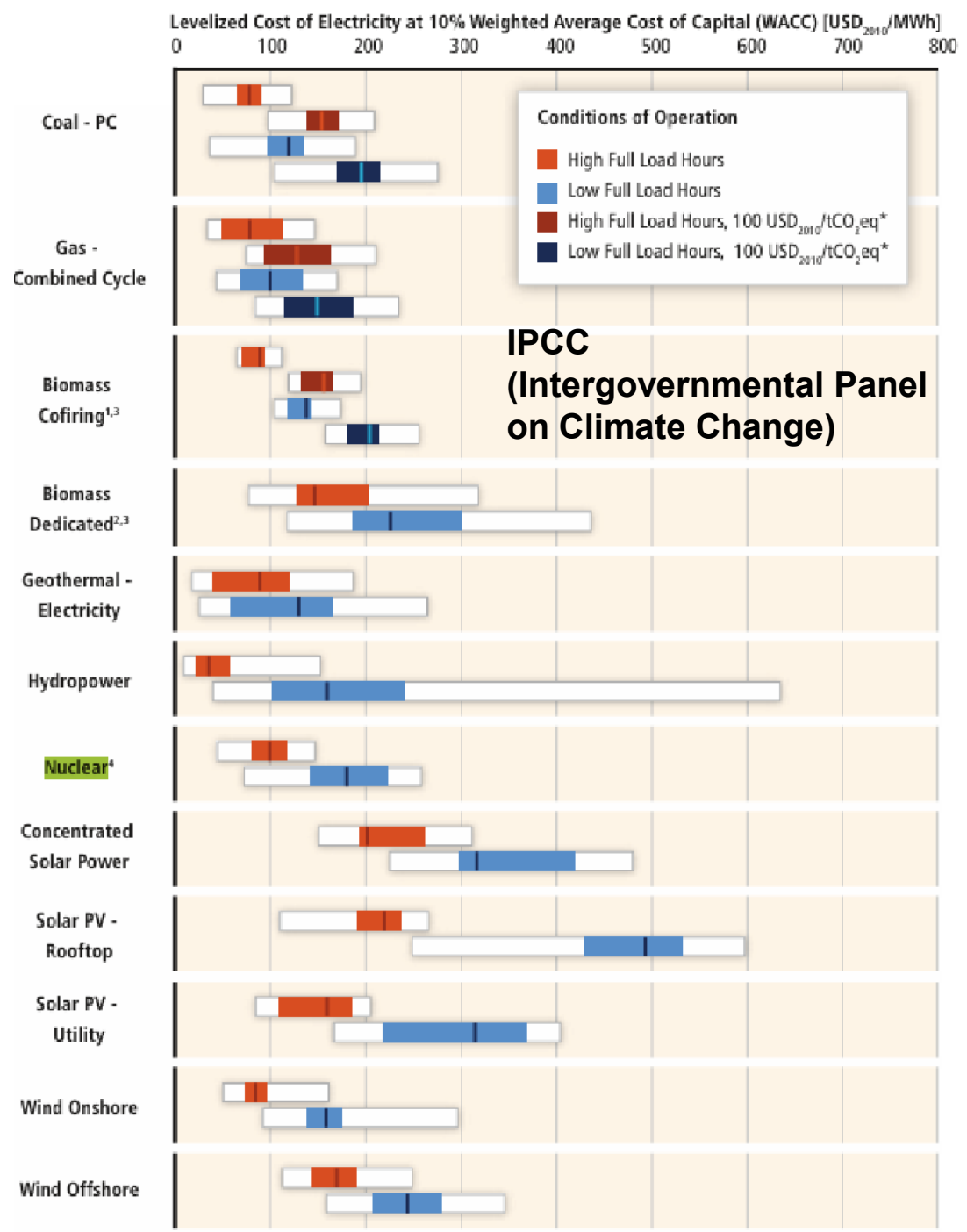
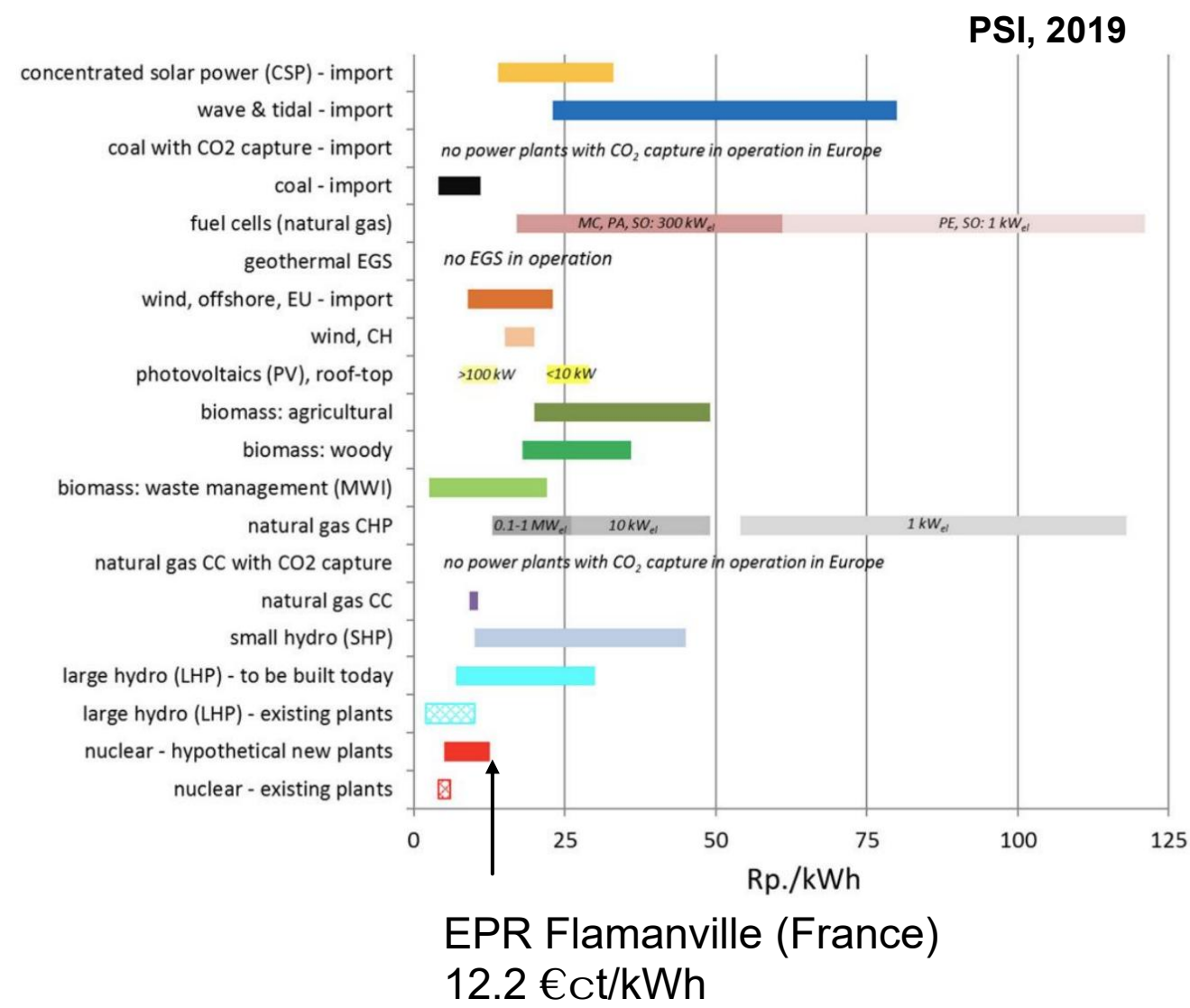
3,2 Millionen Tonnen gefährliche Abfälle
(Stand 2019, Herfa-Neurode)

- Dyoxin, Quecksilber, Zyanid, Arsen, unz.

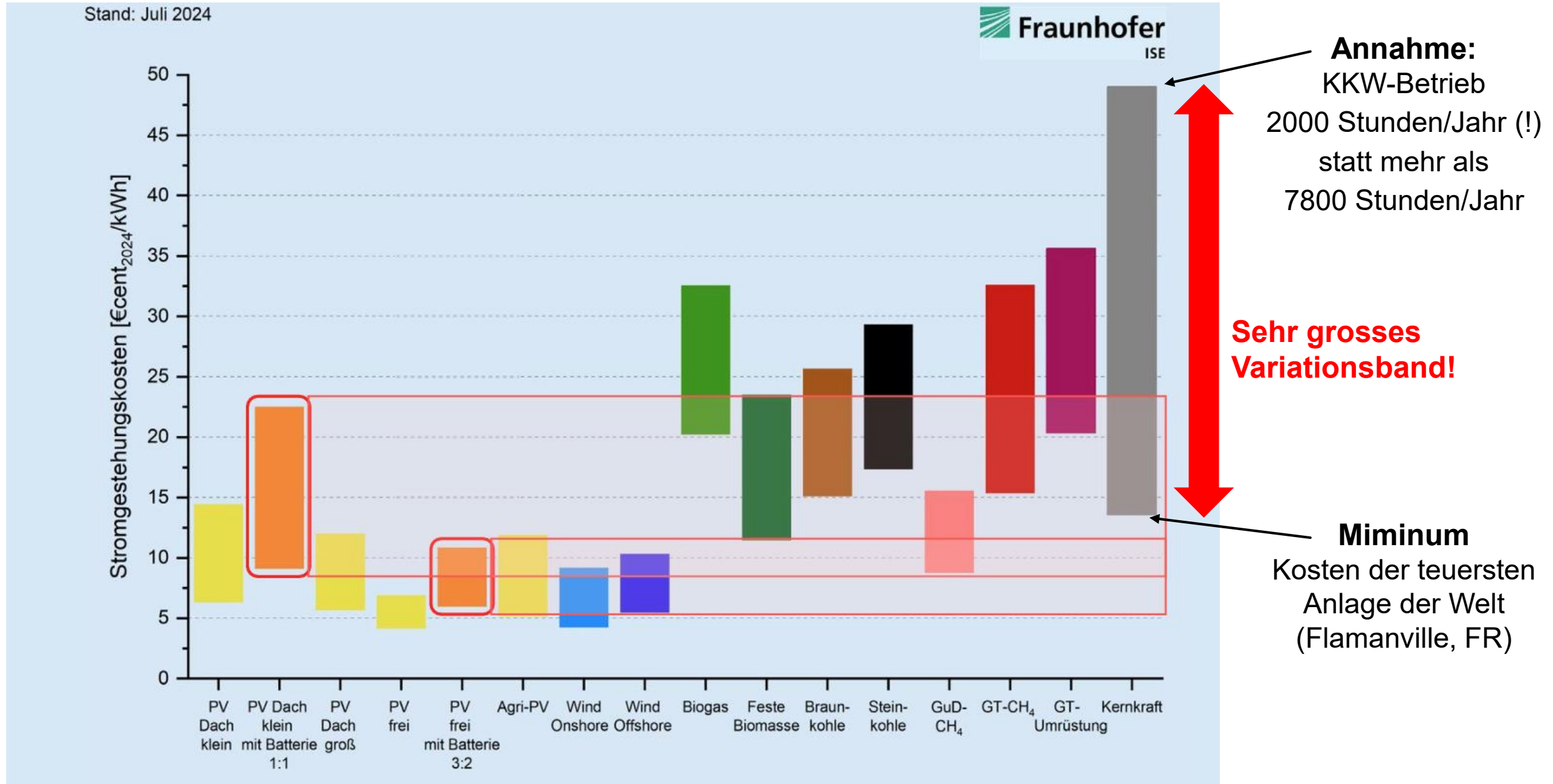


Kosten

Kosten

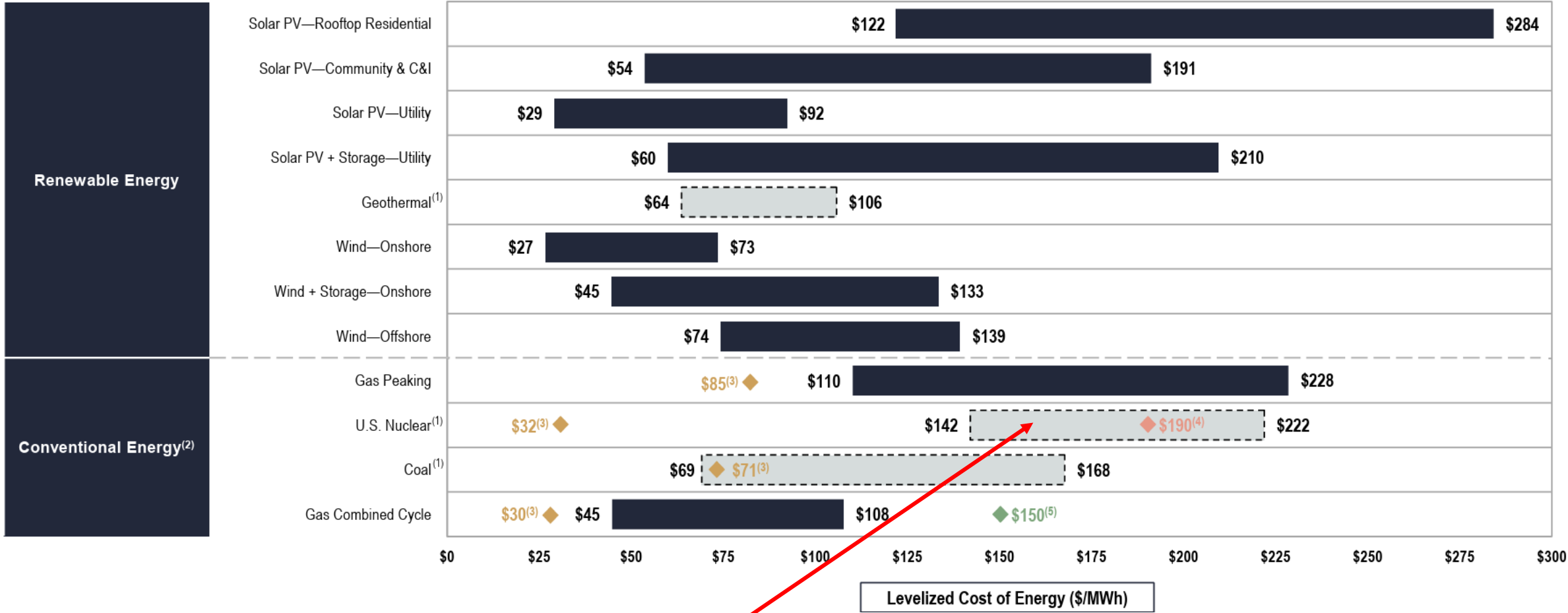


C. Bauer, B. Cox, T. Heck, X. Zhang, "Potentials, costs and environmental assessment of electricity generation technologies: an update of electricity generation costs and potentials", Swiss Federal Office of Energy SFOE, 2019.



Levelized Cost of Energy Comparison—Version 17.0

Selected renewable energy generation technologies remain cost-competitive with conventional generation technologies under certain circumstances



KKW Werte unter sehr unrealistischen Bedingungen erzielt
Hinweis: Lazard ist keine wissenschaftliche Einrichtung, sondern eine Investmentfirma

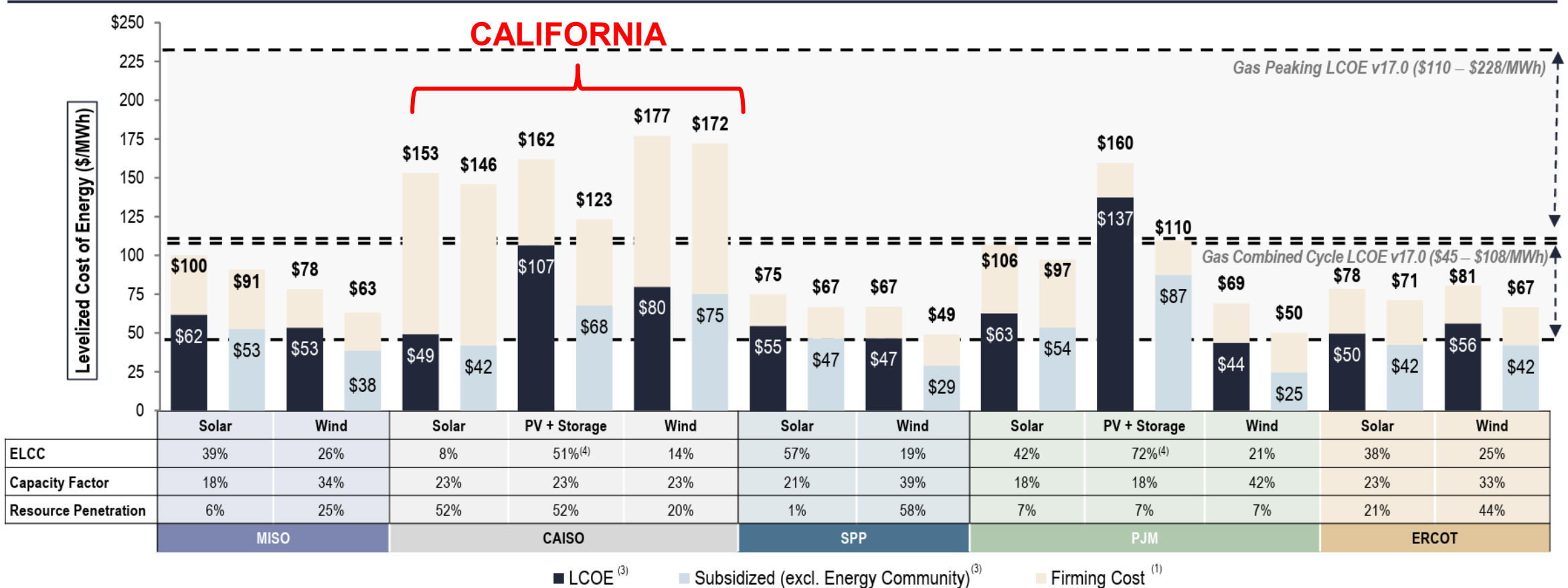
Was nicht viele bemerken...neben LCOE berücksichtigt Lazard auch „Firming-Kosten“, um die benötigte Reserve für wetterabhängige Energiequellen zu berücksichtigen!

LAZARD

Levelized Cost of Energy Comparison—Cost of Firming Intermittency

The incremental cost to firm⁽¹⁾ intermittent resources varies regionally—as such is defined by the relevant reliability organizations using the current effective load carrying capability (“ELCC”)⁽²⁾ values and the current cost of adding new firming resources

LCOE Including Levelized Firming Cost (\$/MWh)⁽³⁾



VIELEN DANK FÜR IHRE AUFMERKSAMKEIT

