Vol. 20, Nr. 6, 2025

akademien der wissenschaften schweiz

swiss academies reports

akademien-schweiz.ch

Perspektiven für die Kernenergie in der Schweiz

Kurzfassung

IMPRESSUM

HERAUSGEBERIN UND KONTAKT
Akademien der Wissenschaften Schweiz (a+)
Erweiterte Energiekommission der Akademien der Wissenschaften Schweiz
Haus der Akademien • Laupenstrasse 7 • Postfach • 3001 Bern • Schweiz
+41 31 306 93 52 • urs.neu@scnat.ch • energie.akademien-schweiz.ch • Akademien Schweiz

ZITIERVORSCHLAG
Neu U, Markard J, Betz R, Boulouchos K, Pautz A, Stadelmann I (2025)
Perspektiven für die Kernenergie in der Schweiz. Kurzfassung. Swiss Academies Reports 20 (6)

AUTORINNEN UND AUTOREN
Regina Betz (ZHAW) • Konstantinos Boulouchos (ETH Zürich) • Jochen Markard (ETH Zürich/ZHAW) • Urs Neu (a+/SCNAT) • Andreas Pautz (PSI/EPF Lausanne) • Isabelle Stadelmann (Universität Bern)

PROJEKTLEITUNG
Urs Neu (a+/SCNAT)

WISSENSCHFTLICHER BEIRAT
Energiekommission der Akademien der Wissenschaften Schweiz

REDAKTION
Urs Neu (a+/SCNAT) • Martin Läubli

TITELBILD UND GRAFIK
Olivia Zwygart (SCNAT)

LAYOUT
Paola Moriggia

1. Auflage, 2025

Dieser Bericht wurde erarbeitet von einer Kerngruppe von Fachexpertinnen und -experten (siehe Autorinnen und Autoren) in Zusammenarbeit mit der Energiekommission. Er basiert auf einem ausführlicheren Grundlagenbericht, der im Austausch mit weiteren Forschenden und im Thema tätigen Organisationen und Fachpersonen entstanden ist und auch ausführliche Quellenangaben enthält.

Der Grundlagenbericht und die Kurzfassung sind in elektronischer Form verfügbar unter
go.akademien-schweiz.ch/energiekommission

ISSN (print): 2297-1564
ISSN (online): 2297-1572

DOI: doi.org/10.5281/zenodo.15599202

CC BY NC ND

Mit dieser Publikation leisten die Akademien der Wissenschaften einen Beitrag zum SDG 7.
> sdgs.un.org
> agenda-2030.eda.admin.ch/de

Perspektiven für die Kernenergie in der Schweiz

Kurzfassung

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 4

2 Die Kernbotschaften 5

3 Aktuelle Situation national und international 6
3.1 Kernkraft in der Schweiz 6
3.2 Laufzeit der bestehenden KKW 6
3.3 Kernkraft international 7

4 Entwicklung der Technologie 8

5 Einschätzung des Potenzials 9
5.1 Technische Aspekte 9
5.1.1 Sicherheit und Risiken 9
5.1.2 Betriebsverhalten 9
5.1.3 Bauzeit 9
5.1.4 Radioaktiver Abfall, Stilllegung und Rückbau 9
5.1.5 Auswirkung auf die Umwelt 10
5.2 Kosten und Industrie 10
5.2.1 Kosten 10
5.2.2 Bauindustrie und Fachkräfte 11
5.2.3 Brennstoffversorgung 11
5.3 Akzeptanz in der Bevölkerung 12
5.4 Einbindung in das Energiesystem 12
5.4.1 Mögliche Rolle eines neuen KKW im zukünftigen Schweizer Energiesystem 12
5.4.2 Einbindung in den Strommarkt 13
5.5 Der Einfluss des EU-Stromabkommens 14
5.6 Rolle des Staates 14
5.7 Übersicht 14

6 Prozesse und Entscheide im Hinblick auf ein neues KKW 16

1 Einleitung

Die Schweizer Stromversorgung steht vor grossen Herausforderungen: Die Stromnachfrage steigt, weil Strassenverkehr und Heizungen elektrifiziert werden sollen und neue Datenzentren mehr Strom verbrauchen. Die Stromerzeugung aus erneuerbaren Quellen, insbesondere Solarenergie, soll gemäss Energiestrategie deutlich steigen und die bestehenden Kernkraftwerke werden aus Altersgründen früher oder später stillgelegt. Gleichzeitig steht mit dem EU-Stromabkommen unter anderem die zukünftige Einbindung in das europäische Stromnetz zur Debatte. Vor diesem Hintergrund gibt es Bestrebungen (Blackout-Initiative und indirekter Gegenvorschlag), das derzeit im Kernenergiegesetz verankerte Neubauverbot für Kernkraftwerke aufzuheben. In Politik und Gesellschaft findet eine entsprechende Diskussion über das Für und Wider neuer Kernkraftwerke (KKW) statt.

Dieser Bericht liefert Entscheidungsträger:innen in der Politik und Industrie sowie der Öffentlichkeit fundierte Informationen für eine möglichst sachliche Debatte. Er gibt einen aktuellen Überblick, wo die Technologie und die Nuklearindustrie derzeit stehen, und welche Perspektiven für die Kernenergie in einem zukünftigen Energiesystem mit hohem Anteil erneuerbarer Energien zu erwarten sind. Zudem entwirft der Bericht einen möglichen Zeitplan mit sieben wichtigen Entscheiden, die auf dem Weg zu einem neuen KKW notwendig sind. Der Fokus des Berichts liegt auf grossen Kernkraftwerken der Generation III/III+.

Quellenangaben zu den Aussagen in diesem Bericht sind im Grundlagenbericht zu finden. Am Ende der Kapitel wird jeweils in eckigen Klammern auf die entsprechenden Kapitel im Grundlagenbericht (GB) hingewiesen (z. B. [GB 4.2]), wo detailliertere Informationen zu finden sind.

2 Die Kernbotschaften

Technik

1. Kernkraft ist CO_2-arm, benötigt wenig Raum und Material pro Kilowattstunde und liefert, auch im Winter, zeit- und witterungsunabhängig Strom. Schwere Unfälle sind sehr unwahrscheinlich, können aber sehr grosse Schäden anrichten. Radioaktive Abfälle müssen über sehr lange Zeit sicher eingelagert werden (Kap. 5.1).

2. Aktuell werden weltweit grosse KKW der Generation III/III+ gebaut. Sie sind sicherer als die bestehenden Anlagen. Einzelne kleine modulare Reaktoren der Generation-III/III+ werden vermutlich ab der ersten Hälfte der 2030er Jahre zur Verfügung stehen, müssen dann aber noch den Beweis der Wirtschaftlichkeit antreten. Bei Anlagen der Generation IV, die auf neuen Reaktordesigns basieren, gibt es noch grosse Unsicherheiten hinsichtlich Technologie und Wirtschaftlichkeit (Kap. 4). Für einen Neubau mit einem Investitionsentscheid bis Mitte der 2030er Jahre kommen daher nur grosse Anlagen der Generation III/III+ in Frage.

3. Grosse KKW der Generation III/III+ werden weltweit zurzeit nur von wenigen Firmen gebaut. Für den Bau einer neuen Anlage in der Schweiz kommen vermutlich nur Firmen aus Frankreich, den USA, Südkorea und Japan in Frage. Verschiedene dieser Anbieter standen und/oder stehen vor finanziellen (im Falle von Japan technischen) Schwierigkeiten (Kap. 5.2).

Zeithorizont und Akzeptanz

4. Auch bei einer Aufhebung des Neubauverbots ist die Inbetriebnahme eines neuen KKW vor ca. 2050 unwahrscheinlich. Es braucht nacheinander: Annahme der Blackout-Initiative oder des indirekten Gegenvorschlags; (wahrscheinlich) ein Gesetz für Subventionierung; den Projektentscheid von Investoren; sowie Rahmen-, Bau- und Betriebsbewilligungen. Jede dieser politischen, wirtschaftlichen und technischen Entscheidungen kann ein Neubauprojekt verzögern oder stoppen. Die reine Bauzeit dürfte acht Jahre oder länger betragen (Kap. 6).

5. Zahlreiche der obigen Entscheide bedingen die Unterstützung einer Mehrheit der Bevölkerung. Hinsichtlich der Akzeptanz eines neuen KKW ist die Bevölkerung in Abstimmungen seit Jahrzehnten gespalten und Mehrheiten sind ungewiss. Die öffentliche Meinung kann durch einzelne Ereignisse (wie z. B. Fukushima) vorübergehend beeinflusst werden (Kap. 5.3).

6. Bei einer Laufzeit von 60 Jahren werden die bestehenden KKW Gösgen und Leibstadt um 2039 bzw. 2044 vom Netz gehen. Eine längere oder kürzere Laufzeit hängt von sicherheitstechnischen Fragen und der Wirtschaftlichkeit von Nachrüstungen ab (Kap. 3.2).

Einbindung in das Energiesystem

7. Ein neues KKW kann Strom auch im Winter liefern und damit die Stromproduktion aus erneuerbaren Energien ergänzen sowie den Import- und saisonalen Speicherbedarf verringern. Zum Ausgleich kurzfristiger Schwankungen der Erneuerbaren sind KKW auch in Zukunft eher wenig geeignet. Ein Lastfolgebetrieb ist technisch in begrenztem Mass möglich, aber wirtschaftlich eher nachteilig (Kap. 5.1, 5.4.)

8. Im Sommerhalbjahr ist die zukünftige Auslastung und damit die Wirtschaftlichkeit von KKW mit hohen Unsicherheiten verbunden. Insbesondere bei starker Sonneneinstrahlung kann ein Strom-Überangebot auftreten (Kap. 5.4).

Investition und Subvention

9. Der Bau eines neuen KKW ist mit hohen Investitionskosten verbunden. Die Erlöse in einem liberalisierten und zukünftig von erneuerbaren Energien dominierten Strommarkt sind unklar, insbesondere im Sommer. Daher bestehen für Investoren und Betreiber hohe finanzielle Risiken (Kap. 5.2, 5.4).

10. Weltweit werden heute alle neu gebauten KKW auf unterschiedliche Weise vom Staat unterstützt (mindestens teilweise Übernahme von Investitionskosten und -risiken). Ein Neubau ohne signifikante staatliche finanzielle Unterstützung erscheint nicht realistisch (Kap. 5.1.4, 5.1.5, 5.6).

EU-Stromabkommen und Back-up

11. Der Betrieb von KKW erfordert Back-up-Kapazitäten in der Höhe der Leistung der grössten Anlage (zurzeit 1,2 GW) für einen ungeplanten Ausfall. Mit EU-Stromabkommen ist dieses Back-up durch die Einbindung in das europäische Stromnetz gegeben. Ohne EU-Stromabkommen ist dieses Back-up nicht sichergestellt und es werden sowohl für die bestehenden, als auch für ein neues KKW zusätzliche nationale Reservekapazitäten notwendig sein. Dies ist mit entsprechendem finanziellem Aufwand für Staat bzw. KKW-Betreiber verbunden (Kap. 5.4).

3 Aktuelle Situation national und international

3.1 Kernkraft in der Schweiz

Es gibt aktuell drei KKW mit insgesamt vier Reaktorblöcken im kommerziellen Betrieb: Beznau I und II, Gösgen und Leibstadt (siehe Tabelle 1). Sie haben unterschiedliche Reaktor- und Sicherheitsdesigns. Das KKW Mühleberg wurde 2019 aus wirtschaftlichen Gründen stillgelegt und wird derzeit rückgebaut. Die beiden ältesten Anlagen Beznau I und II (in Betrieb seit 1969 bzw. 1971) werden nachgerüstet und bleiben bis 2032/2033 in Betrieb. Dann werden sie stillgelegt.

Die KKW produzierten 2024 rund 23 TWh Strom. Das entspricht 28,4 % der gesamten jährlichen Stromproduktion (Speicherwasserkraftwerke lieferten brutto 35,7 %, Laufkraftwerke 23,9 %, Photovoltaik 7,4 %, Wind 0,2 %).

Lagerung radioaktiver Abfall

Schwach-, mittel und hochradioaktive Abfälle werden derzeit in Würenlingen im Kanton Aargau gelagert. Die Nationale Genossenschaft für die Entsorgung radioaktiver Abfälle (NAGRA) hat im November beim Bundesamt für Energie ein Rahmenbewilligungsgesuch für ein geologisches Tiefenlager (Endlager) für radioaktive Abfälle eingereicht. Sie hat dafür einen als geeignet eingestuften Standort in der Region Nördlich Lägern ausgewählt. Die Überprüfung der Dokumente durch Bundesbehörden und ein internationales Team an Expertinnen und Experten wird voraussichtlich bis 2027 dauern. Der Bundesrat befindet gegen Ende des Jahrzehnts darüber. Dann entscheidet das Parlament. Bei einer Annahme kann das Referendum ergriffen werden mit nachfolgender Volksabstimmung. Die derzeitige Planung rechnet mit einer Inbetriebnahme des Tiefenlagers ab 2050. Die aktuellen Kostenschätzungen belaufen sich auf rund 24 Mrd. Franken und werden von den Betreibern finanziert (siehe Kap. 5.1.4). Die geplante Kapazität des Tiefenlagers schliesst die Abfälle der bestehenden Reaktoren ein, geht aber nicht darüber hinaus. Die geologischen Bedingungen würden eine Erweiterung des Tiefenlagers erlauben.

Geltendes Recht

Der Bund ist für die Gesetzgebung im Bereich der Kernenergie verantwortlich: Das Kernenergiegesetz regelt den Umgang mit nuklearen Gütern und Anlagen sowie radioaktiven Abfällen. Der Bau neuer KKW bzw. der Austausch eines Reaktordruckbehälters ist nach geltendem Gesetz verboten. Die Betreiber sind verpflichtet, die Anlagen gemäss dem aktuellen Stand der Technik nachzurüsten. Das Eidgenössische Nuklearinspektorat (ENSI) überwacht die Einhaltung dieser Pflichten.

Das Kernenergiehaftungsgesetz legt fest, dass der Eigentümer einer kerntechnischen Anlage für nukleare Schäden grundsätzlich ohne Begrenzung der Höhe haftet, aber nur bis zum Ende der Zahlungsfähigkeit. Darüber hinaus gehende Schäden müssen von der Allgemeinheit getragen werden. [GB 2.1]

3.2 Laufzeit der bestehenden KKW

Bis 2050 wird der jährliche Stromverbrauch von heute 56 Terawattstunden (TWh) je nach Szenario auf etwa 70–90 TWh steigen. Im gleichen Zeitraum werden die bestehenden KKW schrittweise stillgelegt. Der künftige Bedarf soll gemäss Energiestrategie hauptsächlich durch erneuerbare Energien, namentlich Wasserkraft und den Ausbau der Solarenergie gedeckt werden. Je länger die bestehenden KKW laufen, umso geringer wird das Stromproduktionsdefizit in dieser Zeit.

Die Betriebsbewilligung eines KKW ist in der Schweiz zeitlich nicht limitiert. Voraussetzung für den Betrieb ist die Gewährleistung der Sicherheit nach den jeweils neusten technischen Standards. Das ENSI beurteilt die Sicherheitsüberprüfung, welche die KKW-Betreiber alle zehn Jahre durchführen müssen. Hinzu kommt ein Sicherheitsnachweis für den Langzeitbetrieb über 40 Jahre hinaus. Das ENSI kann allfällige Massnahmen auferlegen. Ansonsten entscheidet die Betreiberin über die Betriebs-

Tabelle 1: Übersicht KKW in der Schweiz

	Generation I			Generation II	
	Beznau I	Beznau II	Mühleberg	Gösgen	Leibstadt
Inbetriebnahme	1969	1971	1972	1979	1984
Status	In Betrieb	In Betrieb	Im Rückbau	In Betrieb	In Betrieb
Leistung (MW)	365	365	373	1010	1275
Erwartete Stilllegung	2032/2033		2019	Unbestimmt	Unbestimmt

dauer. Es ist jedoch zu erwarten, dass Betreiber nur dann nachrüsten und den Betrieb fortsetzen, wenn dies rentabel ist oder wenn der Staat dies finanziell unterstützt.

Beznau I und II gehen 2032/2033 nach einer Laufzeit von gut 60 Jahren ausser Betrieb. Gösgen und Leibstadt würden bei einer Lebensdauer von 60 Jahren in 2039 bzw. 2044 stillgelegt. Auch eine mögliche Betriebslänge von 70 bis 80 Jahren ist nicht ausgeschlossen. In den USA haben z. B. bereits 12 von 100 KKW eine Lizenzverlängerung für 80 Betriebsjahre erhalten, elf weitere KKW haben diese beantragt. [GB 2.2]

3.3 Kernkraft international

Weltweit sind derzeit 415 Kernreaktoren mit einer Gesamtkapazität von rund 373 GW in Betrieb. Viele dieser Anlagen sind in der Boomzeit der Kernenergie in den 1970er und 1980er Jahren vor allem in den USA, Europa, Russland und Japan entstanden. Seither ist der Bau neuer Kernkraftwerke stark zurückgegangen und der Anteil der Kernenergie an der weltweiten Stromerzeugung ist von fast 18 % Mitte der 1990er Jahre auf 9 % im Jahr 2023 gesunken. Gleichzeitig werden weiterhin, vor allem in China, neue KKW gebaut. Von den 52 Reaktoren, die seit 2017 weltweit in Bau gingen, sind 25 chinesischer und 23 russischer Bauart. Das russische Unternehmen Rosatom hat derzeit mit rund 40 % den höchsten Marktanteil.

Die alternde Flotte der bestehenden KKW könnte weltweit in den nächsten 10 bis 20 Jahren zu einem erheblichen Rückgang der Erzeugungskapazität führen. Auf der anderen Seite sind die jährlichen Investitionen in neue Anlagen und Laufzeitverlängerungen seit 2020 um fast 50 % gestiegen. Über ein Dutzend EU-Mitgliedsstaaten haben sich dafür ausgesprochen, die europäische Kernkraftkapazität bis 2050 von 100 auf 150 GW zu erhöhen. Ob sich diese Ankündigungen auch realisieren lassen, wird erst die Zukunft zeigen. [GB 4.1]

4 Entwicklung der Technologie

Generation III/III+
Die dominierende Technologie der KKW der Generation I bis III sind wassergekühlte Reaktoren. Deren Marktanteil beträgt über 95 % der 415 in Betrieb stehend zivilen Reaktoren weltweit. Das gilt auch für die meisten Kernreaktoren, die sich derzeit im Bau befinden. Weltweit am meisten verbreitet sind Leichtwasserreaktoren (LWR), zu denen die Typen der Druck- (PWR) und Siedewasserreaktoren (SWR) gehören.

Gen-III/III+-Reaktoren stellen eine neue Generation dar. Sie zeichnen sich durch ein deutlich verbessertes Sicherheitskonzept mit passiven Sicherheitssystemen aus, die nicht auf externe Stromquellen oder Bedieneingriffe angewiesen sind. Stand 2024 sind rund 40 grosse Gen-III/III+ LWR-Blöcke in Betrieb. 51 der 60 derzeit sich im Bau befindlichen Reaktoren gehören zur Kategorie der grossen Gen-III/III+ LWRs mit einer Nennleistung von jeweils mehr als 1000 MW. [GB 3.1]

Generation IV
Unter die Bezeichnung Generation IV fallen Konzepte, die nicht auf die konventionelle Kühlung durch Wasser zurückgreifen. Zur Kühlung werden etwa Gas, flüssige Metalle wie Blei oder Natrium sowie geschmolzene Salze eingesetzt. Das Ziel: den Wirkungsgrad erhöhen und gleichzeitig die Anlagensicherheit deutlich verbessern, da diese Reaktoren bei deutlich geringerem Druck arbeiten sowie die Menge an hochradioaktivem Abfall stark reduzieren. So könnten die natürlichen Ressourcen der Brennstoffe Uran und Thorium viel effizienter genutzt werden und den Einstieg in eine nukleare Brennstoff-Kreislaufwirtschaft ermöglichen. Die heute gesicherten Uran-Ressourcen würden dann um einen Faktor 100 länger ausreichen und die gesamte globale Stromerzeugung von heute für mehrere 10 000 Jahre decken können.

Der zeitliche Rückstand der technischen Entwicklung gegenüber der Generation III/III+ ist je nach Konzept sehr unterschiedlich und liegt zwischen einigen Jahren und einigen Jahrzehnten. Prototypen von gas- und natriumgekühlten Reaktoren gibt es bereits einige, vor allem in China und Russland. Möglicherweise wird es Demonstrationsanlagen dieser Typen in den 2030er Jahren geben.

Gasgekühlte Reaktoren eignen sich nicht nur für die Stromerzeugung, sondern auch für die Bereitstellung von Hochtemperaturwärme für industrielle Prozesse oder für die Wasserstoffproduktion. [GB 3.2]

Kleine modulare Reaktoren (SMR)
SMR (Small Modular Reactors) sind kleine Reaktoren mit einer elektrischen Nennleistung von etwa 20 bis 300 MW. Die derzeit verwendete Technologie entspricht der Generation III/III+. Prototypen gibt es auch von Generation-IV-Technologien. Das Sicherheitskonzept der meisten SMR ist erweitert, das heisst vollständig passiv: im Notfall ist kein menschliches Eingreifen erforderlich.

Derzeit sind mehrere Prototyp-SMR in Russland und China in Betrieb. Erste Demonstrationsanlagen von SMR der Generation III/III+ werden in westlichen Ländern in der ersten Hälfte der 2030er Jahre erwartet. SMR könnten eine Option sein, um energieintensive Industriestandorte zu versorgen oder Energie für Fernwärme, Meerwasserentsalzung oder Wasserstofferzeugung bereitzustellen. Reaktorhersteller erwarten, dass die Stromgestehungskosten für SMR ein Niveau erreichen können, das mit demjenigen grosser KKW vergleichbar ist. Für Erstlingsexemplare ist jedoch mit höheren Kosten zu rechnen. Ob die Wirtschaftlichkeit tatsächlich erreicht werden kann, wird unterschiedlich eingeschätzt. [GB 3.3]

5 Einschätzung des Potenzials

Für einen Neubau in der Schweiz mit einem Investitionsentscheid bis Mitte der 2030er Jahre kommen nur grosse Reaktoren der Generation III/III+ in Frage. Einzelne kleine modulare Reaktoren der Generation-III/III+ werden zwar vermutlich ab der ersten Hälfte der 2030er Jahre zur Verfügung stehen, müssen dann aber noch den Beweis der Wirtschaftlichkeit antreten. Bei Anlagen der Generation IV, die auf neuen Reaktordesigns basieren, gibt es noch grosse Unsicherheiten hinsichtlich Technologie und Wirtschaftlichkeit. Die folgenden Ausführungen beziehen sich deshalb auf grosse KKW der Generation III/III+.

5.1 Technische Aspekte

5.1.1 Sicherheit und Risiken

KKW der Generation III/III+ zeichnen sich durch erhöhte Sicherheit aus. Die erwartete Häufigkeit für Unfälle mit Kernschäden und schwerwiegenden Folgen ausserhalb der Anlage liegt etwa bei einem Unfall in einer Million Jahren pro Kraftwerk. Das ist 10 bis 100 mal seltener als gegenwärtig bei den in der Schweiz betriebenen KKW.

Weitere Risiken sind die Freisetzung von Radioaktivität aus nuklearen Abfällen und das Risiko der Verbreitung von radioaktivem Material bzw. die Nutzung ziviler Nuklearanlagen für militärische Zwecke (Proliferation). [GB 5.1.5]

5.1.2 Betriebsverhalten

Traditionell arbeiten KKW im Grundlastbereich, d. h. sie produzieren Strom rund um die Uhr mit voller Leistung. In einem zukünftig von variablen erneuerbaren Energien beeinflussten Strommarkt kann es notwendig sein, die Stromproduktion von KKW flexibel anzupassen. Typische Druck- und Siedewasserreaktoren sind in der Lage, ihre Leistung regelmässig zwischen 30 und 100 % der Nennleistung zu variieren. Dies wurde bzw. wird in Ländern wie Deutschland und Frankreich auch praktiziert. Sie können an der primären und sekundären Frequenzregelung teilnehmen und damit helfen, die Leistungsschwankungen der zunehmenden Sonnen- und Windenergie auszugleichen. Ein Druckwasserreaktor wie Gösgen kann im oberen Lastbereich seine Leistung um bis zu 10 % seiner Nennleistung pro Minute erhöhen oder reduzieren. Eine Erhöhung der Leistung, z. B. um die geringere Produktion anderer Stromquellen auszugleichen, ist jedoch nur möglich, wenn das Kraftwerk nicht standardmässig mit voller Leistung betrieben wird. Letzteres verringert die Rentabilität des Kraftwerks aufgrund der geringeren Auslastung. Es sei denn, regulatorische Massnahmen oder der Markt bieten ein entsprechendes Geschäftsmodell.

Die Verfügbarkeit von KKW ist normalerweise hoch. Der Betrieb wird in der Regel nur durch geplante Wartungspausen in Zeiten geringer Stromnachfrage für zwei bis sechs Wochen im Jahr unterbrochen. In sehr heissen oder trockenen Perioden kann die Temperatur der Kühlwasserquellen erhöht und die Kühleffizienz verringert sein. Dadurch kann die Leistung von ausschliesslich flussgekühlten KKW beeinträchtigt bzw. muss diese gedrosselt werden. Rückblickend haben sich jedoch heisse Sommertage und steigende Flusstemperaturen nicht wesentlich auf die Stromproduktion ausgewirkt, insbesondere da die grossen Schweizer KKW mit Kühltürmen ausgestattet sind. [GB 5.1.4]

5.1.3 Bauzeit

Die zuletzt in Europa fertig gebauten KKW in Olkiluoto, Finnland bzw. Flamanville, Frankreich sind zugleich die ersten beiden Reaktoren der Generation III/III+ der französischen Électricité de France (EDF). Ihr Bau dauerte mehr als 16 Jahre, mit einer Verzögerung von rund 12 Jahren. Sie stehen seit 2024 in Betrieb. In China hat EDF zwei Blöcke in 9 Jahren Bauzeit fertiggestellt. Zwei Blöcke im britischen Hinkley Point sollen in den Jahren 2029 und 2031 nach 11 Jahren Bauzeit folgen. Zwei neu gebaute Blöcke des US-amerikanischen Unternehmens Westinghouse in Vogtle, Giorgia, wiesen eine Bauzeit von 10 Jahren und ebenfalls einige Jahre Verzögerung auf. Gründe für die langen Bauzeiten können unter anderem wenig Erfahrung mit neuen Anlagentypen (Gen III/III+) und zusätzliche Sicherheitsanforderungen während des Baus sein. Die südkoreanische KEPCO hat in Südkorea und den Vereinigten Arabischen Emiraten mehrere Reaktoren in 8–10 Jahren gebaut. Aufgrund dieser Erfahrungswerte der für einen Neubau in Frage kommenden Firmen werden die Bauzeiten in der Schweiz auf 8 Jahre oder mehr abgeschätzt. [GB 5.1.2]

5.1.4 Radioaktiver Abfall, Stilllegung und Rückbau

Die geologische Tiefenlagerung radioaktiver Abfälle wird international als die wichtigste Methode für die Entsorgung abgebrannter Brennelemente angesehen. Die Tiefenlager befinden sich gemäss diesem Konzept in höchst stabilen geologischen Formationen mehrere hundert Meter unter der Oberfläche. Zu den Restrisiken gehören die geologische Instabilität, die Ungewissheit über die langfristige Verschlechterung des Schutzes oder das Eindringen von Menschen in das Lager in fernerer Zukunft.

Das weltweit erste Tiefenlager für radioaktive Abfälle soll 2025 in Finnland in Betrieb gehen. In der Schweiz hat die Nagra ein Rahmenbewilligungsgesuch für ein Tiefenlager eingereicht (siehe Kap. 3.1).

Seit der Stilllegung des KKW Mühleberg in 2019 sammelt die Schweiz erste Erfahrungen mit dem Rückbau von KKW. Die abgebrannten Brennelemente wurden 2023 ins Zwischenlager Würenlingen gebracht und alle radioaktiv kontaminierten Anlagenteile werden bis 2031 abgebaut. Die Kosten für Stilllegung, Zwischenlagerung und Endlagerung der KKW Mühleberg und Beznau werden auf rund 3 Mrd. Franken pro Anlage geschätzt. Diese Kosten werden durch die Kraftwerkbetreiber mit der laufenden Äufnung eines entsprechenden Fonds vorfinanziert. Der Fonds ist gegenwärtig ausreichend gefüllt. [GB 5.1.7; 5.1.9]

5.1.5 Auswirkung auf die Umwelt

Eine den ganzen Lebenszyklus umfassende Umweltbilanz beinhaltet Auswirkungen auf den Klimawandel, die Emission von Luftschadstoffen und toxischen Substanzen sowie den Verbrauch von Land, Wasser und anderen Ressourcen. Die Umweltbilanz der Schweizer KKW wird weitgehend durch den Abbau und die Aufbereitung des Urans bestimmt. Die gesamten Treibhausgas-Emissionen für die grossen Schweizer KKW (Gösgen und Leibstadt) liegen in der gleichen Grössenordnung wie bei Wind- und Wasserkraft, etwas niedriger als bei Solarenergie und viel niedriger als bei fossilen Brennstoffen. Der Einsatz von Massengütern wie Stahl, Beton, Kupfer und Aluminium ist bei der Kernenergie teilweise um eine Grössenordnung geringer als bei den erneuerbaren Stromproduktionstechnologien. [GB 5.1.8]

5.2 Kosten und Industrie

5.2.1 Kosten

Wer in die derzeitige Nukleartechnologie investiert, muss mit hohen Kapitalkosten (Reaktorplanung und -bau) und vergleichsweise niedrigen Betriebskosten (Brennstoff, Betrieb, Wartung) rechnen. Deshalb sind bisher nur grosse Kraftwerke wirtschaftlich, die jahrzehntelang in Betrieb sind.

Drei Herausforderungen ergeben sich für die Wirtschaftlichkeit:
- Erhebliche Vorleistungen sind erforderlich und das Kapital ist über eine lange Zeit gebunden.
- Die Kraftwerke konkurrieren auf einem liberalisierten Strommarkt mit anderen Anlagen.
- Der Anteil der erneuerbaren Energie an der Stromerzeugung steigt. Der Auslastungsfaktor (heute bei 80–90 %) könnte in diesem Umfeld deutlich tiefer liegen (siehe auch Kap. 5.1.2).

Die meisten neuen KKW-Bauten in den letzten Jahren waren deshalb auf erhebliche staatliche Unterstützung angewiesen, um wettbewerbsfähig zu sein.

Die Baukosten hängen von vielen Faktoren ab: Reaktortyp und -grösse, Zinssätze für Kapital, Branchenerfahrung und Bauzeit (letztere wird beeinflusst durch Verzögerungen, z. B. aufgrund zusätzlicher Anforderungen bzw. Designänderungen während des Baus). Die angegebenen Werte für fertig gebaute Werke sowie Schätzungen für projektierte Anlagen haben eine grosse Bandbreite und liegen zwischen 4 und 15 Mio. Franken pro Megawatt installierter elektrischer Leistung. Die Werte sind teilweise schwer vergleichbar, weil unterschiedliche Faktoren berücksichtigt oder andere Annahmen getroffen wurden.

Die Stromgestehungskosten (Levelized Cost of Electricity) hängen von den Baukosten, den Stillegungskosten, den Betriebskosten, der erwarteten Betriebsdauer und der Auslastung ab. Eine PSI-Studie aus dem Jahr 2019 berechnete Kosten von 7,5 Rp/kWh für einen europäischen Druckwasserreaktor (EPR) mit 6 Jahren Bauzeit und einer durchschnittlichen Auslastung von 85 %. Bei 9 Jahren Bauzeit und einer Auslastung von 60 % sind es 12,5 Rp/kWh. Jüngst in Europa und den USA beobachtete Kosten liegen mit bis zu (geschätzen) 19 Rp/kWh zum Teil noch höher, was unter anderem auf lange Bauzeiten zurückzuführen ist (siehe Kap. 5.1.3). Südkorea und China melden deutlich niedrigere Kosten, die mit niedrigeren Lohnkosten, kürzeren Planungszeiten und geringerem Lizenzierungsaufwand zusammenhängen können.

Die Bewertung der volkswirtschaftlichen Kosten bzw. Gesamtsystemkosten mit oder ohne neue Kernkraft ist sehr schwierig: Der Einfluss unterschiedlicher Nachfrage- und Angebotsentwicklungen ist sehr komplex und entsprechende Berechnungen beinhalten viele Annahmen zu noch unbekannten Entwicklungen wichtiger Faktoren. Dazu gehören beispielsweise Bauzeiten und Kosten neuer KKW, die Integration in den EU-Strommarkt, die Entwicklung des Eigenverbrauchs und der lokalen Speicherung erneuerbarer Energien, die Verfügbarkeit und Kosten synthetischer Brennstoffe, die Back-up-Kosten für KKW (siehe Kap. 5.4), politische und regulatorische Entwicklungen oder die lokale Struktur und zeitliche Verteilung von E-Fahrzeug-Ladeaktivitäten. Je nach Annahmen können die Resultate entsprechender Studien sehr unterschiedlich sein und gegenteilige Schlussfolgerungen ergeben. [GB 5.1.1]

5.2.2 Bauindustrie und Fachkräfte

Grosse KKW der Generation III/III+ werden weltweit zurzeit nur von wenigen Firmen gebaut. Für den Bau einer neuen Anlage in der Schweiz kommen vermutlich nur Firmen aus Frankreich, den USA, Südkorea und Japan in Frage (ohne Russland sowie China, das praktisch nur im Inland baut).

Die meisten derzeit aktiven Firmen, die neue Kernreaktoren anbieten, hatten oder haben mit finanziellen Problemen zu kämpfen und/oder befinden sich im Besitz des Staats. Westinghouse ging 2017 beim Bau des Kraftwerks in Vogtle in Konkurs, wurde dann durch andere Firmen aufgekauft und ist weiterhin im Markt aktiv. Die Électricité de France (EDF) wurde kürzlich vom französischen Rechnungshof aufgefordert, vor weiteren Bauprojekten zuerst ihre finanziellen Probleme zu lösen. Seitens des japanischen Unternehmens GE-Hitachi wurden die Bauaktivitäten nach Fukushima im Jahr 2012 gestoppt und erst kürzlich wieder aufgenommen. Die südkoreanische KEPCO hat im eigenen Land und in den Vereinigten Arabischen Emiraten mehrere Blöcke unter Einhaltung von Zeit und Kosten fertig gebaut. Tabelle 2 zeigt eine Übersicht über die zurzeit für einen Neubau in der Schweiz in Frage kommenden Firmen.

Planung, Bau, Betrieb und der Rückbau von KKW sowie die Entsorgung von Kernbrennstoffen erfordern hochspezialisierte und qualifizierte Unternehmen, Lieferantennetzwerke und hochqualifizierte Arbeitskräfte. Die industrielle Basis für den Bau neuer KKW ist in Europa stark geschrumpft. Die Internationale Atomenergieagentur (IAEA) und das US-Departement für Energie (DOE) schlagen gezielte Programme zur Vergrösserung und Verjüngung der Belegschaft in der Nuklearindustrie vor und warnen vor dem Risiko für bestehende Anlagen und künftige Expansionspläne, falls in Zukunft die personellen Ressourcen fehlen. [GB 4.2; 5.1.3]

5.2.3 Brennstoffversorgung

Die natürlichen Uranreserven reichen aus, um die Nachfrage für die nächsten Jahrhunderte zu decken, wenn man vom derzeitigen Niveau der nuklearen Stromproduktion weltweit ausgeht. Bekannte Vorkommen zu aktuellen Preisen sind für etwa 60 bis 100 Jahre ausreichend. Die Hauptherkunftsländer für den Uranbergbau sind Australien (28 % im Jahr 2021), Kasachstan, Kanada, Russland und Namibia (jeweils zwischen 8–13 %), während Anlagen zur Urananreicherung derzeit vor allem in Russland, aber auch in Europa und China stehen. Die Brennstäbe für das KKW Gösgen werden in Deutschland gefertigt, Leibstadt bezieht die Brennelemente aus Russland, hat aber neue Lieferverträge ohne russische Lieferanten abgeschlossen.

Langfristige Risiken für die Versorgungssicherheit der Schweiz mit Kernbrennstoff sind derzeit nicht zu erwarten, trotz der aktuell schwierigen geopolitischen Lage. Kernbrennstoff ist ein leicht zu lagernder und zu bevorratender Brennstoff und der Krieg in der Ukraine hat dazu geführt, dass in den westlichen Ländern grosse Anstrengungen unternommen werden, um wieder Industriekapazitäten für die Anreicherung aufzubauen.

Die Brennstoffkosten machen 10–15 % der Betriebskosten eines Kernkraftwerks aus. [GB 5.1.6]

Tabelle 2: Unternehmen in westlichen Ländern, die derzeit im Bau neuer KKW der Generation III/III+ tätig sind oder über Erfahrungen damit verfügen (in Europa, *kursiv: nur in Asien*)

Firma (Land)	Erfahrung im Bau von Gen. III/III+ KKW in Europa/USA	Bemerkungen
EDF (FR)	Zwei Blöcke in Betrieb, zwei im Bau (Bauzeit 14–17 Jahre) *(zwei Blöcke in China in neun Jahren)*	In finanziellen Schwierigkeiten; steht unter Druck vom französischen Rechnungshof; starke Bauzeit- und Kostenüberschreitungen in Europa
Westinghouse (USA)	Zwei Blöcke in Betrieb (Bauzeit zehn Jahre)	Ging 2017 in Konkurs, wurde aufgekauft; starke Bauzeit- und Kostenüberschreitungen
KEPCO (KOR)	*Nur in Asien: sechs in Betrieb, zwei im Bau (Bauzeit 8–10 Jahre)*	Keine Erfahrung in Europa; hielt Bauzeit und Kosten in Asien weitgehend ein; Abkommen mit Westinghouse; unklar, ob sie in der Schweiz anbieten würden
GE-Hitachi (JAP)	*Nur in Japan: vier Blöcke gebaut (vor 2007), alle ausser Betrieb (Bauzeit vier Jahre)*	Keine Erfahrung in Europa; kurze Bauzeit, aber technische Schwierigkeiten im Betrieb (unüblich tiefe Auslastung); seit 2012 nicht mehr im Bau aktiv

5.3 Akzeptanz in der Bevölkerung

Energietechnologien benötigen generell eine sehr breite gesellschaftspolitische Akzeptanz, damit eine geplante Infrastruktur die politischen Prozesse überstehen kann. Umfragen über die öffentliche Meinung zu Energiequellen zeigen, dass Photovoltaik auf Gebäuden und Grosswasserkraft die von der Schweizer Bevölkerung am besten akzeptierten Energietechnologien sind.

Die Kernenergie gehört zu den Technologien, die eher umstritten sind (siehe das Beispiel einer Umfrage in Abbildung 1). Während die konkreten Zustimmungsraten je nach Umfrage und Fragestellung variieren, ist das generelle Muster einheitlich: Die Schweizer Bevölkerung ist bei der Kernenergie gespalten. Eine knappe Hälfte der Bevölkerung steht der Kernenergie positiv gegenüber, die andere knappe Hälfte negativ.

Zwei Aspekte gilt es ebenfalls zu beachten: Zum einen ist die Unterstützung der Bevölkerung für den weiteren Betrieb der bestehenden Kraftwerke deutlich grösser als für den Bau neuer Kraftwerke. Zum anderen ist die in Umfragen gemessene generelle Unterstützung typischerweise deutlich höher als die spätere Akzeptanz konkreter Projekte oder als der Ja-Anteil in realen Abstimmungen. [GB 5.2.1]

5.4 Einbindung in das Energiesystem

5.4.1 Mögliche Rolle eines neuen KKW im zukünftigen Schweizer Energiesystem

Der jährliche Stromverbrauch wird von heute 56 Terawattstunden (TWh) bis 2050 auf 70–90 TWh steigen, je nach Szenario. Wesentliche Gründe sind der Umstieg auf Elektromobilität, wachsender Einsatz von Wärmepumpen und stark zunehmender Stromverbrauch durch Rechenzentren. Der künftige Bedarf soll gemäss Energiestrategie hauptsächlich durch erneuerbare Energien, namentlich Wasserkraft und Solarenergie gedeckt werden.

Die zukünftig erwartete Charakteristik des Schweizer Energiesystems (siehe Tabelle 3) weist produktionsseitig vor allem einen Bedarf nach flexiblen Stromproduktionskapazitäten und zusätzlicher Winterstromproduktion auf.

Im zukünftigen Schweizer Stromsystem könnte ein neues KKW mit bspw. 1200 MW Leistung bei Volllast die Produktion im Winterhalbjahr um etwa 5–6 TWh erhöhen. Dies würde die inländische Winterversorgung verbessern, und könnte rund ein Drittel bis die Hälfte des zusätzlichen Winterbedarfs decken.

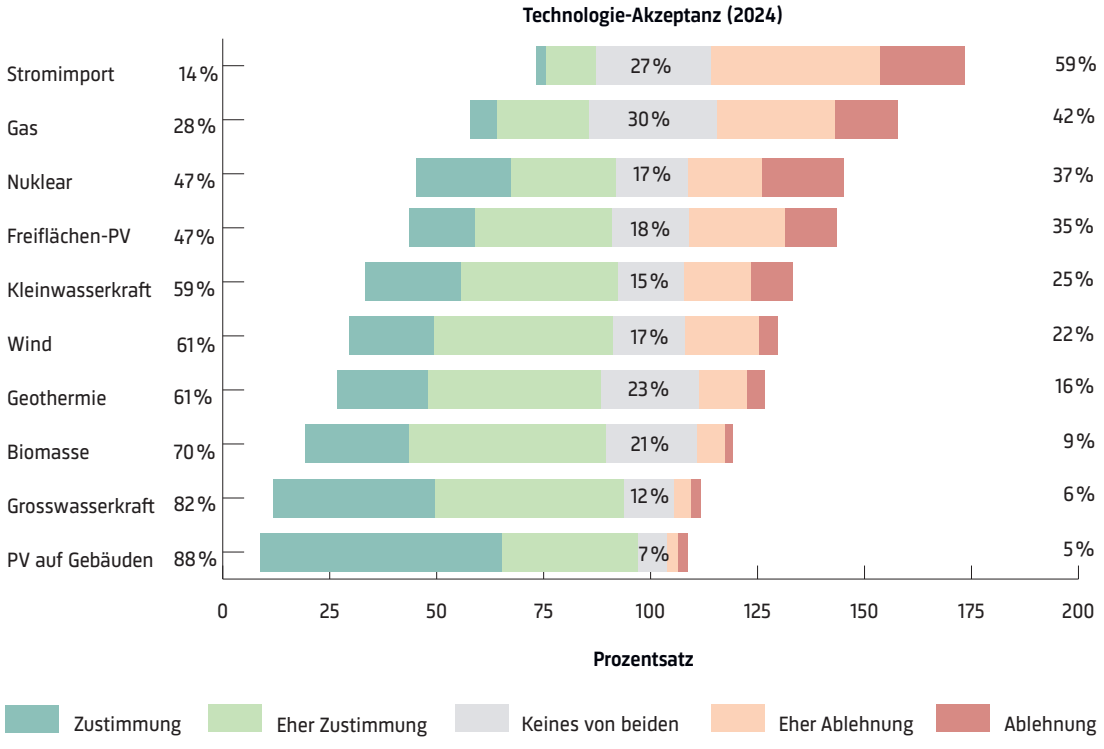


Abbildung 1: Öffentliche Meinung zur Frage, welche Energiequellen Teil des zukünftigen Energiemixes der Schweiz sein sollten.
Quelle: SURE-Umfrage Nov/Dez. 2024

Tabelle 3: Charakteristiken des zukünftigen Energiesystems der Schweiz

Aspekt	Charakteristik
Entwicklung Produktion	Starker Ausbau PV auf 25–40 TWh; geringfügige Erhöhung Wasserkraft auf 40 TWh; Ausbau Windenergie auf ~4 TWh; Abschaltung KKW Beznau 2032/33; Gösgen/Leibstadt 2039/2044, evtl. früher oder später; Zunahme Produktion im Sommer, Abnahme im Winter
Entwicklung Bedarf	Allgemeine Zunahme Strombedarf durch Elektrifizierung von Verkehr und Heizung (v. a. Winter) sowie Digitalisierung/KI
Variabilität der Stromproduktion	Anstieg sowohl kurzfristig (Minuten bis Tage) als auch saisonal aufgrund der Schwankung der Einspeisung aus PV und Windkraft.
Charakteristik Strombedarf	Kurzfristig und saisonal flexible Produktionskapazität erforderlich; im Winter zusätzlicher Strombedarf von ca. 10–15 TWh um 2050.
Möglichkeiten zum Ausgleich kuzfristiger Variabilität	Pumpspeicherwerke, Eigenverbrauch, Batteriespeicher, flexible Nachfragesteuerung, flexible Reservekraftwerke (z. B. Gas oder Gas/Flüssigbrennstoff)
Möglichkeiten zum Ausgleich saisonaler Variabilität	Ausbau saisonale Wasserkraft-Speicherkapazität; saisonale Wärmespeicherung; chemische Speicherung (z. B. Wasserstoff); thermische Kraftwerke (z. B. Gas, auch Wärmekraftkopplung)

Während des Sommerhalbjahres ist die zukünftige Auslastung und damit die Wirtschaftlichkeit von KKW mit hohen Unsicherheiten verbunden. Insbesondere bei starker Sonneneinstrahlung kann ein Stromüberangebot auftreten und ein KKW müsste gegebenenfalls mit stark reduzierter Leistung produzieren. Ein Lastfolgebetrieb in gewissem Ausmass zum Ausgleich kurzfristiger Produktionsschwankungen wäre grundsätzlich möglich. Sowohl bei Leistungsreduktion wie bei Lastfolgebetrieb sinkt jedoch der Auslastungsfaktor und steigen die Kosten eines KKW.

Eine Option könnte darin bestehen, die KKW das ganze Jahr über in Volllast zu betreiben und im Sommer (oder nur in Zeiten überschüssiger Stromproduktion) Wasserstoff zu produzieren, z. B. für die saisonale Speicherung oder die Verwendung in synthetischen Kraftstoffen. Voraussetzung dafür ist aber, dass dies zu wettbewerbsfähigen Preisen möglich ist. [GB 5.2.2]

5.4.2 Einbindung in den Strommarkt

Die Erlöse für KKW-Strom hängen von den zukünftigen Strompreisen und der Betriebszeit sowie der Auslastung eines KKW ab. Auf dem Schweizer Strommarkt werden die Strompreise meistens durch den grenzüberschreitenden Handel bestimmt.

Der Strompreis bildet sich durch das Verhältnis zwischen Nachfrage und Angebot. Bei der Preisbildung werden die Produktionsanlagen mit den niedrigsten variablen Kosten bevorzugt. Dazu gehören erneuerbare Energiequellen wie Solar- und Windenergie und Laufwasserkraft. Auch die Kernenergie hat niedrige variable Kosten, diese können jedoch höher sein als diejenigen der erneuerbaren Energien.

Da in der Schweiz und ihren Nachbarländern vermehrt variable erneuerbare Energien eingesetzt werden, wird der Strommarkt in erster Linie flexible Anlagen bei Erzeugung, Speicherung und Verbrauch benötigen, um eine stabile Stromversorgung zu gewährleisten. Im Bereich Erzeugung sind KKW für diese Rolle nur bedingt geeignet (siehe Kapitel 5.1.2). In Zeiten negativer Strompreise müssen KKW für die Einspeisung von Strom ins Netz bezahlen, da sie nicht für kurze Zeitintervalle von wenigen Stunden auf Null herunterfahren können.

Insgesamt wird in einem Markt mit einem hohen Anteil an erneuerbaren Energien die Auslastung der Kernenergie wahrscheinlich sinken, was zu steigenden Kosten für Kernenergiestrom führt. [GB 5.2.3]

5.5 Der Einfluss des EU-Stromabkommens

Auf internationaler Ebene war die Schweiz bis vor einigen Jahren vollständig in das EU-Netz integriert und profitierte u.a. von den entsprechenden Reserveleistungen (Back-up). Ohne EU-Stromabkommen – und teilweise auch schon heute – ist dies nicht mehr der Fall (siehe Tabelle 4).

Generell gilt, dass bei einem ungeplanten Kraftwerksausfall im Inland sowohl kurzfristige Reserveleistungen (bis 15 Minuten nach Ausfall) als auch langfristige Reserven (Stunden bis Monate, je nach Störung) benötigt werden. Nach 15 Minuten ist die Betreiberin des ausgefallenen Kraftwerks für den Ersatz des fehlenden Stroms verantwortlich, bis das Kraftwerk den Betrieb wieder aufnimmt. Der Betrieb von KKW erfordert deshalb Back-up-Kapazitäten in der Höhe der Leistung der grössten Anlage (zurzeit 1,2 GW) als Reserve für einen ungeplanten Ausfall.

Mit dem EU-Stromabkommen wird auch in Zukunft ein Back-up für den ungeplanten Ausfall eines Schweizer KKW über das EU-Stromnetz zur Verfügung stehen. Ohne EU-Stromabkommen ist dieses Back-up seitens EU nicht mehr sichergestellt und es sind zusätzliche nationale Reservekapazitäten notwendig. Dies gilt sowohl für die bestehenden als auch für ein neues KKW.

Die vorhandenen Wasserkraftkapazitäten reichen nicht aus, um einen längeren Ausfall eines KKW aufzufangen. Das bedeutet, dass ein (oder mehrere) zusätzliche Reservekraftwerke mit der Gesamtleistung des grössten in Betrieb stehenden KKW verfügbar sein müssen, einschliesslich ausreichender Brennstoffreserven. Die Errichtung und Vorhaltung dieser Reserve bringt zusätzliche Kosten für Staat bzw. KKW-Betreiber mit sich. [GB 6.2]

5.6 Rolle des Staates

Es ist sehr wahrscheinlich, dass in der Schweiz für den Bau eines neuen KKW eine staatliche Unterstützung notwendig sein wird. Staatliche Unterstützung bedeutet in diesem Zusammenhang eine Unterstützung durch den Bund, da die Kernenergie im Gegensatz zu den meisten erneuerbaren Energien in die Zuständigkeit des Bundes fällt. Da jedoch die Betreiber, zumindest der bestehenden grossen KKW, mehrheitlich im Besitz der Kantone sind, könnten die Kantone indirekt zur Risikoabdeckung oder zur finanziellen Unterstützung beitragen, wenn sie dazu bereit sind. Es scheint wahrscheinlich, dass Art und Umfang der staatlichen und eventuell kantonalen Unterstützung politisch festgelegt werden müssen und Gesetzesänderungen erforderlich machen. Dies muss geschehen, bevor sich potenzielle Investoren und Betreiber dazu entschliessen, eine Rahmenbewilligung zu beantragen (siehe auch Kap. 6).

Der Staat spielt auch bei der Abdeckung der Unfallrisiken eine Rolle. Derzeit wird die Kernenergie indirekt durch die Begrenzung der Haftung der KKW-Betreiber im Falle eines grossen KKW-Unfalls subventioniert. Dies gilt auch für grosse Wasserkraftwerke, nicht aber für Wind- und Solarkraftwerke, bei denen aufgrund ihres dezentralen Charakters ein potenzieller Schaden im Falle eines Unfalls viel geringer und gut versicherbar ist. [GB 5.2.4]

5.7 Übersicht

Die folgende Tabelle 5 fasst die Perspektiven neuer KKW der Generation III/III+ in der Schweiz zusammen. [GB 5.3]

Tabelle 4: Auswirkungen des EU-Stromabkommens, welche die Integration von KKW im Schweizer Stromsystem beeinflussen

Situation mit EU-Stromabkommen	Situation ohne EU-Stromabkommen
Schweiz in EU Stromnetz-Regelungsplattformen voll integriert: Ausgleich kurzfristiger und saisonaler Schwankungen grössenteils über EU-Stromsystem möglich	Schweiz von Regelungsplattformen der EU ausgeschlossen: Ausgleich über EU-Stromsystem eingeschränkt und unsicher, muss weitgehend im Inland erfolgen können, insbesondere in Mangellagen
Freier Stromhandel mit EU-Ländern	Stromhandel mit EU-Ländern ist möglich, aber mit Einschränkungen insbesondere in Mangel- und Krisenlagen, was entsprechende inländische Reserven bedingt
Rechtlich garantierte Verfügbarkeit grenzüberschreitender Verbindungsleitungen	Grenzüberschreitende Verbindungen sind nicht jederzeit garantiert
Staatliche Unterstützung von Kraftwerken muss den EU-Vorschriften entsprechen	Uneingeschränkte staatliche Unterstützung von KKW möglich

Tabelle 5: Übersicht über die wichtigsten Charakteristiken der Kernkraft in Bezug auf technische, wirtschaftliche, gesellschaftliche und systemische Aspekte

Aspekt	Charakteristik
Technik	
Sicherheit	Ein Reaktorunfall mit Kernschaden und Austritt von Radioaktivität (Hauptrisiko) ist sehr unwahrscheinlich, verursacht aber potenziell sehr grosse Schäden; Unfallwahrscheinlichkeit der KKW-Generation III/III+ ist 10 bis 100 mal geringer als bei heutigen KKW in der Schweiz.
Betriebsverhalten	Derzeit Grundlastbetrieb mit Auslastung 80–90 %; Lastfolgebetrieb im Auslastungsbereich 30–100 % möglich, aber wirtschaftlich eher nachteilig (ausser im Fall entsprechender Geschäftsmodelle im Markt).
Bauzeit	Bauzeiten variieren weltweit zwischen 4 und 17 Jahren, in den westlichen Ländern sind es mindestens 8 Jahre. Bauzeitverlängerung bei späten Designänderungen, Problemen mit Erstprojekten und Engpässen in der Lieferkette.
Radioaktive Abfälle	Mangel an internationaler Erfahrung mit dem Bau und Betrieb eines Tiefenlagers; in der Schweiz ist Standort identifiziert; politischer Prozess ist im Gange; Inbetriebnahme ist im Jahr 2050 geplant. Für ein neues KKW wäre zusätzliche Lagerkapazität erforderlich (derzeit nicht geplant).
Stilllegung und Rückbau	Erste Erfahrungen mit Rückbau des KKW Mühleberg vorhanden; Rückbau dauert ca. 15 Jahre; Stilllegung und Abfallentsorgung wird von Betreibern im Laufe der Betriebszeit im Voraus bezahlt (Äufnung eines Fonds).
Auswirkungen auf die Umwelt	KKW gehören zu den CO_2-armen Energiequellen; auch sonst geringe Umweltauswirkungen, mit Ausnahme ionisierender Strahlung bei (unwahrscheinlichen) Unfällen.
Kosten und Industrie	
Kosten und Kostenstruktur	KKW sind kapitalintensiv, erfordern langfristige Investitionen, beinhalten hohe finanzielle Risiken und Unsicherheiten; Gestehungskosten (LCOE) liegen im Bereich 7,5–19 Rp./kWh, je nach Bauzeit und -kosten sowie Auslastung.
Bauindustrie	Fragmentierte westliche Industrie und Lieferketten; Firmen sind mit finanziellen Problemen konfrontiert; möglicher Mangel an qualifizierten Arbeitskräften; EDF, Westinghouse, KEPCO und GE/Hitachi sind potenzielle Lieferanten für neues KKW in der Schweiz.
Brennstoffversorgung	Natürliche Uranreserven können den Bedarf für die nächsten Jahrhunderte decken; USA und Europa streben Wiederaufbau von Industrie für Bergbau und Anreicherung an, um Abhängigkeit von Russland zu reduzieren.
Akzeptanz	
Gesellschaftliche Akzeptanz	Schweizer Bevölkerung ist in der Nuklearfrage seit Jahrzehnten gespalten; Zustimmung oder Ablehnung ist von situativen und externen Faktoren abhängig; gesellschaftlicher Widerstand kann Neubau verzögern oder stoppen.
Einbindung in das Energiesystem	
Einbindung neues KKW in Energiesystem	Neue Herausforderungen für Kernkraft in Energiesystem mit hohem Anteil erneuerbarer Energie; neues KKW kann einen Teil des zusätzlichen Winterstrombedarfs decken und damit den Import- und saisonalen Speicherbedarf senken; zeitweises Stromüberangebot im Sommer macht Auslastung und Wirtschaftlichkeit von KKW im Sommerhalbjahr unsicher.
Marktintegration	Im zukünftigen Strommarkt ist vor allem flexible Stromproduktion nachgefragt, KKW sind dafür nur begrenzt geeignet; Auslastung und Erträge der Kernkraftwerke im Sommerhalbjahr sind unklar, hohe Auslastung und Erlöse im Winterhalbjahr erwartbar.
Rolle EU-Abkommen	Ohne EU-Stromabkommen braucht es hohe Reserveproduktionskapazitäten (im Leistungsumfang des grössten KKW) für ungeplanten Ausfall
Rolle des Staates	
Rolle des Staates	Weltweit werden heute alle neu gebauten KKW auf unterschiedliche Weise vom Staat unterstützt; ein Neubau in der Schweiz ohne signifikante staatliche finanzielle Unterstützung erscheint nicht realistisch; Kernenergie wird heute indirekt subventioniert durch Begrenzung der Haftung der KKW-Betreiber im Falle eines grossen Unfalls.

6 Prozesse und Entscheide im Hinblick auf ein neues KKW

Dieses Kapitel beschreibt die Abfolge und das Zusammenspiel der sieben wichtigsten nacheinander zu treffenden Entscheide (E1 bis E7) sowie die entsprechenden vorangehenden Prozesse, die den möglichen Weg zu einem neuen KKW in der Schweiz beeinflussen (siehe auch Abbildung 2). Abbildung 3 zeigt den geschätzten Zeitbedarf für den Bau eines neuen KKW. Dieser Zeitplan kann sich aufgrund von (unabsehbaren) Veränderungen im Umfeld (z. B. technische und geopolitische Entwicklungen, politische Entscheidungen) auch anders entwickeln als beschrieben. Die hier angegebenen Zeiträume und Pfadabhängigkeiten sollten jedoch einigermassen robust sein.

E1: Blackout-Initiative und Gegenvorschlag
Gegenwärtig zielen eine Volksinitiative («Blackout-Initiative», Verfassungsänderung) sowie ein indirekter Gegenvorschlag (Gesetzesänderung) des Bundesrates darauf ab, das bestehende gesetzliche Neubauverbot für KKW aufzuheben. Sowohl die Initiative (sicher) als auch ein allfälliger Gegenvorschlag (höchstwahrscheinlich) werden dem Volk zur Abstimmung vorgelegt, voraussichtlich Ende 2026 oder 2027 (= E1). Wird die «Blackout-Initiative» von der Mehrheit des Volkes und der Kantone angenommen, muss das Parlament entsprechende Gesetzesänderungen vorschlagen. Diese unterstehen wiederum dem fakultativen Referendum, evtl. mit einer weiteren Volksabstimmung. Dieser Prozess dauert ca. 2–4 Jahre. Wird der indirekte Gegenvorschlag in der vorgeschlagenen Form angenommen, wäre die notwendige Gesetzesänderung bezüglich der Möglichkeit zum Bau neuer KKW bereits beschlossen und könnte unverzüglich in Kraft gesetzt werden.

E2: EU-Stromabkommen
Im Dezember 2024 wurden die Verhandlungen über die Stabilisierung und den Ausbau der bilateralen Beziehungen zwischen der Schweiz und der EU abgeschlossen. In den kommenden Jahren müssen die Abkommen von der Schweiz ratifiziert werden, einschliesslich des parlamentarischen Entscheidungsprozesses und voraussichtlich einer oder mehrerer Volksabstimmungen. Im verhandelten Regelungspaket ist das Stromabkommen von zentraler Bedeutung für die Planung des Stromsystems allgemein und der Kernenergie im Speziellen. Dies gilt insbesondere für die Integration der Schweiz in das europäische Stromsystem, die Verfügbarkeit von grenzüberschreitenden Verbindungen und den Bedarf an kurz- und langfristigen Speicher- und Reservekapazitäten (siehe Kapitel 5.5). Entsprechende Abstimmungen werden voraussichtlich 2028 oder 2029 stattfinden.

E3: Gesetz zur Subventionierung von KKW
Dieser Entscheid umfasst politische Diskussionen rund um Investition, Betrieb und Finanzierung eines neuen KKW. Dabei geht es um die Klärung rechtlicher und finanzieller Rahmenbedingungen für private und öffentliche Betreiber und Investoren, wobei auch Kantone, Bund, Parlament und die breite Öffentlichkeit einbezogen werden können. Eine zentrale Frage wird sein, wer welche Kosten und Investitionsrisiken eines neuen KKW trägt. Für jede Art von staatlicher Unterstützung für den Betrieb neuer KKW ist eine Gesetzesänderung erforderlich, mit möglichem Referendum und allfälligem Abstimmungsentscheid.

E4: Entscheidung von Betreibern und Investoren
Der vierte Entscheid beinhaltet den Beschluss potenzieller künftiger Betreiber und Investoren, eine Rahmenbewilligung zu beantragen. Andernfalls wird keine Anlage gebaut. Der Entscheid wird getroffen aufgrund von wirtschaftlichen Überlegungen, zu erwartenden Entwicklungen im Energiesystem, dem Ausbau der erneuerbaren Produktionskapazitäten und einer Bewertung der verfügbaren Kernkrafttechnologien und Anbieter. Es ist davon auszugehen, dass ernsthafte Überlegungen von potenziellen Betreibern erst dann angestellt werden, wenn die EU-Beziehungen (E2) sowie die finanziellen Rahmenbedingungen feststehen (E3) oder absehbar sind.

E5: Erteilung Rahmenbewilligung
Um ein neues KKW in der Schweiz zu bauen und zu betreiben, sind drei Bewilligungen erforderlich: Eine Rahmenbewilligung, eine Baubewilligung und eine Betriebsbewilligung (wobei es möglich ist, die beiden letzten zu kombinieren). Die Erteilung der Rahmenbewilligung ist abhängig vom Ergebnis einer Volksabstimmung, falls das Referendum ergriffen wird. Zu den Hauptakteuren gehören die Investoren/Betreiber, das ENSI, der Bundesrat, das Parlament und schliesslich die Öffentlichkeit.

E6: Erteilung Baubewilligung und Baubeginn
Gegen die Baubewilligung (und die Betriebsbewilligung) kann Einsprache erhoben werden. Beschwerden an das Bundesverwaltungsgericht und an das Bundesgericht sind möglich (und wahrscheinlich) und können einige Zeit in Anspruch nehmen (ca. 2 Jahre). Für den gesamten Prozess inklusive Baugenehmigungsverfahren und Einsprachen wird mit 5–6 Jahren gerechnet.

E7: Abschluss der Bauarbeiten, Betriebsbewilligung und Betriebsstart
Für den Bau muss mit acht Jahren oder mehr gerechnet werden (siehe Kap. 5.1.3). Die Betriebsbewilligung kann parallel zum Bau der Anlage erteilt werden. Anschliessend erfolgt der Betriebsstart, frühestens etwa um 2050 (siehe Abb. 3). [GB 6]

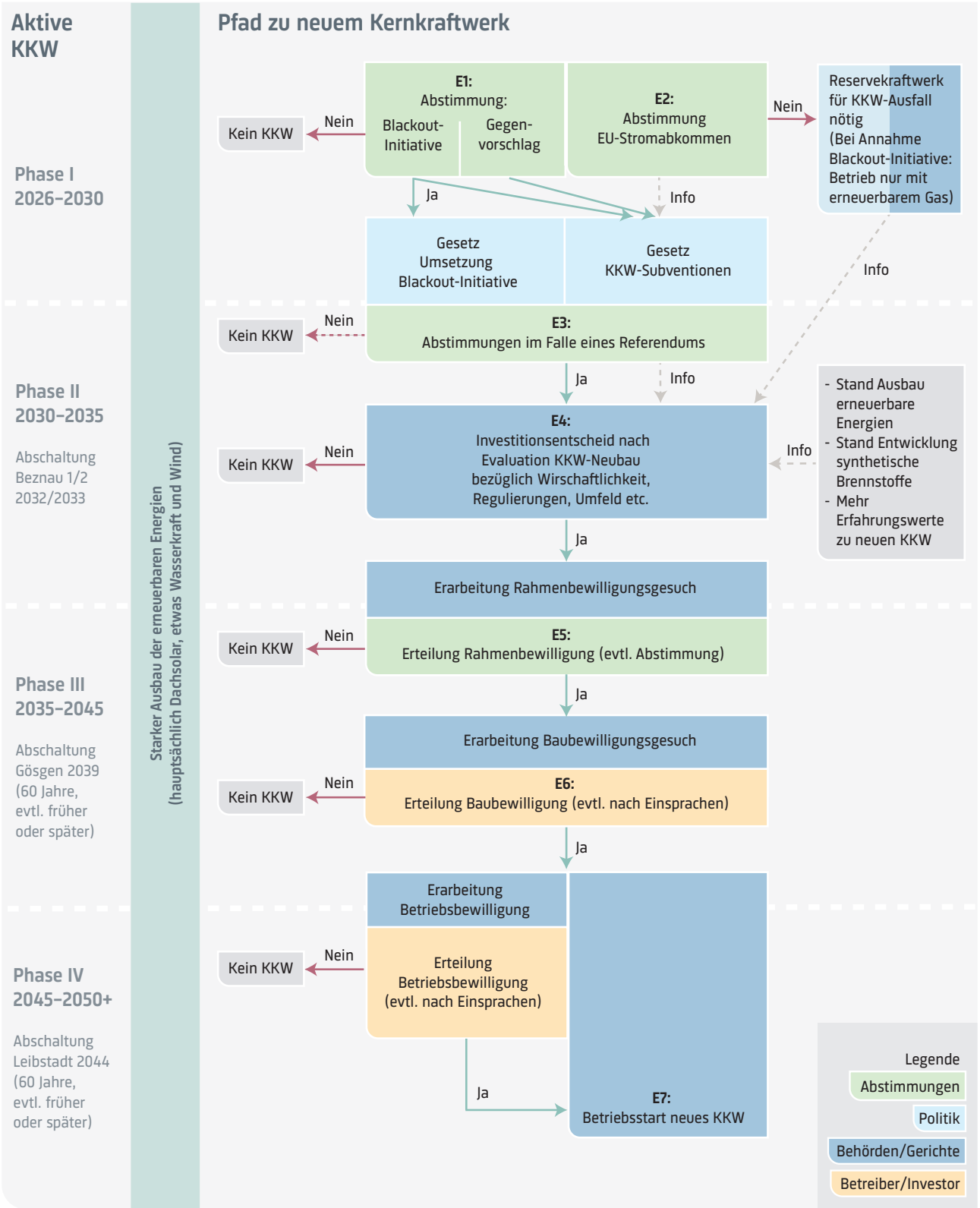


Abbildung 2: Wesentliche Verzweigungs- und Entscheidungspunkte (E1 bis E7) bzw. -phasen auf dem Weg zu einem neuen KKW der heute kommerziell verfügbaren Technologie (Gen. III/III+) in der Schweiz. Grundlage dazu bilden die aktuellen Gesetze und Regelungen sowie politische Initiativen.

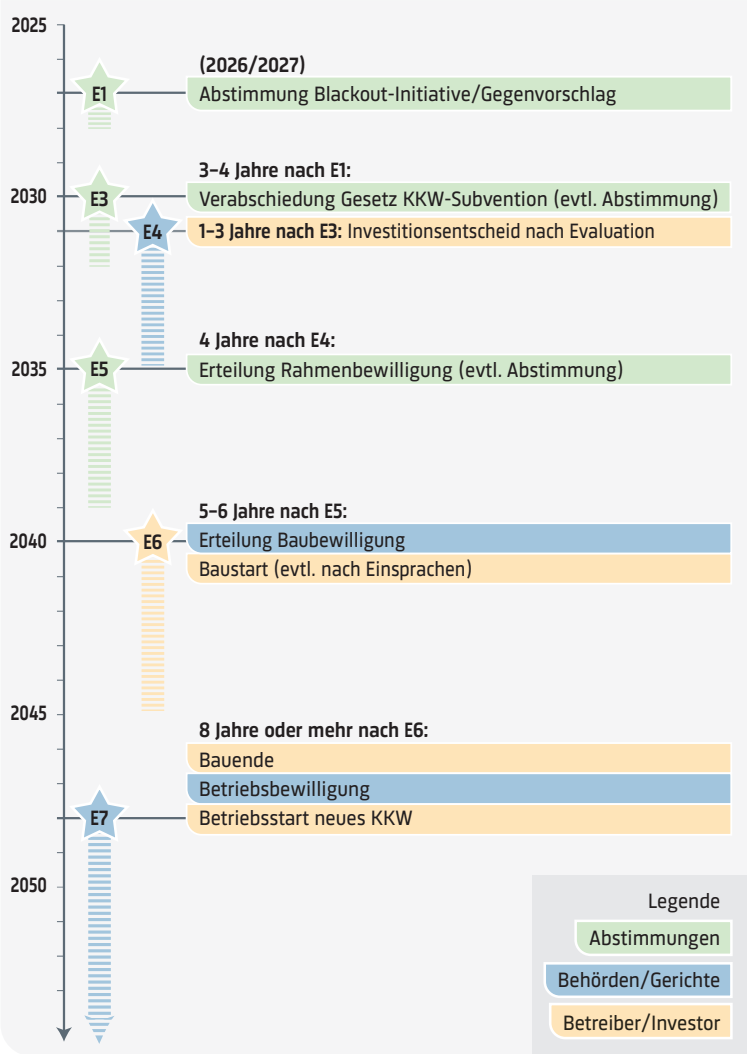
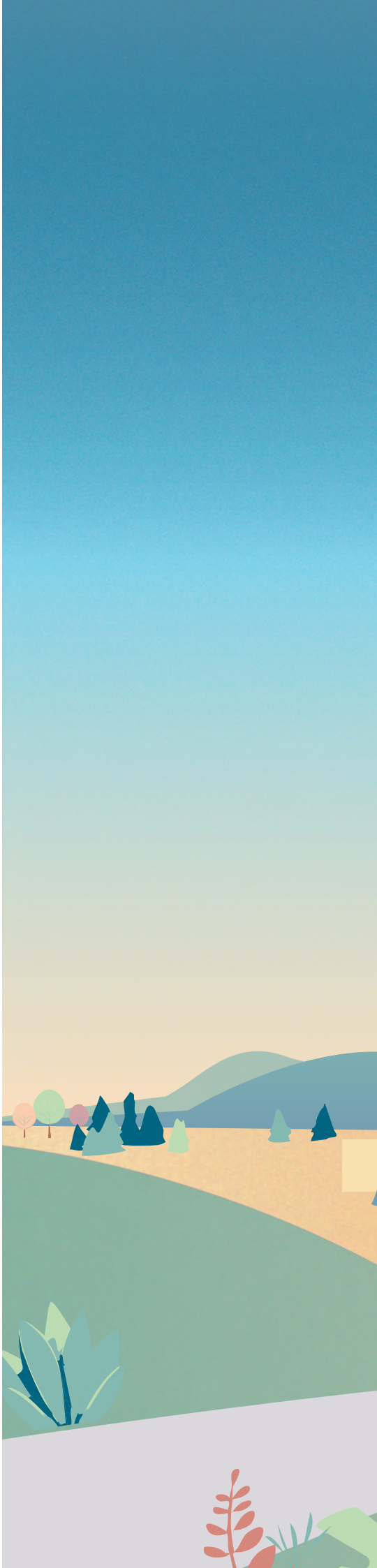


Abbildung 3: Geschätzter kumulierter Zeitbedarf für die politischen und betriebsbezogenen Entscheidungsprozesse für ein neues KKW. Der Stern markiert den aufgrund von Erfahrungswerten geschätzten frühesten Zeitpunkt der entsprechenden Entscheide E1 bis E7 (siehe Kap. 6). Der gestrichtelte Balken markiert jeweils den kumulierten Unsicherheitsbereich der geschätzten Zeitdauer der vorangehenden Prozesse. Der Zeitplan basiert auf dem bestehenden Rechtsrahmen und den zu erwartenden minimalen Gesetzesänderungen, um ein neues KKW zu ermöglichen (E2 ist hier nicht aufgeführt, da er den Zeitrahmen nicht direkt beeinflusst).

Wer sind wir?

Die **Akademien der Wissenschaften Schweiz** sind ein Verbund der vier wissenschaftlichen Akademien der Schweiz: der Akademie der Naturwissenschaften Schweiz (SCNAT), der Schweizerischen Akademie der Geistes- und Sozialwissenschaften (SAGW), der Schweizerischen Akademie der Medizinischen Wissenschaften (SAMW) und der Schweizerischen Akademie der Technischen Wissenschaften (SATW). Sie umfassen nebst den vier Akademien die Kompetenzzentren TA-SWISS und Science et Cité sowie weitere wissenschaftliche Netzwerke. Der wissenschaftliche Nachwuchs organisiert sich in der Jungen Akademie Schweiz. Die Akademien der Wissenschaften Schweiz vernetzen die Wissenschaften regional, national und international. Sie vertreten die Wissenschaftsgemeinschaften disziplinär, interdisziplinär und unabhängig von Institutionen und Fächern. Ihr Netzwerk ist langfristig orientiert und der wissenschaftlichen Exzellenz verpflichtet. Sie beraten Politik und Gesellschaft in wissensbasierten und gesellschaftsrelevanten Fragen.

Die **Erweiterte Energiekommission der Akademien der Wissenschaften Schweiz** fördert und koordiniert die Diskussion und den Wissensaustausch zu den Themen Energie und nachhaltige Nutzung von Ressourcen innerhalb der Forschungsgemeinschaft und pflegt den Dialog mit Politik und Gesellschaft. Sie sucht die Zusammenarbeit mit Schweizer Hochschulen und Fachhochschulen und unterhält ein Netzwerk der Schweizer Forschungsgemeinschaft zum Thema Energie.