

Innovation und Wirtschaftlichkeit bei Kernkraftwerken

White Paper



Inhaltsverzeichnis

1. Einführung	1
2. Internationale Entwicklungen in der Kernenergie.....	2
2.1 Globale Entwicklung.....	2
2.2 Entwicklungen in der Kernenergie im Ausland	4
3. Ausgangslage für neue Kernkraftwerke in der Schweiz	11
3.1 Vorteile der Kernenergie in der Schweiz.....	11
3.2 Gute Voraussetzungen	11
3.3 Die Zeit drängt für den Know-how-Erhalt.....	12
3.4 Technologieverbot	12
3.5 Regulatorische Rahmenbedingungen	12
4. Szenario für die Schweiz	13
4.1 Bedingungen der Investoren.....	13
4.2 Weitere Rahmenbedingungen.....	13
4.3 Kernenergie bleibt wirtschaftlich attraktiv	17
4.4 Relevante ökonomische Einflussfaktoren.....	21
4.5 Vorteile der Kernenergie bei der Systemintegration	22
5. Schliessung der Winterstromlücke mit Kernkraftwerken.....	22
5.1 Die Problematik der Winterlücke.....	22
5.2 Aktuelle Lösungsansätze und deren Limitationen.....	23
5.3 Der Beitrag der Kernenergie	24
6. Die mögliche Rolle der Kernenergie bei der Dekarbonisierung der Schweiz	25
6.1 Die Schweiz als Wasserstoff- oder Gasnation.....	25
6.2 Materialflüsse und Landschaftsschutz	25
6.3 Das Ausland macht es vor	25
7. Handlungsempfehlungen für die Politik	26
Anhang: Annahmen zu den Gestehungskosten.....	29

1. Einführung

Die Schweiz steht vor grossen energiepolitischen Herausforderungen. Als im Sommer 2021 das Vorwort zum ersten White Paper des Nuklearforums geschrieben wurde, hätte man sich nicht ausdenken können, in welcher Energiekrise sich die Schweiz schon ein Jahr später befinden wird. Inzwischen ist Russland in die Ukraine eingefallen. Die Versorgung Europas mit Gas und damit einem der wichtigsten Energieträger stellt eine grosse Herausforderung dar, die auch ihren Preis hat. Auf der ganzen Welt suchen die Energieminister mit grossen Einsatz nach Partnern, um die Gasversorgung in Europa mittelfristig sicherstellen zu können. Gleichzeitig ist der definitive Atomausstieg Deutschlands mittlerweile erfolgt.

Die Situation in Europa ging und geht auch an der Schweiz nicht spurlos vorbei. Eine Strom- und Gasmangellage war für den vergangenen Winter ein vieldiskutiertes Szenario. Die Strompreise haben sich für die Bevölkerung, aber vor allem für Grosskunden drastisch erhöht. Um einer Mangellage vorzubeugen waren im letzten Winter alle zum Energiesparen aufgerufen. Das Parlament will den Ausbau der erneuerbaren Energien nun deutlich schneller vorantreiben und der Bundesrat hat gar ein temporäres Gaskraftwerk im beschaulichen Birr als Rückfalllösung aufstellen lassen. Demonstrationen der Klimajugend dagegen haben auch schon stattgefunden.

International ist die Kernenergie auf dem Vormarsch. Etwa China, Russland, Indien und die Vereinigten Arabischen Emirate bauen zahlreiche Kernkraftwerke auf dem neuesten Stand der Technik. Auch in Europa werden vereinzelt neue Anlagen gebaut wie etwa in Flamanville (Frankreich) oder der dieses Jahr in Betrieb genommene Reaktor Olkiluoto-3 (Finnland) und zahlreiche neue Anlagen sind in Planung (wie etwa in Polen oder den Niederlanden). Kritiker monieren gerne, dass diese Anlagen viel zu teuer seien und der Bau viel zu lange dauern würde, um für die Lösung unserer Versorgungskrise und die Bekämpfung des Klimawandels beitragen zu können. An diese Kritiker sei gesagt: Länder wie China oder die Vereinigten Arabischen Emirate stellen solche Anlagen zeitgerecht und ohne Kostenüberschreitungen auf. Es kann also nicht an der Technologie liegen und es macht Sinn, die Situation als Ganzes und mit mehr Abstand zu betrachten. Genau damit hat sich die inzwischen bewährte Arbeitsgruppe des Nuklearforums Schweiz auseinandergesetzt. Die Arbeitsgruppe setzt sich zusammen aus Nachwuchswissenschaftlern, Ingenieuren, Ökonomen und Juristen. Sie haben in der Folge die grössten Hürden für die Kernenergie in der Schweiz identifiziert. Dabei handelt es sich klarerweise um das Technologieverbot im Kernenergiegesetz. Doch die Überlegungen des Nachwuchses gehen wesentlich weiter. Was braucht es etwa an Wissen, Kapital und Boden, um der Kernenergie in der Schweiz wieder zum Durchbruch zu verhelfen? Ausserdem untersuchten sie die Frage der Wirtschaftlichkeit der Kernenergie im Vergleich zu anderen Produktionsmitteln genauer. Die Berechnungen zeigen, dass die Kernenergie eine wettbewerbsfähige Option ist, insbesondere aufgrund ihrer hohen und zuverlässigen Verfügbarkeit. In diesem Zusammenhang ist es wichtig, den folgenden Punkt hervorzuheben: Es geht in diesem Papier nicht darum, Kernenergie gegen andere Erzeugungsmittel auszuspielen. Wie bereits im letzten Papier aufgezeigt wurde, braucht die Schweiz ohnehin in Zukunft viel mehr Strom. Es braucht nicht Kernenergie oder erneuerbare Energien. Es braucht schlicht alle möglichen Quellen, um den Herausforderungen der Zukunft begegnen zu können. Diese Ansichten werden nicht zu guter Letzt durch eindrückliche Zahlen belegt: So wurden in der Schweiz im Jahr 2021 58,113 TWh Strom verbraucht¹. Davon wurden 18,6 TWh von heimischen Kernkraftwerken produziert². In diesem Papier wird auch aufgezeigt, wieso sich moderne Kernkraftwerke mit erneuerbaren Quellen sehr gut ergänzen.

Mit Freude ist festzustellen, dass die Politik bereits begonnen hat, die Handlungsempfehlungen des letzten White Papers zu würdigen. So sind stabile und gute Rahmenbedingungen für den Langzeitbetrieb inzwischen für die allermeisten Parteien unbestritten

¹ Siehe dazu: www.strom.ch/de/energiewissen/stromverbrauch

² Swissnuclear. [Medienmitteilung](#), 31. Januar 2023

und es wurden entsprechende Vorstösse im Parlament lanciert. Nun gilt es darauf aufzubauen und die Schweiz in eine sichere, zuverlässige, heimische und vor allem klimafreundliche Stromzukunft zu führen. Die Schweizer Bevölkerung verdient klare Antworten auf die Ängste und Unsicherheiten bei der Stromversorgung in den letzten Monaten. Das vorliegende White Paper zeigt den Weg dazu auf. Es ist nun an der Politik, ihn auch zu beschreiten! Eines ist sicher: Die nächste Krise kommt bestimmt und einfach zuwarten kann man sich nicht mehr leisten. Man sollte also die Analysen und Empfehlungen der Arbeitsgruppe zu Herzen nehmen und beginnen, die Schweiz in Sachen Strom klimafreundlicher und zuverlässiger zu machen.

2. Internationale Entwicklungen in der Kernenergie

2.1 Globale Entwicklung

In der westlichen Welt wurden besonders in den 1970er- und 1980er-Jahren – unter dem Eindruck des Erdöl-Schocks – viele neue Kernkraftwerke gebaut. In den 1990er-Jahren gingen die Neubauten dann markant zurück, da mehr als genug Kapazitäten vorhanden waren. Um die bestehenden Kraftwerke allmählich zu ersetzen, begann man vielerorts in den späten 2000-Jahren mit Neubauprojekten, so auch in der Schweiz. Als Folge der Tsunami-Katastrophe und der dadurch verursachten Kernschmelze im KKW Fukushima Daiichi im Jahr 2011, wurden die geplanten Bauten in der Schweiz nicht weiterverfolgt. Die technologische Entwicklung ist seither fortgeschritten und hat weltweit eine Reihe von vielversprechenden Reaktoren hervorgebracht.

Aufbauend auf der Technologie der sogenannten Generation II, der alle Schweizer KKW angehören, wurde die Generation III (und Generation III+) von Kernkraftwerken seit den 1990er-Jahren entwickelt. Der Unterschied zur 2. Generation liegt vor allem in einer verbesserten Sicherheitsarchitektur. So sind passive Kühlsysteme, bei denen der Mensch nicht eingreifen muss, die Regel. Unter der Generation IV werden grundsätzlich neue Konzepte verstanden, deren Entwicklungsstand allerdings stark variiert. Prototypen einzelner Reaktortypen wurden in unterschiedlichen Grössen seit den späten 1960er-Jahren bereits erfolgreich gebaut und getestet. Allerdings hat sich noch kein Design kommerziell durchsetzen können. Eine Übersicht über die verschiedenen Reaktorgenerationen ist in Tab. 2-1 dargestellt. Kernkraftwerke ab der Generation III werden umgangssprachlich auch als «Reaktoren modernster Bauweise» bezeichnet.

Bezeichnung	Merkmal
Gen I	Frühe Prototypen mit geringer Brennstoffausnutzung und nicht ausgereiften Sicherheitsstandards.
Gen II	Bessere Brennstoffausnutzung und deutlich bessere Sicherheitssysteme. Meist Leichtwasserreaktoren. Der Grossteil der heutigen Anlagen gehört hierzu.
Gen III/III+	Weitere Verbesserungen, besonders bei den Sicherheitssystemen. Die Unterscheidung Gen III / Gen III+ bezieht sich auf passive Sicherheitssysteme, welche bei der Gen III+ vorhanden sein müssen.
Gen IV	Sammelbegriff für verschiedene revolutionäre Designs (z.B. Salzschnmelzereaktoren, Natriumgekühlte Schnelle Brüter, Hochtemperaturreaktoren).
SMR	Small Modular Reactors (SMR) sind kleiner (weniger als 500 MW _{el}) und werden mehrheitlich in Fabriken statt auf der Baustelle gebaut (modular).

Abb. 2-1: Schematische Darstellung der verschiedenen Generationen von Kernkraftwerken.
(Quelle: Eigene Darstellung).

Die verbreitetsten Kernkraftwerke der Generation III+ sind (mit Datum der ersten Verbindung mit dem Stromnetz):

- WWER-1200 (Rosatom, Russland), 5. August 2016
- EPR (Framatome, Frankreich), 29. Juni 2018
- AP1000 (Westinghouse, USA), 30. Juni 2018
- IPHWR-700 (BARC, Indien), 10. Januar 2021

Daneben gibt es noch eine Reihe weiterer lizenzierten Reaktortypen dieser Generation, die aber bisher nicht gebaut wurden. Deren kommerzielle Verfügbarkeit war in etwa ab dem Jahr 2005 gegeben. Die Neubauprojekte litten jedoch in Westeuropa und den USA – nicht jedoch im Rest der Welt – unter Bauverzögerungen und Kostenüberschreitungen.

Die Branche hat sich parallel dazu sehr dynamisch entwickelt und eine Vielzahl neuer Lieferanten und Konzepte hervorgebracht. Tendenziell hat sich die Nuklearbranche – ähnlich wie die Flugzeugindustrie – kleineren Kraftwerken zugewandt (den sogenannten Small Modular Reactors, kurz SMRs), die durch Standardisierung und Serienfertigung Bau- und Betriebskosten senken und Bauzeiten verkürzen sollen. SMRs gehören je nach Auslegung zur Generation III+ oder auch schon zu Generation IV. Bei den SMRs ist ein regelrechter Boom ausgebrochen. Allen voran Kanada, die USA und Grossbritannien wollen sich zu neuen nuklearen Kompetenzzentren weiterentwickeln und haben in den letzten Jahren die entsprechenden Voraussetzungen geschaffen. Daneben gibt es aber zahlreiche weitere Projekte für SMRs³. Diese sind in der folgenden Abbildung, als Übersicht, dargestellt.

³ Siehe dazu: Nuklearforums Schweiz. [Neue Publikation zu SMR: Small Modular Reactor Dashboard der NEA](#), 14. März 2023

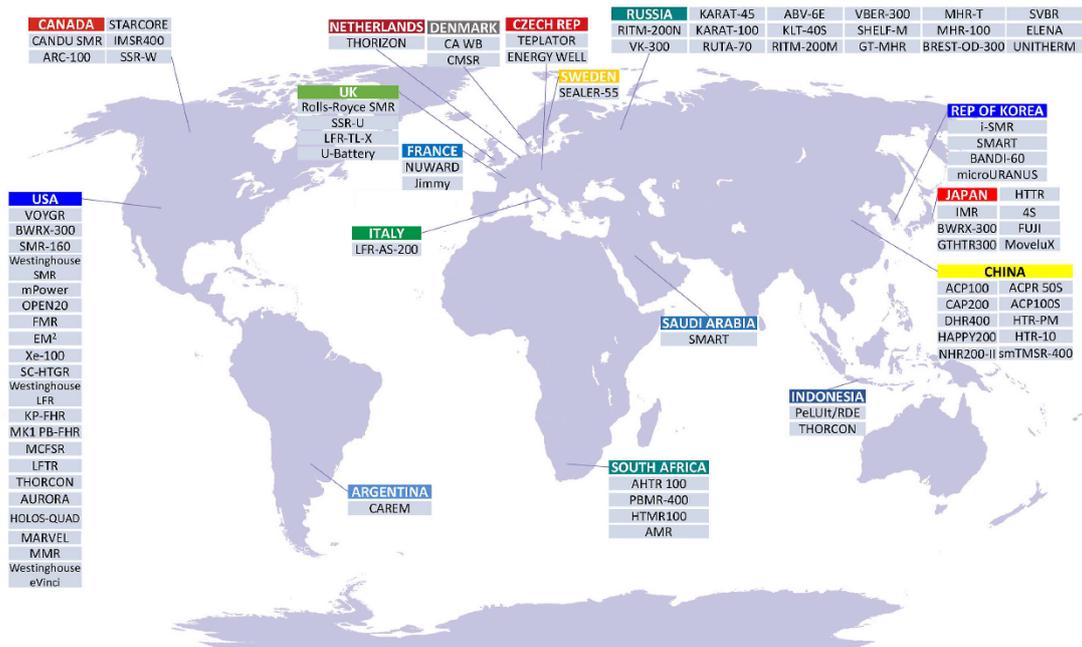


Abb. 2-2: Aktuelle SMR-Projekte. Aus: IAEA (2022). [Advances in Small Modular Reactor Technology Development](#), Seite 362

Insgesamt laufen laut der Technology Roadmap for Small Modular Reactor Deployment⁴ der International Atomic Energy Agency (IAEA) aktuell gegen 80 unterschiedliche SMR-Projekte in 18 verschiedenen Ländern. Sowohl deren Technologie wie auch die modulare Fertigung, verlangen Anpassungen in den regulatorischen und industriellen Rahmenbedingungen. Um diese Änderungen effizient und aufeinander abgestimmt zu gestalten, hat die IAEA eine neue Initiative ins Leben gerufen: Die [Nuclear Harmonization and Standardization Initiative](#) (NHSI). Dabei werden politische Entscheidungsträger, Aufsichtsbehörden, Hersteller und Betreiber zusammengebracht, um gemeinsame Ansätze zu entwickeln und so das Potenzial von SMRs zur Bekämpfung des Klimawandels besser auszuschöpfen.

Darüber hinaus hat die IAEA in den letzten Jahren ihre Arbeit zur Unterstützung der Mitgliedstaaten bei der Entwicklung und Lizenzierung von SMRs intensiviert. 2021 wurde eine zentrale Anlaufstelle zum Thema SMR für IAEA-Mitgliedstaaten und andere Beteiligte eingerichtet. Ausserdem werden die IAEA-Sicherheitsstandards im Hinblick auf SMRs überarbeitet und entsprechende Unterstützung für die nationalen Behörden wird angeboten. Die IAEA hat bereits die Überprüfung von mehr als 60 Sicherheitsstandards abgeschlossen und wird dieses Jahr einen Sicherheitsbericht veröffentlichen. Da auch die Schweiz Mitgliedstaat der IAEA ist, könnte sie von dieser Kooperation profitieren.

2.2 Länderspezifische Entwicklungen

Im Folgenden werden einige Entwicklungen Länder genauer beleuchtet.

In den **Niederlanden** hat der Ministerrat den bestehenden Standort des Kernkraftwerks Borssele als bevorzugten Standort für zwei neue Reaktoren der Gen III+ bestimmt. Nach vorläufigen Plänen sollen diese um 2035 fertiggestellt werden und jeweils eine Kapazität von 1000 bis 1650 MW_e haben. Im Jahr 2035 würden die beiden Reaktoren 9–13% der nieder-

⁴ IAEA (2022), [Technology Roadmap for Small Modular Reactor Deployment](#). IAEA Nuclear Energy Series No. NR-T-1.18. Vienna

ländischen Stromerzeugung abdecken. Ausserdem wird ein Langzeitbetrieb der bestehenden Anlage geprüft.

Die **polnische** Regierung hat das US-amerikanische Unternehmen Westinghouse für den ersten Teil des Sechs-Reaktoren-Plans ausgewählt, mit dem das Land bis zum Jahr 2040 eine Kapazität von bis zu 9 GW_e aus Kernenergie aufbauen will. Darüber hinaus haben das polnische Ministerium für Staatsvermögen, das südkoreanische Ministerium für Handel, Industrie und Energie, die polnischen Unternehmen ZE PAK und Polska Grupa Energetyczna (PGE) sowie Korea Hydro & Nuclear Power (KHNP) vereinbart, Pläne für ein Kernkraftwerk in Patnow in Polen zu entwickeln. Auch hat Polen in diesem Sommer einen Grundsatzentscheid zugunsten von SMRs des amerikanischen Anbieters NuScale gefällt.⁵

Die **schwedische** Regierung hat den Atomausstieg beendet und eine positive Haltung gegenüber der Kernenergie eingenommen. Dabei hat sie den staatlichen Energiekonzern Vattenfall aufgefordert, den möglichen Neustart der Blöcke 1 und 2 von Ringhals zu prüfen und den Bau neuer Reaktoren vorzubereiten. Ausserdem soll die langfristige Planungssicherheit für Kraftwerksbetreiber verbessert werden. Vattenfall kündigte an, eine Pilotstudie zu initiieren, um die Bedingungen für eine Entscheidung über den Bau von mindestens zwei Kernkraftwerken in der Nähe des Kraftwerks Ringhals zu prüfen. Die Studie soll etwa Ende 2023 oder Anfang 2024 abgeschlossen sein. Die schwedische Produktion von Nuklearenergie soll bis 2045 verdreifacht werden und die Regierung hat Pläne, wieder in den Uranabbau einzusteigen. Auch existieren Pläne für den Bau von SMRs sowie die Herstellung von Wasserstoff für die Industrie mit Nuklearenergie.⁶

In der **Tschechischen Republik** haben drei Anbieter (Westinghouse, EDF und KHNP) Angebote für den Bau eines neuen Reaktorblocks am Standort Dukovany abgegeben. Der Standorteigentümer ČEZ hat Interesse bekundet an einem neuen Kraftwerksblock, der Strom und Wärme liefern soll. Das Auswahlverfahren und die erforderliche Genehmigung durch die tschechische Regierung würden bis 2024 dauern. Eine ČEZ-eigene Projektgesellschaft namens Elektrárna Dukovany II (oder EDU II) wird die Auswahl des Reaktortyps und den anschliessenden Bau übernehmen. Ebenso bestehen Pläne für einen SMR am Standort Temelin.⁷

Frankreich beabsichtigt, 14 neue Reaktoren zu bauen, welche zum Teil staatlich finanziert werden. Zusätzlich können noch weitere Exportprojekte hinzukommen. Auch sollen die bestehenden Anlagen so lange wie möglich weiterhin betrieben werden, da Frankreich auf die Kernenergie als grüne Energie setzt.

Auch in **Norwegen** wurde das erste Unternehmen gegründet, welches der künftige Betreiber von SMRs sein möchte. Norsk Kjernekraft AS wird nun die möglichen Standorte und Technologien evaluieren mit dem Ziel, in den 2030er-Jahren mehrere SMRs in Norwegen zu bauen.

Fermi Energia in **Estland** will die Kerntechnik ins eigene Land bringen und mit dem Bau von einem SMR 2027 beginnen. Als einer der ersten möglichen Importeure von SMRs wird geplant, zu einem attraktiven Standort für die Zulieferer zu werden. Im Februar 2023 wurde bekannt, dass Fermi Energia sich für den BWRX-300 von GE entschieden hat.

Durch die vielen Projekte und Initiativen ist ein Engpass bei Lieferketten und Komponenten in den 2030er-Jahren absehbar. Will die Schweiz bei diesen Entwicklungen mithalten, darf also nicht zu lange gewartet werden.

⁵ Siehe dazu: Nuklearforum Schweiz. [Positiver Grundsatzentscheid für ersten SMR in Polen](#), 14. Juli 2023

⁶ Siehe dazu: Nuklearforum Schweiz. [Schweden plant Verdreifachung von Strom aus Kernenergie bis 2045](#), 11. August 2023 und [Schweden will wieder Uran abbauen](#), 23. August 2023

⁷ Siehe dazu: Nuklearforum Schweiz. [Tschechischer Präsident unterstützt Pläne zum parallelen Bau von leistungsstarken Reaktoren und SMRs](#), 25. Juli 2023

European SMR Pre-Partnership

Im Juni 2021 hat die Europäische Kommission einen Workshop mit Industrievertretern zu SMRs organisiert. Um die Entwicklung von neuen europäischen Reaktoren voranzutreiben, hat die Kommission darauf aufbauend eine Stakeholder Initiative ausgerufen (genannt [SMR Pre-Partnership](#)). Entsprechend forcieren auf europäischer Ebene die Europäische Kommission, Aufsichtsbehörden, Verbände, Industrievertreter und Hochschulen gemeinsam die Entwicklung europäischer Kleinreaktoren. Inzwischen wurde diese Stakeholder Initiative in zahlreiche Workstreams aufgeteilt, die sich etwa mit Fragen eines europäischen Lizenzierungsmodells, einer Technologiefinanzierung oder Lieferketten beschäftigen. Gerade der offene Punkt einer einheitlichen Lizenzierung für mehrere Länder ist von hohem Stellenwert, um einen europäischen SMR zum Durchbruch zu verhelfen. Denn unterschiedliche Lizenzierungsanforderungen treiben die Kosten für die Reaktorentwicklung in die Höhe. Anfang April 2023 hat die Europäische Kommission zusammen mit Industrieverbänden eine Erklärung veröffentlicht⁸. Dabei wird das gemeinsame Vorgehen der Nuklearindustrie mit Forschungsstätten bei der künftigen SMR-Entwicklung explizit begrüsst. In einem kombinierten System mit erneuerbarer Energieproduktion könnten SMRs ausserdem systemstabilisierend wirken. Die Kommission betont in der Deklaration auch die künftige Rolle von SMR-Technologie bei Heizungen (Abwärme), Wasserentsalzung und Wasserstoffproduktion. Wert legt die Kommission in dieser Deklaration auch auf dem Nutzen von Synergien zwischen den verschiedenen Forschungsprogrammen wie etwa dem Euratom-Forschungsprogramm oder Horizon. Mit der SMR-Partnership will man mit vereinten europäischen Kräften der internationalen Konkurrenz begegnen⁹.

Die Entwicklung der SMR-Technologie findet weitgehend ausserhalb der Europäischen Union statt. Die Gründe für das «Abseitsstehen» Europas sind vor allem politischer Natur. So erwähnt zum Beispiel die EU-Taxonomie das Thema SMR gar nicht erst¹⁰.

Die Entwicklungen in Grossbritannien, Kanada und den USA sind schon weiter vorangeschritten und werden hier etwas detaillierter beleuchtet.

Grossbritannien

Im Jahr 2015 leitete Grossbritannien die ersten Schritte seines nationalen Programms zur Förderung von SMRs und fortschrittlichen Reaktorkonzepten im Rahmen eines offenen Wettbewerbs ein, bei dem Anbieter aufgefordert wurden, Vorschläge zur Deckung des Energiebedarfs einzureichen. Eine von der britischen Regierung geförderte Anwendung betrifft Fragen des Brennstoffkreislaufs (d. h. die Nutzung des abgetrennten Plutoniumbestands des Landes als Energieressource). Im Juli 2019 hat die britische Regierung im Rahmen des Industrial Strategy Challenge Fund GBP 18 Mio. bereitgestellt, um die Entwicklung eines britischen SMR von einem von Rolls-Royce geführten Konsortium zu unterstützen. In ihrem im November 2020 veröffentlichten Zehn-Punkte-Plan für eine grüne industrielle Revolution kündigte die britische Regierung an, weitere GBP 215 Mio. für die Entwicklung dieser einheimischen SMR-Auslegung bereitzustellen. Das britische Ministerium für Wirtschaft, Energie und Industriestrategie (BEIS) hat ausserdem bis zu GBP 44 Mio. im Rahmen des Advanced Modular Reactor Feasibility and Development Project bereitgestellt.

Rolls-Royce hat vor Kurzem den **UK-SMR** vorgestellt, einen Druckwasserreaktor basierten Entwurf mit einer elektrischen Leistung von 470 MW (siehe Abb. 2-3). Dahinter steht ein Konsortium unterschiedlicher britischer Firmen, die an Bau des SMR, Herstellung der Komponenten und Vorbereitung der Lieferkette beteiligt ist. Der UK-SMR ist mit dem Ziel der

⁸ Siehe dazu: [Commission Declaration on EU Small Modular Reactors \(SMRs\) 2030: Research & Innovation, Education & Training \(europa.eu\)](#)

⁹ Siehe dazu Punkt 3 der [Deklaration](#) der Europäischen Kommission

¹⁰ Siehe dazu: European Commission. [EU taxonomy: Complementary Climate Delegated Act to accelerate decarbonization](#), 2. Februar 2022

Kostenoptimierung entwickelt worden und wird modular aus vorgefertigten Elementen aufgebaut. Ziel ist eine Bauzeit von nur drei Jahren. Der nächste Schritt ist die Identifizierung von potenziellen Standorten für den künftigen Einsatz von SMRs.



Abb. 2-3: Illustration des UK-SMR (Quelle: Rolls-Royce)

Im Mai 2021 erklärte die britische Regierung, dass die generische Auslegungsprüfung (Generic Design Assessment GDA) erstmals auch für fortgeschrittene Nukleartechnologien – einschliesslich SMRs – offensteht. Dieses Verfahren ermöglicht es den unabhängigen britischen Atomaufsichtsbehörden, die Sicherheit und die Auswirkungen neuer Reaktor-konzepte auf die Umwelt zu bewerten. Rolls-Royce SMR hat seine Absicht bekundet, in Kürze in das GDA-Verfahren einzutreten. Im November 2021 stellte die britische Regierung GBP 210 Mio. – ergänzt durch private Investitionen – für die Entwicklung von SMRs in Grossbritannien bereit.

Abgesehen von den Bestrebungen, eigene SMRs zu bauen, schreitet der Bau der beiden leistungsstarken Reaktoren am Standort Hinkley Point C voran. Die Inbetriebnahme ist für das Jahr 2027 geplant. Am Standort Sizewell C wird demnächst mit dem Bau zweier weiterer EPRs begonnen.

Kanada

In Zusammenarbeit mit interessierten Provinzen, Territorien und Energieversorgungsunternehmen hat Natural Resources Canada eine Roadmap¹¹ zum Einsatz von SMR in Kanada erstellt. Zunächst wurden breit abgestimmt die wesentlichen Voraussetzungen zum Bau von SMRs ermittelt. Diese flossen zurück in den SMR-Action-Plan¹². Schliesslich wurde gemeinsam ein kanadisches Beratungsgremium für Kernenergie eingesetzt, das sich aus leitenden Beamten und Ministern zusammensetzt, um die Fortschritte jährlich zu überprüfen

¹¹ Canadian Small Modular Reactor Roadmap Steering Committee (2018). [A Call to Action: A Canadian Roadmap for Small Modular Reactors](#). Ottawa, Ontario, Canada

¹² Natural Resources Canada (2022). [Canada's Small Modular Reactor \(SMR\) Action Plan](#). Ottawa, Ontario, Canada

und laufende strategische Prioritäten für die Zukunft zu besprechen. Der kanadische Plan beruht auf vier Säulen, die in Abb. 2-2 dargestellt sind.

PILLAR 1 Demonstration and deployment	PILLAR 2 Policy, legislation, and regulation	PILLAR 3 Capacity, engagement, and public confidence	PILLAR 4 International partnerships and markets
---	--	--	---

Abb. 2-4: Die wesentlichen Aspekte der kanadischen «Roadmap to SMR». Aus: Canadian Small Modular Reactor Roadmap Steering Committee (2018). A Call to Action: A Canadian Roadmap for Small Modular Reactors, Seite 46

Darüber hinaus haben die Canadian Nuclear Laboratories (CNL) im Juli 2019 die Canadian Nuclear Research Initiative (CNRI) ins Leben gerufen, ein Programm zur Unterstützung gemeinsamer SMR-Forschungsprojekte mit Drittanbietern in Kanada. Das Projekt soll die Einführung von SMRs beschleunigen, indem es Forschung und Entwicklung ermöglicht und globale Anbieter von SMR-Technologien mit Einrichtungen und Fachwissen den kanadischen nationalen Nuklearlabors verbindet.

In Vorbereitung auf die mögliche Einführung und Übernahme neuer Technologien in der Nuklearindustrie stellt die kanadische Nuklearaufsichtsbehörde CNSC sicher, dass sie über die Kapazität, die Fähigkeit und die Bereitschaft verfügt, solche Technologien und deren Einsatz zu regulieren. Jedes geplante Projekt zum Bau und Betrieb eines SMR erfordert eine Genehmigung durch die CNSC. Die CNSC hat auch eine Strategie zur Regulierungsbereitschaft für fortgeschrittene Reaktortechnologien, einschliesslich SMRs, eingeführt. Diese Strategie zielt darauf ab, die regulatorische Sicherheit zu unterstützen, indem sie die technische Bereitschaft der CNSC feststellt und die Prioritäten für die regulatorischen Bereitschaftsaktivitäten festlegt.

Ontario Power Generation (OPG) hat einen Antrag auf eine Baugenehmigung für einen SMR am Standort Darlington eingereicht, wo der erste kommerzielle SMR im Netzmassstab in Kanada gebaut werden soll.

USA

Die USA sind nach wie vor das Land mit den meisten Kernkraftwerken. Wie in anderen westlichen Ländern auch, wurde allerdings seit Ende der 1970er-Jahre bis nach 2010 kein neues Bauprojekt begonnen. Um diese Lücke wieder zu schliessen und um neue Reaktorkonzepte marktreif zu machen, hat das Department of Energy (DOE) verschiedene Projekte gefördert, unter anderem mit dem Advanced Reactor Demonstration Program (ARDP). Besonders erwähnenswert sind folgende vier Projekte:

Ge-Hitachi: BWRX-300

Dieses Konzept basiert auf einer früheren Auslegung von General Electric (dem Economic Simplified Boiling Water Reactor – ESBWR) und wurde von GE-Hitachi weiterentwickelt. Es beinhaltet unter anderem einen passiven Kühlkreislauf ohne Pumpen und bietet eine Leistung von rund 300 MW_e. Mehrere Länder zeigen Interesse an diesem Reaktor, so neben den USA etwa auch Schweden, Polen und besonders Kanada. Die Auslegung wird aktuell von der Nuclear Regulatory Commission (NRC) geprüft. Estland hat dieses Design bereits ausgewählt.

NuScale: VOYGR

Das Konzept von NuScale ist von allen neuen Konzepten am weitesten ausgereift. Die Auslegung namens VOYGR wurde nach der Sicherheitsprüfung durch die NRC bereits grundsätzlich freigegeben und wird nächstens auch in Polen den Zulassungsprozess starten. Die Firma ist börsenkotiert. NuScales Auslegung setzt auf mehrere modulare Reaktoren (bis zu 12 pro Standort), wobei pro Modul 77 MW_e geliefert werden können. Der Kühlkreislauf kommt auch im Leistungsbetrieb ohne Pumpen aus (passiver Kreislauf). Durch diese Modulbauweise wird ein flexibler Betrieb ermöglicht. Dies bringt ebenfalls Vorteile in einem Stromnetz mit erneuerbaren Energien.



Abb. 2-5: Illustrationen des SMR VOYGR von NuScale. Links: Querschnitt (Quelle: NuScale), rechts: massstabgetreues Modell (Quelle: Lukas Robers)

X-energy: Xe-100

Beim X-energy-SMR (Xe-100) handelt es sich um einen gasgekühlten Kugelhaufenreaktor. Die Anfänge dieser Auslegung wurden in Deutschland gelegt. Aktuell wird das Konzept in einem chinesischen Reaktor (HTR-PM) verwendet, der 2021 mit dem Stromnetz synchronisiert wurde und seither Strom erzeugt. Durch die spezielle Form des Brennstoffs (kleine Kügelchen mit einer SiC-Hülle) und die hohen erlaubten Abschalttemperaturen, ist eine Kernschmelze praktisch ausgeschlossen und es werden keine Notkühlpumpen benötigt. Die NRC prüft aktuell die konzeptionelle Auslegung. Dieses wird zur Generation IV gezählt. Der erste Xe-100-Reaktor (76 MW_e) soll laut dem amerikanischen Energieministerium bis Ende 2028 einsatzfähig sein.

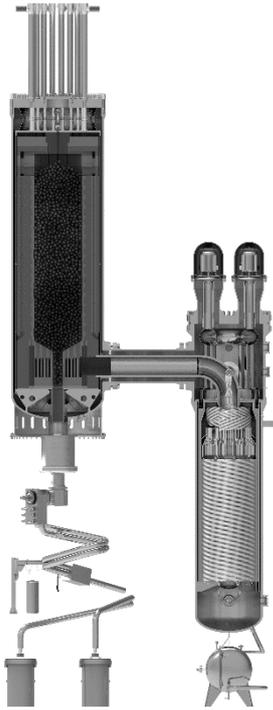


Abb. 2-6: Querschnitt durch den Xe-100-Reaktor von X-energy
(Quelle: X-energy)

Terrapower: Natrium-SMR

Die von Bill Gates initiierte Firma plant einen Reaktor, welcher zuerst den spaltbaren Brennstoff erbrütet und diesen dann spaltet. Als Brennstoff dient abgebrannter Brennstoff aus bisherigen Kernkraftwerken. In Zusammenarbeit mit GE-Hitachi wurde dieses Konzept zum sogenannten Reaktor «Natrium» weiterentwickelt. Die Auslegung wird gegenwärtig von der NRC geprüft. Der erste Natrium-Reaktor soll bis ca. 2030 in Wyoming gebaut werden (345 MW_e). Das Besondere an diesem Konzept ist ein thermischer Speicher, der die Stromproduktion sehr flexibel macht und eine Integration mit fluktuierenden erneuerbaren Energien vereinfacht.

Japan

Die **japanische** Regierung hat einen Plan zur Verlängerung des Betriebs bestehender Kernkraftwerke und zum Ersatz älterer Anlagen durch neue, fortgeschrittene Reaktoren verabschiedet. Im Rahmen der neuen Politik wird die Kernenergie als «eine Energiequelle, die zur Energiesicherheit beiträgt und einen hohen Dekarbonisierungseffekt hat» beschrieben. Dabei will Japan so viele der bestehenden Reaktoren wie möglich wieder in Betrieb nehmen und die Betriebsdauer über die derzeitige Grenze von 60 Jahren hinaus verlängern. Die Regierung sagte auch, dass das Land fortgeschrittene Reaktoren entwickeln wird, um die stillgelegten zu ersetzen.

3. Ausgangslage für neue Kernkraftwerke in der Schweiz

3.1 Vorteile der Kernenergie in der Schweiz

Die Schweiz ist in verschiedener Hinsicht in einer guten Ausgangsposition für die Stromerzeugung. Durch die geographischen Gegebenheiten kommt der Wasserkraft eine wichtige Rolle zu. Für Windkraft und Photovoltaik besteht ebenfalls grosses ungenutztes Potenzial, welches laut Energiestrategie besser genutzt werden sollte. Biomasse und Kehrlichtverbrennungen sind schon weitgehend integriert und das Potenzial gut ausgeschöpft. Allerdings sieht die aktuelle Energiestrategie über längere Zeit hinweg erhebliche Importe im Winter vor. Diese Importe sind künftig jedoch immer weniger gesichert und somit ein Problem für die Versorgungssicherheit der Schweiz. Hier können Kernkraftwerke der neuesten Generation aushelfen, da diese unabhängig von Wetter und Klima vor allem auch im Winter treibhausgasarmen Strom produzieren können.

Kernkraftwerke haben in dieser Situation eine Reihe von Vorteilen:

1. Kernkraftwerke verursachen ähnlich tiefe Treibhausgasemissionen wie die Windenergie¹³. Der Schweizer Strommix ist dank der heutigen KKW weltweit einer der emissionsärmsten. Die Kombination aus Wasserkraft und nuklearer Energie hat sich jahrzehntelang bewährt.
2. Die Abhängigkeit vom Ausland ist bei Kernkraftwerken gering, da der Kernbrennstoff problemlos in verschiedenen Ländern diversifiziert beschafft und über viele Jahre gelagert werden kann.
3. Kernkraftwerke können im Winter eine solide Grundversorgung gewährleisten. Werden Kraftwerke in einer intelligenten Mischung mit neuen erneuerbaren Energien kombiniert, ist das die volkswirtschaftlich effizienteste Lösung.^{14,15}

In der Kernenergie hat international eine neue Welle an Innovation und Dynamik begonnen. Der weltweite Trend, im Rahmen der Dekarbonisierung und gleichzeitigen Sicherstellung von Versorgungssicherheit auf die Kombination aus Kernenergie und erneuerbaren Energie zu setzen, sorgt international für eine noch bedeutendere Rolle der Kernenergie (siehe Kapitel 2).

3.2 Gute Voraussetzungen

Für die Nutzung der Kernenergie hat die Schweiz gegenwärtig eine Reihe von Standortvorteilen. So ist in der Schweiz bereits eine Nuklearindustrie vorhanden, die über das nötige Know-how verfügt. Dabei kann die Industrie auf mehrere Jahrzehnte Erfahrung im Betrieb von Kernkraftwerken zurückblicken. Die Vergangenheit hat gezeigt, dass in der Schweiz Kernkraftwerke sicher und mit hoher Verfügbarkeit betrieben werden können. Darüber hinaus ist die Schweiz aktiv in der Kernenergieforschung beteiligt, sowohl bei Fusionsreaktoren wie auch in der etablierten Kernspaltung. Besonders mit dem Paul Scherrer Institut (PSI) und den zugehörigen Laboratorien an der ETH Zürich und der EPF Lausanne verfügt die Schweiz über Forschungsinstitutionen, die auf dem weltweit neuesten Stand sind und diesen Stand durch zahlreiche Projekte auch an die Industrie weitergeben (erfolgreicher Technologietransfer). Es existiert ebenfalls viel Erfahrung in der regulatorischen Begleitung der Kernenergie in Form von etablierten Rechtsgrundlagen und einer unabhängigen Aufsichtsbehörde. Die Schweiz hat den Vorteil, über bereits bestehende Anlagen zu verfügen. Entsprechend besteht Erfahrung bei der Auswahl von geeigneten Standorten.

¹³ Bauer Christian et al. (2019), [Potentials, costs and environmental assessment of electricity generation technologies](#). PSI, WSL, ETHZ, EPFL. Paul Scherrer Institut, Villigen PSI, Switzerland

¹⁴ NEA (2019), [The Costs of Decarbonisation: System Costs with High Shares of Nuclear and Renewables](#). OECD Publishing, Paris

¹⁵ MIT (2018), [The Future of Nuclear Energy in a Carbon-Constrained World](#). MIT Future of Series

3.3 Die Zeit drängt für den Know-how-Erhalt

Eine wichtige Voraussetzung für Aufbau und Betrieb von Kernkraftwerken ist die Verfügbarkeit von hochqualifiziertem Personal. In diesem Jahrzehnt gehen viele Personen mit Erfahrung und Wissen in Pension. Ein Generationenwechsel ist in allen Kernkraftwerken und Betreiberfirmen erfolgreich gestartet worden. Jedoch bedingt ein solcher Wechsel Ressourcen, wenn das Know-how ohne Verlust erhalten bleiben soll. Durch die aktuellen Rahmenbedingungen in der Schweiz für die Kernenergie werden Investitionen in einen funktionierenden Know-how-Transfer stark erschwert. Fehlt die Finanzierung von wichtigen Stellen an den Schweizer Kernforschungszentren (PSI, ETH Zürich, EPF Lausanne), ist der Erhalt von Know-how gefährdet. Wegen des faktischen Technologieverbots von Kernkraftwerken werden wohl zudem immer weniger Personen in der Nuklearbranche arbeiten, wenn keine Bemühungen unternommen werden.

3.4 Technologieverbot

Die aktuell grösste Hürde in der Schweiz ist offensichtlich Artikel 12a des Kernenergiegesetzes (KEG), der den Neubau von Kernkraftwerken verbietet. Dieser führt dazu, dass kein kommerzielles Interesse entsteht, ein neues Kernkraftwerk in der Schweiz zu bauen. Indirekt – über geringere Forschungsbeiträge der Firmen – ist davon auch die Forschung betroffen, obwohl diese nicht explizit verboten wird. Wäre das Argument, das Technologieverbot gelte nur für kommerzielle Kraftwerke, ernst gemeint, müsste die Forschung zwangsläufig stärker durch öffentliche Mittel gestützt werden, um einen Wissensverlust zu vermeiden.

3.5 Regulatorische Rahmenbedingungen

Weitere Voraussetzungen betreffen die regulatorischen Rahmenbedingungen. Zwar existiert bereits eine Reihe von Richtlinien, die auch für Neubauten gelten. Es müsste jedoch geprüft werden, ob diese für SMRs verwendbar sind. Die letzten Jahre haben ausserdem zu einer deutlichen Ausweitung der administrativen Arbeit geführt. Für mögliche Neubauprojekte müssten die Anforderungen an die entsprechenden internationalen Standards angepasst werden. Das beinhaltet insbesondere eine Straffung der Zulassungsverfahren, die für SMRs nötige Standardisierung, die Berücksichtigung neuer Sicherheitssysteme und eine pragmatische Anwendung der Richtlinien. Die Anpassungen müssten von der Politik angestossen werden, während die Umsetzung wiederum beim Eidgenössischen Nuklearinspektorat (Ensi) läge. International gesehen besteht bei vielen Ländern bedeutendes Know-how und sehr häufig entscheiden sich diese Länder für Konzepte, die auf bewährten Leichtwasserreaktoren aufbauen. Die Fachleute sind entsprechend bereits für solche Typen ausgebildet.

Am weitesten entwickelt in der Kategorie der Leichtwasserreaktoren sind:

- Die US-amerikanische Auslegung NuScale Power Module™ (NPM) mit einer Leistung von 77 MW_e. Bis zu 12 NPMs können an einem Standort gebaut werden.
- Der BWRX-300 von GE Hitachi (USA/Japan) mit einer Leistung von 300 MW_e. Dieser Reaktor ist eine Weiterentwicklung der Technik, die im Kernkraftwerk Leibstadt bereits eingesetzt wird.
- Der SMR vom britischen Unternehmen Rolls-Royce mit einer Leistung von 470 MW_e.
- Der koreanische SMART-Reaktor mit 100 MW_e Leistung.
- Der argentinische Reaktor CAREM mit 25 MW_e soll in den kommenden Jahren den Betrieb aufnehmen und auch internationaler Kundschaft verfügbar gemacht werden.

Der Betriebsstart aller dieser Reaktoren ist noch in diesem Jahrzehnt geplant. Für die Schweiz wäre es somit realistisch bis ins Jahr 2040 derartige Reaktoren zu haben und die

Betriebserfahrungen von anderen Ländern nutzen zu können. Das wäre noch bevor die beiden grössten Schweizer Kernkraftwerke ihren Betrieb einstellen werden und somit noch bevor sich die Winterstromlücke noch weiter ausweiten wird.

4. Szenario für die Schweiz

Um in der Schweiz neue Nuklearanlagen bauen zu können, sind wie in Kapitel 3 dargelegt, viele Voraussetzungen bereits erfüllt. Weitergehende notwendige Rahmenbedingungen werden in diesem Kapitel behandelt. Zudem werden Abschätzungen zu einem möglichen Zeitplan gemacht.

4.1 Bedingungen der Investoren

Damit Investoren in neue Kernkraftanlagen in der Schweiz zu investieren bereit sind, müssen einige grundlegende Bedingungen erfüllt sein, u.a.:

1. Die Sicherheit neuer Anlagen muss gewährleistet sein.
2. Die gesetzlichen Grundlagen müssen gegeben sein.
3. Die gesellschaftliche Akzeptanz muss vorhanden sein.
4. Die Anlagen müssen im Markt verfügbar sein (keine Versuchs- bzw. Erst-Projekte).
5. Die Wirtschaftlichkeit neuer Anlagen muss gegeben sein.

4.2 Weitere Rahmenbedingungen

Zu den grundlegenden Voraussetzungen für den Bau moderner Nuklearanlagen in der Schweiz gehören eine transparente Informationspolitik, gesetzliche und regulatorische Rahmenbedingungen sowie der Erhalt und weiterer Aufbau des Fachwissens.

Informationspolitik

Nukleare Bauvorhaben müssen im Volk breit abgestützt sein. Die Bevölkerung muss daher von Beginn an in den Prozess einbezogen und transparent informiert werden. Es braucht einen offenen und konstruktiven Dialog von Politik, Betreibern und Behörden bezüglich der verschiedenen Herausforderungen und Optionen in der Energieversorgung. Dazu zählt auch die Kernenergie. Dank den neuen Entwicklungen der Nuklearbranche sind die Argumente in Bezug auf Sicherheit, Ökologie, Landschaftsschutz, Beitrag zum Klimawandel und zur Versorgungssicherheit positiv für die Nuklearenergie und können der Bevölkerung entsprechend dargelegt werden. Die Vorteile und Möglichkeiten der neuen Entwicklungen (unter anderem Kraftwerke der Generationen III und III+ sowie SMRs) sind trotz einer grossen weltweiten Dynamik in der breiten Schweizer Bevölkerung kaum bekannt, da diese Technologie hierzulande vergleichsweise wenig Aufmerksamkeit geniesst.

Gesetzliche / regulatorische Rahmenbedingungen

In Bezug auf die gesetzlichen und regulatorischen Rahmenbedingungen sollte in der Schweiz unter Beteiligung aller relevanten Stakeholder, die von einem solchen Projekt betroffen wären, eine Roadmap erstellt werden. So ein Szenario würde die konkreten notwendigen Schritte hin zu neuen Nuklearanlagen aufzeigen, Konfliktpotenziale vorwegnehmen und die Akzeptanz des Vorhabens sicherstellen. Das Ensi ist von Anfang an eng einzubinden.

Eine grundlegende Bedingung ist die Anpassung des Kernenergiegesetzes (konkret die Aufhebung des Neubauverbots durch die eidgenössischen Räte inklusive darauffolgendem

Referendum). Die regulatorischen Vorgaben im Nuklearbereich stammen primär aus der Zeit der Anlagen der 2. Generation und müssen an die neuen Anlagenkonzepte angepasst werden. Das Ensi hat in den vergangenen Jahren ihren Schwerpunkt auf dem sicheren Betrieb der bestehenden Anlagen sowie auf Rückbau und Entsorgung gelegt. Sie benötigt Zeit, um Wissen und Kenntnisse im Bereich Neubauprojekte zu erweitern.

Weitere Schritte wurden in der Vergangenheit durch die Einreichung von Rahmenbewilligungsgesuchen bereits unternommen und könnten als Basis für Neubauprojekte dienen.

Fachkräfte und Know-how

Nukleare Neubauprojekte benötigen ein umfassendes Wissen in den verschiedensten Fachbereichen im Inland. Dieses ist gezielt durch eine Förderung der Forschung und Ausbildung sicherzustellen. Die Unterstützung der nuklearen Ausbildung von Fachkräften, insbesondere an den eidgenössischen technischen Hochschulen, muss fortgeführt und erweitert werden. Eine sinnvolle Möglichkeit zur Verbreiterung der Kompetenzen im Inland wäre ein breit angelegtes Nationales Forschungsprogramm Kernenergie (NFP), welches die diversen Aspekte der Kernenergie (inklusive Neubauprojekte) abdeckt. Im Rahmen eines solchen Forschungsprogramms besteht dann auch die Möglichkeit auf Fachkräfte aus dem Ausland mit Erfahrung in neuen nuklearen Bauprojekten zurückzugreifen.

Integration ins System – finanziell und technisch

Die Integration von modernen Nuklearanlagen ins schweizerische Stromsystem muss technisch wie auch wirtschaftlich geplant und aufgegleist werden. Einige Aspekte dazu werden im Folgenden dargelegt.

Technische Systemintegration:

Da das Schweizer Energiesystem bereits heute von Wasser- und Kernkraftwerken dominiert wird, sind die technischen Hürden für die Integration einer neuen Nuklearanlage gering. Trotzdem muss die Integration von modernen Nuklearanlagen ins Stromversorgungssystem der Tatsache gerecht werden, dass künftig vermehrt volatile und wetterabhängige Stromerzeuger (primär Solar- und Windenergie) im Netz präsent sind. Moderne Nuklearanlagen können neben Bandleistung je nach Anlagenkonzept auch flexibel abrufbare Leistung bereitstellen (Lastfolgebetrieb) und damit ein optimales Zusammenspiel zwischen den verschiedenen Formen der Energiebereitstellung ermöglichen. Insbesondere können Nuklearanlagen gerade bei Abwesenheit von Sonne und Wind einspringen und die Notwendigkeit von teuren und emissionsbehafteten saisonalen Energiespeichern (vor allem Power-to-Gas) verringern. Da es sich bei Nuklearanlagen um thermische Energieerzeuger handelt, besteht die Chance, die Abwärme der Anlagen für grossflächige und emissionsarme Wärmeverbünde zu nutzen.

Wirtschaftliche Integration von Nuklearanlagen/SMRs:

Neben der technischen ist auch die wirtschaftliche Integration von neuen Nuklearanlagen ins Stromversorgungssystem zu planen. Internationale Studien zu einem wirtschaftlichen Mix der Stromerzeugung in unseren Breiten kommen zum Schluss, dass eine etwa hälftige Aufteilung zwischen Nuklearenergie und Erneuerbaren (schwergewichtig Wasser, ergänzt durch neue Erneuerbare) optimal ist.¹⁶ Dies liegt unter anderem daran, dass Nuklearanlagen gerade im Winter zuverlässig Strom bereitstellen können und den Bedarf nach saisonalen Speichern verringern. Das Marktdesign muss auf ein derartiges Stromsystem angepasst

¹⁶ Siehe dazu: IEA (2022). [Nuclear Power and Secure Energy Transitions](#)

sein. In den vergangenen Jahren wurden von der Schweizer Politik eine Reihe von Subventionen und Auflagen erlassen, welche die Marktkräfte massgeblich verzerrt haben und die Versorgungssicherheit sowie eine möglichst günstige Stromversorgung nicht unbedingt unterstützt haben.

Finanzierungsmodelle

Die Erstellung von neuen Nuklearanlagen erfordert erhebliche finanzielle Mittel. Grosse Anlagen der Generationen III und III+ benötigen zunächst grosse Investitionen, was für Investoren eine hohe Hürde darstellt. Moderne SMRs bieten die Chance auf deutlich geringere Investitionsvolumen, da die Produktionsstandorte auf Modulen basieren und schrittweise vergrössert werden können.

Grundsätzlich käme für ein neues Kernkraftwerk eine Beteiligungs- oder eine Kreditfinanzierung in Betracht. Die Kernkraftwerke Leibstadt und Gösgen sind als sogenannte «Partnerwerke» organisiert, wobei unter den Eigentümern sowohl Firmen als auch öffentliche Körperschaften wie etwa die Stadt Zürich zu finden sind. Die Werke sind entsprechend als Aktiengesellschaften ausgestaltet und die Firmen und Körperschaften halten Aktienanteile. Aufgrund der hohen Summen und der zunehmend restriktiven Kreditvergaberichtlinien der Schweizer Banken für nukleare Anlagen muss eine Kreditfinanzierung aktuell als sehr schwierig erachtet werden¹⁷. Eine Lösung im Sinne einer Beteiligungsfinanzierung hätte auch den Vorteil, dass feste Zahlungsverpflichtungen (Zinsen und Tilgung des Fremdkapitals) ausbleiben würden. Die Liquidität des Kernkraftwerkes würde entsprechend geschont.

Mit einer Beteiligungsfinanzierung gäbe man der Schweizer Stromwirtschaft und der Industrie zudem die Möglichkeit, auf die Geschäftspolitik des Kernkraftwerkes einzuwirken. Wertvolles Wissen kann in den Verwaltungsrat eingebracht werden und so die Zusammenarbeit zwischen Stromproduktion und produzierender Industrie gestärkt werden. Die bereits für Gösgen und Leibstadt angewandte Finanzierungsform bietet entsprechend Vorteile und sollte auch für ein neues Kernkraftwerk in Betracht gezogen werden. Es ist im politischen Prozess darauf zu achten, dass institutionelle Anleger wie etwa Pensionskassen in Kernanlagen investieren könnten. Aktuell wird bei den Finanzinstitutionen die Finanzierung von Kernkraftwerken offenbar schwergewichtig von Banken und Versicherungen übernommen, wobei Pensionskassen praktisch keine Anteile halten.¹⁸ Das Anliegen, dass gerade Pensionskassen ihre Anlagepolitik nach dem Pariser Übereinkommen und damit nach der Klimaverträglichkeit ausrichten, ist nicht neu und war schon Gegenstand von politischen Vorstössen.¹⁹ Entsprechend würde sich eine Lösung, bei der Pensionskassen in nukleare Anlagen investieren, anbieten. Damit würden die Investitionen der Schweizer Pensionskassen schlagartig wesentlich klimafreundlicher. Aktuell wird ausserdem angedacht, eine sogenannte «Green Investment Bank» zu gründen, welche privates Kapital für ökologische Transformationsprojekte mobilisieren soll.²⁰ Bei der Ausgestaltung dieser Investitionsbank ist darauf zu achten, dass Investitionen in Kernenergie möglich sind.

¹⁷ Siehe dazu: Diskussion um die Kreditvergaberichtlinien der Aargauischen Kantonalbank. Aargauer Zeitung (2022). [Aargauische Kantonalbank passt Kriterien für Kreditvergabe an](#)

¹⁸ Siehe dazu: Bundesamt für Umwelt (BAFU). [Klima und Finanzmarkt](#) sowie PACTA et Wüest Partner (2022). [PACTA Climate Test Switzerland 2022: Aiming Higher](#) und [deutsche Zusammenfassung](#)

¹⁹ Mazzone Lisa (2017). Interpellation [Pensionskassen und Klimanotfall](#). Auswirkungen von Investitionen auf das Klima offenlegen. Curia Vista 17.3904

²⁰ Gerhard Andrey (2022). Motion [Swiss Green Investment Bank](#). Curia Vista 22.3469

Bewilligungsverfahren

Für die Errichtung eines Kernkraftwerkes müssen folgende Bewilligungen erteilt werden:

- Rahmenbewilligung nach Art. 12 KEG
- Baubewilligung nach Art. 15 KEG
- Betriebsbewilligung nach Art. 20 KEG

Aktuell ist im KEG bereits eine gewisse Bündelung der Bewilligungspflichten vorhanden. So kann gemäss Art. 20 Abs 2 KEG die Betriebsbewilligung gleichzeitig mit der Baubewilligung erteilt werden, wenn die Voraussetzungen für einen sicheren Betrieb bereits zu diesem Zeitpunkt abschliessend beurteilt werden können.

Tiefenlager

Mit neuen Reaktoren würde sich die Vorgehensweise in Bezug auf ein geologisches Tiefenlager grundsätzlich nicht ändern. Es gäbe nach wie vor ein Tiefenlager. Die Entsorgungsthematik würde sich also nicht verschärfen. Die grösseren Abfallvolumina müssten allerdings beim Rahmenbewilligungsgesuch berücksichtigt werden. Aktuell wird auch im Bereich der Transmutation geforscht, welche, eine mengenmässige Reduktion sowie eine Verkürzung der Lagerdauer von Abfall erlauben würde. Sollte diese Technologie marktreif werden, bedarf es aber dennoch eines Tiefenlagers für die Schweiz.

Zeitlicher Rahmen

Im Folgenden werden die Eckwerte eines möglichen Zeitplans für neue Nuklearanlagen aufgezeigt. Aufgrund der Dringlichkeit der Versorgungsthematik wären parallel laufende Prozesse angezeigt und möglich. Einerseits betrifft dies die politischen Prozesse und die konkreten Projektplanungsarbeiten. Andererseits hat die Politik die Genehmigungsverfahren im Bereich erneuerbarer Energien teilweise stark gestrafft – ein Schritt, von welchem auch die Nuklearenergie profitieren können muss.

Ein konkreter Zeitplan könnte etwa folgendermassen aussehen:

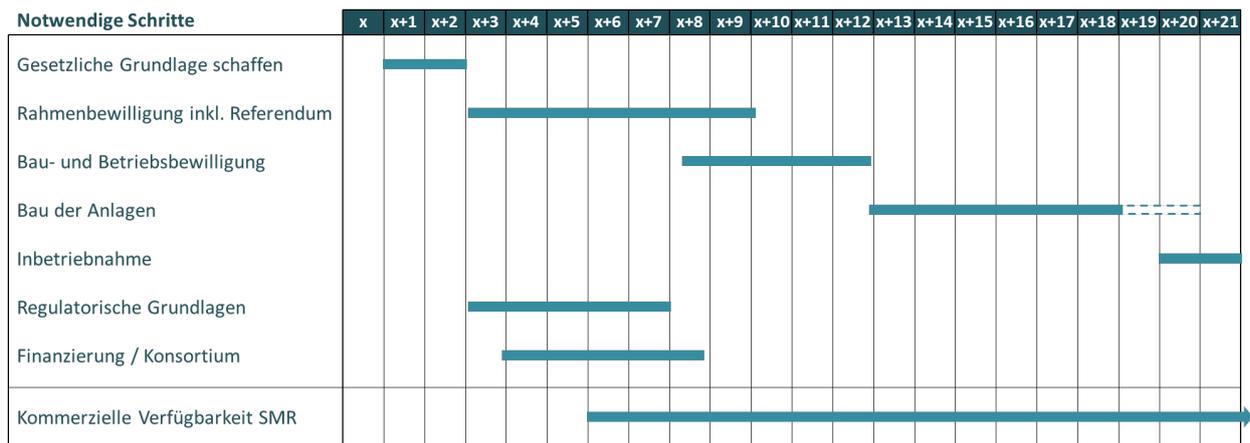


Abb. 4-1: Zeitplan zur Realisierung neuer Nuklearanlagen in Schweiz. Gemäss eigenen Überlegungen und Berechnungen. Basierend auf internationalen Erfahrungswerten bei Neubauprojekten wie etwa China und den Vereinigten Arabischen Emiraten

In einem ersten Schritt sind die politischen Fragen zu klären und die gesetzlichen Grundlagen zu schaffen. Dies betrifft insbesondere die Aufhebung des Technologieverbotes und gegebenenfalls des Wiederaufarbeitungsverbots. Zudem sollte die Energiestrategie des Bundes technologieoffen im Hinblick auf Versorgungssicherheit, Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit überarbeitet werden. Die Rahmenbewilligung einer neuen Anlage untersteht dem gesetzlichen Referendum. Ist diese erteilt, ist eine kombinierte Bau- und Betriebsbewilligung durch das Eidgenössische Departement für Umwelt, Verkehr, Energie und Kommunikation (Uvek) nötig. Für den Bau einer neuen Anlage kann je nach Typ von vier bis acht Jahren Bauzeit ausgegangen werden. Die heute in Betrieb stehenden Anlagen benötigten im weltweiten Durchschnitt sieben Jahre. Moderne SMRs streben Bauzeiten von nur drei Jahren an, was durch hohe Vorfabrikation und Standardisierung der Anlagen erreicht werden soll. Auch bei klassischen Anlagen der Generationen III und III+ ist von deutlich kürzeren Bauzeiten als bei den europäischen «First-of-a-kind-Projekten» auszugehen, da die Branche Erfahrung gewinnt, die Lieferketten etabliert und Fachkräfte langfristig aufbaut. Die Inbetriebnahme erfolgt schrittweise mit verschiedenen Testphasen bis hin zum Volllastbetrieb. Eine Projektdauer von etwa 20 Jahren ist somit plausibel und durchaus attraktiv: Die Erstellung von äquivalenten Mengen an Photovoltaik oder Windenergie dauert durchaus ähnlich lange, wenn man davon ausgeht, dass mehrere Reaktoren etwa gleichzeitig erstellt würden. Der vorgeschlagene Zeitplan würde für die Schweiz keine «First-Mover» Position ergeben, da sowohl SMR-Projekte in Ländern wie Estland, Polen, Rumänien und den USA deutlich früher fertiggestellt werden sollen, respektive Projekte der Generation III bereits weltweit umgesetzt werden. Die Schweiz könnte sich auf die Erfahrungen anderer Länder abstützen. Ausserdem wären bis dahin die Lieferketten und die Produktion eingespielt.

4.3 Kernenergie bleibt wirtschaftlich attraktiv

Kernenergie ist nach wie vor eine ökonomisch interessante Energieform. Weltweit wird in neue Kraftwerke und Konzepte investiert, wobei sich neben staatlichen vor allem auch private Investoren beteiligen. In den vergangenen Jahrzehnten hat die Schweiz mit der Nuklearenergie gute Erfahrungen gemacht. Deren Beitrag an eine sichere, klimafreundliche und auch kostengünstige Stromversorgung des Landes ist unbestritten. Es kann davon ausgegangen werden, dass neue Nuklearanlagen eine ähnliche Ökonomie aufweisen würden.

Gestehungskosten

Um diese Aussagen zu plausibilisieren, wurden für dieses Paper eigene Berechnungen von Gestehungskosten auf Anlagen-Ebene angestellt. Die Berechnungen wurden unter Einbezug aller relevanter Kostenanteile über den gesamten Lebenszyklus von Erzeugungsanlagen gemacht, das heisst von Investitionen und Betriebskosten über Brennstoffe bis hin zu Rückbau und Entsorgung von Anlagen und Abfällen nach Erreichen des Endes der Lebensdauer. Bei den Neuanlagen beziehen sich die Zahlen auf einen Bau in heutiger Zeit. Für eine bestmögliche Vergleichbarkeit wurden Parameter wo möglich über alle Technologien hinweg gleichgesetzt (z.B. Zinssätze, Renditen, Zertifikatspreise). Die Amortisation der Anlagen wurde nach der Annuitätenmethode über die gesamte Laufzeit der Anlagen gerechnet. (Die Schweizer KKW sind heute hingegen bereits beschrieben, was zu geringeren ausgewiesenen Stromgestehungskosten führt).

Es geht bei diesen Berechnungen nicht um die konkreten Finanzbeträge, sondern eine Plausibilisierung von Grössenordnungen. Letztlich hängen die Gestehungskosten konkreter Anlagen stark von vielen Parametern wie regulatorischen Rahmenbedingungen, der Finanzierungsmodalitäten, der Geografie, allfälliger Subventionen und dergleichen ab.

Zu beachten ist, dass bei den fluktuierenden Einspeiseformen keine Kosten für Systemintegration wie Speicher, Netzausbau, Smart Grid oder dergleichen eingerechnet wurden – diese werden besonders relevant, wenn der Anteil fluktuierender Energieformen gross wird. **Letztlich muss für die installierte Leistung fluktuierender neuer Erneuerbarer immer eine Backup-Kapazität (Kraftwerk oder Speicher) bereitstehen.** Ebenso fehlt verlässliches Zahlenmaterial zur Entsorgung von Windkraft- und Solaranlagen, da die Endlagerung der chemisch-toxischen Abfälle typischerweise im Ausland geschieht.

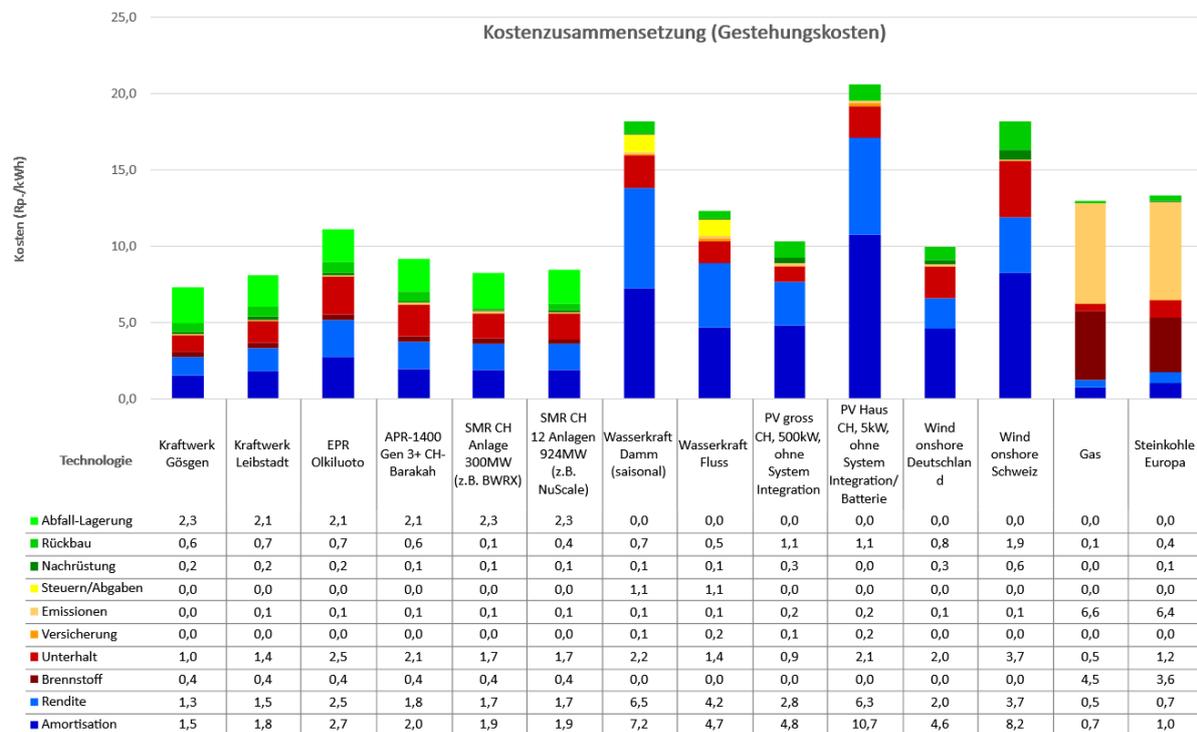


Abb. 4-2: Kernenergie ist nach wie vor ökonomisch konkurrenzfähig. Gestehungskosten auf Anlagenebene für verschiedene Stromproduktionsformen in Rp./kWh gemäss eigenen Berechnungen und Datengrundlage im Anhang

Die Rechnungen zeigen, dass die Kernenergie für die Schweiz eine ökonomisch attraktive Option bleibt. Dabei spielt die Wahl des konkreten Anlagentyps wohl eine untergeordnete Rolle. Es bestehen grosse Unterschiede bei den Anfangsinvestitionen. **Die lange Laufdauer und die enormen Mengen an klimafreundlicher Energie, welche über Jahrzehnte aus Nuklearanlagen gewonnen werden können, führen zu insgesamt attraktiven Gestehungskosten, selbst für Anlagen mit hohen Investitionskosten wie z.B. Olkiluoto 3 in Finnland.**

Ein Vergleich mit der fundierten Studie vom PSI²¹ zeigt, dass die Grössenordnungen dieser gerechneten Gestehungskosten plausibel sind. Die PSI-Studie nennt Variationsbreiten für Gestehungskosten verschiedener Energieformen für die Jahre 2018 sowie 2050, die detaillierten Annahmen sind der Studie zu entnehmen.

²¹ Bauer Christian et al. (2019). [Potentials, costs and environmental assessment of electricity generation technologies](#). PSI, WSL, ETHZ, EPFL. Paul Scherrer Institut, Villigen PSI, Switzerland

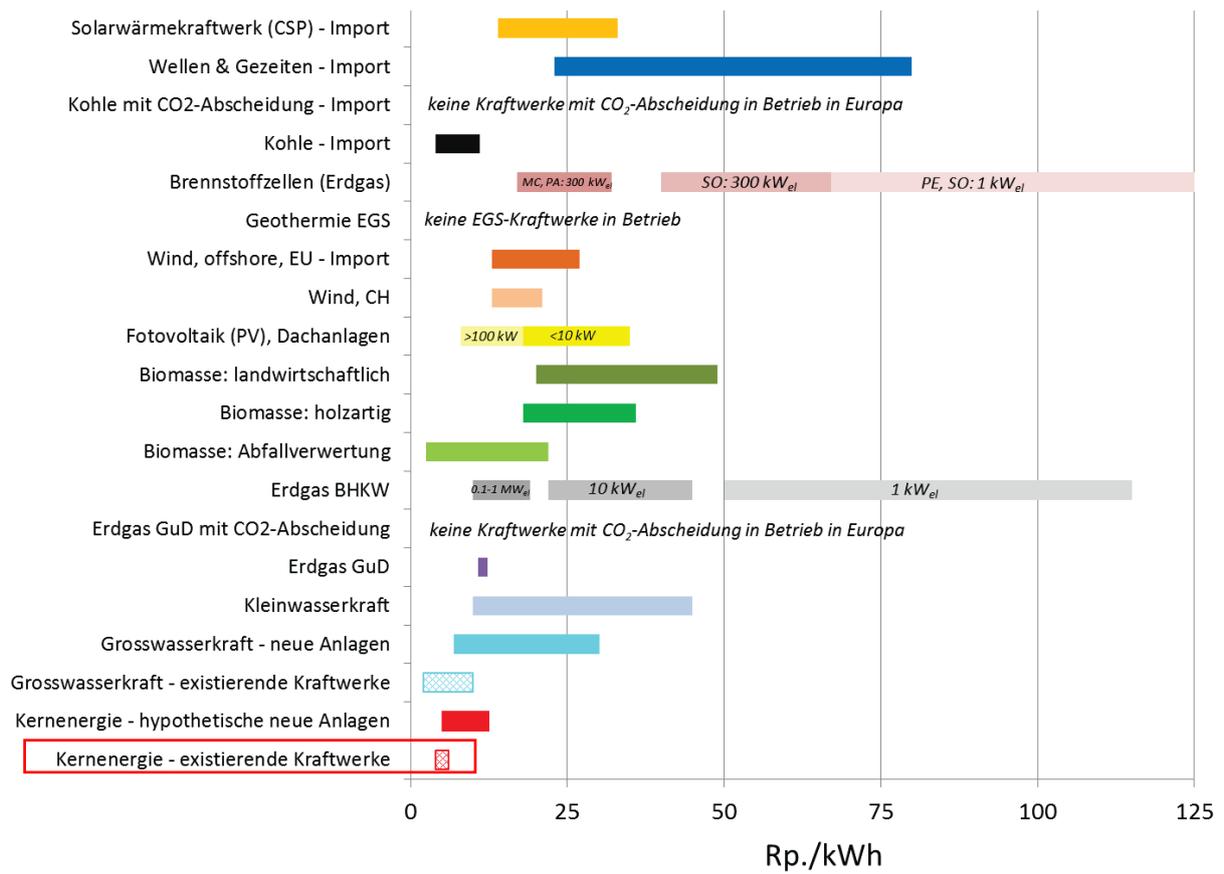


Abbildung 4-3: Gestehungskosten unterschiedlicher Energieformen im Jahr 2018. Aus: Bauer Christian et al. (2019). Potentials, costs and environmental assessment of electricity generation technologies, Seite 86

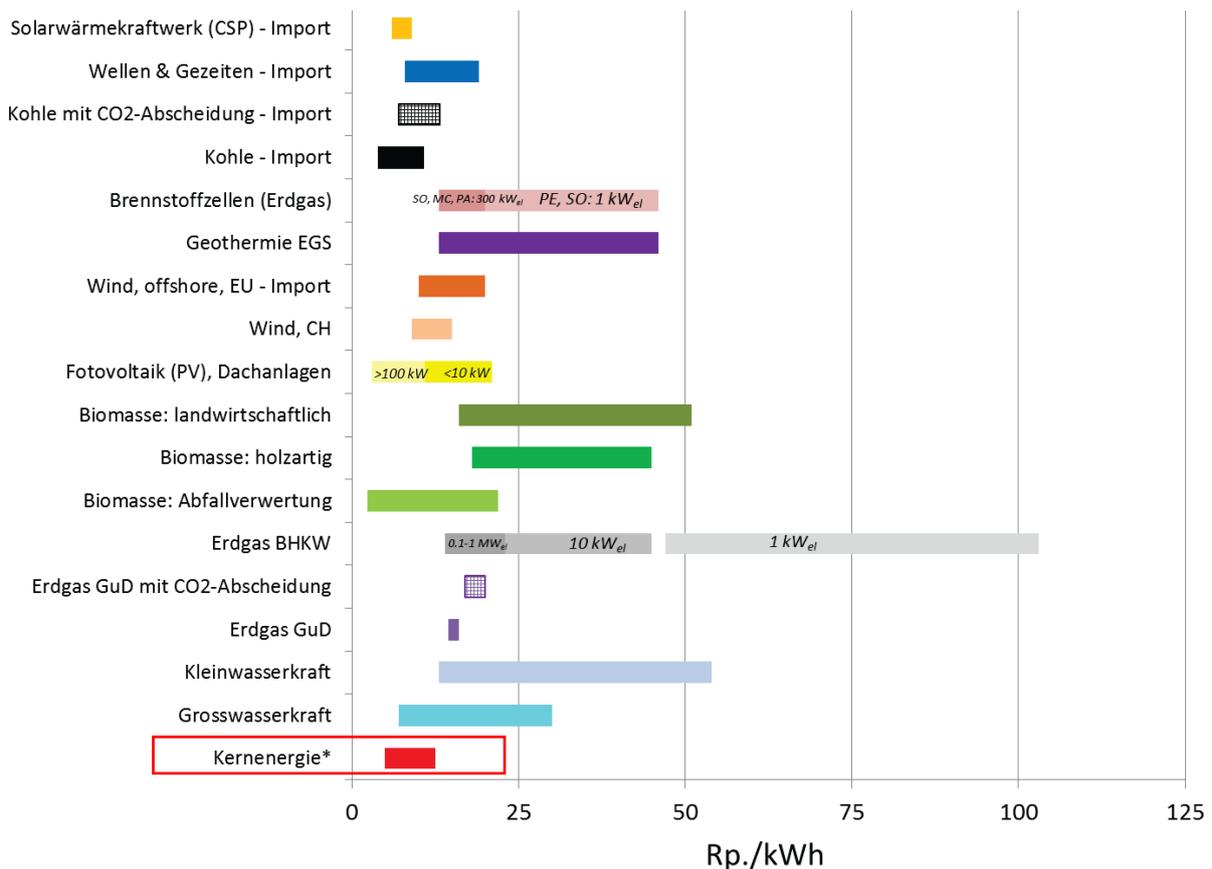


Abb. 4-4: Gestehungskosten unterschiedlicher Energieformen im Jahr 2050. Aus: Bauer Christian et al. (2019). Potentials, costs and environmental assessment of electricity generation technologies, Seite 88

Die Studie des PSI zeigt auf, dass die Solarenergie durchaus noch Potenzial hat in Bezug auf die Gestehungskosten und somit bis 2050 nochmals deutlich günstiger wird. Dies gilt auch für die Windkraft. Die Kernenergie ist gemäss Studie bereits heute konkurrenzfähig und ordnet sich bis 2050 etwa auf dem gleichen Niveau ein wie grosse Solar- und Windanlagen. Es ist somit plausibel, dass alle diese Energieformen auch künftig eine Rolle spielen werden und nicht aus ökonomischen Gründen ausscheiden.

Die NEA Studie «[Achieving Net Zero Carbon Emissions in Switzerland 2050](#)» kommt insofern zu ähnlichen Ergebnissen, als alle Szenarien mit Kernenergie geringere Gesamtsystemkosten aufweisen als ein rein erneuerbares Systemdesign, wobei das Langzeitbetrieb-Szenario gemäss Studie am günstigsten ist:

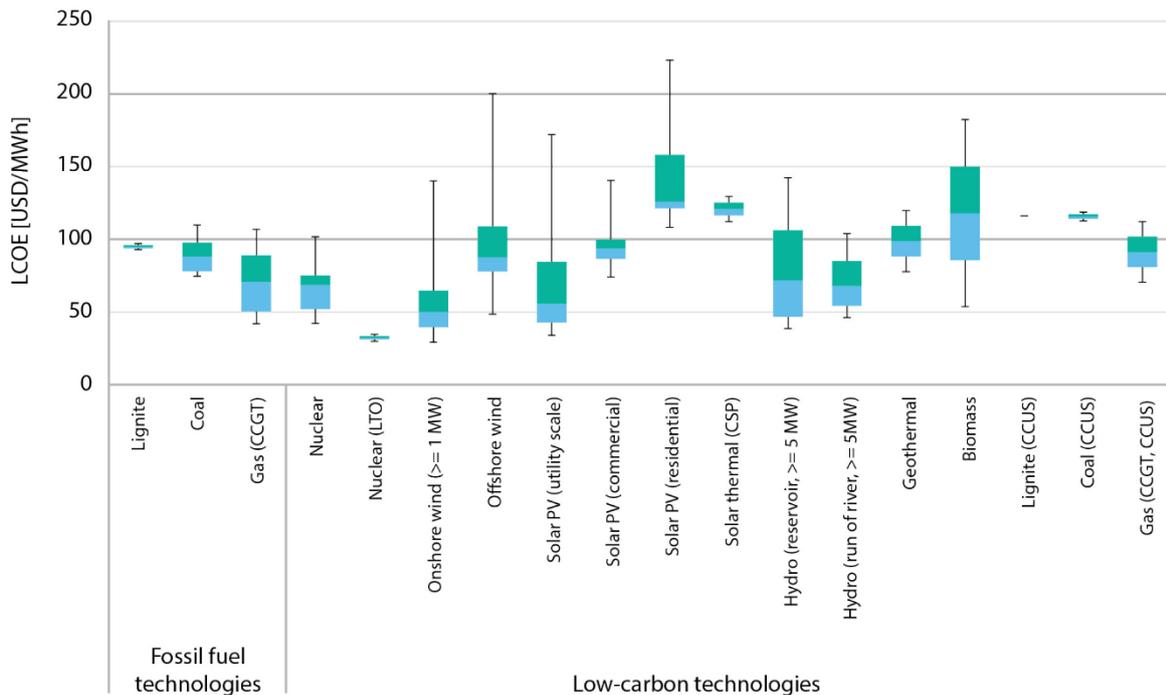


Abbildung 4-5: Gestehungskosten auf LCOE-Basis für verschiedene Stromproduktionsformen. Aus NEA (2022). Achieving Net Zero Carbon Emissions in Switzerland 2050, Seite 47

4.4 Relevante ökonomische Einflussfaktoren

Relevante Kostenanteile bei Nuklearanlagen sind der regulatorische Rahmen, das Marktmodell sowie die Anzahl und Typenvielfalt von Anlagen, welche gebaut werden. Bei der Ausgestaltung der Regularien muss der Fokus konsequent auf der Sicherheit liegen. Wo Spielraum besteht, sollte dieser zugunsten der Ökonomie von Anlagen genutzt werden (zum Beispiel mit der Angleichung an internationale Regelwerke im Sinne einer Harmonisierung, also einem Verzicht auf «Swiss Finish»). Um einen fairen Wettbewerb der Technologien zu ermöglichen und die winterliche Verfügbarkeit zu honorieren, sollte beim Marktdesign auf eine Gleichbehandlung von emissionsarmen Technologien geachtet werden. Die zunehmende Anzahl gebauter Reaktoren bringt eine gewisse Standardisierung und somit mögliche Synergieeffekte mit sich.

SMR-Konzepte haben gegenüber Grossanlagen einen geringeren initialen Investitionsbedarf. Dies senkt die Hürden für Investoren. **Auffallend in den Berechnungen ist, dass selbst europäische Anlagen, welche aufgrund ihres «First-of-a-kind»-Charakters Kostenüberschreitungen erlitten haben, über ihre gesamte Lebensdauer immer noch Energie zu vernünftigen Kosten bereitstellen können.** Die Kostenkurve dieser Anlagentypen wird mit Lerneffekten in der Industrie und Standardisierungen weiter sinken. Dies zeigt sich anhand einer Reihe von nicht-europäischen Reaktorprojekten, welche praktisch im Zeitplan und im Budget umgesetzt worden sind.

In Zusammenhang mit den Gestehungskosten kommt immer wieder das Thema der Versicherung von Risiken ins Spiel. Hierzu bestehen international Methoden und marktreife Lösungen wie zum Beispiel CAT-Bonds (Katastrophenanleihen) oder die Möglichkeit des Poolings über eine grössere Anzahl Anlagen.

4.5 Vorteile der Kernenergie bei der Systemintegration

Die oben genannten Überlegungen und Berechnungen betreffen die Ökonomie auf Ebene der Anlagen (LCOE). Dabei bleibt ausser Acht, dass gerade volatile Energiequellen wie Solar und Wind erhebliche weitergehende Systemintegrationsmassnahmen wie saisonale Speicher, Lastmanagement, Smart Grid und dergleichen notwendig machen, was zum Beispiel die Diskussion in der Schweiz um «Power2X»-Technologien zeigt. Letztlich muss immer eine Backup-Kapazität für alle Situationen vorhanden sein in Form eines konventionellen Kraftwerks oder eines Speichers. Die Studie der NEA «[Achieving Net Zero Carbon Emissions in Switzerland in 2050](#)» macht eine Gesamtsystembetrachtung, welche die Systemintegration ebenso berücksichtigt wie weitere gesellschaftliche Faktoren. Dabei zeigt sich, dass für die Erreichung einer baldigen Dekarbonisierung der Schweizer Wirtschaft ein Langzeitbetrieb der bestehenden Anlagen die kostengünstigste Variante ist und dass neue Kernkraftanlagen bezüglich Gesamtsystemkosten attraktiver sind als ein System ohne Kernkraft.

5. Schliessung der Winterstromlücke mit Kernkraftwerken

5.1 Die Problematik der Winterlücke

Die Stromversorgung der Schweiz im Winter stellt eine grosse Herausforderung dar. In den letzten Jahrzehnten wurde diese primär durch einen Mix aus Wasserkraft und Kernenergie sichergestellt. Dieser praktisch CO₂-freie Ansatz hat sich bestens bewährt, ist aber durch die stufenweise Abschaltung der Kernkraftwerke infrage gestellt. Auch wurde in den letzten Jahren im Winter zunehmend Strom importiert: die jährlich durchschnittlich importierten ca. 4 TWh entsprechen etwa der halben Jahresproduktion des KKW Gösgen. Zusätzlich verschärft sich die Situation durch einen steigenden Stromverbrauch aufgrund einer an sich sinnvollen Elektrifizierung von Mobilität, Gebäudepark und Industrie. In allen in einer Empa-Studie untersuchten Szenarien ohne Kernenergie steigen die Winter-Importe deutlich an, da der jährliche Stromkonsum um gegen 12 TWh zunehmen wird²². Das führt dazu, dass im Winterhalbjahr bis zu 40% des Schweizer Strombedarfs aus Importstrom gedeckt werden müssen.

Kurzfristige Herausforderungen

Die kurzfristigen Herausforderungen im Zusammenhang mit dieser durch das Bundesamt für Energie vorgegebenen Importstrategie sind vor allem politischer Natur: Aufgrund des fehlenden Stromabkommens mit der EU ist die Integration in den EU-Strommarkt mangelhaft. Insbesondere die «70 Prozent-Regel» im EU-Binnenmarkt, wonach 70% des Handelsvolumens für den Binnenmarkt reserviert sind, stellt die Verfügbarkeit einer genügenden Netzkapazität für den Stromhandel infrage. Auch kann aufgrund der aktuellen geopolitischen Situation nicht davon ausgegangen werden, dass das Ausland die Schweiz im Winter in ausreichendem Mass unterstützen kann, da gerade Deutschland aufgrund der Abhängigkeit von russischem Gas im Winter eher zu wenig als zu viel Strom erzeugen wird.

Langfristige Herausforderungen

Die längerfristigen Herausforderungen sind hingegen hausgemacht: Die Energiestrategie der Schweiz sieht auf lange Frist keine ausreichende Eigenstromversorgung vor, sondern setzt schwergewichtig auf winterliche Stromimporte, während sie im Inland primär (und praktisch ausschliesslich) auf den Ausbau der Photovoltaik (PV) setzt. Als Rückfallebene

²² Rüdüsüli Martin, Romano Elliot, Eggimann Sven, Patel Martin K. (2022), [Decarbonization strategies for Switzerland considering embedded greenhouse gas emissions in electricity imports](#). In: Energy Policy 162

sollen Gaskraftwerke dienen, welche den Zielen der Dekarbonisierung entgegenlaufen, aufgrund der geopolitischen Lage kaum zuverlässig mit Gas versorgt werden können und in einem spärlichen Teilbetrieb ökonomisch uninteressant sind. Der Fokus auf Photovoltaik ist in unseren Breiten für eine Winterstromversorgung wenig hilfreich. Selbst bei einem ambitionierten Ausbau von 30 GW PV²³ fallen in den Monaten Dezember bis Februar nur ca. 2,7 TWh Solarenergie an (Szenario «Zubau wie bisher»). Der Konsum in dieser Zeit beträgt heute bereits etwa 18,5 TWh und künftig wohl eher 22-25 TWh. Die Solarenergie ist somit in grossem Mass von noch länger nicht verfügbaren zusätzlichen saisonalen Speichern wie Power-to-Gas-Lösungen oder zusätzlichen Wasser-Speicherkraftwerken abhängig, welche die sommerliche Produktion in den Winter verlagern können. Der geplante Ausstieg aus der Kernenergie verschärft diese Situation zunehmend, weshalb ein Betrieb der bestehenden Anlagen, solange diese sicher sind, eminent wichtig ist. **Wäre die Ausstiegsinitiative im November 2016 angenommen worden, wären 730 MW Bandleistung von Beznau-1 und -2 bereits heute nicht mehr verfügbar, zusätzlich ab 2024 1010 MW von Gösgen sowie ab 2029 1220 MW von Leibstadt. Die Schweiz wäre damit in sehr hohem Masse abhängig vom Ausland. Es würden insgesamt 18,6 TWh an produziertem Strom für die Versorgung fehlen.**

Die Winterstromversorgung der Schweiz ist somit durch eine ungenügende politische Integration in den europäischen Strommarkt, den absehbaren Ausstieg aus der Kernenergie, einen ungenügenden Ausbau eigener Produktion sowie das Fehlen von saisonalen Speichern gefährdet.

5.2 Aktuelle Lösungsansätze und deren Limitationen

Allen zur Diskussion stehenden Technologien der Energiestrategie ist gemeinsam, dass sie nicht über das Potenzial verfügen, innert nützlicher Frist eine sichere Winterstromversorgung zu gewährleisten. Im Folgenden wird kurz auf die einzelnen Technologien eingegangen:

- **Photovoltaik (PV):** Die PV wurde in den letzten Jahrzehnten massiv weiterentwickelt und ist vor allem in südlicheren Ländern fester und wachsender Bestandteil der Stromversorgung. Auch in der Schweiz erfährt die PV einen zügigen Ausbau und liefert vor allem im Sommer relevante Strommengen, die mithelfen, die saisonalen Speicher für den Winter zu schonen. Alpine Solaranlagen sind im Winter ertragreicher, ökonomisch wie technisch jedoch anspruchsvoll und stehen teilweise in Konkurrenz zum Landschaftsschutz. Der Ausbau erfordert hohe Subventionen und Materialflüsse. Zudem benötigt PV eine aufwändige Systemintegration in Form von Netzausbau, Smart Grids und saisonalen Speichern oder anderweitigen Backup-Kapazitäten. Eine Abhängigkeit von China sollte durch eine weltweite Diversifikation der Beschaffung von PV-Zellen vermieden werden.
- **Windkraft:** Der Ausbau der Windkraft in der Schweiz gestaltet sich aufgrund von Interessenskonflikten bisher als schwierig. Die Windkraft kann ein Stromsystem jedoch insofern ergänzen, als dass gerade auch im Winter relevante Energiemengen erzeugt werden können.
- **Wasserkraft:** Die Wasserkraft als Grundpfeiler der winterlichen Stromversorgung ist in der Schweiz unbestritten. Das Ausbaupotenzial ist jedoch beschränkt.
- **Gaskraftwerke:** Seit dem Vorliegen der aktuellen Energiestrategie sind Gaskraftwerke vorgesehen, um die Winterlücke zu schliessen. Deren Einsatz läuft jedoch der Dekarbonisierung zuwider und in der aktuellen geopolitischen Situation ist die Verfügbarkeit von Gas mit Risiken behaftet.

²³ Energie Schweiz (2021). Studie «[Winterstrom Schweiz](#)». Was kann die heimische Photovoltaik beitragen?

- **Übrige Erzeugungstechnologien:** Technologien wie Tiefengeothermie, Biomasseverstromung oder Kleinwasserkraft sind an sich sinnvoll, werden jedoch rein mengenmässig eine untergeordnete Rolle spielen.
- **Power-to-Gas (P2G):** Als mögliche saisonale Speichertechnologie ist P2G seit Jahren im Gespräch. Die Technologie steht am Anfang ihrer Entwicklung und ist aufwändig und aufgrund von beschränkten Wirkungsgraden kostspielig und wenig effizient. Oft werden P2G-Anlagen zum Absorbieren von Erzeugungsspitzen im Sommer vorgeschlagen, was einem geplanten und kostspieligen Teillastbetrieb gleichkommt. Grosse Gasspeicher, welche für eine Winterversorgung für das erzeugte Gas nötig wären, sind in der Schweiz weder geplant noch Teil der politischen Diskussionen.
- **Import von Wasserstoff:** Neben dem direkten Import von Strom besteht die Möglichkeit, künftig Wasserstoff aus einer weltweit entstehenden Wasserstoffwirtschaft zu beziehen. Damit liesse sich zum Beispiel das Solarpotenzial südlicher Länder ausschöpfen. Die Industrie steht hier noch ganz am Anfang.

Vor dem Hintergrund, dass die Schweiz zunehmend mehr Strom braucht, sollten alle klimafreundlichen Stromerzeugungstechnologien weiterentwickelt und technologieoffen und nach ökonomischen Gesichtspunkten ausgebaut werden. Ein gegenseitiges Auspielen von Technologien kann man sich aufgrund der bevorstehenden Herausforderungen nicht leisten.

5.3 Der Beitrag der Kernenergie

Kernreaktoren der neuesten Generation stehen als vernünftige und zuverlässige Form der Energiebereitstellung zur Ergänzung der bestehenden Strategie zur Verfügung. Die Vorzüge gegenüber den genannten Technologien sind etwa:

- **Unabhängigkeit und Versorgungssicherheit:** Brennstoffe sind verhältnismässig günstig und lassen sich weltweit diversifiziert besorgen (insbesondere auch im Westen) und es lassen sich Brennstoffreserven für mehrere Jahre strategisch einlagern.
- **Regelbarkeit/Flexibilität:** Moderne Kernreaktoren unterstützen je nach Typ einen Lastfolgebetrieb, das heisst sie sind bis zu einem gewissen Grad flexibel und regelbar, was bei der Integration in ein Gesamtsystem mit einem erhöhten Anteil von fluktuierenden Erneuerbaren hilfreich ist. Damit lassen sich auch der Aufbau von aufwändigen und wiederum CO₂-belasteten saisonalen Speichern vermeiden.
- **Geringe Treibhausgasemissionen:** Kernenergie ist neben Wasserkraft die am wenigsten CO₂-behaftete Energieform und angesichts der Klimathematik (siehe auch Kapitel 6) zwingend notwendig.
- **Finanziell attraktiver als Gaskraftwerke und PV:** SMRs rechnen sich gegenüber Spitzenlast-Gaskraftwerken besser, weil sie rund ums Jahr eingesetzt werden können, insbesondere wenn Gas entweder erneuerbar sein soll oder entsprechende CO₂-Zertifikate bezogen werden müssen. Der Ausbau einer etwa äquivalenten Menge PV ist finanziell kaum attraktiv, wenn auch die aufwändige Systemintegration (vor allem Speicher) mit eingerechnet wird.
- **Projektdauer:** Der Ausbau einer äquivalenten Menge an PV dauert mindestens gleich lang wie ein pessimistisch angesetzter Zeitplan zum Bau neuer Kernkraftwerke, wobei bei einem PV-Ausbau auch noch die Systemintegration (Speicher, Netze) gewährleistet werden muss.

Fazit: Eine zuverlässige und weitgehend vom Ausland unabhängige Stromversorgung ist ohne neue KKW schwer machbar. Die Risiken, welche mit der aktuellen Energiestrategie eingegangen werden, sind für die Schweiz schlicht zu gross.

6. Die mögliche Rolle der Kernenergie bei der Dekarbonisierung der Schweiz

Die Dekarbonisierung der Schweiz ist aufgrund des Klimawandels ein notwendiges und wichtiges Ziel und muss mit hoher Priorität verfolgt werden, zumal sich auch der Souverän kürzlich zu entsprechenden Zielen bekannt hat. Die Bereitstellung von emissionsarmer Energie spielt dabei eine zentrale Rolle. Die Kernenergie kann einen erheblichen Beitrag zu einer klimafreundlichen und zuverlässigen Energieversorgung leisten.

Die Dekarbonisierung der Schweiz geht einher mit einer weitgehenden Elektrifizierung praktisch aller Sektoren: Im Gebäudebereich tragen Wärmepumpensysteme zunehmend die Hauptlast, die Mobilität wird mehrheitlich elektrifiziert, die Industrie wird effizienter und ersetzt zusehends fossile Energiebereitstellung durch elektrische. Der Bedarf an emissionsarmer und rund ums Jahr verfügbarer Elektrizität nimmt daher in Zukunft weiter zu.

6.1 Die Schweiz als Wasserstoff- oder Gasnation

Es ist absehbar, dass eine **Wasserstoffwirtschaft** entsteht, welche Industrie und Mobilität mit emissionsarmen Gasen versorgen wird. Ausgangsenergie zur Produktion von Wasserstoff und Synthesegasen ist entweder Elektrizität oder Prozesswärme auf hohem Niveau – beides kann durch Kernenergie effizient und kostengünstig bereitgestellt werden.

Die aktuellen Strategiedokumente des Bundes sehen in den 2030er- und 2040er-Jahren grosse Mengen Importstrom und/oder Strom aus Gaskraftwerken in der Schweiz vor. Importstrom ist einerseits nicht gesichert verfügbar und andererseits unter Umständen nicht klimafreundlich (ausser er kommt aus den französischen Kernkraftwerken). Gaskraftwerke wiederum hängen von Gasimporten ab, welche ebenfalls kaum klimafreundlich zur Verfügung stehen und deren Verfügbarkeit ungewisser denn je ist. Durch eine längere Nutzung der bestehenden Kernkraftwerke sowie durch neue moderne Nuklearanlagen könnte künftig weitgehend auf den Import von Strom und Gas verzichtet werden.

Kernenergie ist gemäss gängigen Studien²⁴ **klimafreundlicher** als Biogas, fossile Energieträger oder sogar Photovoltaik – nur die Wasserkraft und die Windkraft haben einen noch geringeren Emissions-Footprint. Auch werden bei der Kernenergie keine klimaschädlichen Gase wie Methan ausgestossen und es ist keine ebenfalls emissionsbehaftete Speicherung (Batterien, Power-to-Gas) nötig.

6.2 Materialflüsse und Landschaftsschutz

Von den **Materialflüssen** und vom **Landschaftsschutz** her ist Kernenergie deutlich ökologischer als ein massiver Ausbau von neuen erneuerbaren Energien. Der Flächenbedarf ist im Vergleich minimal und es sind geringe Eingriffe in das Landschaftsbild und in ökologisch sensitive Systeme notwendig. Die Materialflüsse von einigen Dutzend GW neuer erneuerbaren Energien, welche alle 25 bis 30 Jahre erneuert werden müssen, sind massiv und in der Grössenordnung von 20 Mal grösser als bei der Kernenergie, mit entsprechendem ökologischem Fussabdruck²⁵.

6.3 Das Ausland macht es vor

Ein Blick über die Landesgrenzen zeigt, dass Volkswirtschaften, welche bereits heute eine emissionsfreie Bereitstellung von Elektrizität aufweisen, schwergewichtig auf Kernenergie

²⁴ United Nations Economic Commission for Europe (2022). [Carbon Neutrality in the UNECE Region: Integrated Life-cycle Assessment of Electricity Sources](#). Geneva

²⁵ Siehe dazu: [Global Energy Footprint](#)

und Wasserkraft setzen. Führende Volkswirtschaften wie China, Grossbritannien, Indien, Japan, Kanada oder die USA setzen bei der Dekarbonisierung der Gesellschaft auf Kernenergie. Selbst die EU anerkennt die Kernenergie als eine nachhaltige Energiequelle.

Unabhängig davon, wie die konkreten gesetzlichen Grundlagen zur Dekarbonisierung der Schweiz ausgestaltet werden (Ziele und Zeitpläne) ist der Einsatz von Kernenergie in Zukunft genauso wichtig und richtig wie in den vergangenen Jahrzehnten. Bei der Bekämpfung des Klimawandels kann auf die Kernenergie nur schon wegen dem bestehenden Zeitdruck nicht verzichtet werden.

7. Handlungsempfehlungen für die Politik

Wie in Kapitel zwei eingehend aufgezeigt, ist die Kernenergie international auf dem Vormarsch. Viele Staaten, die eine versorgungssichere und zugleich klimafreundliche Stromversorgung anstreben, setzen auf Kerntechnik. Dies gilt es zunächst einmal anzuerkennen. Ebenfalls augenfällig ist, dass Innovationen im Bereich Kerntechnik im Moment ausserhalb der Europäischen Union stattfinden. Der erste Kugelhaufenreaktor steht in China und bei der Entwicklung von SMRs sind Staaten wie Kanada oder die USA führend. Die Schweiz befindet sich mit ihren Hochschulen, ihren kapitalkräftigen Banken und ihren gut ausgebildeten Ingenieuren in der Pole-Position, um innerhalb von Europa zum Innovationsführer in der Kernenergie zu werden. Es geht auch darum, dass inskünftig eine weitgehend vom Ausland unabhängige Energieversorgung sichergestellt werden kann.

1. Kompetenzerhalt für den Langzeitbetrieb sichern und neue Entwicklungen verfolgen

Der für den Langzeitbetrieb der bestehenden KKW benötigte Bedarf an Fachwissen und Fachkräften würde auch in Zukunft für die SMRs benötigt. Es würde eine gute Überleitung und Erhalt von Fachkräften und deren Kompetenzen sicherstellen. Fachwissen und -kräfte kann man schnell verlieren, deren Ersatz ist dann umso schwieriger. Die grossen Fortschritte im Bereich der Kerntechnik sind ausserdem durch den Bund genau im Auge zu behalten.

2. Transparenz bezüglich Wirtschaftlichkeit schaffen

Aktuell ist der Strommarkt durch Subventionen stark verzerrt. Die Berechnungen dieses White Paper zeigen, dass Kernenergie eine ökonomisch attraktive Option bleiben kann, sofern die Rahmenbedingungen stimmen. Vor allem die langen Laufzeiten von Kernkraftwerken und die hohe Verfügbarkeit des Kernenergiestroms werden in der heutigen Diskussion häufig ausser Acht gelassen. Gerade diese Faktoren führen aber zu sehr attraktiven Gestehungskosten. Dies gilt es in der Diskussion entsprechend zu würdigen und es ist in Bezug auf Stromerzeugungstechnologien endlich mit gleich langen Ellen zu messen.

3. Vorteile neuer Kernkraftwerke anerkennen und in der Energiestrategie berücksichtigen

Das Thema Gaskraftwerke in der Schweiz wird kontrovers diskutiert. Diese sollen bereits bis 2026 zur Verfügung stehen. In Kapitel 2 des vorliegenden White Papers wurden diese Gaskraftwerke den Kernkraftwerken gegenübergestellt. In den Punkten Auslandsabhängigkeit und Wirtschaftlichkeit sind neue Kernkraftwerke diesen Gaskraftwerken, die nur bei einer drohenden Strommangellage zum Einsatz kommen sollen, klar überlegen

4. Technologieverbote sind für die künftige Stromversorgung der Schweiz nicht hilfreich

Wie in Kapitel 3 erläutert, ist das grösste Hindernis für die Kerntechnik in der Schweiz gegenwärtig das Neubauverbot (Art. 12a KEG). Solange dieses besteht, wird sich kein Unternehmen und kein Investor ernsthafte Gedanken darüber machen, in neue Nuklearanlagen zu investieren. Entsprechend ist, um überhaupt realistisch planen zu können, Technologieneutralität zu schaffen und das Technologieverbot im Kernenergiegesetz folglich aufzuheben. Mit einem Aufheben des Technologieverbotes anerkennt man auch, dass sich diese Technologie weiterentwickelt.

5. Die Winterstromlücke ernst nehmen und langfristig mit Kernkraftwerken sicher und klimafreundlich schliessen

Wie bereits in früheren Studien dargelegt, müsste die Schweiz im Winterhalbjahr ohne Kernkraftwerke fast die Hälfte des Strombedarfes importieren. Wie Kapitel 4 zeigt, dauert der Zubau von erneuerbaren Energien schlussendlich ebenfalls so lange wie der Bau von neuen Kernkraftwerken. Hinzu kommen ungelöste Fragen in Bezug auf saisonale Speicherung und Netzintegration. Das Ausbaupotenzial der Wasserkraft ist weitgehend ausgeschöpft. Entsprechend zeigen die Untersuchungen des vorliegenden Papers deutlich, dass die Winterstromlücke nur mit Kernenergie sicher und klimafreundlich geschlossen werden kann.

6. Ein Szenario für SMRs in der Schweiz entwickeln – es braucht einen Runden Tisch Kernenergie

Im Paper wurde dargelegt, wie Kanada mit einer Roadmap die Entwicklung von SMRs vorantreibt. An dieser Roadmap arbeiten alle betroffenen Stakeholder mit. Dieses Vorgehen stärkt die Akzeptanz eines solchen Projektes. Entsprechend sollte das federführende Bundesamt für Energie ebenfalls eine solche Strategie ausarbeiten, an der sich alle betroffenen Interessengruppen beteiligen können. Einzubinden sind neben dem Eidgenössischen Nuklearsicherheitsinspektorat (Ensi), den Betreiberfirmen von Kernkraftwerken, der Wissenschaft und der Umweltverbände klarerweise auch die Bevölkerung und die Politik. Dass ein solches Vorgehen erfolgreich sein kann, zeigt nicht zuletzt der runde Tisch Wasserkraft, an dem sich die Stromwirtschaft bereits letztes Jahr mit den Umweltverbänden auf neue Projekte im Bereich der Wasserkrafftförderung geeinigt haben.

7. Schweizer Humankapital für Kernenergie besser nutzen, bestehendes Know-how erhalten und Fördermittel verstärkt auf Kerntechnik ausrichten

Die Schweiz verfügt mit den Eidgenössischen Technischen Hochschulen und den Fachhochschulen über eine ausgezeichnete Ausbildungs- und Forschungsinfrastruktur. Der Betrieb und der Bau neuer Kernkraftwerke bedürfen vieler gut ausgebildeter Ingenieure und Techniker. Entsprechend muss zusätzlich in die Ausbildung von Nuklearfachkräften in der Schweiz (schwergewichtig am PSI) investiert werden, damit der Anlagebau von kompetenten Ingenieuren begleitet werden kann, die zudem die hiesigen Begebenheiten kennen. Mehr Fachkräfte im Bereich Kerntechnik bedarf es ohnehin auch zur Sicherung des Langzeitbetriebes der bestehenden Anlagen.

Um an die internationalen Entwicklungen gerade bei SMRs anknüpfen zu können, bedarf es einer nuklearen Forschungsoffensive. Es sind dafür entsprechende Lehrstühle an den Eidgenössischen Technischen Hochschulen zu schaffen, die an der SMR-Forschung mitwirken. Nur so kann mittel- und langfristig sichergestellt werden, dass die Schweiz bei der Entwicklung von SMRs nicht den Anschluss verliert. Mit diesem Vorgehen wird zudem Zeit gewonnen, sollte man sich entscheiden, solche kleinen Reaktoren kurzfristig in der Schweiz aufstellen zu wollen.

- 8. Technologien sinnvoll kombinieren, statt sie gegeneinander auszuspielen**
Wie in Kapitel 4 aufgezeigt wurde, eignen sich neue grundlastfähige Kernkraftwerke ausgezeichnet als Kombination mit volatilen Stromerzeugungsquellen wie Photovoltaik oder Windturbinen. Gerade die Möglichkeit des Lastfolgebetriebes (flexibel abrufbare Leistung) eignet sich ausgezeichnet als Kombination mit der volatilen Stromproduktion der Photovoltaik. Die Planungen des Bundesamtes für Energie sollten eine solche Kombinationsmöglichkeit in den Szenarien entsprechend ebenfalls berücksichtigen. Gerade dieses Beispiel zeigt, welcher grosser Nutzen erzielt werden kann, wenn man verschiedene Stromerzeugungsquellen kombiniert anstatt sie gegeneinander ausspielt.

- 9. Augenmass und auf das Ausland abgestimmte Regulierung – kein Swiss Finish!**
Die regulatorischen Vorgaben im Nuklearbereich stammen primär aus der Zeit der Anlagen der 2. Generation und müssen an die neuen Anlagenkonzepte angepasst werden. Dabei ist darauf zu achten, dass diese gerade auf das europäische Ausland abgestimmt sind. Das würde die Einführung etwa von SMRs in der Schweiz erleichtern. Auch auf ein allfälliges «Swiss Finish» ist zu verzichten. Damit wird die Schweiz auch attraktiver für ausländische Investoren, die in der Schweiz im Bereich Kernenergie investieren wollen.

Anhang: Annahmen zu den Gesteungskosten

Die in Kapitel 4 angeführten Abschätzungen von Gesteungskosten verschiedener Energieformen basieren auf Annahmen der Kostenanteile gemäss folgender Tabelle:

Lebensphase (im Life Cycle)	Parameter	Einheit	Kraftwerk Gösgen	Kraftwerk Leibstadt	EPR Ollibuto	APR-1400 Gen 3+ CH-Barakah	SMR CH Anlage 300MW (z.B. BWRX)	SMR CH 12 Anlagen 924MW (z.B. NuScale)	Wasserkraft Damms (saisonal)	Wasserkraft Fluss	PV gross CH, 500KW, ohne System Integration/ Batterie	PV Haus CH, 5KW, ohne System Integration/ Batterie	Wind onshore Deutschland	Wind onshore Schweiz	Gas	Steinkohle Europa	
Inbetriebnahme	Anlagengrösse (Leistung)	MW	1020	1233	1600	1345	300	924	1000	100	0.5	0.005	12	12	1000	1000	
	Installationskosten	CHF/AW	3250	3900	6900	5000	4500	4800	4800	6000	900	2000	1700	2200	1000	1400	
	Investition (Kapital)	Mio. CHF	3315	4888.7	11040	6725	1350	4158	4800	600	0.45	0.01	30.4	35.4	1000	1400	
	Abschreibung	%/a	60	60	80	80	80	80	80	80	80	30	20	20	40	40	
	Abschreibungsdauer (Lebensdauer)	a	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	
	Kapitalkosten (Fremdkapital)	%/a	3.6	3.6	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	3.3	5.1	5.1	6.7	6.7	4.3	
	Amortisationszins	Mio. CHF/a	120	174	366	223	45	138	159	20	0.023	0.001	1	2	43	61	
	Abschreibungskosten	%/a	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	3.0	
	Rendite (zu erzielen)	%/a	99.5	141.3	331.2	201.8	40.5	121.7	144	18	0.0135	0.0003	0.612	0.792	30	42	
	Renditekosten	Mio. CHF/a	7800	7800	8400	8400	8000	8000	8000	2200	4270	950	2500	1800	6000	6000	
Betriebsphase	Volllaststunden	h/a	7956	9617.4	13440	11298	2400	7392	2200	427	0.475	0.00475	30	21.6	6000	6000	
	Energieerzeugung (Jahreserzeugung)	GWh	3.5	3.5	3.5	3.5	3.7	3.5	0	0	0	0	0	0	45	36	
	Treibstoff-/Brennstoffkosten (spezifisch)	CHF/MWh	27.8	337	470	39.5	8.9	25.9	0	0	0	0	0	0	270	216	
	Treibstoff-/Brennstoffkosten	Mio. CHF/a	2.5	2.8	3.0	3.5	3.0	3.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	3.0	3.0	5.0	
	Unterhalt (jährlich)	%/a	82.9	131.6	331.2	235.4	40.5	121.7	48	6	0.0045	0.0001	0.612	0.792	30	42	
	Unterhaltskosten	Mio. CHF/a	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000	50.000	20.000	10.000	10.000	0.010	0.010	20.4	26.4	1.000	
	Schadensausmass (Entretensfall)	Mio. CHF	100.000	100.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000	1.000.000	10.000	10.000	10.000	1.000	1.000	10.000	10.000	10.000	
	Entretensdauer ("Mean Time to Failure")	a	0.5	0.5	0.05	0.05	0.05	0.05	2	1	0.0045	0.0001	0.00204	0.00264	0.1	0.14	
	Versicherungskosten (Erwartungswert)	Mio. CHF/a	0	0	0	0	0	0	11	11	0	0	0	0	0	0	
	Abgaben spezifisch (Wasserszins)	CHF/MWh	0	0	0	0	0	0	8	8	0	0	0	0	0	0	
Emissionen (CO2)	Steuern & Abgaben	Mio. CHF/a	5	9	12	12	12	12	15	15	20	20	15	15	820	800	
	CO2-Intensität	g/KWh	39.780	86.557	161.280	135.576	28.800	88.704	33.000	6.405	9.500	0.095	450	324	4.920.000	4.800.000	
	CO2-Emissionen (Gewicht)	t/a	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	80	
	Zertifikatspreis (Emissionsraumbis)	CHF/t	3.18	6.92	12.90	10.85	2.30	7.10	2.64	0.51	0.00	0.00	0.04	0.03	393.60	384.00	
	Emissionskosten (CO2)	Mio. CHF/a	25.0	25.0	15.0	15.0	15.0	15.0	5.0	5.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	
	Nachrüstbedarf (während Lebensdauer)	%	13.8	20.0	20.7	15.6	2.5	7.8	3	3	0.375	0.0015	0	0.102	0.132	2.3	
	Nachrüstungskosten	Mio. CHF/a	1265	1443	1776	1493	333	1026	480	480	600	200	200	500	200	500	
	Rückbaukosten / Recycling (spezifisch)	CHF/KW	1290	1779	2842	2008	100	948	480	480	60	0.1	0.001	5.6	6	200	500
	Investition (Kapital)	Mio. CHF	47	64	94	66	3	31	16	16	2	0.005	0.000	0	0	9	22
	Rückbaukosten	Mio. CHF/a	5.457	5.881	9.280	7.801	1.740	5.359	0	0	0	0	0	0	0	0	
Entsorgung ("Endlager")	(End)Lagerungskosten (pauschal)	Mio. CHF	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	2.8	
	Verzinsung (über Kraftwerklebensdauer)	%/a	3.4	3.4	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	3.1	4.9	4.9	6.6	6.6	4.2	4.2	
	(End)Lagerungszins	%/a	187	201	288	242	54	166	0	0	0	0	0	0	0	0	
	(End)Lagerungskosten	Mio. CHF/a	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	

Anhang: Datengrundlage zur Berechnung der Gesteungskosten verschiedener Stromproduktionsformen (siehe Kapitel 4 und Abb. 4.2).

Kommentare zu den Annahmen bezüglich Kosten:

Kernkraftwerke CH: Betreiberangaben, Geschäftsberichte, Bericht zur Entsorgung von Nuklearabfällen. Laufzeit Annahme 60 Jahre. Versicherung/Schadensausmass gemäss BABS-Risikostudie Schweiz.

Kernkraftwerke Olkiluoto und APR-1400 (Barakah): Effektive Baukosten, 80 Jahre Betriebsdauer für neue Reaktoren, Rückbau und Entsorgung analog zu CH-Anlagen. Unfallrisiko 10x kleiner.

Kostenschätzungen SMR: Angaben Lieferanten für Baukosten, jedoch verdoppelt für Schweizer Verhältnisse. Restliche Annahmen analog zu CH-Anlagen. Unfallrisiko 10x kleiner als Anlagen der Generation II.

Wasserkraftwerke: Baukosten Damm: eigene Schätzung. Baukosten Flusskraftwerk gemäss Projekt Hagneck (2015, 110 GWh, CHF 150 Mio., 12,5 MW), jedoch halbiert aufgrund Anlagengrösse 100 MW. Volllaststunden gemäss Wasserkraftstatistik Schweiz. Eigene Annahmen zur Nachrüstung. Rückbau: Annahme 10% der Baukosten.

Photovoltaik 10 kWp Hausanlage: Investition Anlage schlüsselfertig gemäss Kostenrechner Energieschweiz (10 kWp, 35°, südorientiert): 2934/kWp.; energieheld.ch: ca. 2500; Annahme hier: 2000; 950 Volllaststunden Mittelland (inkl. Degradierung über Lebenszeit). Energieheld.ch: 1% für Wartung (privat), keine Nachrüstung über Lebenszeit. Rückbau Annahme 200/kWp für Gerüst, Demontage, Transport, Entsorgung.

Photovoltaik 500 kWp Grossanlage: gemäss energieheld.ch für >50 kWp 1500/kWp, mit Skalierungseffekt geschätzt 900/kWp für Grossanlage. 950 Volllaststunden Mittelland (inkl. Degradierung über Lebenszeit). Kommerzielle Anlage Annahme 10% Nachrüstung über Lebensdauer. Annahme 200./kWp für Rückbauprojekt inkl. Transport und Entsorgung.

Wind Onshore: Deutschland: Schätzung aufgrund Zubau Deutschland (2021: 1716 MW / 2,95 Mrd. Investitionen) ca. 1700/kWp für Installation. Schätzung CH 2500 (längere Verfahren, höheres Preisniveau). Volllaststunden für Deutschland ca. 1800 (Binnenlage) bis 3200 (Küstennähe). Annahme CH: Binnenlage 1800 h

Endlagerkosten Erneuerbare: Aufgrund fehlenden Zahlenmaterials sind keine Kosten für Endlagerung von chemisch-toxischen Abfällen gerechnet, obwohl derartige Abfälle entstehen.

Gas und Kohle: Die Zahlen für Gas und Kohle basieren auf eigenen Annahmen und sind eher der Vollständigkeit halber aufgeführt; Rohstoffpreise und Volllaststunden variieren sehr stark und sind daher preisbestimmend.

CO₂-Intensitäten: carbonbrief.org

Impressum

15. Dezember 2023

Nuklearforum Schweiz, Frohburgstrasse 20, 4600 Olten

Tel.: +41 31 560 36 50, info@nuklearforum.ch, www.nuklearforum.ch