

Energieperspektiven 2035/2050

Zukunft der Kernenergie

Inhalt

- Einleitung/Überblick
- Technologie
- Entsorgung/Sicherheit
- Szenarios/Potential
- Wirtschaftlichkeit

Peter Hardegger

2. Juli 2004

Einleitung/Geschichte

- Anfänge – 1955 Genfer Konferenz – 1957 SAPHIR
– 1955 Reaktor AG – 1959 Atomgesetz
- Kommerzieller Aufbau

Kraftwerk	Typ/ Hersteller	Inbetrieb- nahme	Stilllegung/ Ersatz	Leistung Betriebsbeginn	Leistung 2003 [MW]	Produktion 2003 [Mio MWh]
Beznau I	PWR/WH	1969	2019	350	365	2.9
Beznau II	PWR/WH	1971	2021	350	365	3.0
Mühleberg	BWR/GE	1972	2022	320	355	2.8
Gösgen	PWR/KWU	1978	2038	920	970	7.9
Leibstadt	BWR/GE	1984	2044	990	1165	9.2
			Total	2930	3220	25.8

- Widerstand 1970 lokal, ab 1975 national => Kaiseraugst 1989
- Abstimmungen 1990 => Moratorium 1990-2000
- Abstimmungen 2003 (Moratorium/Ausstieg) => 2x nein
- Neues Kernenergiegesetz 2005 => fakultatives Referendum

Überblick Kernenergie in der Welt (2003)

- Kraftwerke in der Welt

Stand 2003	In Betrieb	Davon LWR	Im Bau	In Planung	Stillgelegt
Anzahl Anlagen	440	80%	30	35	104
Leistung [GW]	360	88%	25	38	34

- Anteil an Stromversorgung 17%, CO₂-frei
- 10'000 Reaktor-Jahre Betriebserfahrung
- Gravierende Unfälle: Harrisburg (1979); Tschernobyl (1986)
- Endlager für SMA* in Betrieb für HAA** im Bau: USA/FI
- Schweiz: 5 Anlagen (3.2 GWe), 140 Jahre Betriebserfahrung
40% Anteil Stromproduktion, Verfügbarkeit >90%, 10%
Leistungserhöhung (1990)

* SMA: Schwach- und mittelaktive Abfälle; **HAA: Hochaktive Abfälle

Entwicklung der Technologie



Frühe Prototyp-Reaktoren



- Shippingport
- Dresden,
- Fermi I
- Magnox



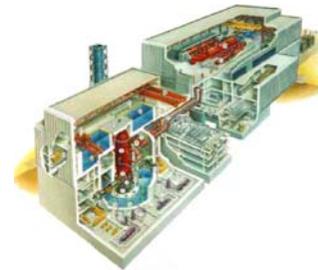
Kommerzielle Leistungsreaktoren



- LWR: PWR, BWR
- CANDU
- AGR



Fortgeschrittene LWR

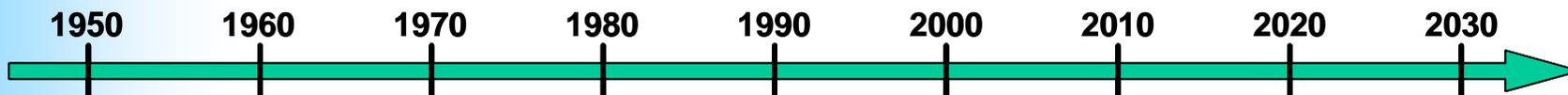


- ABWR
- System 80+
- EPR
- AP600



Evolutionäre Reaktortypen mit verbesserter Wirtschaftlichkeit für kurz- und mittelfristiger Implementierung

- **Ausgezeichnete Wirtschaftlichkeit**
- **Verbesserte Sicherheit**
- **Minimale Abfälle**
- **Minimale Proliferation**



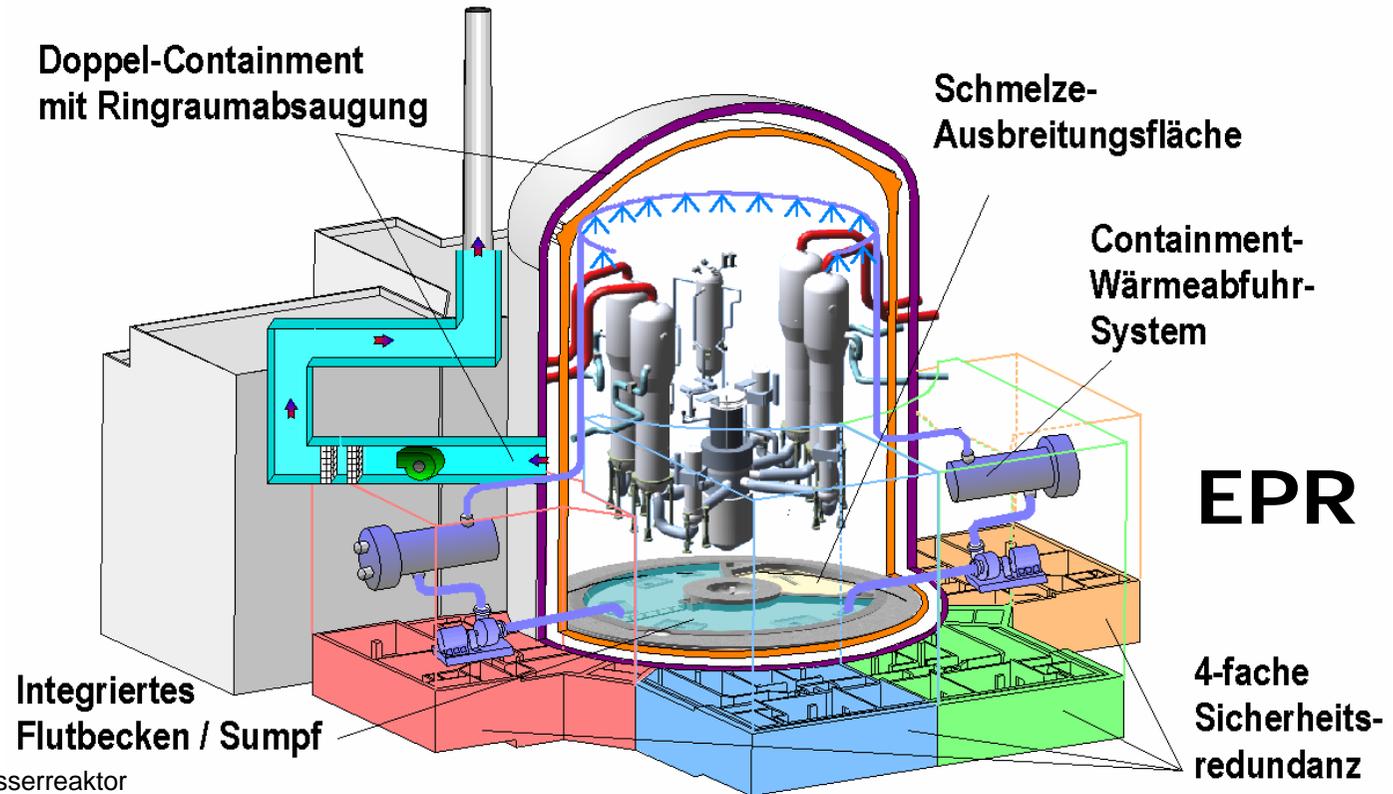
Quelle: GIF, 2003

Technologie GEN III/III +

- Verbesserungen
 - Sicherheit: Passive Systeme, erhöhte Redundanz
 - Wirtschaftlichkeit: Standardisierung, Vereinfachung Betrieb, Verfügbarkeit, Verkürzung Bauzeit
 - Ressourcen: Brennstoffausnutzung, Verringerung Abfälle

- In Betrieb
=> ABWR
(Japan)

- In Planung
=> EPR*
(FI/FR)
=> PBMR
(Südafrika)



* EPR: Europäischer Druckwasserreaktor

Technologie GEN IV

- Ziele der GEN IV
 - Nachhaltigkeit: Geringerer Ressourcenverbrauch, Verminderung Menge und Radiotoxizität des Abfalles
 - Wirtschaftlichkeit: Standardisierung, vereinfachter Betrieb
 - Sicherheit: Passive Sicherheit, physischer Schutz
 - Proliferation: Verbesserte Resistenz
- Anwendung in neuen Sektoren => Wasserstoffproduktion
- Aus über 100 Systemvorschlägen 6 Systemfamilien selektiert
- Prototypen 2025-2035, Kommerzialisierung ab 2035-2045

Reaktortyp	Akronym	Spektrum	Brennstoffzyklus
Sodiumgekühlter schneller R.	(SFR)	schnell	geschlossen
Bleigekühlter schneller R.	(LFR)	schnell	geschlossen
Gasgekühlter schneller R.	(GFR)	schnell	geschlossen
Hochtemperatur Reaktor	(VHTR)	thermisch	Einweg
Überkrit. wassergekühlter R.	(SCWR)	ther. & schn.	beides
Salzschmelze-Reaktor	(MSR)	epithermisch	geschlossen

Entsorgung/Endlagerung

- Zyklus offen/geschlossen => Moratorium Wiederaufbereitung 2006-2016
- Entsorgungsnachweis => Eingereicht
- Endlager Schweiz => Potentielle Standorte vorhanden
- Aktive Teilnahme an Europäischen Forschungsprojekten

- Endlager Weltweit
 - Schwachaktive Abfälle (Oberfläche) in Betrieb: CDN, ES, FR, J, UK, USA
 - Schwach- und mittelaktive Abfälle (geologisch) in Betrieb: S, FI
 - Langlebige mittelaktive Abfälle (geologisch) in Betrieb: USA
 - Hochaktive Abfälle (geologisch) Standortentscheide/Baubeginn: USA, FI

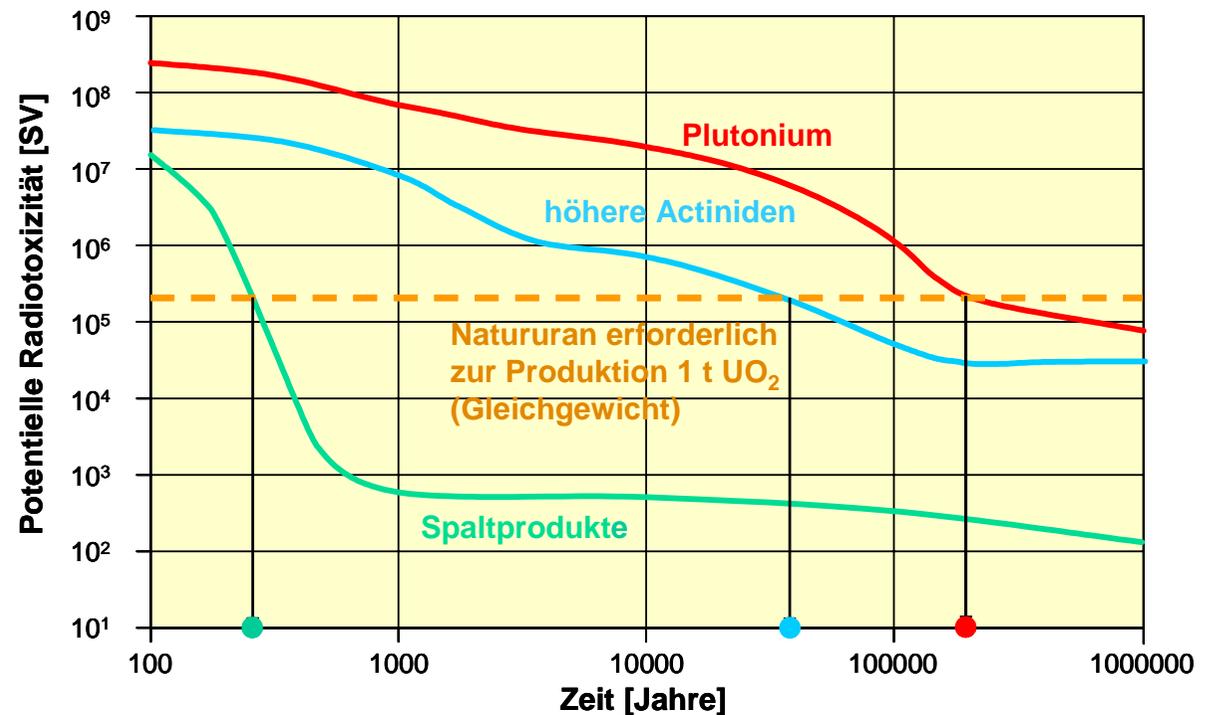
Brennstoffzyklus

- Ressourcen

Uranressourcen	1000 t U	Reichweite [y]	
Vorräte/Abrüstung	800	16	16
Bekannte konventionelle Ressourcen	4'000	80	96
Unbekannte konventionelle Ressourcen	11'500	230	326
Uran in Phosphaten	22'000	440	766
Uran in Meerwasser	4'200'000	80'000	80'766

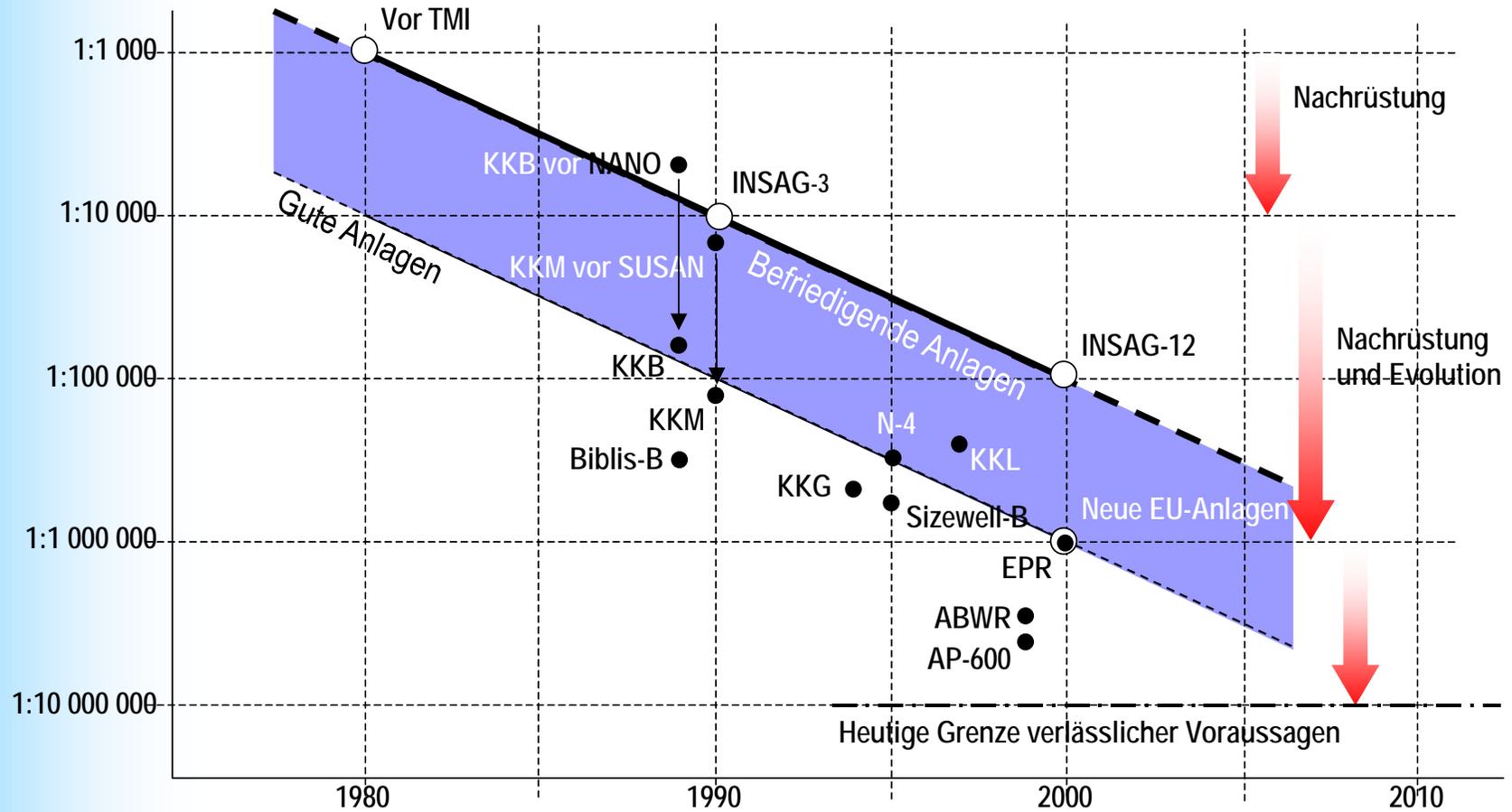
- Aktinidenmanagement

=> fortgeschr. Reaktoren:
Reduktion von Plutonium/
höheren Aktiniden



Laufende Verbesserung der Sicherheit

Wahrscheinlichkeit für Kernschaden pro Reaktor-Jahr



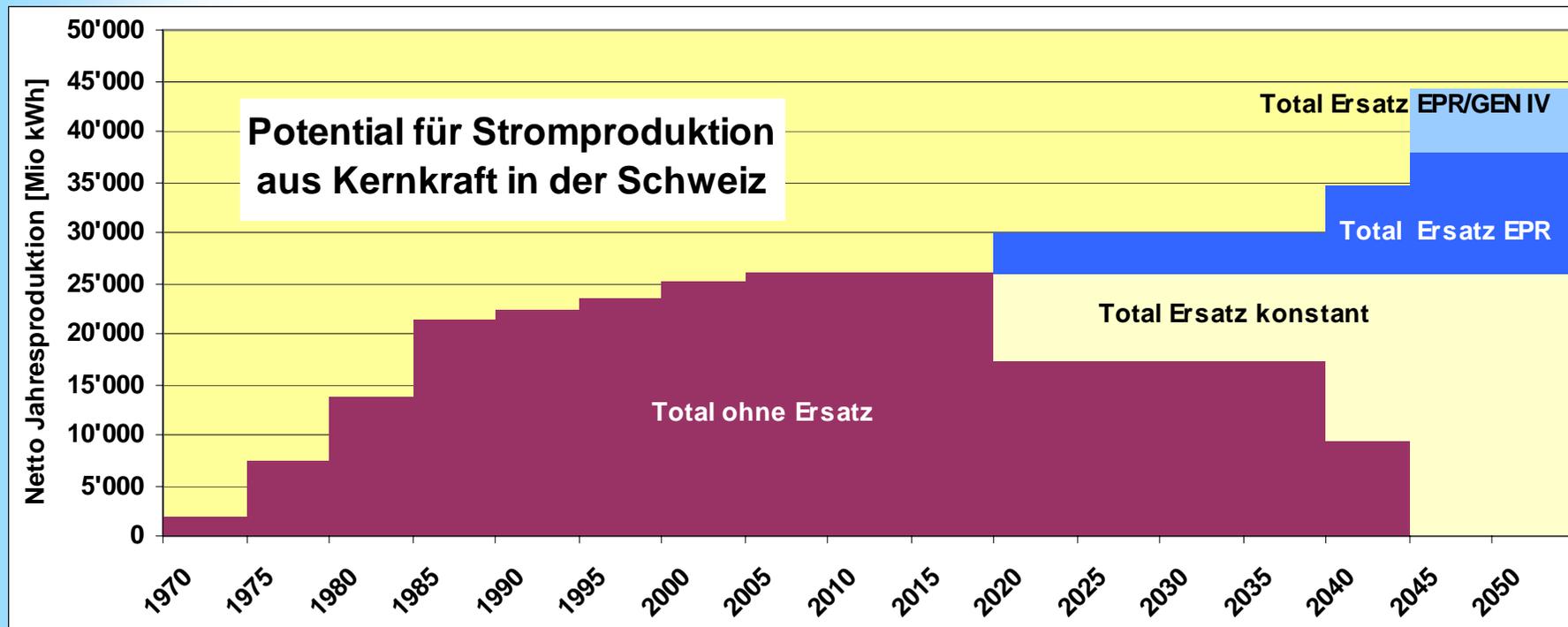
Quelle : IAEA, 1995

Potential: Szenarios

- Szenario ohne Ersatz
 - Ausserbetriebnahme der Werke nach 50/60 Jahren
- Szenario Ersatz konstant
 - Annahme: Ersatz der Werke durch gleiche Leistung, Zusammenlegung Beznau/Mühleberg
- Szenario Ersatz Nutzung Standorte
 - Szenario Ersatz mit EPR 1600
 - Szenario Ersatz mit EPR 1600/GEN IV
- Szenario Ausbau (Neue Standorte, nicht berücksichtigt)
 - Zusätzliche Standorte heute politisch kaum machbar
 - Bei Nutzung der bestehenden Standorte ist der Bedarf (Mittelwert Vorschau 95) bis 2050 gedeckt

Potential

	2002				2035				2050			
	Kapazität [MW]	Produktion total [TWh]	Produktion [TWh]	Anteil [%]	Kapazität [MW]	Verbrauch VS 95 [TWh]	Produktion [TWh]	Anteil [%]	Kapazität [MW]	Verbrauch VS 95 [TWh]	Produktion [TWh]	Anteil [%]
ohne Ersatz	3220	65	25.7	40%	2135	78	17.3	22%	0	87	0.0	0%
Ersatz Konstant	3220	65	25.7	40%	3220	78	25.8	33%	3285	87	25.9	30%
Ersatz EPR	3220	65	25.7	40%	3735	78	29.9	38%	4800	87	37.8	43%
Ersatz EPR/GEN IV	3220	65	25.7	40%	3735	78	29.9	38%	5600	87	44.2	51%



Wirtschaftlichkeit

- Erzeugungskosten heute/historisch

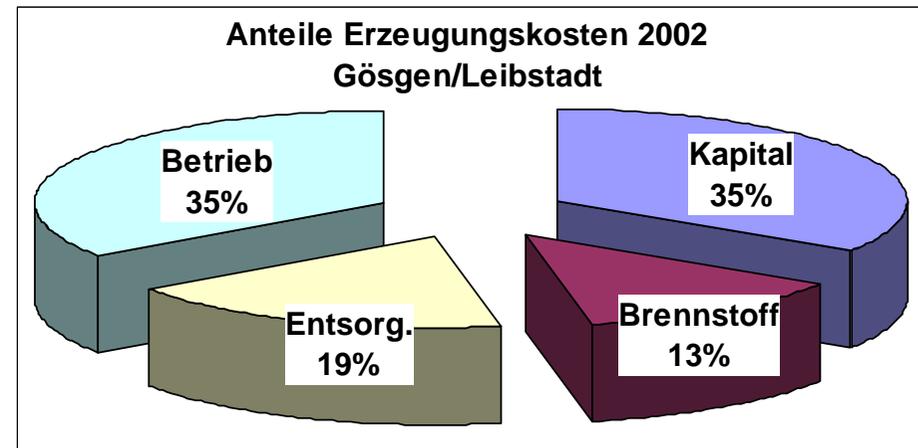
- Schweiz: 4-6 Rp./kWh
- Welt: US NEI* 2.2 Rp./kWh
- US+Kap. 3.8 Rp./kWh
- FIN hist. 2.8 Rp./kWh
- OECD 4.5 Rp./kWh

- Erzeugungskosten GEN III

- EPR Finnland: 3.5 Rp./kWh
- EPR CH: 4-5 Rp./kWh
(höhere Entsorgungskosten)

- Erzeugungskosten GEN IV (Zielwerte)

- Produktion ohne Kap. 1.7-2.0 Rp./kWh (10-20% red)
- Bau 1300-2600 CHF/kWe (20-30% red)
- Gestehungskosten total 2.5-3.5 Rp./kWh

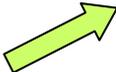


* US NEI: Nur Brennstoff/Entsorgung und Betrieb

Einflussfaktoren

- Akzeptanz
 - Bedarfsnachweis, Entsorgungsnachweis
 - Referendum Rahmenbewilligung
 - => Sicherheit, Abfall, Alternativen
 - Wirtschaftslage
- Zeitpunkt Technologieentscheid
 - Ca. 10 Jahre vor Inbetriebnahme
 - Technologiewechsel nach Rahmenbewilligung unwahrscheinlich
 - Beznau/Mühleberg 2009, Gösgen 2028, Leibstadt 2034
- Wirtschaftlichkeit
 - Sicherheit
 - Synergie bei Bau/Betrieb/Entsorgung
 - Integration in grösseres Programm (z.B. FR)

Schlussfolgerungen

- Potential
 - Beibehaltung von 40% Anteil (EPR), Steigerung auf 50% (GEN IV)
 - Steigerung Produktion an bestehenden Standorten
2035: + 20% (EPR) 2050: +50% (EPR)/+75% (GEN IV)
- Kosten
 - Heute konkurrenzfähig (GEN II/GEN III)
 - Neuste Projekte (FI/FR) leichte Reduktion (GEN III)
 - GEN IV: Reduktion Betrieb 10-20%
 Reduktion Bau 10-30%
- Konkurrenzfähigkeit  Steigende Gas-/Ölpreise; CO₂-Abgabe
 Steigende Zinsen
- Auswirkungen
 - Beibehaltung Energiemix (CO₂-frei)
> Freisetzung von Radioaktivität praktisch unmöglich
 - Reduktion Abfallmengen