

Kernenergie heute und ihre Rolle in einer CO₂-freien, nachhaltigen Stromerzeugung

Prof. Annalisa Manera

Laboratory for Nuclear Systems and Multiphase Flows

ETH-Zurich

Risiken für die Schweiz



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Federal Office for Civil Protection FOCP
Bundesamt für Bevölkerungsschutz

FOCP: das Risiko mit der höchsten Wahrscheinlichkeit und dem höchsten Schaden (Kosten) ist gemäss BAG eine Verknappung der Stromversorgung.

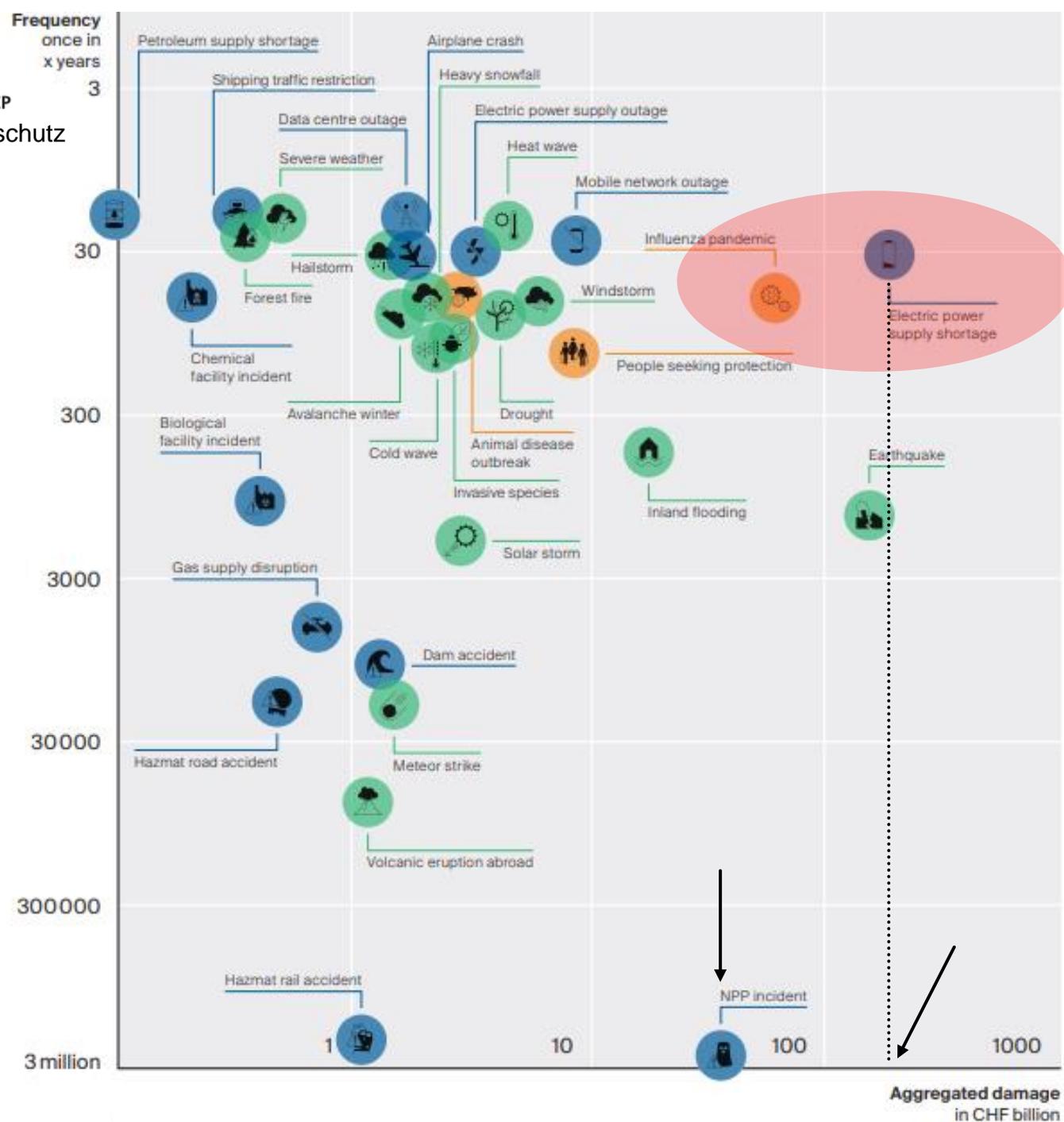
Recent examples of electricity supply shortage:

TEXAS Winterstorm Feb 2021

- 247 Tote als direkte Folge des Stromausfalls
- \$300 Milliarden Schäden

CALIFORNIA – Sept 2022 Stromnetz 30 Minuten vor dem Zusammenbruch

- Abschalten von EV-Autos, Klimaanlage und andere elektrische Geräte
- Letzter KKW wegen Strommangel "gerettet" (Die Abschaltung war für Dezember 2022 geplant, die Regierung investiert 1 Milliarde, um die Lebensdauer zu verlängern)



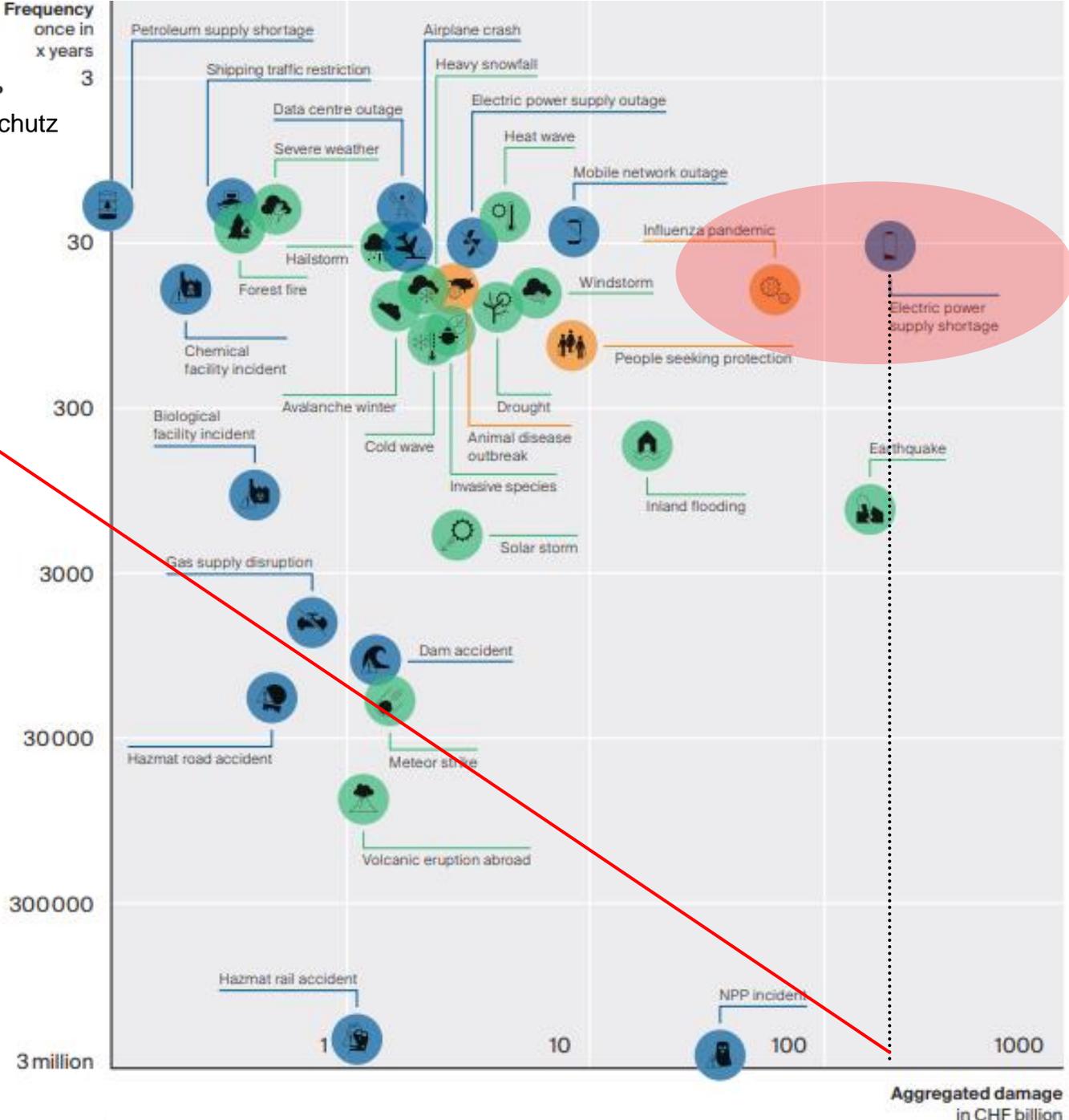
Risiken für die Schweiz



Schweizerische Eidgenossenschaft
Confédération suisse
Confederazione Svizzera
Confederaziun svizra

Federal Office for Civil Protection FOC
Bundesamt für Bevölkerungsschutz

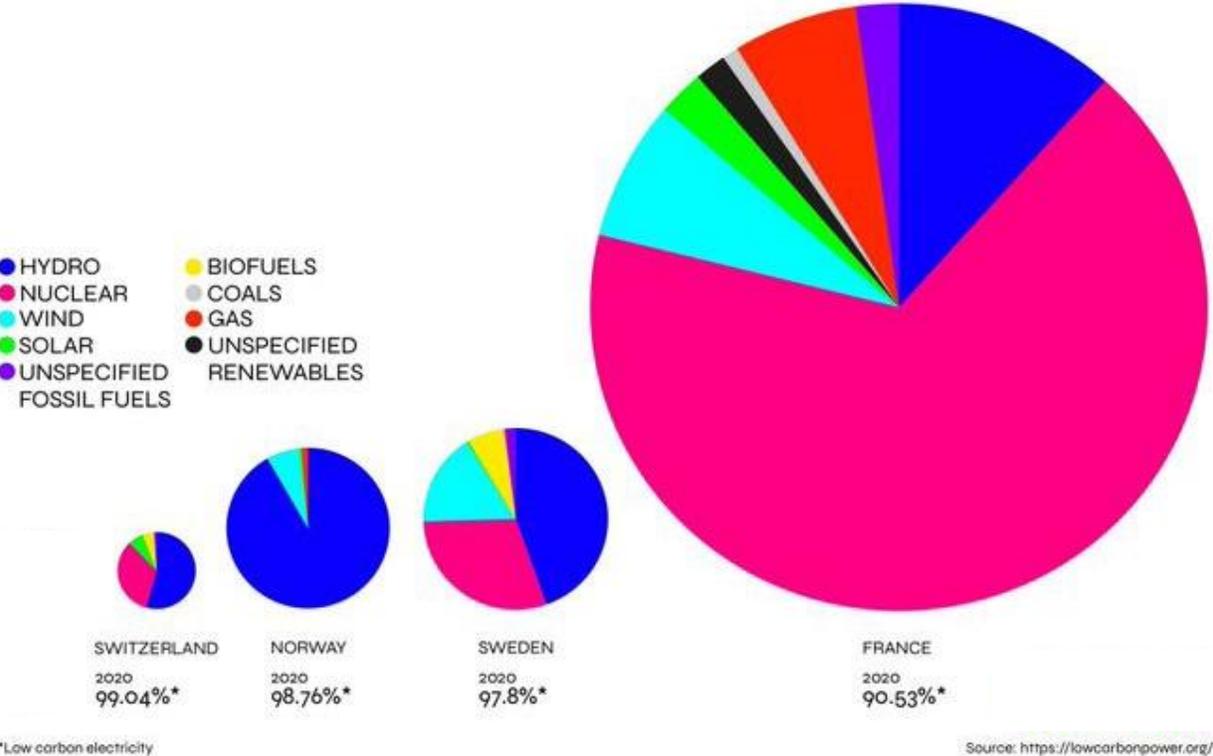
Deutschland: Seit dem Ukraine-Konflikt 440 Milliarden Euro für Maßnahmen zur Vermeidung von Stromausfällen und zur Erschließung neuer Energiequellen.



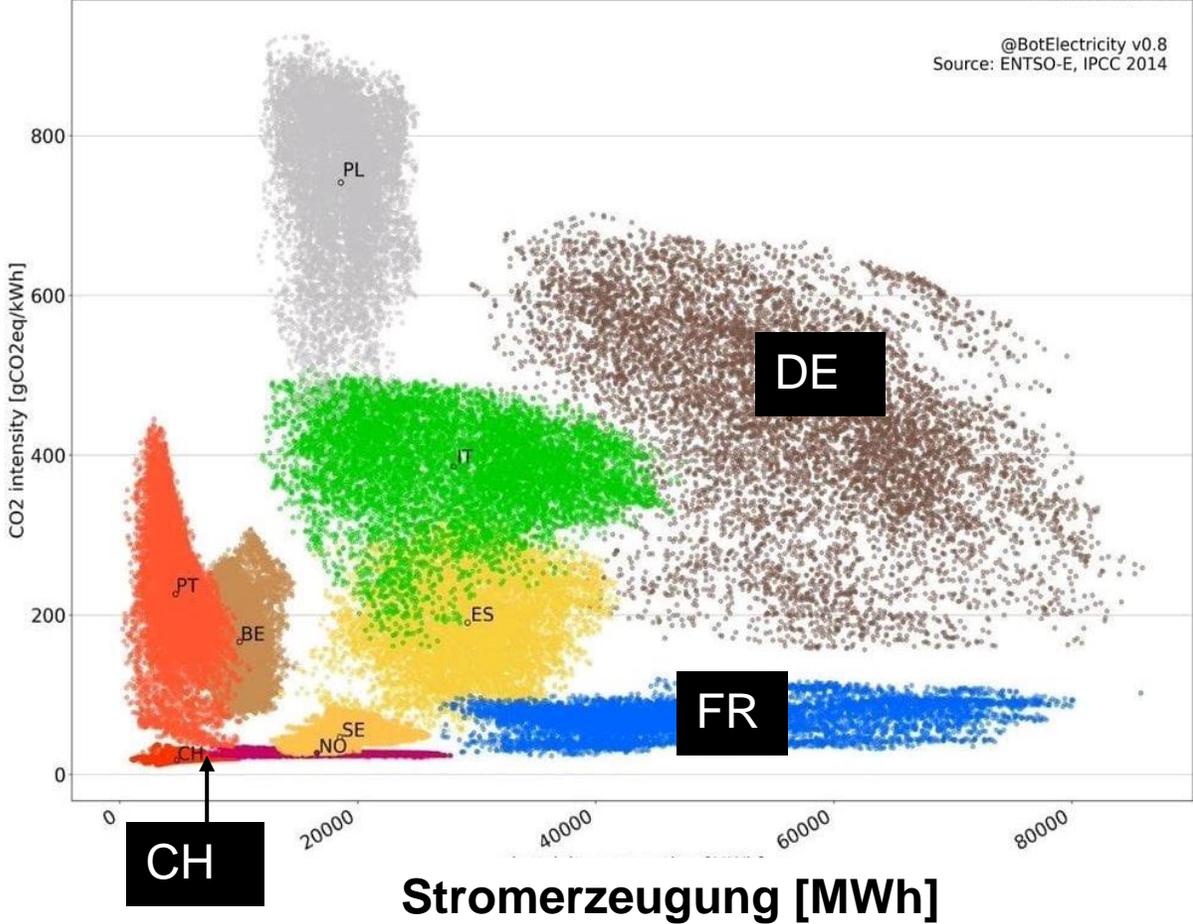
Aggregated damage in CHF billion

Die Stromproduktion in der Schweiz ist bereits CO2-frei

Länder in Europa mit ~ CO2-frei Stromerzeugung nutzen Kernenergie
 Ausnahme: Norwegen mit mehr als 98 % Wasserkraft



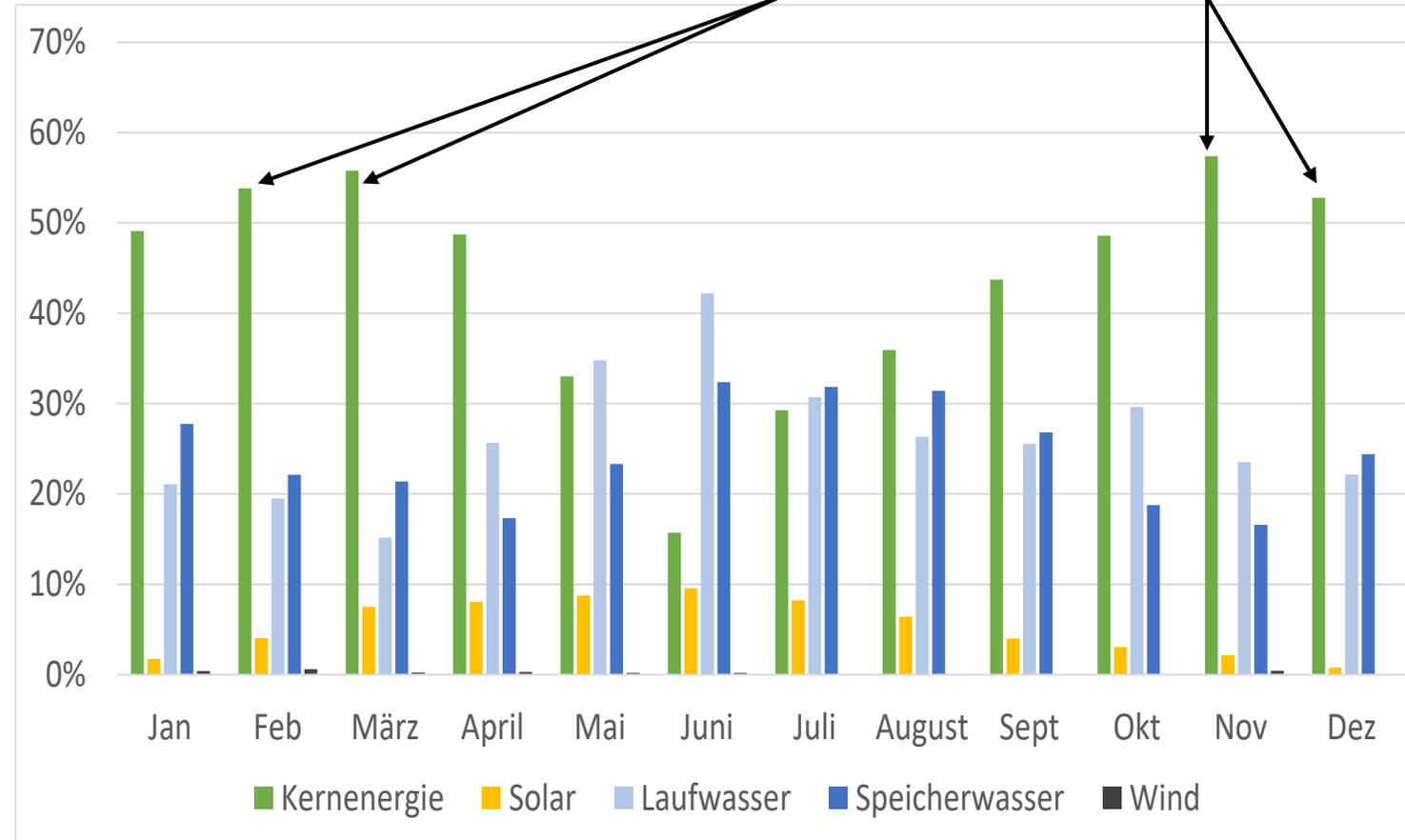
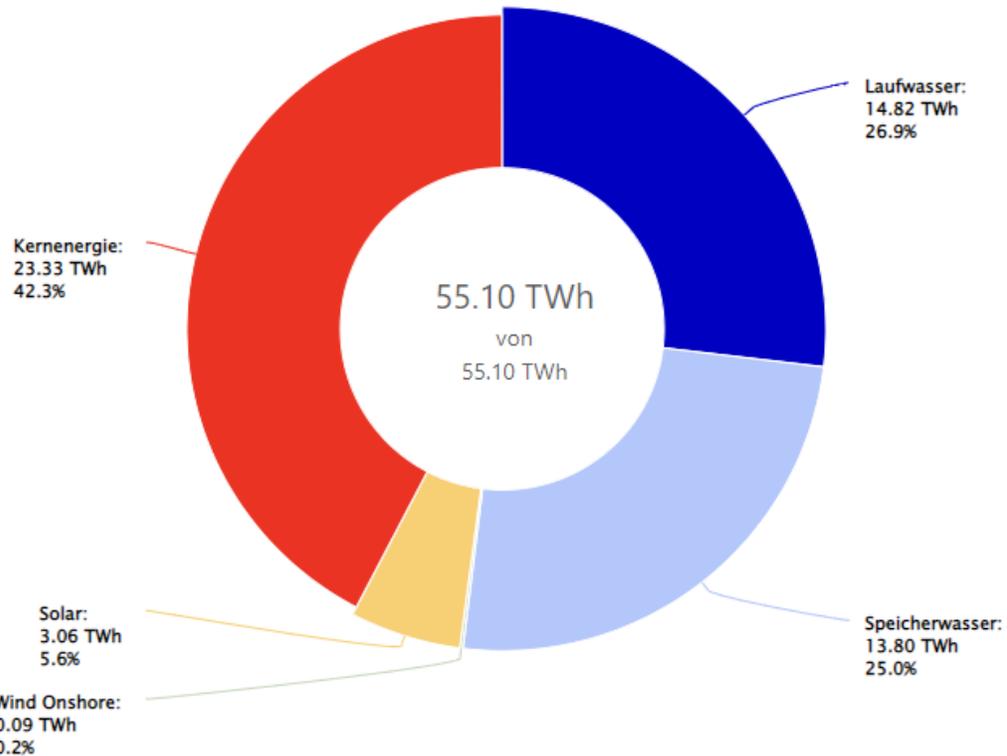
CO2eq/kWh – Jahr 2022



Nettostromerzeugung in der Schweiz 2022

Beitrag der Kernenergie zur Stromproduktion in der Schweiz: mehr als 42%

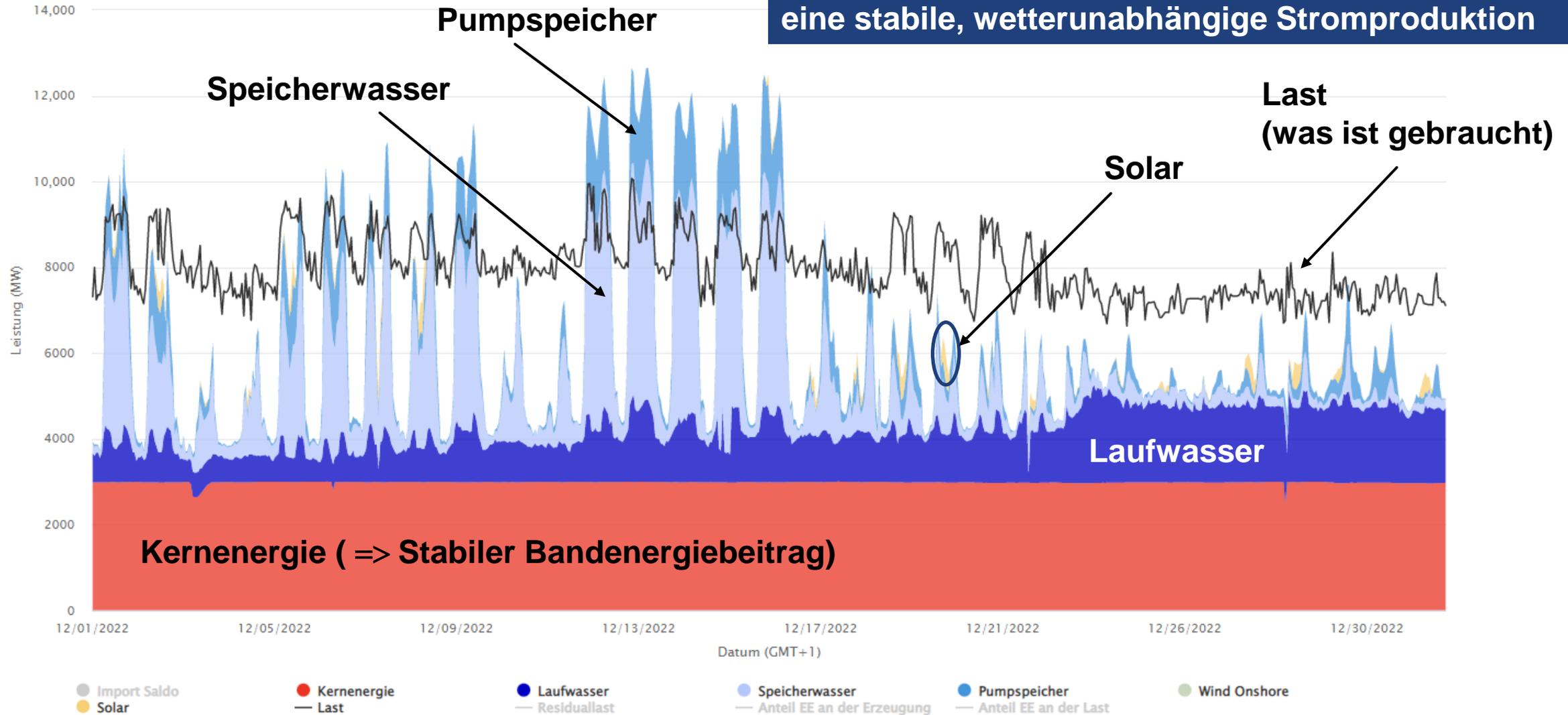
In den Wintermonaten produziert die Kernenergie in der Schweiz über 50% Strom



● Laufwasser ● Speicherwasser ● Wind Onshore ● Solar ● Kernenergie

Nettostromerzeugung in der Schweiz – Dezember 2022

Wichtiger Beitrag der Kernenergie im Winter für eine stabile, wetterunabhängige Stromproduktion

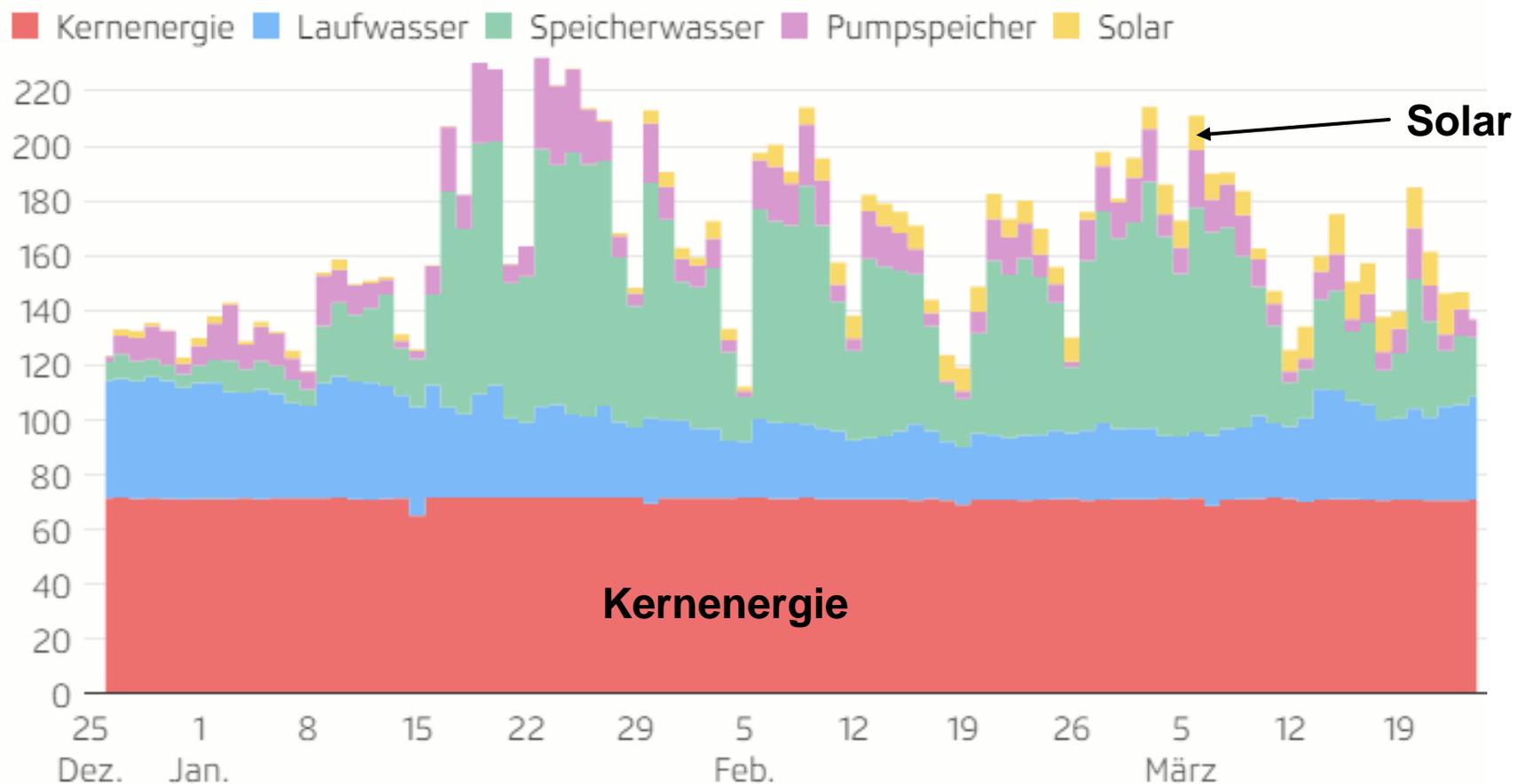


Source: www.energy-charts.info/

Last größer als Produktion => Importbedarf

Nettostromerzeugung in der Schweiz 2023

Nettostromerzeugung nach Erzeugungsart in GWh



Wind wird nicht angezeigt (Werte zu klein). Wird täglich aktualisiert.

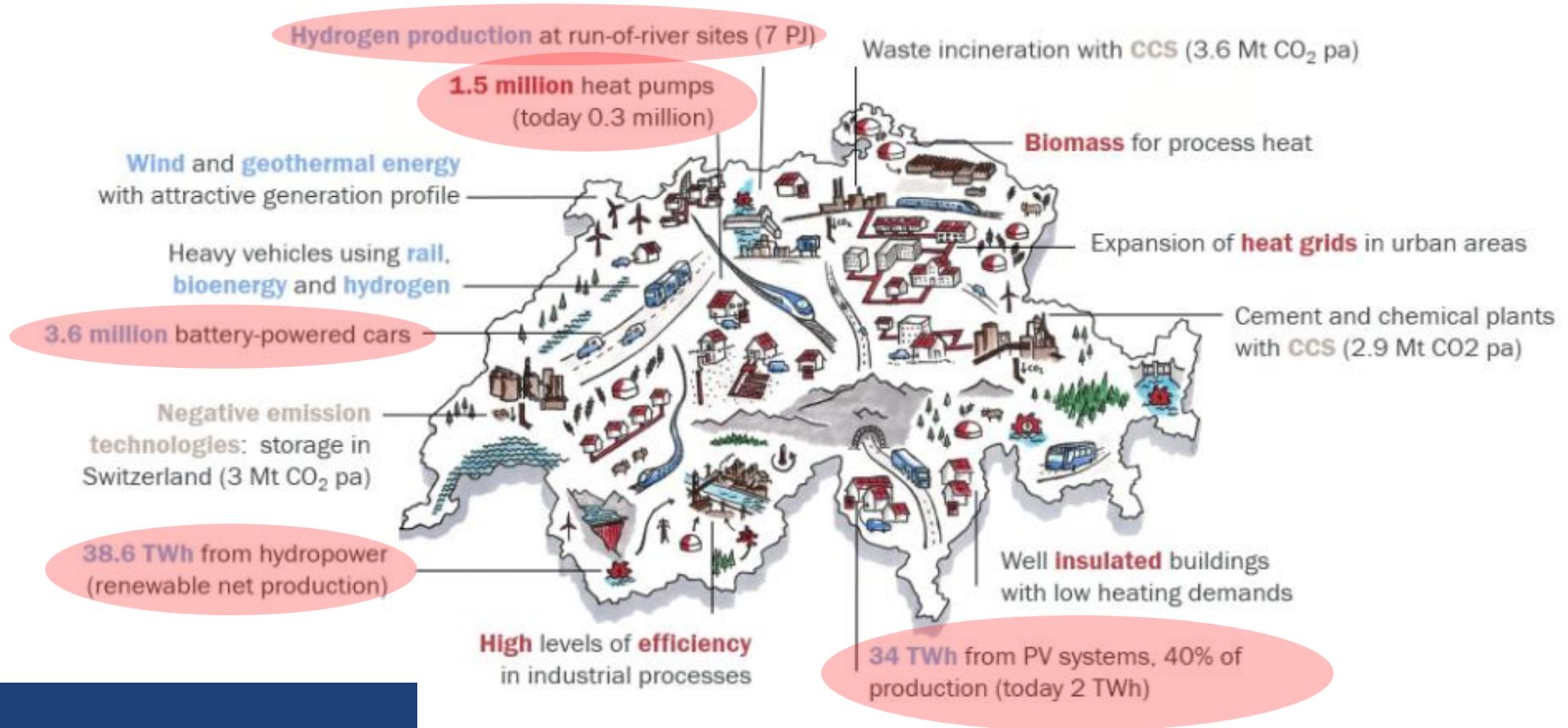
Grafik: SRF Data • Quelle: [ENTSO-E](#)

BACKGROUND INFO

BFE SCENARIO – SCHWEIZ 2050

Ziele CH-2050 Realität oder Sci-Fi?

Objectives for a climate-neutral Switzerland by 2050



Bis 2050

- 25 TWh KKW Ersatz
- 25 TWh zusätzliche Verbrauch (Heizung, Transport/Mobility, enz.)

Labor für Energiesystemanalysen, PSI und SCCER Joint Activity *Scenarios and Modelling*

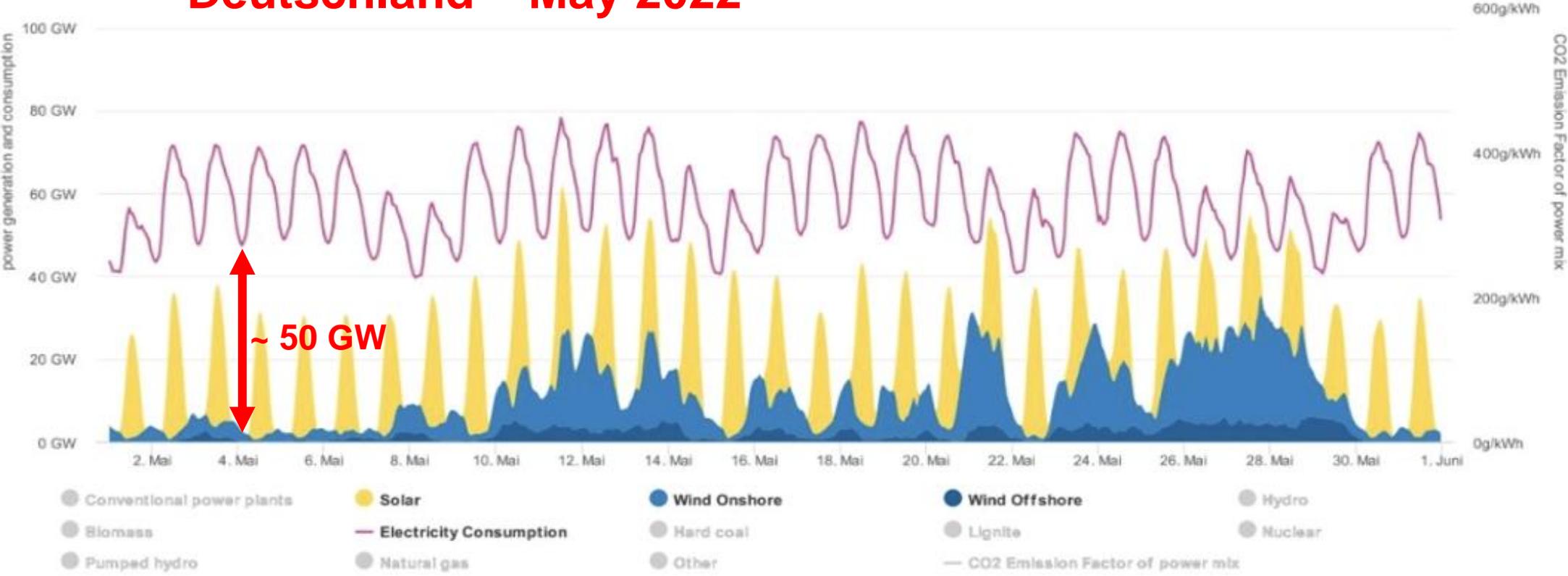
Investitionen: 150–300 Mia. CHF (2020–2050)
5–10 Mia. CHF/Jahr (0.7–1.4 % des BIP)

Studie der Bankiervereinigung und Boston Consulting Group
347 Mia. CHF (2020–2050)

z. B. NZZ 18. August 2021

Beispiel Deutschland – Ersatz von KKW durch Erneuerbare

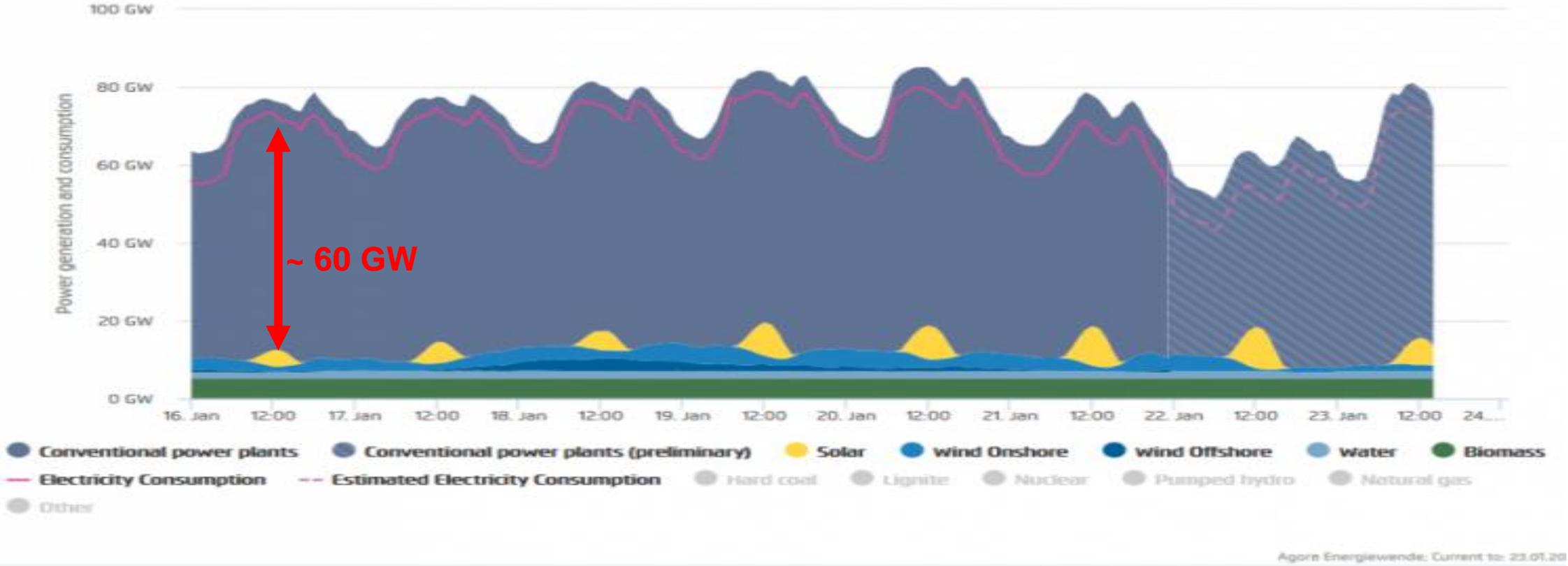
Deutschland – May 2022



Die Grundlastproduktion ist entscheidend!

Beispiel Deutschland – Ersatz von KKW durch Erneuerbare

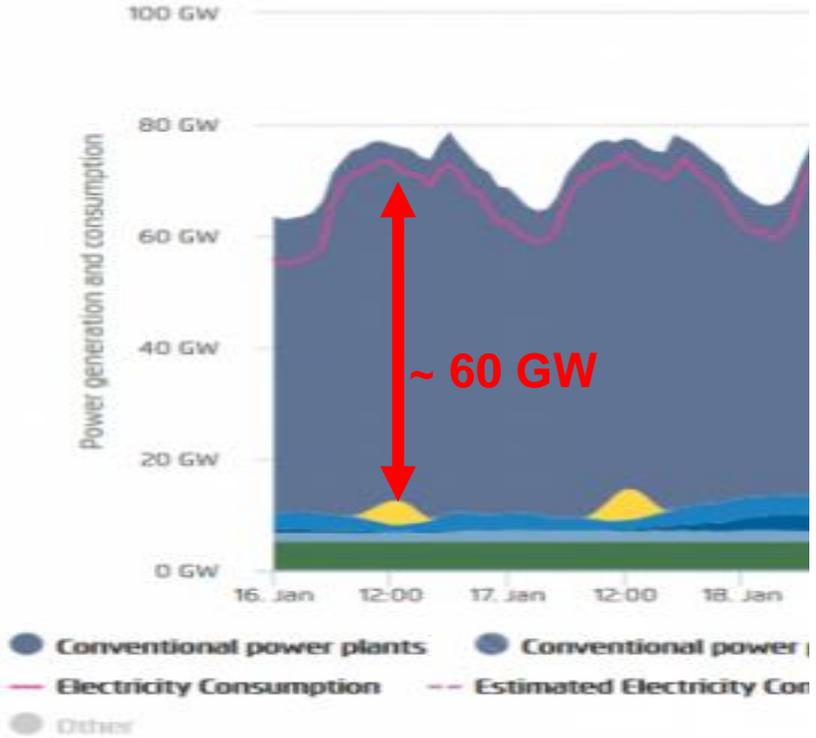
Deutschland – Jan 2022



Die Grundlastproduktion ist entscheidend!””

Beispiel Deutschland

Deutschland – Jan 2021



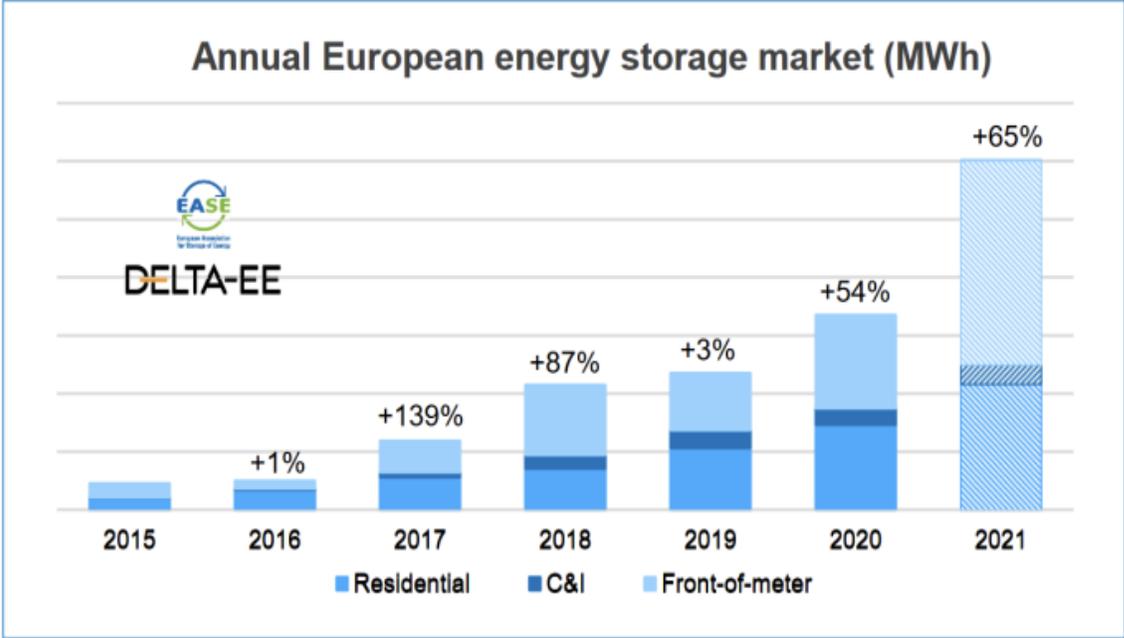
8.3 GWh
2021

↑

0.6 GWh
2015

Cumulative installed base

Annual European energy storage market (MWh)
By 2030, 10 times more



Source: EASE, EMMES 5.0 market data and forecasts - electrical energy storage, 2021. Vertical gradient/horizontal division of the graph on the right is of 0.5 GWh of annual storage deployment

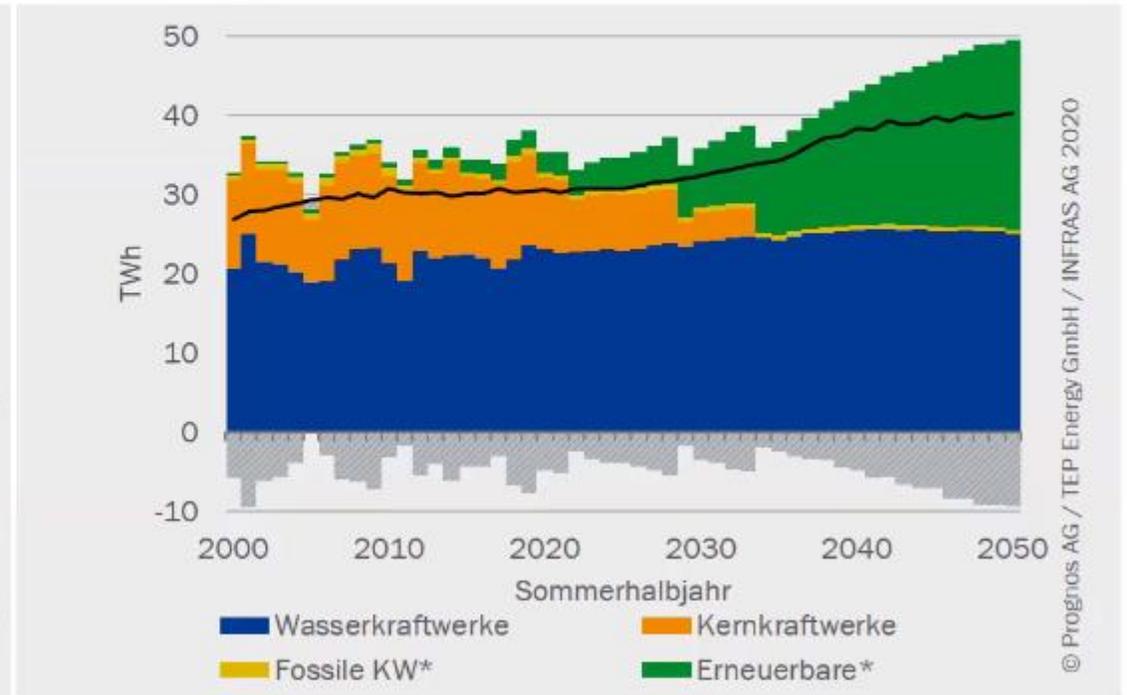
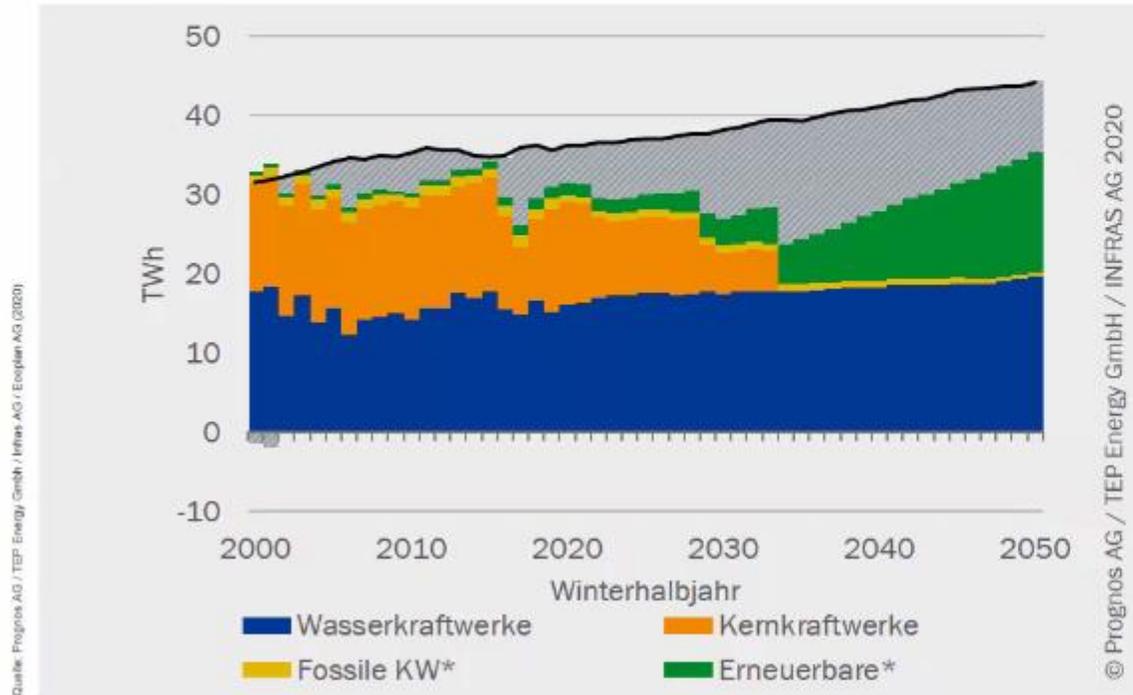
Agora Energiewende; Current to: 23.01.20

Alle Batterien in der EU würden 60 GW für 8,3 Minuten liefern

BFE - Szenario ZERO Basis Schweiz

Winterhalbjahr: Steigende Winteranteile von PV und Wind, in 2050 verbleibt Importsaldo im Winter.

Sommerhalbjahr: Exportsaldo im Sommer verbleibt bis 2050 insb. aufgrund hoher PV-Erzeugung.



Szenario ZERO Basis, Strategievvariante «ausgeglichene Jahresbilanz 2050», KKW-Laufzeit 50 Jahre

*) gekoppelt und ungekoppelt

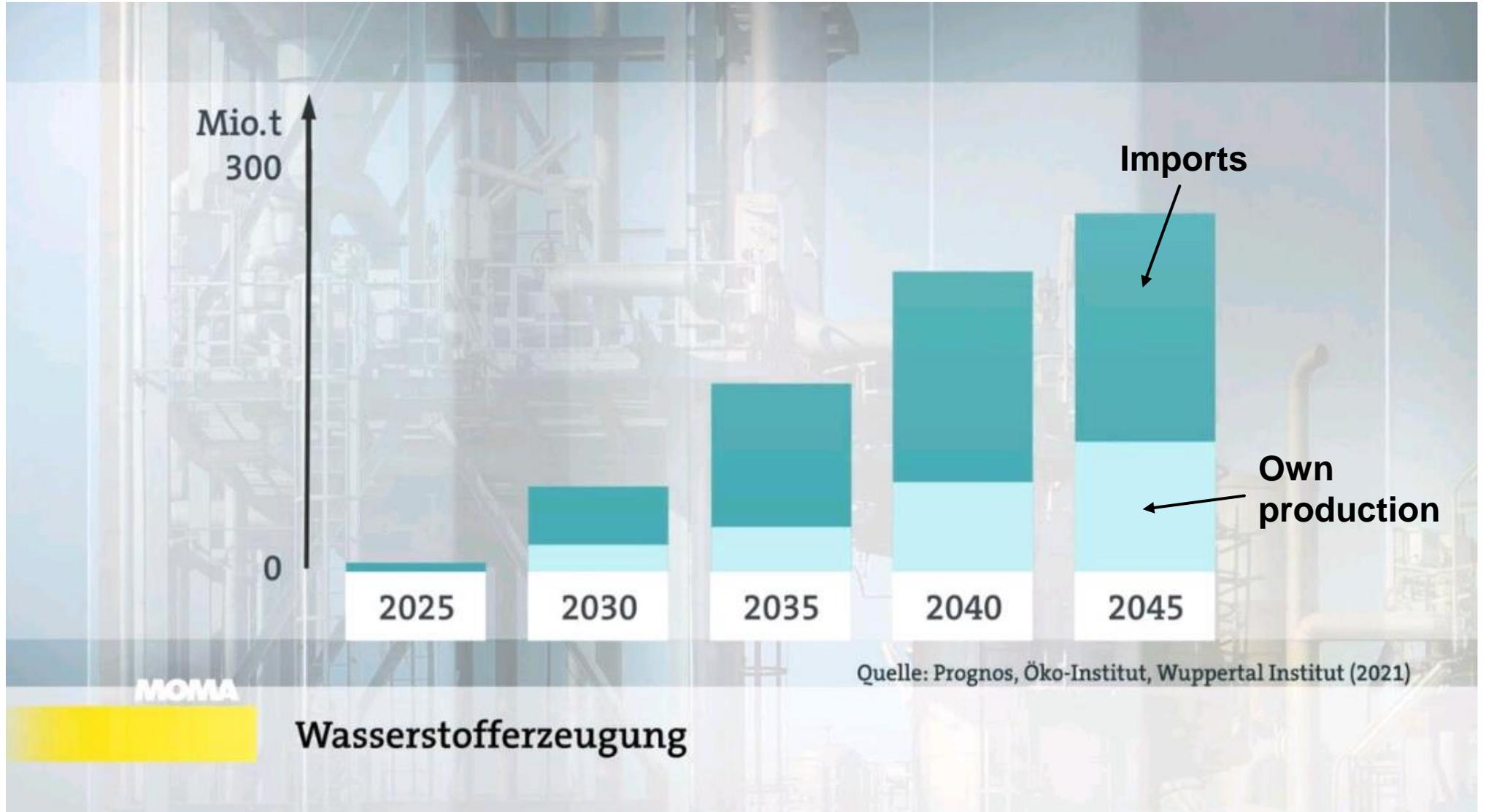
BFE: Energieperspektiven 2050+

Annahmen:

- Starker Anstieg der Stromimporte im Winter!
- Wasserstoff/synthetische Brennstoffe Importe! (aus welchem Land??)

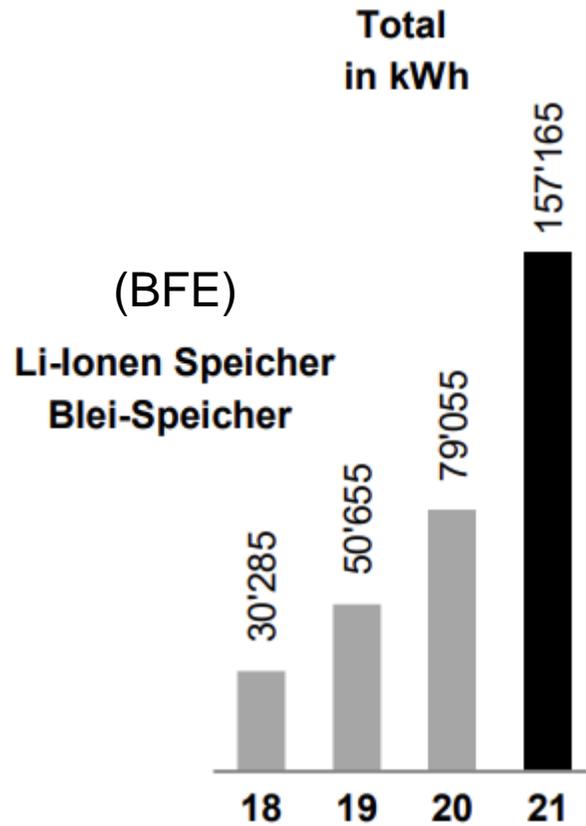
Ein Blick auf die Zahlen...

Germany needs for H2



Ein Blick auf die Zahlen...(Potenzial von Batterien sehr begrenzt)

Entwicklung gesamthaft installierter Kapazitäten von Speichersystemen



~ 7 min KKW Leibstadt

Gesamtmenge an Elektrobatterien in der Schweiz: weniger als 160.000 kWh (was KKL in ~7 Minuten Betrieb produziert)

Cottingham: Europe's biggest battery storage system switched on

5 days ago

BBC



NEWS

196 MWh

~ 10 min 1300 MWe KKW



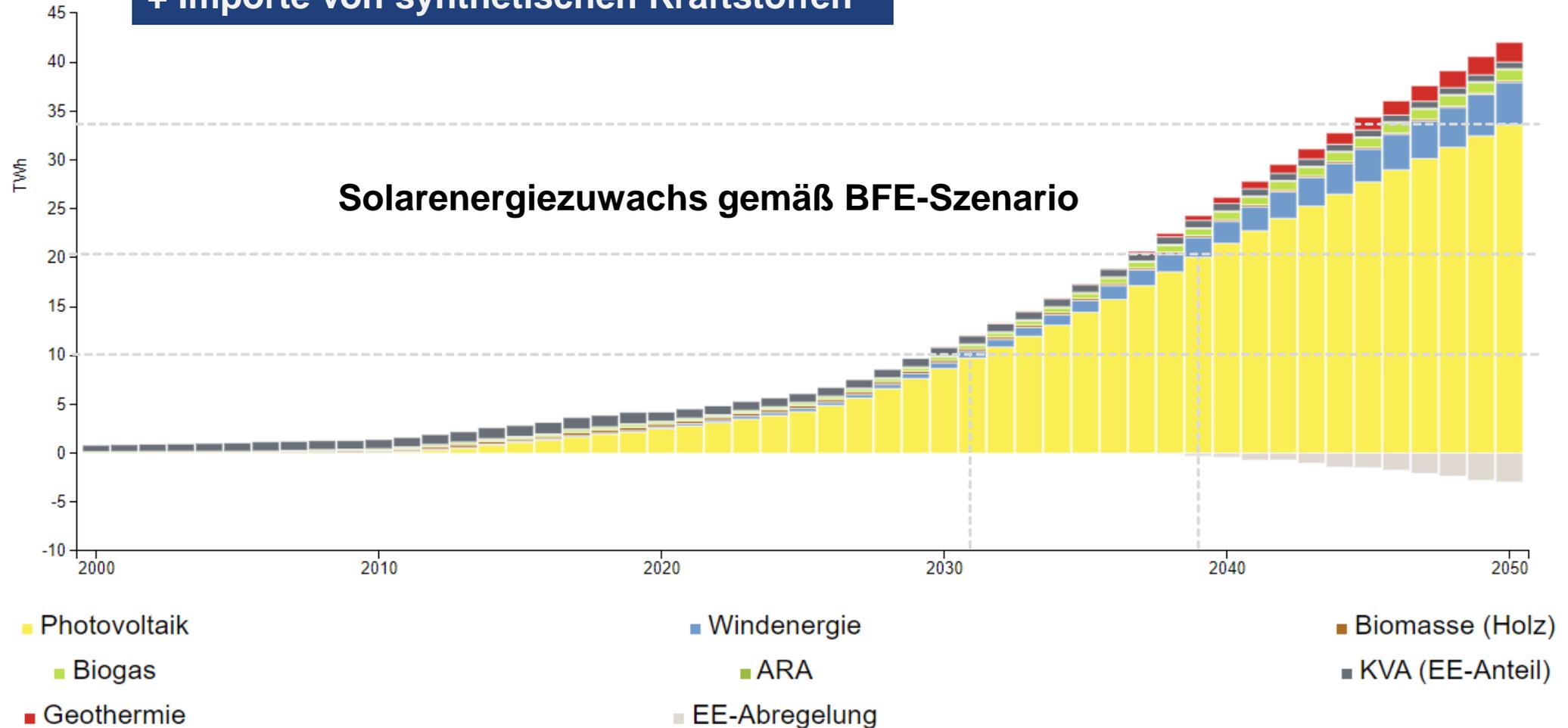
HARMONY ENERGY

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

Der größte Batteriepark Europas kann etwa 10 Minuten der Energie speichern, die ein typisches KKW erzeugt.

Ein Blick auf die Zahlen...

Zusätzliche Annahmen (wie realistisch?)
+ Anstieg der Stromimporte im Winter
+ Importe von synthetischen Kraftstoffen



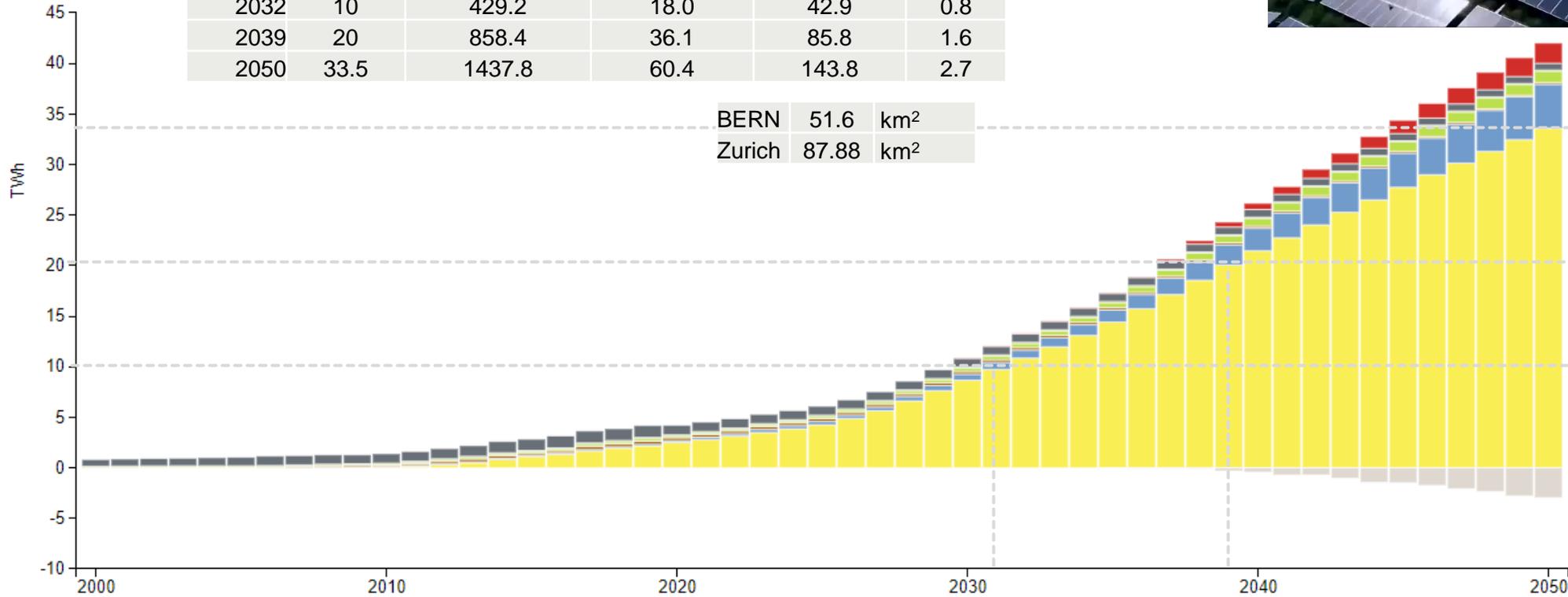
Ein Blick auf die Zahlen...

Taicun Village Solar (China) ~ Gondosolar



23,3 GWh	Gondosolar data
42 MCHF	
100,000 m ²	

YEAR	TWh	Units Gondosolar Equivalent	Price [Miliarden CHF]	km2	# of EPRs
2032	10	429.2	18.0	42.9	0.8
2039	20	858.4	36.1	85.8	1.6
2050	33.5	1437.8	60.4	143.8	2.7



BERN	51.6	km ²
Zurich	87.88	km ²

To realize the BFE scenario, we need the equivalent of 1438 Gondolar (or 2.7 EPRs)

- Photovoltaik
- Windenergie
- Biomasse (Holz)
- Biogas
- ARA
- KVA (EE-Anteil)
- Geothermie
- EE-Abregelung



Das Projekt in Zahlen

0.38 MW

2,2 MWp

Megawatt
Leistung

4872

Solarmodule
Anzahl

50

Prozent
Winterstrom

3,3

Gigawattstunden
Energie

CHF7.9 Mio.

10,000 m²

25 TWh (nur für Strom)

- 7576 Alpinsolar
- 36,909,090 Solarmodulen!!!
- CHF 59,848 Mio.

Wenn man das Schweizer KKW durch Alpinsolar ersetzen würde, bräuchte man mehr als 7500 solcher Anlagen mit fast 37 Millionen Solarmodulen und Kosten von fast 60 Milliarden CHF

Bis 2050

- 25 TWh KKW Ersatz
- 25 TWh zusätzliche Verbrauch (Heizung, Transport/Mobility, enz.)



In den Nachrichten vom 22.11.2022

Axpo versechsfacht
Solar-Ambitionen in der
Schweiz und baut
nächste alpine
Solaranlage

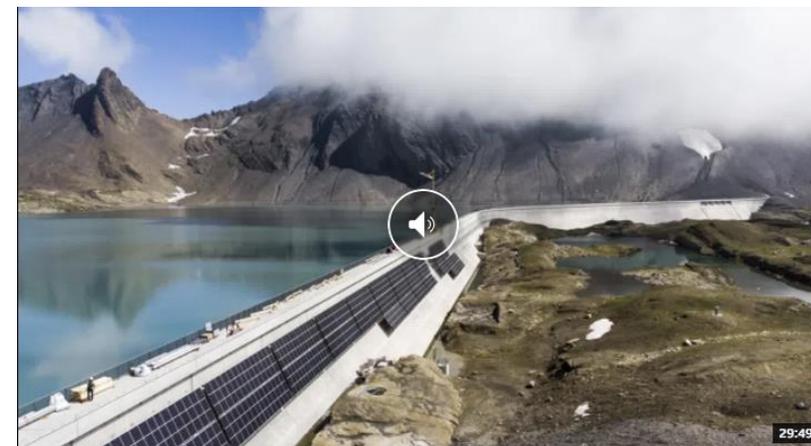


Mega-Investition in den Alpen

Axpo baut für 1,5 Milliarden Franken Solaranlagen

Der Energiekonzern Axpo will in der Schweiz kräftig in Sonnenstrom investieren. Ein Grund seien Erleichterungen der politischen Rahmenbedingungen für Anlagen in den Alpen. Es lohnt sich aber auch angesichts der hohen Strompreise an den Märkten.

Publiziert: 22.11.2022 um 10:29 Uhr | Aktualisiert: 22.11.2022 um 14:04 Uhr



Blick auf die Baustelle von «Alpin Solar» in Linthal. Der Stromkonzern Axpo baut an der Muttssee-Staumauer die grösste alpine Solaranlage der Schweiz.

KEYSTONE/Gian Ehrenzeller

[Audio & Podcasts >](#)

[Rendez-vous >](#)

Axpo will 1.5 Milliarden Franken in Solaranlagen investieren

Ein Blick auf die Zahlen...

Axpo Plan - bis 2030 1.2 GW installierte Leistung Solar

Energie Produktion: 1.5 TWh/Jahr

Anlagenkosten: CHF 1.5 Milliarden

Nächstes AXPO Projekt (nicht früher als 2024!) 10 MW

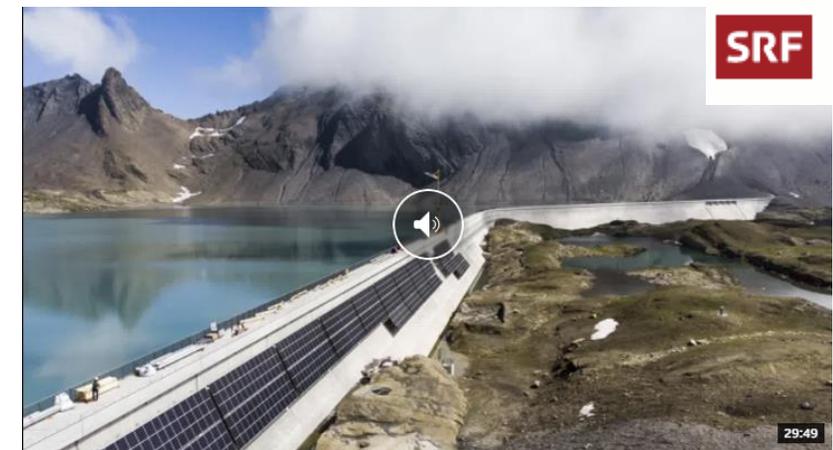
Um die geplante 1,2 GW (1.5 ThW/Jahr) zu erreichen,
sind 120 solcher Projekte erforderlich

BFE Scenario

Jahr	TWh
2032	10
2039	20
2050	33.5

BFE Scenario:

bis 2032 sollen 10 TWh/Jahr Solar gebaut werden
(in Vergleich zum Axpo Plan von 1.5 TW/Jahr)



Blick auf die Baustelle von «Alpin Solar» in Linthal. Der Stromkonzern Axpo baut an der Muttssee-Staumauer die grösste alpine Solaranlage der Schweiz.

KEYSTONE/Gian Ehrenzeller

Audio & Podcasts >

Rendez-vous >

Axpo will 1.5 Milliarden Franken in
Solaranlagen investieren

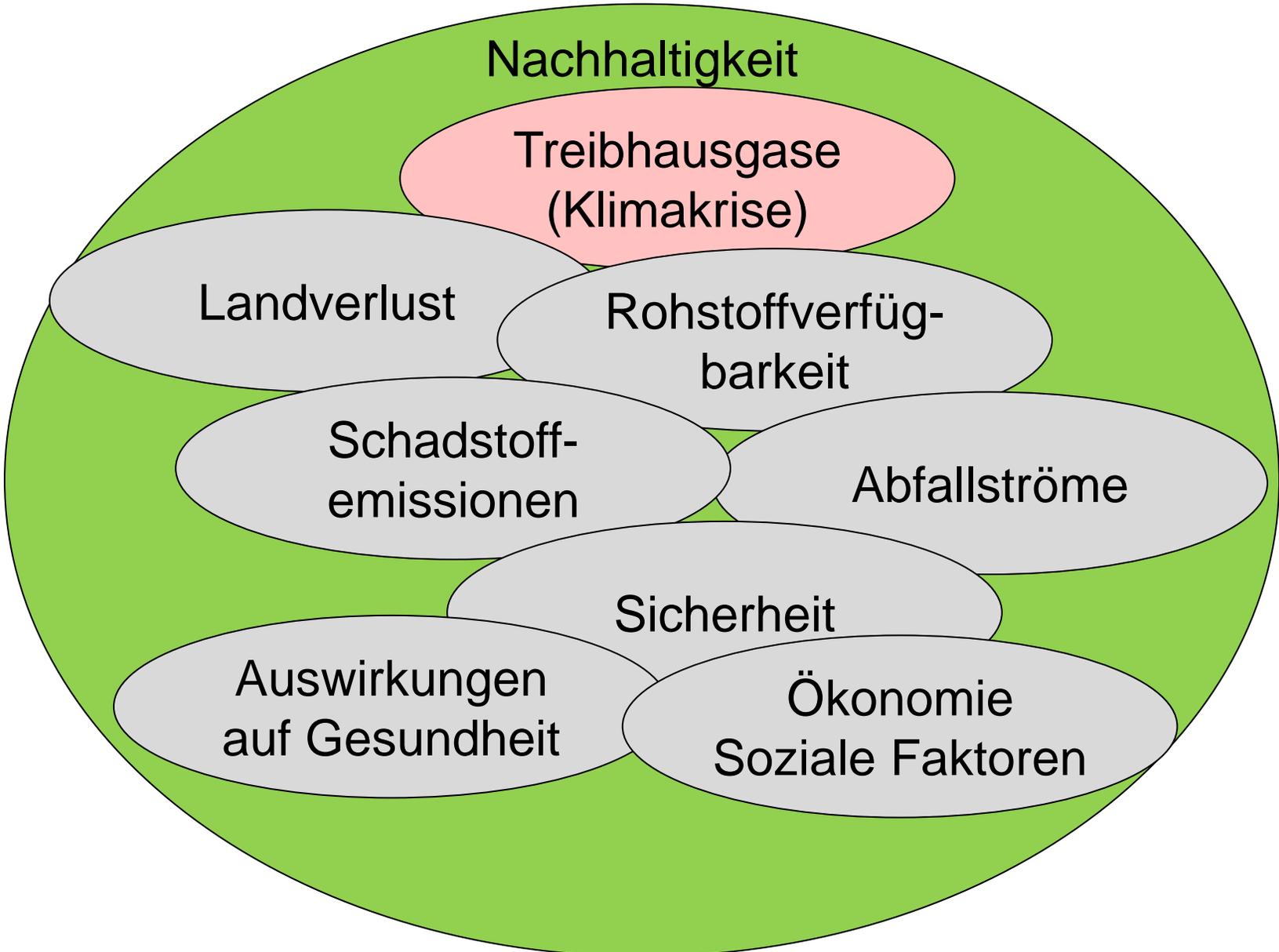
AXPO-CEO:

Alpinsolar-Projekt nicht rentabel

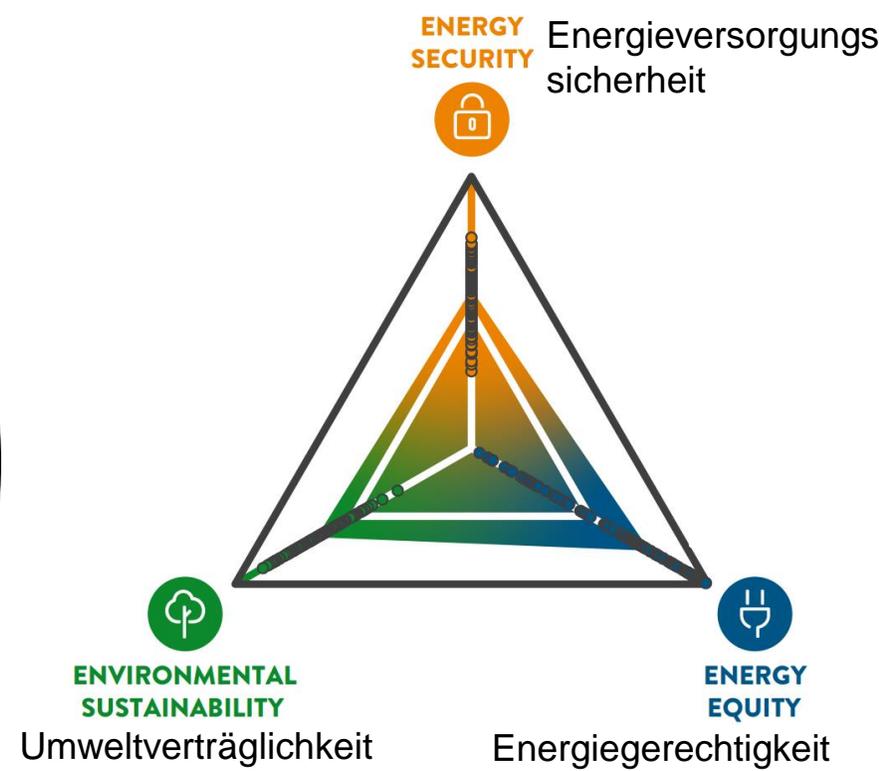
ALPIQ-Ankündigung:

Kein Gondosolar, es sei denn, die
Regierung stellt 60 % der Finanzierung
bereit

Warum Interesse an Kernenergie? Nachhaltigkeit und Energie-Trilemma



Energy trilemma



Source: World Energy Council

Was ist das Besondere an Kernbrennstoff?

Energie Äquivalenz

1 Uranium Brennstoff-Pellet



1 Tonne Kohle



480 Kubikmeter Gas



454 Liter Öl



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

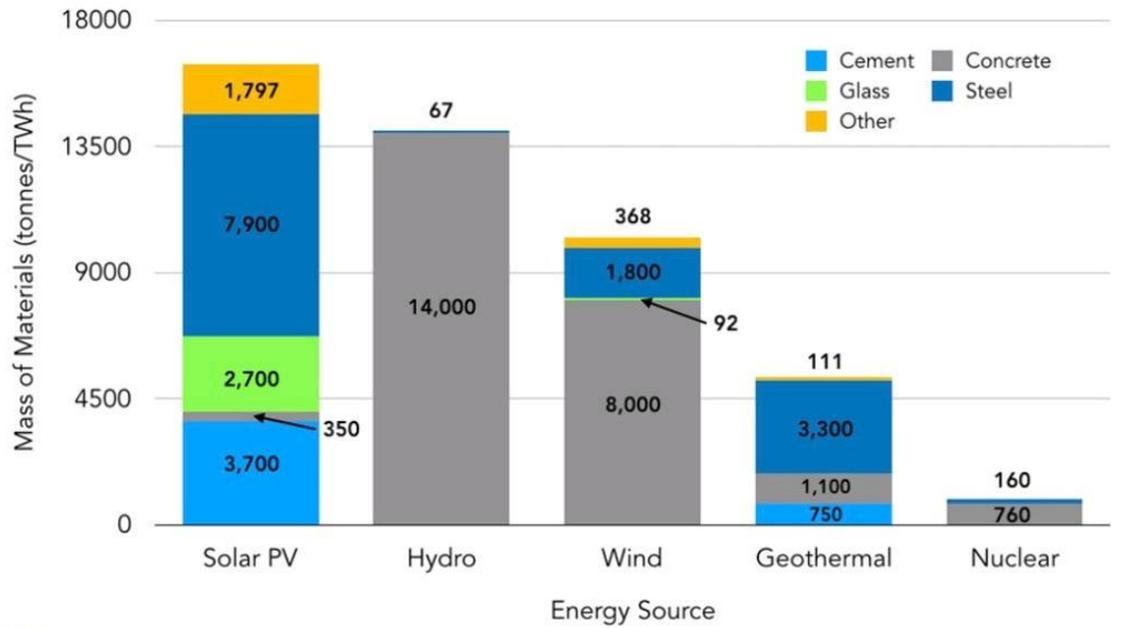
Brennelemente: Vier- bis fünfjährigem Einsatz im Reaktor

Hohe Energiedichte →

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

Ist Kernenergie umweltfreundlich?

Materials throughput by type of energy source

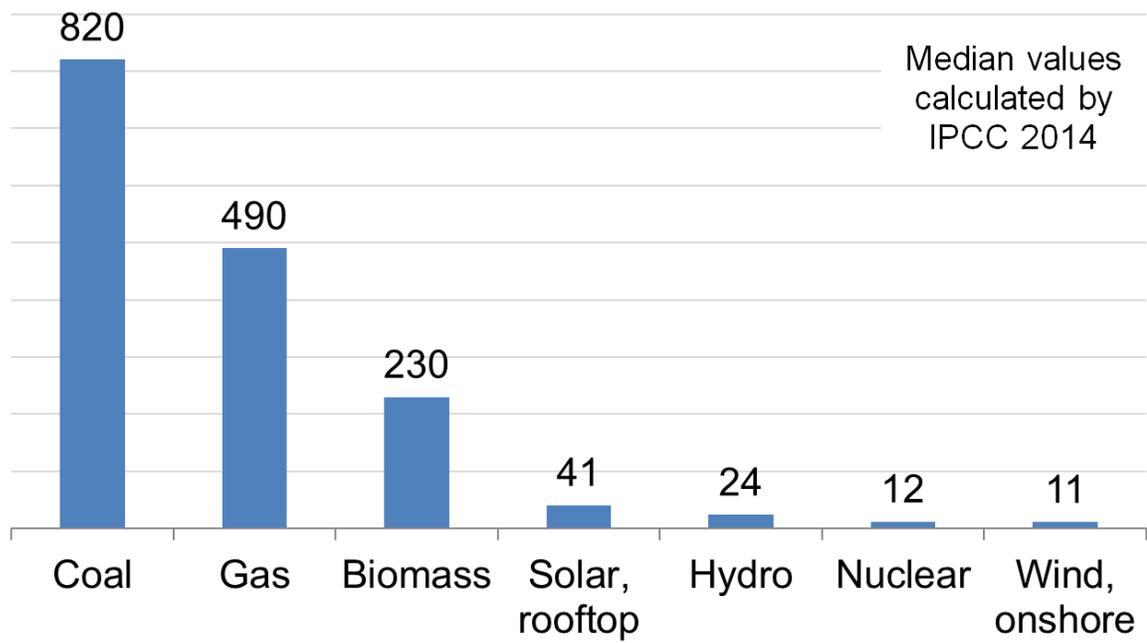


ENVIRONMENTAL PROGRESS logo. "Quadrennial Technology Review: An Assessment of Energy Technologies and Research Opportunities," Table 10. September 2015. United States Department of Energy. Nuclear and hydro require 10 tonnes/TWh and 1 tonne/TWh of other materials, respectively, but are unable to be labeled on the graph.

Landbedarf

- Kernenergie 10,000 W/m²
- Solar-PV 5 W/m² (ohne Speicherung)
- Wind 2 W/m² (ohne Speicherung)

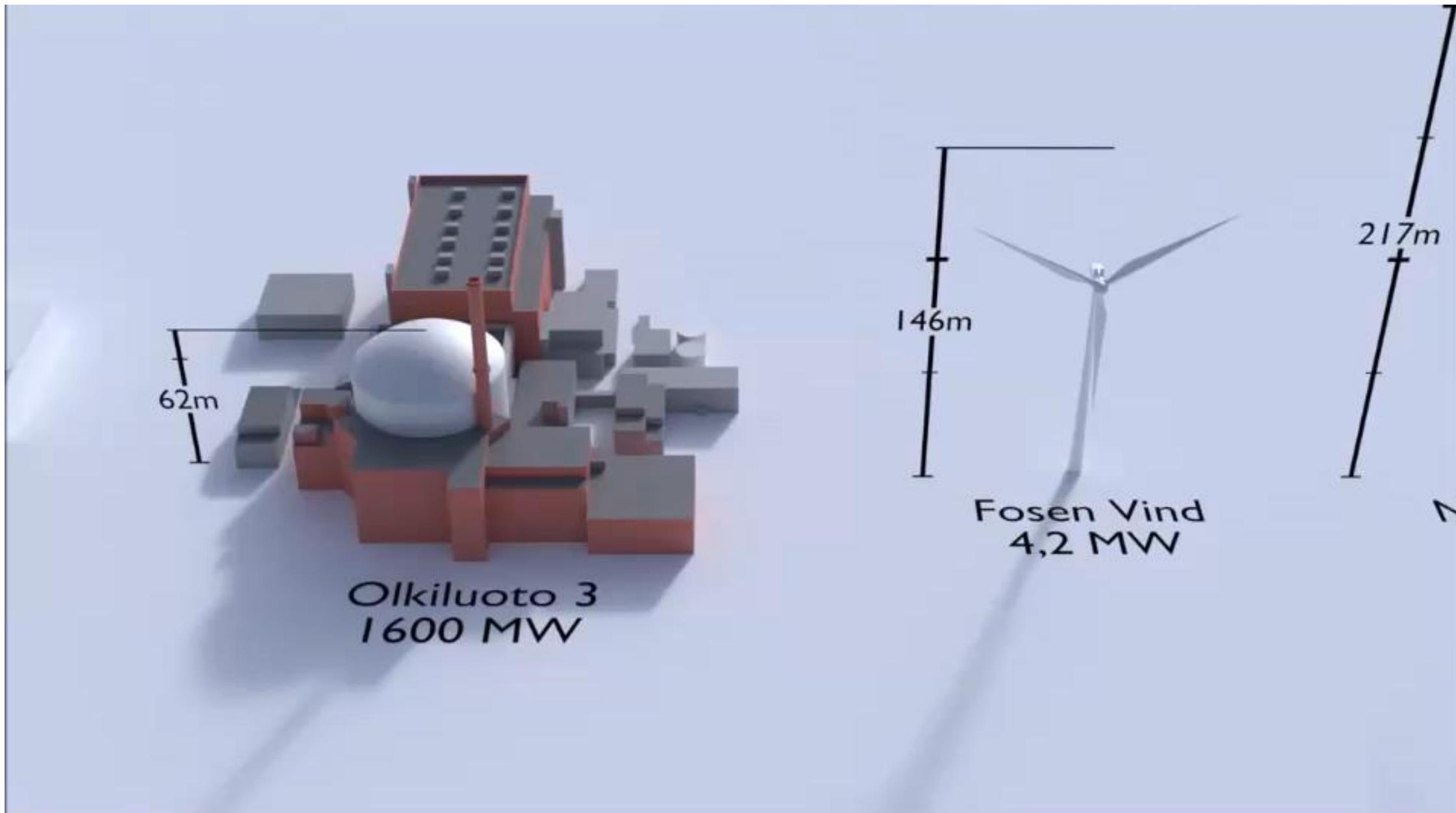
Lifecycle CO₂-equivalent emissions (g/kWh)

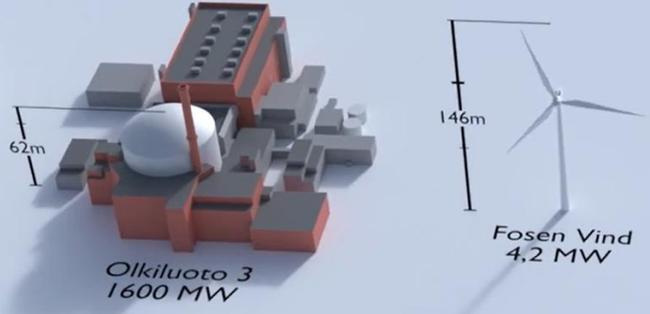


Kernenergie hat die kleinste:

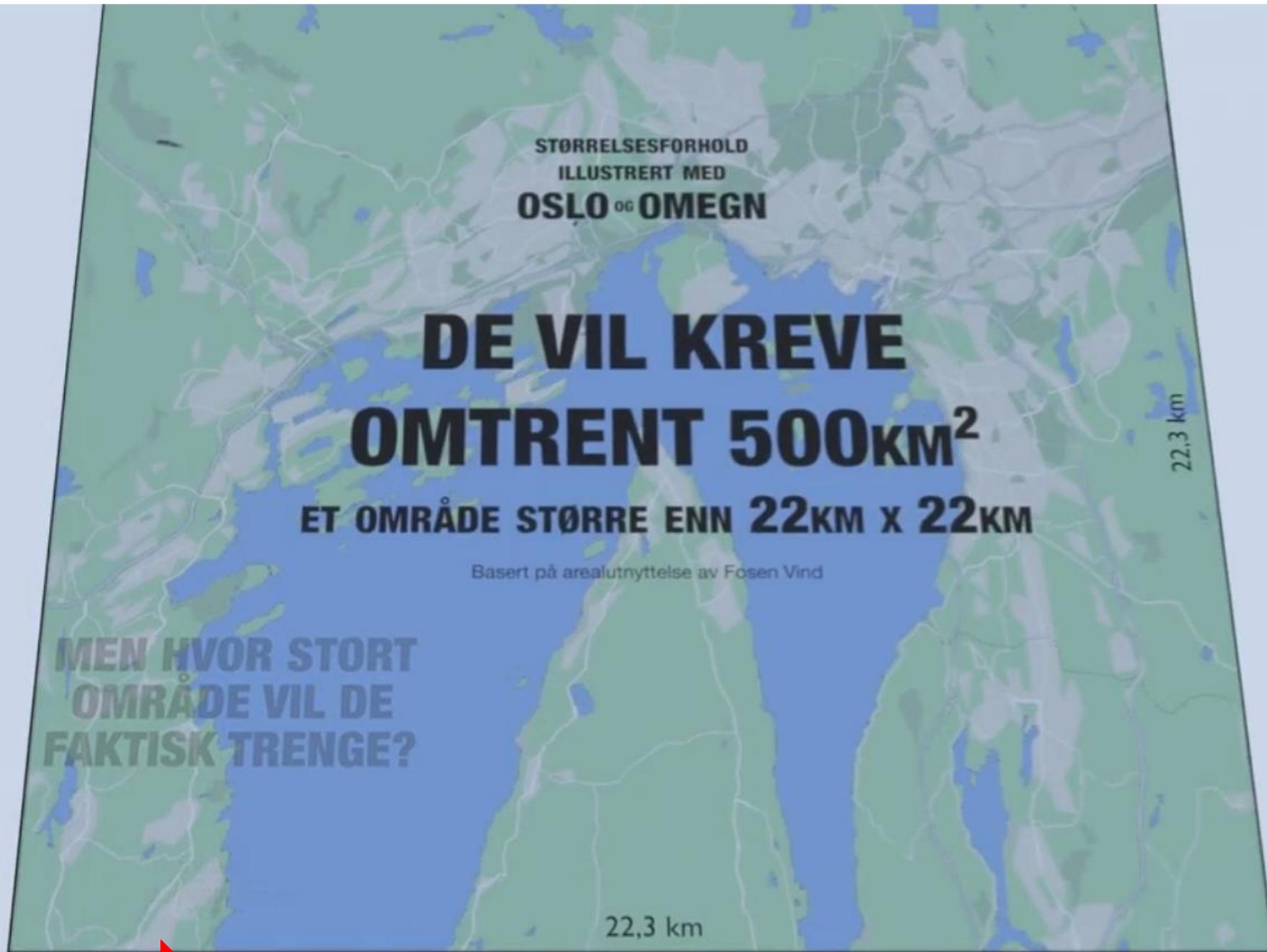
- CO₂-Emissionen
- Stoffströme
- Landbedarf

Es wird von allen internationalen Organisationen als eine der umweltfreundlichsten Energiequellen anerkannt



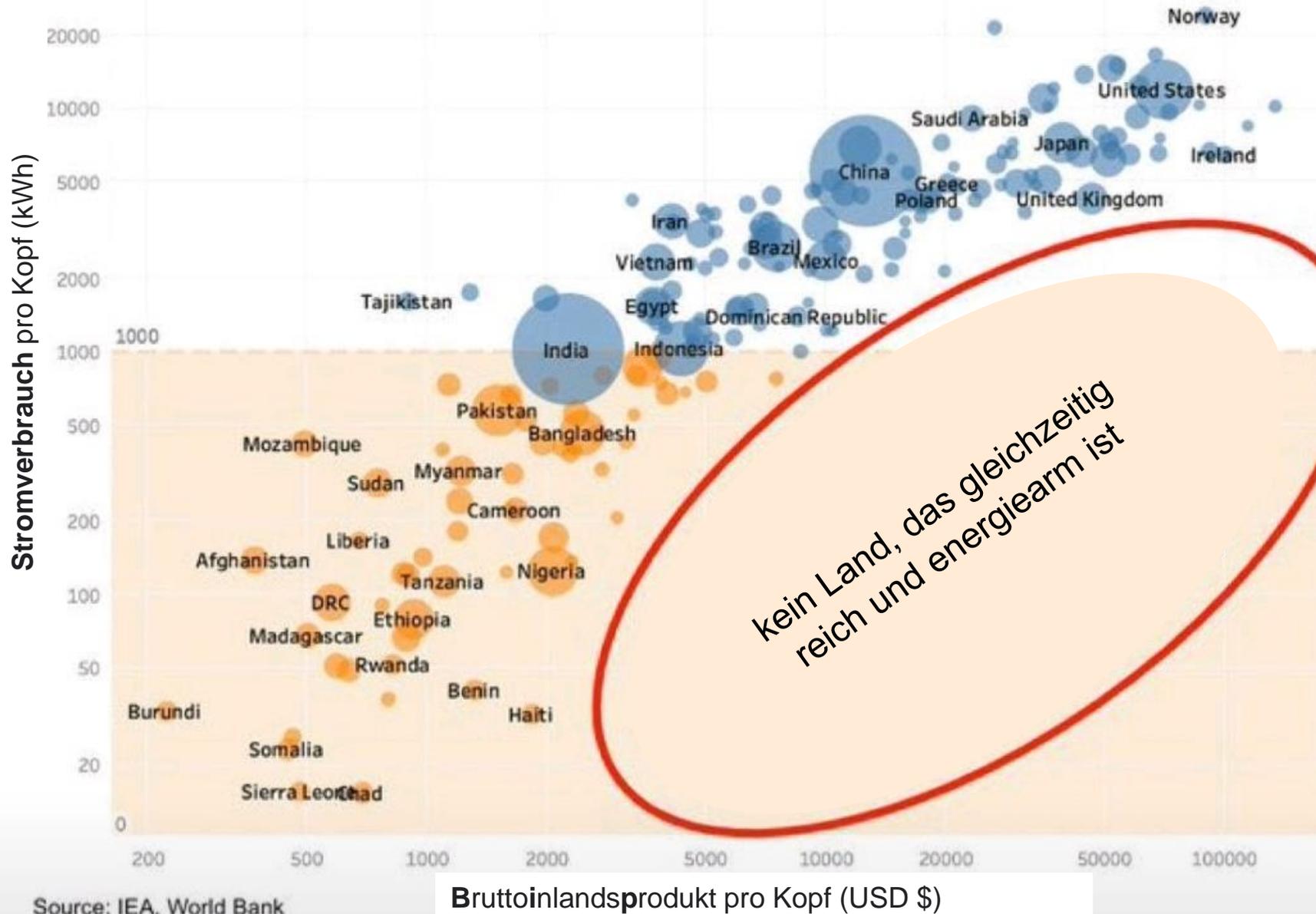


Achtung (!):
bei der Bewertung der
Windenergie wird der
Raum zwischen den
Anlagen nicht in die
Landnutzung einbezogen



KKW

Electricity & Income (per capita, all countries)

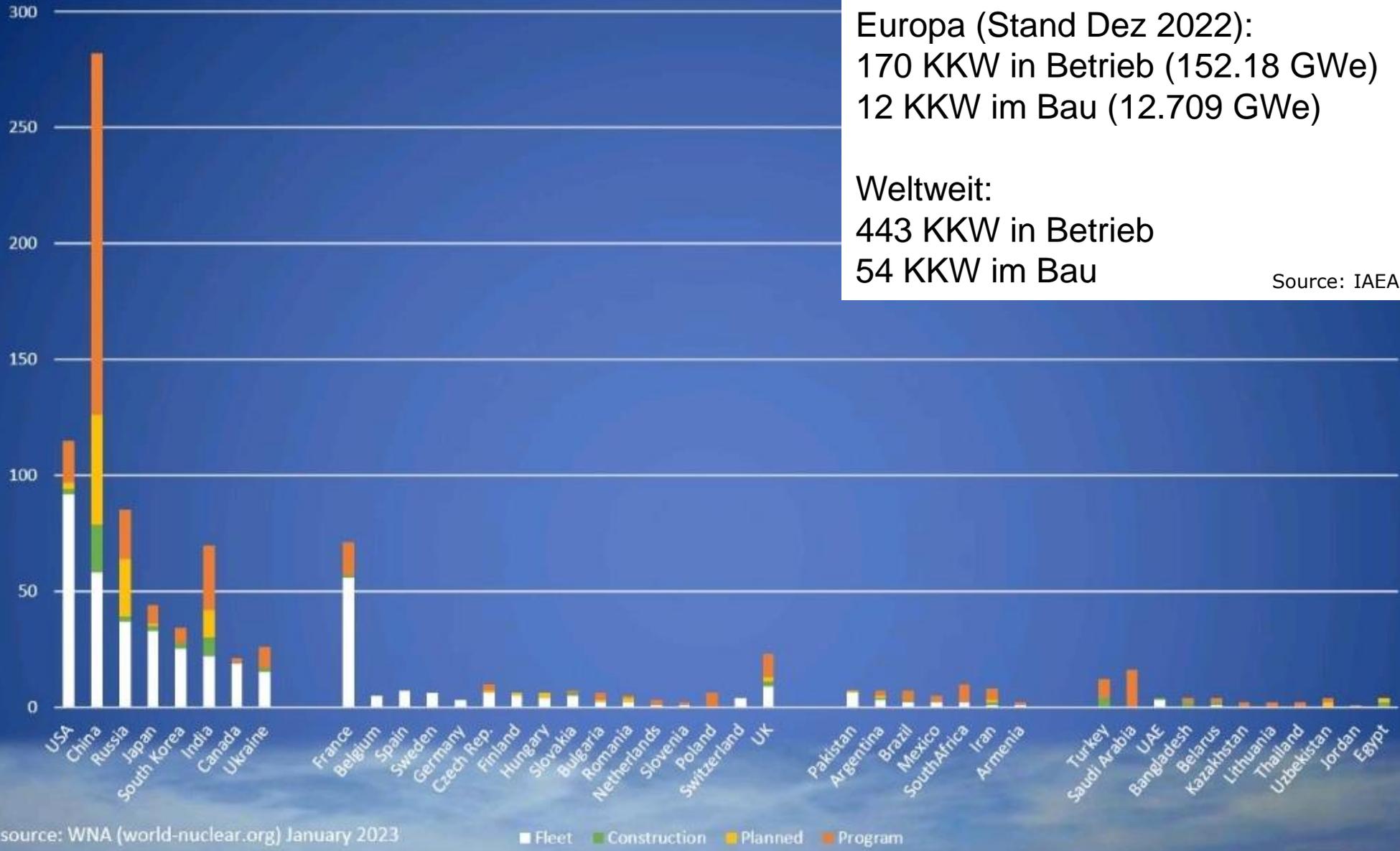


Source: IEA, World Bank

Bruttoinlandsprodukt pro Kopf (USD \$)

Fortschritte in der Kernenergie

Kernenergie Weltweit



Europa (Stand Dez 2022):
 170 KKW in Betrieb (152.18 GWe)
 12 KKW im Bau (12.709 GWe)

Weltweit:
 443 KKW in Betrieb
 54 KKW im Bau

Source: IAEA

source: WNA (world-nuclear.org) January 2023

■ Fleet ■ Construction ■ Planned ■ Program

Kernenergie Weltweit (Europa)

2022 Kernenergie in EU-Taxonomie aufgenommen um Dekarbonisierung zu unterstützen

2022 **Poland:** Plan für 6 neue KKW (Westinghouse/AP1000) um Abhängigkeit von Kohle zu reduzieren. Ab Jahr 2026 beginnen. Erste Reaktor ab Jahr 2033 in Betrieb. Nachfolgende Einheiten werden alle 2-3 Jahre implementiert + Plan 1 KKW mit S. Korea

2022 **Deutschland:** Laufzeitverlängerung 3 verbleibende Kernkraftwerke
Seit dem Ukraine-Konflikt 440 Milliarden Euro für Maßnahmen zur Vermeidung von Stromausfällen und zur Erschließung neuer Energiequellen.

2022 **Niederlande:** Plan für 2 neue KKW mit Betrieb ab 2035. Von Regierung 5 Milliarden Euro Beitrag (von einem Gesamtfonds von 35 Milliarden Euro, der für die Finanzierung der Energiewende vorgesehen ist).

2022 **Tschechien:** Ausschreibung für neues KKW (+ 3 weitere geplant). Bau ab 2024.

2022 **Frankreich:** Pläne für 6 bis 14 neue große KKW sowie SMR (zusätzliche 25 GW bis 2050; > 186 TWh/Jahr)

2023 **Frankreich:** Gesetz zur Senkung des Kernenergieanteils auf 50 % wurde abgeschafft
Senat (239 gegen 16) stimmt für beschleunigten Bau von bis zu 14 neuen KKW

2022 **Rumänien:** Bau 2 KKW (US Finanzierung von 3 Milliarden US-Dollar) bis 2030 abgeschlossen.

2022 (Dez) **UK:** Regierung genehmigt neue KKW (Sizewell C). 2 weitere KKW im Bau (Hinkley Point).

2023 **Belgien:** Verlängerung der KKW-Lebensdauer um 10 Jahre

2023 **Sweden:** Änderungen am Gesetz vorgeschlagen, um nukleare Neubauten zu ermöglichen

Kernenergie Weltweit

2022 (Dez) **Japan:** Pläne für neues KKW im Dezember 2022 von der Regierung veröffentlicht

2022 (Dez) **Saudi-Arabien:** Ausschreibung für KKW-Neubau + Plan für SMR (Südkorea)

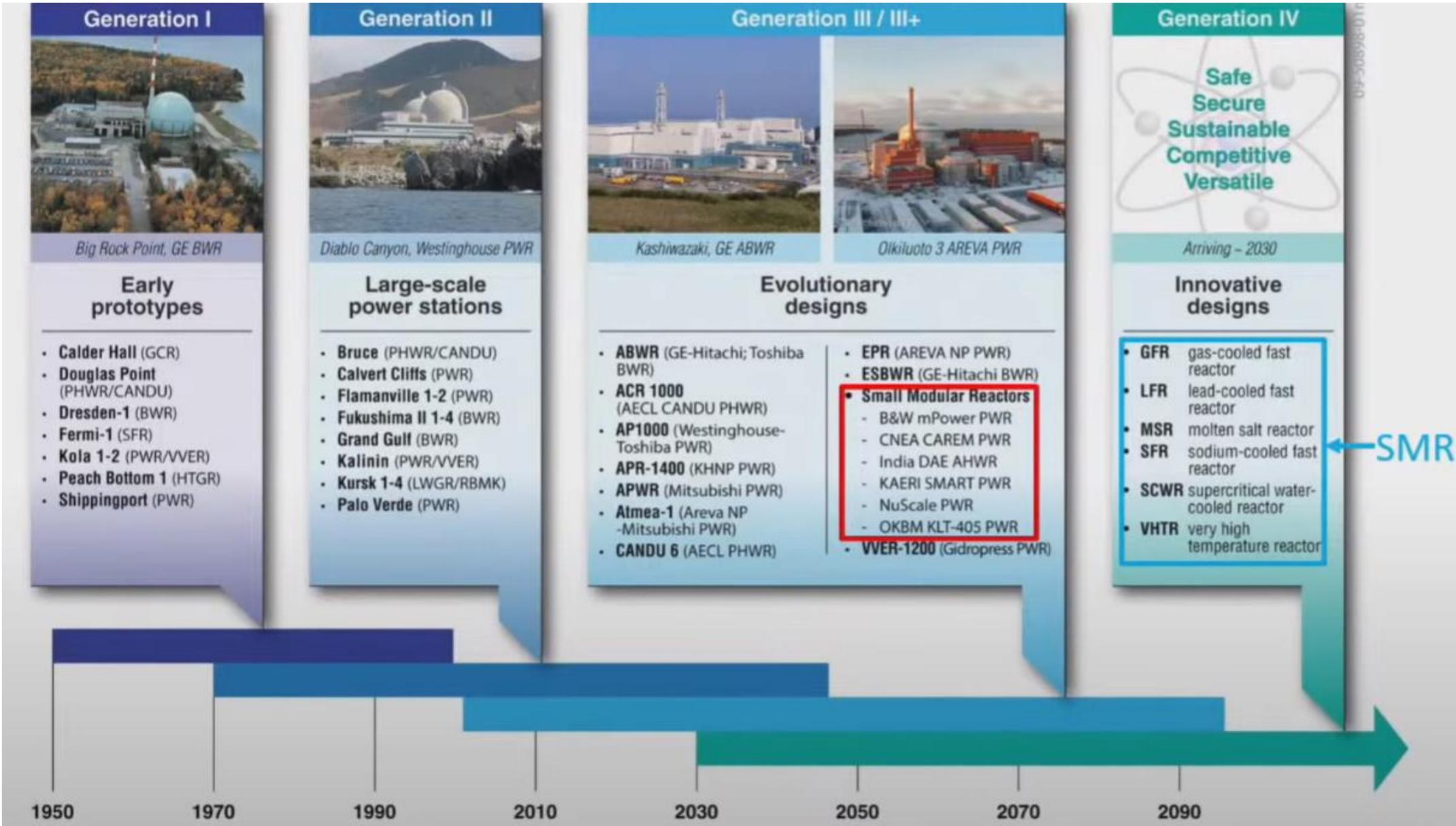
2023 **UAE:** 4 KKW in Betrieb, 5.3 GWe (KEPCO/Südkorea)

2023 **Südkorea:** bis 2036 Kernenergie von 27.4% (Heute) zu 34,6 % der Stromerzeugung.

2023 **USA:** Net-zero nicht möglich ohne Kernenergie. Neue KKW in Betrieb seit 2016.
2 neue KKW im 2022 fertiggestellt, mehrere SMR geplant.

China, Kanada, Indien, enz.

Neue Entwicklungen im Reaktordesign



KKW in der Schweiz gehören zur Gen-II, wurden aber standing nachgerüstet

Neue Entwicklungen im Reaktordesign

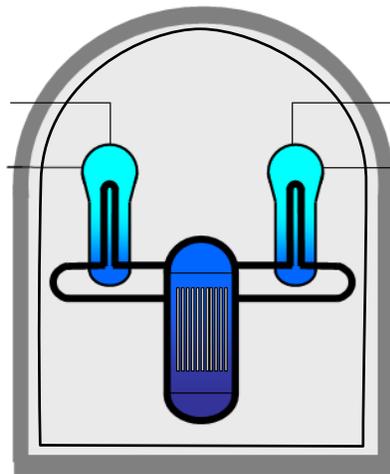


Fukushima Daichi (1971) wurde nicht nachgerüstet

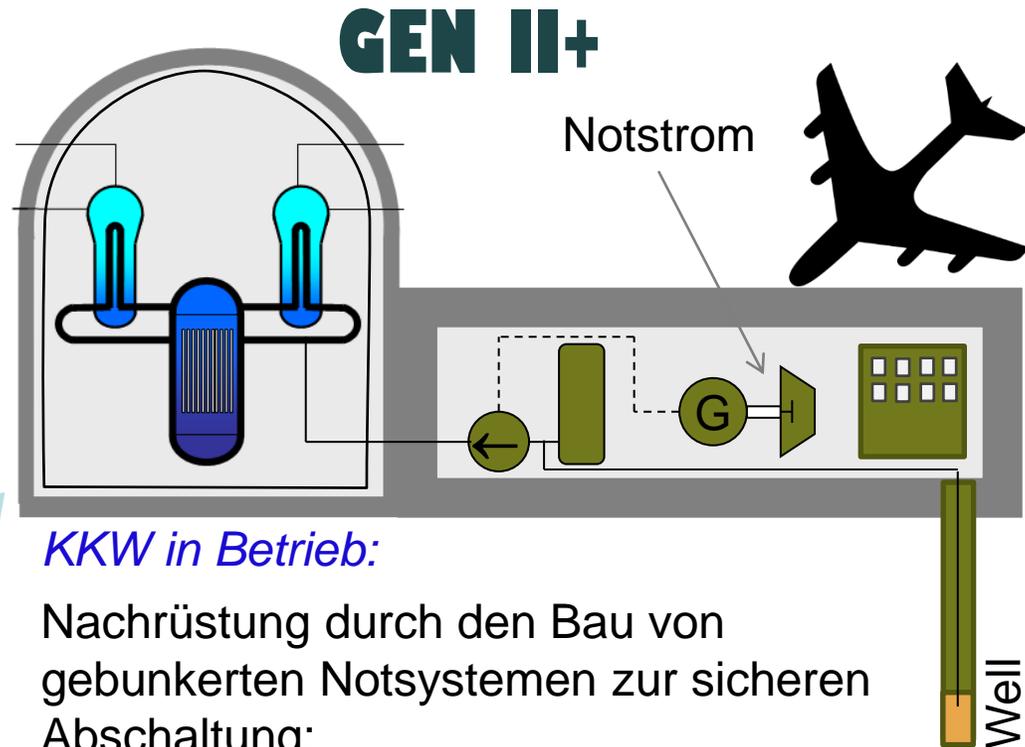
Fukushima-Reaktor nicht mit derzeit auf dem Markt befindlichen KKW vergleichbar

Gen II: Nachrüstmaßnahmen (Schweiz)

...länger vor Fukushima (2011):



KKW wie gebaut
GEN II



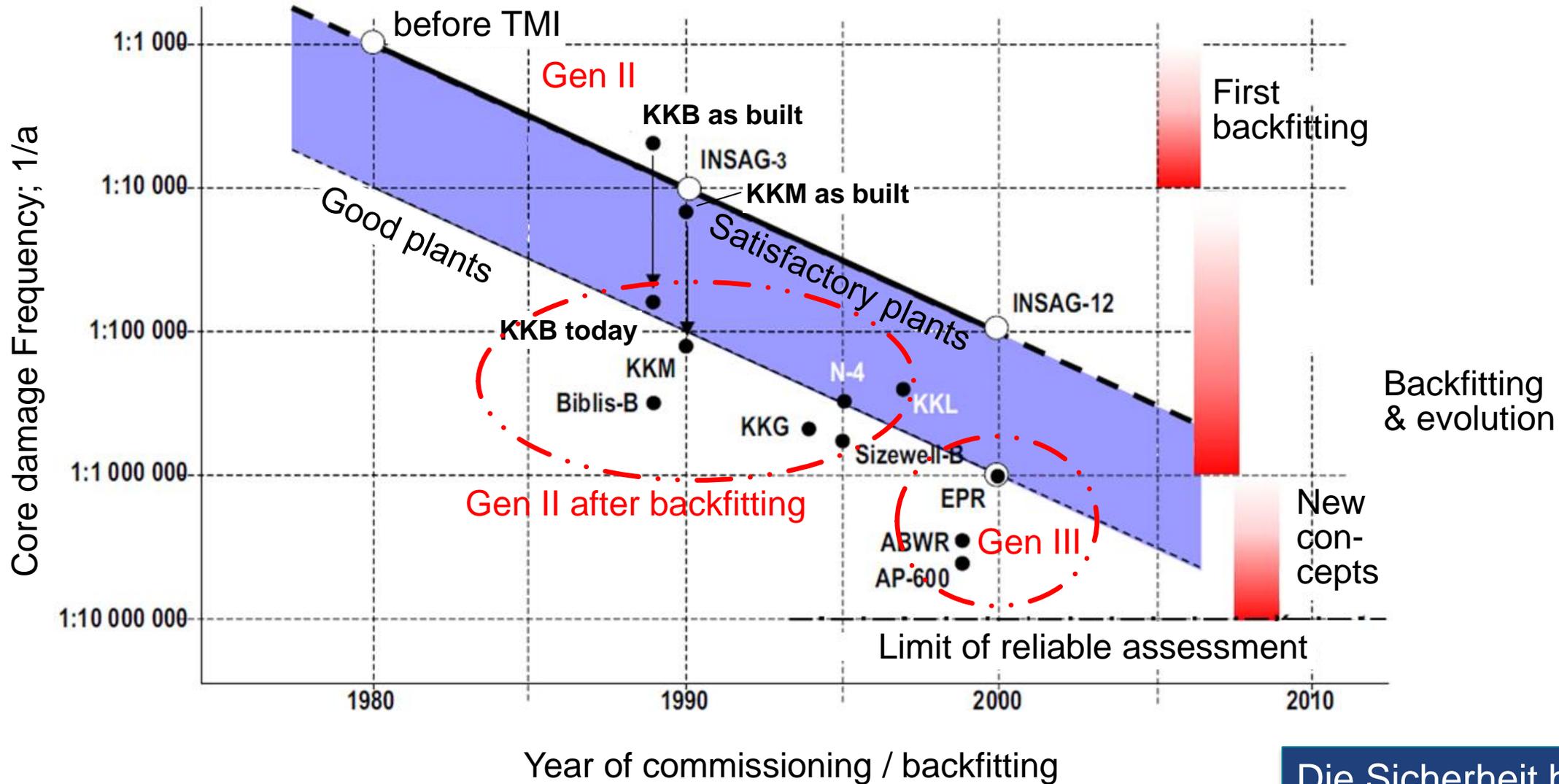
KKW in Betrieb:

Nachrüstung durch den Bau von gebunkerten Notsystemen zur sicheren Abschaltung:

- Flugzeugabsturz sicher
- Erdbebenfest
- Hochwasser geschützt

- + Gefilterte Containment-Entlüftungssysteme (FCVS)
- + Wasserstoffrekombinatoren
- + Injektionsdüsen für ambulante Pumpen
- +

Zuwachs des Sicherheit im Reaktor Design



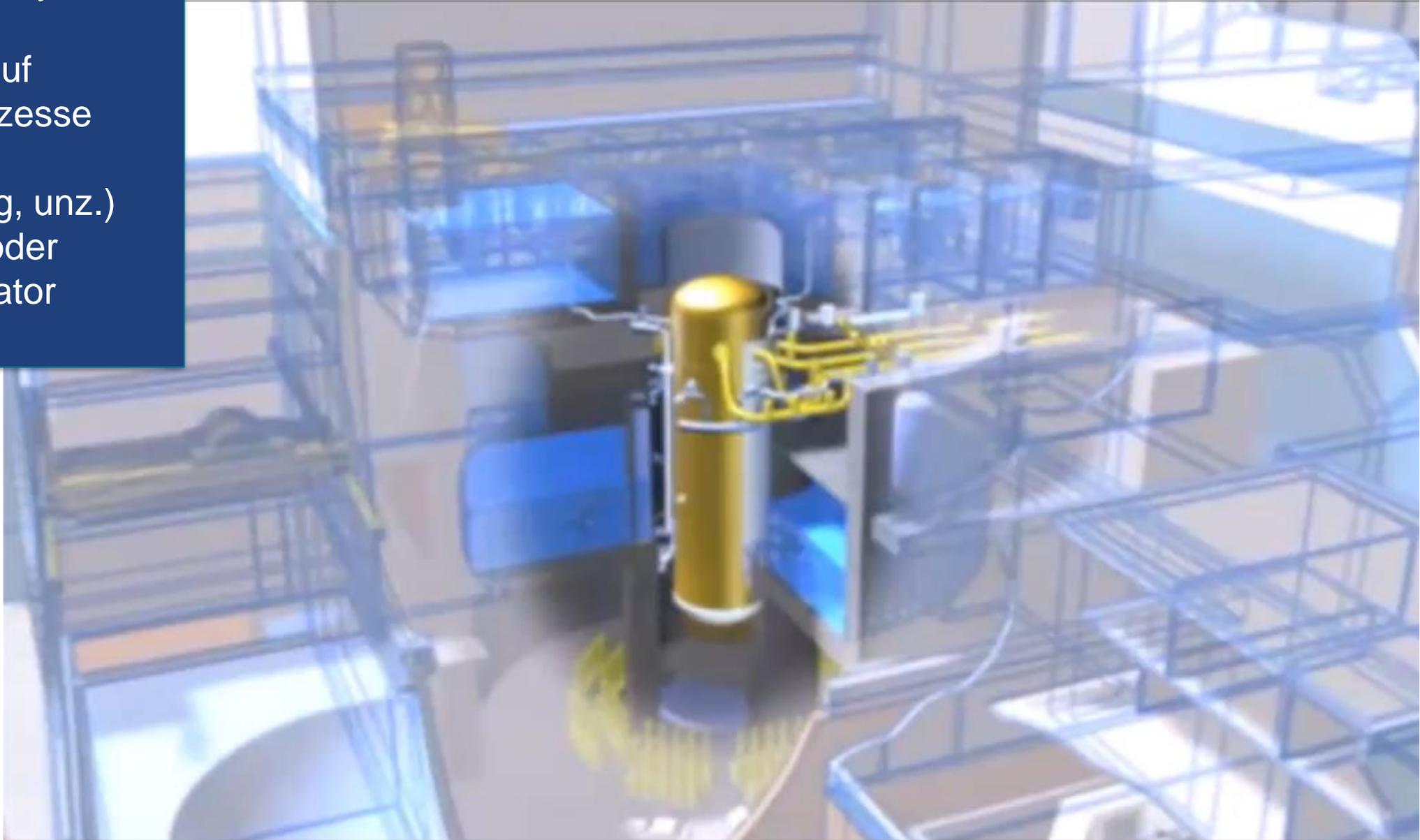
Die Sicherheit hat im Laufe der Jahre kontinuierlich und stark zugenommen

Gen-III+

Passive Sicherheitssysteme:

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

General Electric ESBWR



Neue Entwicklungen im Reaktordesign – GenIII/III+ Philosophie

Notwendigkeit externer Notfallmaßnahmen wird ausgeschlossen

Berücksichtigung von schweren Unfällen/Kernschmelzen direkt im Design => alles bleibt im Containment.

GEN III

Evolutionary Gen III

Revolutionary Gen III+

$\sim 10^{-6} - 10^{-7}$ 1/a

Die Kernschadenshäufigkeit wird durch Verstärkung der aktiven Sicherheitssysteme reduziert

Kernschäden werden deterministisch ausgeschlossen (passive Sicherheitssysteme)

Radioaktiver Freisetzungen werden deterministisch ausgeschlossen

Ausschluss oder Minderung der Folgen unwahrscheinlicher Kernschäden durch Containment

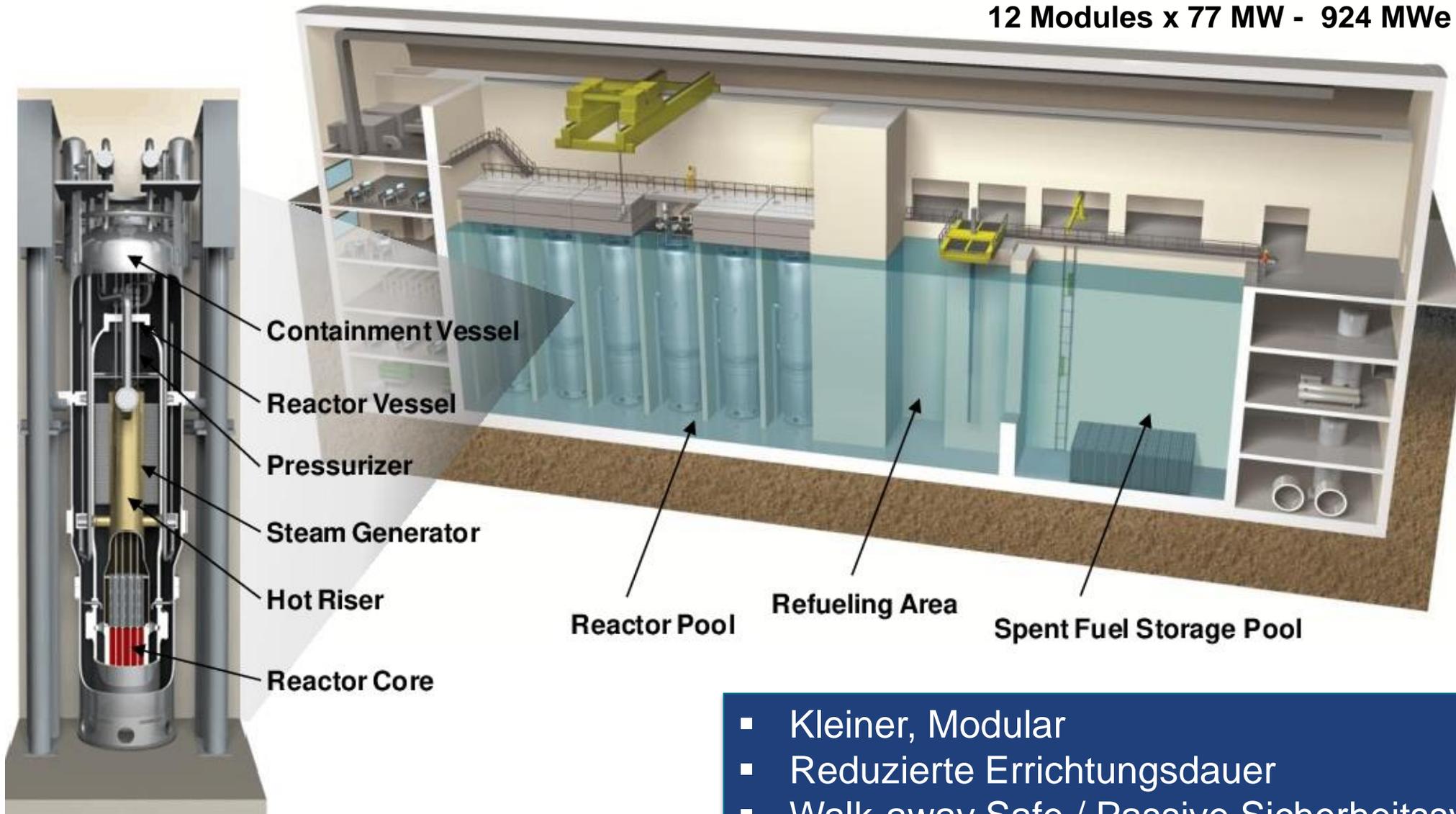
$\sim 10^{-8} - 10^{-9}$ 1/a

Wahrscheinlichkeit einer großen Veröffentlichung (LRF) *sehr klein* but $\neq 0$

Neue Entwicklungen im Reaktordesign

NUSCALE

12 Modules x 77 MW - 924 MWe



➤ US NRC
Genehmigung
seit Aug 2022

➤ In Utah ab
2029

- Kleiner, Modular
- Reduzierte Errichtungsdauer
- Walk-away Safe / Passive Sicherheitssysteme

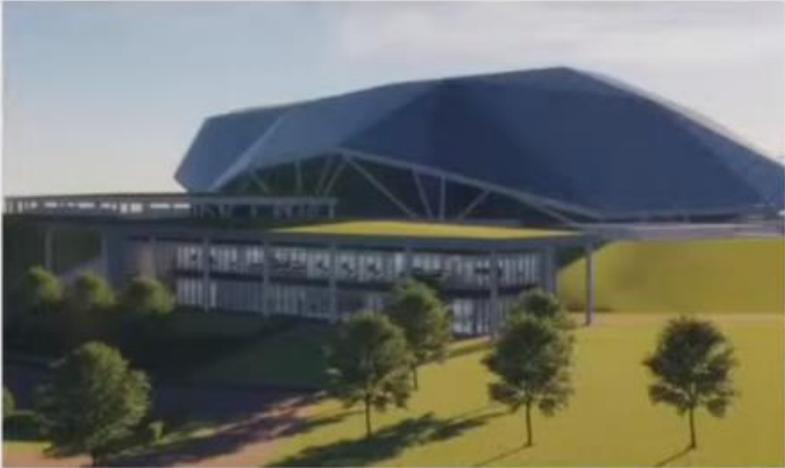
Neue Entwicklungen im Reaktordesign – SMR (kleine modulare KKW)



NuSCALE (6x77 MW), für Utah, ab 2027
LCOE: 65\$/MWh, 3'600 \$/kW installiert



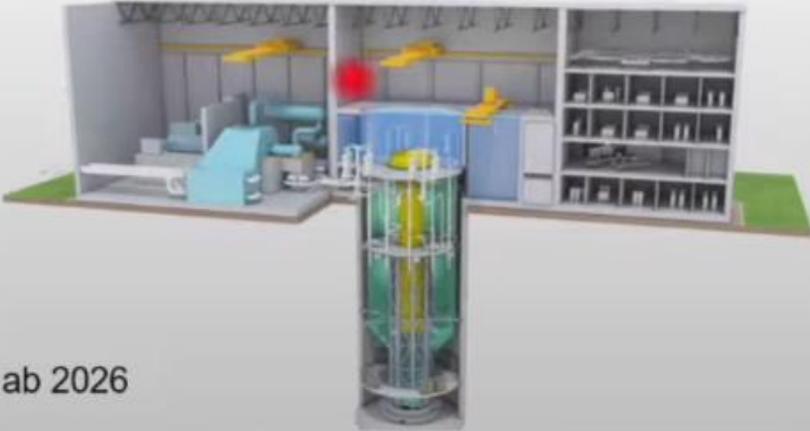
NUWARD (EdF/Technicatome), 170 MW, ab 2030



UK SMR (Rolls Royce), 443 MW, ab 2030



SMART (Korea), 100 MW, Betrieb in Saudi-Arabien ab 2026



BWRX-300 (GE/Hitachi) für Ontario Power, Betrieb ab 2028, mittelfristiges Preistarget: **2'250 \$/kW**



RITM-200 (Russia), Betrieb in Kirgistan ab 2028

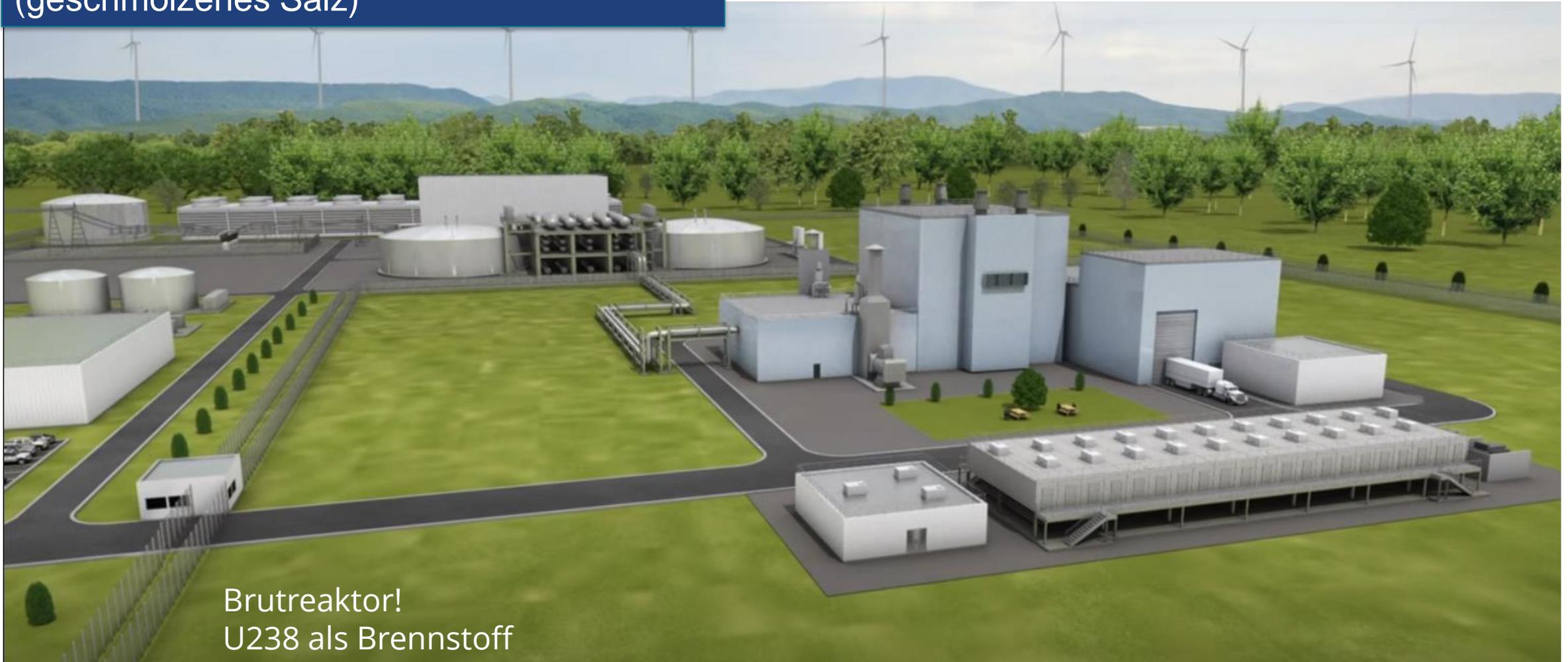
Mehrere SMR gehen bis 2030 in Betrieb / auf dem Markt

Neue Entwicklungen im Reaktordesign (Gen IV – Natrium)

Gen-IV reactor (Sodium-cooled)
KKW mit integriertem Energiespeicher
(geschmolzenes Salz)

Baugenehmigung soll 2023
eingereicht werden (Wyoming)

TERRAPOW – 345 MWe
1 GWh Energiespeicher



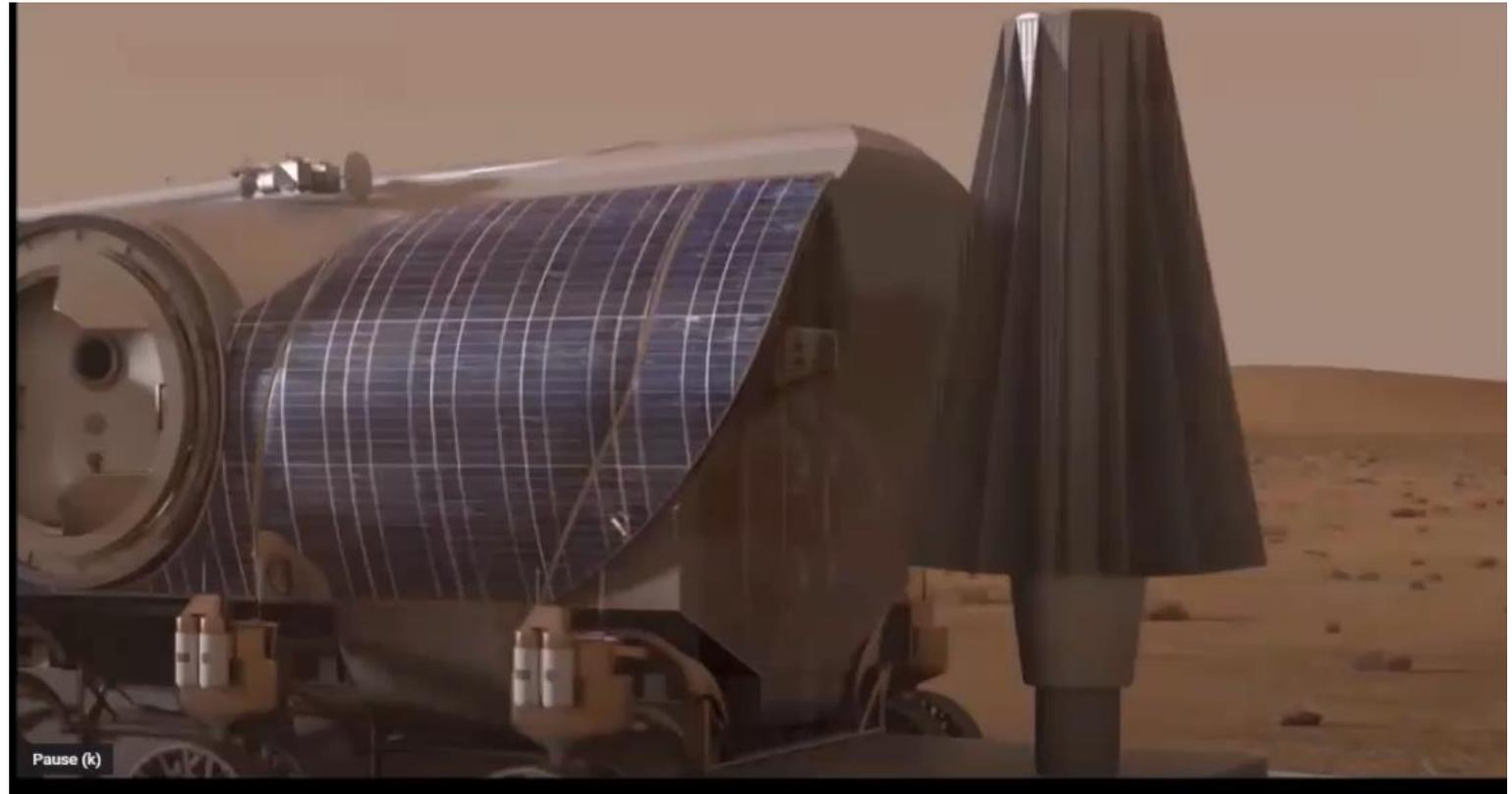
Brutreaktor!
U238 als Brennstoff

Atomkraft für den Weltraum



KILOPOWER – NASA/LANL

Stromerzeugung auf dem MARS



(youtube.com/watch?v=fugONNLb9JE)

SPACE NUCLEAR PROPULSION
for Human Mars Exploration



Von Weltraum zur Erde - Microreaktoren

eVinci Westinghouse



4.5 mal die Leistung von Gondosolar (100,000 m²)



- Walk-away safe
- Kann als Teil des Stromnetzes, unabhängig vom Stromnetz oder als Teil eines Microgrids betrieben werden
- Komplette in einer Fabrik gebaut, und in einem ISO-Container auf LKW transportierbar
- Bis zu 10-12 MWe zur Stromerzeugung und Bereitstellung von Wärme für industrielle Anwendungen
- Stromversorgung abgelegener, ländlicher Gemeinden, die auf Dieselgeneratoren angewiesen sind
- CO₂-freie Energiequellen für Wasserentsalzung, Wasserstoffherzeugung und andere Industrien**

Rohstoffe

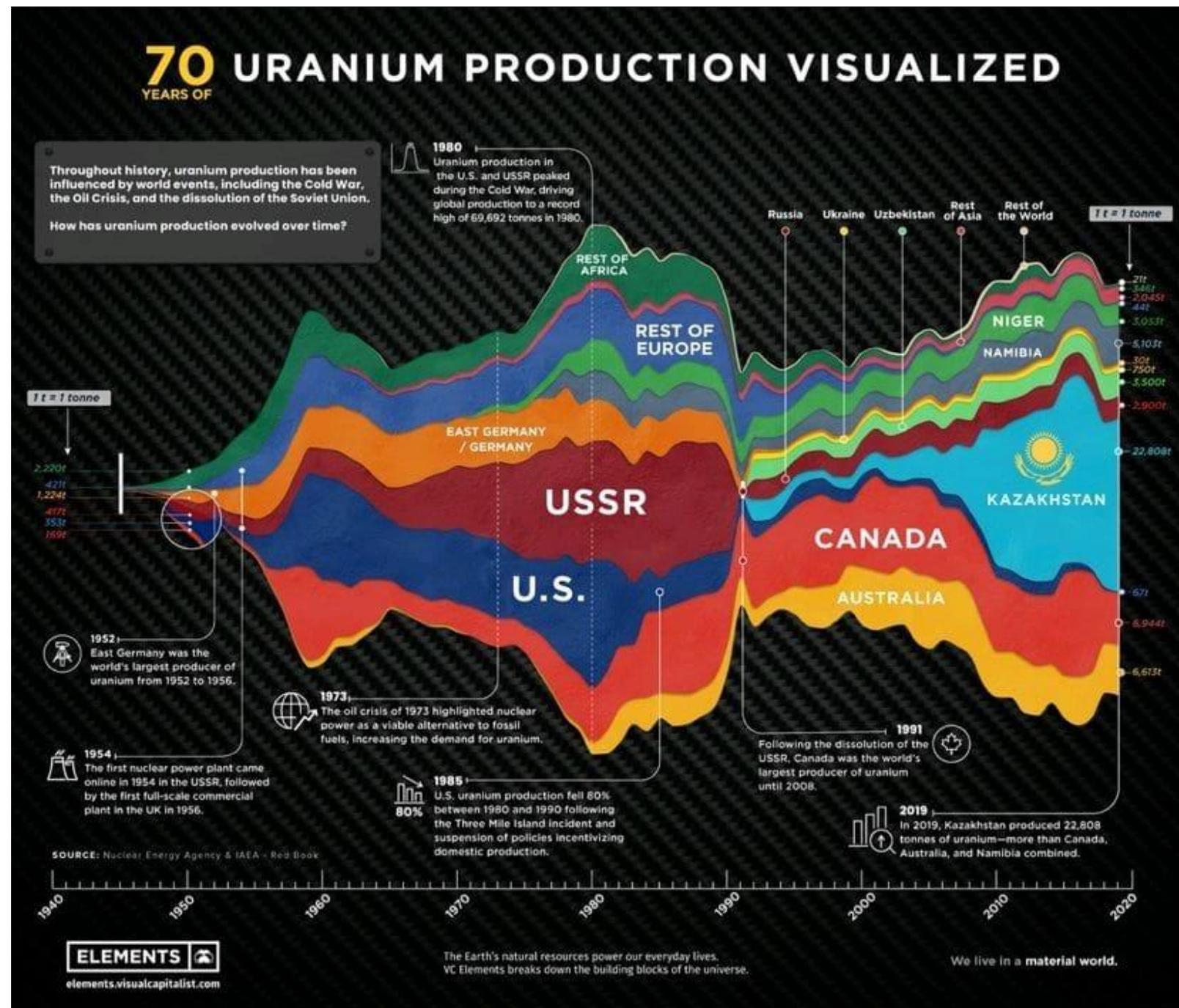
Uran Resources

Largest Uranium producers are:

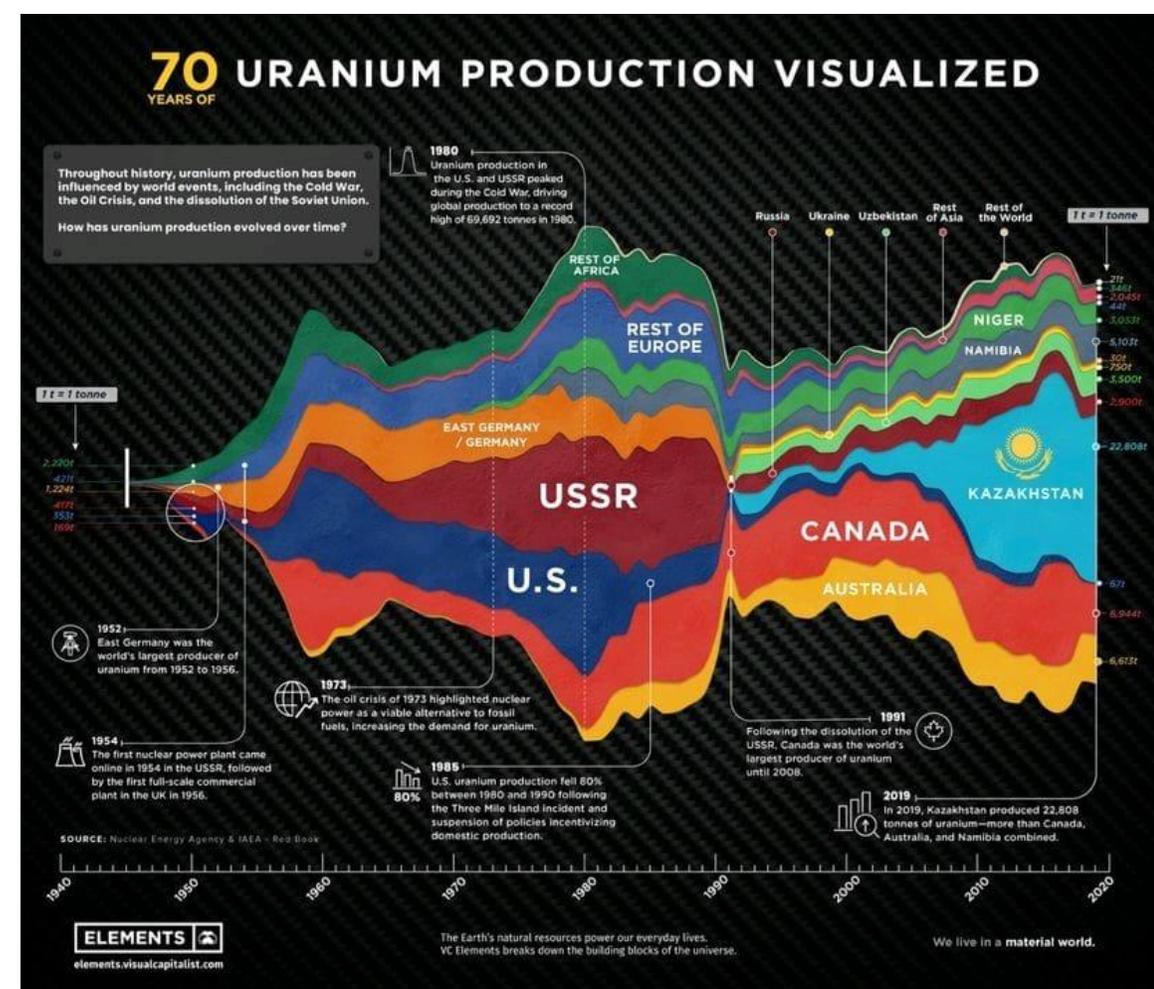
- Kazakhstan
- Canada
- Australia

Uranium is a distributed resource.

Russia in at # 7



Uran Ressourcen



Anreicherungs-kapazität (2018)

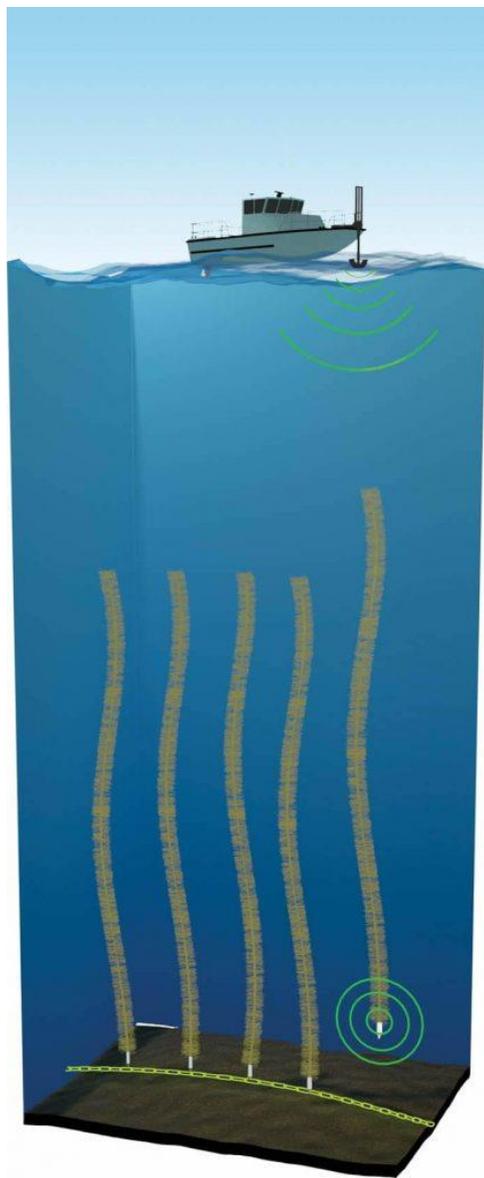
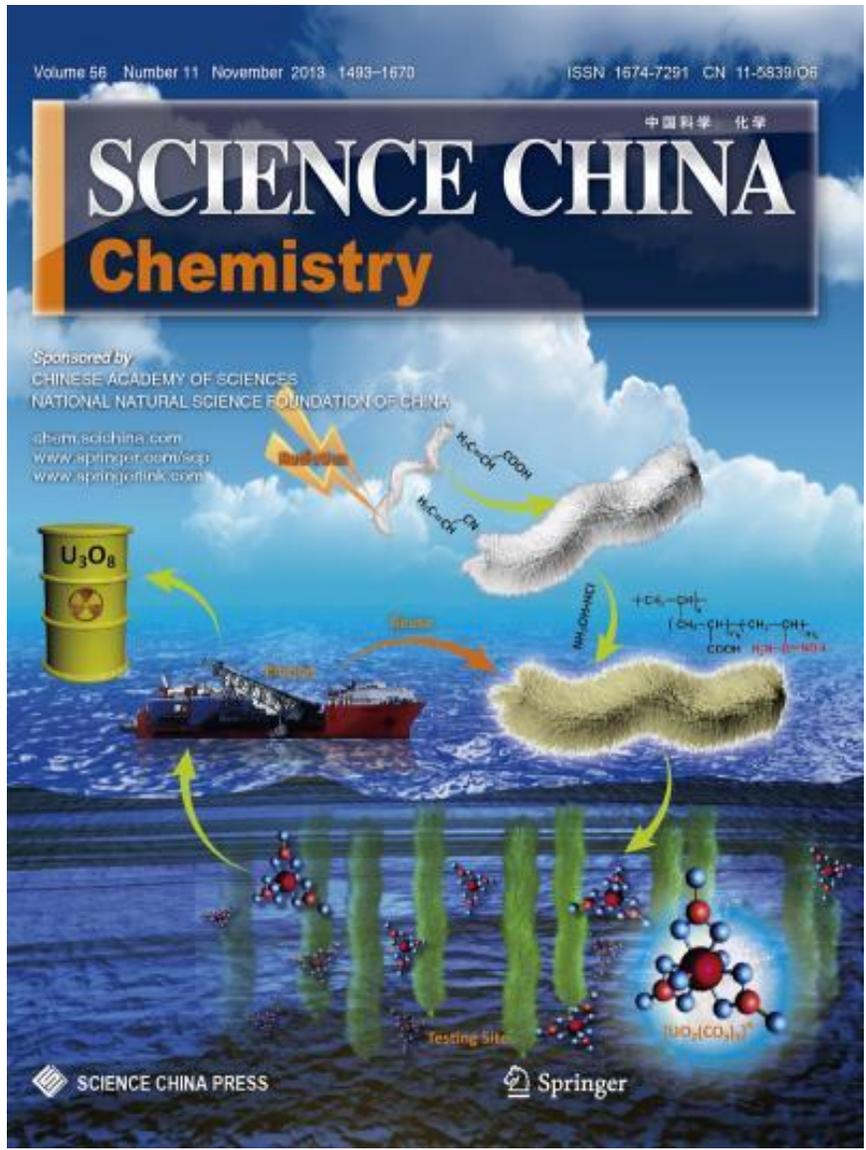
OPERATOR	REGION	CAPACITY (IN SWU, 2018)	MARKET SHARE
CNNC	China	6750	11%
Rosatom	Russia	28215	46%
Orano	France	7500	12%
Cameco	Canada	46	0.08%
Urenco	Netherlands, United Kingdom, Germany, United States	18600	30%

} 42.8%

Source: World Nuclear Association [138].

Ist Kernenergie erneuerbar?

Uran im Meerwasser ist erneuerbar

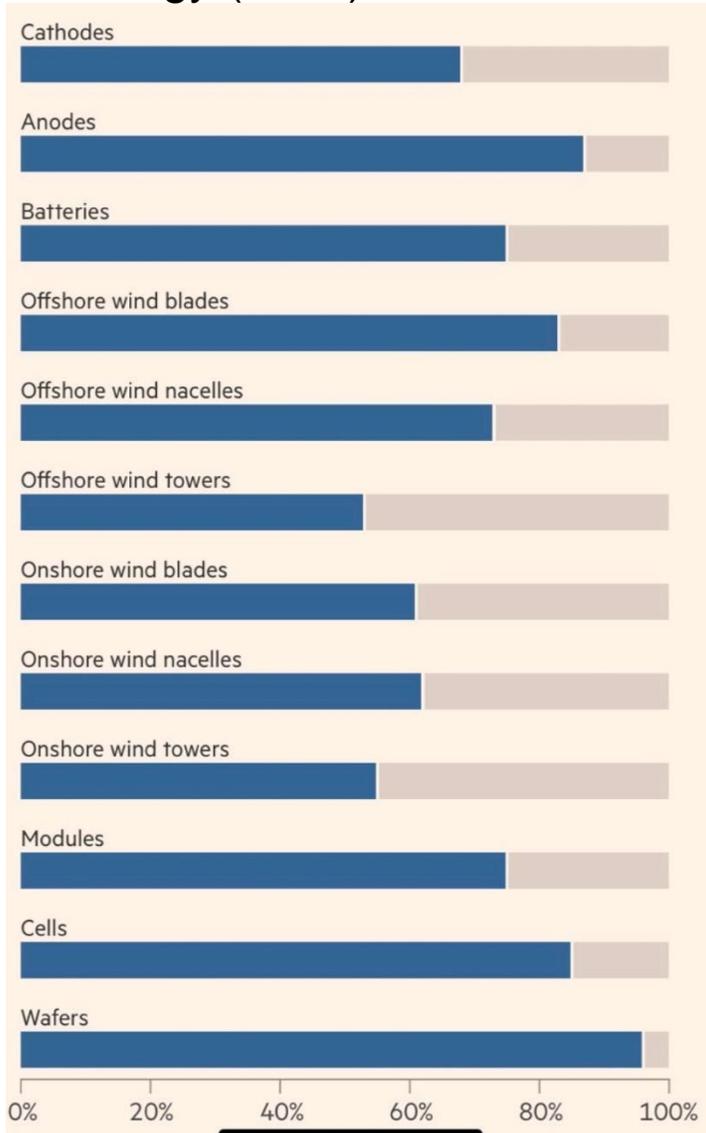


4,5 Milliarden Tonnen Uran im Meerwasser

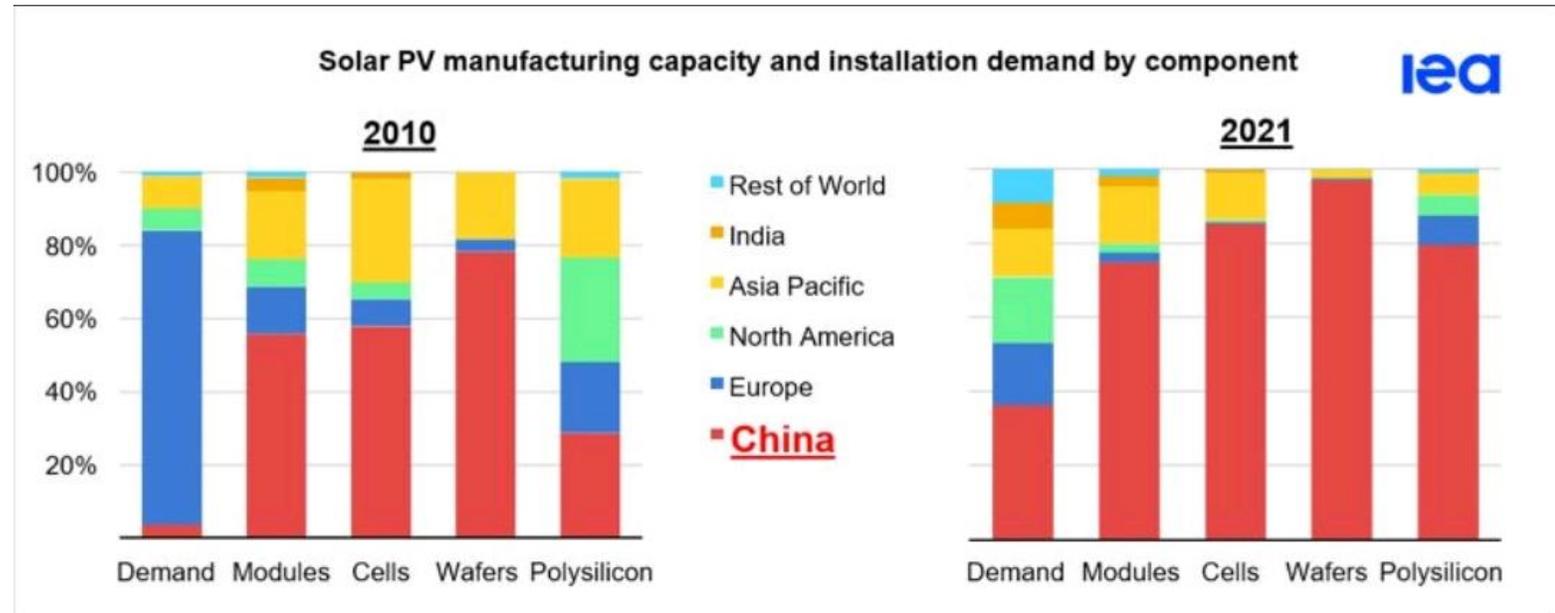
Uran im Meerwasser wird durch stationäre chemische Reaktionen zwischen dem Wasser und uranhaltigen Gesteinen kontrolliert, so dass immer dann, wenn Uran aus Meerwasser extrahiert wird, die gleiche Menge aus dem Gestein ersetzt wird.

Rohstoffe – Wind/Solar

Share of manufacturing capacity by technology (2021)



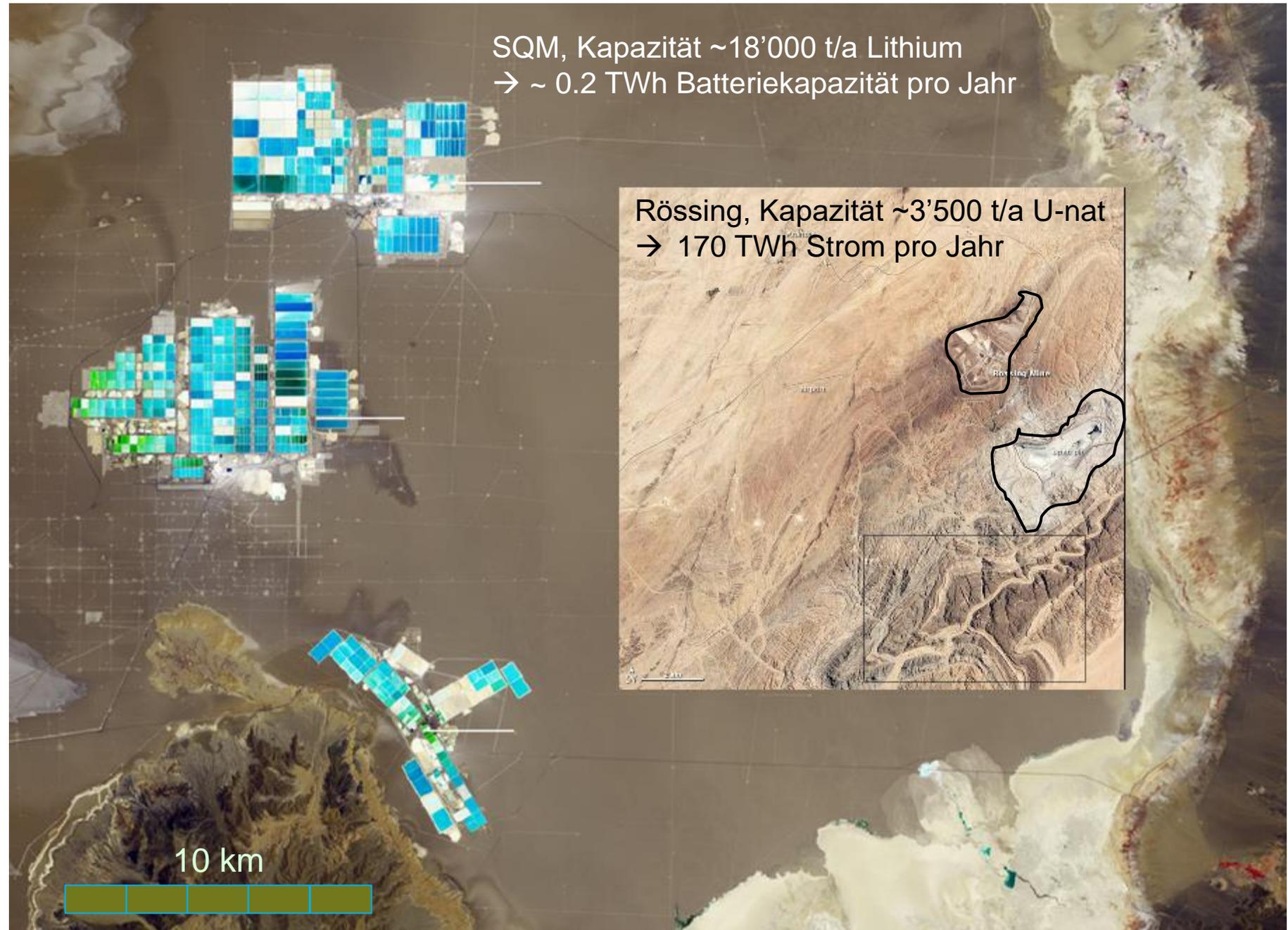
China
Rest of the world



China dominiert die Materialverarbeitung, die für Windkraftanlagen, Sonnenkollektoren und Batterien benötigt wird!

Folgen der Energiedichte: Bergbau

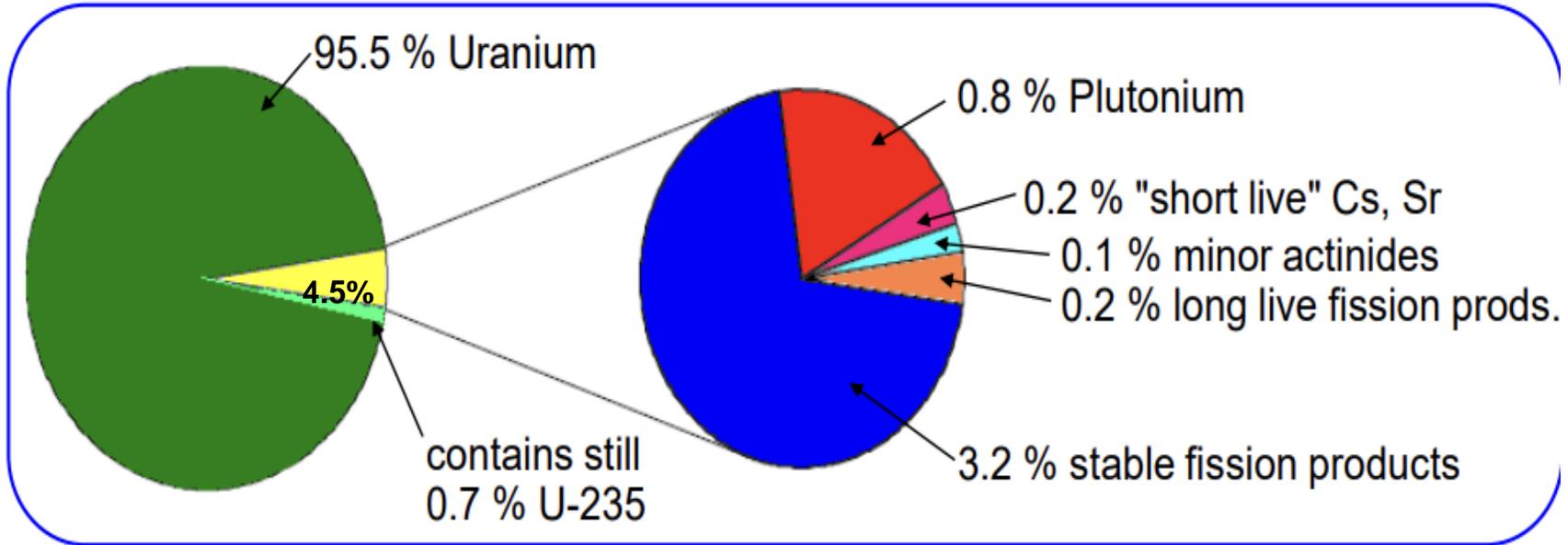
- Uranminen sind vergleichsweise klein, weil der Rohstoff eine hohe Energiedichte hat
- Deshalb fällt der Umwelteinfluss der Minen bei der Ökobilanz der Kernenergie nur wenig ins Gewicht
- Lithiumminen sind vergleichsweise gross
- Die Energie die in den daraus hergestellten Batterien gespeichert wird, muss noch jemand anderes produzieren



ABFALL

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

Zusammensetzung abgebrannter Brennelemente

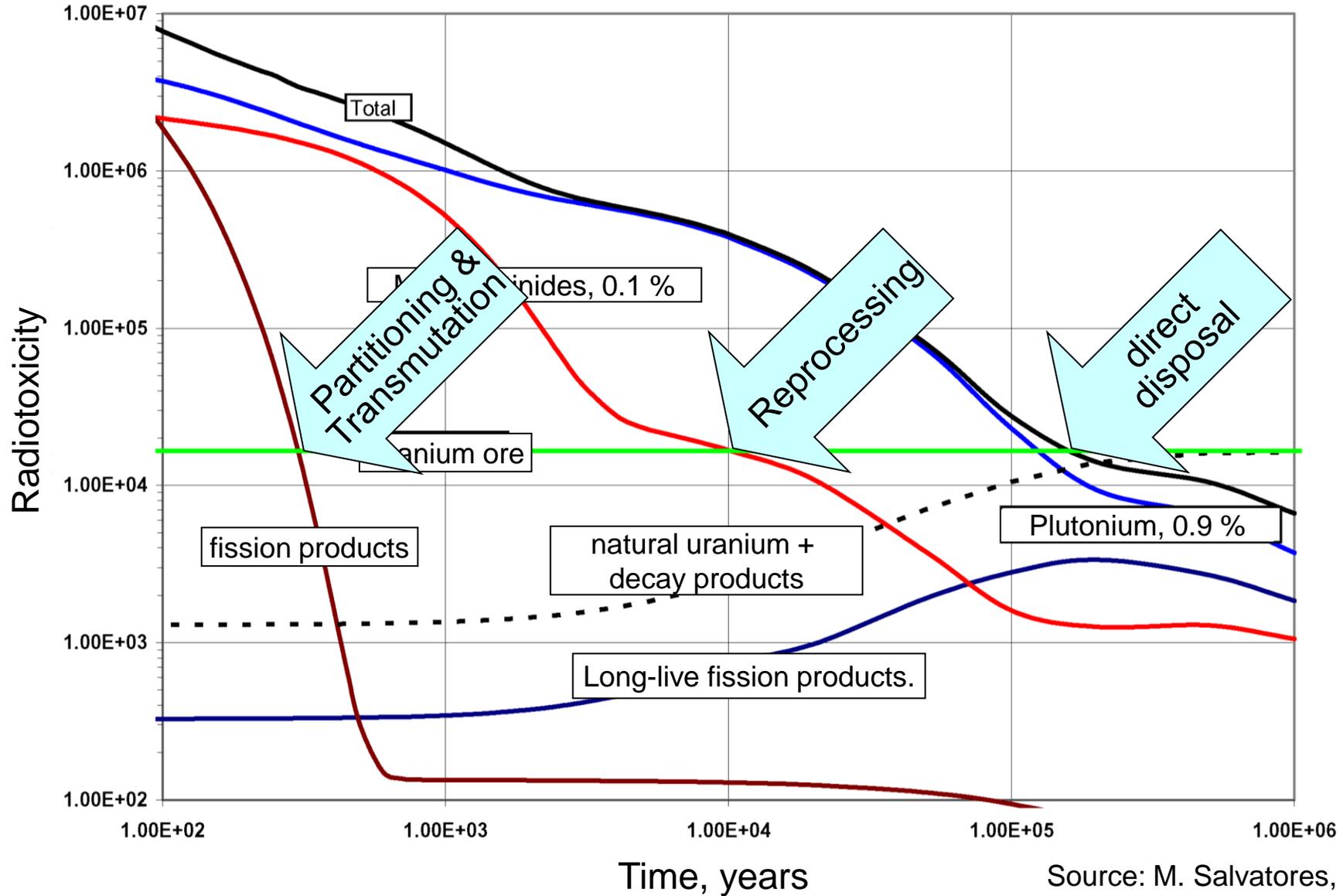


**1,3 % des verbrauchten
Brennstoffs sind
hochradioaktiv**

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

Transmutation

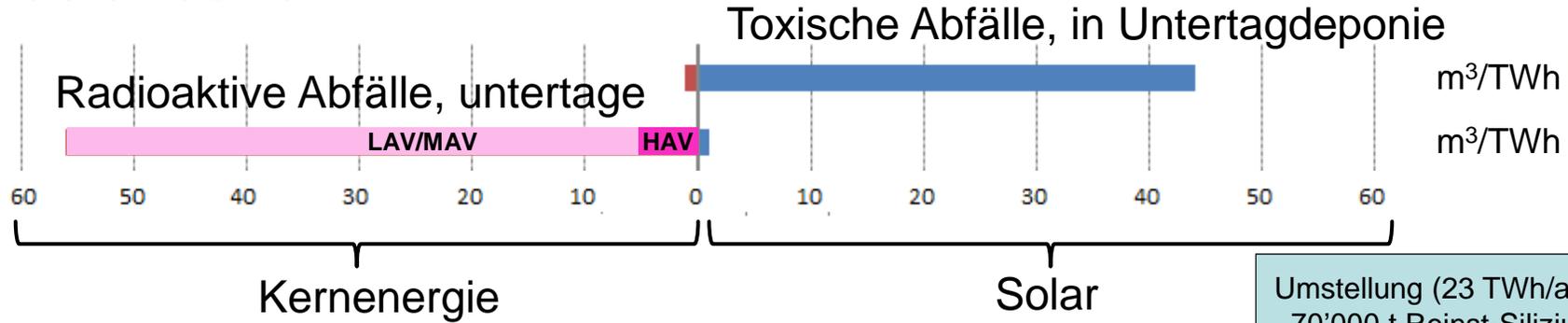
Reduction of radiotoxicity in spent fuel



Source: M. Salvatores, CEA

KE und Erneuerbare

Daten Schweiz: Hirschberg et al., Energiespiegel 20, PSI, 2010



Umstellung (23 TWh/a) →
70'000 t Reinst-Silizium

Dünnschicht-Module: ca. 100 kg CdTe pro MWp, Si-Module: SiCl₄ bei der Fertigung

Achtung: Toxische Abfälle kommen vorrangig aus der Reinstsiliziumproduktion: SeH₂, As(CH₃)₃, Blei, HSiCl₃

Trichlorosilen

BERNREUTER RESEARCH
Polysilicon Market Reports

Polysilicon Solar Industry References About Us **Newsroom**



POLYSILICON NEWS
The Latest on Suppliers, Market
and Technology

Report IEA-PVPS T12-19:2020
Life Cycle Inventories and Life Cycle Assessments of
Photovoltaic Systems

- 170g/m² in Unterirdischen Deponie
- 100,000 m² (Gondosolar) => 10 tons
- 10 * 500 Gondosolar => 5000 tons
(to replace 1 KKW EPR)



Toxische Abfälle (Si-Zellen Erstellung)

**Im Falle einer Freisetzung (from Silicon plant)
Evakuierung und shelter-in-place**

Home ▶ Newsroom ▶ Polysilicon News ▶ Article

After the explosion at GCL: Why a safety program is necessary

Endlager

Deponie innerhalb 300 m
Salzschicht.

Herfa-Neurode, DE
Chemische Toxische Abfälle



Abfall im Tiefenlager:

Radioaktiv ↔ Chemisch-toxisch

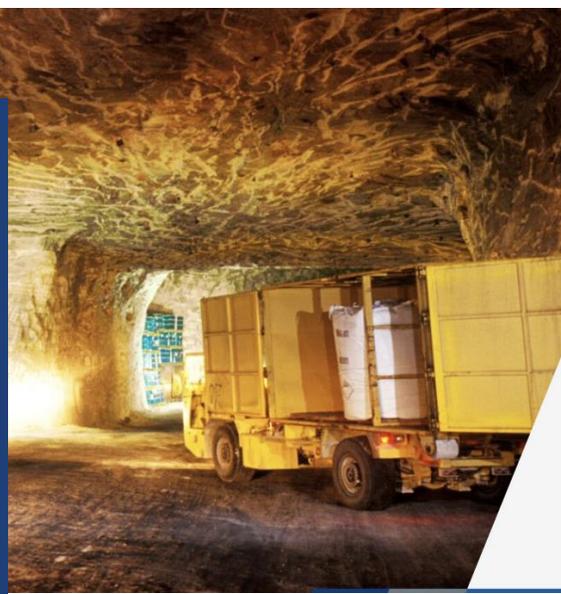
- Unterschiedliche Schädigungsmechanismen (chemisches Gift, interne Strahlenwirkung)
- Vergleichbare Wirkung im Organismus (akut giftig bzw. krebserregend)
- Identischer Ausbreitungs- und Expositionspfad (über Nahrungsketten und Trinkwasser)
- Toxizität fällt mit der Zeit ab
- Status: Starke Opposition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

Endlager

Deponie innerhalb 300 m Salzschieht.

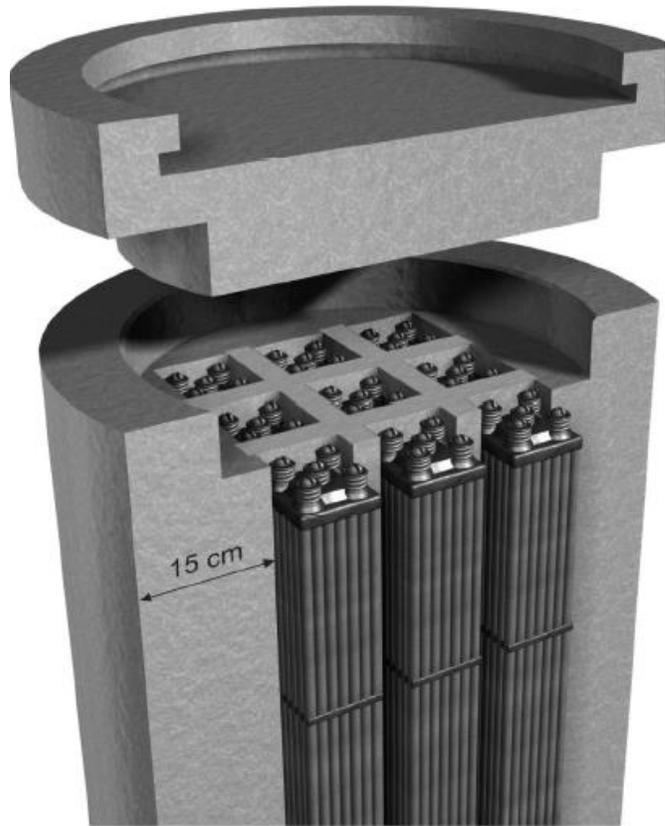
Herfa-Neurode, DE

Chemische Toxische Abfälle



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

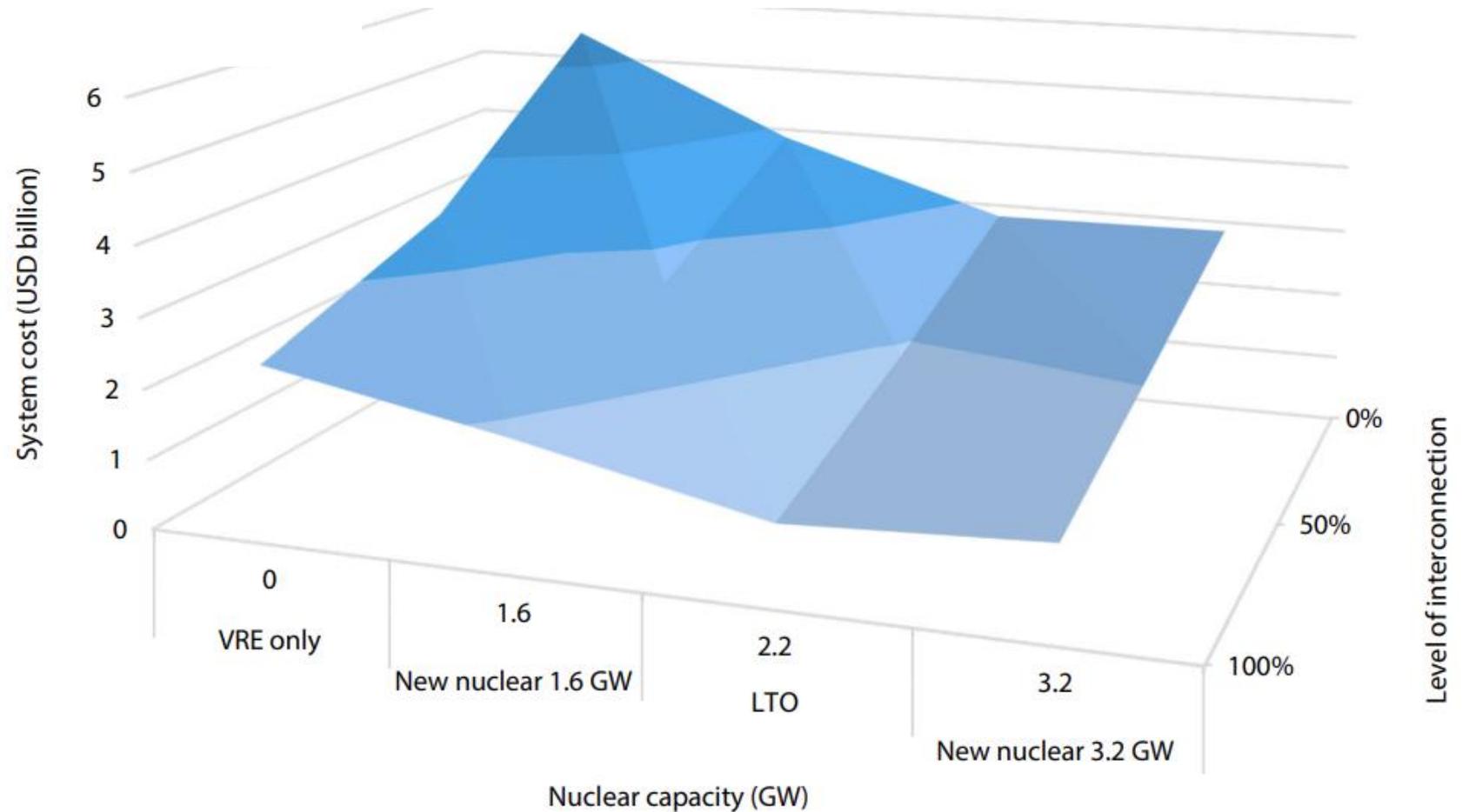
Achieving Net Zero Carbon Emissions in Switzerland in 2050

Alle Kosten inbegriffen

Ergebnisse Studie der OECD
(Oktober 2022):

Ersatz des Schweizer KKW
mit neue KKW führt zu einer
billigeren Option und mehr
Unabhängigkeit von Europa.

Alle Kosten inbegriffen



Kernenergie – dauert zu lange und kostet zu viel (?)



APR-1400 (KEPCO) in UAE

Beginn: 2012

4 x APR-1400 (5.3 GWe) in 10 Jahre

\$24 Milliarden Total Kosten

42 TWh/Jahr

**1 APR-1400 (\$6 Milliarden) = 457 Gondosolar
20 Milliarden CHF
ohne Speicherung und
Hochspannungsleitungen**

Innerhalb von 10 Jahren hat KEPCO (Südkorea) 4 große KKW für insgesamt 5,3 GWe gebaut und \$24 Milliarden Total Kosten.

25 TWh/Jahr => 1000 Gondosolar
Kosten: 45 Milliarden CHF (ohne Speicherung und Hochspannungsleitungen!)

25.3 TWh/Jahr => 2 x EPR (1600 MW)
Kosten: 26 Milliarden CHF (mit Verzögerung und Preiserhöhung)
UK Hinkley Point C

Statements in the news

Strom für 740 Vierpersonen-Haushalte

Aus Staumauer wird 10'000-Quadratmeter- Solaranlage

Die längste Staumauer der Schweiz soll zu einer riesigen Solaranlage werden. 740 durchschnittliche Vierpersonenhaushalte verbrauchen könnten ein Jahr lang von der Produktion leben – aber ein Detailhändler hat den Strom für 20 Jahre gekauft.

Publiziert: 22.01.2021 um 11:03 Uhr | Aktualisiert: 22.01.2021 um 11:34 Uhr

Ohne Berücksichtigung der Kosten von

- Backup/Speicherung
- Hochspannungsleitungen

From the article:

Der normale Verkauf des Stroms nicht rentabel ist», erklärt Axpo-CEO Christoph Brand.

Das heisst, der Detailhändler bezahlt mehr «als das heutige Marktniveau», wie Denner-Chef Mario Irminger sagt.

Der Axpo-Chef weist mehrmals darauf hin, dass sie vom Bund erwarten bessere Rahmenbedingungen für den Bau solcher Anlagen wünschen, damit diese rentabel betrieben werden könnten.

«Auf Sponsoring-Basis, wie mit Denner, können wir keine Energiewende schaffen».

Statements in the news

ALPIQ webpage



Press release
7 February 2022

Gondosolar: Project for the construction of Switzerland's largest photovoltaic installation in the Valais Alps

Gondo-Zwischbergen / Brig – Plans are being drawn up to build Switzerland's largest photovoltaic installation above the Valais village of Gondo. Thanks to its optimal location at over 2000 metres above sea level, Gondosolar will produce around 23.3 million kilowatt-hours of electricity per year – more than half of

A comprehensive feasibility study ultimately concludes that the project is not only environmentally and technically feasible, but also economically viable, provided that the federal parliament enacts the subsidy model and Gondosolar receives the maximum subsidy of 60%. Gondosolar has the potential to become a showcase project for the energy transition with an impact beyond the country's borders.

NZZ, Januar 2023

Das Stromnetz ist am Anschlag

Drohender Engpass bei der Energiewende

Solarpanels und Wärmepumpen sollen die Abhängigkeit von fossilen Energieträgern rasch verringern. Der Stromkonzern BKW weist darauf hin, dass das heutige Verteilnetz nicht darauf ausgelegt ist.

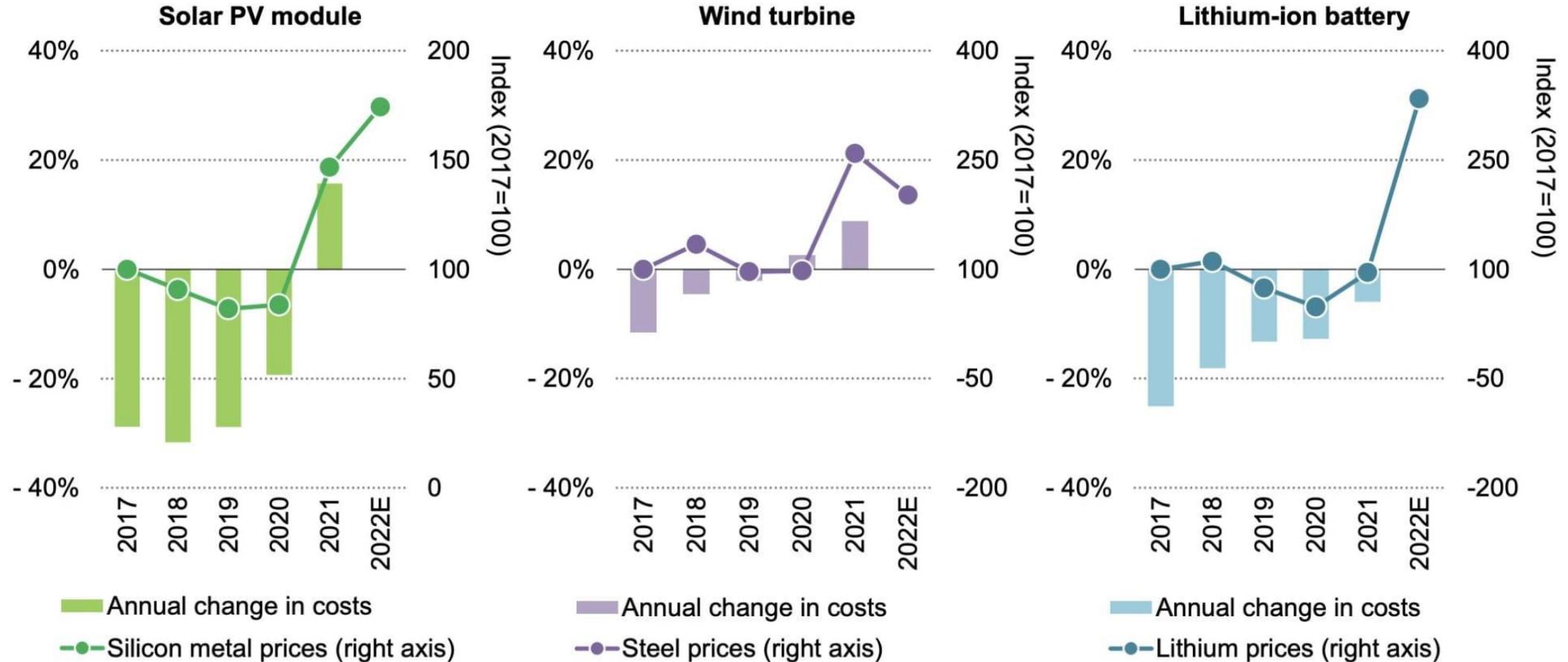
Christoph Eisenring

Schweizer kaufen massenhaft Elektroautos und installieren so viele Wärmepumpen wie noch nie. Dadurch verringert man zwar die Abhängigkeit von Erdöl sowie Erdgas und kommt der Klimaneutralität näher. Aber es droht ein gravierendes Problem: Hält

Rohstoffe – Wind/Solar/Batterien - Kosten

Critical minerals threaten to reverse the trend of declining costs for clean energy technologies

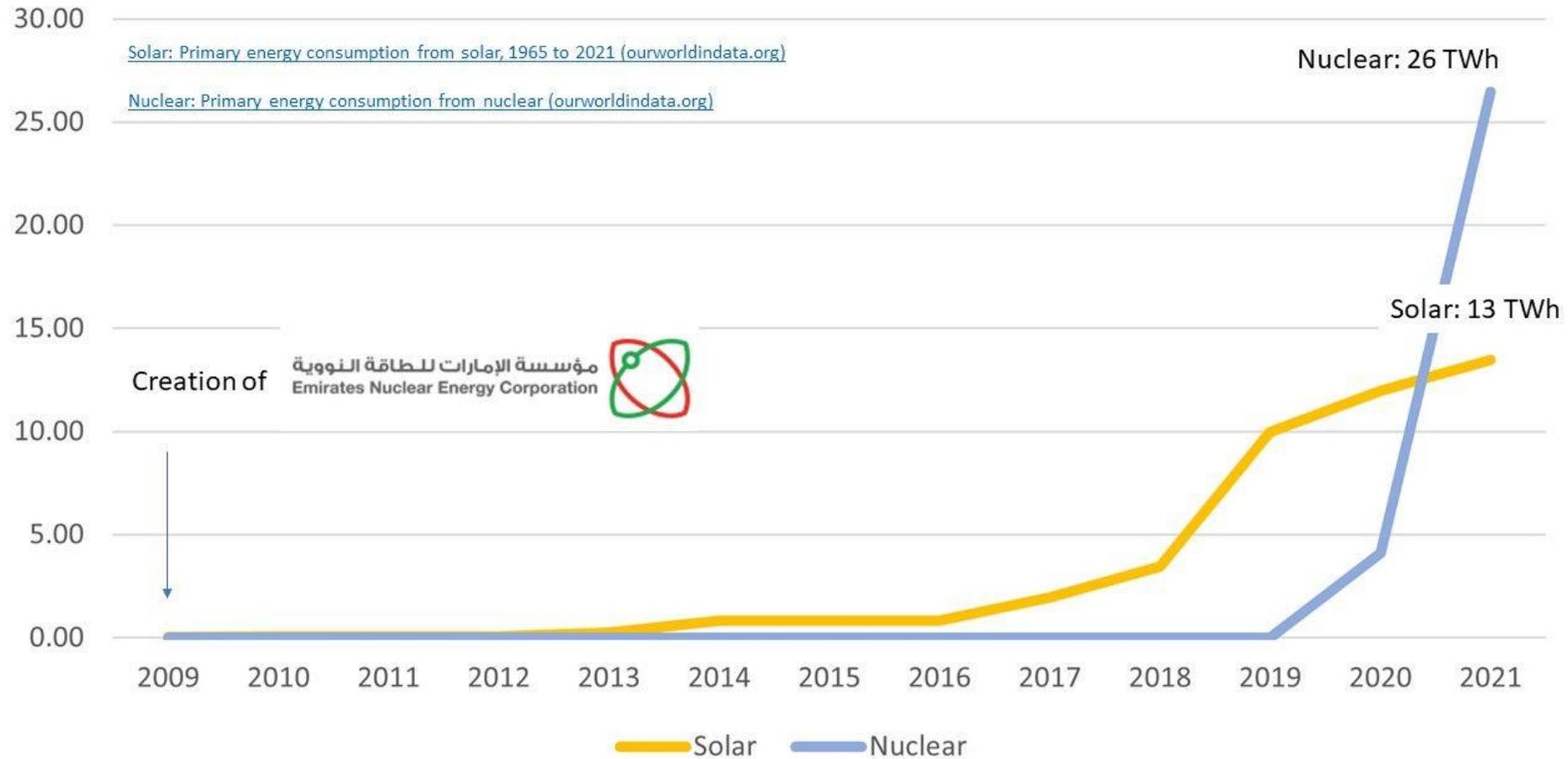
Technology cost trends and key material prices for a solar PV module, wind turbine and lithium-ion battery, 2017-2022



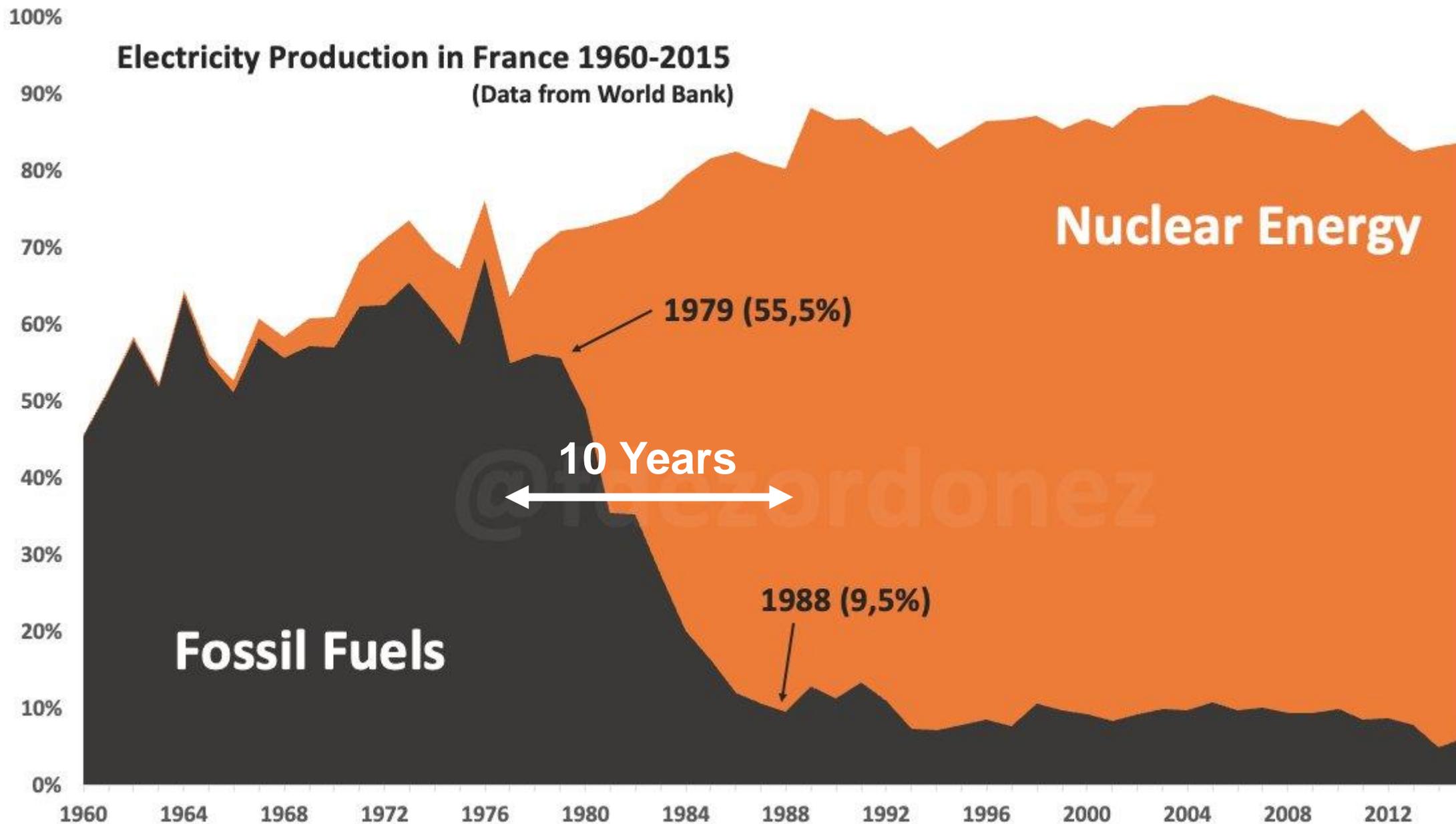
IEA. All rights reserved.

Bauzeit

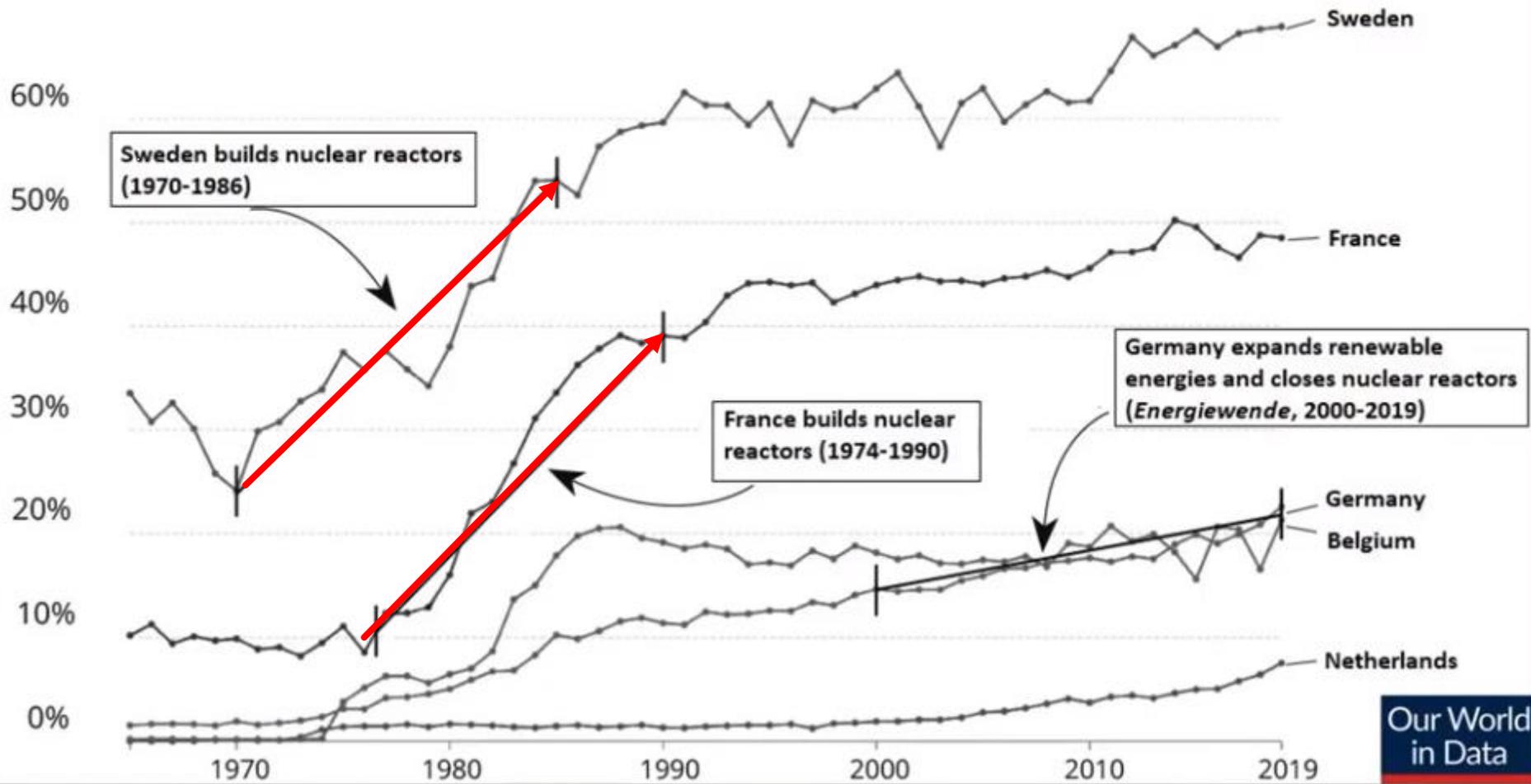
United Arab Emirates Solar and Nuclear Energy Production



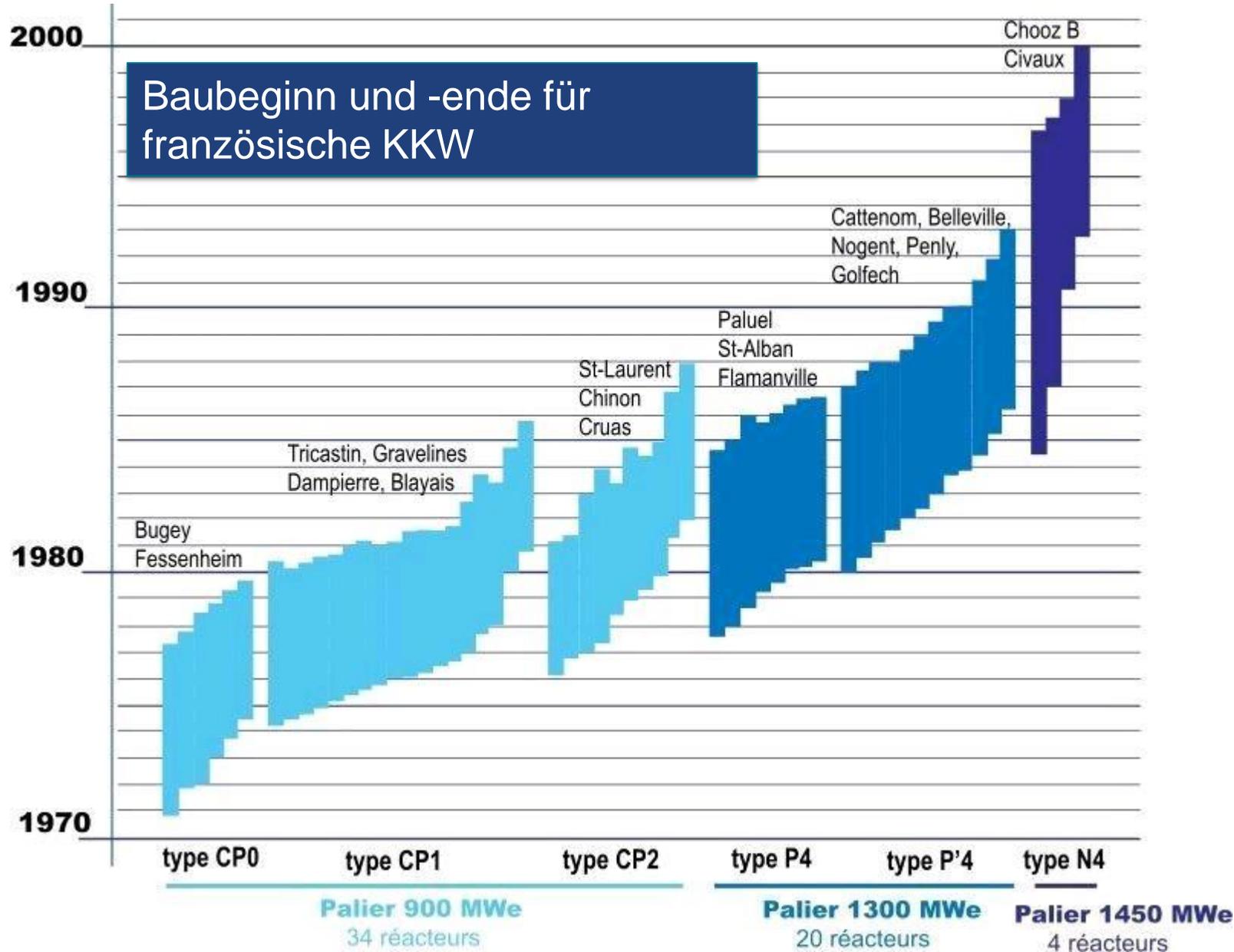
Kernenergie – dauert zu lange (?)



Share of primary energy from low-carbon sources



Kernenergie – dauert zu lange (?)



Von den 70er Jahren bis 2000 wurden Reaktoren in Frankreich innerhalb von 5-7 Jahren gebaut.

Was ist passiert?

Kernenergie – dauert zu lange (?)

Verbesserungen in Rechenmodellen
und Technologie



- Verlängerung Lebensdauer aktueller Reaktoren von 30-40 auf 60+ Jahre
- Leistungssteigerungen

Beispiel KKL Schweiz

Ursprüngliche Leistung konnte um 30 % gesteigert werden => mehr als 2.3 TWh/Jahr
Dies entspricht mehr als 100 Gondosolar Anlagen

Nachrüstungen von 2021 => +150 GWh/Jahr (mehr als 6 Gondosolar)



Notwendigkeit, die älteren KKW zu ersetzen, um mehr als 20 Jahre verzögert



Lieferkette muss neu aufgebaut werden