

Dossier

Oktober 2019

Lehre, Forschung und Nachwuchs in der Schweizer Kernenergie

Eine Bestandsaufnahme



Executive Summary

Im Rahmen der «Energiestrategie 2050» wird Kernenergie noch für lange Zeit einen bedeutenden Beitrag zur sicheren Versorgung mit klimafreundlichem Strom leisten. Der sichere und wirtschaftliche Langzeitbetrieb der bestehenden Kernkraftwerke, ihre Stilllegung und die Entsorgung der radioaktiven Abfälle erfordern qualifizierten Nachwuchs und verlässliche politische Rahmenbedingungen. Mittelfristig wird ein verstärktes Engagement des Bundes für Forschung und Ausbildung des Nachwuchses im Kernenergiebereich unabdingbar.

Das vorliegende Dossier haben swissnuclear und das Nuklearforum Schweiz erarbeitet. Es aktualisiert und erweitert die Erhebungen aus den Jahren 2010 und 2013. Es richtet sich in erster Linie an die Nuklearbranche und den Bund, aber auch an weitere interessierte Personen in Medien, Politik und Industrie. Es gibt einen Überblick über die Lehre und Forschung im Bereich der Kernenergie in der Schweiz und setzt das Angebot in Bezug zum Nachwuchsbedarf.

Aus dem Dossier lassen sich folgende Schlüsse ziehen:

- Das für einen Langzeitbetrieb der Kernkraftwerke nötige **Lehrangebot** (ETH-Masterkurs, Abschlüsse an den Schweizer universitären Hochschulen und Fachhochschulen) ist derzeit vorhanden. Die langfristigen Aussichten sind aber durchzogen.
- Die **Reaktorschule** am Paul Scherrer Institut (PSI) stellt die Ausbildung gemäss den Schweizer Vorschriften sicher und wird ausschliesslich von den Kernkraftwerksbetreibern genutzt und finanziert.
- Auch die **Strahlenschutzschule** des PSI leistet einen unverzichtbaren Beitrag beim Sicherstellen von Ausbildungen, die auf die Schweizer Bedürfnisse zugeschnitten sind. Bei den internen und externen Fachkräften ist ein zunehmender Ausbildungsbedarf absehbar. Daher wäre eine weitere Vereinfachung der Anerkennung der Abschlüsse von ausländischem Fachpersonal wünschenswert.

- Schwieriger geworden ist das **Rekrutieren von Nachwuchs**. Die Kernenergiebranche steht im derzeitigen Arbeitsmarkt in einer scharfen Konkurrenzsituation mit anderen Branchen. Eine besondere Herausforderung besteht darin, junge Menschen für die zulassungspflichtigen Funktionen in den Kernkraftwerken mit Perspektiven zu motivieren. Die Berufswahl belastende Faktoren können hier die anspruchsvolle und lange Ausbildungszeit, der Schichtbetrieb oder die (unzutreffende) Annahme sein, die Kernkraftwerke würden ohnehin bald den Betrieb einstellen.
- Derzeit ist **Deutschland** ein Reservoir an hochqualifizierten Arbeitskräften. Wenn jedoch das letzte deutsche Kernkraftwerk den Leistungsbetrieb eingestellt haben wird (nach heutigem Planungsstand Ende 2022), wird die Zahl der verfügbaren Fachkräfte schnell zurückgehen. Auch das Rekrutieren des benötigten Personals aus der Zulieferindustrie ist auf Dauer keine nachhaltige Strategie.
- Die Marktsituation bei den **Strahlenschutzfachkräften** ist derzeit angespannt. Der deutsche Kernenergieausstieg schmälert die Möglichkeiten empfindlich, in Deutschland internes und externes Personal zu finden, da gerade bei Stilllegung und Rückbau der Anlagen solche Fachkräfte gefragt sind. Zur Stabilisierung der Lage bietet sich die Ansiedlung von neuen Anbietern in der Schweiz an.
- Beim Erreichen bestimmter Etappen der Betriebsdauer oder bei grösseren Änderungen der Planungs- und Zielvorgaben – etwa das Einstellen des Leistungsbetriebes oder das Vorbereiten eines Rahmenbewilligungsgesuches für geologische Tiefenlager – verändern sich die benötigten Kompetenzen und damit auch die Ansprüche an das Personal der betroffenen Organisationen grundlegend. Die Nuklearbranche, die über längere Zeitzyklen arbeitet, muss derartigen Veränderungsprozessen **genügend Vorlaufzeit und Aufmerksamkeit** schenken.

Titelbild:
Praxisnahe Ausbildung
am Simulator des Kern-
kraftwerks Beznau.
(Bild: Axpo)

swissnuclear
Postfach 1663
4601 Olten
Telefon 062 205 20 10
info@swissnuclear.ch
www.swissnuclear.ch

Nuklearforum Schweiz
Frohburgstrasse 20
4600 Olten
Telefon 031 560 36 50
info@nuklearforum.ch
www.nuklearforum.ch

Zur Steigerung der Attraktivität der Branche könnten beitragen:

- Öffentlich ist **klar zu kommunizieren**, dass die Schweizer Kernkraftwerke noch lange in Betrieb bleiben werden. Zudem ist zu berücksichtigen, dass das Eidg. Nuklearsicherheitsinspektorat (Ensi), die Nationale Genossenschaft für die Lagerung radioaktiver Abfälle (Nagra) und die Zwischenlager Würenlingen AG (Zwilag) über die Stilllegung der Kernkraftwerke hinaus für viele Jahrzehnte auf hochqualifiziertes Personal angewiesen sein werden.
- Mehr **Visibilität** durch Auftritte an Ausbildungsmessen, um mehr Interesse an der Kernenergie zu wecken.
- Spezielles Augenmerk auf attraktive **Arbeitsbedingungen** legen.

Beurteilung der Erkenntnisse aus Sicht der Landesinteressen

Einerseits ist die Erhaltung der hohen kerntechnischen Kompetenz in der Schweiz eine unabdingbare Voraussetzung für den absehbar notwendigen **Langzeitbetrieb der Kernkraftwerke**. Auch mit Blick auf die Stilllegung der Kernkraftwerke und insbesondere die Entsorgung der radioaktiven Abfälle haben Bund und Gesellschaft ein Interesse daran, dass Kernenergieforschung und Ausbildung, die dem sicheren Betrieb der bestehenden Anlagen dienen, weitergeführt werden. Selbstverständlich nehmen die Betreiber diese Aufgabe auch in Zukunft wahr.

Andererseits werden Forschung und Entwicklung in der Kernenergie weltweit laufend vorangetrieben. Mit einer Verknappung der finanziellen Mittel würde der bislang wertvolle Beitrag der Schweiz zur internationalen kerntechnischen Entwicklung unweigerlich sinken. Die **internationale Position der Schweiz** auf dem Gebiet der Kernenergie ist daher **mittelfristig gefährdet**.

Um weiterhin an der Weltspitze mithalten zu können, benötigt die Nuklearforschung im ETH-Bereich **anhaltend stabile Mittel in der heutigen Grössenordnung**. Deshalb ist zukünftig ein verstärktes finanziel-

les Engagement des Bundes im Rahmen der **kommenden Forschungsprogramme** nötig. Andernfalls wird es wegen des drohenden Kompetenzverlustes nicht mehr möglich sein, die Entwicklung zukunftsweisender Reaktorsysteme der fortgeschrittenen dritten und vierten Generation fachlich zu beurteilen – was Bundesrat und Parlament bei der Verabschiedung des Ausstiegsbeschlusses ausdrücklich vermeiden wollten.

Einmal verlorenes Wissen lässt sich nicht über Nacht wieder erwerben. Dies gilt umso mehr, als Bundesrat und Parlament anlässlich der Beratung der «Energiesstrategie 2050» deutlich gemacht haben, dass das Neubauverbot **kein Technologieverbot** bedeutet.

Aus der Gesamtanalyse ergibt sich folgender Handlungsbedarf:

- Die Politik muss die **Rahmenbedingungen** für die Kernenergieforschung und -ausbildung **verlässlich klären**. Andernfalls wird das Gewinnen junger Menschen für die zeitaufwendige Ausbildung im Nuklearbereich wie auch das Anwerben qualifizierten Nachwuchses seitens der Kernkraftwerke zunehmend schwieriger. Hilfreich wäre, wenn der Bund den Beitrag der Kernenergie zur sicheren Stromversorgung vermehrt hervorheben würde.
- Nötig ist zudem eine **langfristige Forschungsstrategie des Bundes**, welche die Gesamtinteressen des Landes im Kernenergiebereich gebührend berücksichtigt und auch finanziell unterstützt. Ohne ein verstärktes Engagement des Bundes im Bereich der kerntechnischen Forschung besteht die Gefahr, dass die Schweiz einen grossen Kompetenzverlust in diesem Fachbereich gewärtigen muss.

Nötig sind verlässliche und faire Rahmenbedingungen für den Weiterbetrieb der heutigen Kernkraftwerke und ein verstärktes Engagement des Bundes in der Kernenergieforschung. Dies sind wesentliche Voraussetzungen, damit die Kernkraftwerke ihren wichtigen Beitrag zur Wahrung der Versorgungssicherheit und zur Umsetzung der «Energiesstrategie 2050» leisten können.

Résumé

Dans le cadre de la «Stratégie énergétique 2050», l'énergie nucléaire va apporter pendant encore longtemps une contribution significative à la sécurité de l'approvisionnement en électricité respectueuse du climat. L'exploitation à long terme, sûre et économique des centrales nucléaires existantes, leur désaffectation et la gestion des déchets radioactifs nécessitent une relève qualifiée et des conditions générales politiques fiables. A moyen terme, un engagement accru de la Confédération en faveur de la recherche et de la formation de la relève dans le domaine de l'énergie nucléaire sera impératif.

swissnuclear et le Forum nucléaire suisse ont réalisé le présent dossier. Il actualise et élargit les enquêtes de 2010 et 2013. Il s'adresse en premier lieu à la branche du nucléaire et à la Confédération, mais aussi à d'autres acteurs intéressés des milieux politiques, médiatiques et industriels. Il donne une vue d'ensemble de l'enseignement et de la recherche dans le secteur de l'énergie nucléaire en Suisse et présente l'offre au regard du besoin en matière de relève.

Le dossier permet de tirer les conclusions suivantes:

- **L'offre d'enseignement** nécessaire pour une exploitation à long terme des centrales nucléaires (cours de master des EPF, diplômes des hautes écoles universitaires et des hautes écoles spécialisées suisses) est assurée à court terme. Les perspectives à long terme sont cependant mitigées.
- **L'école d'opérateurs** à l'Institut Paul-Scherrer (PSI) assure l'éducation selon les exigences suisses et est financée et utilisée exclusivement par les exploitants des centrales nucléaires.
- **L'école de radioprotection** du PSI apporte également une contribution indispensable pour garantir des formations adaptées aux besoins helvétiques. Une augmentation des

besoins de formation du personnel qualifié interne et externe est à prévoir. Il serait donc souhaitable de simplifier la reconnaissance des diplômes du personnel qualifié étranger.

- **Le recrutement de la relève** est devenu plus difficile. Sur le marché actuel du travail, la branche de l'énergie nucléaire est dans une situation de forte concurrence avec d'autres branches. Un défi particulier consiste à motiver des jeunes gens à exercer des fonctions soumises à autorisations dans les centrales nucléaires. La période de formation exigeante et longue, les horaires irréguliers dus au travail en équipe ou l'idée (infondée) que les centrales nucléaires vont, de toute façon, bientôt cesser d'être exploitées, peuvent être des facteurs contribuant à ces difficultés.
- **L'Allemagne** est actuellement un réservoir de main-d'œuvre fortement qualifiée. Cependant, lorsque la production d'énergie de la dernière centrale nucléaire allemande aura cessé (fin 2022 en l'état actuel de la planification), les effectifs de personnel qualifié disponible baisseront rapidement. Sur la durée, le recrutement du personnel nécessaire dans l'industrie de la sous-traitance n'est pas non plus une stratégie durable.
- La situation du marché de la **main-d'œuvre spécialisée en radioprotection** est tendue à l'heure actuelle. La sortie de l'énergie nucléaire décidée par l'Allemagne a sensiblement réduit les possibilités de trouver du personnel interne et externe en Allemagne, car une telle main-d'œuvre est demandée pour la désaffectation et la démolition des installations. La possibilité d'attirer de nouvelles établissements en Suisse pourrait stabiliser la situation.
- Lorsque certaines étapes de la durée d'exploitation sont atteintes ou que des modifications majeures interviennent dans les directives de planification et les objectifs – par exemple l'arrêt de la production ou la préparation d'une demande d'autorisation générale pour les dépôts géologiques

swissnuclear
Case postale 1663
4601 Olten

Téléphone 062 205 20 10
info@swissnuclear.ch
www.swissnuclear.ch

Forum nucléaire suisse
Frohburgstrasse 20
4600 Olten

Téléphone 031 560 36 50
info@nuklearforum.ch
www.forumnucleaire.ch

en couches profondes – les compétences nécessaires et, avec elles, les exigences envers le personnel des organisations concernées changent aussi fondamentalement. La branche nucléaire, qui travaille sur des cycles de temps longs, doit accorder à de tels processus de changement **suffisamment d'attention et de temps de préparation.**

Ce qui pourrait contribuer à augmenter l'attractivité de la branche:

- Il faut **communiquer clairement** au public que les centrales nucléaires suisses vont rester encore longtemps en service. De plus, l'Inspection fédérale de la sécurité nucléaire (IFSN), la Société coopérative nationale pour le stockage des déchets radioactifs (Nagra) et le Dépôt intermédiaire central de Würenlingen (Zwilag, Zwischenlager Würenlingen AG) devront encore disposer d'un personnel hautement qualifié pendant de nombreuses décennies après la désaffectation des centrales nucléaires.
- Davantage de **visibilité** grâce à des interventions dans des salons de la formation afin de susciter davantage d'intérêt pour l'énergie nucléaire.
- Prêter une attention particulière à des **conditions de travail** attrayantes.

Évaluation des résultats de l'étude du point de vue des intérêts nationaux

D'une part, la préservation du haut niveau de compétence de la Suisse en technique nucléaire est une condition indispensable pour **l'exploitation à long terme des centrales** dont il est prévisible qu'elle sera nécessaire. Même dans la perspective de la désaffectation des centrales nucléaires, et en particulier de la gestion des déchets radioactifs, la Confédération et la société ont intérêt à ce que se poursuivent recherche sur l'énergie nucléaire et formation, car elles servent à la sécurité d'exploitation des installations existantes. Les exploitants s'acquitteront bien entendu également de cette mission à l'avenir.

D'autre part, dans le monde entier, recherche et développement dans le domaine de l'énergie nucléaire se poursuivent sans relâche. Avec une raréfaction des moyens financiers, la précieuse contribution apportée jusqu'à présent par la Suisse aux progrès internationaux de la technique nucléaire perdrait inéluctablement de son importance. **La position internationale de la Suisse** dans le domaine de l'énergie nucléaire **est donc menacée à moyen terme.**

Pour pouvoir continuer à faire jeu égal avec les meilleurs acteurs mondiaux, la recherche nucléaire dans le domaine des EPF a donc **un besoin permanent de ressources stables de l'ordre de grandeur actuel.** C'est pourquoi, dans ce domaine, il sera nécessaire à l'avenir d'avoir un engagement financier accru de la Confédération dans le cadre des futurs programmes de recherche. A défaut, il ne sera plus possible, avec la perte de compétences qui menace, d'évaluer objectivement le développement de systèmes de réacteurs novateurs de la troisième et de la quatrième génération avancées, ce que le Conseil fédéral et le Parlement voulaient expressément éviter en votant la décision de sortie.

Les connaissances perdues ne se rattrapent pas du jour au lendemain. Cela est d'autant plus préoccupant que lors de la consultation pour la «Stratégie énergétique 2050», le Conseil fédéral et le Parlement ont clairement fait savoir que l'interdiction des nouvelles constructions **ne signifiait pas une interdiction de la technologie.**

L'analyse globale révèle les besoins d'action nécessaires suivants:

- Les responsables politiques doivent **clarifier en toute fiabilité les conditions générales** pour la recherche et la formation dans le domaine de l'énergie nucléaire. Dans le cas contraire, il sera de plus en plus difficile d'intéresser des jeunes gens à poursuivre une formation dans le domaine nucléaire

très coûteuse en temps et de recruter une relève qualifiée. Il serait utile que la Confédération mette davantage en avant la contribution de l'énergie nucléaire à la sécurité de l'approvisionnement en électricité.

- De plus, une **stratégie de recherche à long terme de la Confédération**, prenant convenablement en compte les intérêts généraux du pays dans le domaine de l'énergie nucléaire et apportant aussi un soutien financier. Sans un engagement accru de la Confédération dans le domaine de la recherche en technique nucléaire, la Suisse court le risque d'une grave perte de compétences dans ce secteur.

Des conditions générales fiables et justes pour la poursuite de l'exploitation des centrales nucléaires actuelles et un engagement accru de la Confédération dans le domaine de la recherche sur l'énergie nucléaire sont ici nécessaires.

Il s'agit là d'exigences essentielles pour que les centrales nucléaires puissent apporter leur importante contribution à la garantie de la sécurité de l'approvisionnement et à la mise en œuvre de la «Stratégie énergétique 2050».

Inhalt

Executive Summary	2
Résumé	4
1. Zielsetzung und Vorgehen	8
2. Energiepolitik und Kernenergie	9
2.1 Weltweite Szenarien	9
2.2 Energiepolitik der EU	10
2.3 Strompolitik der Schweiz	11
2.4 Zukunft der Kernenergie weltweit	12

Teil A

3. Angebot in Lehre und Forschung im ETH-Bereich (Kernspaltung)	14
3.1 Lehre	14
3.2 Ergänzende Kurse zum Angebot im ETH-Bereich	15
3.3 Forschung	17
4. Weitere Angebote in Lehre und Forschung	21
4.1 Kantonale Universitäten	21
4.2 Fachhochschulen	22
4.3 Technikerschulen	23
5. Finanzierung von Forschung und Ausbildung	25

Teil B

6. Nachwuchs an hochqualifiziertem Personal	28
6.1 Universitäre Hochschulen	28
6.2 Fachhochschulen	28
7. Personalbedarf in der Kernenergiebranche 2019–2023	29
7.1 Altersstruktur der Branche	29
7.2 Bedarfsschätzungen	29
Personalbestand und Bedarf bis 2023 an Höheren Ausbildungen	29
Personalbestand und Bedarf bis 2023 an Technikern / Fachkräften – zulassungspflichtiges KKW-Personal	31
Personalbestand und Bedarf bis 2023 an Technikern / Fachkräften ohne Zulassungspflicht	31
Personalbestand und Bedarf bis 2023 bei Strahlenschutz und Strahlenüberwachung	31
8. Schlussbemerkung	32

1. Zielsetzung und Vorgehen

Das Dossier «Lehre, Forschung und Nachwuchs in der Schweizer Kernenergie – eine Bestandsaufnahme» ist erstmalig 2010 veröffentlicht und 2013 aktualisiert worden. Die erste Ausgabe erfolgte im Licht der nuklearen Renaissance im In- und Ausland, die zweite Aktualisierung nach dem Reaktorunfall in Fukushima. Seither hat sich die Situation der Schweizer Kernenergie erneut grundlegend verändert. Die endgültige Einstellung des Leistungsbetriebs des Kernkraftwerks Mühleberg Ende 2019 und das Neubauverbot haben weitreichende Folgen für die Lehre und Forschung im Bereich der Kernenergie in der Schweiz.

Selbstverständlich werden sich die Betreiber der Kernkraftwerke weiterhin ohne Abstriche für die Ausbildung und Forschung zum sicheren Betrieb ihrer Anlagen wie auch für Stilllegung und Entsorgung engagieren. Mit der gestaffelten Ausserbetriebnahme der Werke wird jedoch aus Sicht der Betreiber die Bedeutung der über Sicherheitsfragen hinausgehenden Kernenergieforschung zurückgehen, da die verbleibende Betriebszeit aus heutiger Sicht bei maximal 25 Jahren, also bis ca. 2045, liegt.

Veränderter Mitteleinsatz durch neue Prioritäten werden absehbar zu grösseren Veränderungen in der kerntechnischen Forschungs- und Ausbildungslandschaft führen. In diesem herausfordernden Umfeld muss die Kern-

energiebranche einerseits einen erfolgreichen Langzeitbetrieb sicherstellen und andererseits eine sichere und effiziente Abwicklung der Stilllegungen der Anlagen sowie der Entsorgung der radioaktiven Abfälle ermöglichen.

Vor diesem Hintergrund haben swissnuclear und das Nuklearforum Schweiz das Dossier «Lehre, Forschung und Nachwuchs in der Schweizer Kernenergie» aktualisiert. Das überarbeitete Dossier geht auf Trends und Schwerpunktverschiebungen in der Forschungs- und Ausbildungslandschaft ein; sowohl auf der Angebots- wie auch der Bedarfsseite.

Erhebungszeitraum: Der abgedeckte Zeitraum umfasst die fünf Jahre 2019–2023.

Reichweite der Erhebung: Das Dossier beschränkt sich auf das Lehrangebot und die Forschungsaktivitäten in der Schweiz im Bereich der Kernspaltung (ohne Kernfusion). Um die Bedarfsseite abzubilden, wurde erneut eine Erhebung durchgeführt; diesmal für die Jahre 2019 bis 2023. Anders als in der letzten Ausgabe ist Umfang der Erhebung – zusätzlich zu den höheren technischnaturwissenschaftlichen Ausbildungen – um die Bedürfnisse des Betriebs und des Strahlenschutzes erweitert worden. Eingebunden in die Erhebung wurden die Kernkraftwerksbetreiber sowie Zwiilag, Ensi, PSI und Nagra.

2. Kernenergie und Energiepolitik

2.1 Weltweite Szenarien

Szenarien der IEA

In ihrem Referenzszenario «neue energiepolitische Rahmenbedingungen» schätzt die Internationale Energie-Agentur, dass die weltweite Stromnachfrage bis 2040 um rund zwei Drittel ansteigen wird (Fig. 2.1). Der Endverbrauch dürfte von rund 23'800 Terawattstunden (TWh) im Jahr 2014 auf gegen 40'000 TWh im Jahr 2040 ansteigen. Anders als in den vergangenen 25 Jahren wird künftig der weltweite Strombedarf jedoch weniger stark ansteigen als das Wirtschaftswachstum. Das Referenzszenario der IEA unterstellt, dass die weltweit angekündigten energiepolitischen Massnahmen auch umgesetzt werden¹.

Das Referenzszenario nimmt an, dass vor allem durch das Bauprogramm in China die Stromerzeugung aus Kernenergie bis 2040 nahezu verdoppelt wird (+80%) und mehr Länder neu einsteigen als aussteigen. Der Nuklearanteil an der Weltstromproduktion bleibt dagegen etwa gleich bei ungefähr 11%.

Szenarien des WEC

Auch der Weltenergieerat (*World Energy Council*) rechnet in seinen in Partnerschaft mit dem PSI erarbeiteten Szenarien² mit einem massiven Ausbau der Kernenergie: Im «Hard Rock»-Szenario um etwa das 2,5-Fache, im «Modern Jazz»-Szenario um das 1,5-Fache, und im besonders Umwelt und klimafreundlichen «Unfinished Symphony»-Szenario sogar um fast das Dreifache.

Aus diesen Szenarien geht hervor: **Je «grüner» die Stromproduktion, desto mehr Kernenergie findet sich im Strommix.** Falls CCS (Carbon Capture and Storage), Solartechnik und Stromspeicherung nicht das Erhoffte erbringen, müsste die Kernenergie einen umso grösseren Teil der umweltschonenden Stromversorgung übernehmen.

¹ International Energy Agency: World Energy Outlook 2016, Paris.

² World Energy Council (WEC): World Energy Scenarios 2016 – The Grand Transition. In collaboration with Accenture Strategy and Paul Scherrer Institute. London.

Fig. 2.1 Veränderung des weltweiten Strommix im IEA-Referenzszenario bis 2040

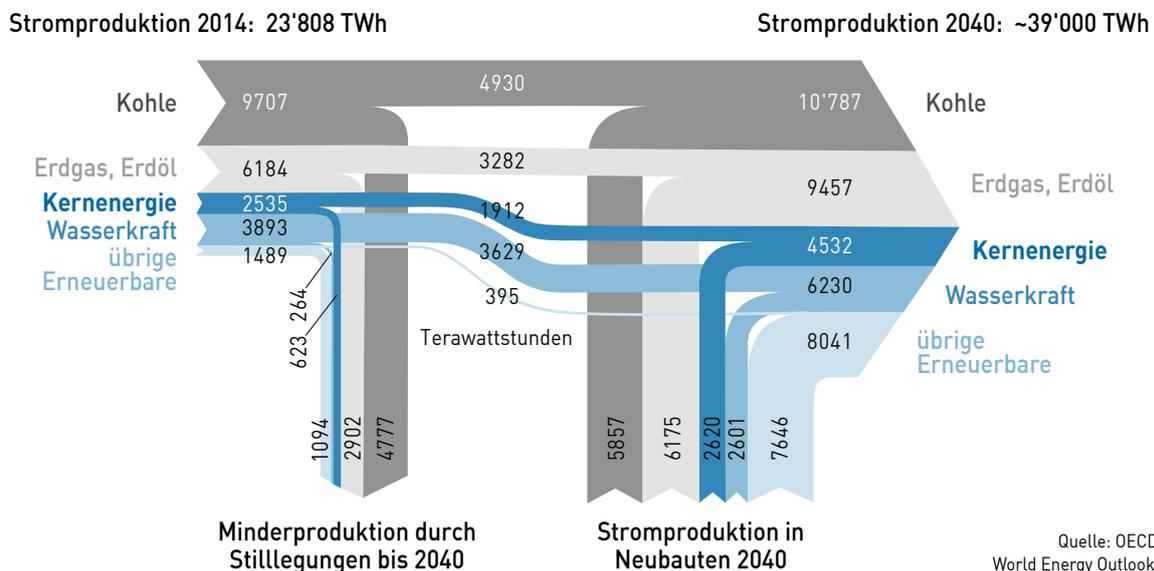
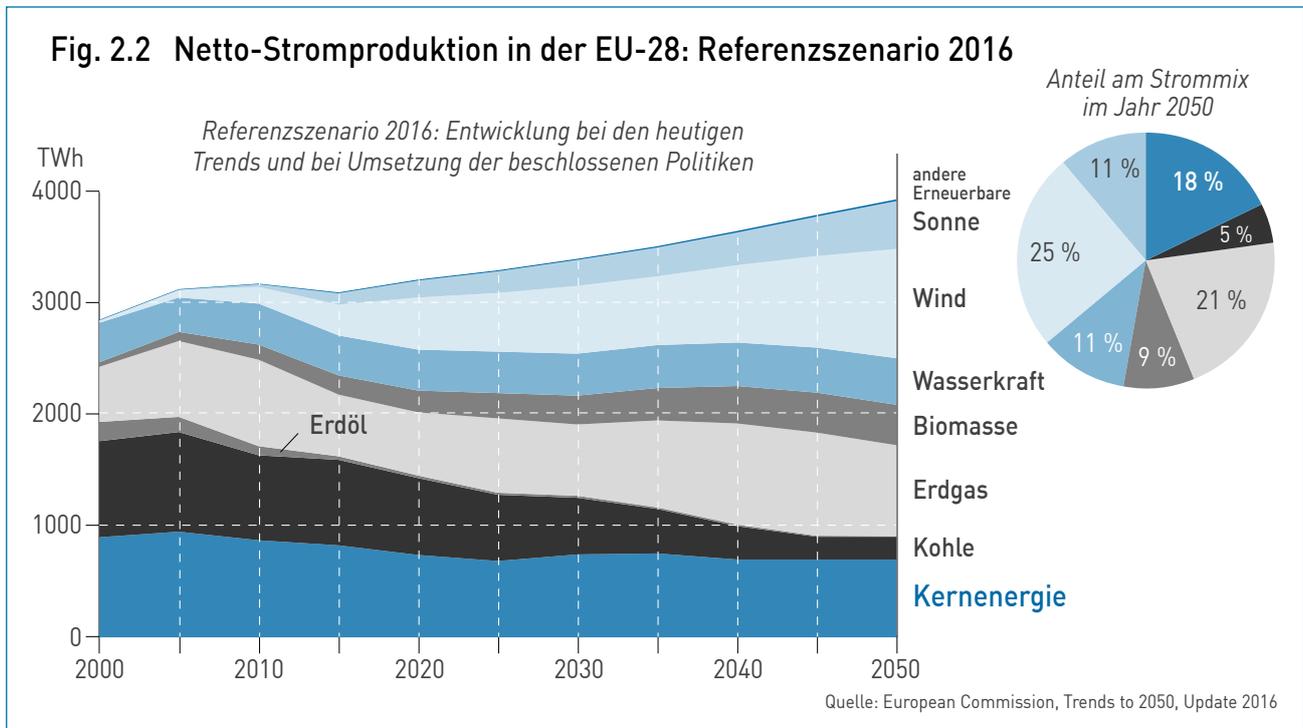


Fig. 2.2 Netto-Stromproduktion in der EU-28: Referenzszenario 2016



2.2 Energiepolitik der EU

Schwerpunkt der Energiepolitik der EU ist die Dekarbonisierung. 2007 beschloss der EU-Rat die «20-20-20»-Strategie bis 2020: -20% Treibhausgase, 20% erneuerbare Energien im Gesamtverbrauch, mindestens +20% Energieeffizienz gegenüber dem Niveau von 1990. Während bei den Treibhausgasen und den erneuerbaren Energien die Ziele erreicht werden dürften, besteht noch eine Lücke bei der Energieeffizienz. 2014 (mit Nachbesserungen 2018) einigte sich der EU-Rat auf die Ziele bis 2030: mindestens -40% Treibhausgase, mindestens 32% Anteil der erneuerbaren Energien und mindestens +32,5% Energieeffizienz. Bis 2050 sollen die Treibhausgasemissionen um 80-95% gegenüber von 1990 sinken³.

In der EU stammt immer noch fast die Hälfte des Stroms aus fossilen Energieträgern (2018: 45,9%). Die Kernenergie ist mit einem Viertel Produktionsanteil (25,5%) die mit Abstand grösste CO₂-arme Stromerzeugungstechnologie. Die Unterschiede von Land zu Land sind jedoch gross. Der Entscheid über die Nutzung der Kernenergie liegt bei den einzelnen Mitgliedern, die diametral unterschiedliche Politiken verfolgen⁴.

Stromproduktion: Szenarien der EU

Steigerungen der Gesamteffizienz der Energieversorgung führen in der Regel zu vermehrten Stromanwendungen. Die Europäische Kommission rechnet in der jüngsten Aktualisierung ihres Referenzszenarios⁵ mit einer weiteren Zunahme des Stromverbrauchs. Das überarbeitete und im Juli 2016 fertiggestellte «Referenzszenario 2016» dient als Planungsgrundlage der Kommission (Fig. 2.2). Erstellt wurde es auf der Grundlage der gegenwärtigen Entwicklungstrends und unter der Annahme, dass die in der EU und in den Mitgliedstaaten beschlossenen Politiken umgesetzt werden. Es handelt sich um eine Trendfortschreibung und nicht um eine Prognose.

Bei der Kernenergie führen der Reaktorunfall in Fukushima-Daiichi, die Ausstiegspolitik in Belgien und Deutschland sowie die durch höhere Sicherheitsanforderungen gestiegenen Erzeugungskosten gemäss dem Referenzszenario zunächst zu einem Produktionsrückgang. Nach 2025 werden dann die Neubauten und Modernisierungen die Stilllegungen ausgleichen. Der Anteil der Kernenergie an der Stromversorgung in der EU-28

³ European Commission: Third Report on the State of the Energy Union. Brussels, 23 november 2017

⁴ Eurostat: Electricity statistics 2017.

⁵ European Commission: EU Reference Scenario 2016. Energy, Transport and GHG Emissions – Trends to 2050. Manuscript completed on 16 July 2016.

geht jedoch wegen der grösseren Gesamtproduktion von knapp 26% (2017) auf 18% (2050) zurück.

Deutlich vermindert sich in diesem Szenario die Kohleverstromung. Die EU-Kommission geht zudem davon aus, dass bis 2050 zwei Drittel aller Kohlekraftwerke mit CCS-Technologien ausgerüstet sein werden. Obwohl die in Gaskraftwerken installierte Leistung stark zunimmt, liegt die Stromproduktion im Jahr 2050 etwa auf dem Niveau von 2010. Dies liegt daran, dass Gaskraftwerke immer stärker als Back-up für die schwankende Stromerzeugung aus Wind und Sonne erhalten müssen.

Bei Fortschreiben des Trends nimmt die Stromproduktion aus Wind und Sonne stark zu, wobei unterstellt wird, dass sie ab 2020 den Marktkräften ausgesetzt wird. 2050 würden so 36% des Stroms aus diesen beiden Quellen stammen, was laut EU-Kommission die Netzstabilität nicht gefährden dürfte.

Gemäss dem Referenzszenario werden die Entwicklungen im Stromsektor bedeutende Auswirkungen auf die Strompreise haben. So wird erwartet, dass 2020 die Stromproduktionskosten höher sein werden als 2010 und bis 2030 weiter ansteigen werden – dies wegen der steigenden Kapitalkosten, welche die sinkenden Brennstoffpreise mehr als ausgleichen dürften.

2.3 Strompolitik der Schweiz

Die Annahme der «Energiestrategie 2050» mit dem Neubauverbot in der Volksabstimmung vom 21. Mai 2017 und die endgültige Ausserbetriebnahme des Kernkraftwerks Mühleberg am 20. Dezember 2019 bedeutet, dass die Schweiz schrittweise aus der Kernenergie aussteigen wird.

Kein formelles Technologieverbot

Im Rahmen der ausserordentlichen Session «Kernenergie und alternative Energien» im Juni 2011 hatte der Nationalrat alle Motionen abgelehnt, die eine vorzeitige Stilllegung von Kernkraftwerken forderten oder die heutigen unbefristeten Betriebsbewilligungen aufheben wollten. Ende September 2011 schloss sich der Ständerat dem an, mit dem ausdrücklichen Zusatz, dass kein gesetzliches

Technologieverbot erlassen und die Lehre und Forschung im Kernenergiebereich weitergeführt werden soll. Das Kernenergiegesetz wurde daher um eine Bestimmung ergänzt, wonach der Bundesrat der Bundesversammlung regelmässig Bericht über die Entwicklung der Kerntechnologie zu erstatten hat. Gemäss Botschaft sollen Bildung, Lehre und Forschung in sämtlichen Energietechnologien sowie die internationale Zusammenarbeit weiterhin unterstützt werden. Auch der Bau von Forschungsreaktoren soll in der Schweiz weiterhin möglich sein.

Faktisches Technologieverbot

Obschon Bundesrat und Parlament ausdrücklich auf ein gesetzliches Technologieverbot verzichteten, läuft das Bauverbot von Kernkraftwerken in der industriellen Praxis faktisch darauf hinaus. Der neue Verbotsartikel im Kernenergiegesetz bedeutet, dass in der Schweiz grundsätzlich und ohne Rücksicht auf die aktuellen und künftigen technischen Entwicklungen der Bau jeglicher Art von Kernkraftwerken verboten werden soll. Das Verbot erstreckt sich auch auf Kraftwerke, die auf der Kernfusion beruhen und an deren internationaler Entwicklung die Schweiz weiterhin erhebliche Beiträge leistet.

Der Einsatz von Kernreaktoren zum Zweck der Stromerzeugung stellt den wichtigsten gesamtwirtschaftlichen Beitrag der Nukleartechnik dar. Fällt diese Anwendung weg, wird dieses Wissensgebiet für Nachwuchskräfte unattraktiv. Der Erhalt des nukleartechnischen Wissens ist jedoch für den im Rahmen der «Energiestrategie 2050» geforderten sicheren Weiterbetrieb der bestehenden Kernkraftwerke unverzichtbar. Betreiber und Zulieferindustrie sind für den Unterhalt und für die Weiterentwicklung der Sicherheitstechnik auf Fachkompetenz und motivierten Nachwuchs angewiesen. Das mit dem Ausstiegsbeschluss faktisch verhängte Technologieverbot gefährdet daher die über Jahrzehnte in der Schweiz aufgebaute Wissensbasis in Nukleartechnik.

Einmal verlorenes Wissen lässt sich bei Bedarf nicht über Nacht erwerben. Kompetenzaufbau benötigt viel Zeit.

Gefährdete internationale

Position der Schweiz

Mit der absehbaren Verknappung der finanziellen Mittel für die Kernenergieforschung steigt die Gefahr, dass der bislang wertvolle Beitrag der Schweiz zur internationalen kerntechnischen Entwicklung sinken wird. Die Mitsprachemöglichkeiten der Schweiz bei der weltweit weiter fortschreitenden Entwicklung der Kerntechnik drohen eingeschränkt oder sogar gänzlich verloren zu gehen. Eine Strategieüberprüfung auf hoher Ebene ist aus diesen Gründen angebracht.

2.4 Zukunft der Kernenergie weltweit

Verstärkte internationale

Forschung & Entwicklung

Dieser Befund ist umso problematischer, da in vielen Industrie- und Schwellenländern seit der Jahrtausendwende vor dem Hintergrund der volatilen Preisentwicklung bei Erdöl und Erdgas, der internationalen Klimapolitik und der langfristigen Sicherung einer zuverlässigen, umweltschonenden und wirtschaftlichen Stromversorgung das Interesse für die Möglichkeiten der Kernenergie wieder erwacht und nur in wenigen Ländern durch den Unfall in Fukushima beeinträchtigt worden ist (Fig. 2.3). Inzwischen hat die internationale Staatengemeinschaft eine Reihe von Initiativen eingeleitet, um die Kerntechnik weiterzuentwickeln.

Zu diesen Initiativen gehören das 2001 gegründete Generation IV International Forum (GIF) zur Entwicklung von Reaktorsystemen der vierten Generation⁶, der im Jahr 2005 beschlossene Bau des Internationalen Thermo-nuklearen Experimentalreaktors (Iter) in Südfrankreich sowie die im September 2007 etablierte Forschungsplattform der EU zur Entwicklung einer nachhaltigen Nukleartechnologie (EU Sustainable Nuclear Energy Technology Platform).

Gegenwärtig treiben vor allem die grossen Kernenergieländer China, Indien und Russland die Weiterentwicklung der Reaktortechnik voran. Neben den fortgeschrittenen Reaktorsystemen der dritten Generation und den innovativen Technologien der vierten Generation stehen zunehmend auch die klei-

nen, modularen Reaktoren (Small Modular Reactors, SMRs) im Fokus der Entwickler in Argentinien, China, Grossbritannien und in den USA. So hat beispielsweise der amerikanische Kongress im Mai 2018 die von der Regierung für die Reaktorentwicklung für das Fiskaljahr 2019 eingeplanten Mittel auf über USD 300 Mio. verdoppelt.

Breite Anerkennung der Kernenergie als Zukunftstechnologie

Ende November 2018 hat die Europäische Kommission ihre Strategie für eine klimaneutrale europäische Wirtschaft bis 2050 veröffentlicht⁷. Im Gegensatz zur Schweiz will die EU-Kommission nicht auf die Kernenergie verzichten. Zusammen mit den erneuerbaren Energien werde die Kernenergie «das Rückgrat einer CO₂-freien europäischen Stromversorgung» bilden.

Mit der ausdrücklichen Einbindung der Kernenergie als Instrument der Klimapolitik bestätigt die EU Länder wie Finnland, Grossbritannien, China, Kanada oder die USA, in denen der Beitrag der dortigen Kernkraftwerke zu einer sauberen, klimaschonenden Stromversorgung unbestritten ist. Sie folgt damit dem *Intergovernmental Panel on Climate Change* (IPCC) der Uno wie auch einer 2018 erneut aktualisierten Studie des *Massachusetts Institute of Technology* (MIT) zur Rolle der Kernenergie bei der Dekarbonisierung der globalen Energieversorgung⁸.

Im Dezember 2018 schliesslich hat der US-Kongress mit überwältigender Mehrheit den *Nuclear Energy Innovation and Modernization Act* verabschiedet, mit dem das Bewilligungsverfahren für Reaktorsysteme effizienter und vor allem kostensparender werden soll. Damit soll ein weiteres Hindernis bei der Weiterentwicklung der kommerziell genutzten Kernenergie beseitigt werden.

Kurz danach haben die Republikaner und die Demokraten einen gemeinsamen Gesetzesentwurf eingebracht, den *Nuclear Energy Leadership Act* zur staatlichen Förderung der Weiterentwicklung der Kernenergie. Hintergrund des Wunsches nach einer neuen Führungsrolle ist nicht nur der Umstand, dass

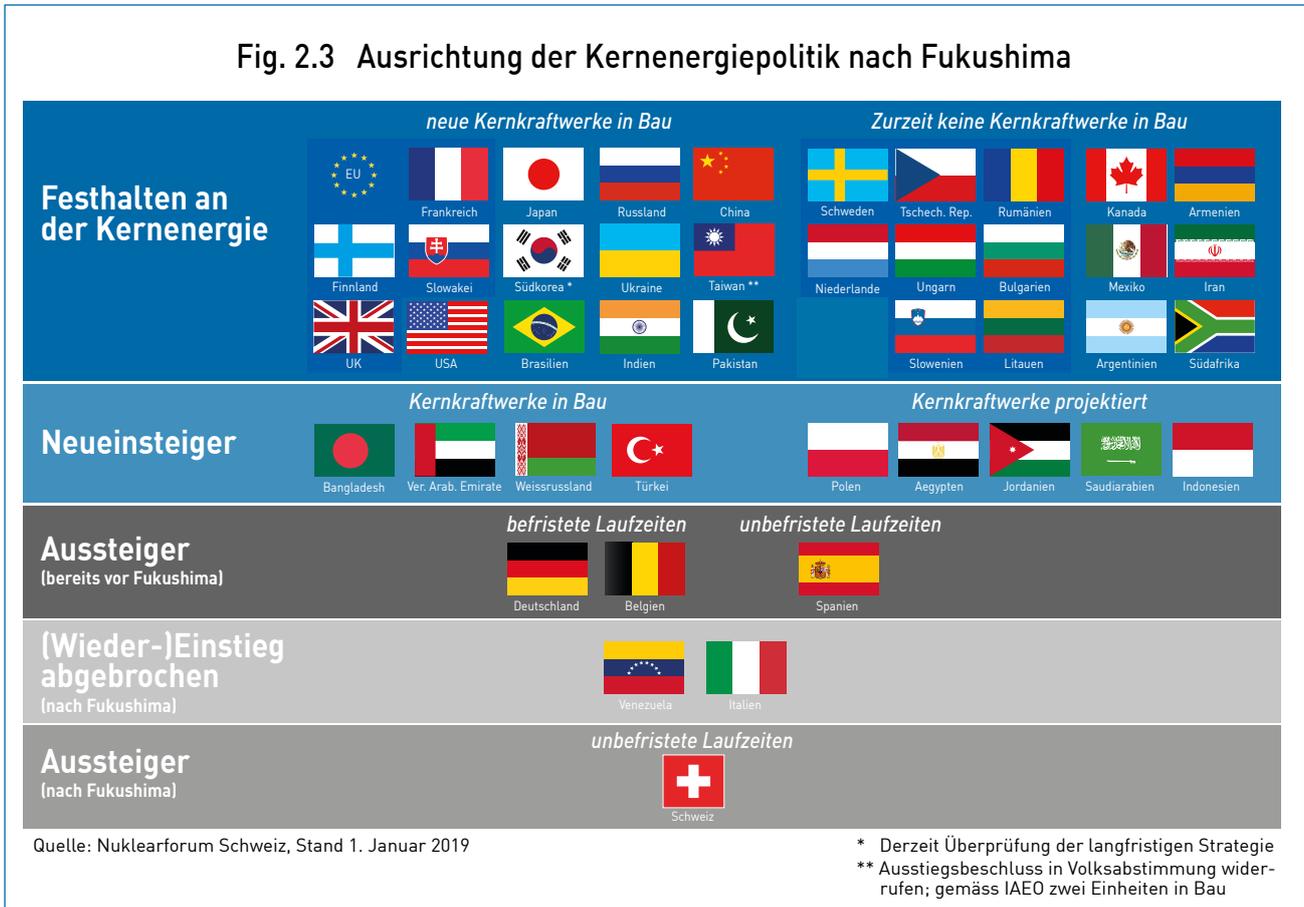
⁶ GIF-Mitglieder sind, neben der Schweiz und Euratom: Argentinien, Australien, Brasilien, China, Frankreich, Grossbritannien, Japan, Kanada, Russland, Südkorea, Südafrika und die USA.

⁷ European Commission: A Clean Planet for all – A European strategic long-term vision for a prosperous, modern, competitive and climate neutral economy. Released 28 November 2018.

⁸ Massachusetts Institute of Technology: The Future of Nuclear Energy in a Carbon-Constrained World – An Inter-disciplinary MIT Study. Released 3 September 2018.

⁹ International Energy Agency (IEA): Nuclear Power in a Clean Energy System. Released 28 May 2019.

Fig. 2.3 Ausrichtung der Kernenergiepolitik nach Fukushima



derzeit Russland und China mit ihrer staatlich unterstützten Nukleartechnik in die energiehungrigen Schwellenländer drängen, sondern auch die lukrativen Aussichten in einem weltweiten Multi-Milliarden-Dollar-Markt, der sich im Rahmen der globalen Klimapolitik zusätzlich entwickeln dürfte.

So hat Ende Mai 2019 die internationale Energie-Agentur IEA in einem Bericht⁹ klar festgehalten, dass ohne Kernenergie die globale Energiewende und das Erreichen der Klimaziele erheblich schwieriger und teurer wird. Ohne weitere Laufzeitverlängerungen bei den bestehenden Kernkraftwerken und Neubauten dürften die weltweiten CO₂-Emissionen zusätzlich um rund vier Milliarden Tonnen jährlich ansteigen.

Anders als in der Schweiz hat der Unfall in Fukushima in den meisten Kernenergieländern keine grundsätzliche Änderung der Kernenergiepolitik ausgelöst. Weltweit wird die Kernenergie derzeit intensiv weiterentwickelt.

Die Schweiz droht wegen des faktischen Technologieverbots den Anschluss zu verlieren.

Teil A

3. Angebot in Lehre und Forschung im ETH-Bereich (Kernspaltung)

Die Institutionen des ETH-Bereichs¹⁰ sind die wichtigsten Träger der nuklearen Lehre und Forschung in der Schweiz.

3.1 Lehre

Im Frühjahr 2006 wurde im Rahmen der Einführung der zweistufigen Bachelor-/Master-Studiengänge eine Professur für Kernenergiesysteme geschaffen. Der Lehrstuhl, der bis anhin grösstenteils von der Industrie getragen worden ist, soll ab 2021 neu zur Hälfte vom ETH-Bereich finanziert werden, ein Viertel trägt swissnuclear und ein Viertel das Bundesamt für Energie. Der 2012 neu besetzte Lehrstuhl für Reaktorphysik und Systemverhalten an der ETH Lausanne wird gänzlich durch den Bund finanziert. Pläne, an der ETH Lausanne eine neue Professur für Nukleare Materialien zu schaffen, konnten nicht verwirklicht werden.

Studiengang «Master of Science in Nuclear Engineering»

Seit dem Wintersemester 2008/2009 wird der Studiengang «Master of Science in Nuclear Engineering» angeboten und im Verbund von ETH Zürich und EPF Lausanne durchgeführt¹¹. Der Master wird von den beiden Hochschulen gemeinsam vergeben. Der Studiengang ist hauptsächlich auf Reaktorphysik, Kernkraftwerkstechnologie, nukleare Materialien und die Sicherheit von Kernreaktoren ausgerichtet, wobei die Studierenden aufgefordert werden, auch angrenzende Fachrichtungen wie erneuerbare Energien, Radiomedizin oder Strahlenschutz zu belegen.

Im Herbst 2010 wurde der Studiengang von drei auf vier Semester erweitert, wodurch er kompatibel mit den Anforderungen ist, die das *European Nuclear Education Network* (ENEN) an die Ausbildung von Nuklear-

ingenieuren stellt. Wie alle Masterprogramme wird auch der nukleare Studiengang auf Englisch durchgeführt. Ein Fach zum Rückbau von Kernkraftwerken wurde 2016 ins Programm aufgenommen.

Bisher haben sich pro Jahrgang bis zu 15 Studierende angemeldet. Der Studiengang beginnend im Herbst 2018 wird jedoch von nur sieben Erstsemestrigen besucht. Insgesamt haben bis zum Stichtag 1. November 2018 insgesamt 102 Studierende das Programm abgeschlossen. Darunter sind 19 Frauen. Weitere 17 Studierende, davon vier Frauen, waren zu diesem Zeitpunkt im ersten und dritten Semester des Programms eingeschrieben, beziehungsweise arbeiteten an ihrem Masterprojekt.

Die Herkunft der Studierenden ist unterschiedlich. Etwa 30% haben einen Bachelor an einer Schweizer Hochschule erworben. Relativ stark vertreten sind weiterhin China, Frankreich, Griechenland, Grossbritannien, Italien, Südkorea und die USA. Vereinzelt kamen Absolventen aus Ägypten, Deutschland, Indien, Kanada, Libanon, Litauen, Polen, Russland, Singapur, Spanien, der Tschechischen Republik, der Ukraine und Ungarn.

Von den bisherigen Absolventen sind nach dem Erwerb des Masters mehr als die Hälfte in der Schweiz geblieben (einschliesslich jener Absolventen, die ein Doktorat am PSI anschlossen) und auch schon von den Kernkraftwerksbetreibern und weiteren Organisationen der Branche angestellt worden.

Studierende aus anderen Studienrichtungen können ebenfalls vom Lehrangebot im Masterkurs profitieren – ein Angebot, das rege genutzt wird. In der Regel übersteigt die Anzahl dieser Seiteneinsteiger die Anzahl der im Studiengang Nuclear Engineering eingeschriebenen deutlich, oft um den Faktor 2-3.

¹⁰ Der ETH-Bereich umfasst die beiden Eidgenössischen Technischen Hochschulen ETH Zürich und EPF Lausanne, die vier Forschungsanstalten PSI, WSL, Empa und Eawag sowie unabhängige Beschwerdeorgane.

¹¹ <http://www.master-nuclear.ethz.ch/>



Fachwissen zu aktuellen Sachfragen: Weiterbildungskurs 2018 des Nuklearforums Schweiz.

Bild: Dominic Brügger

Auch unter ihnen finden einige Absolventen Anstellungen in den Schweizer Kernkraftwerken oder in den anderen im Nuklearbereich tätigen Institutionen.

Am Masterprogramm hängt ein starkes Doktoratsprogramm: Im Herbst 2018 doktorierte am PSI 45 Nuklearingenieure. Teilweise sind es Absolventinnen und Absolventen des Masterprogramms, die ein Doktorat beginnen. Ihre Herkunft ist ähnlich wie bei den Masterstudierenden.

3.2 Ergänzende Kurse zum Angebot im ETH-Bereich

- Im Rahmen des PSI-Bildungszentrums bietet die Reaktorschule einen sechsmonatigen **Ergänzungskurs (Kompaktkurs)** für Ingenieure (ETH und FH) an, welche die Zulassung als Picketingenieur erwerben wollen (siehe Kap. 4.3). Zum Angebot der Reaktorschule gehören auch ein Kurs für Einsteiger mit abgeschlossener technischer Berufslehre (Dauer drei Jahre; Ausbildungsziel Zulassung als Reaktoroperateur) sowie ein 18-tägiger Einführungskurs in Kerntechnik für interessierte Personen aus dem kerntechnischen Umfeld.
- 2010 haben die Kernkraftwerksbetreiber und das PSI den **«Fortbildungskurs Kernenergie»** geschaffen. Der Kurs richtet sich an Fachleute in der Kernenergiebranche und Nachwuchskräfte mit Vorwissen. Der fünf Wochen dauernde Kurs wird bei Bedarf durchgeführt.
- Seit 1977 führt das Nuklearforum Schweiz **Vertiefungskurse** durch. Gegenstand dieser alle zwei Jahre durchgeführten zweitägigen Kurse sind Themen aus dem Betrieb und dem Umfeld der Kernkraftwerke. Alternierend zu den Vertiefungskursen organisiert das Nuklearforum seit Herbst 2018 alle zwei Jahre einen eintägigen **Weiterbildungskurs** zu aktuellen Sachfragen.
- 2010 hat die Schweizerische Gesellschaft der Kernfachleute (SGK) erstmals ein dreitägiges **Grundlagenseminar** durchgeführt, das wegen der grossen Nachfrage 2018 zum zehnten Mal durchgeführt worden ist. Das Seminar gibt einen allgemeinverständlichen Überblick über die Kernenergie und richtet sich an interessierte Personen, unabhängig von ihrer beruflichen Qualifikation. Die SGK führt zudem eintägige **themenspezifische Weiterbildungskurse** durch.

Beurteilung des Lehrangebots im ETH-Bereich aus Sicht des Masterstudiengangs

Die Einrichtung einer neuen Professur für Nuclear Engineering nach der Emeritierung von Prof. Prasser ist derzeit gesichert. Die Schulleitung hat die Stelle freigegeben und signalisiert damit klar, dass Forschung und Ausbildung in diesem Bereich auch in Zukunft zum Portfolio der ETH Zürich gehört.

Im ETH-Bereich ist derzeit ein Ausbildungsangebot etabliert, dessen Kapazität grundsätzlich ausreicht, um den Bedarf der Schweiz an Nuklearingenieuren zu decken. Die Absolventinnen und Absolventen des Masterkurses bestehen auf dem Schweizer Arbeitsmarkt erfolgreich im Wettbewerb mit den Bewerbern aus Deutschland.

Die im Masterstudiengang obligatorischen Praktika in der Industrie bewähren sich, wobei die Anforderungen an die Sprachkenntnisse je nach Arbeitgeber unterschiedlich sind. Oft ist das Industriepraktikum ein Sprungbrett für die späteren Absolventen. Auch wenn oft Personal mit sehr guten Deutschkenntnissen benötigt wird, zeigt die Erfahrung, dass sich Studierende, die Deutsch nicht als Muttersprache beherrschen, gut in Fachabteilungen der Kernkraftwerke einfügen und sich bei Bedarf die erforderlichen Deutschkenntnisse aneignen. Doktoranden werden vom PSI und den beiden ETH bei der Finanzierung von Deutschkursen unterstützt.

Der Rückgang an Absolventen im Masterkurs hängt möglicherweise mit den politischen Entscheidungen zur Kernenergie in letzter Zeit zusammen. Vorgesehen ist eine verstärkte Werbung in Deutschland, wobei auch hier zu erwarten ist, dass der Zufluss mit der Zeit versiegen wird.

Um die Qualität der kerntechnischen Lehre trotz Ausstiegsbeschluss zu gewährleisten und um langfristig den Kompetenzerhalt zu sichern, ist **mindestens der Erhalt des heutigen Lehrangebots nötig. Dies erfordert auch weiterhin ein kontinuierliches Engagement der Öffentlichen Hand** (wie es derzeit mit der Mittelzusicherung des Bundesamts für Energie für die neue Professur an der ETH Zürich geschieht).

Beurteilung des Lehrangebots im ETH-Bereich aus Sicht der Branche

Eine breit abgestützte Professur an den beiden ETH und der damit verbundene Masterstudiengang ist für die Branche ein wichtiges Element für die Sicherstellung des Nachwuchses. Das Rekrutieren von Praktikanten und Nuklearingenieuren mit Masterabschluss ist etabliert, auch wenn die meist ausländischen Studenten die deutsche Sprache nicht vollumfänglich beherrschen. Das lässt sich oft *on-the-job* nachholen.

Dementsprechend muss das heutige Lehrangebot aufrechterhalten werden.

Darüber hinaus haben die Fortsetzung der Professur und das klare Bekenntnis für den Verbleib der kerntechnischen Lehre und Forschung an den beiden ETH eine wichtige Signalwirkung.

Ein erheblicher Teil des Personals in den Kernkraftwerken benötigt allerdings keine nuklearspezifische Grundausbildung. Es werden Ingenieure und Fachkräfte der verschiedensten Fachrichtungen eingesetzt.

3.3 Forschung

Der weitaus grösste Teil der Schweizer Forschung im Bereich der Kernspaltung wird am PSI durchgeführt. Der Forschungsbereich «Nukleare Energie und Sicherheit» (*Nuclear Energy and Safety*, NES) des PSI ist eng mit den beiden ETH verbunden und umfasst derzeit rund 210 Personen, einschliesslich der Doktoranden und der Post-Docs (ohne Scientific Computing).

Neben fünf klar nuklear ausgerichteten Laboratorien¹² hat der Bereich zwei weitere Labors mit insgesamt 55 Mitarbeitern, die bereichsübergreifend tätig sind. Es handelt sich einerseits um das Labor für Energiesystemanalysen, das gemeinsam mit dem PSI-Forschungsbereich für Energie und Umwelt betrieben wird, sowie um das Labor für Wissenschaftliche Computersimulationen, das gleichzeitig dem PSI-Bereich Forschung mit Neutronen und Myonen angehört.

45% des Personals werden vom Bund bezahlt. Die übrigen werden projektbezogen über Drittmittel finanziert, die bisher zum grössten Teil aus der Nuklearindustrie, vom Ensi und der Nagra stammen. Darüber hinaus stammt die Finanzierung aus Euratom- und OECD-Projekten sowie aus Akquisitionen auf dem Markt. Einige Mittel, vorrangig zur Finanzierung von Doktoraten, kommen vom Schweizerischen Nationalfonds (SNF).

Forschungsschwerpunkte

Die zentralen kerntechnischen Forschungsthemen des NES sind:

- **Sicherheitsforschung:** Dienstleistungen für das Ensi sowie – mit Unterstützung der Betreiber – Forschungsprojekte für den sicheren und wirtschaftlichen Betrieb der heutigen Kernkraftwerke. Im Vordergrund stehen Sicherheitsanalysen sowie Untersuchungen zum Brennstoff- und Werkstoffverhalten. Derzeit vergibt das Ensi rund 75% seiner Forschungsaufträge ans PSI.
- **Entsorgung:** Forschung zugunsten der Langzeitlagerung und Tiefenlagerung der radioaktiven Abfälle und ausgedienten Brennelementen. Im Zentrum stehen geochemische Untersuchungen, Rückhalt- bzw. Transportprozesse von Radionukliden sowie Sicherheitsanalysen.
- **Materialforschung:** In diesen Bereich fallen die umfangreichen Arbeiten des PSI zur Nachbestrahlungsanalyse von Nuklearbrennstoffen aus den Schweizer Kernkraftwerken, die Untersuchung von Hüllrohrmaterialien hinsichtlich Oxidation und Hydrierung, Alterungsmechanismen und Integritätsbewertungen von Komponenten der druckführenden Umschliessung sowie zu fortgeschrittenen und innovativen Brennstofftypen (z.B. ATFs, *Accident Tolerant Fuels*).
- **Technology Monitoring:** Am 13. April 2005 hat der Bundesrat das Abkommen für den Beitritt der Schweiz zum *Generation IV International Forum* (GIF, siehe Kap. 2) im Rahmen eines Staatsvertrags unterzeichnet. Dies ermöglicht dem PSI, aktiv an der internationalen Entwicklung von innovativen Reaktorsystemen und Kernbrennstoffkreisläufen der vierten Generation teilzunehmen. Gleichzeitig überlässt der Bund die Finanzierung entsprechender Forschungsarbeiten allein dem PSI.

Der NES als international wissenschaftlich anerkannte und mehrheitlich von der Öffentlichen Hand finanzierte Institution spielt politisch eine wichtige Rolle als «Honest Broker».

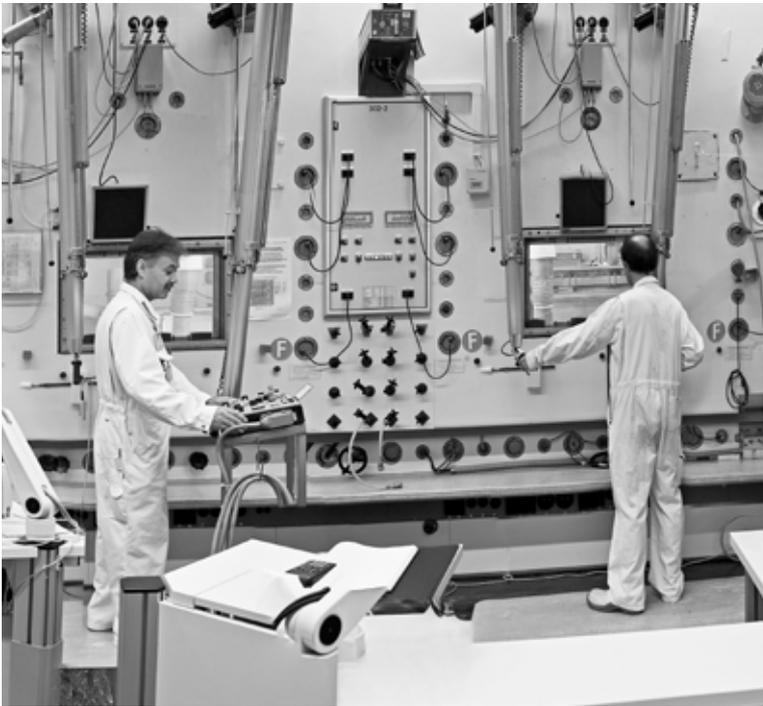
Laboratory of Energy Systems Analysis

Gemeinsam mit dem PSI-Forschungsbereich «Energie und Umwelt» (*Energy and Environment*, ENE) führt der NES im «Labor für Energiesystemanalysen» seit vielen Jahren international stark beachtete Studien zur gesamtheitlichen Betrachtung von Energiesystemen durch, die auf wirtschaftlichen, sozialen und Umweltindikatoren basieren.

Diese Lebenszyklus-Analysen erfassen die gesamte Wertschöpfungskette von Energiesystemen, vom Abbau der Rohstoffe über den Bau und Betrieb von Energieanlagen bis zur Entsorgung. Das PSI verfügt heute über die weltweit wohl umfangreichste Datensammlung zur Gesamtbewertung von Energiesystemen. Ziel dieser Forschungsarbeiten ist es, der Wissenschaft und der Öffentlichkeit fundierte Grundlagen für die nachhaltige Entwicklung der Energieversorgung zur Verfügung zu stellen.

¹² Es sind dies:

- das Labor für Reaktorphysik und Thermohydraulik (Laboratory for Reactor Physics and Thermal-Hydraulics)
- das Labor für Entsorgungsmanagement (Laboratory for Waste Management)
- das Labor für Nukleare Materialien (Laboratory for Nuclear Materials)
- das Labor für Radiochemie (Laboratory for Radiochemistry)
- das Hotlabor (Hot Laboratory)



Das Hotlabor am PSI ist die einzige Anlage der Schweiz für wissenschaftliche Untersuchungen an allen Arten von radioaktiven Materialien, einschliesslich hochradioaktiver Proben.

Bild: PSI

Laboratory of Radiochemistry

Das dem NES angegliederte Labor für Radiochemie forscht auf einem breiten Themenfeld: die Untersuchung der Chemie schwerer Elemente, das Gewinnen exotischer Radionuklide für die Grundlagenforschung aus bestrahlten Komponenten in Beschleunigern, innovative Entwicklungen im Bereich der Radiopharmazie wie auch die Untersuchung des chemischen Verhaltens von Radioisotopen in flüssigen Metallen, wie sie als Target oder Kühlmittel in künftigen Nuklearsystemen ins Auge gefasst werden.

Laboratory for Scientific Computing and Modelling

Dem NES angegliedert ist das Anfang 2018 eröffnete Labor für computerbasiertes Rechnen und Modellieren des PSI. Das NES nutzt dieses Labor derzeit zur Hälfte seiner Kapazität für Simulationen im kerntechnischen Bereich. Dieses Labor wird gemeinsam mit dem PSI-Bereich Forschung mit Neutronen und Myonen (*Neutrons and Muons*, NUM) betrieben.

Infrastruktur

- 2011 beschloss das PSI, den 1968 errichteten Forschungsreaktor «Proteus» stillzulegen. Damit verlor die Schweiz eine wichtige, flexibel einsetzbare Forschungseinrichtung. Da 2013 auch der Schulungsreaktor an der Universität Basel (siehe Kap. 4.1) stillgelegt wurde, verbleibt in der Schweiz einzig der 1983 in Betrieb genommene **Forschungs- und Schulungsreaktor «Crocus»** an der ETH Lausanne. Dieser wird vorwiegend für die Forschung und Lehre im Hochschulumfeld eingesetzt und deckt den gegenwärtigen Bedarf ab. Sollte in Zukunft das Potenzial von «Crocus» vermehrt für Forschung und Ausbildung genutzt werden, stellt sich die Frage nach zusätzlichen personellen Ressourcen.
- Das **Hotlabor** am PSI ist die einzige Anlage in der Schweiz für Untersuchungen an hochradioaktiven Proben. Es ist in der Lage, bestrahlte Brennstäbe aus den Schweizer Leistungsreaktoren in voller Länge anzunehmen und zu untersuchen. Es zeichnet sich durch eine fortgeschrittene, in weiten Teilen weltweit führende Ausstattung mit modernster Messtechnik aus. In Synergie mit dem Labor für Nukleare Materialien spielt es eine zentrale Rolle für Untersuchungen an radioaktiven Materialien unterschiedlicher Art aus den Kernkraftwerken. Die Kraftwerksbetreiber haben grundsätzlich eine Unterstützung für den Weiterbetrieb der Anlage für den Zeitraum ab 2020 zugesichert. Finanziert wird das Hotlabor derzeit vom PSI (50%), den Erträgen aus Dienstleistungen im direkten Auftrag der Kraftwerke und Brennstofflieferanten (25%), sowie dem sogenannten «Sockelbeitrag» von swissnuclear (25%).
- Mit der **Grossanlage SINQ** am PSI steht der Schweizer Nuklearforschung eine leistungsstarke Neutronenquelle zur Verfügung. Auch die **Swiss Light Source (SLS)** kann für nukleartechnische Untersuchungen genutzt werden. Das NES verfügt hier über eine eigene Strahllinie, an der Untersuchungen an radioaktiven Proben – selbst an Brennstoffproben – durchgeführt werden können, die zuvor im Hotlabor vorbereitet worden sind.

Beurteilung der Forschungsausstattung im ETH-Bereich aus Sicht des NES

Mit der heutigen Ausstattung ist das NES handlungsfähig. ***Es ist grundsätzlich in der Lage, die von der Industrie zu erwartenden Aufträge auszuführen.*** Die praxisorientierte Nachfrage der Industrie trug bisher dazu bei, die zentralen Kompetenzen zu erhalten.

Das in absehbarer Zeit weiter rückläufige Auftragsvolumen seitens der KKW-Betreiber erfordert Anpassungen der Ausrichtung des NES. Denkbar ist, dass die Lehre breiter aufgestellt wird, insbesondere durch Verstärkung des «Radiation Engineering», der nukleartechnischen Forschung und Entwicklung in anderen Industriezweigen und in der (Radio-)Medizin. Ein denkbare Szenario sähe etwa den folgenden Mitteleinsatz:

- 50% Sicherheitsforschung
- 20% Forschung im Bereich Entsorgung
- 10% Technology Monitoring
- 20% Diversifizierung in teils neue Bereiche wie Scientific Computing, Energiesystemanalysen oder Radiomedizin

Das Technology Monitoring – das aktive Mitarbeiten an der weltweiten technischen Entwicklung der Kerntechnik – ist von besonderer Bedeutung, da innovative Reaktorsysteme für junge Leute attraktiv sind. In diesem Bereich sollen folgende Forschungsschwerpunkte gebildet bzw. fortgeführt werden:

- Generation IV / Salzschnmelze-Reaktoren
- Forschung zur «Superbarriere» Siliziumcarbid / Kugelhaufenreaktoren, *Accident Tolerant Fuels* (ATFs)
- Thorium als Kernbrennstoff in Leichtwasserreaktoren bzw. adäquate Anpassungen der Regulierung
- neue Materialien

Im Unterschied zur Kernfusion stellt der Bund für die Forschung an den zukünftigen Kernenergiesystemen der Generation IV keine zusätzlichen Mittel zur Verfügung. Da diese Projekte in die ferne Zukunft weisen, engagieren sich auch die Schweizer Kernkraftwerksbetreiber nicht, sodass diese Forschungsrichtung auf die aus politischen Gründen unsicheren Beiträge der EU angewiesen ist. Sollte diese Praxis beibehalten werden, wird die Schweiz ihre Beteiligung am GIF künftig kaum mehr absichern können.

Aus der Sicht des NES ist es wichtig, dass die enge Verbindung zum Labor für Energiesystemanalyse erhalten bleibt.

Zwar gibt es derzeit beim Bund Bemühungen zur Aufwertung des Nuklearbereichs. Dennoch ist beim NES in den kommenden Jahren ein Personalabbau im Umfang von 20-25 Stellen (von rund 200) in Aussicht, wodurch mittelfristig einige Forschungsgebiete gefährdet sein werden. Schwer kalkulierbar ist dabei die mittelfristige Beteiligung der Schweiz an den EU-Forschungsprogrammen. Derzeit sind zehn Doktoranden aus EU-Mitteln finanziert.

Um international ernst genommen zu werden und die Wettbewerbsfähigkeit der Schweizer Kernenergieforschung zu erhalten, muss der NES über stabile Ressourcen in der heutigen Grössenordnung verfügen.

Nötig ist eine Forschungsstrategie des Bundes, welche die Gesamtinteressen des Landes im Auge behält und finanziell Farbe bekennt.

Beurteilung der Forschungsausstattung im ETH-Bereich aus Sicht des NES (Forts.)

Dies gilt umso mehr, da Bundesrat und Parlament anlässlich der Beratung der «Energiesstrategie 2050» deutlich gemacht haben, dass das Neubauverbot für KKW kein Technologieverbot bedeutet. Andernfalls droht bei den Nuklearsystemen der dritten und vierten Generation in der Schweiz ein finanziell erzwungenes *de facto* Technologieverbot, das Bundesrat und Parlament ausdrücklich vermeiden wollten.

Vor diesem Hintergrund stellt sich die Frage, welches Know-how und welche Infrastruktur im Fall eines verlängerten Langzeitbetriebs der heutigen Schweizer Kernkraftwerke sichergestellt sein müssten. Die Kernkraftwerke sind bis auf Weiteres eine unverzichtbare Stütze der «Energiesstrategie 2050». Zudem ist unbestritten, dass das Programm zur Entsorgung der radioaktiven Abfälle im Inland auch künftig Zugang zu Experten braucht. Nötig ist eine verstärkte Kommunikation dieser Sachverhalte.

Ohne verlässliche politische Signale ist ein verlängerter Langzeitbetrieb der heutigen Anlagen nur schwer denkbar. Die dafür nötige Fachkompetenz kann schnell verloren gehen, und sie lässt sich nicht über Nacht wiederaufbauen. Eine politisch motivierte staatliche Stop-and-go-Förderpolitik hätte für die Forschung gravierende Folgen.

Damit die Kernenergie weiterhin ihren Beitrag zur Umsetzung der «Energiesstrategie 2050» leisten kann, sind die politischen Rahmenbedingungen so zu gestalten, dass die Kernenergieforschung langfristig gesichert ist.

Beurteilung der Forschung im ETH-Bereich aus Sicht der KKW-Betreiber

Der NES als international wissenschaftlich anerkannte und mehrheitlich von der Öffentlichen Hand finanzierte Institution spielt nach wie vor eine wichtige Rolle als «Honest Broker».

Die Finanzierung der Forschung seitens der Kernkraftwerke wird im Zuge des schrittweisen Ausstiegs aus der Kernenergie weiter zurückgehen. An Projekten zur Generation IV, die weit in die Zukunft weisen, haben die Betreiber kein primäres Interesse.

Auf absehbare Zeit sind folgende Dienstleistungen seitens des NES nachgefragt:

- Brennstoffforschungsprogramme und -entwicklung
- Fragestellungen zum Langzeitbetrieb (Materialverhalten, Alterung...)
- Modellentwicklung, Qualitätssicherung (PSA, Melcor, Severe Accidents...)
- Sicherheitsrelevante Forschung zuhanden des Ensi
- Forschungsgrundlagen für das Rahmenbewilligungsgesuch geologische Tiefenlager

***Der NES muss neue Finanzierungsquellen erschliessen,
wenn in der Schweiz langfristig die Kompetenzen in der Kerntechnik
erhalten werden sollen.***

4. Weitere Angebote in Lehre und Forschung

4.1 Kantonale Universitäten

Universität Basel

Am Institut für Physik ist von 1959 bis 2013 ein kleiner Forschungs- und Schulungsreaktor betrieben worden. Der Basler Reaktor zeichnete sich dadurch aus, dass er während des Betriebs gut zugänglich war. Der Reaktor wurde deswegen u.a. zur Ergänzung der Ausbildung der Reaktoroperateure der Schweizer Kernkraftwerke eingesetzt. Zudem erlaubte er bestimmte Experimente, die mit den Reaktoren von PSI und ETH Lausanne nicht möglich waren.

So war die Universität Basel die einzige Institution der Schweiz, die über die Infrastruktur zur Anwendung der sogenannten Neutronenaktivierungsanalyse verfügte. Dabei handelt es sich um eine Methode zum Nachweis von Substanzen in sehr geringen Konzentrationen. Einsatzgebiete sind die Natur- und Umweltwissenschaften, die Archäologie, die Qualitätskontrollen von Lebensmitteln und Werkstoffen sowie die Epidemiologie und die Forensik.

Der Betrieb dieses Schulungsreaktors wurde 2013 eingestellt, da das Departement Physik plant, in ein neues Gebäude umzuziehen und das Verlegen des Reaktors ausgeschlossen ist. Erhalten bleibt jedoch die Infrastruktur zur Strahlungsmessung, sodass Strahlenschutzschulen bis auf Weiteres dort tätig sein können.

Universität Bern – Lehre

Das 1993 an der Universität Bern geschaffene Radiochemiezentrum stellt ein gesamtschweizerisches Lehrangebot in Radiochemie sicher. Getragen wird es vom Bund (via PSI, Kap. 3.3) und vom Kanton Bern. Radiochemische Forschung umfasst die chemische Untersuchung seltener radioaktiver Elemente und die Anwendung radioaktiver Stoffe zur Nachverfolgung von chemischen Reaktionsabläufen in der Umwelt. Die Radiochemie hilft auch mit bei der Entwicklung neuer Diagnostik-

und Therapieformen in der Nuklearmedizin. Derzeit laufen zukunftsweisende Projekte zum Einsatz weiterer Radioisotope in der Krebstherapie.

Universität Bern – Forschung

Anfang 2012 ist auf dem Campus des Berner Inselspitals (Universitätsspital) das neue Isotopen-Haus der Inselspital-Tochter SWAN Isotopen AG eröffnet worden. Die Anlagen umfassen ein Zyklotron (Teilchenbeschleuniger), radiopharmazeutische Labors und eine moderne nuklearmedizinische Bettenstation. Nachts werden im Zyklotron auf kommerzieller Basis Radioisotope zur Erkennung von Tumorgewebe hergestellt und anschliessend Patienten behandelt. Tagsüber steht die Anlage der Forschung zur Verfügung.

Die Universität Bern ist im Isotopenhaus eingemietet und betreibt dort ein Labor zur Herstellung neuartiger Radiopharmaka für klinische Studien. Grundsätzlich können



Gesamtschweizerisches Lehrangebot: Radiochemisches Labor am Berner Inselspital.

Bild: Nuklearforum Schweiz

Radioisotope für den Einsatz in Industrie und Medizin auch in kommerziellen Kernkraftwerken produziert werden. So wird in den Schwerwasser-Reaktoren des kanadischen Kernkraftwerks Bruce seit den 1980er-Jahren Kobalt-60 hergestellt, das u.a. zur Sterilisation medizinischer Instrumente dient. Vorgeesehen ist die Ausweitung der Produktion mit kurzlebigen Isotopen wie Molybdän-99, Lutetium-177 oder Iridium-192. Dies ist ebenfalls im kanadischen Kernkraftwerk Darlington vorgesehen.

Universität Lausanne

Das *Institut universitaire de radiophysique* (IRA) ist dem Waadtländer Universitätsspital CHUV angegliedert. Schwerpunkt der Lehre ist die Strahlenschutzausbildung für die gesamte Romandie. Eingebunden sind weitere Arbeitsgebiete wie die Basismessung von Radioaktivität (Dosimetrie) im Auftrag des Bundesamts für Metrologie und die Überwachung der Umweltradioaktivität und der Personendosen im Auftrag des Bundesamts für Gesundheit.

Beurteilung des Angebots an den kantonalen Universitäten aus Sicht des Nuklearforums

Eine Lücke im universitären Angebot ist die Strahlenbiologie (Auswirkungen der Strahlung radioaktiver Substanzen auf Menschen, Tiere und Pflanzen). Auf diesem Gebiet gibt es in der Schweiz gegenwärtig keinen Lehrstuhl.

Beurteilung des Angebots an den kantonalen Universitäten aus Sicht der KKW-Betreiber

Die kantonalen Universitäten könnten künftig eine grössere Rolle für die Branche spielen, die über die bisherigen Gebiete der Radiochemie und Dienstleistungen des IRA hinausgeht. Dies erfordert gegenseitige Abklärungen unter Vorbehalt der begrenzten Finanzierungsmöglichkeiten.

Die Schaffung eines Lehrstuhls für Strahlenbiologie ist aus heutiger Sicht gegenüber den beiden Lehrstühlen an den beiden ETH nicht prioritär.

4.2 Fachhochschulen

Hochschule für Technik der FH Nordwestschweiz

Im Fachhochschulbereich befassen sich mehrere Ingenieurschulen mit Themen, die für den Schweizer Kernenergiesektor von Bedeutung sind, auch wenn sie nicht ausdrücklich nuklear ausgerichtet sind. Das einzige spezifische Angebot in der Schweiz im Bereich der Kerntechnik bietet die Hochschule für Technik der Fachhochschule Nordwestschweiz in Brugg-Windisch an.

Im Rahmen des Bachelor-Studiengangs Maschinenbau wird in der Vertiefungsrichtung Energietechnik ein Modul mit Aspekten der Kerntechnik angeboten. Die Vertiefungs-

richtung vermittelt die Grundlagen für Ingenieure, die in der Energietechnik tätig sein wollen und ist nicht spezifisch auf Berufe in Kernkraftwerken ausgerichtet. FH-Ingenieure in Kernkraftwerken absolvieren eine nukleartechnische Zusatzausbildung im Rahmen der Reaktorschule des PSI.

Das Modul «Energie- und Kerntechnik» (eine Wochenstunde während eines Semesters mit Exkursion ins Kernkraftwerk Gösgen) wurde im Herbstsemester 2018/19 von 37 Studierenden des Maschinenbaus besucht.

Beurteilung des Lehrangebots an der FHNW durch den Anbieter

Im Hinblick auf den künftigen Bedarf an FH-Ingenieuren ist zu empfehlen, das Interesse an der Kerntechnik über ein attraktives Studienprogramm zu fördern und allenfalls die Lektionenzahl in Brugg-Windisch auszubauen. Umgekehrt stehen die Kernkraftwerke in der Verantwortung, FH-Studierenden eine ausreichende Anzahl an Praktikumsplätzen und Masterprojekten zu offerieren, um den Stärken der Fachhochschulen – die praxisnahe Ausbildung – entgegenzukommen.

Beurteilung des Lehrangebots an den Fachhochschulen aus Sicht der KKW-Betreiber

FH-Ingenieure sind der Hauptfeiler unter den Mitarbeitern mit einer höheren Ausbildung in den Werken. Das belegt u.a. die nukleartechnische Zusatzausbildung im Rahmen der durch die Betreiber finanzierten Reaktorschule am PSI.

4.3 Technikerschulen

Vorbereitungskurse am PSI

Der Verband der Schweizerischen Elektrizitätsunternehmen (VSE) organisiert und führt in Zusammenarbeit mit den Kernkraftwerken Vorbereitungskurse für die Berufsprüfung «Anlagenoperator mit eidgenössischem Fachausweis» durch. Der VSE als Trägerschaft und seine Prüfungskommission sind vom Bund beauftragt, die Berufsprüfung abzunehmen. Die mehrwöchige Ausbildung beinhaltet theoretische Fächer wie Kernphysik, Thermodynamik, Maschinentechnik und praktische Fächer wie Arbeits-, Brand- und Strahlenschutz.

Der Anlagenoperator unterstützt den sicheren Betrieb der Kraftwerksanlage. Er kontrolliert in regelmässigen Intervallen die technischen Komponenten, leistet Reparatur- und Wartungsarbeiten und rapportiert den Reaktoroperatoren im Kommandoraum. Die Ausbildung zum Anlagenoperator geht der Ausbildung zum Reaktoroperator (siehe nächster Abschnitt) voraus.

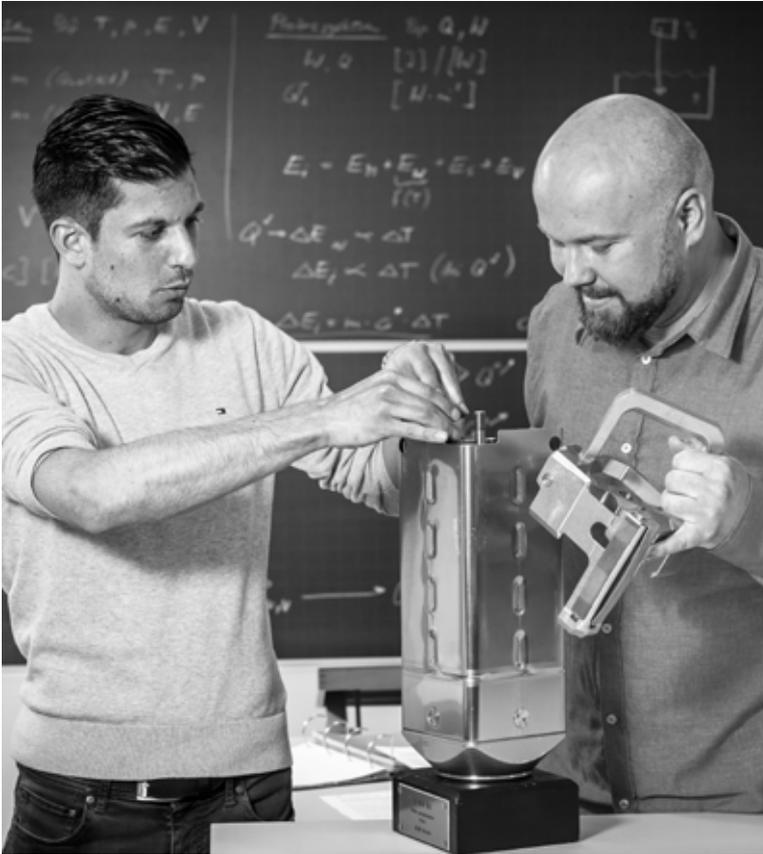
Reaktorschule am PSI

Das PSI bietet in der Reaktorschule gut eingeführte Ausbildungseinheiten an. Ihr hauptsächliches Tätigkeitsfeld ist die kerntechnische Grundausbildung von zulassungspflichtigem Betriebspersonal von Kernkraftwerken, insbesondere der Reaktoroperatore.

Zusammen mit der anlagenspezifischen Ausbildung in den Werken beinhaltet die dreijährige berufsbegleitende Ausbildung zum Reaktoroperator Stufe B heute auch den durch das Staatssekretariat für Bildung, Forschung und Innovation (SBFI) neurechtlich anerkannten **Lehrgang HF Technik, Fachrichtung Grossanlagenbetrieb**.

Neben der Grundausbildung muss das zulassungspflichtige Betriebspersonal periodisch **Wiederholungskurse** zu ausgewählten Themen besuchen (mehrere Tage pro Jahr). Diese finden in den Werken statt und sind auf die regulatorischen Anforderungen und die Bedürfnisse der Kernkraftwerke massgeschneidert.

Des Weiteren wird ein **sechsmonatiger Kompaktkurs für Ingenieure FH und ETH** durchgeführt, welche die Zulassung als Picketingenieur erwerben wollen. In diesen Lehrgängen wird das zusätzliche Wissen vermittelt, um Prüfungen im Rahmen der Zulassung abzulegen. Nach dem Wegfallen der praktischen Arbeiten am Schulungsreaktor der Universität Basel bleibt noch die Ausbildung am Forschungsreaktor der ETH Lausanne, am TRIGA-Reaktor in Mainz (einwöchiges Praktikum für die Reaktoroperatoren) und am schuleigenen Kompakt-simulator.



Die Reaktorschule am PSI stellt die Ausbildung von Kernkraftwerkspersonal gemäss den Schweizer Vorschriften sicher.

Bild: Aargauer Zeitung/Chris Iseli

Schliesslich wird an der Reaktorschule ein **Einführungskurs Kerntechnik** angeboten. Er richtet sich an nicht-zulassungspflichtiges Kernkraftwerkspersonal. Der Kurs ist offen für alle Interessenten. Voraussetzung ist eine Ausbildung im technischen Bereich.

Die Reaktorschule stellt die Ausbildung gemäss den Schweizer Vorschriften sicher und wird ausschliesslich von den Kernkraftwerksbetreibern genutzt und finanziert.

Strahlenschutzschulen

Die Schule für Strahlenschutz des PSI richtet sich an alle Berufsgruppen und Personen, die ionisierende Strahlen oder radioaktive Quellen bei ihrer Arbeit einsetzen. Die Kurse sind von BAG und Ensi anerkannt. Vor dem Hintergrund der grossen Nachfrage wird derzeit der Ausbau des Angebots geprüft.

Neben dem PSI bieten die 2016 in Zürich gegründete private Firma Obrecht Strahlenschutz unter dem Namen «Radiosafe» wie auch die Suva Kurse an, die vom BAG anerkannt sind. Das *Institut universitaire de radiophysique appliquée* (IRA) am Universitätsspital Lausanne (CHUV) führt die Strahlenschutz Ausbildung für die Romandie durch. Zudem gibt es eine Reihe weiterer Angebote für den ärztlichen Bereich.

Beurteilung des Lehrangebots an den Technikerschulen aus Sicht der KKW-Betreiber

Für die Ausbildung der Reaktoroperateure und der Strahlenschutz-Fachkräfte ist in der Schweiz mit der Reaktorschule und der Strahlenschutzschule ein umfassendes Ausbildungsangebot vorhanden.

Das Rollenverständnis zwischen Nuklearindustrie und Behörden ist etabliert. Die Schulen bieten die für die Industrie notwendigen und gleichzeitig von den Behörden geforderten Unterrichtsinhalte an (Stichworte: Zulassung bzw. Anerkennung). Das Angebot der Schulen ist flexibel und richtet sich prinzipiell nach der Nachfrage.

Das Lehrangebot der Technikerschulen am PSI bleibt auch langfristig unverzichtbar, u.a. weil es auf dem Schweizer Regelwerk basiert. Zudem wird die heute noch bestehende Ausbildungsmöglichkeit in Essen mit dem Ausstieg Deutschlands aus der Kernenergienutzung wegfallen.

5. Finanzierung von Forschung und Ausbildung

Forschungsfinanzierung der Öffentlichen Hand

Die Entwicklung der öffentlichen Mittel der vergangenen Jahre zeigt Fig. 5.1. Seit 2011 stiegen die Forschungsausgaben der Öffentlichen Hand stark auf jährlich über CHF 400 Mio. an; die Mittel für die Kernenergie (Fission und Fusion) blieben dagegen mit rund 50 Mio. pro Jahr etwa konstant. 2017 stammten 18,9 Mio. Forschungsmittel von der EU; davon flossen 9,0 Mio. in den Bereich Kernenergie (Fusion und Fission).

Die Herkunft der öffentlichen Fördermittel für die Kernenergieforschung verteilen sich zum grössten Teil auf den ETH-Rat (69% der 2017 eingesetzten Mittel) und die EU-Forschungsprogramme (17%). Dazu kommen vergleichsweise geringe Beiträge des Schweizer Nationalfonds (SNF), des Bundesamts für Energie (BFE), des Ensi, des Staatssekretariats für Bildung, Forschung und Innovation (SBFI) sowie der Kantone. Die Summe der

Fördermittel aus diesen Quellen betrug im Jahr 2017 insgesamt CHF 51,4 Mio. (Fig. 5.2, S. 24), davon 24,9 Mio. explizit für die Kernspaltung und 25,7 Mio. explizit für die Kernfusion.

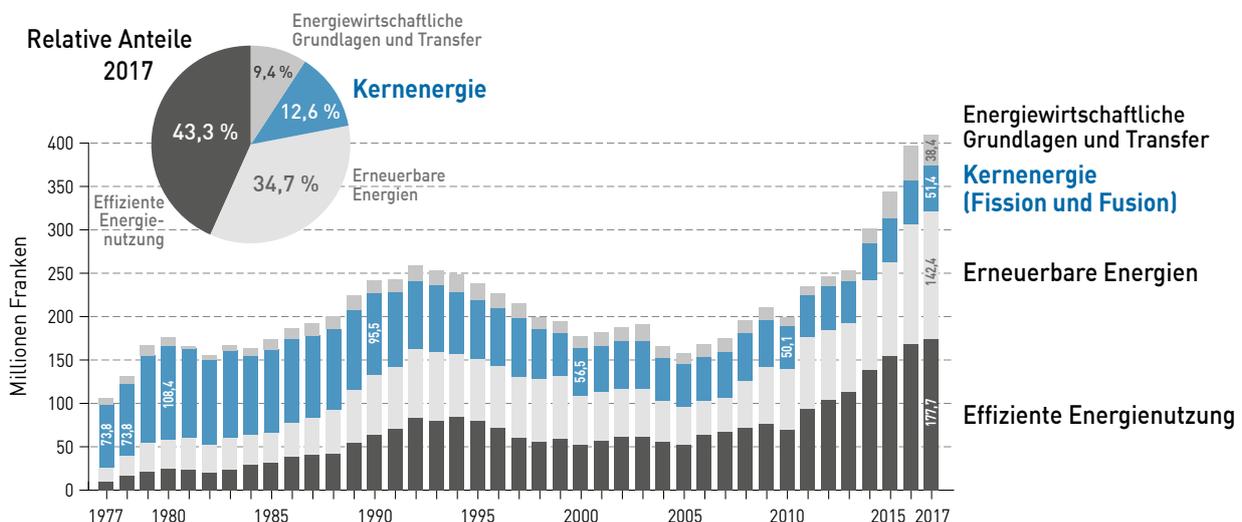
Bei der Fission gingen 20,0 Mio. (80%) der öffentlichen Mittel ans PSI, bei der Fusion flossen 24,4 Mio. (95%) an die EPFL. Diese beiden Institutionen sind mit grossem Abstand die bedeutendsten Zentren der Schweizer Kernenergieforschung. 2017 erhielt zudem die ETHZ 2,4 Mio. (9,6%) für die Fissionsforschung.

Euratom

Anfang 2014 startete «Horizon 2020 – das Rahmenprogramm der EU für Forschung und Innovation». Dieses Programm dauert bis 2020 und umfasst ein Gesamtbudget von rund EUR 80 Mrd. Das bisher parallel lau-

Fig. 5.1 Aufwendungen der öffentlichen Hand für die Energieforschung

inkl. Pilot- und Demonstrationsprojekte; Realwerte (teuerungskorrigiert)



Quelle: Bundesamt für Energie, Energieforschungsstatistik 2017, Stand 25.1.2019

Fig. 5.2
Öffentliche Mittel
für die Kernenergie-
forschung 2017
(in Schweizer Franken)

(in Schweizer Franken)

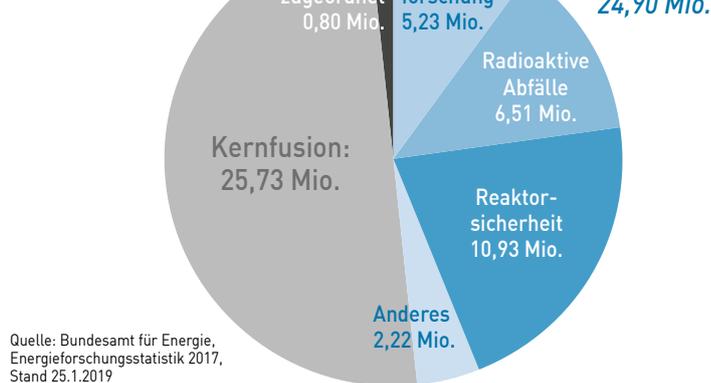
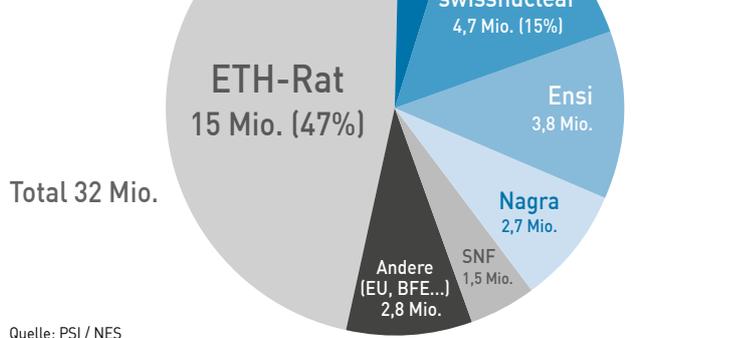


Fig. 5.3
Herkunft der Mittel
für die Kernenergie-
forschung am
NES 2018
(in Schweizer Franken)

(in Schweizer Franken)



fende «Euratom-Programm für Forschung und Ausbildung» ist neu integraler Bestandteil von «Horizon 2020».

Das 1958 in Kraft getretene Euratom-Programm umfasst sowohl Fission wie Fusion. Die Schweiz beteiligt sich seit 1979 an diesem Programm. Im Rahmen des Kernspaltungsprogramms erhielten in «Horizon 2020» im Zeitraum 2014–2017 bisher 28 Teilnehmer aus der Schweiz Fördermittel in der Höhe von CHF 9,2 Mio, davon CHF 4,9 Mio. direkt vom Bund im Rahmen der Schweizer Direktfinanzierung¹³. Die Forschungsaktivitäten der Schweiz konzentrieren sich auf die Bereiche «Sicherheit der nuklearen Systeme» (12 Beteiligungen) und «radioaktive Abfälle» (12 Beteiligungen). Je zwei Beteiligungen entfallen zudem auf die Bereiche «Fission Kompetenzen» und «Strahlenschutz».

In der Vorperiode 2007–2013 hatten die Forschenden in der Schweiz im Bereich der Fission für 58 Projekte Beiträge von insgesamt rund CHF 13,2 Mio. erhalten. Die Schwerpunkte der Projekte lagen ebenfalls bei der Reaktorsicherheit und der Entsorgung¹⁴.

Zum Vergleich: Für das Fusionsforschungsprogramm hat die Schweiz im Zeitraum 2014–2017 Pflichtbeiträge in der Höhe von EUR 11,4 Mio. ans Budget geleistet und Projektbeiträge im Umfang von EUR 18,5 Mio. erhalten. Zusätzlich hat die Schweiz Forschungsaktivitäten am JET-Reaktor in Grossbritannien mit EUR 7,3 Mio. mitfinanziert.

Offener Status der Schweiz

Seit Anfang 2017 hat die Schweiz in «Horizon 2020» wieder den Status eines vollassozierten Staates. Das Euratom-Programm war von den Einschränkungen nach Annahme der Masseneinwanderungsinitiative und der Nicht-Unterzeichnung des Kroatien-Protokolls Anfang 2014 nicht betroffen.

Noch offen ist der Status der Schweiz im Nachfolgeprogramm «Horizon Europe» (einschliesslich Euratom) in den Jahren 2021–2027. Als Folge der Regelung mit der EU per Anfang 2017 ist die Schweiz nicht mehr unbefristet mit Euratom verbunden.

Für «Horizon Europe» schlägt die EU-Kommission insgesamt Mittel von EUR 100 Mrd. vor, davon rund 2,4 Mrd. für das Euratom-Programm für Forschung und Aus-

¹³ Staatssekretariat für Bildung, Forschung und Innovation (SBFI): Beteiligung der Schweiz an den Europäischen Forschungsrahmenprogrammen – Zahlen und Fakten 2018.

¹⁴ Bulletin des Nuklearforums Schweiz: Nukleare EU-Forschung, Euratom und die Schweiz. No.1 / März 2015

¹⁵ EU-Haushalt: Kommission schlägt das bislang ehrgeizigste Programm für Forschung und Innovation vor. Pressemitteilung der Europäischen Kommission vom 7. Juni 2018.

bildung (ohne Fusionsprojekt Iter in Südfrankreich). Das Programm soll sich künftig stärker auf Anwendungen ausserhalb der Stromerzeugung konzentrieren, namentlich im Gesundheitswesen und bei medizinischen Ausrüstungen¹⁵.

Die Rolle der Kernkraftwerksbetreiber

Rund 40% des Budgets des NES für Forschungsmittel (ohne Beiträge ans Lehrangebot des PSI-Bildungszentrums) finanzieren die Betreiber direkt oder indirekt über Direktzahlungen der Kernkraftwerke, swissnuclear, das Ensi und die Nagra (Fig. 5.3).

Beurteilung der Finanzierung aus Sicht der KKW-Betreiber

Im Bereich Kernspaltung wird die Forschung heute zu 60% vom Staat und zu 40% von den Kernkraftwerksbetreibern getragen. Der NES als international wissenschaftlich anerkannte und mehrheitlich von der Öffentlichen Hand finanzierte Institution spielt eine wichtige Rolle als «Honest Broker».

Es ist jedoch absehbar, dass sich in den kommenden 15 Jahren die Beiträge der KKW-Betreiber an die Kernenergieforschung verringern werden.

Wenn das heutige Forschungsvolumen erhalten bleibt, wird sich der heutige Verteilschlüssel bei der Finanzierung in den kommenden Jahren weiter verschieben. Das bedeutet, dass andere Finanzierungsquellen erschlossen werden müssen.

Teil B

6. Nachwuchs an hochqualifiziertem Personal

Fig. 6.1 Abschlüsse an ETHZ und EPFL

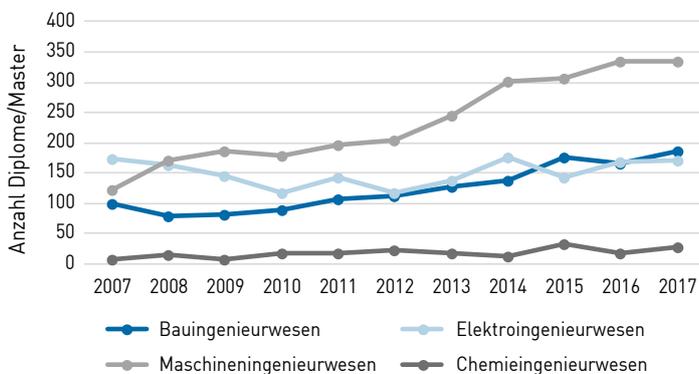


Fig. 6.2 Abschlüsse an Universitäten und ETHs

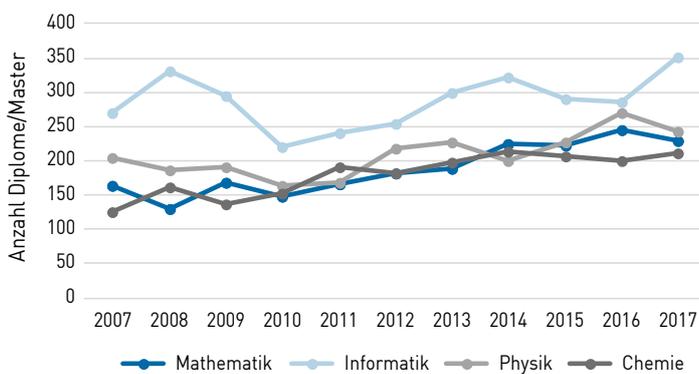
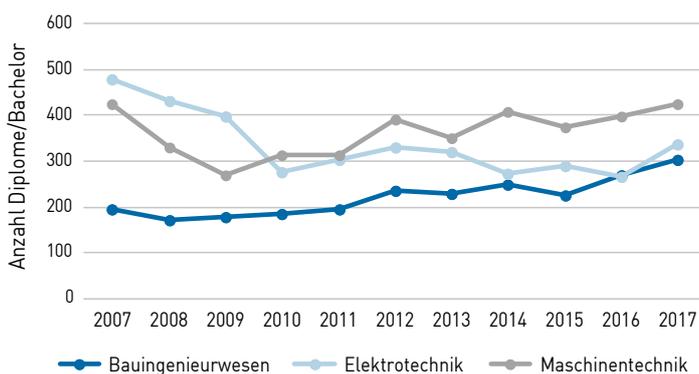


Fig. 6.3 Abschlüsse an Fachhochschulen



Quelle: Bundesamt für Statistik

6.1 Universitäre Hochschulen

Die Entwicklung der Diplom- bzw. Masterabschlüsse an der ETH Zürich und der EPF Lausanne in den vergangenen elf Jahren zeigen bei den für die Kernkraftwerke relevanten Ingenieurausbildungen einen steigenden Trend. Besonders stark – auf fast das Dreifache – haben die Abschlüsse bei den Maschineningenieuren zugenommen. Noch im Jahrzehnt davor hatten die Abschlüsse – bei grossen jährlichen Schwankungen – auf tiefem Niveau stagniert¹⁶.

Ähnlich sieht es mit den Abschlüssen in den weiteren für die Kernkraftwerke relevanten Studienrichtungen aus. Auch hier gibt es insgesamt einen eher steigenden Trend.

6.2 Fachhochschulen

Weniger deutlich sind die Trends bei den Ingenieurabschlüssen an den Fachhochschulen. Nach einem markanten Rückgang der Abschlüsse im vorausgegangenen Jahrzehnt scheint sich das Interesse nach diesen Studiengängen in den letzten Jahren wieder zu erholen.

¹⁶ Nuklearforum Schweiz: Dossier – Lehre, Forschung und Nachwuchs in der Schweizer Kernenergie. September 2010.

7. Personalbedarf in der Kernenergiebranche 2019-2023

7.1 Altersstruktur der Branche

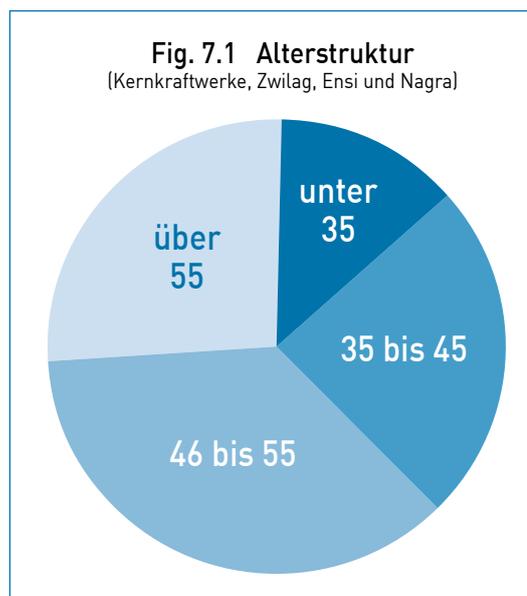
Die Erhebung zeigt, dass beim Personal die Altersklassen in der zweiten Hälfte des Berufslebens überwiegen (Fig. 7.1). Die längeren Ausbildungszeiten in einzelnen Berufskategorien erklären teilweise die Verschiebung hin zu den höheren Altersgruppen. Viel stärker trägt jedoch die geringe Personalfuktuation in der Vergangenheit dazu bei.

Die Altersstruktur erfordert je nach Berufskategorie eine sorgfältige Nachwuchsplanung.

7.2 Bedarfsschätzungen

Seit der Bedarfserhebung 2013 haben sich mehrere Rahmenbedingungen grundsätzlich verändert:

- Der Atomausstieg als Folge des Unfalls in Fukushima ist nach der Genehmigung der «Energierstrategie 2050» durch eine Volksabstimmung beschlossen.
- Die wirtschaftlichen Herausforderungen der letzten Jahre manifestieren sich auch in der Strombranche in konkreten Effizienzsteigerungsmassnahmen. Diese wirken sich auch auf die Personalplanung aus.
- Wegen der anhaltenden politischen und wirtschaftlichen Unsicherheit fehlt den Betreibern derzeit Planungssicherheit.
- Die endgültige Einstellung des Leistungsbetriebs des Kernkraftwerks Mühleberg erfolgt Ende 2019. Die entsprechende Ressourcenplanung wurde vorgenommen.
- Gewisse Kompetenzen wurden intern und extern ausgelagert (u.a. an Bauingenieurbüros).



Personalbestand und Bedarf bis 2023 an höheren Ausbildungen

Die Belegschaft für den Betrieb eines Kernkraftwerks besteht zu rund 80 % aus Personen mit einer Berufslehre oder Weiterbildungen bis zur höheren Fachprüfung. Die technischen Mitarbeiter werden, wo nötig, gezielt im nuklearen Bereich weitergebildet. Zu diesem Zweck finanzieren die Kernkraftwerksbetreiber die Reaktorschule am PSI (Kap. 4.3).

Rund 20 % des Kernkraftwerkspersonals sind Hochschulabsolventen. Davon verfügen etwa zwei Drittel über einen Fachhochschulabschluss und ein Drittel über einen universitären Hochschulabschluss (Naturwissenschaftler, Ingenieure ETH). Von ihnen hat nur ein Teil eine nukleartechnische Grundausbildung absolviert.

Bisher ist es den Kernkraftwerken immer gelungen, auf allen Qualifikationsstufen die benötigten Fachleute zu finden. Die Rekrutierung erfolgt je nach Funktion und Ausbildung auch im Ausland. Auch wenn seitens

der Branche qualitative Aussagen vorliegen, dass derzeit die Rekrutierungsplanung etwas zurückhaltender gehandhabt wird, ist beim Bedarf an Personal mit höheren Ausbildungen zwischen den Erhebungen 2013 und 2018 nur ein geringer Unterschied festzustellen (Fig. 7.2).

Die Auswertung der Frage nach der Entwicklung der Anzahl der technisch-wissenschaftlichen Fachkräften in den nächsten fünf Jahren ergibt, dass die Anzahl benötigten Fachpersonals stabil bis leicht abnehmend

sein wird (Fig. 7.3). Dies steht im Einklang mit den eingangs erwähnten veränderten Rahmenbedingungen.

Aus der qualitativen Erhebung 2018 geht jedoch auch hervor, dass Stellen für Elektroingenieure, Bauingenieure und Ingenieure mit Rückbauerfahrung schwer zu besetzen sind. Die Gründe dafür liegen u.a. in der derzeit guten Arbeitsmarktlage im deutschsprachigen Raum und der potenziell geringeren Attraktivität der Branche gegenüber anderen Industriezweigen.

Fig. 7.2 Vergleich Personalbedarf in den Grundausbildungen ETH / FH in den Erhebungen 2013 und 2018

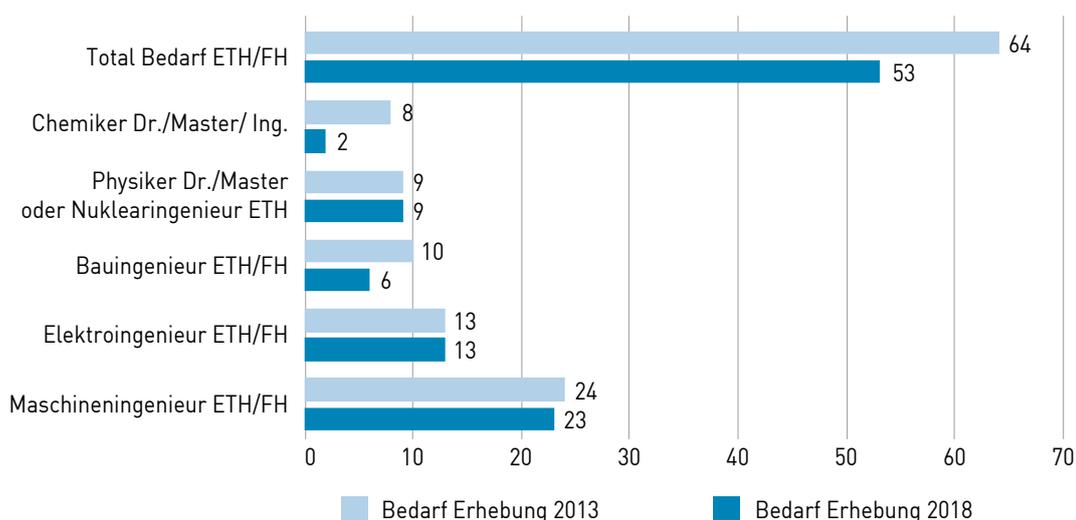
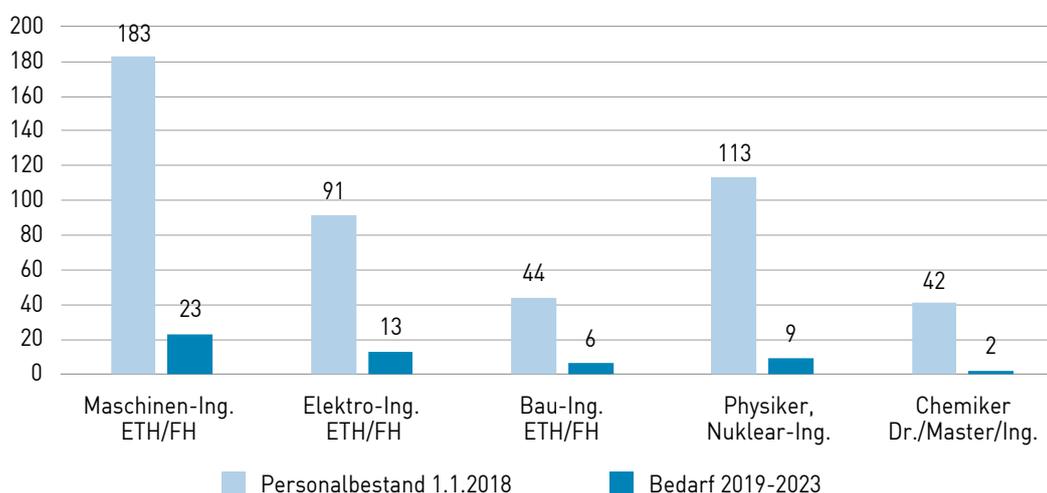


Fig. 7.3 Höhere Ausbildungen: Personalbestand heute und Bedarf bis 2023 nach Ausbildungskategorien



Personalbestand und Bedarf bis 2023 an Technikern und Fachkräften – zulassungspflichtiges KKW-Personal

Die verschiedenen Lebensphasen der Werke wirken sich unterschiedlich auf den Bedarf an zulassungspflichtigem Personal aus. Generell zeigen die bisherigen Erfahrungen der Personalverantwortlichen:

- Die Hürden, um von einem zu einem anderen Werk zu wechseln, sind hoch (aufwendige Umschulung, geringe geographische Mobilität).
- Die Rekrutierung von neuem Personal gestaltet sich prinzipiell schwieriger als früher, da sich weniger Personen für Stellen im zulassungspflichtigen Bereich interessieren. Die langen Ausbildungswege laufen dem kurzlebigen Denken der heutigen Gesellschaft entgegen.

Personalbestand und Bedarf bis 2023 an Technikern und Fachkräften ohne Zulassungspflicht

Die Techniker und Fachkräfte mit Fachrichtung Maschinentechnik sind in der Nuklearbranche die zahlenmässig stärkste Gruppe. Der für die kommenden Jahre geschätzte Bedarf ist jedoch relativ tief. Dies trifft auch für die beiden anderen Fachrichtungen Elektro- und Bautechnik zu.

Personalbestand und Bedarf bis 2023 bei Strahlenschutz/Strahlenüberwachung

Die Rekrutierung von Strahlenschutzfachkräften, Strahlenüberwachungs-Sachverständigen und -Technikern gestaltet sich aufwendig, da der Arbeitsmarkt national und international ausgetrocknet ist. Dem steht gegenüber, dass in absehbarer Zeit der Bedarf zunehmen wird. Das hängt u.a. damit zusammen, der bei Stilllegung und Rückbau besonders viele dieser Fachkräfte benötigt werden.

Ein Lösungsansatz könnte die Umschulung einer Unterhalts- oder Betriebsfachkraft zur Strahlenschutzfachkraft sein. Dies gestaltet sich in der Praxis teilweise schwierig, denn die Aufgabe als Strahlenschutzfachkraft ist prüfend und nicht ausführend. Zudem ist die fachliche Weiterbildung teilweise sehr anspruchsvoll. Wünschbar wäre die weitere Vereinfachung der Anerkennung der Abschlüsse von ausländischem Fachpersonal.

Fig. 7.4 Zulassungspflichtiges Personal insgesamt: Bestand heute und Bedarf bis 2023

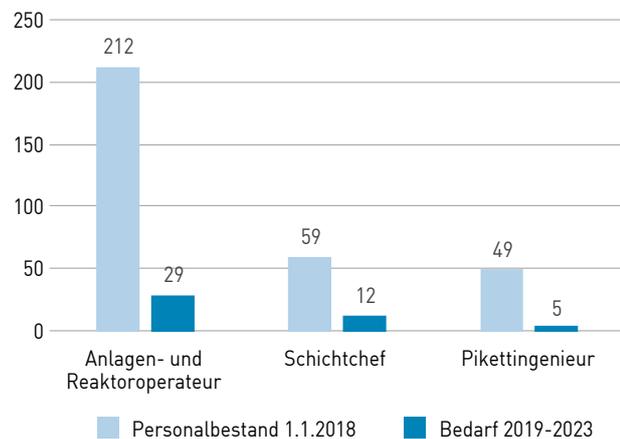


Fig. 7.5 Techniker und Fachkräfte ohne Zulassungspflicht (TS/HF): Bestand heute und Bedarf bis 2023

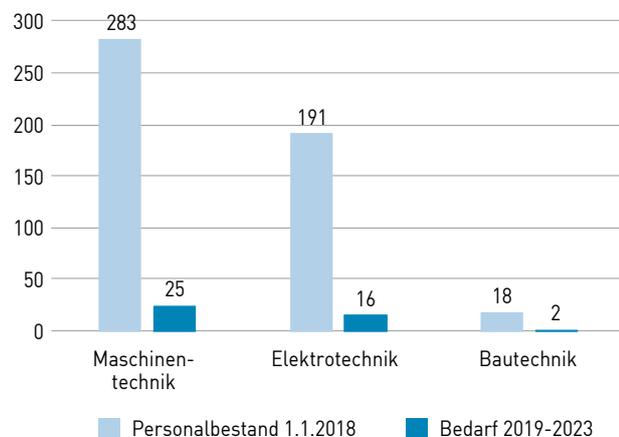
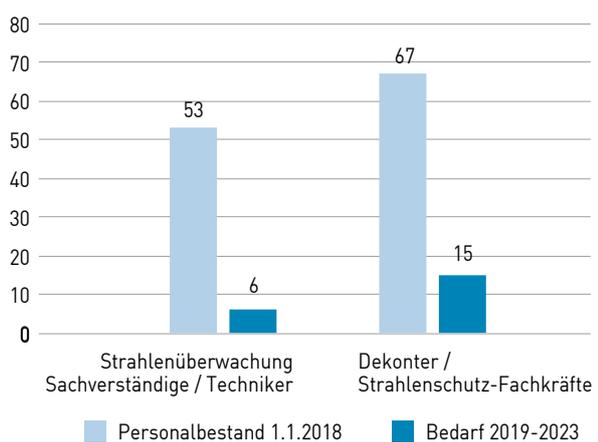


Fig. 7.6 Strahlenschutz und Strahlenüberwachung: Personalbestand und Bedarf bis 2023



8. Schlussbemerkung

Die Gegenüberstellung der Ausbildungsangebote und der Zahl der Studienabschlüsse mit der Nachfrage nach Fachkräften in der Schweizer Kernenergiebranche erweckt auf den ersten Blick den Eindruck, dass in den nächsten Jahren bei der Rekrutierung keine grösseren Engpässe zu erwarten sind.

Die vertiefte, differenzierte Diskussion der Ergebnisse mit den HR-Verantwortlichen, den Führungskräften der Kraftwerke und weiteren Branchenvertretern ergab jedoch, dass folgende Berufsgruppen in Zukunft **schwieriger anzuwerben** sein dürften:

- Bauingenieure, aber auch Maschinen- und Elektroingenieure, insbesondere für höhere Positionen oder mit Erfahrung in der Projektleitung
- Zulassungspflichtiges Personal für den Betrieb mit mehrjähriger Ausbildung
- Strahlenschutzpersonal

Um einen allfälligen Fachkräfteengpass zu umgehen, muss die Branche ihre Attraktivität aufrechterhalten und trotz der wirtschaftlichen Rahmenbedingungen marktübliche Konditionen anbieten. Als Folge des politischen Ausstiegsbeschlusses besteht zudem die Gefahr, dass Studienabgänger und junge Berufsleute die Branche weniger attraktiv beurteilen als früher.

Ergänzende Angebote über das Salär hinaus gehören auf dem heutigen Stellenmarkt dazu – wie flexible Arbeitszeiten auch für Führungskräfte oder berufsbegleitende Ausbildungsangebote. Solche Massnahmen zur

Attraktivitätssteigerung sind von den Stellenanbietern direkt beeinflussbar und sind daher bereits verschiedentlich eingeleitet worden. Wünschbar ist zudem eine erhöhte Sichtbarkeit der Branche auf dem Stellenmarkt. Präsenz an Jobbörsen, verstärkte Werbung in eigener Sache etc. sind kleine, aber wichtige Schritte.

Ohne den klaren Positionsbezug der Politik zur Notwendigkeit stabiler Rahmenbedingungen für die einheimische Stromerzeugung in Grossanlagen wie Kernkraftwerken riskieren jedoch derartige Eigeninitiativen der Branche **wirkungslos zu verpuffen**.

Verbesserung der übergeordneten Rahmenbedingungen nötig

Die zentrale strategische Bedeutung der Kernenergie für die Umsetzung der «Energiestrategie 2050», ihr Nutzen für das Land auf lange Sicht hinaus, muss auf der politischen Ebene vermehrt zum Ausdruck kommen. **Eine Strategie des Bundes mit konkreten Massnahmen** zur Stabilisierung des heutigen Umfelds und zur Schaffung langfristig angemessener Rahmenbedingungen ist unabdingbar.

Die Verantwortlichen für die Schweizer Energiepolitik stehen hier in der Pflicht. Dazu gehört auch, wie die Schweiz ihr nukleares Fachwissen künftig strategisch im internationalen Umfeld (IAEO, OECD etc.) einsetzen will. Einmal verlorenes Wissen über eine Hochtechnologie lässt sich nur schwer wiederaufbauen.