
Teil A: Lehrangebote und Forschungsschwerpunkte

2 ETH-Bereich

Nach der Stagnation der vergangenen Jahre eröffnet die aktuelle personelle und politische Situation im ETH-Bereich sowie die Bologna-Reform die Chance, die kernphysikalische und kerntechnische Lehre und Forschung wieder stärker zu verankern. Der Präsident des ETH-Rats zeigt sich gegenüber der Kernenergie offen. In der Roadmap «Energieforschung im ETH-Bereich» von PSI, ETHZ, EPFL und EMPA vom Mai 2005 wird der Kernenergie (Fission und Fusion) eine wesentliche Rolle für eine Strategie zur Nachhaltigkeit von Energieverbrauch und Energieversorgung zugewiesen. Bei der Schulleitung der EPFL besteht eine sehr positive Einstellung zu Lehre und Forschung im Energiebereich einschliesslich der Kernenergie.

2.1 Lehre im ETH-Bereich

2.1.1. *Neustrukturierung an der ETHZ*

Mit der Emeritierung von Prof. George Yadigaroglu (Professur für Kerntechnik) und der Einführung der zweistufigen Bachelor/Master Studiengänge durch die Bologna-Reform ist an der ETHZ die Ausbildung im Bereich der Nukleartechnik neu strukturiert worden. Im Herbst 2003 wurde – an Stelle der Professur für Kerntechnik – die Schaffung einer von den Kernkraftwerkbetreibern finanzierte Professur für Kernenergiesysteme beschlossen. Angesiedelt ist sie am Institut für Energietechnik im Departement für Maschinenbau und Verfahrenstechnik (MAVT). Der Vertrag zwischen den Betreibern, der ETH Zürich und dem Paul Scherrer-Institut ist vorerst auf sechs Jahre finanziert mit der Absicht auf Verlängerung.

Anfang September 2005 hat der ETH-Rat Horst-Michael Prasser zum Professor für Kernenergiesysteme gewählt. Unmittelbar mit der Aufnahme der Tätigkeit in Zürich im April 2006 begann die Lehrtätigkeit, zunächst durch Übernahme der bestehenden Vorlesung «Sicherheit von Kernkraftwerken», die gemeinsam mit Prof. Wolfgang Kröger jeweils im Sommersemester angeboten wird. Ab Wintersemester 2006/07 kam die Vorlesung «Kernenergiesysteme» dazu, die gleich eine positive Resonanz bei den Studenten fand. Insgesamt 22 Hörer, vorrangig aus den Masterstudiengängen Maschinenbau und Physik, studierten den nuklearen Energieumwandlungsprozess, angefangen von der Urangewinnung über das Kernkraftwerk bis zur Entsorgung. In die erneut anlaufende Vorlesung zur Sicherheit haben sich 13 Studenten eingeschrieben. Mittlerweile hat das Labor für Kernenergiesysteme zwei Doktoranden, einen Postdoc, drei Masterarbeiten, zwei abgeschlossene und ein laufendes Bachelorprojekt sowie eine Reihe von Semesterprojekten vorzuweisen. Prof. Prasser führt seine Forschung in enger Zusammenarbeit mit dem Labor für Thermo-hydraulik am PSI/NES (vgl. Kap. 2.2.1) durch.

2.1.2 Gesamtschweizerisches Masterprogramm

Ein universitärer Studiengang mit einem Abschluss in Kerntechnik wird für die Schweiz ein Novum darstellen. An den beiden ETH gibt es jedoch eine lange Tradition von nuklearspezifischen Lehrangeboten. Vor allem Physik- und Maschinenbaustudierenden stehen Wahlfächer aus dem Nuklearbereich offen. Weiter können sie nuklearspezifische Diplom- und Masterarbeiten sowie Dissertationen schreiben. Die EPFL bietet im Rahmen der Doktorandenausbildung Vorlesungen über die Anwendung ionisierender Strahlung, über physikalische Grundlagen im Zusammenhang mit ionisierender Strahlung am Synchrotron sowie über Nuklearphysik an.

Im Zusammenhang mit der Neustrukturierung der Studiengänge nach dem Bologna-System und der Neubesetzung der Lehrstuhls an der ETHZ wird gegenwärtig das Ziel verfolgt, einen europäisch anerkannten gesamtschweizerischen Studiengang zu einem «Master in Nuclear Science and Technology» zu schaffen, angeboten im Verbund von ETHZ, EPFL und PSI. Der Master's Degree soll von ETHZ und EPFL gemeinsam vergeben werden und soweit als möglich mit dem vom European Nuclear Engineering Network der EU (ENEN, siehe Kap. 6.1.1) vorgeschlagenen «European Master of Science in Nuclear Engineering» (EMSNE) kompatibel sein. Kern des neuen Masterprogramms ist die enge Zusammenarbeit der Professuren für Kernenergiesysteme (Prof. Horst-Michael Prasser, ETHZ), für Reaktorphysik und Systemverhalten (Prof. Rakesh Chawla, EPFL) und für Sicherheitstechnik (Prof. Wolfgang Kröger, ETHZ) sowie weiterer Dozierenden, unter optimaler Nutzung der Forschungsinfrastruktur des PSI. Mit der Pensionierung von Prof. Kröger im Jahr 2010 könnte sich eine Lücke in der Risikoanalytik anbahnen.

Dieses Angebot richtet sich in erster Linie an Studierende aus den Bereichen Ingenieurwesen, Physik, Chemie, Materialwissenschaften und Informatik. Der Master wird an der ETHZ/EPFL ab dem Wintersemester 2007/2008 eingeführt. Vorher konnten die Studierenden an der ETHZ und der EPFL einen Abschluss in Maschineningenieurwesen oder Physik erhalten und dabei die genannten kerntechnischen Wahlfächer belegen. An der EPFL besteht zudem das Angebot, ein Praktikum am EPFL-Ausbildungsreaktor CROCUS zu belegen.

2.1.3 Erwartungen an die Masterausbildung

Mit der Umsetzung des Bologna-Prozesses werden europaweit Diplomstudiengänge in Bachelor und Masterprogramme umgewandelt. Dabei wird zusätzlich ein einheitliches Kreditpunktesystem, das sogenannte European Credit Transfer System eingeführt, nach dem die Lernleistung gemessen und den Studenten angerechnet wird. Hiernach haben Bachelorstudiengänge 180 Kreditpunkte, während Masterprogramme in der Schweiz in der Regel für weitere 90 Punkte ausgelegt sind. Im Nuklearbereich existiert ein europäischer Standard, der von dem European Nuclear Engineering Network definiert wurde, in dem auch die beiden ETH Mitglied sind. Er gibt einen Mindestrahmen für die Lehrinhalte vor und fordert 120 Kreditpunkte, von denen mindestens 20 im Ausland erworben werden müssen. Unter diesen Vorausset-

zungen kann der European Master in Nuclear Engineering erworben werden. Diese Möglichkeit steht Absolventen des geplanten Kerntechnikstudiums offen.

Vor diesem Hintergrund der personellen Absicherung des Kernenergiesektors, ggf. im Hinblick eines Neubaus von Kernanlagen besteht ein eher anwachsender Bedarf an akademischem Personal, von dem die Kernkraftwerksbetreiber in der Regel einige Jahre Erfahrungsvorlauf erwarten, ehe es voll wirksam werden kann (siehe Kap. 7.1). Deshalb wird eine aktive Studienwerbung an Bedeutung gewinnen. Jobbörsen, auf denen die Industrie sich den Studenten direkt vorstellt, sind eine bisher zu wenig genutzte Möglichkeit. Fest steht bereits, dass leitende Mitarbeiter aus der Industrie und der Forschung an der Gestaltung der Lehre im Rahmen des Masterkurses mitwirken werden, was frühzeitig den Kontakt zu den Studenten schafft und die Attraktivität des Masterprogramms befördern wird.

In der Vergangenheit schlossen an der ETHZ jährlich selten mehr als 3 Diplomanden mit klarem kerntechnischen Fokus ihr Studium ab. Dazu kamen rund 5 Diplomanden jährlich mit Vertiefung in Kraftwerkstechnik. Am Labor für Reaktorphysik und Systemverhalten der EPFL schliessen jährlich im Durchschnitt 1–2 Studierende ihre Masterprojekte mit kernenergiebezogenen Themen ab.

Mit dem neuen Studiengang werden ca. 10 Masterstudierende pro Jahr angestrebt. Das neue Schweizer Masterprogramm in Nukleartechnik sollte deshalb auch für Ausländer attraktiv sein, da sich typischerweise – zumindest in den letzten Jahren – nur etwa 5 Schweizer jährlich für diese Ausbildungsrichtung (Diplomarbeiten und Doktorate) interessierten. Ob die anvisierte Zahl erreicht werden kann, hängt jedoch nicht nur von der Qualität des neuen Studiengangs und den Berufsaussichten ab, sondern wesentlich vom künftigen gesellschaftlichen Image der Kerntechnik. Erfreulicherweise ist unter den jungen Studierenden in der Schweiz wie im Ausland ein Stimmungsumschwung zugunsten von mehr Verständnis für die künftige Notwendigkeit der Kernenergie erkennbar.

Vor diesem Hintergrund ist es wichtig, dass in den kommenden Jahren zumindest im Wissenschaftsbereich die Kernenergie weiter entideologisiert wird, und zwar auf beiden Seiten. Die Kerntechnik soll nicht mehr etwas Besonderes sein, sondern als eine ganz «normale Hochtechnologie» in die Lehrgänge eingebettet werden. Es ist wichtig, dass auch die Studierenden anderer Fachrichtungen nukleares Basiswissen erwerben können. Das kann erreicht werden, indem die organisatorischen Voraussetzungen dafür geschaffen werden, dass Studenten anderer Studiengänge, insbesondere des Maschinenbaus und der Physik, die im spezialisierten Master angebotenen Pflichtfächer als Wahlfach belegen können. Mit zunehmender Bedeutung der kerntechnischen Ausbildung sollte auch über eine weitere Stärkung des Lehrkörpers nachgedacht werden.

Aus heutiger Sicht dürften mittelfristig zwei externe Faktoren über die Anziehungskraft eines nuklearen Studiums an der ETH entscheiden: die wahrgenommene Einstellung der Schweizer Bevölkerung und der Stromwirtschaft zur Kernenergie einerseits, sowie die Information über die bestehenden Beschäftigungsaussichten auf dem Studiengbiet andererseits.

An dieser Stelle sei darauf hingewiesen, dass die Lehre im Rahmen des Kerntechnik-Masters hauptsächlich auf die Physik, die Technologie und die Sicherheit der Kernspaltung ausgerichtet sein wird. Kernfusion und die Grundlagen der Plasmaphysik werden jedoch den Studierenden als Wahlfach angeboten. Die EPFL verfügt als Hochschule mit international renommierter Fusionsforschung (siehe Kap. 2.2.1) über die dafür geeigneten Lehrkräfte.

2.1.4 Fortbildung im Bereich der Nukleartechnik

Von den 1970er bis in die 1990er Jahre führten die ETH in Zusammenarbeit mit dem PSI und der Kommission für Ausbildungsfragen der Schweizerischen Vereinigung für Atomenergie (heute Nuklearforum Schweiz) in unregelmässigen Abständen «Fortbildungskurse in Nukleartechnik» durch. Sie wurden von Prof. P. Schneeberger und später von Prof. G. Yadigaroglu betreut und richteten sich an ETH- und Fachhochschulabsolventen.

Vom 7. März bis 23. April 1993 fand letztmals ein solcher Kurs statt. Die 19 Teilnehmer bezahlten ein symbolisches Kursgeld von CHF 1800 und erhielten während acht Wochen eine systematische Übersicht in sechs bis acht Lektionen pro Arbeitstag geboten. Als Dozenten wirkten Fachleute und Praktiker der ETH, des PSI und der Fachhochschulen, die nicht besonders entlohnt werden mussten.

Vor dem Hintergrund der weltweiten Rückbesinnung auf die Vorteile der Kernenergie und der Aussicht, dass die heutigen Kernkraftwerke durch Laufzeitverlängerungen noch lange in Betrieb bleiben werden, ist die erneute Auflage von Fortbildungskursen für die nächste Generation von Kaderleuten zu prüfen. Dem allgemeinen Trend folgend sind die Fachleute zunehmend spezialisiert. Umgekehrt nimmt die Zahl der Kernfachleute, die über den gesamten nuklearen Zyklus Bescheid wissen, mit der Zeit ab. Nötig ist daher ein Kurs, der Kernfachleuten die Möglichkeit bietet, diesen Überblick zu gewinnen oder zu erhalten, so wie das vor drei Jahren in Frankreich von der Direction de l'Energie Nucléaire des Commissariat à l'Energie Atomique (CEA) gemacht wurde.

Das PSI hat im Jahr 2004 einen Projektvorschlag für einen Fortbildungskurs in Kerntechnik von 6–8 Wochen Dauer ausgearbeitet. Ziel dieses Programms ist es, in begrenzter Zeit die Hauptaspekte der Kerntechnik zur Energiegewinnung zu behandeln. Insbesondere sollen die Technologie, die Sicherheit, betriebliche Aspekte und der Brennstoffzyklus inkl. Entsorgung dargelegt und die Zusammenhänge zwischen diesen Bereichen aufgezeigt werden. Der Schwerpunkt liegt auf den Druck- und Siedewasserreaktoren, doch sollen auch zukünftige Entwicklungen angemessen berücksichtigt werden. Dazu kommen Strahlenschutz, regulatorische Aspekte, allgemeine Energiepolitik sowie die Geschichte der Kerntechnik.

Der Kreis der Fortzubildenden umfasst beispielsweise Mitarbeitende von Kernkraftwerken oder Elektrizitätsgesellschaften, Forschende am PSI, Ingenieure in Privatfirmen, Fachleute der HSK und weitere Personen, die sich beim Bund mit Kerntechnik befassen (BFE, BAG, NAZ usw.). Die Teilnehmenden müss-

ten einen universitären oder Fachhochschulabschluss aufweisen und des Englischen mächtig sein. Das PSI schätzt die Zahl der potenziellen Kursbesucher zurzeit auf 100–150 Personen, was bei Klassen von rund 30 Leuten ein Potenzial von 3 bis 5 Kursen ergibt. Eine Wiederholung alle 3 bzw. 2 Jahre würde einen Zeitraum von ca. 10 Jahren abdecken. Bis dahin würde eine Gruppe von rund 100–150 neuen Interessenten nachwachsen, so dass mit einer nachhaltigen Nachfrage eines solchen, dauernd aktualisierten Fortbildungskurses gerechnet werden kann. Zudem könnten in den Zwischenjahren ein Kurzlehrgang von einer Woche Dauer für Neuankömmlinge angeboten werden oder Kurse für Teilnehmer ohne Hochschulabschluss.

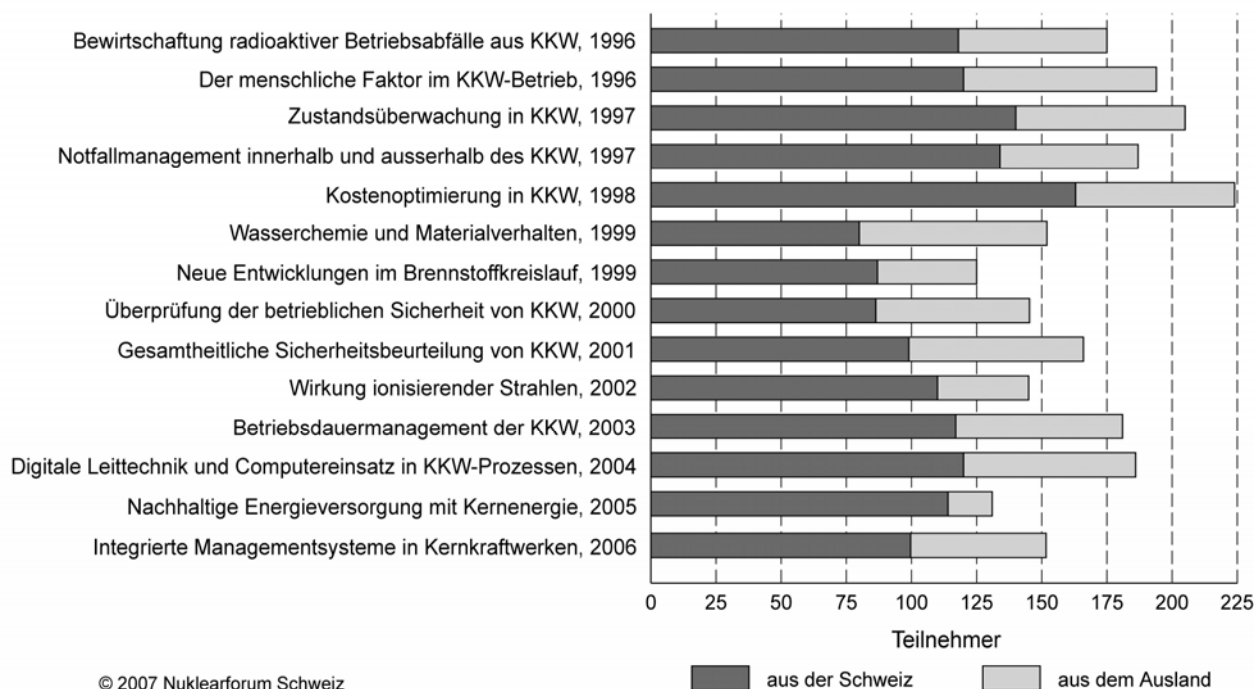
Das Konzept schlägt die Bildung einer Trägerschaft aus den potenziell interessierten Kreisen vor (PSI, Elektrizitätswirtschaft, Kernkraftwerkbetreiber, Nagra, beide ETH, HSK). Die Teilnehmenden wie die Dozierenden würden von ihren jeweiligen Arbeitgebern freigestellt, so dass keine wesentlichen Extrakosten entstünden und die Kurse im Unterschied zu früher unentgeltlich wären. Abzuklären ist, wie sich der neue Kurs von den früheren Fortbildungsangeboten abgrenzt und wie die Ausbildungskommission des Nuklearforums Schweiz einbezogen werden soll.

Voraussetzung für die Durchführbarkeit dieses Konzepts ist die Bereitschaft der Arbeitgeber, ihren Mitarbeitern die nötige Zeit für die Weiterbildung zur Verfügung zu stellen. Die Erfahrungen, beispielsweise bei den Weiterbildungskursen im Rahmen der World Nuclear University (WNU, siehe Kap. 6.2), zeigen allerdings, dass das Problem einer Teilnahme an solchen Kursen nicht die Kosten sind, sondern der Zeitraum, für den die Mitarbeiter frei gestellt werden müssen.

2.1.5 Vertiefungskurse des Nuklearforums Schweiz

Seit 1977 führt die Schweizerische Vereinigung für Atomenergie bzw. das Nuklearforum Schweiz unter der Leitung der Kommission für Ausbildungsfragen ein- bis zweimal jährlich Vertiefungskurse durch. Gegenstand dieser Kurse von rund zwei Tagen Dauer sind aktuelle Themen aus dem Betrieb und dem Umfeld der Kernkraftwerke. Die Inhalte der Kurse werden von der Kommission für Ausbildungsfragen festgelegt. Die Zahl der Teilnehmenden schwankte in den vergangenen Jahren zwischen gut hundert bis deutlich über zweihundert Personen, wobei je nach Thema zahlreiche Interessenten aus dem Ausland teilnehmen (vgl. Grafik). Die Kurse richten sich in der Regel an Mitarbeitende der Kernkraftwerke sowie an weitere interessierte Kreise. Das für eine Teilnahme erforderliche Qualifikationsniveau ergibt sich aus der Thematik bzw. der Hauptzielgruppe des jeweiligen Vertiefungskurses. Der Kostenbeitrag belief sich für den Kurs im November 2006 auf CHF 1550 für Mitglieder des Nuklearforums und CHF 1950 für Nichtmitglieder. Auch bei den Vertiefungskursen stellt sich das Problem der Freistellung der Teilnehmer durch ihre Arbeitgeber.

Vertiefungskurse SVA/Nuklearforum: Themen und Anzahl Teilnehmer 1996–2006



2.2 Forschung im ETH-Bereich

2.2.1 Forschungsschwerpunkte und Lehre

Der weitaus grösste Teil der nuklearspezifischen Forschung findet in der Schweiz im ETH-Bereich statt und wird im Bereich der Kernspaltung hauptsächlich am PSI durchgeführt. Der Forschungsbereich «Nukleare Energie und Sicherheit» (NES) des PSI umfasst rund 180 Personen, wovon 70 vom Bund finanziert werden. Die übrigen werden über Drittmittel finanziert, die zum grössten Teil aus der Nuklearindustrie stammen. Der NES umfasst fünf Forschungslabors: Reaktorphysik und Systemverhalten, Thermohydraulik, Werkstoffverhalten, Endlagersicherheit und Energiesystem-Analysen. Das erstgenannte Forschungslabor ist eng mit dem Lehrstuhl für Reaktorphysik und Systemverhalten an der EPFL verbunden. Weitere Forschungsthemen an der EPFL sind das dynamische Verhalten von Komponenten und Systemen innerhalb der Kernanlagen sowie die Transmutation von radioaktiven Isotopen im Rahmen der Abfallbehandlung.

Der Lehrstuhlinhaber der Professur für Kernenergiesysteme an der ETHZ (vgl. Kap. 2.1.1.) führt seine Forschung am PSI in enger Zusammenarbeit mit dem Labor für Thermohydraulik durch.

Der neue Leiter des Labors für Endlagersicherheit wird innerhalb seines Pensums eine etwa 20%-Lehrtätigkeit im Rahmen einer Professur für Nukleare Geochemie an der ETHZ ausüben.

An der EPFL (Fakultät für Grundlagenwissenschaften) befindet sich das Forschungszentrum für Plasmaphysik (Centre de Recherches en Physique des Plasmas, CRPP). Am CRPP arbeiten rund 160 Personen, wovon rund 30 ihren Arbeitsplatz am PSI haben. Die Hauptaufgaben des CRPP ergeben sich aus seiner Stellung als nationales Kompetenzzentrum für Plasmaphysik.

Im aktuellen Umfeld verfolgt die nukleare Forschung im ETH-Bereich folgende Hauptziele:

- **Abdecken der Bedürfnisse für einen sicheren und wirtschaftlichen Betrieb der heutigen Kernkraftwerke mit wissenschaftlichen Dienstleistungen für die HSK und die KKW-Betreiber:** Im Vordergrund stehen Sicherheitsanalysen, Brennstoffverhalten (insbesondere Abbranderhöhung), Werkstoffverhalten, der Rückhalt von radioaktiven Substanzen im Fall hypothetischer schwerer Unfälle sowie das Verhalten von Radionukliden in der Geosphäre im Hinblick auf geologische Tiefenlager. Fast alle der genannten Aktivitäten benötigen den Betrieb des Hotlabors, in dem hochradioaktive Materialien bearbeitet werden können. Im Hotlabor werden zudem mit hoher Priorität Schadensabklärungen an Brennstoff und aktiven Komponenten aus den KKW vorgenommen. Aus diesem Grund leisten die KKW-Betreiber einen Sockelbeitrag an die Betriebskosten des Hotlabors.
- **Blick in die unmittelbare Zukunft unter dem Motto «Sprechfähig sein und bleiben»:** Die Option Kernenergie in der Schweiz offen zu halten setzt voraus, dass der ETH-Bereich auch in Zukunft an der internationalen Forschungsfront mithält und den Studierenden und insbesondere den Doktoranden attraktive Forschungsfelder anbietet. Dazu gehört der Kompetenzerhalt durch das Begleiten der Entwicklung der Reaktorsysteme der dritten Generation im Ausland, um Beratung leisten zu können. Falls in der Schweiz in den kommenden Jahrzehnten ein neues Kernkraftwerk gebaut wird, könnte die Lehre und Forschung entsprechend dem von der Industrie gewählten Reaktortyp ergänzt werden.
- **Blick in die fernere Zukunft:** Am 13. April 2005 hat der Bundesrat das Abkommen für den Beitritt der Schweiz zum «Generation IV International Forum» (GIF) unterzeichnet. Dies ist ein sehr wichtiger Schritt für die Schweizer Nuklearforschung, da die Teilnahme am GIF dem PSI ermöglicht, aktiv an der internationalen Entwicklung von innovativen Reaktorsystemen und Kernbrennstoffkreisläufen teilzunehmen. Unter den sechs vom GIF ausgewählten Systemen interessiert sich das PSI besonders für den gasgekühlten Schnellen Reaktor (GFR) und den Ultrahochtemperatur-Reaktor (VHTR). Besondere Herausforderungen sind dabei die Entwicklung von Materialien im Hochtemperaturbereich von 850–1000°C, die den qualitativen Anforderungen und der langen Einsatzzeit von 40-60 Jahren genügen, sowie die Kopplung mit thermischen Verfahren für die Wasserstoffproduktion an die Hochtemperatur-Wärme aus Kernenergie.

Interessant sind auch Untersuchungen zum Systemverhalten von fortgeschrittenen schnellen Reaktoren.

ren, die sich für die Aktiniden-Transmutation eignen, sowie entsprechende Bestrahlungsexperimente mit geeigneten Neutronenspektren. Das PSI verfügt dazu über relevante Forschungsanlagen, beispielsweise die Spallations-Neutronenquelle SINQ und das Hotlabor, die für die Durchführung des internationalen «Megapie»-Projekts (Megawatt Pilot Target Experiment) unerlässlich sind.

- **Fusion:** Neben Lehre und Grundlagenforschung auf dem Gebiet der Plasmaphysik ist das CRPP vor allem bei der Entwicklung der kontrollierten Kernfusion im Rahmen von Euratom tätig. Die Arbeiten über Plasma- und Fusionsphysik sind voll in die europäischen und globalen Fusionsprojekte integriert. Damit ist sichergestellt, dass das CRPP, das im Rahmen des ab 2006 anlaufenden Programms zum Bau des Internationalen Thermonuklearen Experimentalreaktors (ITER) in Südfrankreich eine wichtige Funktion hat, auch künftig in der Spitzenforschung mithalten kann. Darüber hinaus leistet das CRPP wichtige Beiträge beim Erarbeiten von spezifischem Fachwissen und beim Technologietransfer im Gebiet der Materialwissenschaften. Bereits früher gab es Berührungspunkte zwischen Fusion und Fission, beispielsweise beim Einsatz von Hüllmaterialien aus Schnellen Brütern in den Plasmagefässwänden von Fusionsreaktoren. Heute gibt es eine Konvergenz zwischen PSI und CRPP in der Materialforschung (Verhalten von Materialien unter Strahlung im Hochtemperaturbereich), beispielsweise im Rahmen des neuen Competence Center for Energy and Mobility (CCEM-CH) des ETH-Bereichs (vgl. Kap. 2.2.2).

2.2.2 Übergeordnete Forschungsaktivitäten

Competence Center for Energy and Mobility (CCEM-CH): Anfangs 2006 hat der ETH-Rat unter Federführung des PSI (Leading-House) mit dem Aufbau eines Kompetenzzentrums für Energie und Mobilität begonnen. Das CCEM-CH soll mit seiner Forschungs- und Entwicklungsarbeit einen signifikanten Beitrag für eine nachhaltige Energieversorgung und die Stärkung des Wirtschaftsplatzes Schweiz durch technische Innovation leisten. Das neue Zentrum bündelt Forschungskompetenzen der Schweizer Hochschulen und Forschungsinstitutionen, namentlich aus dem PSI, den beiden ETHs, der EMPA und der Hochschule für Technik der FH Nordwestschweiz. Es will sich als attraktiven Forschungspartner für die Industrie positionieren und eine gesamtschweizerische Plattform für das Formieren von Projektteams unter Beteiligung der Industrie schaffen. Grundsätzlich soll ein Forschungsprojekt von mindestens zwei Partnern aus dem Hochschulbereich und einem Industriepartner getragen werden. Die Finanzierung erfolgt zu 10–20% aus Mitteln des CCEM-CH; der Rest wird von den jeweiligen Partnern unter allfälliger Beteiligung der KTI oder anderen Förderorganisationen oder über Industriebeiträge finanziert. Die Aktivitäten des CCEM-CH schliessen grundsätzlich auch die Kernenergie ein. Nach der ersten Ausschreibungsrunde vom Ende Februar 2006 behandelt das dreijährige Projekt zum Thema „Hochtemperatur-Materialentwicklung“ (Juli 2006 bis Juni 2009) die extrem hohen Anforderungen an Materialien. Vorgesehen sind rund zwei Ausschreibungsrunden pro Jahr.

Energy Science Center (ESC) der ETH Zürich: Das ESC ist im März 2005 gegründet worden mit dem Ziel, die Kompetenzen in der Energieforschung an der ETH Zürich zu bündeln und den interdisziplinären Charakter der Energieforschung zu verstärken. Das ESC ist auf die Strategie des ETH-Bereichs auf dem Gebiet der Energie abgestimmt und beteiligt sich an entsprechenden, institutsübergreifenden Energieprojekten. Das Kompetenzzentrum umfasst 32 Professoren aus elf der 15 ETH-Departementen. Seit September 2007 wird vom Department für Maschinenbau und Verfahrenstechnik (MAVT) und vom Department Informationstechnologie und Elektrotechnik (ITET) ein Joint-Masterstudiengang in «Energy Technology and Science» angeboten. Dieser Master sieht unter anderem den obligatorischen Kurs «Energy Conversion Technologies» vor, der auch kernenergiespezifische Themen im Umfang von zwei Kurswochen umfasst. Zudem können die Studierenden die übrigen nukleartechnischen Lehrangebote an der ETHZ und der EPFL als Wahlfächer in ihre Ausbildung einbeziehen. Das Prinzip dieses Masterstudiengangs besteht darin, dass die Studierenden – neben dem obligatorischen Teil – mit Hilfe eines Tutors ihr individuelles Ausbildungsprofil zusammenstellen können. Bezüglich Forschung stehen im ESC im Nuklearbereich vor allem Sicherheit und Abfallentsorgung im Vordergrund.

Centre interdisciplinaire de l'énergie der EPF Lausanne: Auch an der EPFL wird gegenwärtig ein interdisziplinäres Energieforschungszentrum aufgebaut.

Diese forschungspolitischen Entwicklungen zeigen, dass Energiefragen inzwischen oben auf der Prioritätenliste des ETH-Bereichs stehen. Das ist zwar erfreulich, doch ist nicht auszuschliessen, dass die Kernenergie aufgrund von operativen Mechanismen an der Seitenlinie stehen bleiben könnte, ohne dass dies beabsichtigt wird. Damit beispielsweise im CCEM-CH Projekte aus dem Bereich der Kernenergie aufgenommen werden, bedarf es besonderer Anstrengungen.

2.2.3 Herausforderungen für die Forschung im Bereich der Kerntechnik

In der nuklearen Forschung ist wie in allen anderen Wissensbereichen die Zeit des rein nationalen Denkens vorbei. Die Spitzenforschung findet auf internationaler Ebene statt, beispielsweise im Rahmen von Euratom oder des «Generation IV International Forum» (GIF, siehe Kap. 2.2.1). Wer aber international als attraktiver Partner ernst genommen werden will, muss auf nationaler Ebene über die erforderlichen Kompetenzen und Infrastrukturen verfügen. Wichtig ist in diesem Zusammenhang, dass die Kernenergie dabei vor allem auch von der Forschung in den Bereichen Materialwissenschaften und Strahlenbiologie profitieren kann.

Zusammenfassend lassen sich die zentralen Herausforderungen der kommenden Jahre für die schweizerische kerntechnische Forschung wie folgt zusammenfassen:

- Abdecken der betrieblichen Bedürfnisse und das Management von Alterungsphänomenen in den bestehenden Kernkraftwerken

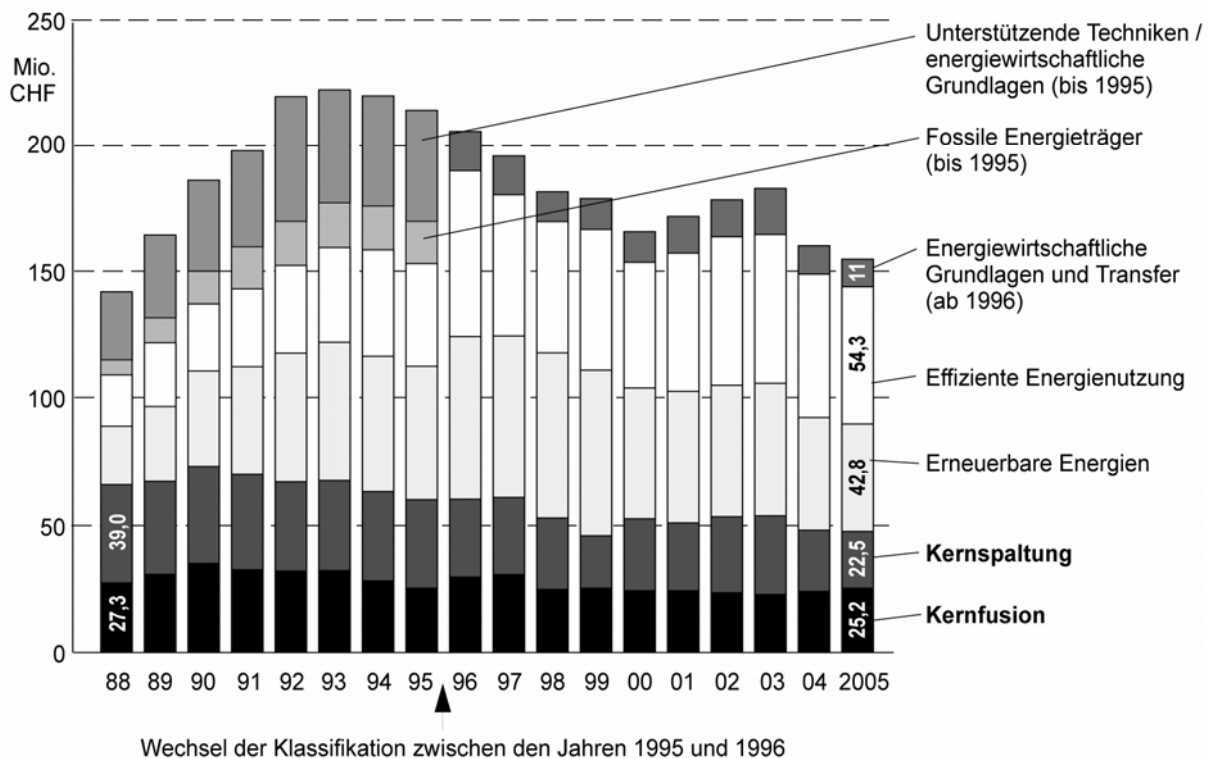
- Durchführen von spezifischen Sicherheitsanalysen im Hinblick auf die Rahmenbewilligungsgesuche für geologische Tiefenlager.
- Forschung im Rahmen der Generation IV, insbesondere das Schliessen der Kernbrennstoffkreislaufes und die Erhöhung der Wirkungsgrade durch Hochtemperaturreaktoren, was neue Anforderungen an die Werkstoffe stellt.

2.2.4 Forschungsfinanzierung

Nach einem jahrzehntelangen (realen) Rückgang der nuklearen Forschungsmittel des Bundes und dem Ersatz durch Mittel aus der Industrie hat sich inzwischen die Lage im ETH-Bereich konsolidiert (vgl. Grafik), wobei vom Bund gegenwärtig stabile Budgets versprochen werden. Das ist zu begrüßen, nachdem noch vor kurzem von der Eidgenössischen Energieforschungskommission (CORE) signalisiert wurde, dass die Kernenergie keine Zukunft mehr habe. Mit der Unterzeichnung des GIF-Vertrags durch den Bundesrat blickt man jetzt beim PSI optimistisch in Zukunft.

Aufwendungen der öffentlichen Hand für die Energieforschung in der Schweiz 1988–2005

(inklusive Pilot- und Demonstrationsprojekte; Werte nicht teuerungskorrigiert)



(Quelle: Bundesamt für Energie)

© 2007 Nuklearforum Schweiz

Dem NES stellt der Bund für die nukleare Energieforschung im Bereich der Fission (ohne biologische Strahlenwirkung) jährlich weniger als CHF 20 Mio. direkt zur Verfügung. Dieses Forschungsvolumen wird von Drittmitteln in gleicher Höhe ergänzt. Angesichts des Umstandes, dass die Nukleartechnik heute eine hohe Reife erreicht hat, erscheint dieser ungefähre Verteilungsschlüssel vernünftig und sollte beibehalten werden. Der Druck zum Einwerben von Drittmitteln fordert die Forschenden, praxisnahe Fragestellungen anzugehen. Zurzeit interessiert sich die Industrie vor allem für Fragen im Zusammenhang mit der Kernkraftwerkstechnik der zweiten Generation, aber auch für die neuen, marktreifen Reaktortypen der dritten Generation (etwa den Europäischen Druckwasserreaktor EPR von Framatome, den fortgeschrittenen Druckwasserreaktor AP1000 von Westinghouse oder den Siedewasserreaktor ESBWR von General Electric) mit dem Ziel, am Puls der neuesten technischen Entwicklungen zu bleiben. Am PSI sind alle Forschungsprojekte vertraglich in internationale Kooperationen, auch mit der Industrie, eingebunden, wobei über alle Projekte in der Regel öffentlich publiziert wird.

Ende 2005 hat «swisselectric», die Organisation der grossen Stromverbundunternehmen in der Schweiz, das Forschungsprogramm «swisselectric research» ins Leben gerufen. Das Programm unterstützt die angewandte Forschung und Entwicklung auf allen Gebieten der Elektrizität einschliesslich der Kernenergie mit dem Ziel, zukunftsweisende Vorhaben im Energiebereich zu verwirklichen, den Technologietransfer zwischen Hochschulen und Industrie zu begünstigen und den Nachwuchs an den Hochschulen im Energiebereich zu fördern. Dafür werden jährlich bis zu CHF 10 Mio. eingesetzt. Projekte können auf Initiative von Forschungsinstitutionen durchgeführt oder von «swisselectric» selbst angeregt werden. Geführt wird das Programm von einer Fachgruppe.

Aus Sicht der Industrie ist es wichtig, dass es an den staatlichen Forschungsinstitutionen der Schweiz «Honest brokers» gibt, die von der Öffentlichkeit als unabhängige Experten anerkannt werden. Kritisiert wird seitens der Industrie die von der Politik geförderte Tendenz, die Finanzierung von Forschung und auch der Lehre immer mehr der Wirtschaft zu übertragen, um so die Staatskasse zu schonen. Einerseits handle es sich bei der Grundlagenforschung und bei der Lehre um klassische Staatsaufgaben, und andererseits entstehe dadurch ein Zielkonflikt, da von der Industrie finanzierte Forschungsarbeiten im aktuellen politischen Umfeld Gefahr laufen, von der Öffentlichkeit als wenig vertrauenswürdig abqualifiziert zu werden.

2.3 Gesamtbewertung der Situation im ETH-Bereich

Mit der Schaffung der neuen Professur an der ETHZ und der engen Kooperation von ETHZ, EPFL und PSI ist eine zukunftsfähige Grundlage geschaffen worden, auf der sich der künftige Bedarf der Schweiz an Kernfachleuten auf akademischer Ebene grundsätzlich decken lässt. Die kommenden Jahre werden zeigen, ob das gegenwärtig im Aufbau befindliche Angebot auf eine entsprechende Nachfrage seitens

der Studierenden aus dem In- und Ausland stossen wird. Andererseits ist abzuklären, welche Positionen für die Studienabgänger mit Masterausbildung am Arbeitsmarkt vorhanden sind.

Eine Lücke besteht gegenwärtig bei der Fortbildung. Vorschläge für die Wiederaufnahme von Überblickskursen für Praktiker sind vorhanden, aber noch nicht konkret an die Hand genommen.

Bei der Forschung ist die Lage übersichtlicher: Auf ausgewählten Gebieten ist die Schweizer Nuklearforschung an der Weltspitze dabei, so beispielsweise in der experimentellen Reaktorphysik (Untersuchungen am PROTEUS), in der Thermohydraulik (passive Wärmeabfuhr) und bei Teilaspekten der Aktiniden-Transmutation (Technologieentwicklung für beschleunigergespeiste Systeme im «Megapie»-Projekt). Auf anderen Gebieten stellt die praxisorientierte Nachfrage der Industrie sicher, dass die zentralen Kompetenzen erhalten bleiben (neutronenphysikalische Berechnungen, Sicherheitsanalysen, Untersuchung radioaktiver Materialien inkl. Schadensanalysen).

Insgesamt läuft die Entwicklung in die gewünschte Richtung. Für den Ausschuss für Wissenschaft des Vorstands des Nuklearforums stellen sich dennoch die folgenden Fragen:

- Ist das neue Masterprogramm genügend auf die Bedürfnisse der Industrie ausgerichtet?
- Wie, wo und für wen soll ein Fortbildungskurs entwickelt und angeboten werden?
- Ist das Wissen um die Relevanz der Fissions- und Fusionsforschung für die künftige Energieversorgung in den forschungspolitischen Gremien der Schweiz genügend verankert?
- Wird die anwendungsbezogene Forschung in grösserem Stil künftig an der ETHZ einen genügenden Stellenwert im Vergleich zur Grundlagenforschung erhalten?

Fazit: In den vergangenen Jahren ist im ETH-Bereich viel für die Neustrukturierung der Energieforschung unter Einbezug der Kernenergie getan worden. Das Lehr- und Forschungsangebot im Nuklearbereich ist jedoch kein Selbstläufer. Der Erfolg stellt sich nur ein, wenn die Studierenden für dieses Fachgebiet gewonnen werden können. Nötig sind geeignete Werbemassnahmen unter den potenziellen Interessenten (Mittelschüler, Studierende). Weiter ist auch denkbar, dass auch die Kernkraftwerke und das PSI bestimmte Mitarbeiter, deren berufliches Fortkommen gefördert werden soll, für den Besuch des Masterprogramms freistellen, wie das beispielsweise in Belgien gemacht wird.

Tab. 1

Nukleare Forschungsinfrastrukturen in der Schweiz

Anlage	Ort	Betreiber	Bemerkungen
Forschungsreaktoren			
CROCUS	EPFL	Laboratoire de physique des réacteurs et de comportement des systèmes (LRS)	Inbetriebnahme 1983, therm. Leistung 100 W, Moderator: Leichtwasser. Einsatz nur für Lehre.
PROTEUS	PSI	NES, Labor für Reaktorphysik und Systemverhalten (LRS)	Inbetriebnahme 1968, sehr flexibler, multizonaler Nullleistungs-Forschungsreaktor. Moderator: Graphit-Schwerwasser-Leichtwasser. Besonderheiten: Versuche mit kommerziellen Brennelementen sowie mit schnellen Neutronenspektren möglich.
AGN 211 P	Universität Basel	Institut für Physik	Inbetriebnahme 1959, therm. Leistung 2 kW, Moderator: Leichtwasser. Einsatz nur für Lehre.
AGN 201 P	Universität Genf	–	Inbetriebnahme 1958, stillgelegt 1987. Inzwischen vollständig abgebaut.
Andere Infrastrukturen			
CARROUSEL	EPFL	Laboratoire de physique des réacteurs et de comportement des Systèmes (LRS)	Anlage für Neutronendifusions-Praktikum
LOTUS	EPFL	Laboratoire de physique des réacteurs et de comportement des Systèmes (LRS)	14MeV-Neutronenquelle für Forschungszwecke. Seit 1994 abgeschaltet.
TCV	EPFL	Centre de Recherches en Physique des Plasmas (CRPP)	Tokamak à Configuration Variable: Experimentelle Grossanlage zur Untersuchung von Plasmen.
SINQ	PSI	PSI	Spallations-Neutronenquelle für eine Vielzahl von Anwendungen
HOTLAB	PSI	NES	Grossanlage für Materialforschung an hochradioaktiven Komponenten und Proben.
PANDA	PSI	NES, Forschungslabor für Thermohydraulik	Testanlage für passive Wärmeabfuhr und Druckentlastung.
ARTIST	PSI	NES, Forschungslabor für Thermohydraulik	Testanlage für die Untersuchung des Verhaltens von Aerosolen und Jod bei schweren Unfällen.
DRAGON	PSI	NES	Vielseitige Anlage für die Herstellung von Aerosolen, die bei schweren Unfällen auftreten können.
MicroXAS	PSI	Synchrotron Lichtquelle Schweiz (SLS)	Strahllinie zur Untersuchung radioaktiver und kerntechnischer Proben auf molekularer Ebene.
SULTAN	PSI	Centre de Recherches en Physique des Plasmas (CRPP)	Weltweit grösste Testanlage zur Untersuchung und Charakterisierung von supraleitenden Kabeln (Tiefemperatur-Supraleiter).
Beschleuniger 4MeV	Universität Basel	Institut für Physik	Abbau im Jahr 2006 vorgesehen. Einsatz für Lehre und Forschung
Zyklotron	Universitätsspital Zürich	Klinik für Nuklearmedizin	Produktion von meist sehr kurzlebigen Radioisotopen, insbesondere für die PET-Diagnostik

3 Kantonale Universitäten

3.1 Universität Basel

Aufgrund einer Portfolio-Analyse beschloss die Universität Basel im Jahr 2004, nach der Emeritierung von drei Dozenten die Kernphysikforschung zu schliessen. Andererseits wollte man die im öffentlichen Interesse liegende Weiterbildung und Dienstleistung am seit 1959 vorhandenen kleinen Versuchsreaktor im Institut für Physik in ein möglichst selbst tragendes «Profit-Center» einbetten. In diesem Sinn soll die Infrastruktur in die praktische kernphysikalische Ausbildung der Schweiz und des nahen Auslands eingebracht werden, da der Forschungsreaktor PROTEUS am PSI durch Forschungsprojekte ausgebucht und für Ausbildungszwecke unzugänglich ist. Der hohe Neutronenfluss des Basler Reaktors ermöglicht zudem bestimmte Experimente, die mit den Reaktoren von PSI und EPFL nicht möglich sind. Er bildet daher eine sinnvolle Ergänzung zum Schulungsreaktor CROCUS an der EPFL. In Zukunft wird die Reaktorschule ein Praktikum am Forschungsreaktor fest in ihr Ausbildungsprogramm einbinden.

Im Jahr 2006 hat die Entwicklung der Aktivitäten am Ausbildungsreaktor gute Fortschritte gemacht. Viele mit dem Rektorat besprochene Projekte konnten erfolgreich umgesetzt werden. Im Besonderen sind die Erfolge der Neutronenaktivierungsanalyse (NAA) zu nennen, sowie der Ausbau der Ausbildung der Reaktoroperateure. 77% der Reaktornutzung liegt im Rahmen der Schwerpunkte der Universität Basel.

Der Reaktor und die dazugehörige Infrastruktur in Basel dienen folgenden Ausbildungszwecken:

- Praktika im Rahmen des Physikstudiums (früher obligatorisch, heute den Studierenden stark empfohlen) mit 5 bis 10 Studierenden pro Sommersemester.
- Praktika der Reaktorschule des PSI (siehe Kap. 5.1) an drei statt zwei Tagen pro Jahr. Die Praktika werden seit 1995 (Abbau von SAPHIR am PSI) in Basel durchgeführt. Geplant ist eine Erhöhung auf drei Tage pro Jahr.
- Nutzung durch die private Strahlenschutzschule SafPro AG in Basel an ca. vier Tagen (Kap. 5.2).
- Neutronen-Aktivierungs-Analysen (NAA) im Lebensmittelbereich durch das Kantonale Laboratorium Basel-Stadt (z.B. für das Auffinden von Bromrückständen aus Insektiziden in Tee und Gewürzen).
- Kurse für Gymnasiasten und Betreuung von Maturaarbeiten im Rahmen der Initiative «Patenschaft für Maturaarbeiten» der Schweizerischen Akademie der Naturwissenschaften (SCNAT).
- Ab Januar 2006 werden Aus- und Fortbildungskurse in NAA mit Schwergewicht auf der Gamma-Spektroskopie angeboten. Zielgruppe sind Studierende an ETH, Universitäten und Fachhochschulen (z.B. Fachbereiche Radiochemie, Archäologie, Geologie, Lebenswissenschaften, Forensik usw.) sowie Personengruppen aus Firmen und Amtsstellen (kantonale Laboratorien, medizinisch-pharmazeutisches Personal, etc.). In der Schweiz existiert kein anderes solches Angebot. Geplant sind zudem Forschungsprojekte, die auf dieser Analysemethode beruhen.

Aus Basler Sicht ist in der Schweiz der Einsatz der grossen Ausbildungsinfrastrukturen (vgl. Tab. 1) noch ungenügend koordiniert. So könnte der Basler Reaktor auch für Praktika im Rahmen des geplanten gesamtschweizerischen «Masters in Nuclear Science and Technology» (siehe Kap. 2.1.2) eingesetzt wer-

den. Basel verfügt auch über die Infrastruktur, um anwendungsorientierte praktische Kernphysik zu lehren.

Nicht zu vergessen ist das Interesse vieler Gruppen, welche die Anlage besichtigen. Einen laufenden Reaktor zu sehen ist ein eindrückliches Ereignis, welches viele Besucher begeistert. Im Jahr 2006 besuchten die Anlage 2 Gymnasialklassen, ca. 30 Chemiestudenten der Universität Basel, sowie die archäologische Bodenforschung Basel-Stadt (ca. 25 Besucher).

Der Basler Reaktor weist folgende Eigenschaften auf:

- Brennstoff ~2kg UAlx
- Steuerstäbe 4
- max. Nennleistung 2kW
- max. wöchentlich erlaubte Betriebszeit 30 Stunden
- Neutronenfluss $4 \cdot 10^{10}$ n/cm²s

Folgende Vorzüge sind neben weiteren zu nennen:

- Für Absorptions- und Streuexperimente mit einem reaktorspezifischen Neutronenspektrum kann der Reaktorkern seitlich verschoben werden – dies trifft nur für den Basler Reaktor zu.
- Der Reaktor kann in laufendem Zustand besichtigt werden, was für viele Besucher und Schulen sehr eindrücklich ist
- Die beiden Bestrahlungskanäle (zentral und am Rand) erlauben differenzierte Messungen von Einflussfunktionen.
- Neu sind drei Germanium-Spektroskopieanlagen mit state-of-the-art Auswertesystemen.

3.2 Universität Bern

Um sicherzustellen, dass die Radiochemie in der Schweiz weiterhin angeboten wird, wurde 1993 auf Anstoss des damaligen Staatssekretärs für Wissenschaft und Forschung an der Universität Bern ein gesamtschweizerisches Lehrangebot für Radiochemie geschaffen, das gemeinsam vom Bund und vom Kanton Bern getragen wird. Das Lehrangebot in Bern umfasst einen obligatorischen Einführungsblock in Radioaktivität/Radiochemie für Chemiker und Biologen, einen für die Biologen obligatorischen Ausbildungsblock in biochemischen Methoden und eine für die Chemiker obligatorische Einführung in die Radiochemie mit Praktikum. Fakultativ angeboten werden: Anwendung von Radioisotopen, schwere Elemente sowie Radioaktivität in der Umwelt inklusive Datierungsmethoden (wichtig z.B. für die Paläoatmosphärenforschung). Die Doktorandenausbildung findet zu zwei Dritteln am PSI statt.

Den Studenten wird ein Kurs im Kantonalen Laboratorium Basel-Stadt über die Neutronenaktivierungsanalyse angeboten.

Mehr als die Hälfte der Studierenden in Radiochemie stammt aus dem Ausland. Festgestellt werden kann, dass die Studierenden heute problemlos für eine Vertiefung in Radiochemie motiviert werden können. Das Gebiet ist bei jungen Menschen eindeutig weniger ideologisch belastet als noch vor 15 Jahren.

Im Zusammenhang mit der Bologna-Reform und der in fünf Jahren anstehenden Emeritierung des heutigen Lehrstuhlinhabers stellt sich die Frage, ob und wie die Radiochemie in der Schweiz weitergeführt werden soll. Vorgesehen ist, dass 2006 eine Gesamtevaluation zur Radiochemie durchgeführt wird. Dabei stellt sich unter anderem die Frage, ob ein «Master in Radiochemistry» geschaffen werden soll. In der Praxis ist es jedoch fraglich, ob ein spezifischer radiochemischer Master wirklich nötig ist, da erfahrungsgemäss 90% der Chemiker ohnehin promovieren. Ein «Master in Chemistry» mit «Minor in Nuclear Chemistry» könnte demnach genügen, da auf dem Arbeitsmarkt vor allem die Vertiefungsrichtung beim Doktorat relevant ist. Die Lage präsentiert sich hier demnach anders als bei den Nuklearingenieuren, wo ein markttauglicher Abschluss ohne PhD nötig ist. Wichtig ist, dass die Radiochemie auch künftig in der Schweiz weiterbetrieben wird, in Bern oder anderswo.

Im Wintersemester 2006/07 wurde erstmals ein Lehrgang nach neuer Ordnung in Nuclear Chemistry angeboten. Zurzeit geht es darum, diesen «Minor in Nuclear Chemistry» mit Leben zu füllen.

Das Physikalische Institut der Universität Bern hat drei Hauptbereiche, nämlich das Labor für Hochenergiephysik (LHEP), der Bereich Klima- und Umweltphysik (KUP) sowie der Bereich Raumforschung und Planetenwissenschaften. Das Labor für Hochenergiephysik ist dem Bereich Experimentalphysik angegliedert und besteht aus den Teilbereichen Hochenergie Beschleunigerphysik, Neutronenphysik und Entwicklung neuartiger Teilchendetektoren.

3.3 Universität Freiburg

Im Departement für Physik wird theoretische und experimentelle Physik gelehrt. In diesem Rahmen gibt es eine einführende Vorlesung über Kern-, Teilchen- und Astrophysik. Kernphysik ist dort seit fünf Jahren kein Thema für Forschung mehr. Innerhalb des Masterstudiengangs für Physik gibt es alle zwei Jahre eine Vorlesung „Radioaktivität und Strahlung“.

Im Bereich Kernenergie und Strahlenschutz werden drei Module zu je zwei Stunden angeboten: „Resources des sciences de l'environnement“. Des Weiteren absolvieren die Physiker höherer Semester einige Experimente innerhalb der Nuklearphysik (Neutronenphysik und Gammaskopie etc).

Dort besteht auch die Möglichkeit, eine Master- oder Doktorarbeit anzufertigen. Die neu eingerichteten Bachelor- und Masterstudiengänge in Biomedizin haben in ihre Lehrpläne weder Radiochemie noch Radiobiologie integriert.

3.4 Universität Genf

Der Forschungsreaktor der Universität Genf wurde schon seit längerem stillgelegt. Das Département de Physique Nucléaire et Corpusculaire der Universität Genf lehrt keine angewandte Fächer im Nuklearbereich. Es beschäftigt sich im Wesentlichen mit der theoretischen Physik. Darunter zählen die Teilchenphysik und -beschleuniger, Kernphysik, Detektorenphysik und -detektoren sowie die Quantenmechanik. Innerhalb der Kernphysik werden die generellen Eigenschaften und Struktur von Atomkernen, kernphysikalische Reaktionen sowie Strahlenschutz im Allgemeinen gelehrt. In diesem Rahmen wird den Studenten an acht Terminen ein achtstündiges Praktikum angeboten.

Weiter werden Vorlesungen zu den Grundlagen der Physik z. B. für Studenten der Medizin, Biologie und Pharmazie, Mathematik, Chemie und Geologie angeboten.

An der Section de Chimie et Biochimie der Universität Genf wird eine Vorlesung über das Verhalten von Radionukliden in der Umgebung bzw. die biologischen Auswirkungen ionisierender Strahlung.

Das „Institut de Médecine Nucléaire de la clinique Générale-Beaulieu“ (CGB) bietet zwar keinen direkten Unterricht an, gilt jedoch als Kompetenzzentrum auch für die Faculté de Médecine der Universität Genf. Letztere bietet Vorlesungen im Fach Radiologie und insbesondere Strahlendiagnostik sowie über Nuklearmedizin und Radioonkologie.

3.5 Universität Lausanne

An der UNIL arbeiten etwa 40 Personen im Institut universitaire de radiophysique appliquée (IRA), das dem Waadtländer Universitätsspital CHUV angegliedert ist. Schwerpunkt der Forschung bilden die medizinischen Anwendungen von ionisierenden Strahlen (Nuklearmedizin, Strahlentherapie, strahlendiagnostische Bildgebung, radiopharmazeutische Chemie und Strahlenschutz). Diese Forschung ist am IRA in einem einzigen Zentrum in weitere verwandte Arbeitsgebiete eingebunden, wie

- die Basismessung von Radioaktivität (Dosimetrie) im Auftrag des Bundesamts für Metrologie
- die Überwachung der Umweltradioaktivität (chemischer Nachweis von Nukliden) im Auftrag des Bundesamts für Gesundheit
- die landesweite Prüfung und Eichung von Instrumenten.

Die spürbarste Lücke des IRA ist – wie auch landesweit – das Fehlen der Forschung im Bereich der Strahlenbiologie (vgl. Kap. 3.10). Nur teilweise wird die Neutronen-Dosimetrie betrieben (das Kompetenzzentrum befindet sich am PSI).

Schwerpunkt der Lehre des IRA ist die Strahlenschutz Ausbildung für die gesamte Romandie – das einzige französischsprachige Angebot dieser Art in der Schweiz. Die Lehre am IRA richtet sich an rund 350 Medizinstudierende im ersten Studienjahr, an rund 100 MTRA-Studierende (techniciens en radiologie médicale) sowie an rund 200 Berufsleute aus der Romandie, die bei ihrer Arbeit ionisierende Strahlen anwenden.

3.6 Universität Neuchâtel

Am Institut für Physik der Universität Neuchâtel gibt es für Physikstudenten nur eine allgemeine Einführung in die Kern- u. Astrophysik sowie eine weiterführende Vorlesung ergänzt durch Übungen über Kernphysik. Das Centre de Hydrogéologie arbeitet im Auftrag des BAG. Momentan beschäftigt sich eine Professur noch mit der natürlichen Radioaktivität. Ansonsten gibt es keine Aktivitäten im Nuklearbereich.

3.7 Universität Zürich

Bedauerlicherweise wurde vor zwei Jahren an der Universität Zürich die Professur für Strahlenbiologie (Medizinische Fakultät) gestrichen. Daher gibt es in Zürich nur noch die Professur für Technetium- und Rheniumchemie (Mathematisch-naturwissenschaftliche Fakultät). Die Gruppe von gut einem Dutzend Personen benützt die Infrastruktur der ehemaligen Radiochemie weiter.

Es gibt für Physiker Vorlesungen zur Kern- und Teilchenphysik.

3.8 Lagebeurteilung im Bereich der Radiochemie

- **Arbeitsmarkt:** In den vergangenen 12 Jahren wurden in Bern und am PSI insgesamt 25 Doktoranden ausgebildet, von denen allerdings nur vier im nuklearen Umfeld tätig geworden sind. Alle Doktoranden haben problemlos eine Stelle gefunden (insbesondere auch in Deutschland), was darauf hinweist, dass die nuklearchemische Ausbildung marktkonform ist und ein breites Berufsspektrum öffnet. Abnehmer sind vor allem Umweltämter sowie die chemische Industrie, die den Umstand nutzt, dass Radiochemiker über eine besondere Sicherheitskultur verfügen und dafür ausgebildet sind, anspruchsvolle Synthesen mit Gefährdungspotenzial durchzuführen (auch wenn keine radioaktiven Stoffe involviert sind). Zudem arbeiten viele Radiochemiker am PSI im Bereich der «Radiopharmazie». Berufsmöglichkeiten gibt es weiter an den Spitälern, wo in der Regel wenig radiochemisches Fachwissen vorhanden ist, so zum Beispiel über das künftige Entwicklungspotenzial radiochemischer Methoden.

Anders präsentiert sich der Arbeitsmarkt für Radiochemiker in den Kernkraftwerken, wo die Chemiker die spezifischen Anforderungen im Umgang mit der Radioaktivität «on the job» lernen (siehe Kap. 7.1). Aus akademischer Sicht ist aber darauf hinzuweisen, dass das Arbeiten mit offenen radioaktiven Quellen nicht so schnell zu lernen ist und die universitäre Ausbildung den Vorzug hat, dass dort auch mal Fehler gemacht werden dürfen, mit entsprechendem Erfahrungsgewinn. Die spezifische Kultur im Umgang mit radioaktiven Stoffen lässt sich am effizientesten in der Ausbildungszeit vermitteln.

- **Nachdiplom-Studien:** Die Einführung von Postgraduate-Kursen in Radiochemie steht zurzeit in Diskussion. Die konkreten Arbeiten dazu haben jedoch wegen der Bologna-Studienreform noch nicht eingesetzt. Es stellt sich die Frage, ob solche Kurse an den Fachhochschulen angesiedelt werden könnten. In Deutschland wurde an der Fachhochschule Aachen erstmals ein Lehrgang auf Fachhochschulniveau geschaffen. Aus Schweizer Sicht ist es interessant zu verfolgen, ob sich dieses Angebot bewährt.
- **Forschung:** Radiochemische Forschung beinhaltet die Bearbeitung grundlagenorientierter Themen wie die chemische Untersuchung exotischer, radioaktiver Elemente – vorwiegend am obersten Ende des Periodensystems, aber auch die Anwendung radioaktiver Tracer in der chemischen Forschung allgemein. Zum «Pflichtteil» gehören heute ebenfalls Studien zum Verhalten radioaktiver Substanzen aus Abfallproben (Nukleartechnologie, Nuklearmedizin) in der Geosphäre. Zudem ist die Fachrichtung Radiopharmazie auf radiochemisches Know-How angewiesen, beispielsweise für die Synthese von Radiopharmaka aus künstlich hergestellten Radionukliden. Mit den zukunftsweisenden Projekten «Megapie» (Transmutation von radioaktiven Abfällen, siehe Kap. 2.2.1) und der Entwicklung von Reaktorsystemen der Generation IV eröffnen sich weitere attraktive Perspektiven in dieser Fachdisziplin. Dabei geht es oft um Fragen des Verhaltens radioaktiver Substanzen bei erhöhten Temperaturen in Fest- oder Flüssigphasen.

3.9 Nuklearmedizin

Die nuklearmedizinische Aus- und Weiterbildung wird in der Schweiz direkt von den medizinischen Fachgesellschaften übernommen. Sie erteilen eidgenössisch anerkannte Weiterbildungstitel in medizinischer Onkologie, Nuklearmedizin, (radio)pharmazeutischer Medizin, Radiologie, Radiologie-Onkologie / Strahlentherapie und verwandten Gebieten.

Die Ausbildungssituation in der Nuklearmedizin ist unübersichtlich und scheint im Umbruch zu sein. Uneinigkeit besteht beispielsweise zwischen Medizinphysikern und Radiologen. Diskutiert werden – allerdings nur in Ansätzen – u.a. der Bedarf für ein neues Ausbildungsgesetz und für neue Studieninhalte. Die Diskussion erfolgt sowohl in den Fachgesellschaften (u.a. Schweizerische Gesellschaft für Strahlenbiologie und Medizinische Physik, Schweizerische Gesellschaft für Nuklearmedizin) als auch im Bundesamt für Gesundheit (BAG).

Das Fach Nuklearmedizin bildet insofern eine Ausnahme, als das BAG die Ausbildung mit übernimmt. Zu absolvieren sind drei Ausbildungsmodule:

- Modul I: Theoretische Strahlenphysik und Messtechnik
- Modul II: Theorie und Praxis in 32 Lektionen (Messungen, gesetzliche Grundlagen, Dekontaminationsmassnahmen und praktischer Strahlenschutz). Dieses Modul ist auch für ausländische Ärzte obligatorisch (Bundesaufgabe).
- Modul III: Praktikum in 24 Lektionen (Radiochemie, Radiopharmazeutika, QM).

Das Institut für Pharmazeutische Wissenschaften der ETHZ (Prof. August Schubiger) und das Institut für Radiologie und Nuklearmedizin am Kantonsspital Basel/Universitätskliniken (Prof. Helmut Mäcke) halten den Kontakt zum BAG, um im Rahmen der Bologna-Reform das schweizerische Ausbildungswesen und Ausbildungsniveau aufeinander abzustimmen.

Pro Jahr absolvieren etwa 2 bis 3 Nuklearmediziner ihre Ausbildung zum Facharzt. Der Bedarf nach qualifizierten Wissenschaftlern für den Bereich Nuklearmedizin und Radio(onko)logie ist in dieser Form in der Schweiz noch nicht evaluiert worden. Die Radioonkologen sind die treibende Kraft in diesem Prozess, während bei den anderen nuklearmedizinischen Disziplinen kaum ein diesbezügliches Engagement festzustellen ist.

Für die Facharztausbildung in Nuklearmedizin sind schwerpunktmässig Kenntnisse in den folgenden nuklearen Basiswissenschaften nachzuweisen: (Apparate-)Physik (wie Röntgen und CT, PET usw.), Radiochemie, Radiobiologie und -pharmazie sowie Strahlenschutz. Die Weiterbildung wird an folgenden Orten durchgeführt: Universitätsspital Basel, Inselspital Bern, Universität Bern (Pathologie), Universitätsspital

Zürich, Zürcher Stadtspital Triemli, Universitätsspital Genf, Kantonsspital St. Gallen (Klinik für Nuklearmedizin), CHUV Lausanne. Das Kantonsspital in Aarau bereitet sich darauf vor.

Die Ausbildung zum Radiopharmazeuten ist an der ETHZ in die Pharmazie eingebettet (Institut für Pharmazeutische Wissenschaften). Dieser Kurs wird auch von ausländischen Studierenden genutzt (derzeit insgesamt 19 Teilnehmer) und mit einem ETH-Zertifikat (extended Master Kurs) abgeschlossen. Die Anforderungen wurden zusammen mit der Industrie festgelegt und entsprechen beispielsweise einem Berufsanfänger «Laborleiter PET-Labor». An der ETHZ werden ferner Ausbildungsmodulare (Nachdiplomkurse) zum Medizinal-Physiker durchgeführt; darin enthalten sind auch Strahlenschutzaspekte.

Es ist vorgesehen, dass im Herbst 2006 seitens des PSI ein strategischer Entscheid getroffen wird, wie es mit der Radionuklidforschung weitergehen soll.

Die Technetium-Forschung wird im Wesentlichen vom Institut für Radiologie und Nuklearmedizin am Kantonsspital Basel/Universitätskliniken abgedeckt. Darunter fallen auch Forschung mit Lutetium-177, Yttrium-90 und Jod-131 (Markierung von Antikörpern); d.h. in Basel wird – neben Zürich und CHUV/Genf – klinische Forschung auf dem Gebiet der Radiopharmazie durchgeführt. Wie diese Forschungsrichtung nach der Pensionierung von Prof. Mäcke weitergeführt wird, ist noch nicht entschieden.

In der Forschung über die Positronen-Emissions-Tomographie (PET) haben die ETHZ (Institut für Pharmazeutische Wissenschaften, IPW) sowie die Universitätsspitäler Zürich und Genf die führende Rolle übernommen. An der ETHZ wurde am 1. Januar 2003 das Departement Chemie und angewandte Biowissenschaften (D-CHAB) neu gegründet. Es umfasst das vormalige Departement Chemie (D-CHEM) und das Institut für Pharmazeutische Wissenschaften (IPW) des vormaligen Departements Angewandte Biowissenschaften (D-ANBI). Die Neugründung trägt dazu bei, die Wechselwirkungen zwischen Chemie und Pharmazeutischen Wissenschaften an der ETHZ zu vertiefen und die Arzneimittelforschung und -entwicklung von den Grundlagen bis zu den Prototypen an der ETHZ zu verstärken.

Dem D-CHAB gehören fünf Laboratorien und Institute an. Neben den Laboratorien für Anorganische Chemie (LAC), Organische Chemie (LOC) und Physikalische Chemie (LPC), sind dies die Institute für Chemie- und Bioingenieurwissenschaften (ICB) und Pharmazeutische Wissenschaften (IPW). Durch Verlegung des IPW an den Standort Hönggerberg ergeben sich bedeutende Synergien in Lehre und Forschung. Zusammen mit dem D-CHAB sowie den Departementen Biologie (D-BIOL) und Materialwissenschaften (D-MATL) entsteht so an der ETHZ ein Schwerpunkt «Life Sciences». Zudem wird die Forschungszusammenarbeit mit dem PSI (PET, Synchrotronstrahlenquelle, Energiespeichersysteme) verstärkt. Das PET-Zentrum wird als Teil des «Imaging Centers Zurich» auf dem Hönggerberg aufgebaut werden.

Das Biomedical Imaging ist schwerpunktmässig am Universitätsspital Zürich (Prof. Gustav von Schulthess) und an der EPFL am Laboratoire d'imagerie fonctionnelle et métabolique (LIFMET) angesie-

delt. Dieses Labor ist dem Centre d'imagerie biomédicale (CIBM) angegliedert, dem die EPFL, die Universitäten Lausanne und Genf sowie die Hôpitaux Universitaires de Genève (HUG) und das CHUV Lausanne angehören.

Die Zukunftsperspektiven der Wissenschaftler am PSI bezüglich der Isotopenproduktion zur Markierung von Antikörpern sind mit der SINQ nicht erfüllt worden, da das erforderliche energetische Spektrum nicht erreicht wird. Das Zyklotron am Universitätsspital Zürich erfüllt hingegen die Erwartungen für die Produktion von Radiopharmaka. Es wird zu einem Grossteil vom Pharmaunternehmen Schering finanziert (z.B. für die Herstellung von Fluor-18). In der angewandten Forschung (Markierung von Antikörpern) sind die Kontakte des PSI zur Industrie (z.B. Novartis) etabliert (Bsp.: Hochdosis-Jod-131, Kupfer-67).

Am PSI und an der ETHZ werden die Doktoranden in den folgenden Forschungsgebieten «wohldosiert» ausgebildet: Radionuclide Chemistry, Tumor Affine Peptides, Tumor Targeting, Molecular Imaging und Radioligands for Clinical Research. Pro Gruppe werden derzeit ca. 2–4 Doktoranden ausgebildet.

3.10 Lücken an den schweizerischen universitären Hochschulen

Die beiden bedeutendsten Lücken im schweizerischen Lehrangebot im Nuklearbereich finden sich in der Strahlenbiologie (Auswirkungen der ionisierenden Strahlung auf den Menschen) und in der Kernphysik. Beide Fächer werden nirgends mehr systematisch angeboten. Dringend wünschbar ist, wieder ein konsistentes Angebot in Kernphysik aufzubauen, umso mehr, als andere Länder (Deutschland, Japan) enorm in dieses Gebiet investieren. Ebenso wichtig ist ein Lehrangebot in Strahlenbiologie als Bindeglied zur Medizin.

4 Fachhochschulen

Im Fachhochschulbereich befassen sich traditionell mehrere Ingenieurschulen mit Themen, die für den Schweizer Kernenergiesektor von Bedeutung sind, auch wenn sie nicht ausdrücklich nuklear ausgerichtet sind. Dies gilt besonders für die Hochschule für Technik der FH Nordwestschweiz in Brugg-Windisch (vormals FH Aargau Technik), aber auch für die Ingenieurschulen in Burgdorf und Biel (Berner Fachhochschule), Muttenz (FH Nordwestschweiz) und Winterthur (Zürcher Fachhochschule). Eine spezielle Rolle spielt die Hochschule für Technik in Rapperswil (FH Ostschweiz) in der Starkstromtechnik. Starke Akzente in den Bereichen Leittechnik und Informationstechnologien setzen zudem die Ingenieurschulen der HES-SO in Freiburg (Telekommunikation, Leittechnik) und der FH Ostschweiz in Buchs (Mikrosystemtechnik) sowie – über die Energie- und Gebäudetechnik – die Ingenieurschulen in Horw (FH Zentralschweiz) und Yverdon (HES-SO).

Insgesamt finden sich im Portfolio der sieben regionalen Fachhochschulen folgende drei für die Nuklearwirtschaft interessante Bereiche:

- digitale Leittechnik
- Maschinenbau/Verfahrenstechnik und Teile der Fluid Dynamics
- Umweltchemie unter Einschluss von Teilen der Radiochemie

Hochschule für Technik der FH Nordwestschweiz in Brugg-Windisch: Das einzige spezifische Angebot in der Schweiz im Bereich der Kerntechnik findet sich heute an der Hochschule für Technik in Brugg-Windisch (seit dem 1. Januar 2006 ist die Hochschule für Technik mit Standort Brugg-Windisch – die ehemalige FHA Technik – für die Technikausbildung der gesamten FH Nordwestschweiz verantwortlich). In Brugg-Windisch wird im Rahmen des Bachelor-Studiengangs Maschinenbau u.a. die Vertiefungsrichtung Energietechnik angeboten. Sie umfasst die Ausbildungsmodule Fluidmechanik, Thermodynamik, Turbomaschinen, Verbrennungsmotoren und Kerntechnik.

Das Modul Kerntechnik beinhaltet die Grundlagen der Kernenergienutzung, Aufbau und Wirkungsweise insbesondere von Kernkraftwerken mit Leichtwasserreaktoren, und daneben auch weitere Reaktorkonzepte (Fusion, Schnelle Reaktoren, Hochtemperaturreaktoren). Pro Jahr durchlaufen durchschnittlich 12 Studierende diese Ausbildung. Es besteht die Möglichkeit von kerntechnisch ausgerichteten Semester- und Diplomarbeiten, die aber in den letzten Jahren kaum genutzt wurde. Noch bis 1993 umfasste das Modul Kerntechnik zwei Wochenstunden im 4., 5. und 6. Semester und schloss neben einer Exkursion ins Kernkraftwerk Gösgen ein Praktikum am Forschungsreaktor SAPHIR des PSI ein. Nach dessen Stilllegung fanden die Reaktorpraktika am Reaktor an der Universität Basel statt (vgl. Kap. 3.1). Später wurde die Zahl der Lektionen auf je 2 während 2 Semestern für die Fachrichtung Energietechnik reduziert. Zurzeit wird Kerntechnik im Rahmen der Vertiefungsrichtung Energietechnik nur noch mit einer Lektion pro Woche im sechsten Semester vermittelt, so dass kein Reaktorpraktikum mehr durchgeführt werden kann.

Zur Vermittlung der hierfür erforderlichen reaktorphysikalischen Grundlagen wäre eine Erhöhung auf mindestens zwei Wochenstunden erforderlich.

Die Vertiefungsrichtung Energietechnik in Brugg-Windisch vermittelt die Grundlagen für Ingenieure, die in der Energietechnik tätig sein wollen und ist nicht spezifisch auf Berufe in Kernkraftwerken ausgerichtet. FH-Ingenieure, die in Kernkraftwerken arbeiten, absolvieren eine Zusatzausbildung im Rahmen der Reaktorschule des PSI (vgl. Kap. 5.1).

Zürcher Hochschule Winterthur (ZHW): Bis 2005 wurden an der ZHW Energietechnik mit einem nukleartechnischen Kapitel unterrichtet. Mangels Interesse wird dieses Fach vorläufig nicht mehr angeboten. Die Interessenten für Energietechnik werden nach Brugg-Windisch verwiesen. Nichts desto trotz gibt es Vorlesungen zur Fluidmechanik und Thermohydraulik. Es existiert ein Kompetenzzentrum auf dem Gebiet Sicherheit und Risikoprävention.

Rapperswil ((FH Ostschweiz): Es gibt an der Fachhochschule Rapperswil ein umfangreiches Angebot zur Starkstromtechnik.

Burgdorf: In Burgdorf werden Vorlesungen in Verfahrens- und Werkstofftechnik angeboten.

Muttenz (FH Nordwestschweiz): Die Fachhochschule bietet regelmässige Vorlesungen in Verfahrenstechnik, Reaktionstechnik und Anlagensicherheit, Risikoanalysen (Departement Chemie), Energie- und Gebäudetechnik (Departement Bau und Elektrotechnik) an.

Freiburg (HES-SO): Unterrichtet werden die Fächer Telekommunikation und Leittechnik

Buchs (Ingenieurschule): An der Ingenieurschule Buchs wird die Mikrosystemtechnik gelehrt.

Horw und Yverdon (HES-SO): An den Fachhochschulen Horw und Yverdon gibt es Vorlesungen auf den Gebieten „Energie- und Gebäudetechnik“.

4.1 Bologna-Reform und Einführung von Master-Studiengängen

Die aktuelle Situation an den Fachhochschulen wird stark von der flächendeckenden Einführung des Bologna-Studiensystems geprägt. Die Bachelor-Studiengänge wurden im Wintersemester 2005/06 flächendeckend eingeführt und die ersten Studierenden haben das Studium nach dem neuen System bereits aufgenommen. Die Beschränkung der Studiengänge auf drei Jahre bzw. sechs Semester bis zum Bachelor führt in der Tendenz dazu, dass die Curricula eher verallgemeinert und stärker projekt- und problem-

orientiert ausgerichtet werden. Eine Spezialisierung kann nur im dritten Studienjahr stattfinden (Vertiefungsrichtung).

Gestützt auf das revidierte Fachhochschulgesetz des Bundes hat die Schweizerische Konferenz der kantonalen Erziehungsdirektoren (EDK) beschlossen, dass an den Fachhochschulen – mit deutlichen Schwergewichten – auch Masterkurse ins Studienprogramm aufgenommen werden können. Diese werden prinzipiell ab dem Wintersemester 2008 angeboten und schliessen unmittelbar an die Bachelor-Studiengänge an. Es wird damit gerechnet, dass ungefähr ein Drittel der Studierenden nach dem Bachelor sofort das Masterprogramm belegen wird.

Teilweise bereits angeboten werden berufsbegleitende Weiterbildungs- oder Executive-Masterprogramme. Dabei handelt es sich oft um Veranstaltungen, die von den Fachhochschulen in Zusammenarbeit mit anderen Institutionen (Fachhochschulen und universitäre Hochschulen, auch im europäischen Ausland, sowie allenfalls Forschungsanstalten des Bundes) durchgeführt werden. Diese Masterprogramme sind thematisch breiter als die Bachelor-Studiengänge angelegt und stehen – schon nur aus Marktgründen – auch den Uni/ETH-Absolventen sowie teilweise weiteren Personengruppen offen.

Gegenwärtig gibt es keine Vertiefungsrichtung, die explizit auf Nukleartechnik oder Energieerzeugung ausgerichtet ist. Das Gleiche gilt für die Weiterbildungs-Master. Beide Lehrgefässe eignen sich aber potenziell zum Abdecken der Bedürfnisse der Kernenergiebranche.

Gegenwärtig evaluiert die Eidgenössische Fachhochschulkommission (EFHK) die Konzepte der Bachelor-Studiengänge. Die Hochschulträger bereinigen ihre Portfolios und legen sich bezüglich der Master-Schwergewichte fest.

4.2 Angewandte Forschung nach den Bedürfnissen der Wirtschaft

Die Fachhochschulen werden nicht von sich aus nukleare Themen aufgreifen. Mit der Transformation der ehemaligen HTL in Fachhochschulen ist ihr Leistungsauftrag neu definiert worden. Insbesondere haben sie neu den Auftrag, angewandte Forschung im Auftrag der Wirtschaft durchzuführen. Das bedeutet das Ende der «Prêt-à-porter»-Philosophie der Vergangenheit, als die Wirtschaft davon ausgehen konnte, dass ein HTL-Ingenieur mehr oder weniger sofort produktiv eingesetzt werden kann.

Beispielhaft für die Ausrichtung der Fachhochschulen auf die praktischen Bedürfnisse der Wirtschaft ist der so genannte «BLD-Bericht», den die EFHK im September 2005 dem Bundesrat vorgelegt hat. Darin wird der Vorschlag gemacht, an den Fachhochschulen auf den Gebieten Bau, Life Sciences/Chemie und Design (BLD) nationale Kompetenzzentren zu schaffen, unter Einbezug der universitären Hochschulen,

wo dies Sinn macht. Unter aktiver Teilnahme der Wirtschaft wurden auf diesen Gebieten praktische Vorschläge erarbeitet, die sich künftig in den Vertiefungsrichtungen und den Executive-Masterprogrammen niederschlagen sollen.

4.3 Handlungsoptionen für die Kernenergiebranche

Aus dem neuen Leistungsauftrag der Fachhochschulen und seiner aktuellen Umsetzung lassen sich die folgenden Handlungsoptionen ableiten:

- Die Kernenergiebranche muss selbst aktiv werden, wenn sie ihre Interessen in die Fachhochschulen einbringen will. Von der Stromwirtschaft sind diesbezüglich allerdings noch kaum Impulse ausgegangen.
- Der Zeitpunkt wäre gerade jetzt günstig, um mit konkreten Forschungsprojekten an die Fachhochschulen zu gelangen, da die Schulen demnächst ihr Portfolio bereinigen werden. Dies eröffnet die Möglichkeit, interessante Forschungsangebote für die Spezialisierungsphase im dritten Studienjahr einzugeben. Hier ergeben sich Ansatzpunkte, allenfalls auch für den Aufbau eines Weiterbildungs-Masterprogramms für Generalisten im Nuklearbereich, das sehr gut in die Fachhochschullandschaft passen würde. **Die Zeit ist allerdings relativ knapp, da die Bachelor-Studiengänge bereits eingeführt wurden und die Executive-Masterprogramme ab 2008 unmittelbar anschliessen werden.**
- Die Kernenergiebranche ist daher aufgefordert, die sich gegenwärtig bietende Chance rasch zu nutzen, wie das beispielsweise die Pharmaindustrie im Bereich der Life Sciences gemacht hat, indem sie taktisch klug im richtigen Zeitpunkt bei den Fachhochschulen eingestiegen ist. Als Anknüpfungspunkt für die Kernenergiebranche könnten Kontakte dienen, die seit Jahrzehnten im Rahmen der Ausbildungskommission des Nuklearforums Schweiz gepflegt werden.
- Denkbar wäre, dass die Kernenergiebranche im Top-down-Ansatz der Leitung von ein oder zwei ausgewählten regionalen Fachhochschulen einen Katalog von 10 bis 15 aktuellen Forschungsfragen aus der Praxis unterbreitet. Aufgrund des oben genannten neuen Auftrags der Fachhochschulen ist es nötig, dass sich die Industrie entsprechend finanziell engagiert, allenfalls über die 50/50-Prozent-Regelung der Förderagentur für Innovation (KTI) des Bundes, zu der die Fachhochschulen einen guten Zugang haben.
- Neben den Vertiefungsrichtungen im dritten Studienjahr und den Weiterbildungs-Masterprogrammen gibt es möglicherweise in Zukunft noch weitere Möglichkeiten, sich in die Fachhochschul-Curricula

einzuklinken. Ansatzpunkt könnte hier das Vorbild des BLD-Berichts der EFHK an den Bundesrat für die Schaffung von Kompetenzzentren auf den Gebieten Bau, Life Sciences/Chemie und Design sein.

Der Präsident der EFHK vertritt die Meinung, dass Stromwirtschaft und industrielle Anbieter in diesen Fragen zusammenarbeiten und auch gezielt F&E-Projekte an Fachhochschulen unterstützen sollten.

4.4 Möglichkeiten des GIF

Ein nutzbares Potenzial steckt auch in der Schweizer Teilnahme am GIF (siehe Kap. 2.2.1). Das GIF umfasst Technologieentwicklungen, die – unabhängig vom übergeordneten Ziel der Entwicklung innovativer Reaktorsysteme – auf andere Anwendungsbereiche heruntergebrochen werden können. In diesem Rahmen gibt es Elemente auf Fachhochschulebene, die für die Schweizer Kernenergieindustrie interessant sein könnten und keine Konkurrenzierung des PSI bedeuten, beispielsweise in den Bereichen der inhärenten Sicherheit in einfacher Leittechnik oder bei Nanostrukturen in der Hochtemperatur-Materialtechnik.

Nötig sind industrielle Stellungsbezüge der schweizerischen Komponenten-Anbieter, da sonst die Gefahr besteht, dass künftig allein die grossen internationalen Energietechnikkonzerne das Feld beherrschen werden. Die Industrie ist daher aufgefordert, zu erklären, für welche Elemente aus dem GIF sie sich interessiert. Dabei ist im Auge zu behalten, dass das GIF langfristig für die Ausbildung im Bereich der Nuklear-technik eine wesentliche Bedeutung erlangen dürfte.

5 Technikerschulen und Strahlenschutzschulen

5.1 Reaktorschule des PSI

Das PSI bietet gut eingeführte Ausbildungseinheiten im Rahmen der Reaktorschule an. Die Reaktorschule gehört zum Forschungsbereich «Nukleare Energie und Sicherheit» (NES) und ist eine Höhere Fachschule für Technik mit einem eidgenössisch anerkannten Abschluss als Techniker TS. Ihr hauptsächliches Tätigkeitsfeld ist die theoretische Grundausbildung von lizenziertem Betriebspersonal von Kernkraftwerken. Die Grundausbildung basiert auf den jährlich stattfindenden Technikerlehrgängen für angehende Operateure (TS-Kurse). Daneben werden bei Bedarf die nachstehenden Kurse durchgeführt:

- [Lehrgang für Kernkraftwerkstechniker TS](#)¹
- [Reaktoringenieur-Kurs](#)²
- [Fachingenieur-Kurs](#)³
- [Schichtchef-Kurs](#)⁴
- [KKW-Überblicks-Kurs](#)⁵
- [Kerntechnik-Kurse für Hochschulstudenten](#)⁶
- [Kernenergie für KV-Lehrlinge](#)⁷.

Wiederholungskurse für lizenziertes Betriebspersonal:

- [Reaktorphysik](#)⁸
- [Thermodynamik](#)⁹
- [Elektrotechnik](#)¹⁰
- [Kernkraftwerkschemie](#)¹¹

Träger der Reaktorschule sind die Schweizer Kernkraftwerke und das PSI. Finanziert wird die Schule durch die Schweizer Kernkraftwerke, in der Regel vertreten durch Swissnuclear. Die Zusammenarbeit zwischen Nuklearindustrie und Behörden ist etabliert. Es besteht kein Handlungsbedarf, das Angebot ist flexibel und richtet sich nach der Nachfrage.

Für die Ausbildung der Reaktoroperateure werden zukünftig drei statt bisher zwei Tage an der Universität Basel eingeplant. Sie sollen Gelegenheit zu praktischen Erfahrungen am Forschungsreaktor erhalten.

¹ http://rs.web.psi.ch/kurse_kkwt.shtml

² http://rs.web.psi.ch/kurse_rik.shtml

³ http://rs.web.psi.ch/kurse_fik.shtml

⁴ http://rs.web.psi.ch/kurse_sck.shtml

⁵ http://rs.web.psi.ch/kurse_kuk.shtml

⁶ http://rs.web.psi.ch/kurse_kkh.shtml

⁷ http://rs.web.psi.ch/kurse_kkv.shtml

⁸ http://rs.web.psi.ch/kurse_rph.shtml

⁹ http://rs.web.psi.ch/kurse_thd.shtml

¹⁰ http://rs.web.psi.ch/kurse_elt.shtml

¹¹ http://rs.web.psi.ch/kurse_kkwc.shtml

5.2 Schule für Strahlenschutz des PSI

Die Schule für Strahlenschutz ist eine Sektion der Abteilung für Strahlenschutz und Sicherheit im Fachbereich Logistik des PSI. Sie bietet eine breite Palette von Grund- und Weiterbildungskursen an. Das Angebot richtet sich an alle Berufsgruppen und Personen, die ionisierende Strahlen oder radioaktive Quellen bei ihrer Arbeit einsetzen. Die Kurse sind von BAG und HSK anerkannt. Das Angebot umfasst Ausbildungen in den folgenden Fachbereichen:

- Personal in Kernanlagen
- Medizinische Berufe
- Notfallorganisationen
- Öffentlichkeitsarbeit
- Industrie, Gewerbe, Behörden

5.3 Weitere Strahlenschutzschulen

Strahlenschutzschule SafPro AG, Basel: Die private Strahlenschutzschule SafPro AG in Basel bietet vom Bundesamt für Gesundheit anerkannte Lehrgänge für Personen an, die in ihrer Arbeit ionisierende Strahlen anwenden (Medizin und Forschung in Spitälern, Universität und Industrie). Nach bestandener Prüfung wird ein von der Aufsichtsbehörde anerkanntes Zertifikat ausgestellt. Wer die Prüfung nicht besteht, erhält eine Bestätigung über die besuchte Kurszeit.

Institut universitaire de radiophysique appliquée (IRA): Dieses Institut der Universität Lausanne führt die Strahlenschutzausbildung für die Romandie durch (vgl. Kap. 3.5).

6 Internationale Aktivitäten

6.1 Europäische Union / Euratom

Die EU führt breit angelegte Forschungsrahmenprogramme (Framework Programs, FP) durch. Die Rahmenprogramme für Forschung und technologische Entwicklung sind die Hauptinstrumente der EU zur Umsetzung ihrer gemeinschaftlichen Wissenschafts- und Technologiepolitik. Der Abschluss von Abkommen über die Forschungsrahmenprogramme mit der EU ermöglicht es den Schweizer Forschenden, von sämtlichen Möglichkeiten der Rahmenprogramme Gebrauch zu machen. Aufgrund solcher Abkommen werden Schweizer Teilnehmende direkt von der Europäischen Kommission finanziert und die Schweiz erhält Mitsprachemöglichkeiten bei der Umsetzung der europäischen Forschungspolitik. Das FP6 umfasste die Vierjahresperiode 2003 bis 2006 und verfügte über ein Gesamtbudget von fast EUR 20 Mrd. Im Rahmen des FP6, das thematisch breit gefächert war, unterstützt die EU auch Projekte im Bereich der kerntechnischen Forschung und Ausbildung.

Das Euratom Budget für das Forschungsrahmenprogramm FP7 (Periode 2007-2011) beträgt EUR 2751 Mio (http://cordis.europa.eu/fp7/budget_en.html). Die Schweiz beteiligt sich auch 2007 als vollwertiges Mitglied an der europäischen Fusionsforschung. Das Staatssekretariat für Bildung und Forschung (SBF) hat Ende 2006 die Verlängerung der Ausführungsverträge mit der europäischen Atomgemeinschaft (Euratom) im Bereich der Plasmaphysik und Fusionsforschung unterzeichnet (vgl. 6.1.2.).

6.1.1 Fission

Im Rahmen des FP6 lief das spezifische Euratom-Programm «Research and Training on Nuclear Energy (2002–2006) mit einem finanziellen Volumen von EUR 480 Mio. Unter den geförderten Projekten befanden sich neben Forschungsaktivitäten in den Bereichen Entsorgung, Strahlenschutz, Infrastrukturen und nukleare Sicherheit auch die nachfolgend aufgeführten Initiativen im Bereich von Lehre und Ausbildung.

European Nuclear Education Network Association (ENEN): Während des fünften Forschungsrahmenprogramms (FP5, 1998–2002) wurde die European Nuclear Education Network Association (ENEN) geschaffen. Ziel von ENEN ist die Qualitätssicherung von Lehre und Ausbildung im Bereich der Kernenergie durch:

- Schaffung eines «European Master of Science in Nuclear Engineering» (EMSNE)
- Förderung von Doktoratsstudien
- Verstärkung des Austausches der Studierenden und Dozierenden in diesem Netzwerk
- Erhöhung der Zahl der Studierenden durch Ausrichten von Stipendien
- Schaffung eines Rahmens für die gegenseitige Anerkennung

-
- Erleichtern und Konsolidieren der Zusammenarbeit zwischen den Netzwerken der Forschungslaboren, der Industrie und den Aufsichtsbehörden durch ihr Einbinden in die Hochschullehre im nuklearen Bereich sowie durch das Angebot von Weiterbildungskursen.

An ENEN beteiligen sich nur universitäre Hochschulen. Nach Abschluss der Aktivitäten im FP5 wurde ENEN formell als europäische Organisation mit Hauptsitz in Paris etabliert. Die Schweiz ist durch die EPFL und die ETHZ vertreten.

Nuclear European Platform for Training and University Organisations (NEPTUNO): Im FP6 setzte NEPTUNO die Arbeit von ENEN fort mit dem Ziel, die Vernetzung und Qualität von akademischen Lehrgängen an europäischen Hochschulen im nuklearen Bereich zu fördern und die Harmonisierung der Berufszulassungskriterien und der damit verbundenen Ausbildungsprogramme innerhalb der EU voranzutreiben. Die EU will damit gegen den Rückgang der Studierendenzahlen und der Lehrangebote vorgehen. Zudem will sie das Fach- und Expertenwissen sicherstellen, dass für die künftige sichere Nutzung der Kernenergie und für weitere Anwendungen von radioaktiver Strahlung in Industrie und Medizin nötig ist. Mit NEPTUNO sollen die Studien- und Ausbildungsprogramme europaweit harmonisiert und die nationalen (industriellen und staatlichen) Ressourcen und Potenziale verstärkt zusammengeführt werden. Die Hauptelemente von NEPTUNO sind:

- Aufbau einer dauerhaften Organisation mit der Hauptaufgabe, die Vergabe des «European Master of Science in Nuclear Engineering» (EMSNE, vgl. Kap. 2.1.2 und 2.1.3) und der zugehörigen weiterführenden Kurs europaweit zu bescheinigen und zu überwachen
- Aufbau einer dauerhaften Organisation mit der Hauptaufgabe, die Anforderungen und Angebote der Ausbildungskurse für die europäische Nuklearindustrie zu bescheinigen und zu überwachen
- Schaffung von definierten Beziehungsregeln zwischen den europäischen Lehr-, Ausbildungs- und Forschungsinstitutionen mit dem Ziel, das europäische Fachwissen auf dem Gebiet der Kernenergie auf dem höchsten Qualitätsniveau zu erhalten und zu fördern
- Einrichten einer Website, die den Zugang zur relevanten Informationen und ihre Verbreitung erleichtert und die Zusammenarbeit der Akteure fördert.

NEPTUNO ist im Januar 2004 mit einer begrenzten Dauer von 18 Monaten gestartet worden und wurde unter dem FP6 mit EUR 839'000 finanziert. Nach einer sechsmonatigen Verlängerung wurde NEPTUNO Ende 2005 abgeschlossen. In der Schweiz nahm die EPFL daran teil.

Coordination Action on Education and Training in Radiation Protection and Radioactive Waste Management (CETRAD): Dieses Programm hat zum Ziel, angesichts des drohenden Nachwuchsmanagements Vorschläge für Struktur und Durchführung von Studiengängen und Ausbildungskursen im Bereich des Managements von geologischen Tiefenlagern zu erarbeiten. CETRAD ist im Januar 2004 mit einem Budget von EUR 303'000 gestartet worden mit einer Laufzeit von 15 Monaten. Aus der Schweiz nehmen die Nagra und die in der Schweiz domizilierte und mit dem Felslabor Grimsel verbundene internationale ITC School of Underground Waste Storage and Disposal teil.

Securing European Radiological Protection and Radioecology Competence to meet the Future Needs of Stakeholders (EURAC): Dieses Programm hat zum Ziel, die wissenschaftliche Kompetenz und die Analytik in den Bereichen Strahlenschutz, Radioökologie und Radiochemie zu fördern und dem europaweiten Nachwuchsmangel auf diesen Gebieten zu begegnen. Schweizer Institutionen sind nicht beteiligt.

Nationale Initiativen, Beispiel Grossbritannien: Auch auf nationaler Ebene wird in Europa versucht, eine bessere Koordination und Arbeitsaufteilung im Bereich der nuklearen Ausbildung zu gewährleisten. Als Beispiel sei an dieser Stelle Grossbritannien aufgeführt, wo sich das Nuclear Technology Education Consortium (NTEC) aus Universitäten und weiteren Hochschulinstitutionen für die Postgraduate-Ausbildung aus dem Gebiet der Kernenergie formiert hat. Das NTEC-Programm ist im September 2005 gestartet worden und führt zu Abschlüssen bis hin zum Master in Nuclear Engineering. Das Programm ist inhaltlich sehr breit angelegt und setzt sich aus modular aufgebauten Ausbildungsblöcken an verschiedenen Institutionen zusammen. So sieht die Arbeitsaufteilung beispielsweise den Strahlenschutz an der University of Manchester vor und die Entsorgung an der University of Sheffield. Die verschiedenen Module können auch einzeln besucht werden, was den kontinuierlichen Fortbildungsbedürfnissen der Industrie entgegenkommt. Die Weiterbildung kann in kleinen Einheiten absolviert werden, ohne dass die Arbeitsstelle verlassen werden muss. Die Kosten für die Studierenden für das volle Masterprogramm belaufen sich auf GBP 12'000.

6.1.2 Fusion

In der EU wird die Fusionsforschung über ein koordiniertes Programm durchgeführt, an dem die meisten Mitgliedsländer und über Euratom auch die Schweiz beteiligt sind. Der bisherige grösste Erfolg ist die Fusionsanlage JET (Joint European Torus) in Grossbritannien, hinter dem die Arbeit von über 2000 Fusionsforschern in europäischen Laboratorien steckt. Im Rahmen der Euratom-Programme wird die Fusionsforschung seit fast 50 Jahren gefördert.

Gegenwärtig wird die europäische Fusionsforschung über Vereinbarungen von Institutionen der Mitgliedstaaten in den Bereichen Physik, Plasmaforschung und Fusionskraftwerkstechnologie durchgeführt. Das European Fusion Development Agreement (EFDA) umfasst die Aktivitäten im Rahmen der Vereinbarungen und in der europäischen Industrie, die gemeinsame Nutzung von JET sowie die europäischen Beiträge an internationale Programme wie dem Bau des internationalen thermonuklearen Experimentalreaktors ITER. Zudem werden spezifische Forschungsarbeiten und technische Entwicklungen der Industrie durch zeitliche begrenzte Projekte unterstützt.

Im Rahmen des FP6 Euratom-Programms (2002–2006) standen für die Fusionsforschung EUR 750 Mio. zur Verfügung. In diesem Betrag waren EUR 200 Mio. für den Bau von ITER eingeschlossen. Im Rahmen

des FP7 Euratom Programms (2007-2011) stehen für die Fusionsforschung EUR 1195 Mio zur Verfügung, darin enthalten sind EUR 1000 Mio für ITER.

Mit Mobilitätsprogrammen fördert die EU den Austausch von Forschenden. Nachwuchsforscher werden über Fellowships von Euratom gefördert. Im Hinblick auf den Bau und Betrieb von ITER zeigt sich, dass in Europa die Zahl der Fusionspezialisten im Abnehmen begriffen ist und sich das konkrete Problem stellt, wie das Wissen nach Pensionierungen erhalten werden kann. Eine *ad-hoc*-Gruppe des Beratenden Komitees für die Fusionsforschung und -lehre von Euratom (CCE-FU) unter der Leitung von Prof. Tran Minh Quang (EPFL) kam im Oktober 2004 zum Schluss, dass für den Bau von ITER ein unmittelbarer Bedarf von über 400 Fachleuten (Physiker und Ingenieure) ausgewiesen ist. Dieselbe *ad-hoc*-Gruppe traf 2007 erneut zusammen und gab den folgenden Bericht heraus: *Final Report of the Ad-Hoc Group "Survey of Human resources in the European Fusion Programme"* (7. März 2007, EUR(07) CCE-FU 37/8.7). Darin wird der starke Bedarfsanstieg für Fachleute präzisiert. Die Gruppe empfiehlt, dass innerhalb der Iter-Organisation während der nächsten fünf Jahre pro Jahr 40 Spezialisten weitergebildet und zusätzlich 10 ausgewiesene Nachwuchsforscher gefördert werden sollen.

6.2 World Nuclear University (WNU)

Die World Nuclear University ist 2003 als virtuelle Universität von der World Nuclear Association (WNA) ins Leben gerufen worden. Mitgründer sind die Internationale Atomenergie-Organisation (IAEO), die Kernenergie-Agentur (NEA) der OECD und die weltweite Vereinigung der Kernkraftwerksbetreiber WANO. Die WNA ist die weltweite Vereinigung von Unternehmen und weiteren Organisationen, die auf dem Gebiet des nuklearen Brennstoffzyklus tätig sind. Aus der Schweiz sind die Kernkraftwerke Gösgen und Leibstadt in der WNA vertreten. Die WNU verfolgt die folgenden Ziele:

- Förderung des Nachwuchses und der beruflichen Weiterbildung
- Festlegen von weltweit gültigen Normen in der nuklearen Ausbildung
- Koordination von Ausbildungsprogrammen

Die WNU wird von grossen Unternehmen, Regierungen und den Technischen Programmen der IAEO finanziert. Die Schweiz ist im WNU-Vorstand nicht vertreten – als einziges der Länder mit entwickelter Kerntechnik. In Anlehnung an die Vertretung aus anderen Ländern wären seitens der Schweiz das PSI und die beiden ETHs die geeigneten Stellen. Konkret wurde bisher nur ein Programm auf die Beine gestellt: das «WNU Summer Institute», ein 6-wöchiger Weiterbildungskurs für junge Kaderleute. Der erste Kurs, an dem 77 Fachleute aus 34 Ländern teilnahmen, wurde 2005 in Idaho Falls in den USA organisiert. Das Programm umfasste die folgenden Elemente:

- breites Umfeld: Energiereserven, Klimawandel, öffentliche Meinung, politische Aspekte usw.
- internationales Umfeld: Sicherheit, Strahlenschutz, Non-Proliferation, Entsorgung, Transport, Gesetzgebung usw.

-
- neue Technologien: Generation IV, Entsalzung, Wasserstoffherzeugung usw.
 - industrielles Umfeld: Anlagebau, Brennstoffzyklus, Betrieb.

Aufnahmebedingungen: Master Degree in Sciences or Engineering, gute nukleare Kenntnisse, akademische oder berufliche Erfahrung, gute Englischkenntnisse, jünger als 35 Jahre. Die Gebühr beträgt EUR 9500 (inkl. Kurse, Hotel und Verpflegung). Der letzte Kurs fand im Juli 2006 in Schweden statt.

6.3 Europäische Organisation für Kernforschung CERN

Am Kernforschungsinstitut CERN beschäftigen sich die Forscher mit der Teilchenphysik. Bereiche der theoretischen und angewandten Physik, welche zumindest indirekt der Weiterentwicklung Kernfusion und Kernfission dienen, sind die Detektor- und Beschleunigerphysik.

* * *