

Unterrichtung
durch die Bundesregierung

betr. Internationale Bewertung des Kernbrennstoffkreislaufs (INFCE)

Zugeleitet mit Schreiben des Bundeskanzlers vom 29. April 1980.

Auszug:

„Ich übersende Ihnen hiermit eine von der Bundesregierung beschlossene Wertung der Ergebnisse von INFCE (Anlage 1) sowie die deutsche Übersetzung des englischen Originaltextes der „Zusammenfassenden Übersicht“ von INFCE (Anlage 2).

Im Hinblick auf den Beschluß des Deutschen Bundestages vom 14. Dezember 1978 betreffend Zweite Fortschreibung des Energieprogramms der Bundesregierung (Drucksachen 8/1357, 8/2370 — insbesondere Ziffern V und VI — in Verbindung mit dem Stenographischen Bericht über die 125. Sitzung, S. 9746, 9834 bis 9836) mißt die Bundesregierung den Ergebnissen von INCEF besondere Bedeutung bei.

Ich bitte, die Dokumente den Mitgliedern des Deutschen Bundestages zugänglich zu machen und die Drucklegung zu veranlassen.“

Internationale Bewertung des Kernbrennstoffkreislaufs (INFCE)

I.

Die Internationale Bewertung des Kernbrennstoffkreislaufs ist in der letzten Februarwoche in Wien mit einer Abschlußkonferenz zu Ende gegangen. In dieser Studie wurde in intensiven, gut zweijährigen Beratungen untersucht, wie Kernenergie weltweit verfügbar gemacht werden kann bei gleichzeitiger Minimierung der Gefahr einer Weiterverbreitung von Kernwaffen. Neben dem Gesichtspunkt der Nichtverbreitung wurden auch andere Fragen diskutiert wie z. B. die Wirtschaftlichkeit und Umweltauswirkungen verschiedener Brennstoffkreisläufe und die Versorgungssicherheit im Kernenergiebereich. Fragen der Reaktorsicherheit gehörten grundsätzlich nicht zum Themenkatalog dieser Evaluierung, und sie wurden deshalb nur in einigen speziellen Punkten innerhalb der Bewertung unterschiedlicher Brennstoffkreisläufe näher untersucht. Auf Anregung der Bundesregierung hat aber in der Zwischenzeit die Internationale Atomenergieorganisation (IAEO) in Wien ihre Bemühungen um die internationale Kooperation in diesem Bereich erheblich verstärkt; dazu gehört auch eine Konferenz der IAEO über Reaktorsicherheit am 20. bis 24. Oktober 1980 in Stockholm.

Anlaß für INFCE war eine Änderung der Nuklearpolitik der USA. Ausgangspunkt dieser Politik war die Sorge, daß mit der friedlichen Nutzung der Kernenergie in immer mehr Ländern der Welt die Gefahr einer Verbreitung von Kernwaffen zunehmen könnte. Wenngleich die Notwendigkeit für eine erweiterte Nutzung der Kernenergie von den USA im Prinzip nicht bestritten wurde, hofften sie aber doch, der Verbreitung sogenannter sensibler Technologien wie Urananreicherung, Wiederaufarbeitung oder Schneller Brüter entgegenwirken zu können, da sie hierin die größte Gefahr für einen eventuellen Mißbrauch der Herstellung von Kernwaffen sahen. Die USA schlugen deshalb vor, bis auf weiteres auf Wiederaufarbeitung und Brüter weltweit zu verzichten und Anreicherungsanlagen nur noch im absolut notwendigen Umfang zu errichten. Um ihrem Vorschlag mehr Gewicht zu verleihen, vertagten sie im April 1977 bis auf weiteres für sich selbst die kommerzielle Wiederaufarbeitung und den Einstieg in die kommerzielle Brüternutzung.

Über diese Fragen kam es auf dem Weltwirtschaftsgipfel im Mai 1977 in London zu einer ausführlichen Diskussion mit dem Ergebnis, eine umfassende technisch-analytische, internationale Studie durchzuführen. Diese wurde im Oktober 1977 in Washington mit der Eröffnungskonferenz der International Nuclear Fuel Cycle Evaluation (INFCE) begonnen. An INFCE haben schließlich 66 Staaten und sechs internationale Organisationen teilgenommen. Unter den Teilnehmerstaaten waren westliche Industrienationen ebenso wie Länder der dritten Welt oder mit zentral geleiteten Volkswirtschaften, allerdings nicht die Volksrepublik China.

Die Ergebnisse von INFCE liegen nun in Form von acht Bänden und einer Zusammenfassung vor. Sie sollen den einzelnen Ländern als Orientierungshilfe für ihre Überlegungen in nationalem und internationalem Rahmen dienen, sind aber entsprechend der Vereinbarung bei der Eröffnungskonferenz für sie nicht bindend.

II.

Die wichtigsten INFCE-Ergebnisse lassen sich wie folgt zusammenfassen:

1. Der Kernenergie wird weltweit eine wachsende Bedeutung zur Deckung des Energiebedarfs zukommen. Dabei wird auch die Notwendigkeit des Brütereinsatzes in Industriestaaten grundsätzlich anerkannt, allerdings mit von Land zu Land unterschiedlicher Dringlichkeit. Die großtechnische Nutzung auf kommerzieller Basis wird erst ab 2000, in einigen Industriestaaten aber schon früher erwartet.
2. Die Verbreitung von Kernwaffen ist vor allem ein politisches Problem, und daher nicht rein technisch zu lösen. Ein auf friedliche Nutzung ausgelegtes Kernenergieprogramm kann zwar in gewissen Fällen mißbraucht werden, um waffengrädiges Material zu erhalten; dies ist dazu aber nicht der leichteste und einfachste Weg. Keine noch so umfassende Kombination von Maßnahmen zur Verhinderung eines solchen Mißbrauchs kann deshalb als ausreichender Ersatz für politische Aktionen zur Beseitigung der Beweggründe für den Bau von Kernwaffen angesehen werden.
3. Es ist nicht möglich, ein generelles, heute und für die Zukunft gültiges Urteil abzugeben, ob im Hinblick auf die Verbreitung von Kernwaffen ein Kernbrennstoffkreislauf gefährlicher ist als ein anderer. Deshalb haben bei der Entscheidung über die Gestaltung des Brennstoffkreislaufs auch andere Faktoren Gewicht wie Wirtschaftlichkeit, Versorgungssicherheit, Umweltverträglichkeit oder Stand der Technik, so daß unterschiedliche nationale Rahmenbedingungen auch zu unterschiedlichen Lösungen führen.
4. Es wurde eine Reihe von Ansätzen für Maßnahmen aufgezeigt, mit denen die Gefahr einer Weiterverbreitung von Kernwaffen im Zusammenhang mit der friedlichen Nutzung der Kernenergie minimiert werden können. Hierzu gehören die Entwicklung oder Weiterentwicklung technischer und institutioneller Maßnahmen sowie internationaler Sicherungskontrollen.
5. Die Verfügbarkeit von Uran ist einer der zentralen Punkte bei der Frage der Versorgungssicherheit im Kernenergiebereich. Erhebliche Unsicherheiten in der Einschätzung sowohl des künftigen Uranbedarfs als auch der Verfügbarkeit für das eigene Land führen zu unterschiedlichen Bewertungen. Länder mit großen eigenen Uranvorkommen sehen die Notwendigkeit uransparender Reaktorsysteme wie z. B. des Schnellen Brütters zeitlich anders als diejenigen Länder, die

praktisch kein eigenes Uran besitzen wie etwa die meisten europäischen Staaten oder Japan.

6. Zur Sicherung der Natururanversorgung sind wesentlich größere Anstrengungen im Bereich der Uransuche und der Erschließung neuer Lagerstätten erforderlich als bisher. Allerdings kann das wachsende Umweltbewußtsein in den uranföhrnden Ländern die Möglichkeiten auf diesem Gebiet stark beeinflussen.
7. Die Gefahr von Unterbrechungen bei der Uranversorgung sollte so gering wie möglich gehalten werden. Eine der wesentlichen Kontroversen auf diesem Gebiet war die Vereinbarung von Zustimmungsrechten einiger Uranlieferländer über die weitere Verwendung des von ihnen gelieferten Materials, zum Beispiel zur Wiederaufarbeitung. Dieses Problem konnte und sollte in INFCE nicht gelöst werden; INFCE sollte die technisch-wirtschaftliche Basis für eine Lösung liefern. Es bestand aber Übereinstimmung, daß es nicht wie in der Vergangenheit wieder zu Lieferunterbrechungen bei Uran oder zu einseitigen Vertragsauslegungen und Vertragsänderungen durch die Lieferländer kommen soll, zu denen die Empfangsländer durch ihr Verhalten keinen Anlaß gegeben haben. In Zukunft sollte es daher, so lange die erwähnten Zustimmungsrechte von Lieferländern bestehen, wenigstens klare und möglichst einheitliche Regelungen sowohl für ihre Ausübung als auch für die Anpassung von Lieferabkommen an neue, allgemein anerkannte NV-politische Rahmenbedingungen geben. Darüber hinaus sollte es aber das Ziel sein, in den nächsten Jahren zunächst zu gemeinsamen Ansätzen und längerfristig zu einem sicheren Regime für einen weltweiten Nuklearhandel zu kommen, der möglichst frei von einseitigen Zustimmungsvorbehalten oder Eingriffsrechten ist.

III.

1. Die nationale und internationale Kernenergiepolitik der Bundesregierung ist in den Bereichen, die Gegenstand der INFCE-Untersuchungen waren, bestätigt worden. Dies gilt:
 - a) für das Entsorgungskonzept auf der Grundlage des Beschlusses der Regierungschefs des Bundes und der Länder zur Entsorgung von Kernkraftwerken vom 28. September 1979. Wesentliche Teilschritte wie die Zwischenlagerung, die Endlagerung radioaktiver Abfälle in Salzformationen und die industrielle Wiederaufarbeitung wurden als Stand der Technik bezeichnet, so daß bei ihrer Realisierung keine grundlegenden technischen Probleme erwartet werden. Alternative Entsorgungstechniken werden wie in der Bundesrepublik Deutschland so auch in einigen anderen Ländern (z. B. USA, Schweden) untersucht. Gegen Wiederaufarbeitung als Teil eines Entsorgungskonzeptes hat sich bisher noch kein Land entschieden.
 - b) auch für die Option des Schnellen Brutreaktors. Die Ergebnisse von INFCE sowohl zur grundsätzlichen Bedeu-

tung wie auch zum Einsatzzeitpunkt dieser Technologie geben jedoch keinen Anlaß zur Änderung des vom Deutschen Bundestag festgelegten Entscheidungsfindungsprozesses (Enquête-Kommission „zukünftige Kernenergiepolitik“); sie können aber nach Meinung der Bundesregierung einen wesentlichen Beitrag für die Beratungen darstellen.

- c) auch für die internationale Kernenergiepolitik der Bundesregierung, die eine Einbindung möglichst vieler an der Kernenergienutzung interessierter Länder in ein System von Kooperation und gemeinsamer Verantwortung für die Sicherstellung einer ausschließlich friedlichen Nutzung der Kernenergie zum Ziel hat. In diesem Zusammenhang ist es von besonderer Bedeutung, daß die Entwicklungsländer und Schwellenmächte erfolgreich in die Diskussion miteinbezogen worden sind.
2. Insgesamt gesehen hat sich durch INFCE auch das Verhältnis zwischen den USA und den westlichen Industriestaaten, insbesondere zu den Mitgliedstaaten der Europäischen Gemeinschaft, ein Klima besseren gegenseitigen Verständnisses eingestellt. Durch die Erarbeitung des technisch-wissenschaftlichen Basiswissens über den Fragenkomplex Kernenergienutzung und Nichtverbreitung von Kernwaffen wurde eine Grundlage geschaffen, auf der die internationale Diskussion über die Kernenergie, speziell für Wiederaufarbeitung und Brütternutzung, wesentlich sachlicher geführt werden kann als vorher.
3. Die grundlegenden Ziele – Verfügbarkeit der Kernenergie zur Deckung des Weltenergiebedarfs, Minimierung von Proliferationsgefahren ohne Beeinträchtigung der Energieversorgung, Bedürfnisse von Entwicklungsländern – können nur durch weitere internationale Zusammenarbeit in einem Klima gegenseitigen Verständnisses erreicht werden. Der jetzt in Gang gekommene, intensive und wertvolle Dialog zwischen den an der friedlichen Nutzung der Kernenergie interessierten Staaten soll entsprechend den Ergebnissen der Abschlußkonferenz fortgeführt werden. Eine Schlüsselrolle sollte dabei die IAEA in Wien spielen, da sie die weltweite Organisation für die friedliche Nutzung der Kernenergie darstellt und nach ihrer Satzung sowohl für die Förderung der Kernenergieverwendung als auch für die Einführung und Entwicklung von Sicherungskontrollmaßnahmen verantwortlich ist. Gerade für die Weiterentwicklung des Systems und der Technik der Sicherungskontrollen hat INFCE neue Ansätze aufgezeigt. Andere Anregungen aus den INFCE-Ergebnissen werden jedoch auch von anderen internationalen Organisationen wie vor allem der Europäischen Gemeinschaft, der OECD-Kernenergieagentur oder der Internationalen-Energie-Agentur und nicht zuletzt in Entwicklungs- und Demonstrationsprogrammen der einzelnen Staaten aufgegriffen werden müssen.

Internationale Bewertung des Kernbrennstoffkreislaufs (INFCE)

Zusammenfassende Übersicht

Übersetzung des englischen Originaltextes

Inhaltsverzeichnis

	Seite
Zusammenfassende Übersicht	9
Einleitung	9
I. Verfügbarkeit von Vorräten und Dienstleistungen des Brennstoffkreislaufs unter Berücksichtigung des projizierten Bedarfs an Kernenergie ..	10
I-A. Kernenergieprojektionen	10
I-B. Ressourcenbedarf und -verfügbarkeit	11
I-B-1 Reaktorstrategien	11
I-B-2 Uranverfügbarkeit	13
I-B-3 Thoriumverfügbarkeit	15
I-B-4 Verfügbarkeit von Schwerwasser	15
I-B-5 Gegenüberstellung von Uranangebot und -nachfrage ..	15
I-C. Dienstleistungen des Brennstoffkreislaufs	16
II. Technische Durchführbarkeit; wirtschaftliche Erwägungen; Strahlenschutz-, Sicherheits- und Umweltaspekte	17
II-A. Technische Durchführbarkeit	17
II-A-1 Die einzelnen Brennstoffkreislaufaktivitäten für heutige LWR-, HWR- und SBR-Zyklen	17
II-A-2 Brennstoffzyklen für fortgeschrittene Reaktoren	19
II-B. Wirtschaftliche Erwägungen	19
II-C. Umwelt-, Strahlenschutz- und Sicherheitsaspekte	21
III. Aspekte der Nichtverbreitung von Kernwaffen	22
III-A. Sensitive Punkte im Kernbrennstoffkreislauf	23
III-A-1 Frischer Brennstoff	23
III-A-2 Anreicherungsanlagen	23
III-A-3 Reaktoren (LWR, HWR, SBR und fortgeschrittene Reaktoren)	25
III-A-4 Lagerung abgebrannter Brennelemente	26
III-A-5 Wiederaufarbeitung, Plutoniumlagerung und Herstellung von Mischoxidbrennelementen	26
III-A-6 Endlagerung von Abfall und abgebrannten Brennelementen	26

	Seite
IV. Umfassende Verfügbarmachung von Kernenergie zur Deckung des Weltenergiebedarfs	27
IV-A. Kommerzielle Märkte	27
IV-B. Staatliche Intervention	29
V. Minimierung der Gefahr der Verbreitung von Kernwaffen	31
V-A. Technische Maßnahmen	31
V-A-1 Maßnahmen zur Verringerung der Menge an waffenfähigem Material (Plutonium oder in den Isotopen U-233 und U-235 hoch angereichertes Uran) in abgetrennter Form	31
V-A-2 Maßnahmen zum Schutz besonderer Kernmaterialien durch Barrieren aus radioaktiver Strahlung	32
V-A-3 Die Verwendung von physischen Barrieren zum Schutz von besonderem Kernmaterial	32
V-A-4 Verwendung von Brennstoffen geringerer Anreicherung in Forschungsreaktoren	32
V-B. Sicherungskontrollen	33
VI. Institutionelle Vereinbarungen	35
VII. Besondere Bedürfnisse von und Bedingungen in Entwicklungsländern ..	37
 A n h a n g	
Schlußkommuniqué der Gründungskonferenz zur Internationalen Bewertung des Kernbrennstoffkreislaufs	41
Technische und wirtschaftliche Aufgabenstellung und Arbeitsmethoden der Studie	42
Pressekommuniqué der ersten INFCE-Plenarkonferenz	45
Liste der Aktionen und Entscheidungen der ersten INFCE-Plenarkonferenz	46
Liste der Teilnehmer an der ersten INFCE-Plenarkonferenz	47
Liste der Teilnehmer am Technischen Koordinierungskomitee	48
Einführung in den Kernbrennstoffkreislauf	49
INFCE-Dokumentation	51
Kommuniqué der Abschluß-Plenarkonferenz von INFCE	52
Liste der Teilnehmer an der abschließenden INFCE-Plenarkonferenz ..	54

Zusammenfassende Übersicht

Bericht des Technischen Koordinierungskomitees (TCC) an die Abschluß-Plenarkonferenz von INFCE

Einleitung

Die Internationale Bewertung des Kernbrennstoffkreislaufs (INFCE) wurde mit einer Konferenz vom 19. bis 21. Oktober 1977 in Washington ins Leben gerufen. An dieser Konferenz nahmen 40 Länder und vier internationale Organisationen teil. Im Abschlußkommuniqué der Konferenz¹⁾ waren die Teilnehmer

- sich der dringenden Notwendigkeit bewußt, daß der Weltenergiebedarf gedeckt werden muß und daß hierfür Kernenergie zur friedlichen Nutzung weithin bereitgestellt werden sollte,
- davon überzeugt, daß effektive Maßnahmen auf nationaler Ebene und durch internationale Vereinbarungen ergriffen werden können und sollten, um die Gefahr der Weiterverbreitung von Kernwaffen zu minimieren, ohne dadurch die Energieversorgung oder die Entwicklung der Kernenergie für die friedliche Nutzung zu gefährden,
- der Meinung, daß die spezifischen Bedürfnisse der Entwicklungsländer und die dort herrschenden Bedingungen besonders berücksichtigt werden sollten.

Die Gründungskonferenz vereinbarte, daß INFCE eine technisch-analytische Studie und keine Verhandlung sein sollte. Die Ergebnisse sollten den einzelnen Regierungen zur Berücksichtigung bei der Entwicklung ihrer Kernenergiepolitik sowie bei internationalen Diskussionen über Zusammenarbeit im Kernenergiebereich und die damit verbundenen Kontrollen und Sicherungsmaßnahmen vorgelegt werden. Die Ergebnisse von INFCE seien für die Teilnehmer nicht bindend.

Es wurde weiterhin vereinbart, daß die Bewertung objektiv und unter gegenseitiger Achtung der Entscheidungen eines jeden Landes auf diesem Gebiet erfolgen solle, ohne dabei die jeweilige Politik im Bereich des Brennstoffkreislaufs oder die jeweilige internationale Zusammenarbeit, die Vereinbarungen und die Verträge über die friedliche Nutzung der Kernenergie zu gefährden, sofern anerkannte Sicherungskontrollen angewendet würden.

Das Washingtoner Kommuniqué erkannte die vitale Bedeutung der Nichtverbreitung und darüber hinaus die Notwendigkeit effektiver und dringlicher Maßnahmen zur Beendigung und Umkehrung des nuklearen Wettrüstens zwischen den Kernwaffenstaaten an. Es wurde festgestellt, daß die Entscheidung einer

¹⁾ Der Text des Washingtoner Kommuniqués mit einer Liste der Teilnehmer der Gründungskonferenz und der Aufgabenstellung für die Studie ist als Anlage beigefügt.

Regierung, Kernwaffen herzustellen, im wesentlichen eine politische Entscheidung ist, der politische Erwägungen und Aspekte der nationalen Sicherheit zugrundeliegen, zu denen auch das Verhältnis zwischen vertikaler und horizontaler Proliferation sowie das unvermindert fortgesetzte Wettrüsten gehören. Es war jedoch nicht die Aufgabe von INFCE, diese politischen Angelegenheiten zu erörtern. Vielmehr war es Ziel der Studie, die Möglichkeit des Mißbrauchs des im Kernbrennstoffkreislauf verwendeten Fachwissens, der Anlagen oder des Materials zum Zweck der Kernwaffenherstellung zu untersuchen — wenn auch eingeräumt wurde, daß die friedliche Nutzung der Kernenergie nicht der einzige und vielleicht nicht einmal der bevorzugte Weg zu diesem Ziel sei — und auch zu untersuchen, ob technische und institutionelle Maßnahmen oder verbesserte Sicherungskontrollen eingeführt werden könnten, um einem derartigen Mißbrauch entgegenzuwirken. Obwohl Möglichkeiten für die Abzweigung durch subnationale Gruppen bis zu einem gewissen Grade auch betrachtet wurden, wurde doch anerkannt, daß der physische Schutz von Kernmaterial und nuklearen Anlagen in erster Linie in der Zuständigkeit des einzelnen Staates liegt.

Im Washingtoner Kommuniqué wurden auch die Organisation, die Aufgabenstellung, das Verfahren und die Methodik für die Studie festgelegt. Es wurden acht Arbeitsgruppen eingesetzt, zu deren Vorsitz sich die folgenden Länder bereiterklärten hatten:

Arbeitsgruppe 1

Verfügbarkeit von Brennstoff und Schwerwasser
(Co-Vorsitzende: Kanada, Ägypten, Indien)

Arbeitsgruppe 2

Verfügbarkeit von Anreicherung
(Co-Vorsitzende: Frankreich, Bundesrepublik Deutschland, Iran)

Arbeitsgruppe 3

Sicherung der langfristigen Versorgung mit Technologie, Brennstoff, Schwerwasser und Dienstleistungen unter Berücksichtigung des nationalen Bedarfs und unter Einhaltung der Nichtverbreitung
(Co-Vorsitzende: Australien, Philippinen, Schweiz)

Arbeitsgruppe 4

Wiederaufarbeitung, Plutoniumhandhabung, Rekyclierung
(Co-Vorsitzende: Japan, Vereinigtes Königreich)

Arbeitsgruppe 5

Schnelle Brüter
(Co-Vorsitzende: Belgien, Italien, UdSSR)

Arbeitsgruppe 6

Lagerung und Transport abgebrannter Brennelemente

(Co-Vorsitzende: Argentinien, Spanien)

Arbeitsgruppe 7

Abfallbehandlung und -endlagerung

(Co-Vorsitzende: Finnland, Niederlande, Schweden)

Arbeitsgruppe 8

Fortgeschrittene Brennstoffkreislauf- und Reaktorkonzepte

(Co-Vorsitzende: Republik Korea, Rumänien, USA).

Jede Gruppe arbeitete unabhängig und ist für ihren Bericht und ihre Ergebnisse allein verantwortlich.

Die 22 Co-Vorsitzenden bildeten ein Technisches Koordinierungskomitee (TCC), um die Tätigkeit der Arbeitsgruppen aus technischer Sicht zu koordinieren. Bei seiner ersten Sitzung wählte das TCC Prof. Abram Chayes aus den Vereinigten Staaten zum Vorsitzenden auf Zeit. In dieser Eigenschaft wurde er von Sitzung zu Sitzung bestätigt. Die Internationale Atomenergie-Organisation (IAEO) war im Technischen Koordinierungskomitee sowie in allen Arbeitsgruppen und Untergruppen vertreten und stellte Räumlichkeiten für Sitzungen und Sekretariatsdienste für die Erstellung der Studie zur Verfügung.

Die Gründungskonferenz bestimmte, daß alle interessierten Staaten und internationalen Gremien zur Teilnahme an der Arbeit von INFCE berechtigt sein sollten und alle Teilnehmer gleiches Recht hätten, zu dieser Arbeit ihren Beitrag zu leisten. Sechszig Länder und fünf internationale Organisationen sind der Einladung, in irgendeiner Form teilzunehmen, gefolgt. Das Ergebnis war eine durchaus repräsentative Gruppe von Staaten, und zwar Industrieländer und Länder auf verschiedenen Stufen wirtschaftlicher Entwicklung; Staaten mit unterschiedlich weit fortgeschrittenen größeren oder kleineren Kernenergieprogrammen; Verbraucher- und Lieferländer von Material und Ausrüstung; Länder mit Marktwirtschaft und Länder mit Zentralverwaltungswirtschaft; Kernwaffenstaaten, Nicht-Kernwaffenstaaten, Unterzeichner des EURATOM-Vertrages, des Nichtverbreitungsvertrages (NV-Vertrag) und des Vertrages von Tlatelolco sowie Staaten, die

keinem dieser Verträge angehören; und schließlich Länder aus allen geographischen Regionen der Welt.

Insgesamt hielten die acht Arbeitsgruppen an 174 Tagen 61 Sitzungen ab. Daran nahmen 519 Experten aus 46 Ländern und von fünf internationalen Organisationen teil und erstellten über 20 000 Seiten an Dokumenten. Das Technische Koordinierungskomitee tagte neun mal. Vom 27. bis 29. November 1978 fand in Wien die erste Plenarkonferenz statt, die über das Vorgehen bei der Erstellung dieses Berichts und der Schlußberichte der Arbeitsgruppen entschied¹⁾.

Daraus ergibt sich deutlich, daß die vorliegende zusammenfassende Übersicht selbst die Hauptthemen und wichtigsten Punkte der Studie nur streifen kann. Die hier gemachten Ausführungen sind einem umfangreichen Kontext mit detaillierten technischen, quantitativen und analytischen Angaben entnommen, die in den Zusammenfassungen und Hauptberichten der einzelnen Arbeitsgruppen enthalten sind. Diese Berichte sollten in jedem Falle zum vollen Verständnis der in dieser zusammenfassenden Übersicht enthaltenen Aussagen hinzugezogen werden.

Der folgende Teil dieses Berichtes ist in sieben Kapitel unterteilt. Im ersten Kapitel werden die Bedarfs- und Ressourcendaten angegeben, auf denen die übrige Analyse beruht. Im zweiten Kapitel finden sich Bewertungen der technischen Durchführbarkeit, der Wirtschaftlichkeit sowie der Strahlenschutz-, Sicherheits- und Umweltaspekte verschiedener Teile des Brennstoffkreislaufs. Im dritten Kapitel werden die einzelnen Stufen und Tätigkeiten des Brennstoffkreislaufs im Hinblick auf die Nichtverbreitung von Kernwaffen betrachtet. Die Kapitel IV, V und VII konzentrieren sich auf die im Washingtoner Kommuniqué genannten drei Hauptaspekte: Sicherstellung, daß Kernenergie weithin zur Deckung des Weltenergiebedarfs verfügbar gemacht wird; Minimierung der Gefahr der Verbreitung von Kernwaffen; und Berücksichtigung der spezifischen Bedürfnisse von und Bedingungen in Entwicklungsländern. Kapitel VI ist institutionellen Vereinbarungen gewidmet.

Eine vereinfachte Beschreibung des Kernbrennstoffkreislaufs ist in der Anlage enthalten.

¹⁾ Eine Liste der Aktionen und Entscheidungen der ersten INFCE-Plenarkonferenz ist in der Anlage beigelegt.

I. Verfügbarkeit von Vorräten und Dienstleistungen des Brennstoffkreislaufs unter Berücksichtigung des projizierten Bedarfs an Kernenergie

I-A. Kernenergieprojektionen

Eine gemeinsame Untergruppe der Arbeitsgruppen 1 und 2 übernahm die Aufgabe, den Bereich zu bestimmen, in dem sich möglicherweise Kernenergiekapazitäten bis zum Jahre 2025, dem Zeithorizont der Studie, entwickeln könnten. Die Untergruppe

versuchte nicht, die wahrscheinlichste Kernenergiekapazität zu bestimmten zukünftigen Zeitpunkten vorauszusagen, sondern sie entwickelte vielmehr eine hohe und eine niedrige Kapazitätsprojektion. Zwischen diesen liegt ein weiterer Bereich, der weitere Möglichkeiten illustrieren sollte, wie sich im Laufe der Zeit die installierten Kernenergiekapazitäten

zitäten noch entwickeln könnten. Es wurde jedoch eingeräumt, daß die beiden Projektionen keine absoluten Grenzen darstellen, sondern nur repräsentative Schätzungen abgeben. Je nach zukünftigen Entscheidungen und Ereignissen sind sowohl größere als auch geringere Kapazitäten möglich. Die Projektionen der Untergruppe werden in der folgenden Tabelle I dargestellt:

Tabelle I

**Projektion der Kernenergiekapazität
weltweit mit Ausnahme der Länder
mit Zentralverwaltungswirtschaft (WOCA) ^{a)}**

Netto-GW ^(e)

Jahr	niedrige Schätzung ^{b)}	hohe Schätzung ^{b)}
1985	245	274
1990	373	462
1995	550	770
2000	850	1 200
2005	1 100	1 650
2010	1 300	2 150
2015	1 450	2 700
2020	1 650	3 350
2025	1 800	3 900

a) World Outside Centrally Planned Economies Area.

b) Für die Zeit nach 2000 sind die Zahlen auf volle 50 GW ^(e) gerundet.

Bei der Erstellung dieser Projektionen wurde folgende Methodik angewandt: Für die Zeit bis zum Jahre 2000 beruhen die Projektionen auf nationalen Schätzungen der Kernkraftwerksleistung. Diese Schätzungen sind den Antworten von IAEA-Mitgliedstaaten auf einen Fragebogen der Untergruppe entnommen. Soweit keine Antworten eingegangen waren, hat die Untergruppe Daten der Kernenergieagentur (NEA) der Organisation für wirtschaftliche Zusammenarbeit und Entwicklung (OECD) verwendet. Die Projektionen wurden außerdem für 1985 und 1990 mit Daten korrigiert, die einer Studie der Internationalen Energieagentur (IEA) aus dem Jahre 1978 entstammen. Ausgehend von den im Fragebogen gemachten Angaben kam die Arbeitsgruppe 1 zu dem Schluß, daß erwartet wird, daß die Kernenergie bei der Deckung des Weltenergiebedarfs in den nächsten 50 Jahren eine wachsende Rolle spielen wird.

Für die Zeit zwischen 2000 und 2025 wurden zur Aufstellung der hohen Schätzung Kernenergiewachstumsraten verwendet, die auf dem Szenario H5 der 1977 von der „Conservation Commission“ der Weltenergiekonferenz (WEC) erstellten Studie beruhen. Dieses Szenario geht von einer jährlichen Durchschnittswachstumsrate des Weltbruttosozialprodukts von 4,2 % aus und nimmt außerdem an, daß Elektrizität um das Jahr 2000 33 % und um das Jahr 2025

45 % der Weltprimärenergie ausmachen wird. Außerdem wird in der Studie noch angenommen, daß um das Jahr 2020 die Kernenergie etwa 50 % des elektrischen Stroms liefern wird. Bei der niedrigen Wachstumsschätzung wurden Wachstumsraten zugrundegelegt, die sich für die Zeit nach 2000 von dem „gegenwärtigen Trend“ der NEA-Schätzung aus dem Jahre 1978 ableiten. Diese NEA-Analyse des gegenwärtigen Trends besagt, daß die Wachstumsrate für Kernkraftwerkskapazität von 5,4 % pro Jahr im Zeitraum 2000 bis 2005 auf 1,7 % pro Jahr im Zeitraum 2020 bis 2025 zurückgehen wird.

Die Länder mit Zentralverwaltungswirtschaft in Osteuropa und Asien wurden in dieser Projektion nicht erfaßt, so daß die Daten auf die übrige Welt beschränkt sind. 1978 stellten die Länder mit Zentralverwaltungswirtschaft etwa 15 % der weltweit installierten Kernkraftwerkskapazität.

I-B. Ressourcenbedarf und -verfügbarkeit

I-B-1 Reaktorstrategien

In den nächsten 50 Jahren wird der Bedarf an Kernbrennstoff, Schwerwasser und damit verbundenen Dienstleistungen nicht nur von den Projektionen des Kernenergiewachstums, sondern auch von den eingesetzten Reaktortypen abhängen. Grundsätzlich könnte man zur Bedarfsdeckung eines Energiesystems im Rahmen einer Kernenergiestrategie eine große Zahl verschiedener Reaktortypen allein oder in Kombinationen einsetzen. Insgesamt wurden von den INFCE-Arbeitsgruppen 22 dieser Reaktortypen einschließlich ihrer Brennstoffzyklen untersucht ¹⁾. Viele von ihnen haben wegen ihres Potentials zur verbesserten Ressourcennutzung Interesse erregt. Die weiter fortgeschrittenen Reaktorsysteme befinden sich noch in verschiedenen Stadien der Konzeptfindung, wobei für die Systementwicklung bisher wenig oder gar nichts getan wurde. Solche Systeme können also erst weit nach dem Jahre 2000 als mögliche Optionen in Betracht gezogen werden. Die z. Z. vorliegenden Informationen reichen für ihre Bewertung nicht aus.

¹⁾ (1) Der heutigen Technologie entsprechende Leichtwasserreaktoren (LWR) im offenen Kreislauf, (2) der heutigen Technologie entsprechende Schwerwasserreaktoren (HWR) im offenen Kreislauf, (3) der heutigen Technologie entsprechende LWR mit Pu-Rezyklisierung, (4) der heutigen Technologie entsprechende HWR mit Pu-Rezyklisierung, (5) der heutigen Technologie entsprechende Schnelle Brutreaktoren (SBR) (U/Pu, Oxidbrennstoff), (6) Hochtemperaturreaktoren (HTR) im offenen Th/U-Kreislauf, (7) verbesserte LWR im offenen Kreislauf, (8) fortgeschrittene SBR, (9) verbesserte LWR mit Pu-Rezyklisierung, (10) verbesserte HWR im offenen Kreislauf, (11) HWR im Th/U-Kreislauf mit Rezyklisierung, (12) HTR im Th/U-Kreislauf mit Rezyklisierung, (13) HTR im offenen Kreislauf mit angereichertem Uran, (14) LWR mit Th/U-233-Kreislauf mit Rezyklisierung einschließlich Brüter, (15) SBR mit Th-Brutmänteln, (16) SBR im Th/U-233-Kreislauf, (17) Salzschnmelzenbrüter, (18) Schwerwasser-Seed-Blanket-Reaktoren, (19) Suspensionsreaktoren, (20) Hybridreaktoren, (21) Fusionsreaktoren und (22) Spallationsbrüter.

Tabelle II

**Uranbedarf einiger von INFCE betrachteter
Kernreaktoren und Brennstoffkreislaufoptionen
während der Reaktorlebensdauer ^{a)}**

Reaktortyp und Brennstoffkreislaufoption	Uranbedarf während der Reaktorlebensdauer (t U)
LWR im offenen Kreislauf	
Heutige Technologie	4 260
15 % verbessert	3 720
30 % verbessert	3 080
LWR mit U/Pu-Rezyklierung im Umfang der Eigen- erzeugung	
Heutige Technologie	2 665
verbesserte Technologie	1 850
HWR im offenen Kreislauf heutige Technologie mit Natururan	3 655
verbesserte Technologie mit niedrig angereichertem Uran	2 505
HWR mit Pu-Rezyklierung im Umfang der Eigen- erzeugung	
Natururan mit Pu-Rezyklierung	1 820
HWR im Thorium-Kreislauf denaturiertes U-233; HEU ^{b)} -Spaltstoff- ergänzung ^{c)}	1 685
HEU-Rezyklierung; HEU- Spaltstoffergänzung ^{c)}	1 520
HEU-Rezyklierung; Pu- Spaltstoffergänzung ^{d)}	1 220
HTR im Thorium-Kreislauf ^{c)} denaturiertes U-233; HEU- Spaltstoffergänzung	2 375
HEU-Rezyklierung; HEU- Spaltstoffergänzung	1 650
SBR im U/Pu-Kreislauf ^{e)}	
Technologie vor 2000	36
Technologie nach 2000 (Referenzfall)	46
Technologie nach 2000 (fortgeschritten)	49

a) 1000 MW_(e) bei einer Lebensdauer von 30 Jahren und einem Lastfaktor von 70 %, Tails Assay 0,2 %

b) HEU = Highly Enriched Uranium = hoch angereichertes Uran

Bei der Berechnung des Bedarfs an Brennstoff und an Dienstleistungen des Brennstoffkreislaufs, der sich aus den Projektionen des Kernenergiewachstums ergeben kann, konzentrierte sich die Untergruppe in erster Linie auf Reaktortypen und -technologien, die heute verfügbar sind oder es in absehbarer Zeit sein werden. Dazu gehören:

- LWR-Brennstoffkreisläufe ohne Rezyklierung,
- vorwiegend auf Schwerwasserreaktoren beruhende Brennstoffkreisläufe ohne Rezyklierung,
- umfangreiche Einführung von Schnellen Brutreaktoren,
- LWR mit Plutonium-Rezyklierung im Umfang der Eigenerzeugung,
- HWR mit a) Plutonium-Rezyklierung im Umfang der Eigenerzeugung oder b) Uran/Thorium-Brennstoffrezyklierung.

Diese Reaktorsysteme und ihre Brennstoffkreisläufe bilden zwei Gruppen mit grundsätzlich verschiedenen Eigenschaften. In den ersten zwei Systemen wird das in den abgebrannten Brennelementen enthaltene Uran und Plutonium nicht wieder verwendet, während bei den drei anderen Systemen Wiederaufarbeitung und Refabrikation im geschlossenen Kreislauf erforderlich sind.

In Tabelle II wird der typische Uranbedarf der wesentlichen Reaktorsysteme während ihrer gesamten Betriebszeit dargestellt. Es ist zu beachten, daß in dieser Tabelle lediglich der Natururanbedarf einzelner Reaktoren auf der Grundlage verfügbarer Kenndaten angegeben ist. Im Rahmen eines Kernenergieprogramms wird jedoch die Wahl der Reaktortypen und Brennstoffzyklen vom Bedarf des gesamten Systems an Uran und anderen Dienstleistungen des Brennstoffkreislaufs sowie von der Wirtschaftlichkeit, der technischen Durchführbarkeit und anderen Faktoren beeinflusst. So würde man beispielsweise erhebliche und wachsende Kapazitäten für die Wiederaufarbeitung benötigen, wenn ein wesentlicher Anteil des Kernenergiezubaues von Rezyklierungs- oder Brutreaktorsystemen getragen werden sollte; andererseits wären erhebliche und wachsende Kapazitäten für die Lagerung abgebrannter Brennelemente und die Brennelement- und Abfallendlagerung erforderlich, wenn der Brennstoffkreislauf ohne Rezyklierung im Sinne eines Wegwerfzyklus auf breiter Basis eingesetzt werden sollte; etc.

- einschließlich des für die Produktion der Spaltstoffinventare im Reaktor und im äußeren Brennstoffkreislauf benötigten Natururans in der ersten Reaktorgeneration
- im Reaktor und im äußeren Brennstoffkreislauf werden zusätzlich zum Uranbedarf Plutoniuminventare benötigt. Der Uranbedarf bezieht sich auf eine Symbiose von 1 Natururan-HWR mit 2 Th/Pu-HWR.
- Im Reaktor und im äußeren Brennstoffkreislauf werden zusätzlich zum Uranbedarf Plutoniuminventare benötigt. Die SBR-Daten beziehen sich auf abgereichertes Uran. Der Uranbedarf hängt vom Brutgewinn ab, wobei ein erhöhter Brutgewinn zusätzliches Uran erfordert (mit damit verbundenem Anstieg der Netto-plutoniumproduktion).

Zur Feststellung des Bedarfs wurden für den Zeitraum vor dem Jahr 2000 Reaktormischungsverhältnisse verwendet, die den Antworten der einzelnen Länder auf den zuvor erwähnten Fragebogen entnommen werden konnten. Ohne das Mischungsverhältnis für den Zeitraum vor dem Jahr 2000 zu verändern, wurden aber in einigen Fällen Plutoniumrezyklierung oder Leichtwasserreaktoren (LWR) mit verbesserter Uranausnutzung schon vor dem Jahre 2000 eingeführt.

Für den Zeitraum nach dem Jahre 2000 wurden mehrere illustrative Strategien definiert und auf die hohe und niedrige Schätzung des Kernenergiewachstums angewendet. Einige Strategien waren dadurch charakterisiert, daß im Zeitraum nach dem Jahr 2000 ein Reaktortyp rasch dominiert. Für jede illustrative Strategie [mit Ausnahme der Schwerwasserreaktorstrategien Typ (e)] wurden zwei Fälle betrachtet: Im ersten Fall ging man von der gegenwärtigen Technologie und im zweiten von verbesserten technischen Eigenschaften des dominierenden Reaktortyps aus, um auf diese Weise zu hohen und niedrigen Schätzungen des Uranbedarfs zu kommen. Bei den HWR-Strategien wurden alternative Brennstoffkreisläufe betrachtet, die eine veränderte Uranbedarfsstruktur als Funktion der Zeit ergaben.

Es ist offensichtlich, daß die Kernenergie in verschiedenen Ländern auf verschiedene Weise wachsen wird. Die Einzeltypstrategien werden daher nicht im Sinne von realistischen Projektionen verwendet, sondern vielmehr, um die Auswirkungen der verschiedenen Reaktorsysteme deutlich zu machen. Deshalb wurden zusätzlich noch eine Reihe illustrativer Mischstrategien definiert, die auf dem kombinierten Einsatz von LWR, HWR und SBR beruhen.

Aus den Projektionen für das weitere Wachstum der Kernenergie wurde mit Hilfe eines IAEA-Computermodells, das durch Vergleich mit anderen Modellen überprüft wurde, der Bedarf an Dienstleistungen im Kernbrennstoffkreislauf berechnet. Daraus ergab sich ein möglicher Bereich für die Urannachfrage, der zum einen begrenzt wird von einer Niedrigbedarfsstrategie, bei der überall in WOCA Brüter mit fortgeschrittener Technologie (mit einer einjährigen Verweilzeit des Brennstoffs außerhalb des Reaktors) verwendet werden und zum anderen von einer Hochbedarfsstrategie, bei der vor allem Leichtwasserreaktoren heutiger Technologie ohne Rezyklierung zum Einsatz kommen. Dieser Bedarfsbereich liegt im Jahre 2000 zwischen 85 000 und 200 000 t U/a und im Jahre 2025 zwischen 50 000 und 590 000 t U/a. Ein plausiblerer Bedarfsbereich für Uran — entsprechend der Einschätzung der vorliegenden Studie und im Rahmen ihrer Grenzen — basiert auf den oben beschriebenen Mischstrategien, wenn diese ebenfalls überall in WOCA verwirklicht werden. Dieser Bereich liegt im Jahre 2000 etwa zwischen 90 000 und 160 000 t U/a und im Jahre 2025 etwa zwischen 75 000 und 430 000 t U/a.

Der Thoriumbedarf könnte 2025 bis zu 35 000 t Th/a betragen. Der Schwerwasserbedarf könnte bei Strategien, in denen HWR dominieren, bis auf 150 000 t/a anwachsen.

Varianten dieser illustrativen Mischstrategien sowie mehrere von anderen Arbeitsgruppen vorgeschlagene Strategien wurden verwendet, um die Sensitivität des Uranbedarfs gegenüber Faktoren wie Veränderungen in der Markteinführung einer Technologie oder in den Mischungsverhältnissen von Reaktorsystemen in der Zeit nach 2000 zu untersuchen.

I-B-2 Uranverfügbarkeit

Die Uranversorgung bis zum Jahre 2025 wird hauptsächlich aus solchen Lagerstätten kommen, die mit Kosten von bis zu US \$ 130/kg U (Preisbasis 1978) entweder derzeit abgebaut werden oder unter den gegenwärtigen technologischen und wirtschaftlichen Bedingungen abgebaut werden könnten. Seit 1965 sind die Vorräte dieser „konventionellen“ Lagerstätten von einer gemeinsamen Arbeitsgruppe der NEA/OECD und der IAEA in regelmäßigen Abständen abgeschätzt worden.

Die NEA/IAEO-Arbeitsgruppe hat für ihre Schätzungen nach geologischen Kriterien zwei Kategorien unterschiedlicher Zuverlässigkeit eingeführt: die Hinreichend Gesicherten Vorräte (RAR) und die Geschätzten Zusätzlichen Vorräte (EAR). Diese beiden Kategorien werden außerdem nach den Gewinnungskosten noch einmal unterteilt (im allgemeinen sind darin weder Explorationskosten noch Gewinne enthalten). Die Kostenkategorien der NEA/IAEO für Uran sind recht willkürlich abgegrenzt und werden lediglich als Grundlage für die Klassifizierung der Vorräte verwendet. Diese Praxis wurde auch von INFCE übernommen, um Konsistenz mit anderen internationalen Studien zu gewährleisten. Zu beachten ist, daß diese Kostenkategorien nicht unbedingt diejenigen Preise wiedergeben, die zur Sicherung der weiteren Lebensfähigkeit der Uranindustrie erforderlich sind oder diejenigen, zu denen Uran dem Verbraucher zur Verfügung steht. Die nachstehende Tabelle III enthält die neuesten Schätzungen der Uranvorräte, und zwar aufgegliedert nach diesen international eingeführten Kategorien. Fast 80 % der Hinreichend Gesicherten Vorräte liegen in Nordamerika, Afrika und Australien, während annähernd 90 % der gesamten Geschätzten Zusätzlichen Vorräte in Nordamerika und Afrika vorkommen. Etwa 75 % der für Europa ausgewiesenen 391 000 t an Hinreichend Gesicherten Vorräten kommen in schwedischen Alaunschieferablagerungen vor, deren zukünftige Abbauwürdigkeit aus einer Reihe von Gründen, wozu auch Umweltgesichtspunkte zählen, unsicher ist. Es ist bekannt, daß es außer den in der vorstehenden Tabelle III genannten konventionellen Vorräten noch weitere Vorkommen dieser Art in mehreren Gebieten der Erde gibt, jedoch mit so geringen Urangelalten, daß die Kosten der Urangewinnung die Grenze von \$ 130/kg U übersteigen würden.

Es besteht ein erhebliches Potential für die Entdeckung konventioneller Vorräte über die in der Kategorie der Geschätzten Zusätzlichen Vorräte genannten hinaus. Man beurteilt die Aussichten für diese neuen Entdeckungen günstig, wie aus einer

Tabelle III

Geschätzte Uranvorräte nach Kontinenten (weltweit mit Ausnahme der Länder mit Zentralverwaltungswirtschaft: Stand Januar 1979)
(1 000 t U)

	Hinreichend Gesicherte Vorräte		Geschätzte Zusätzliche Vorräte	
	bis zu \$ 80/kg U	\$ 80 bis \$ 130/kg U	bis zu \$ 80/kg U	\$ 80 bis \$ 130/kg U
Nordamerika	752	224	1 145	759
Afrika	609	167	139	124
Australien	290	9	47	6
Europa	66	325	49	49
Asien	40	6	1	23
Südamerika	97	5	99	6
	1 850	740	1 480	970

kürzlich abgeschlossenen internationalen Studie¹⁾ über das Welturanpotential hervorgeht. Diese Studie identifizierte die für neue Uranentdeckungen günstigen Gebiete der Erde. Die in diesen Gebieten möglicherweise vorhandenen „Spekulativen Vorräte“ (bei Gewinnungskosten von bis zu \$ 130/kg U) werden in der Studie auf 6,6 — 14,8 Millionen t Uran geschätzt. In der Studie wurde betont, daß „die Gesamtmengen nicht die letztlich vorhandenen Uranvorräte angeben sollen, da die Expertengruppe notwendigerweise in ihrem Urteil auf den jetzigen Stand des Wissens beschränkt ist, welches schon per se in den einzelnen Weltregionen lückenhaft ist“. Bei der Diskussion der Spekulativen Vorräte betonte die Studie des International Uranium Resources Evaluation Project (IUREP) (Internationales Projekt zur Bewertung der Uranvorräte) auch, daß nur wenig über die Entdeckbarkeit oder Verfügbarkeit der Vorräte ausgesagt werden könne. Sie vertrat vielmehr die Meinung, daß „ein großer Teil der genannten Spekulativen Vorräte erst nach 2025 entdeckt und der Produktion zugeführt werden kann“.

Möglicherweise könnte Uran auch aus mehreren „unkonventionellen“ Vorkommen mit einem normalerweise sehr geringen Urangehalt gewonnen werden, so z. B. aus Schiefen, Graniten mit überdurchschnittlich hohem Erzgehalt, Stein- und Braunkohlen sowie aus Meerwasser. Außerdem ist es denkbar, daß erhebliche Mengen Uran aus Anreicherungsrückständen und Waffenarsenalen gewonnen werden könnten.

1978 betrug die Produktionskapazität für Uran etwa 39 000 t U/a. Sie könnte bis 1980 auf ca. 49 000 t U/a und bis 1985 auf rund 90 000 t U/a erweitert werden. Auch für die Zeit nach 1985 bestehen in WOCA noch einige weitere Möglichkeiten der Kapazitäts-

erweiterung auf der Basis der Hinreichend Gesicherten und der Geschätzten Zusätzlichen Vorräte. Unter optimalen Bedingungen ist eine Höchstproduktion von 110 000 bis 120 000 t U/a in den neunziger Jahren möglicherweise erreichbar. Danach würde die Gewinnung aus diesen als „bekannt“ eingestuften Vorräten teils infolge der Erschöpfung von Lagerstätten und teils infolge des Abbaus geringwertiger Erze auf etwa 20 000 t U/a im Jahre 2025 absinken. Die heutigen Annahmen hinsichtlich der jährlichen Uranverfügbarkeit in WOCA bis zum Jahre 2025, die auch als „maximal durchführbare“ Produktions-szenarien gelten können, basieren sowohl auf den Bekannten Vorräten als auch auf den Spekulativen Vorräten mit Gewinnungskosten unter \$ 130/kg U. Danach könnte die Uranproduktion im Jahr 2000 etwa zwischen 165 000 und 175 000 t U/a liegen und sich bis zum Jahre 2025 auf 175 000 bis 305 000 t U/a ausdehnen. Diese Ausdehnung entspricht dem Anderthalb- bis Zweieinhalbfachen dessen, was gegenwärtig aufgrund bekannter Vorräte für Mitte der neunziger Jahre als möglich angesehen wird. Das Erreichen solcher Produktionsniveaus hängt wesentlich von der Voraussetzung ab, daß die Spekulativen Vorräte auch wirklich entdeckt und abgebaut werden. Das Erreichen adäquater Produktionszahlen wird auch von zahlreichen weiteren Faktoren abhängen. Die wichtigsten unter ihnen sind: ein günstiges politisches Klima und gute Marktbedingungen, ferner ausreichende Verfügbarkeit von Arbeitskräften und Maschinen sowie die Beseitigung verschiedener, die Uransuche und -erschließung beeinträchtigender Unsicherheiten auf den Gebieten Umwelt und Gesetzgebung, einschließlich Konflikten bei der Landflächennutzung.

Diese und andere technische und nichttechnische Faktoren könnten zu der Erwartung führen, daß die tatsächliche Uranversorgung bis 2025 nicht den „maximal durchführbaren“ Szenarien entsprechen wird. Es bestehen noch einige Möglichkeiten, die

¹⁾ „World Uranium Potential, An International Evaluation.“ NEA/IAEO, Dezember 1978 (IUREP-Studie)

Uranproduktion zu erhöhen, u. a. die Gewinnung von Uran aus Vorräten der höheren Kostenkategorie und/oder aus unkonventionellen Vorräten. Allerdings wird der voraussichtliche Versorgungsbeitrag aus unkonventionellen Uranquellen während des betrachteten Zeitraums nur bescheiden sein. Zusätzlich zur Produktion aus den Bekannten Vorräten wird eine steigende Urangewinnung (etwa 8 000 t U im Jahr 2000 und ca. 16 000 t U im Jahre 2025) als Nebenprodukt bei der Herstellung von Phosphorsäure erwartet.

I-B-3 Thoriumverfügbarkeit

Ein nennenswerter Thoriumbedarf würde nicht vor Beginn des nächsten Jahrhunderts auftreten. Versorgungsprobleme mit Thorium für diejenigen Strategien, die dieses Material benutzen, werden innerhalb des Betrachtungszeitraums nicht erwartet.

I-B-4 Verfügbarkeit von Schwerwasser

Was das Schwerwasser betrifft, so sind Deuteriumvorräte im Überfluß vorhanden. Da es eine bewährte Produktionstechnologie gibt, treten selbst dann keine grundlegenden Schwierigkeiten bei der Schwerwasserversorgung auf, wenn der überwiegende Teil aller Länder in WOCA HWR einsetzen sollte.

I-B-5 Gegenüberstellung von Uranangebot und -nachfrage

Die von Arbeitsgruppe 1 durchgeführte Gegenüberstellung von Uranangebot und -nachfrage zeigt, daß wahrscheinlich vor Ende des Jahrhunderts — möglicherweise auch schon Anfang der neunziger Jahre — zusätzliche Produktionsquellen benötigt werden. Zwar könnte ein Teil der Ende der neunziger Jahre benötigten zusätzlichen Mengen aus Vorräten der höheren Kostenkategorien oder aus unkonventionellen Vorkommen wie Schiefer gewonnen werden, doch wird der Hauptteil der benötigten neuen Produktion von neuen Uranfunden getragen werden müssen. Falls die erforderlichen Prospektions- und Explorationsarbeiten durchgeführt und die nötigen Investitionen gemacht werden können, dürfte es für die Uranindustrie nicht übermäßig schwierig sein, den Bedarf bis zum Jahr 2000 zu decken. Ausgehend von der Abschätzung der langfristigen Versorgung mit Uran, einschließlich der Produktion aus Spekulativen Vorräten, wurde festgestellt, daß die Uranindustrie in der Lage sein sollte, für die niedrige Kernenergieprojektion den jährlichen Uranbedarf bis zum Jahr 2025 zu decken. Dies gilt auch für die Strategien ohne Rezyklierung. Allerdings ist eine gewisse Unsicherheit in dieser Aussage unvermeidlich, und zwar aus den schon erwähnten Gründen. Ausgehend von der gleichen Einschätzung der langfristigen Uranversorgung wurde festgestellt, daß die Uranindustrie die notwendigen jährlichen Liefermengen nicht bereitstellen kann, die im Falle der hohen Wachstumsprojektion in der Zeit nach 2000 für Kreisläufe ohne Rezy-

klierung und einige der Strategien mit thermischer Rezyklierung erforderlich wären.

Obgleich die illustrativen Mischstrategien nicht an sich plausibler sind als die Einzeltypstrategien, war Arbeitsgruppe 1 doch der Ansicht, daß sie — sozusagen aus natürlichen Gründen — einen plausibleren Bedarfsbereich beschreiben, um dem Angebot gegenübergestellt zu werden.

Eine Untersuchung des jährlichen Bedarfs bis 2025 macht den Unterschied zwischen den alternativen Reaktorstrategien jedoch nicht ganz deutlich. Die Beibehaltung von Reaktorsystemen ohne Rezyklierung stößt unweigerlich auf Vorratsgrenzen, während einige rezyklierende Systeme diese Grenze praktisch aufheben können. Der geschätzte Uranbedarf für die gesamte Lebensdauer derjenigen Reaktoren, deren Inbetriebnahme bis 2000 vorgeesehen ist, übersteigt die heutigen Erwartungen von Uran aus den Hinreichend Gesicherten Vorräten für die meisten Kernenergiestrategien. In der Tat nähert sich bis 2000 die höchste Schätzung dieses Bedarfs den gegenwärtigen Schätzungen der Hinreichend Gesicherten und der Geschätzten Zusätzlichen Vorräte. Da selbst die Hinreichend Gesicherten Vorräte zu diesem Zeitpunkt nicht in vollem Umfange verfügbar sein werden, ist die Notwendigkeit für eine weitere Uransuche und -erschließung offensichtlich.

Angebot und Nachfrage sind, so wie sie in der vorliegenden Analyse verglichen werden, nicht miteinander korreliert. In der Praxis sind sie jedoch nicht voneinander unabhängig, sondern können sich gegenseitig stark beeinflussen. Darüber hinaus können sie auch die individuelle Einschätzung der Bedarfs-lage, der Angemessenheit der Uransuche und der Sicherheit bei Angebot und Nachfrage beeinflussen. Kontinuität und Stabilität des Marktes gehören zu den wichtigsten Anreizen, um eine gesicherte Bedarfs-lage und eine entsprechende Versorgung mit Kernbrennstoff und Schwerwasser zu erreichen. Es ist wichtig mit Blick auf den Bedarf, die Bewertung der Vorräte, der Explorationsarbeiten und der entsprechenden Vorlaufzeiten fortzusetzen.

Eine wesentliche und rechtzeitige Intensivierung der Prospektions- und Explorationsanstrengungen sowie verstärkte Forschung und Entwicklung zur Lösung der Probleme bei der Uranerzsuche und -extraktion (besonders im Hinblick auf nicht an die Oberfläche austretende Lagerstätten und unkonventionelle Uranvorkommen) sollten zu genaueren Projektionen der zukünftigen Uranproduktion führen. Überdies stellen die technische Entwicklung von Reaktoren und ihrer Brennstoffkreisläufe, die Modifizierung des Anlagenbetriebs und die Reduzierung des Tails-Assay (d. h. restlicher U-235 Gehalt im abgereicherten Uran) weitere sich ergänzende Möglichkeiten dar, um die Zuversicht dafür zu stärken, daß der Uranbedarf für jede Kernenergienachfrage gedeckt werden kann, die in dieser Studie untersucht wurde.

Arbeitsgruppe 8, die mögliche Verbesserungen der LWR-Technologie untersucht hat, kam zu dem Ergebnis, daß Maßnahmen, die ohne unzumutbare ökonomische oder sicherheitstechnische Folgen zu

10 bis 15 % Uraneinsparung führen, im nächsten Jahrzehnt demonstriert werden könnten, sofern die notwendigen Entwicklungsprogramme erfolgreich sind. Es sind Maßnahmen vorgeschlagen worden, um weitere 15 % Uran einzusparen; aber es bestand keine generelle Übereinstimmung darüber, ob sie machbar, wünschenswert und rechtzeitig verfügbar sein werden. Bei den HWR, die ressourcenschonender sind als die LWR, würde der Einsatz leicht angereicherten Urans im offenen Kreislauf zu einer Uraneinsparung von etwa 30 % führen.

Arbeitsgruppe 4 hat abgeschätzt, daß beim gegenwärtigen Stand der Technik bei der thermischen Rezyklierung in LWRs Uraneinsparungen von 35 bis 40 % erreichbar sind, verglichen mit dem LWR-Wegwerfzyklus. Würde man sowohl den LWR im Wegwerfzyklus als auch den LWR mit thermischer Rückführung unabhängig voneinander optimal verbessern, so lägen die von einem verbesserten LWR-Rezyklierungssystem erwarteten Uraneinsparungen bei bis zu 20 bis 30 % im Vergleich zum verbesserten Wegwerfzyklus. Würde Plutonium in Schwerwasserreaktoren (HWR) rezykliert, wären die Uraneinsparungen größer. Der Einsatz von Thorium in thermischen Reaktoren könnte im Rezyklierungsfall zu einer weiteren Verbesserung der Uranausnutzung führen.

Systeme, bei denen Schnelle Brutreaktoren mit einem angemessenen Brutgewinn eingesetzt werden, insbesondere symbiotische Systeme aus Schnellen Brutreaktoren und thermischen Reaktoren, können selbstverständlich ohne Einschränkungen durch die Uranversorgung den Einsatz der Kernenergie für alle praktischen Anwendungen ermöglichen. Um in diesem Zusammenhang das maximale Potential des Schnellen Brütters zu illustrieren, führte Arbeitsgruppe 5 Berechnungen mit den folgenden Annahmen durch: frühest mögliche Brüterereinführung mit 50 GW_(e) im Jahr 2000 und 200 GW_(e) im Jahr 2005; nach 2005 maximale Brüter-Zubaurate gemäß Plutoniumverfügbarkeit und Bedarf an Kernenergie. Die Arbeitsgruppe warnt jedoch davor, diese Zahlen ohne weiteres als Vorhersage für den Einsatz von Brütern zu interpretieren. Auf dieser Grundlage hat die Arbeitsgruppe 5 errechnet, daß bei beiden Bedarfsschätzungen, und zwar sowohl bei der hohen als auch bei der niedrigen, die damit festgelegten Mengen an Uran bis zum Jahre 2025 mindestens um den Faktor 4 verringert werden können. Der jährliche Uranbedarf würde zwischen 2000 und 2010 Höchstwerte von etwa 160 000 t U/a für die hohe und 100 000 t U/a für die niedrige Bedarfsprojektion erreichen.

Da man sich mit der Entscheidung über ein Kernenergieprogramm gleichzeitig für eine Brennstoffversorgung über die nächsten 40 Jahre festlegt, wird das Vertrauen in die zukünftige Versorgung zu einer entscheidenden Frage; wegen der Unsicherheit über die langfristige Verfügbarkeit von Natururan werden Länder mit Kernenergieprogrammen über robuste Konzepte verfügen wollen, die einigen Schutz für den Fall bieten, daß Uran zu irgend einem späteren Zeitpunkt praktisch nicht mehr erhältlich ist.

Regionale Ungleichheiten führen zur Sorge des Verbrauchers um die Sicherheit seiner Versorgung und zur Sorge des Produzenten um die Sicherung von Absatzmärkten. Die gegenwärtig bekannten Uranvorräte und auch die Produktionskapazität sind zwar in einigen wenigen Ländern konzentriert, doch existiert in Form der Spekultativen Vorräte ein Potential für eine zukünftige bessere Streuung der Versorgungsquellen. Eine solche Streuung würde das Vertrauen des Verbrauchers in die Versorgungssicherheit erhöhen. Unterschiedliche Ansichten über die Zuverlässigkeit und den zeitlichen Rahmen der zukünftigen Uranverfügbarkeit können dazu führen, daß einzelne Länder unterschiedliche Wege zur Verbesserung der Urannutzung gehen werden. Politische und kommerzielle sowie technische Faktoren werden die Auswahl von Reaktorstrategien beeinflussen. Dies gilt insbesondere für Länder in den Teilen der Welt, in denen regionale Unausgewogenheiten von Angebot und Nachfrage die Sorge um die Belieferung mit Uran vergrößern. Die derzeitigen Vorstellungen von Angebot und Nachfrage werden dadurch kompliziert, daß Daten aus solchen Ländern mit Zentralverwaltungswirtschaft fehlen, die sich zu bedeutenden Uranimporteuren oder -exporteuren entwickeln könnten. Diese Informationen könnten dazu beitragen, die bestehenden Unsicherheiten zu verringern.

I-C. Dienstleistungen des Brennstoffkreislaufs

Weder die industrielle Konversion von U₃O₈ in Hexafluorid und weiter in UO₂ noch die Herstellung von UO₂-Brennelementen sollten Anlaß zu irgend welchen Sorgen geben, da diese Verfahren sich bewährt haben, nicht sehr kapitalintensiv sind und die Produktionskapazität leicht erweitert werden kann.

Als Anbieter von Anreicherungsdienstleistungen haben die Vereinigten Staaten bisher eine führende Rolle gespielt. Die verfügbare Gesamtkapazität belief sich 1978 auf 15,4 Millionen kg Trennarbeit pro Jahr (Millionen kg UTA/a). Auch Lieferungen aus der UdSSR stehen in gewissem Umfang zur Verfügung. Für die 80er Jahre ist in den Vereinigten Staaten eine erhebliche zusätzliche Kapazität vorgesehen. Anfang der 80er Jahre werden wesentliche Beiträge auch von anderen Anbietern wie EURODIF und URENCO verfügbar sein. Diesen werden gegen Ende des Jahrzehnts Coredif in Frankreich und PNC in Japan folgen. Die kommerziell verfügbare Gesamtkapazität wird für 1985 auf 43 Millionen kg UTA/a und für 1995 auf 81 bis 84 Millionen kg UTA/a geschätzt. Aus einer Gegenüberstellung von Lieferkapazität und Bedarf ergibt sich, daß die derzeit in Betrieb oder im Bau befindlichen Urananreicherungs-kapazitäten ausreichen würden, um den geschätzten Bedarf bis etwa 1990 zu decken; zusammen mit den heute geplanten Kapazitäten könnte der Bedarf bis nach 1995 gedeckt werden. Nach dem Jahr 2000 müßte die zusätzliche Trennarbeitskapazität, die zur Deckung der Nachfrage für Reaktorstrategien mit dem höchsten Anreicherungsbedarf erforderlich wäre, sehr schnell ausgebaut werden.

Verglichen mit dem entsprechenden Zubau bei Kernkraftwerken dürfte jedoch der für den raschen Ausbau der Anreicherungskapazität erforderliche Aufwand unproblematisch sein.

Ganz anders ist die Sachlage bei der Verfügbarkeit von Wiederaufarbeitungsdienstleistungen. In den WOCA-Ländern wird die verfügbare Anlagenleistung im Jahr 1980 immer noch unter 1000 t UO_2/a liegen, und für das Jahr 2000 wird eine Kapazität von etwa 9000 bis 10 000 t UO_2/a erwartet.

Unabhängig vom gewählten Entsorgungskonzept ist zwischen 1980 und 1990 eine stark zunehmende Akkumulation abgebrannter Brennelemente zu erwarten. Die auf den Fragebogen der Arbeitsgruppe 6 eingegangenen Antworten lassen den Schluß zu, daß für einige Reaktorbetreiber in manchen Ländern die Lagerung abgebrannter Brennelemente in den nächsten Jahren ein Problem sein könnte. Aufgrund der Informationen, die Arbeitsgruppe 6 übermittelt wurden, wird das Aufkommen an abgebrannten Brennelementen bis zum Jahre 2000 etwa 300 000 t Schwermetall (SM) betragen. Ein wesentlicher Prozentsatz dieser Brennelemente wird sich zu diesem Zeitpunkt noch in Zwischenlagern befinden. Der

kleinste Teil davon wird in den Ländern sein, die sich für Entsorgung mit Wiederaufarbeitung entschieden haben. Sofern der Zubau von Anlagen dem Brennelementaufkommen entspricht und Brennelemente zwischen Standorten und Ländern freizügig befördert werden können, gibt es in diesen Ländern keine Lagerprobleme. Ein weiterer erheblicher Teil des gelagerten abgebrannten Brennstoffs wird aus HWR-Brennelementen bestehen, für die die betreffenden Länder die Errichtung ausreichender Lagerkapazität planen. Der Rest, der den größten Anteil ausmacht, wird fast ausschließlich aus LWR-Brennelementen bestehen und in Ländern liegen, die ihre Entscheidung über den Einsatz der Wiederaufarbeitung aufgeschoben haben. Diese Länder sind jedoch der Meinung, daß ausreichende Lagerkapazitäten zur Verfügung gestellt werden können, wenn man früh genug entsprechende Maßnahmen ergreift.

Bei einem Konzept mit Wiederaufarbeitung muß für die Zwischen- und/oder Endlagerung des radioaktiven Abfalls aus Wiederaufarbeitungsanlagen gesorgt werden. Beim offenen Kreislauf müssen besondere Vorbereitungen für die Langzeit- und/oder Endlagerung abgebrannter Brennelemente getroffen werden.

II. Technische Durchführbarkeit; wirtschaftliche Erwägungen; Strahlenschutz-, Sicherheits- und Umweltaspekte

Es war nicht Aufgabe, von INFCE, eine umfassende Bewertung der Kernenergie im Vergleich zu anderen Energiequellen oder eine detaillierte Untersuchung der Umwelt- oder Strahlenschutz- und Sicherheitsauswirkungen einer breiten Anwendung der Kernenergie durchzuführen. Im allgemeinen befaßten sich daher die Arbeitsgruppen im Rahmen ihrer technischen, wirtschaftlichen, radiologischen, sicherheitstechnischen und ökologischen Bewertung nur mit einigen für ihre jeweilige Aufgabenstellung wesentlichen Problemen. Zweifellos werden Entscheidungen von Regierungen hinsichtlich ihrer Kernenergieprogramme und ihrer Energiepolitik in der Regel auf einer sehr viel detaillierteren vergleichenden Analyse der verfügbaren Alternativen beruhen, wobei die in dem jeweiligen Land herrschenden besonderen Bedingungen berücksichtigt werden.

II-A. Technische Durchführbarkeit

II-A-1 Die einzelnen Brennstoffkreislaufaktivitäten für heutige LWR-, HWR- und SBR-Zyklen

Anreicherung

Das Gasdiffusions- und das Ultrazentrifugenverfahren sind technisch ausgereift. Diese Verfahren wurden in mehreren Ländern unabhängig voneinander bis zur industriellen Reife entwickelt. Die Planungs- und Bauzeit von Trennanlagen ist kurz genug, um

das Wachstum der Kernenergie nicht zu behindern. Mehrere andere Technologien — u. a. aerodynamische, chemische sowie Laser- und Plasmaverfahren — befinden sich in einem weniger fortgeschrittenen Entwicklungsstadium, bieten jedoch gute Aussichten für eine zukünftige industrielle Anwendung.

Lagerung und Transport abgebrannter Brennelemente

Aus der von Arbeitsgruppe 6 erstellten Analyse ergeben sich vier Grundkonzepte für die Entsorgung abgebrannter Brennelemente:

Konzept „Mit Wiederaufarbeitung“

Konzept „Entscheidung zur Wiederaufarbeitung aufgeschoben“

Konzept „Transfer abgebrannter Brennelemente ins Ausland“

Konzept „Ohne Wiederaufarbeitung“.

Kein Land, in dem abgebrannte Brennelemente anfallen, hat sich für das letztere Konzept entschieden. Die nationale Ausgestaltung dieser Konzepte hängt von den jeweils herrschenden sozialen, wirtschaftlichen, rechtlichen und politischen Bedingungen sowie vom jeweiligen Energiebedarf ab. Die nationale Politik eines Landes kann jedoch auf andere Staaten Auswirkungen haben.

Die Brennelementlagerung ist lediglich eine Zwischenstufe, die Flexibilität bei der Auswahl und

Durchführung zukünftiger Brennstoffkreislaufaktivitäten bietet. Bei der Bestimmung optimaler Zwischenlagerzeiten vor der Wiederaufarbeitung oder der Endlagerung müssen alle technischen und wirtschaftlichen Faktoren berücksichtigt werden, und es gibt deshalb keine weiteren technischen oder wirtschaftlichen Gründe dafür, über diese optimalen Zeiten hinaus zu lagern.

Bei der Naßlagerung abgebrannter Brennelemente mit niedrigem Abbrand aus LWR und HWR besitzt man Erfahrungen über Zeiträume von bis zu 20 Jahren. Bei Extrapolation des Verhaltens naßgelagerter abgebrannter Brennelemente auf höheren Abbrand und längere Lagerzeiten erwartet man keine Schwierigkeiten. Dennoch sollte man weiterhin Untersuchungen zum Verhalten von Brennelementen mit hohem Abbrand während längerer Lagerzeiten durchführen, um die gegenwärtigen positiven Erfahrungen zu bestätigen. Die Lagerung abgebrannter LWR- und HWR-Brennelemente in Wasserbecken, auch unter Verwendung von Kompaktlagergestellen, kann als erprobte Technologie angesehen werden. Die Erfahrung bei der Naßlagerung von Brennstäben mit Metallhüllrohren aus gasgeköhlten Reaktoren hat gezeigt, daß Korrosionsprobleme hier eine Wiederaufarbeitung erfordern. Bei SBR-Brennelementen stützt man sich auf Erfahrungen mit Versuchs- und Demonstrationsreaktoren. Bisher wurden diese Brennelemente verkapselt und in Erwartung der Wiederaufarbeitung gelagert. Bei der Lagerung haben sich keine Probleme ergeben.

Andere Methoden zur Lagerung abgebrannter Brennelemente werden z. Z. in verschiedenen Ländern untersucht. Die Trockenlagerung könnte bei längerer Zwischenlagerung eine Alternative darstellen, um die Naßlagerung über die erste Abkühlphase hinaus zu ergänzen.

Der Transport abgebrannter Brennelemente ist eine gut eingeführte Technologie.

Wiederaufarbeitung

Die zugrundeliegende Technologie ist technisch verfügbar. In einigen Ländern existieren bereits großtechnische Wiederaufarbeitungsanlagen oder sind im Bau oder in der Planung. Diese Anlagen sind weitgehend einander ähnlich und beruhen auf dem PUREX-flüssig-flüssig-Extraktionsverfahren. Zur Anwendung dieses Verfahrens auf SBR-Brennstoff in großem Maßstab sind einige technische Modifikationen vor allem im Hinblick auf den höheren Plutoniumgehalt, den höheren Abbrand und die geforderten kürzeren Abklingzeiten notwendig.

Plutoniumhandhabung und Rezyklierung von Mischoxidbrennelementen in thermischen Reaktoren

Die der Plutoniumhandhabung und der Rezyklierung in thermischen Reaktoren zugrundeliegende Technologie ist technisch verfügbar. Mit der Lagerung und dem Transport von Plutonium, der Herstellung von Mischoxidbrennelementen (MOX) und deren Bestrahlung in thermischen Reaktoren hat man bereits

beträchtliche Erfahrungen gesammelt. Obwohl diese Technologie bisher nur in verhältnismäßig kleinen Fabrikationsanlagen und in Leichtwasserreaktoren der ersten Generation erprobt wurde, lassen die gewonnenen Erfahrungen den Schluß zu, daß der Übergang auf größere Anlagen und die Rezyklierung in Leichtwasserreaktoren der heutigen Generation mit gutem Erfolg verwirklicht werden können.

Weltweit gesehen sind die Erfahrungen mit der Rezyklierung in thermischen Reaktoren noch nicht sehr groß, und es gibt daher unterschiedliche Ansichten in der Bewertung der verschiedenen Rezyklierungsmöglichkeiten. Diese Unterschiede beziehen sich auf praktische Fragen der Brennelementauslegung, haben aber keinen wesentlichen Einfluß auf die Gesamtbewertung der Rezyklierung in thermischen Reaktoren.

Rezyklierung von Mischoxidbrennelementen in Schnellen Brutreaktoren

Bei SBR-Brennstoffen müssen einige Probleme beim Einsatz von Plutonium aus LWR-Brennstoff mit nominalem Abbrand oder aus bereits thermisch rezykliertem LWR-Brennstoff beachtet werden. Das Verhalten von Referenzbrennstoffen in Versuchs- und Demonstrationsreaktoren war zufriedenstellend, und es liegen jetzt Erfahrungen mit statistisch signifikanten Mengen vor.

Abfallbehandlung und -endlagerung

Methoden zur Handhabung und Endlagerung schwach- und mittelaktiven Abfalls sind einsatzfähig und erprobt. Für Abfälle aus der Uranaufbereitung, für hochaktive Abfälle aus der Wiederaufarbeitung und für nicht wiederaufgearbeitete abgebrannte Brennelemente hat Arbeitsgruppe 7 den technischen Entwicklungsstand wie folgt bewertet:

- a) Die Referenztechnologie der Konditionierung und Endlagerung von Erzaufbereitungsrückständen wird derzeit angewendet. Gegenwärtig in der Einführungsphase befindliche verbesserte Methoden würden die Strahlenbelastung verringern, jedoch die Kosten erhöhen.
- b) Die Referenzmethoden der Verkapselung abgebrannter Brennelemente für direkte Endlagerung sind noch nicht demonstriert worden, werden aber derzeit getestet. Größtenteils erfordern sie nur die Anwendung oder Anpassung existierender Technologien.
- c) Die Referenztechnologie der Verfestigung hochaktiven Abfalls, d. h. Verglasung, wird derzeit für Abfälle aus niedrig abgebranntem Brennstoff in industriellem Maßstab angewendet. Diese Technologie ist für Abfälle aus hochabgebranntem Brennstoff in technischem Maßstab demonstriert worden.
- d) Die Referenz-Endlager im tiefen geologischen Untergrund beruhen auf allgemeinen Konzepten und praktischer Erfahrung. Die Gültigkeit von einigen der hier gemachten Annahmen könnte nur dann nachgewiesen werden, wenn Endlager

der betrachteten Art tatsächlich gebaut und betrieben werden.

- e) Sicherheitsanalysen und Berechnungen zukünftiger Strahlendosen sind durch die Genauigkeit der verfügbaren Modelle bei der Beschreibung natürlicher Vorgänge eingeschränkt. Die Unsicherheit hat jedoch keinen Einfluß auf die Schlußfolgerung, daß die Endlagerung ohne unzulässige Risiken für Mensch oder Umwelt durchgeführt werden kann. Dessen ungeachtet sind jedoch weitere Arbeiten notwendig, um sicherzustellen, daß alle an spezifischen Standorten möglichen Freisetzungsmechanismen berücksichtigt werden.

II-A-2 Brennstoffzyklen für fortgeschrittene Reaktoren

Schnellbrüterzyklen

Es wäre möglich, bis zum Jahre 2000 eine erhebliche Anzahl von SBR der heutigen Technologie, die mit Oxidbrennstoff gefahren werden, einzuführen. Es wird erwartet, daß die Bruteigenschaften der ersten SBR vergleichsweise gering sind, jedoch sollte dies im Anfangsstadium der Entwicklung kein ernsthaftes Hindernis darstellen. Nach 2000 würden diese Eigenschaften durch fortgeschrittene Auslegungen und Brennstoffe verbessert.

Brennstoffkreisläufe mit Thorium/Uran-Rezyklierung

Arbeitsgruppe 8 stellte fest, daß, auch wenn die Reaktorsysteme selbst eher verfügbar wären (da es modifizierte HWR und LWR sein könnten, oder HTR, die derzeit in Prototyp-Größe erprobt werden), der kommerzielle Einsatz von Thorium-Brennstoffkreisläufen mit Wiederaufarbeitung und Refabrikation U-233 haltiger Brennstoffe schätzungsweise erst nach dem Jahre 2000 möglich wäre. Die Verwendung von Thorium in SBR wurde ebenfalls betrachtet.

Andere fortgeschrittene Reaktorsysteme

Wie bereits in Kapitel I erwähnt, befaßte sich Arbeitsgruppe 8 noch mit einer Reihe anderer fortgeschrittener Reaktorkonzepte und kam zu dem Schluß, daß alle erst lange nach dem Jahre 2000 verfügbar sein könnten.

II-B. Wirtschaftliche Erwägungen

Bei der Untersuchung der wesentlichen Brennstoffkreislaukonzepte zogen die Arbeitsgruppen nicht nur wirtschaftliche Aspekte, sondern auch energie-strategische Erwägungen in Betracht, die den Hintergrund für langfristige Entscheidungen über Brennstoffkreislaustrategien bilden müssen. In diesem Sinne beziehen Länder nicht nur die zu erwartenden Kosten verschiedener Brennstoffkreisläufe, sondern auch weniger quantifizierbare Faktoren wie längerfristige Auswirkungen auf die nationale Zahlungs-

bilanz, den Einsatz von Kapital und Arbeitskräften und die industrielle Infrastruktur in ihre Überlegungen ein. Die langen Vorlaufzeiten bei Kernenergieprogrammen und die Schwierigkeit, zukünftige Veränderungen wichtiger Einflußgrößen wie Kosten der Kernbrennstoffe, Uranverfügbarkeit oder Anlagekosten zu beurteilen, geben den energiestrategischen Überlegungen besonderes Gewicht. Dabei ist jedoch zu beachten, daß diese von Land zu Land sehr unterschiedlich sein können.

Arbeitsgruppe 4 untersuchte die Wirtschaftlichkeit von HWR und LWR im Wegwerfzyklus und mit Plutonium-Rezyklierung sowie die Wirtschaftlichkeit von SBR. Außerdem analysierte sie einige der wichtigsten wirtschaftlichen Parameter, die die Wahl zwischen LWR im Wegwerfzyklus, LWR mit Plutonium-Rezyklierung und SBR-Brennstoffkreisläufen beeinflussen könnten. Sie kam zu dem Schluß, daß man von keinem Brennstoffkreislauf behaupten kann, in jedem Falle einen wirtschaftlichen Vorteil zu bieten. Innerhalb bestimmter Bereiche der Grundparameter kann jeder Brennstoffkreislauf im Vergleich zu den anderen Zyklen einen wirtschaftlichen Vorteil aufweisen.

- a) Einige Länder möchten die Option der Rückführung in thermische Reaktoren öffnen oder offenhalten, aber der wirtschaftliche Anreiz, dieses Verfahren in großtechnischem Maßstab einzusetzen, wird sich verringern, wenn der Uranpreis niedrig bleibt und die Uranversorgung gesichert ist; oder wenn der Uranpreis so schnell steigt und/oder die Kosten für schnelle Reaktoren so schnell sinken, daß dieser Reaktortyp attraktiver wird als thermische Reaktoren mit Rückführung; oder wenn fortgeschrittene thermische Reaktoren mit verbesserter Uranausnutzung attraktiv werden.
- b) Einige Länder wollen die Option für schnelle Reaktoren und ihren Brennstoffkreislauf öffnen oder offenhalten, aber der wirtschaftliche Anreiz, sie in großtechnischem Maßstab einzusetzen, wird sich verringern, wenn der Uranpreis niedrig bleibt und die Uranversorgung gewährleistet ist; oder wenn die Kapital- und Brennstoffkreislaufkosten für schnelle Reaktoren zu hoch sind.
- c) Einige Länder planen, auf absehbare Zeit den Wegwerfzyklus zu nutzen, aber der wirtschaftliche Anreiz, diesen Zyklus zu verwenden, wird sich verringern, wenn der Uranpreis in dem betreffenden Land schnell steigt oder Uranlieferungen nicht gesichert sind; oder wenn die Kosten für Lagerung, Konditionierung und Endlagerung abgebrannter Brennelemente im Vergleich zu den Kosten für Wiederaufarbeitung und die Endlagerung von konditioniertem Abfall zu hoch sind.

Wiederaufarbeitung selbst ist wichtig, da sie eine wesentliche Voraussetzung für viele der möglichen Brennstoffkreisläufe bildet. Die wirtschaftlichen Argumente hängen vom Uranpreis und von den Kosten der Abfallbeseitigung sowie von der nachfolgenden Verwendung des abgetrennten Plutoniums und Urans ab. Rezykliert man diese Spalt-

stoffe in Leichtwasserreaktoren, so ist der wirtschaftliche Vorteil wahrscheinlich nicht groß. Dennoch sehen einige Länder in der Rückführung einen positiven Beitrag zur Energieunabhängigkeit und Versorgungssicherheit. Kann man jedoch die Kapital- und die Brennstoffkreislaufkosten schneller Reaktoren genügend senken, so könnten die wirtschaftlichen Vorteile und die Erhöhung der Versorgungssicherheit bei der Rückführung in schnellen Reaktoren beträchtlich sein. Die meisten Länder, die den Einsatz von Plutonium planen, streben daher in erster Linie seine Nutzung in schnellen Reaktoren an. Vom rein betriebswirtschaftlichen Standpunkt aus könnte man die Rezyklierung in LWR als eine relativ unwichtige Randerscheinung abtun, die vielleicht für eine Übergangszeit bis zur Einführung schneller Reaktoren einen Wert hat. Andererseits dürfte sich die Bedeutung, die die thermische Rezyklierung für manche Länder hat, nicht allein in betriebswirtschaftlichen Kategorien wiedergeben lassen.

Die üblichen Regeln für die Abhängigkeit der Kosten von der Anlagengröße gelten auch für den Bau und Betrieb von Wiederaufarbeitungs- und Refabrikationsanlagen für Mischoxidbrennelemente (MOX). Dies deutet darauf hin, daß man in großen industriellen Anlagen wirtschaftlicher wiederaufarbeiten kann. Zwei große Entwicklungsländer vertreten jedoch die Ansicht, daß in ihrem jeweiligen besonderen Falle mehrere kleine Wiederaufarbeitungsanlagen wirtschaftlicher sein können, da sich die ökonomischen Bedingungen im einzelnen von denen anderer Länder unterschiedlich darstellen.

Die wirtschaftlichen Erwägungen hinsichtlich der Einführung von Brüttern werden von Land zu Land verschieden sein, was davon abhängt, welche alternativen Quellen für die langfristige Energiesicherung für das betreffende Land verfügbar sind. Die wirtschaftlichen Vorteile von SBR im Vergleich zu thermischen Reaktoren resultieren aus dem niedrigen Brennstoffkostenanteil, der sich aus der nahezu vollständigen Unabhängigkeit von den Natururankosten ergibt. Gleichzeitig hat das nukleare Dampferzeugungssystem des SBR ein größeres Volumen als das der Leichtwasserreaktoren, was beim SBR zu höheren Anlagenkosten je installiertem $\text{GW}_{(e)}$ führen kann. Allerdings können die sich aus der Einführung von Brütern ergebenden Ersparnisse bei den Brennstoffkreislaufkosten diese Anlagenmehrkosten ausgleichen oder sogar übersteigen. Zudem ist es möglich, daß die Anlagenkosten von Brütern mit wachsender Erfahrung, mit dem Übergang auf großtechnische Fabrikationskapazitäten und mit der Anzahl von Anlagen sinken.

Arbeitsgruppe 5 stellte fest, daß es bedeutende Unterschiede in den Überlegungen gibt, die zu Entscheidungen führen, ein Brüter-Entwicklungsprogramm selbst durchzuführen oder Brüter als entwickeltes System zu importieren. Die Entscheidung, Brüter selbst zu entwickeln, setzt die Bereitschaft voraus, eine beträchtliche wirtschaftliche Pönale in den Anfangsstadien der Entwicklung in Kauf zu nehmen. Im Vergleich zu einem weiteren Zubau thermischer Reaktoren ist für die Brüterentwicklung ein neues Technologieniveau und auch eine neue

technologisch-industrielle Grundlage erforderlich. Arbeitsgruppe 5 kam zu dem Schluß, daß, wenn nur die Brüterländer (die überdies z. Z. die großen Uranverbraucher sind) Brüter in einer ausreichend großen Anzahl installieren, die Uranpreise in dem Maße langsamer ansteigen würden, wie diese Nationen ihren Druck auf den Uranmarkt reduzieren. Wenn eine solch große Anzahl von Brütern gebaut werden kann, werden wahrscheinlich der LWR und andere thermische Reaktoren weiterhin eine wirtschaftlich gangbare nukleare Option sein. Überdies würde die Uranversorgung zugunsten von Ländern mit Kernenergieprogrammen im Anfangsstadium umverteilt. Ähnliche Überlegungen träfen auch für andere fortgeschrittene Reaktorsysteme und Brennstoffkreisläufe zu.

Zu den von Arbeitsgruppe 8 behandelten Systemen ist zu sagen, daß zwar eine zufriedenstellende Genauigkeit bei der Abschätzung von Kostenunterschieden zwischen ähnlichen Systemen in ein und demselben Land erzielt werden kann, ein wirtschaftlicher Vergleich zwischen sehr verschiedenen Systemen und verschiedenen Ländern jedoch sehr schwierig ist. Die Schwierigkeit hierbei ergibt sich aus Unsicherheiten und Unterschieden in den vorliegenden Erfahrungen, im Genehmigungswesen, in rechtlichen Fragen und in wirtschaftlichen Grundbedingungen. In diesem Zusammenhang stellte die Arbeitsgruppe fest, daß aus Kostengründen mit steigenden Uranpreisen Verbesserungen des offenen Brennstoffkreislaufs, u. a. auch bei den HTR-Zyklen, zwar attraktiver würden, bei den augenblicklichen Preisen die wirtschaftlichen Unterschiede jedoch nicht groß genug zu sein scheinen, um die Einführung solcher Verbesserungen hintanzustellen oder besonders zu fördern. Bei den Systemen mit Thorium/U-233-Rezyklierung wurde festgestellt, daß die Unsicherheiten in Kostenschätzungen notwendigerweise groß sind, da Thorium-Brennstoffe gegenwärtig nicht kommerziell wiederaufgearbeitet und refabriziert werden. Es wurde festgestellt, daß Thoriumsysteme mit hoher Konversionsrate, z. B. selbsterhaltende oder brütende Systeme, aufgrund ihres relativ geringen Abbrands nicht konkurrenzfähig sind, sofern nicht der Natururanpreis erheblich über seinen gegenwärtigen Wert steigt. Schätzungen lassen erkennen, daß Thoriumzyklen in einem weiten Bereich der Kostenparameter mit Uranzyklen konkurrieren können, wenn erst einmal der gesamte Brennstoffkreislauf eingeführt ist. Wiederum scheinen jedoch die Unterschiede nicht groß genug zu sein, um die Entwicklung dieser Systeme überflüssig oder besonders dringend zu machen.

Je nach den örtlichen Gegebenheiten, den nationalen Genehmigungsaufgaben und der Größe und Art der Anlage variieren die Kosten für die Zwischenlagerung sehr stark. Sie sind jedoch, bezogen auf die Gesamtkosten des Brennstoffkreislaufs, relativ gering und können von jedem Land getragen werden, das über die Mittel für ein Kernenergieprogramm verfügt. Dennoch könnte die Kostendegression bei zunehmender Anlagengröße Länder mit begrenztem Kernenergieprogramm dazu veranlassen, nach anderen Lösungen als der der nationalen Brennelementlagerung zu suchen. In diesem

Zusammenhang sollte man ein ausgewogenes Verhältnis zwischen der Anzahl der Lagerstätten und dem Gesamttransportaufwand anstreben, wobei die jeweils gültigen Aspekte von Wirtschaftlichkeit, Sicherheit, Umwelt und Nichtverbreitung zu berücksichtigen sind.

Die Kosten für Abfallbehandlung und -endlagerung betragen nur einen geringen Prozentsatz des Wertes der erzeugten elektrischen Energie und unterscheiden sich bei den einzelnen Brennstoffkreisläufen nicht wesentlich. Die spezifischen finanziellen Aspekte bei der langfristigen Zwischenlagerung oder der Endlagerung abgebrannter Brennelemente sollten gründlich untersucht werden.

II-C. Umwelt-, Strahlenschutz- und Sicherheitsaspekte

Obwohl es nicht die Hauptaufgabe von INFCE war, wurde die Frage der ökologischen und radiologischen Auswirkungen angesichts ihrer Bedeutung und ihres Zusammenwirkens mit anderen Bewertungsfaktoren in allen Arbeitsgruppen behandelt. Dort, wo solche Bewertungen durchgeführt wurden, war es im allgemeinen ihr Ziel, festzustellen, ob ein bestimmter Schritt des Brennstoffkreislaufs in Übereinstimmung mit international anerkannten Richtlinien durchgeführt werden kann, ob er zu den Gesamtauswirkungen des Brennstoffkreislaufs wesentlich beiträgt oder ob zwischen den künftig verfügbaren Brennstoffkreislaufoptionen erhebliche Unterschiede bestehen. Die INFCE-Arbeitsgruppen haben sich mit den Auswirkungen des Betriebs von Kernkraftwerken oder mit möglichen Störfällen in den Anlagen des Brennstoffkreislaufs nicht im Detail beschäftigt. Diese werden bereits im Rahmen umfangreicher nationaler und internationaler Programme untersucht, und die entsprechenden Anforderungen werden künftig wahrscheinlich noch häufig unter anderen nationalen und internationalen Mandaten überprüft werden. Was die Strahlenbelastung angeht, so haben die Arbeitsgruppen nicht versucht, die Strahlendosen und -belastungen genau zu berechnen, sondern sie haben vielmehr ihre Untersuchung allgemein auf die Frage beschränkt, ob ein bestimmter Schritt in Übereinstimmung mit den Empfehlungen der Internationalen Strahlenschutzkommission (ICRP) durchgeführt werden kann und ob er Strahlenbelastungen mit sich bringt, die wesentlich unter den Grenzwerten für beruflich bedingte und allgemeine Strahlenbelastung liegen. In jedem Falle werden die tatsächlichen amtlichen Grenzwerte von den nationalen Genehmigungsbehörden festgelegt.

Die am weitesten gehende Bewertung ökologischer und radiologischer Auswirkungen wurde von Arbeitsgruppe 7 durchgeführt. Sie berücksichtigte dabei das gesamte Abfallaufkommen einschließlich abgereicherten Urans aus sieben Referenz-Brennstoffkreisläufen. Die Gruppe entwickelte eine Methode, um die Gesamtstrahlenbelastung der Bevölkerung über mehrere Pfade abzuschätzen, wobei sie zusätzlich noch einschlägige Modelle des UNSCEAR-

Berichts von 1977 verwendete. Die Arbeitsgruppe merkte an, daß die so erhaltenen Schätzungen mit Vorsicht benutzt werden sollten, da sie Belastungen beinhalten, die sich über sehr lange Zeiträume erstrecken und außerdem erst weit in der Zukunft auftreten. Dies setzt Annahmen über die Wachstumsrate der Weltbevölkerung und über sich verändernde Umweltfaktoren voraus. Ferner könnte bezweifelt werden, daß eine Strahlenbelastung in einer solch fernen Zeit überhaupt von Bedeutung ist. Daher sollten die Ergebnisse der Analyse nur für einen Vergleich innerhalb und zwischen den Brennstoffkreisläufen herangezogen werden.

Man stellte fest, daß der Beitrag der Abfallendlagerung zur Kollektiven Strahlenbelastung nur einen geringen Bruchteil der jährlichen Belastung durch natürliche Hintergrundstrahlung ausmacht und in derselben Größenordnung liegt wie der der anderen Schritte des Brennstoffkreislaufs. Ein erheblicher Teil dieses Beitrags ist der natürlichen Radioaktivität der Erzaufbereitungsrückstände und des U-238 zuzuschreiben, das bei bestimmten Brennstoffkreisläufen in das unterirdische Endlager verbracht wird. Folglich hängen die radiologischen Auswirkungen der Abfallbehandlung hauptsächlich mit dem Uranbedarf zusammen. Sie sind bei Brennstoffkreisläufen ohne Rezyklierung am größten und bei den SBR-Zyklen am geringsten. Geht man von der längeren der zwei untersuchten Freisetzungzeiten aus, so schneidet auch der HWR mit U/Th-Brennstoffkreislauf hinsichtlich der Kollektiven Strahlenbelastung gut ab.

Unter Berücksichtigung nicht nur radiologischer und ökologischer Auswirkungen, sondern auch der anderen Bewertungsfaktoren (Kosten, NV-Aspekte und institutionelle Aspekte) kam Arbeitsgruppe 7 zu dem allgemeinen Schluß, daß die Unterschiede in den Auswirkungen von Abfallbehandlung und -endlagerung zwischen den Referenz-Brennstoffkreisläufen keinen entscheidenden Faktor bei der Wahl eines Brennstoffkreislaufs darstellen. Wendet man die der Studie zugrundegelegte Technologie an, so können die Abfälle aus jedem der untersuchten Brennstoffkreisläufe mit einem hohen Grad an Sicherheit und ohne unzulässiges Risiko für Menschen oder Umwelt konditioniert und endgelagert werden.

Arbeitsgruppe 5 hat beim Vergleich des SBR-Brennstoffkreislaufs mit dem des LWR mit U/Pu-Rezyklierung in ähnlicher Weise festgestellt:

- a) der Erzabbau- und -aufbereitungsbedarf wird mindestens um den Faktor 50 verringert;
- b) jede ökologische Auswirkung von Anreicherungsanlagen wird vermieden;
- c) nach derzeitigem Kenntnisstand dürften die radiologischen Auswirkungen des normalen Reaktorbetriebs auf Umgebung und Bevölkerung und die beruflich bedingte Strahlenbelastung geringer sein;
- d) die Abwärmelastung wird geringer sein;
- e) die Umweltbelastung durch Fabrikation und Wiederaufarbeitung dürfte für beide Fälle vergleichbar sein;

- f) hinsichtlich der Abfallendlagerung zeichnet sich ein Vorteil zugunsten des SBR-Zyklus ab.

Beim Vergleich des Brüterkreislaufs mit dem offenen LWR-Zyklus (ohne Rezyklierung) treffen die Vorteile a), b), c) und d) ebenfalls zu. In bezug auf e) und f) muß — neben dem Fabrikationsabfall — der Wiederaufarbeitungsabfall des Schnellbrüterzyklus mit der gesamten endgelagerten Plutoniummenge in den abgebrannten Brennelementen des offenen LWR-Zyklus verglichen werden.

In bezug auf verbesserte LWR stellte Arbeitsgruppe 8 fest, daß die meisten Verbesserungen sicherheitsbezogene Untersuchungen erfordern, denn sie könnten mit strengeren Betriebsbedingungen verbunden sein. In geschlossenen Thorium-Brennstoffkreisläufen erfordert die relativ intensive Strahlung der Tochternuklide des U-232 zusätzliche radiologische Schutzmaßnahmen, aber ansonsten unterscheiden sich diese Kreisläufe wahrscheinlich nicht wesentlich von Uranzyklen.

Es wurde festgestellt, daß Wiederaufarbeitung, Herstellung von Mischoxidbrennelementen, Plutoniumhandhabung und -rückführung sicher innerhalb der von der Internationalen Strahlenschutzkommission empfohlenen Grenzwerte durchgeführt werden können. Aufgrund der von den INFCE-Teilnehmern erhaltenen Angaben über Wiederaufarbeitungskapazitäten kann die Wiederaufarbeitung die Kollektive Strahlenbelastung um etwa 0,025 bis 0,1 % erhöhen, d. h. sie bewegt sich durchaus im Rahmen der regionalen und zeitlichen Schwankungen der natürlichen Hintergrundstrahlung, die den Faktor 2 oder mehr ausmachen können.

Die Auslegungs- und Genehmigungsaufgaben für die Transportbehälter reichen aus, um Sicherheit, Umweltschutz, Sicherungskontrollen und Objektschutz zu gewährleisten. Beim Transport abgebrannter Brennelemente sollte man weiter auf internationaler Ebene zusammenarbeiten, insbesondere bei der Genehmigung und Standardisierung von Transportbehältern.

Arbeitsgruppe 2 stellte fest, daß die wesentlichen Umwelteinflüsse auf chemische Abgaben, Energieverbrauch und Wärmeabfuhr zurückzuführen sind, da das Aktivitätsinventar der Anreicherungsanlage außerordentlich gering ist. Viele Mitglieder äußerten die Ansicht, daß Energieverbrauch und Wärmeabfuhr zu Problemen bei der Standortwahl, der Genehmigung und in den damit verbundenen Bereichen des Umweltschutzes führen. Daher könnten die Auswirkungen einer Anreicherungstechnologie auf die Umwelt bei der Entscheidung eines Landes für eine bestimmte Anreicherungstechnologie eine wichtige Rolle spielen. Mehrere Arbeitsgruppen befaßten sich mit dem Landbedarf verschiedener Brennstoffkreislaufrschritte. Arbeitsgruppe 7 stellte fest, daß im Vergleich zum übrigen Brennstoffkreislauf der Flächenbedarf für Erzaufbereitungsrückstände (insbesondere wenn man die vorübergehende Beeinträchtigung durch den Erzabbau mit einbezieht) außer beim SBR-Kreislauf und bei den Thoriumzyklen dominiert.

Arbeitsgruppe 4 wies darauf hin, daß umweltbezogene Betrachtungen im weiteren Sinne neben Fragen der Sicherheit und der Ökologie auch das gesellschaftspolitische Umfeld, in das Kernenergie eingeführt wird, miteinbeziehen müssen. Während sicherheitstechnische und ökologische Bedenken im allgemeinen durch die Anwendung strenger, auf international vereinbarten oder empfohlenen Normen und Richtlinien beruhender Gesetze und Regeln ausgeräumt werden können, betrachtet und behandelt man gesellschaftspolitische Aspekte in den verschiedenen Ländern je nach den nationalen Gegebenheiten auf sehr unterschiedliche Weise. Die durch die Kernenergie in vielen Ländern aufgeworfenen komplexen Fragen schließen die Angst um die Sicherheit kerntechnischer Anlagen, aber auch Bedenken hinsichtlich der Endlagerung radioaktiver Abfälle mit ein. Im letzten Fall möchte die Öffentlichkeit die Entscheidung über technische Lösungen ungern der Zukunft überlassen.

III. Aspekte der Nichtverbreitung von Kernwaffen

Wie in der Einleitung bereits erwähnt wurde, ist die Entscheidung einer Regierung, Kernwaffen herzustellen, offensichtlich eine politische Entscheidung und beruht auf politischen Erwägungen, die über den Rahmen dieser Studie hinausgehen. INFCE hat sich lediglich mit dem möglichen Mißbrauch des Kernbrennstoffkreislaufs bei der Verwirklichung einer solchen Entscheidung befaßt. Um einen derartigen Mißbrauch zu verhindern, kam es bei der internationalen Entwicklung der Kernenergie zu einem Netzwerk von Vereinbarungen und Sicherungskontrollen. Zu den wichtigsten zählen die Gründung der Internationalen Atomenergie-Organisation (IAEO), der Vertrag über die Nichtverbrei-

tung von Kernwaffen (NV-Vertrag) und der Vertrag von Tlatelolco. Es gibt also bereits internationale Maßnahmen, die auf eine Verringerung der Proliferationsgefahr zielen.

Der Bau und der geplante Mißbrauch von Anlagen des Kernbrennstoffkreislaufs stellen weder die einfachste noch die effizienteste Methode dar, um an Material für die Herstellung von Kernwaffen zu kommen. Wenn es jedoch bereits Anlagen gibt, in denen nennenswerte Mengen waffengrädigen Materials verarbeitet werden, könnte ihr Mißbrauch unter bestimmten Umständen ein gangbarer Weg zum Erwerb von Material für Kernwaffen sein. Weiterhin könnten die Technologie und das Know-how, die

bei der Durchführung eines Kernenergieprogramms erworben wurden — obwohl sie keinen direkten Bezug zu einem Kernwaffenprogramm haben — für ein nachfolgendes Kernwaffenprogramm herangezogen werden. Insoweit stellt die Möglichkeit eines Mißbrauchs von Material, Technologie und Anlagen eine Proliferationsgefahr dar. Diese Gefahr muß gegen die Vorteile abgewogen werden, die sich jeweils in den Bereichen Wirtschaft, Umwelt, Energiepolitik und Ressourcennutzung ergeben können.

Es ist nicht einfach zu beurteilen, in welchem Umfang die Möglichkeiten für einen Mißbrauch in den einzelnen Brennstoffkreisläufen verschieden sind. Berücksichtigt man die qualitative Art der Bewertung, den unterschiedlichen Entwicklungsstand der verschiedenen Brennstoffkreisläufe, den Umfang, in dem vollständige Brennstoffkreisläufe in einzelnen Ländern etabliert sind und den evolutionären Verlauf, in dem technische, sicherungskontrolltechnische und institutionelle Verbesserungen eingeführt werden, so läßt sich zur Abzweigungsresistenz der verschiedenen Brennstoffkreisläufe keine Einzelaussage machen, die sowohl für die Gegenwart als auch für die Zukunft gültig ist. Daher muß dieser weite Bereich möglicher Einschätzungen der Proliferationsrisiken berücksichtigt werden, wenn nationale Institutionen die verschiedenen Argumente (u. a. Wirtschaftlichkeit, Sicherheit, Energiestrategie und Proliferationsrisiko) bei der Entscheidung über die Einführung eines bestimmten Brennstoffkreislaufts gegeneinander abwägen. Allgemein schien es deshalb wichtiger und zweckdienlicher zu sein, jene Stellen in den Brennstoffkreisläufen zu bestimmen, die sensitiv im Hinblick auf Proliferation sind. Dabei war zu berücksichtigen, daß eine Reihe technischer und institutioneller Maßnahmen vorgeschlagen wurden oder bereits in Entwicklung sind, die das Proliferationsrisiko in allen Brennstoffkreisläufen verringern könnten.

Obwohl einige gemeinsame Ansätze zu diesem Thema im Technischen Koordinierungskomitee (TCC) erörtert wurden, hat doch jede Arbeitsgruppe ihre eigene Methodik gewählt. Im allgemeinen hielten sich aber alle an die Leitlinien des TCC und befaßten sich mit

- der benötigten Zeit,
- dem erforderlichen Aufwand und
- der Entdeckbarkeit,

zusammen mit der Anwendbarkeit von Sicherheitskontrollen. Dabei wurden Faktoren berücksichtigt wie

- die Anzahl der Stellen, an denen signifikante Mengen waffengrädigen Materials vorhanden sind, und die Bedeutung, die diesen Mengen zukommt;
- die Form des Materials, seine Zugänglichkeit (in Abhängigkeit von der Radioaktivität) und die Isotopenzusammensetzung;
- die Art der Anlage, von der der Aufwand abhängt, der für verschiedene Abzweigungswege erforderlich ist.

Die Abzweigungsrisiken, die auf dieser Grundlage von den Arbeitsgruppen ermittelt wurden, sind verbunden mit: frischem Brennstoff der angereicherten Uran oder Plutonium enthält; mit der Urananreicherung; mit Reaktoren; mit der Lagerung abgebrannter Brennelemente; mit der Wiederaufarbeitung einschließlich der Plutoniumlagerung und der Herstellung von Mischoxidbrennelementen; sowie mit der Endlagerung abgebrannter Brennelemente oder radioaktiven Abfalls. Beim Transport besteht nach Ansicht der Arbeitsgruppen in erster Linie ein Diebstahlrisiko, das, wie bereits erwähnt, der nationalen Verantwortung unterliegt. Arbeitsgruppe 4 wies jedoch auch darauf hin, daß ein von einer nationalen Regierung simulierter Diebstahl ein mögliches Szenario für den Mißbrauch von Anlagen des Brennstoffkreislaufts wäre.

III-A. Sensitive Punkte im Kernbrennstoffkreislauf

III-A-1 Frischer Brennstoff

Frisher Brennstoff für natururanbetriebene Reaktoren ist unter Proliferationsgesichtspunkten nicht von besonderer Bedeutung. In den LWR-, HWR- und HTR-Zyklen mit niedrig angereichertem Uran und in Uran-Thoriumzyklen in HWR und HTR mit mittelangereichertem (weniger als 20 % U-235) Uran ist das im frischen Brennstoff enthaltene Uran ohne zusätzliche Anreicherung nicht waffengrädig. Um waffengrädiges Material zu erhalten, wäre jedoch weniger Trennarbeit erforderlich als bei Brennstoffen auf Natururanbasis. Beim HEU/Th-Brennstoffkreislauf*) und bei den meisten Forschungsreaktoren liegt hochangereichertes Uran bei der Anreicherung, der Brennelementherstellung, dem Transport und der Lagerung frischer Brennelemente vor. Mischoxidbrennstoff mit Plutonium ist erforderlich für thermische und schnelle Reaktoren, wenn sie im geschlossenen Uran/Plutoniumbrennstoffkreislauf betrieben werden. Für schnelle Reaktoren würden sie beispielsweise bis zu 20 % Plutonium enthalten. Zur Abtrennung waffengrädigen Materials aus diesen Brennstoffen wäre eine chemische Aufarbeitung erforderlich.

III-A-2 Anreicherungsanlagen

Alle untersuchten Reaktortypen und Brennstoffkreislaufoptionen mit Ausnahme der natururanbetriebenen Schwerwasserreaktoren und der Schnellen Brüter benötigen angereichertes Uran im frischen Brennstoff und machen somit Anreicherungsanlagen erforderlich. Mit der Anreicherungstechnologie ist stets ein gewisses Proliferationsrisiko verbunden. Drei Aspekte verdienen nähere Betrachtung:

Kernmaterial in Anreicherungsanlagen

Fast alle Urananreicherungsanlagen, die mit erprobten Technologien (d. h. Diffusion und Gaszentrifuge) arbeiten, und alle im Bau befindlichen An-

*) HEU = hochangereichertes Uran (Anm. des Übersetzers)

lagen, die Technologien nutzen, die das Stadium der kommerziellen Anwendung noch nicht erreicht haben (Trenndüsen, chemische Verfahren), sind so ausgelegt und gebaut, daß sie für Kernenergieprogramme niedrig angereichertes Uran im Bereich von 3 % bis 4 % U-235 produzieren, ein Material, das als solches für Kernwaffen nicht tauglich ist.

Bei Kernmaterial in diesem Anreicherungsbereich liegt das Proliferationsrisiko in seiner möglichen Abzweigung zum Einsatz in anderen Anlagen für die Herstellung waffengrädigen Materials. Die Produktion waffengrädigen Materials kann um so leichter erfolgen, je höher der Anreicherungsgrad des abgezweigten Materials war.

Anreicherungstechnologien

Die grundlegende Technologie für die Produktion von niedrig angereichertem Uran kann ebenso zur Herstellung von hoch angereichertem Uran, einem waffengrädigen Material, benutzt werden. Anreicherungstechnologien, die verfügbar gemacht werden, könnten zum Bau und zum Betrieb einer nicht deklarierten oder Sicherungskontrollen nicht unterliegenden Anlage führen mit dem Ziel, derartiges Material herzustellen. Bei der Bewertung der mit einer bestimmten Technologie verbundenen Proliferationsrisiken ist die Tatsache zu berücksichtigen, daß sich der Zeitbedarf, der Aufwand und die Schwierigkeiten für verschiedene auf dieser Technologie beruhende Proliferationswege im Laufe der Zeit verringern können. Andererseits können auch die verschiedenen Maßnahmen zur Minimierung von Proliferationsrisiken mit der Zeit verbessert werden. Fortgeschrittene Anreicherungsverfahren wie Laser oder Plasma befinden sich noch in einem so frühen Entwicklungsstadium, daß über ihre möglichen Proliferationsauswirkungen keine wertenden Aussagen gemacht werden können.

Die Wahl einer bestimmten Anreicherungstechnologie zum Bau einer nicht deklarierten Anlage zur Herstellung von hoch angereichertem Uran wird durch eine Vielzahl von Faktoren bestimmt, die den verschiedenen Technologien zu eigen sind. Diese Faktoren umfassen rein technische Eigenschaften und Merkmale, die mit dem Zugang zu einer Technologie und ihrer Anwendung im Zusammenhang stehen. Technische Eigenschaften wie Trennfaktor, Größe des Trennelements, Energieverbrauch, Prozeßinventar und Gleichgewichtszeit können Faktoren bei der Bewertung der Proliferationsgefahren bestehender Anreicherungstechnologien sein. Diese Eigenschaften machen Anreicherungstechnologien auf unterschiedliche Weise für einen möglichen Mißbrauch durch Bau und Betrieb einer nicht deklarierten Anlage oder durch Abzweigen von spaltbarem Material empfindlich. Faktoren, die mit dem Zugang zu einer Anreicherungstechnologie und ihren Anwendungsmöglichkeiten im Zusammenhang stehen, sind insbesondere:

- a) Kenntnis von geeigneten Technologien und möglicherweise damit gesammelte Erfahrungen und Verfügbarkeit oder Beschaffbarkeit von Schlüsselkomponenten und/oder Experten;

- b) Technischer Schwierigkeitsgrad und damit verbundener Aufwand;
- c) Verfügbarkeit von nicht deklariertem Kernmaterial (Natururan und insbesondere niedrig angereichertem Uran).

Für jedes Anreicherungsverfahren ist es nicht nur schwierig, die sensitiven Komponenten zu entwickeln, sondern auch die mit der Fertigung zusammenhängenden Probleme zu meistern und die Komponenten zu einem funktionsfähigen System zusammenzustellen. Ein ungefähres Maß für die Schwierigkeiten stellen die FuE-Aufwendungen sowie die Investitionskosten und der für die technische Entwicklung erforderliche Zeitaufwand dar, die bei den erprobten Verfahren ungefähr in der gleichen Größenordnung liegen.

Viele Mitglieder der Arbeitsgruppe 2 vertraten im Hinblick auf den Einfluß der technischen Eigenschaften die Meinung, daß sie nicht abschließend beurteilen könnten, welche Bedeutung diesen Eigenschaften für den Bau nicht deklarierten Anlagen zur Herstellung von hoch angereichertem Uran zukäme. Andere vertraten die Meinung, daß eine Verbindung mehrerer Prozeßeigenschaften, wie z. B. hoher Trennfaktor, geringe Größe des Trennelements, geringer Energieverbrauch, geringes Uraninventar und kurze Gleichgewichtszeiten bedeutende Vorteile für den Bau einer kleinen Anlage für hoch angereichertes Uran bieten. Prozeßeigenschaften dieser Art sind für das Zentrifugenverfahren charakteristisch und können es auch für das Laserverfahren sein, sobald es entwickelt ist.

Andere Mitglieder vertraten wiederum die Meinung, daß die Unterschiede aus diesen rein technischen Prozeßeigenschaften bei der Bewertung des Proliferationsrisikos (z. B. Schwierigkeiten, Detektierbarkeit, Zeitbedarf und Aufwand) zu gering sind, um bei einer Entscheidung für den Bau einer kleinen heimlichen Anlage wirklich Gewicht zu haben, und daß vielmehr andere Faktoren wie z. B. Zugang und Gebrauch der Technologie hierfür von größerer Bedeutung sind. Besonders hinsichtlich Entwicklungsstand und Erfahrungen wird darauf hingewiesen, daß in den vergangenen 30 Jahren ausschließlich mit dem Diffusionsverfahren im großtechnischen Maßstab angereichertes und hoch angereichertes Uran produziert wurde.

In Staaten, in denen keine Technologie entwickelt worden ist, würden nicht deklarierte Anlagen wahrscheinlich in primitiver und einfacher Technik errichtet, weil die ausgereifte und erprobte Technologie wegen der Klassifizierung von sensitivem Wissen seitens der Technologiehalter nicht verfügbar ist. In diesen Fällen würden die Anlagen größere Dimensionen aufweisen und daher leichter zu entdecken sein. Aber die Anlagengröße ist nicht die einzige Eigenschaft, die zur Entdeckung führt. Besonders der Wunsch, eine bessere Verfügbarkeit mit einer derartigen Anlage zu erzielen, könnte z. B. dazu führen, das entsprechende Fachwissen und technisch ausgereifte Komponenten bei den Technologiehaltern zu erwerben; ein Verfahren, das nur schwer zu verbergen wäre.

Betrieb von Anreicherungsanlagen

Eine Möglichkeit, waffengrädiges Material zu erwerben, wäre der Einsatz einer zur Herstellung von niedrig angereichertem Uran ausgelegten und betriebenen Anlage für die Produktion hoch angereicherten Urans durch Umbau der Anlage und/oder Änderung ihrer Betriebsweise, z. B. durch Neuordnung der Kaskaden, durch Veränderung der Betriebsbedingungen oder durch Einführung eines Betriebs mit chargenweiser Produktzyklisierung. Diese Modifikationen würden allerdings je nach Anreicherungsverfahren und Umfang der Änderung zu Schwierigkeiten unterschiedlichen Ausmaßes führen. Derartig grundlegende Abweichungen von der ursprünglichen Auslegung würden Maßnahmen und wesentliche Änderungen in der Betriebsweise erfordern, die zur Entdeckung führen, insbesondere dann, wenn die Anlage von Beginn an Sicherheitskontrollen unterlag.

Die verschiedenen Möglichkeiten des Mißbrauchs einer bestehenden Anreicherungsanlage durch

- Abzweigung von niedrig angereichertem Uran in der Anlage,
- Umbau oder Änderungen der Betriebsweise einer deklarierten Anlage für niedrig angereichertes Uran, um hoch angereichertes Uran zu produzieren,

könnten beide entweder heimlich trotz Sicherheitskontrollen oder im Anschluß an einen möglichen Abbruch von Sicherheitskontrollen erfolgen. Sie werden auf unterschiedliche Weise durch einige technische Prozeßeigenschaften wie Größe des Trennfaktors und Prozeßinventar, Dauer der Gleichgewichtszeit und Art der Verschaltung der Trennelemente beeinflusst. Solche Eigenschaften, die geeignet sein könnten, einen Mißbrauch zu erleichtern, würden in einigen Fällen aber gleichzeitig auch effektivere Sicherheitskontrollen dadurch ermöglichen, daß die Abzweigung von spaltbarem Material frühzeitiger entdeckt und mögliche Abweichungen vom bestimmungsgemäßen Betrieb rechtzeitig erkannt werden. Für das Zentrifugen-Verfahren bedeutet das, daß Prozeßeigenschaften wie hoher Trennfaktor, geringes Prozeßinventar in der Anlage und parallele Verschaltung relativ kleiner Trennelemente, die technisch vorteilhaft für die Produktion von hoch angereichertem Uran erscheinen, in einigen Fällen die wirksame Anwendung der Sicherheitskontrollen erleichtern. Prozeßeigenschaften der Diffusion und der chemischen Anreicherung, wie z. B. geringer Trennfaktor, relativ große Trennelemente in Serienanordnung, großes Prozeßinventar in der Anlage, die zwar die spätere Umstellung einer Anlage auf die Produktion von hoch angereichertem Uran aufwendiger machen, erschweren gleichzeitig die Anwendung von effektiven Sicherheitskontrollen, wenn sie nur auf der gegenwärtigen Materialbilanzierung beruhen, und erfordern eine weitergehende Entwicklung auch von Einschluß- und Überwachungstechniken.

III-A-3 Reaktoren (LWR, HWR, SBR und fortgeschrittene Reaktoren)

Unter Proliferationsgesichtspunkten wurde die Phase, in der die Brennelemente sich in einem laufenden Reaktor befinden, im allgemeinen für weniger wichtig gehalten als die übrigen Stufen des Brennstoffkreislaufs. Alle Reaktoren müssen Sicherheitskontrollen unterworfen werden, aber die effektive Sicherheitskontrolle von Anlagen mit kontinuierlicher Beladung erfordert andere Maßnahmen und ist derzeit schwieriger als bei chargenweiser Beladung. Neue Lösungsansätze unter Berücksichtigung von heute in der Entwicklung befindlichen Einschluß- und Überwachungsmaßnahmen dürften wirksame Sicherheitskontrollen in einfacherer Weise möglich machen.

Insgesamt ist erkennbar, daß mit den vorhandenen thermischen Reaktoren im offenen Brennstoffkreislauf zumindest kurz- und mittelfristig ein hinreichendes Maß an Proliferationssicherheit erreicht werden kann, sofern die Anreicherung, die Brennelementherstellung und die Lager für bestrahlte Brennelemente angemessenen Sicherheitskontrollen unterliegen.

Arbeitsgruppe 5 wies darauf hin, daß die Höhe des Risikos in komplizierter Weise von den verschiedenen Teilen des Brennstoffzyklus, von ihrem Entwicklungsstand, von spezifischen lokalen Gegebenheiten und insbesondere davon abhängt, welche Maßnahmen, wie Sicherheitskontrollen oder andere Methoden, zur Vermeidung oder Verringerung der Risiken angewandt werden. In diesem Zusammenhang kommt Arbeitsgruppe 5 zu dem Ergebnis, daß langfristig die Abzweigungsrisiken bei den verschiedenen Schritten des SBR-Zyklus nicht zu größeren Schwierigkeiten führen als beim LWR im U/Pu-Zyklus oder sogar beim offenen Brennstoffkreislauf.

Im Falle des HWR wird durch die Verwendung von Natururan der Einsatz von Anreicherungsanlagen überflüssig. Zwar sind einige Länder der Meinung, der Zugang zu Schwerwasser vergrößere noch die durch die Verfügbarkeit von Natururan und Wiederaufarbeitungsanlagen gegebenen Bedenken, doch scheint eine hinreichende Proliferationssicherheit erreichbar zu sein, wenn dieser Zyklus entsprechenden Sicherheitskontrollen unterworfen wird. Wegen des mühelosen Zugangs zu anderen Moderatoren wie Graphit glauben andere Länder nicht, daß Schwerwasser zu besonderer Sorge Anlaß gibt.

Im Hinblick auf die geschlossenen Thorium-Brennstoffkreisläufe wurde bemerkt, daß sie wesentlich höhere Urananreicherungen erfordern als die U/Pu-Zyklen und daß für die Produktion hochangereicherten Urans aus denaturiertem Uran/Thorium-Brennstoff weniger Trennarbeit benötigt würde als aus niedrig angereichertem Uran. Andererseits liegt in den denaturierten Uran/Thorium-Brennstoffkreisläufen während des Transports und der Lagerung des frischen Brennstoffs kein direkt waffengrädiges Material vor. Thoriumhaltige Brennstoffkreisläufe mit hochangereichertem Uran benötigen in ganz besonderem Maße angemessene Sicherheitskontrollsysteme bei Anreicherung, Lagerung, Transport und Fabrikation.

III-A-4 Lagerung abgebrannter Brennelemente

Die hohe Eigenstrahlung abgebrannter Brennelemente ist ein wichtiger Faktor beim Schutz gegen Proliferation. Es ist möglich, daß die eingesetzten Techniken für Sicherungskontrollen bei abnehmendem Strahlungspegel angeglichen oder durch andere bestehende Techniken ersetzt werden müssen. Während der von Arbeitsgruppe 6 angenommenen Zwischenlagerzeit dürfte keine wesentliche Änderung der inhärenten Proliferationsresistenz der abgebrannten Brennelemente zu erwarten sein. Die Arbeitsgruppe stellte fest, daß der bestehende rechtliche und institutionelle Rahmen für die Lagerung und den Transport abgebrannter Brennelemente zur Minimierung des Proliferationsrisikos ausreicht. Zur Zeit gibt es jedoch keinen internationalen rechtlichen Rahmen, der den einzelnen Staaten Zugang zu ihren abgebrannten Brennelementen oder deren Management garantiert. Hinsichtlich des rechtlichen Rahmens umfassen die herausgearbeiteten Anforderungen u. a.: die Anwendung von IAEA-Sicherungskontrollen auf das gesamte Kernmaterial, das in gelagerten oder auf dem Transport befindlichen abgebrannten Brennelementen enthalten ist; Harmonisierung der nationalen Genehmigungsaufgaben für die Lagerung und den Transport abgebrannter Brennelemente auf der Grundlage der entsprechenden IAEA-Richtlinien; Beitritt zu einem internationalen Übereinkommen über Objektschutz; Überprüfung von Klauseln in rechtsverbindlichen Übereinkünften, von denen sich gezeigt hat, daß sie bei der Durchführung nationaler Programme zu Schwierigkeiten führen und bei denen eine mögliche Änderung in der Form zu erwägen wäre, daß unter Einhaltung des Grundsatzes der Nichtverbreitung der Energiebedarf gedeckt werden kann.

III-A-5 Wiederaufarbeitung, Plutoniumlagerung und Herstellung von Mischoxidbrennelementen

Plutonium entsteht unvermeidlich im Betrieb von Kernkraftwerken. Das Problem besteht daher nicht darin, wie die Plutoniumproduktion zu vermeiden ist, sondern wie man mit dem Plutonium umgeht, wenn es einmal vorliegt. Hier sind zwei grundsätzliche Möglichkeiten zu erwägen: man beläßt das Plutonium in den gelagerten abgebrannten Brennelementen ohne sie wiederaufzuarbeiten oder man arbeitet die abgebrannten Brennelemente wieder auf und lagert anschließend das abgetrennte Plutonium bzw. rezykliert es in thermischen Reaktoren oder schnellen Brutreaktoren.

In diesen Brennstoffkreislaufaktivitäten scheint der sensitivste Teil eine Funktion der jeweils betrachteten Abzweigungsgefahr zu sein:

- a) im Falle eines Diebstahls durch subnationale Gruppen: die Transporte,
- b) im Falle einer offenen Abzweigung durch nationale Regierungen, d. h. in Situationen, in denen internationale Sicherungskontrollen nicht durchgeführt werden oder aufgehoben worden sind: das Plutoniumlager,

- c) im Falle einer heimlichen Abzweigung durch nationale Regierungen, während Sicherungskontrollen durchgeführt werden: diejenigen Schritte des Brennstoffkreislaufs, die den höchsten Sicherungskontrollaufwand erfordern. Die Sicherungskontrollen bei einer Wiederaufarbeitungsanlage oder einer Fabrik zur Herstellung von Mischoxidbrennelementen sind vergleichsweise aufwendiger als bei einem Lager mit abgetrenntem Plutonium.

Das Anliegen für die Zukunft besteht daher darin, daß, sofern die Wiederaufarbeitung ausgebaut wird, die besten technischen, sicherungskontrolltechnischen und institutionellen Maßnahmen angewandt werden, um die Sicherung dieses Materials gegen eine Abzweigung zu erhöhen.

Im Vergleich zu waffengrädigem Plutonium, das im Rahmen eines gezielten Produktionsprogramms hergestellt wurde, ist der Einsatz normalen Reaktorplutoniums für die Herstellung von Kernwaffen nicht attraktiv. Daher hält man eine bestimmte Menge Plutonium-239, gleichgültig, wofür es hergestellt wurde, für ein größeres Proliferationsrisiko als die gleiche Menge normalen Reaktorplutoniums. Allerdings läßt sich dies ohne detaillierte Kenntnisse der Waffenauslegung, über die INFCE nicht verfügt, nicht quantifizieren. Es ist jedoch darauf hinzuweisen, daß die Regierung der Vereinigten Staaten von Amerika erklärt hat, normales Reaktorplutonium könne für die Waffenherstellung verwendet werden, und daß dieser Erklärung von anderen Kernwaffenstaaten nicht widersprochen wurde. Die IAEA hat von Anfang an Plutonium als besonderes spaltbares Material den Sicherungskontrollen unterstellt, ohne Unterschiede hinsichtlich der Isotopenzusammensetzung zu machen.

Obwohl die Verwendung denaturierten Brennstoffs (U-233 und U-238) bei manchen Einsatzstrategien vorteilhaft sein könnte, wurde festgestellt, daß das Proliferationspotential von Thoriumbrennstoffkreisläufen mit U-233-Rezyklierung — mit oder ohne Plutonium — dem des Uranbrennstoffkreislaufs mit Plutoniumrezyklierung ähnelt.

III-A-6 Endlagerung von Abfall und abgebrannten Brennelementen

Die Abfallendlagerung wurde nicht als sensibler Schritt im Brennstoffkreislauf betrachtet, da das betreffende Material für die Herstellung von Kernwaffen relativ uninteressant ist. Abgereichertes Uran würde entweder eine Anreicherung erfordern (wobei es minderwertiger wäre als Natururan) oder aber eine Bestrahlung und Wiederaufarbeitung. In verglastem Abfall oder in Beton enthaltenes Plutonium wäre sehr fein verteilt und daher schwer rückgewinnbar. Nur abgebrannte Brennelemente aus Wegwerfzyklen sind infolgedessen eine Abfallart, die in bezug auf eine mögliche Abzweigung untersucht werden muß, da die unterirdischen Endlagerstätten in solchen Kreisläufen aufgrund ihres hohen Gehalts an spaltbarem Material und ihrer nachlassenden Radioaktivität ein immer attraktiveres Ziel für eine Abzweigung werden würden.

Die Studie kam zu dem Schluß, daß, — wie im Washingtoner Kommuniqué festgestellt wurde — Maßnahmen ergriffen werden könnten und sollten, um die identifizierten Risiken zu minimieren, ohne

dadurch die Energieversorgung oder die Entwicklung der Kernenergie für friedliche Anwendungen zu gefährden. Diese Maßnahmen werden nachstehend in Kapitel V erörtert.

IV. Umfassende Verfügbarmachung von Kernenergie zur Deckung des Weltenergiebedarfs

Im Rahmen ihrer Aufgabenstellung hatten sich die Arbeitsgruppen mit den Faktoren zu befassen, die die Verfügbarkeit von Kernbrennstoff, Schwerwasser, Dienstleistungen im Brennstoffkreislauf, der entsprechenden Technologie und von Facharbeitskräften beeinflussen, die zur Deckung des von den nationalen Behörden in den nationalen Kernenergieprogrammen festgelegten Bedarfs benötigt werden. Für dieses Gebiet war in erster Linie Arbeitsgruppe 3 verantwortlich, die die Aufgabe hatte, die Sicherung der langfristigen Versorgung mit Technologie, Brennstoff, Schwerwasser und Dienstleistungen für den nationalen Bedarf unter Einhaltung des Grundsatzes der Nichtverbreitung zu untersuchen.

Zwei Aspekte des Problems wurden getrennt behandelt, und zwar 1. die Sicherheit durch kommerzielle Märkte, insbesondere im Hinblick auf Uran und Anreicherungsdienste, und 2. staatliche Eingriffe in das Funktionieren solcher Märkte aus Gründen nationalen Interesses und nationaler Politik

IV-A. Kommerzielle Märkte

Zwar herrschte früher auf dem Uranmarkt beträchtliche Unordnung, doch hat sich in den letzten Jahren eine bessere Balance zwischen Angebot und Nachfrage eingestellt, die sich, wenn sie beibehalten wird, günstig auf die Versorgungssicherheit auswirken wird. Hinsichtlich der Versorgungssicherheit auf dem Nuklearmarkt ist man der Ansicht, daß das Vertragssystem durchaus den Bedürfnissen der Anbieter und der Verbraucher Rechnung trägt, und das wird wahrscheinlich auch in Zukunft weiterhin der Fall sein. Im Falle von Uran und Anreicherungsleistungen konnten sich die Verbraucher durch Lagerhaltung (wie sie sich aus normalen Betriebsvorräten und aus der Verzögerung der geplanten Reaktorprogramme ergab) oder kommerzielle ad-hoc-Tausch- oder gegenseitige Ausleihabkommen gegen kurzfristige Versorgungsstörungen schützen. Man stimmte jedoch auch darin überein, daß das Funktionieren dieser Märkte in verschiedener Hinsicht verbessert werden könnte. Viele Länder messen langfristigen kommerziellen Verträgen zentrale Bedeutung als einem wirksamen Mittel zur Erreichung der Sicherung von Angebot und Nachfrage bei, die für den kontinuierlichen Ausbau der nuklearen Elektrizitätserzeugung unerlässlich ist. Außerdem könnte ein gesunder Spotmarkt Verbrauchern und Anbietern bei der Bewältigung kurzfristiger Schwankungen von Angebot und Nachfrage helfen. Darüber hinaus würde der Markt für Kernmaterial wie alle kommerziellen Märkte durch einen freien Informationsaustausch auf allen Ebenen verbessert.

Bis vor kurzem gab es nur wenige Versorgungsquellen für Uran und Anreicherungsdienstleistungen, so daß die Verbraucher sich nicht durch Diversifizierung der Lieferquellen gegen Störungen schützen konnten. Arbeitsgruppe 1 stellte jedoch fest, daß es ein Potential für zusätzliche Uranlieferquellen in der Zukunft gibt. Arbeitsgruppe 2 hat mehrere neue Anbieter von Anreicherungsdienstleistungen identifiziert, die wahrscheinlich Anfang der achtziger Jahre und auch später auf dem Markt auftreten werden. Diese zusätzlichen Versorgungsquellen werden den Verbrauchern gute Möglichkeiten bieten, sich durch Diversifizierung zu schützen, wenn die kommerziellen Verträge ausreichende Variationsmöglichkeit bei den Vertragsbedingungen bieten.

Das übergeordnete Ziel bei den Bestrebungen nach langfristiger Zuverlässigkeit kommerzieller Verträge sollte darin bestehen sicherzustellen, daß durch internationale Zusammenarbeit ein politisches, wirtschaftliches, technisches und kommerzielles Klima geschaffen wird, das zur Entwicklung einer gesunden Nuklearindustrie und zum effizienten Funktionieren der Marktkräfte führt. Alle jene Faktoren, die die Zuverlässigkeit kommerzieller Verträge verringern, sollten — soweit es angesichts der bestehenden Politik der Regierungen möglich ist — durch Bemühungen der betroffenen Industrien und gegebenenfalls durch Zusammenarbeit zwischen den Regierungen von Produzenten- und Verbraucherländern beseitigt oder abgeschwächt werden. Es wurde festgestellt, daß es wegen der langen Geltungsdauer solcher Verträge wünschenswert ist, eine gewisse Flexibilität in den Schlüsselbedingungen zu erhalten, um eine Anpassung und eine angemessene Verteilung von Lasten und Risiken der Marktschwankungen auf Produzenten und Verbraucher durch direkte Konsultationen oder Verhandlungen zwischen den betroffenen Parteien zu ermöglichen.

Im Rahmen der Nichtverbreitungspolitik haben das wachsende Interesse an gewissen Anlagen und Materialien des Kernbrennstoffkreislaufs und das Risiko politischer Veränderungen in und zwischen den einzelnen Ländern in den meisten Staaten das Verständnis für Proliferationsrisiken gestärkt, die sich aus bestimmten Stufen des Kernbrennstoffkreislaufs ergeben könnten. Diese hat Anlaß zu großer Besorgnis gegeben. Größere Sicherheit, daß durch nukleare Lieferungen Kernwaffen nicht verbreitet werden, ist deshalb ein wichtiges Ziel für Exportländer geworden. Dies zu erreichen, wird von ihnen als ein wesentliches Element bei gemeinsamen Ansätzen zur Lösung von Versorgungssicherheitsproblemen angesehen. Manche dieser Länder erachten überdies effektive NV-Maßnahmen als notwendig,

um weiterhin Partner im Nukleargeschäft bleiben zu können. Die Bedeutung der Nichtverbreitungsziele für die Versorgungssicherheit ist dadurch bedingt, daß die Anbieterländer ihrer Durchsetzung große Wichtigkeit beimessen und Kernmaterial sowie damit verbundene Dienstleistungen, Ausrüstungen und Technologien nicht liefern oder nicht weiter liefern wollen, wenn ihre Nichtverbreitungsziele nicht angemessen respektiert werden. In diesem Zusammenhang haben bestimmte größere Lieferländer als Reaktion auf Veränderungen, die auf kerntechnischem Gebiet stattgefunden haben oder stattfinden könnten, beschlossen, ihre Nichtverbreitungspolitik bezüglich der Bedingungen für ihre künftigen Nuklearexporte zu verschärfen. Entsprechend ihrer nationalen Politik haben sie diese neuen Bedingungen auch auf bestehende Verträge angewandt oder ihre Absicht angekündigt, dies zu tun, und sie haben im Fall längerer Verzögerungen in den Verhandlungen mit Verbrauchern über diese neuen Bedingungen Lieferungen aufgeschoben oder ihre Absicht angekündigt, dies zu tun. Einige Verbraucher vertreten nachdrücklich die Ansicht, daß diese neuen Konditionen, selbst wenn sie sich auf Nichtverbreitung bezögen, nicht einseitig auf bestehende Verträge mit Ländern angewandt werden sollten, die die vorher vereinbarten Konditionen eingehalten haben, und insbesondere nicht auf Material, das vor Änderung der Konditionen geliefert worden war. Die Verbraucherländer betonen, daß ein solches Vorgehen die Ausführung der in gutem Glauben geschlossenen Verträge behindere und daß man sich um eine Übereinkunft zwischen den betroffenen Regierungen bemühen solle, bevor man neue Konditionen anwende. Sie unterstreichen auch, daß ein solches einseitiges Vorgehen das Recht der Verbraucher, ähnliche Schritte zu unternehmen, impliziere, was den Handel unterbrechen würde. Weiterhin heben die Verbraucherländer die Notwendigkeit hervor, zu einer eindeutigen Interpretation der in den verschiedenen Nichtverbreitungsübereinkommen genannten Rechte und Pflichten zu gelangen.

Bei der Erschließung neuer Uranbezugsquellen oder der Errichtung neuer Anreicherungs- oder Wiederaufarbeitungsanlagen kann eine stärkere finanzielle Beteiligung oder Unterstützung seitens der Verbraucher zu einer größeren Verfügbarkeit von Kapital für die Errichtung von Produktionsanlagen und Dienstleistungseinrichtungen führen und somit zu einer besseren Anpassung des jeweils zur Verfügung stehenden Angebots an den zu erwartenden Bedarf beitragen. Es gibt verschiedene Arten der finanziellen Beteiligung oder Unterstützung, z. B. Kapitalbeteiligung (durch Erwerb von Anteilsrechten), Beteiligung am Management (durch Eintritt in ein Joint Venture), Kreditgewährung oder Leistung von Vorauszahlungen. Sowohl Liefer- als auch Verbraucherstaaten kontrollieren aus verschiedenen innenpolitischen, wirtschaftlichen und sozialen Gründen ausländische Investitionen auf dem Kernenergiesektor. Die Politik eines Produzentenstaates hinsichtlich ausländischer Investitionen und ausländischen Besitzes im Inland sowie der Besteuerung, der Royalties und der Preisgestaltung kann sich unter bestimmten Umständen hemmend auf die Beteili-

gung der Verbraucher am finanziellen Risiko der Anbieter auswirken. Sollte dieses Hemmnis so stark sein, daß die Erstellung von Kapazitäten gefährdet ist, die den prognostizierten Bedarf decken sollen, so kann dies die langfristige Versorgungssicherheit beeinträchtigen. Daraus kann sich die Notwendigkeit ergeben, derartige politische Maßnahmen flexibler zu gestalten und durch Kapitalinvestitionen, Beteiligung am Management, Vorauszahlungen, Kredite und auch durch andere Maßnahmen als Gegenleistung für eine gesicherte Versorgung Anreize für eine erhöhte Verbraucherbeteiligung zu bieten.

Der Markt hat zwar in der Vergangenheit auf kleinere Versorgungsstörungen im allgemeinen erfolgreich reagiert und sich darauf eingestellt, doch hat man festgestellt, daß stärker formalisierte Notfallversorgungsmechanismen, möglicherweise mit staatlicher Beteiligung, in dieser Beziehung nützlich wären, insbesondere für Länder mit kleineren Kernenergieprogrammen und begrenzten Möglichkeiten zur Diversifizierung oder interner Lagerhaltung. Es wurde unterstrichen, daß diese Mechanismen nicht den Markt ersetzen, sondern bei einem Versagen des Marktes als letztes Mittel dienen sollen. Arbeitsgruppe 3 untersuchte zwei Arten solcher kurz- und mittelfristiger Notfallversorgungsvereinbarungen, wobei sie sich dessen bewußt war, daß andere Formen erarbeitet werden könnten und die beiden vorliegenden sich nicht unbedingt gegenseitig ausschließen müssen.

Die erste Form wurde als Uransicherheitsnetz bezeichnet. Dieses Netz könnte auf bestehenden ad-hoc-Vereinbarungen über zeitlich begrenzten Brennstofftausch oder zeitlich begrenzte Brennstoffausleihe aus vorhandenen Vorräten zwischen Elektrizitätsversorgungsunternehmen, hauptsächlich in Europa und in den Vereinigten Staaten, aufbauen. Aufgrund dieser Erfahrungen war man der Ansicht, daß eine stärker institutionalisierte Form mit einem gewissen Maß an staatlicher Beteiligung denkbar wäre. Teilnehmende Mitglieder (Elektrizitätsversorgungsunternehmen und/oder Staaten) würden einen vereinbarten Teil ihrer vorhandenen Vorräte in einen Pool einbringen, auf den man bei Versorgungsstörungen gemäß den vereinbarten Bedingungen und Verfahren zurückgreifen kann. Obwohl man wahrscheinlich in begrenztem Umfang beginnen könnte, lassen die in Westeuropa und den Vereinigten Staaten gesammelten Erfahrungen den Schluß zu, daß es nützlich sein mag, stärker formalisierte Notfallversorgungsvereinbarungen abzuschließen, die auf der Ebene der Elektrizitätsversorgungsunternehmen beginnen und sich allmählich zu regionalen oder sogar weltweiten Einrichtungen entwickeln, die nicht nur kleinere, sondern auch erhebliche Versorgungsstörungen meistern können. Bei einer solchen Entwicklung könnte es ein Netz von Pools geben, das Verbraucher und/oder Verbraucherländer, Produzenten und/oder Produzentenländer und verschiedene Kombinationen von diesen umfaßt.

Eine weitere von Arbeitsgruppe 3 untersuchte Alternative ist eine internationale Kernbrennstoffbank. Diese Bank würde von Liefer- und Verbraucherländern gebildet, hielte selbst Vorräte an Natururan

oder niedrig angereichertem Uran oder hätte Ansprüche auf solches. Diese Vorräte könnten einem Verbraucherland zur Verfügung gestellt werden, dessen Versorgung durch Nichterfüllung eines Vertrags unterbrochen ist, wenn die Unterbrechung nicht auf eine Verletzung der NV-Verpflichtungen dieses Landes zurückzuführen ist.

Nichtverbreitungsaspekte sind jedoch offensichtlich für die Kriterien der Mitgliedschaft und/oder des Zugangs zu den Notfallversorgungssystemen relevant. Man war sich auch darüber einig, daß die vorgeschlagenen Mechanismen, um schnell, unbürokratisch, klar, wirtschaftlich und zuverlässig funktionieren zu können, auf vereinbarten, im voraus festgelegten Notfalkriterien beruhen sollten, die, sobald sie erfüllt sind, automatisch Brennstofflieferungen in Gang setzen würden. Daher wird es im Rahmen jedes Notfallversorgungssystems, ungeachtet seiner Form, unerlässlich sein, Material, das zur Behebung eines Notfalls benötigt wird, von irgendwelchen Transfer-, Nutzungs- oder Entsorgungsgenehmigungen freizustellen oder zumindest die Ausstellung von Transfergenehmigungen erheblich zu erleichtern. Es muß auf jeden Fall sichergestellt sein, daß das Material schnell und automatisch geliefert wird. Andererseits müßten Bedenken der Lieferländer hinsichtlich der Nichtverbreitung in vollem Umfang berücksichtigt werden. Deshalb wäre eine Beteiligung der Lieferstaaten an den Notfallversorgungsabkommen nützlich.

In jedem Fall müßten verschiedene wichtige institutionelle Angelegenheiten geregelt werden, u. a. Mitgliedschaft, Verteilung der Entscheidungszuständigkeit, Finanzierung, Bedingungen hinsichtlich der Inanspruchnahme der Bank (insbesondere Nichtverbreitungsverpflichtungen) und Schlichtung von Streitfällen. Diese Fragen haben einen hochpolitischen Inhalt und hängen in jedem Falle von den Bedürfnissen und Wünschen der an dem betreffenden Abkommen Beteiligten ab. Infolgedessen wurden diese Fragen als außerhalb des INFCE-Mandats liegend angesehen, und die Arbeitsgruppe hat sich daher nicht weiter mit ihnen beschäftigt.

IV-B. Staatliche Intervention

Die Hauptbedenken hinsichtlich der Versorgungssicherheit sind nicht durch Nichteinhaltung kommerzieller Verpflichtungen oder Marktversagen entstanden, sondern vielmehr durch staatliche Interventionen aufgrund von nationaler Politik und nationalen Zielen. Diese Interventionen sind gewöhnlich mit der Erreichung von NV-Zielen in Verbindung gebracht worden, manchmal aber auch mit bestimmten anderen Zielen der nationalen Politik. Eine Regierung kann durch Exportkontrollen für Kernmaterial oder kerntechnische Anlagen (mittels Vorbehaltsrechten) oder durch Importkontrollen eingreifen. Bisher gab es jedoch nur wenige wirkliche Versorgungsstörungen, und wo sie auftraten, führten sie eher zu Verzögerungen und Kosten, als daß sie die Stromerzeugung selbst beeinträchtigt hätten. Sollte andererseits die Unsicherheit hinsichtlich möglicher Störungen anhalten, würde dies den ordnungsgemä-

ßen Aufbau von Kernenergieprogrammen in Frage stellen, und dies hat zu großer Sorge Anlaß gegeben.

Wenn die Anbieter sicher sein können, daß die Kernenergieprogramme in den Verbraucherländern planmäßig verlaufen, wird es für sie leichter sein, ihre Produktion dem Bedarf anzupassen. Aus dem gleichen Grunde können die Verbraucher ihre Kernenergieprogramme mit größerem Vertrauen weiterführen, wenn sie damit rechnen können, daß die Angebotskapazität weiterhin erhalten bleibt. Die Wirtschafts- und Nichtverbreitungspolitik sowie Marktinterventionen ausländischer Regierungen waren aber nicht der einzige bzw. in manchen Ländern nicht der wichtigste Faktor, der zu Schwierigkeiten bei der Entwicklung der Kernenergieindustrie oder der nuklearen Zulieferindustrie führte. Bedenken der Öffentlichkeit hinsichtlich der Umwelt-, Strahlenschutz- und Sicherheitsaspekte der Nuklearindustrie wirkten sich ebenfalls auf deren Ausbau aus. Es ist daher in jedem Falle wünschenswert, auch weiterhin Maßnahmen zu ergreifen, um auf diese Bedenken einzugehen.

Es ist wahrscheinlich nicht anzunehmen, daß Regierungen auf die Möglichkeit verzichten, in Lieferverträge einzugreifen, wenn sie dies aufgrund ihrer nationalen und internationalen Interessen für erforderlich halten. Dennoch sind Verbraucherländer über diese Interventionen sehr besorgt, und zwar insbesondere dann, wenn sie, wie es manchmal der Fall war, einseitige Änderungen der vereinbarten Lieferbedingungen darstellten, und noch mehr, wenn es sich um eine rückwirkende Maßnahme handelte. Die Regierungen von Hauptlieferländern messen jedoch im allgemeinen der Durchsetzung von Nichtverbreitungszielen große Bedeutung bei und sind nicht bereit, Kernmaterial zu liefern oder weiter zu liefern, wenn diese Ziele nicht entsprechend respektiert werden.

Es wurde allgemein akzeptiert, daß eine einheitlichere, konsequentere und vorhersehbare Anwendung nationaler Export- und Importkontrollen durch jedes Liefer- und Verbraucherland in Übereinstimmung mit konkreteren Kriterien ein gutes Stück zur Abschwächung der Unsicherheit und somit zur Stärkung der Versorgungssicherheit beitragen würde. Man hielt es für wünschenswert, daß die Regierungen Mechanismen für die Bewältigung der Änderungen (management of changes) in der Nichtverbreitungspolitik entwickeln, die das Risiko minimieren sollen, daß derartige Änderungen zu Lieferunterbrechungen führen, wenn Meinungsverschiedenheiten zwischen Liefer- und Verbraucherländern entstehen.

Ein weiteres wichtiges Problem sind die Zustimmungsrechte, die sich einige Lieferländer hinsichtlich der Weitergabe an Drittländer und/oder der Wiederaufarbeitung des von ihnen an Verbraucherländer gelieferten Brennstoffs weiter vorbehalten wollen und die bei willkürlicher Anwendung negative Auswirkungen auf die Sicherheit der Brennstofflieferungen und folglich auf die Kernenergieprogramme der Verbraucherländer haben können. Die Möglichkeit einer solchen willkürlichen Ausübung der Zustimmungsrechte löst bei den Verbraucherländern Be-

sorgnis aus. Wo Vorbehaltsrechte bestehen, sollten — soweit möglich — die Kriterien für die Ausübung dieser Rechte vor dem Abschluß langfristiger Brennstofflieferverträge oder bei kurzfristigen Verträgen vor der verbindlichen Zusage des Brennstoffs für Kernreaktoren festgelegt werden. Es gilt allgemein, daß während der Entwicklung einer gemeinsamen Haltung bezüglich der Ausübung der Vorbehaltsrechte und als einen ersten Schritt in Richtung auf einen breiteren internationalen Konsens die Anbieterländer diese Rechte in einer Weise wahrnehmen sollten, die der jeweiligen nationalen Politik und den besonderen Gegebenheiten der Verbraucherländer Rechnung trägt, mit dem Ziel, soweit wie möglich Planungsprobleme für die Kernenergieprogramme dieser Länder zu vermeiden. Haben sich wichtige Randbedingungen nicht geändert, sollten die Zustimmungrechte in einer Weise ausgeübt werden, die vorhersehbar ist und dem Verständnis entspricht, das die Parteien vermutlich hatten, als die Vorbehaltsrechte festgelegt wurden.

Man hat in diesem Zusammenhang eine Reihe möglicher Mechanismen vorgeschlagen, um Nichtverbreitungsverpflichtungen und -bedingungen auf den neuesten Stand zu bringen, wenn dies nötig erscheint:

- a) Aufnahme einer Klausel in zwischenstaatliche Abkommen oder Abgabe einer gemeinsamen Absichtserklärung, informelle Konsultationen durchzuführen, um festzustellen, ob Änderungen erforderlich sind, auf deren Grundlage spezifische Vertragszusätze erwogen werden könnten.
- b) Aufnahme einer Klausel in zwischenstaatliche Abkommen zur periodischen Überprüfung durch die beteiligten Parteien, gegebenenfalls — wenn nötig — mit anschließenden Änderungen der Nichtverbreitungsverpflichtungen und -konditionen in solchen Abkommen.
- c) Aufnahme einer Klausel in zwischenstaatliche Abkommen zwecks Annahme der Nichtverbreitungsverpflichtungen und -bedingungen, die multilateral überprüft worden sind, soweit alle dem Abkommen beigetretenen Regierungen ihnen zugestimmt haben.
- d) Aufnahme von Eventualklauseln in zwischenstaatliche Abkommen, nach denen weitere Nichtverbreitungsaufgaben eingeführt oder bestehende Auflagen in Übereinstimmung mit besonderen Entwicklungen modifiziert wurden.

Die Versorgungssicherheit könnte erhöht werden, wenn die Verfahren zur Aktualisierung von Nichtverbreitungsverpflichtungen durch Garantien für die Fortdauer der Lieferungen während der Neuverhandlungen ergänzt würden.

Die erörterten Vorschläge umfassen

- a) Verpflichtungen der Vertragsparteien, Export- bzw. Importgenehmigungen auf der Grundlage geschlossener Verträge nicht zu verweigern, wenn die jeweils andere Partei garantiert, von Zeit zu Zeit für erforderlich erachtete Änderungen der Nichtverbreitungsbedingungen gemäß

einem von den Parteien entweder bilateral oder in einem weiteren internationalen Rahmen vereinbarten Verfahren zu akzeptieren.

- b) Verpflichtungen der Vertragsparteien dahin gehend, daß Vorschläge zur Erweiterung oder Änderung von Nichtverbreitungsaufgaben keinen Einfluß auf die Ausstellung von Export- oder Importgenehmigungen von Lieferungen nach bestehenden Nuklearverträgen haben, bevor das durch die Vorschläge in Gang gesetzte Änderungsverfahren zu einem Konsens der Parteien geführt hat.
- c) Verpflichtungen der Vertragsparteien, während eines angemessenen Zeitraums nach einem Vorschlag zur Erweiterung oder Änderung von Nichtverbreitungsbedingungen in Lieferungen gemäß bestehender Verträge nicht einzugreifen, bis sich z. B. herausgestellt hat, daß die Verhandlungen in eine Sackgasse geraten sind.

Es wurde außerdem vereinbart, daß man, um den Besorgnissen einiger Verbraucherländer über Unterschiede in manchen Nichtverbreitungsbedingungen bilateraler Abkommen Rechnung zu tragen, nach gemeinsamen Lösungen suchen müsse, und zwar vor dem Hintergrund der Notwendigkeit, all jenen Ländern Kernenergie zugänglich zu machen, die sie für friedliche Zwecke nutzen wollen, und dies so zu tun, daß eine Verbreitung von Kernwaffen vermieden wird, während gleichzeitig die Souveränität der Staaten und der nationale Bedarf an technologischer Entwicklung respektiert werden.

Die folgenden Absätze dienen der Darstellung wesentlicher Punkte, deren Bedeutung, Wichtigkeit und Annehmbarkeit in den genannten gemeinsamen Lösungen berücksichtigt werden sollte, wobei zu bemerken ist, daß zu einigen dieser Punkte sowohl bei den Export- als auch bei den Importländern unterschiedliche Ansichten bestehen:

- a) Verpflichtungen, Kernmaterial, kerntechnische Ausrüstung und Kerntechnologie friedlich zu nutzen, die für diesen Zweck geliefert werden, mit der Möglichkeit der Überprüfung;
- b) Verpflichtungen, Kernwaffen oder atomare Sprengkörper weder zu entwickeln noch zu erwerben;
- c) Verpflichtungen, Kernwaffen nicht zu erwerben, herzustellen oder zu lagern oder einem anderen Land dabei zu helfen;
- d) Verpflichtung, IAEA-Sicherungskontrollen durchzuführen und ein mögliches IAEA-System für die Lagerung von Überschußplutonium durchzuführen;
- e) angemessene Objektschutzmaßnahmen;
- f) Bedingungen für die Einführung und den Betrieb bestimmter Stufen des Kernbrennstoffkreislaufs und die Handhabung der damit verbundenen Materialien einschließlich der Stationen, die als internationale oder multinationale Institutionen oder nationale Unternehmen organisiert sind und die eine Reihe international oder multinational vereinbarter Verpflichtungen erfüllen;

- g) Dauer von Nichtverbreitungsverpflichtungen und -kontrollen;
- h) Sanktionen und andere bei einem Bruch der Nichtverbreitungsvereinbarungen anzuwendende Maßnahmen;
- i) Vereinbarungen über den Transfer und Retransfer von gelieferten Materialien, Ausrüstung und Technologie, über die Folgen der sich überlagernden unterschiedlichen Bedingungen verschiedener Staaten hierbei (Multilabelling) sowie über die Folgen der Auslösung zusätzlicher Sicherungskontrollbefugnisse (safeguards containment).

Diese gemeinsamen Lösungsansätze, die sich zunächst in der Praxis der Staaten und in bilateralen Abkommen niederschlagen könnten, könnten schließlich die Form gemeinsamer Erklärungen,

eines Verhaltenskodex oder anderer multilateraler oder internationaler Vereinbarungen annehmen. Diese könnten zu stärker formalisierten Maßnahmen zur Sicherstellung des Zugangs zu Kernmaterial, zu Dienstleistungen und zu einschlägigen Ausrüstungen und Technologien führen, insbesondere zu bestimmten Dienstleistungen und Technologien, und zwar unter international akzeptierten, wirksamen Nichtverbreitungsbedingungen. Ein solcher evolutionärer Prozeß, der auf bestehenden Übereinkünften, Institutionen, Normen und Gepflogenheiten basiert, könnte praktikabel sein und gleichzeitig zu einem meßbaren Fortschritt in Richtung auf eine sicherere Ordnung führen, in der nationale Export- und Importpolitik im Sinne der Nichtverbreitung auf eine sowohl für die Lieferländer als auch für die Verbraucherländer akzeptable Art und Weise verfolgt werden könnte.

V. Minimierung der Gefahr der Verbreitung von Kernwaffen

Die Arbeitsgruppen haben eine Reihe von Maßnahmen beschrieben und untersucht, durch die die Gefahr des Mißbrauchs von Anlagen des Brennstoffkreislaufs für den Erwerb von Kernwaffen minimiert werden kann, ohne die Versorgung mit Energie und die Entwicklung der Kernenergie für friedliche Zwecke zu gefährden. Diese Maßnahmen umfassen technische Mittel, verbesserte Sicherungskontrollen und institutionelle Vereinbarungen. Es wurde allgemein anerkannt, daß institutionelle Maßnahmen in gleichem Maße für die Versorgungssicherheit wichtig sind wie in einigen Fällen für die Wirtschaftlichkeit, die Nutzung von Ressourcen und für Umweltauswirkungen. Insgesamt haben technische Maßnahmen einen starken Einfluß auf die Verringerung der Gefahr des Diebstahls, aber nur eine beschränkte Wirkung im Hinblick auf die Herabsetzung der Proliferationsgefahr. Sicherungskontrollen werden für wichtiger gehalten als die technischen Maßnahmen. Mehr Bedeutung als den technischen Maßnahmen kommt möglicherweise den institutionellen Vereinbarungen zu. Sie werden daher im Kapitel VI getrennt behandelt. Im vorliegenden Kapitel werden technische Maßnahmen und verbesserte Sicherungskontrollen angesprochen.

V-A. Technische Maßnahmen

Die technischen Möglichkeiten können in vier Kategorien betrachtet werden: Maßnahmen zur Verringerung des im Brennstoffkreislauf in abgetrennter Form vorliegenden waffenfähigen Materials; Maßnahmen zum Schutz solcher Materialien gegen Abzweigung durch Einsatz radioaktiver Strahlung; Schutzmaßnahmen unter Verwendung physischer Barrieren und die Verwendung von Brennstoffen geringerer Anreicherung in Forschungsreaktoren.

V-A-1 Maßnahmen zur Verringerung der Menge an waffenfähigem Material (Plutonium oder in den Isotopen U-233 und U-235 hoch angereichertes Uran) in abgetrennter Form

- a) Co-location, die Anordnung von verschiedenen Anlagen des Kernbrennstoffkreislaufs an demselben Standort, z. B. eine Wiederaufarbeitungsanlage und eine Anlage zur Herstellung von Mischoxidbrennelementen. Hierdurch könnte der Transport von Plutonium und von großen Mengen in loser Form vorliegenden Mischoxids zwischen verschiedenen Standorten vermieden werden. Sowohl Objektschutzmaßnahmen als auch Sicherungskontrollen könnten an einem gemeinsamen Standort wirkungsvoller durchgeführt werden, da der hierfür notwendige Aufwand verringert werden könnte.
- b) Co-conversion, die Herstellung von Mischoxiden direkt aus einer Mischung von Uran- und Plutoniumlösungen. Dies würde bedeuten, daß reines Plutoniumoxid an keiner Stelle im Brennstoffkreislauf mehr vorkommt. Plutonium würde dann als Mischoxid transportiert und gelagert werden, und dies brächte dieselben Vorteile wie unter dem folgenden Punkt c).

Co-location und Co-conversion scheinen, zumindest kurzfristig, die für die Einführung attraktivsten Maßnahmen zu sein. Ein weiterer geringer Entwicklungsaufwand wäre erforderlich, bevor Co-conversion in großtechnischem Maßstab eingeführt werden könnte.

- c) Lagerung und Transport von Plutonium als Mischoxid. Die Materialmenge, die aus einem Sicherungskontrollen unterliegenden Brennstoffkreislauf für die Herstellung einer Waffe abgezweigt werden müßte, würde größer werden, wenn Plutonium als Mischoxid gelagert und transportiert würde, und darüber hinaus müßte es erst

chemisch abgetrennt werden. Der Transport von Plutonium als Mischoxid bietet einige Vorteile, wenn auch in erster Linie im Hinblick auf Diebstahl durch subnationale Gruppen.

- d) Co-processing, eine Variante des Wiederaufarbeitungsverfahrens, bei der Plutonium nicht in abgetrennter Form vorkommt, sondern bei der es die Wiederaufarbeitungsanlage in einem für die anschließende Co-conversion geeigneten Gemisch von Uran- und Plutoniumnitrat verläßt. Der Prozeß ist technisch machbar, wenn auch einige Schwierigkeiten bei der Steuerung des Co-processing-Verfahrens aufgetreten sind. Es gibt unterschiedliche Auffassungen darüber, wieviel weitere FuE-Arbeiten und Untersuchungen mit Pilotanlagen noch erforderlich sind, bis Co-processing mit guten Aussichten in industriellen Anlagen eingeführt werden kann; die meisten Länder meinen, daß es erst für eine kommende Generation von Wiederaufarbeitungsanlagen als Möglichkeit in Betracht gezogen werden kann.
- e) Denaturierung, die Beimischung von U-238 zu U-233-haltigen Materialien; waffenfähiges Material wäre daraus nur über eine Isotopentrennanlage zu beschaffen. Diese Maßnahme wurde für Thoriumbrennstoffkreisläufe mit Uran mittlerer Anreicherung vorgeschlagen. Obwohl die Denaturierung von U-233 mit U-238 eine erhöhte Plutoniumproduktion mit sich brächte, hätte diese Maßnahme den Vorteil, daß die Zahl der Stellen im Brennstoffkreislauf, an denen hochkonzentriertes spaltbares Material auftritt, verringert werden könnte. Die industrielle Anwendung dürfte erst nach dem Jahre 2000 möglich werden.

V-A-2 Maßnahmen zum Schutz besonderer Kernmaterialien durch Barrieren aus radioaktiver Strahlung

- a) Pre-irradiation, die Erzeugung von Radioaktivität in neuen Brennelementen vor ihrem Transport von der Mischoxid-Brennelementfabrikationsanlage zum Reaktor.
- b) Spiking, die Beimischung hochenergetischer Gammastrahler an einer geeigneten Stelle im Brennstoffkreislauf.
- c) Partial-processing, die Modifizierung des Wiederaufarbeitungsverfahrens in der Weise, daß die radioaktiven Spaltprodukte nicht vollständig vom Plutonium abgetrennt werden.

Diese Maßnahmen bringen erhebliche ökologische, radiologische und wirtschaftliche Nachteile sowie eine schlechtere Ressourcennutzung mit sich und beeinträchtigen in manchen Fällen die Wirksamkeit von Sicherheitskontrollen. Partial-processing wäre darüber hinaus nur wirksam, wenn abgebrannter Brennstoff innerhalb von zwei oder drei Jahren nach seiner Entladung aus dem Reaktor wiederaufgearbeitet und rückgeführt würde. Bis auf weiteres wird jedoch die Zeit bis zur Rückführung wesentlich länger sein.

V-A-3 Die Verwendung von physischen Barrieren zum Schutz von besonderem Kernmaterial

Der physische Einschluß von Wiederaufarbeitung und Mischoxidd Brennelementfabrikation mittels baulicher Strukturen kann die Durchführung von Sicherheitskontrollen wesentlich erleichtern und die Möglichkeiten für eine Abzweigung verringern. Diesem Konzept kann daher dort eine Erhöhung des Widerstandes gegen Abzweigung zugeschrieben werden, wo Sicherheitskontrollen durchgeführt werden. Die Anwendung physischer Einschlußmaßnahmen in Verbindung mit Co-location, Co-conversion und Co-processing könnte zusätzlich die mit jeder dieser Möglichkeiten verbundenen günstigen Wirkungen nutzbar machen.

Solche technischen Maßnahmen, die sich wahrscheinlich im Laufe der weiteren technologischen Entwicklung ergeben werden, könnten ebenfalls die Sicherheit gegen Abzweigung erhöhen. Die Co-location von Wiederaufarbeitungsanlagen und Betrieben zur Herstellung von Mischoxidd Brennelementen wird wahrscheinlich zum Regelfall werden; Co-conversion ist technisch attraktiv und führt naturgemäß zum Transport von MOX; weitere Automation und verbesserte bauliche Abtrennung und Umschließung führen zu wirkungsvolleren physikalisch-technischen Barrieren. Es ist daher zu wünschen, daß die laufenden Arbeiten an den erwähnten technischen Maßnahmen zu Ende geführt werden, so daß sie brauchbare Alternativen werden können. Co-processing könnte die Sicherheit gegen Abzweigung weiter steigern, doch läßt sich aufgrund des frühen Entwicklungsstadiums noch kein abschließendes Urteil über die tatsächliche Wirkung fällen. Es ist auch ungewiß, was die weitere technologische Entwicklung zur Zweckmäßigkeit ihrer Anwendung ergibt. Maßnahmen zur Verbesserung der Brennstoffausnutzung durch thermische Rückführung in LWR und HWR haben keine oder nur eine kleine Auswirkung auf die Durchführung von Sicherheitskontrollen und den Widerstand gegen Abzweigung im Zusammenhang mit dem Reaktorstandort.

V-A-4 Verwendung von Brennstoffen geringerer Anreicherung in Forschungsreaktoren

Viele Forschungsreaktoren verwenden hochangereichertes Uran, um mit dem Reaktor das beste Betriebsverhalten zu erreichen. Ein Übergang zu geringerer Anreicherung (entweder auf unter 20 % oder auf etwa 45 %) scheint für die weitaus größte Zahl dieser Reaktoren erreichbar zu sein; auf lange Sicht könnten die meisten mit weniger als 20 % auskommen. Es herrscht jedoch einige Unsicherheit darüber, mit welchen finanziellen Nachteilen der Übergang zu geringerer Anreicherung verbunden ist. Verschiedene neue Brennstoffe mit geringerer Anreicherung werden entwickelt, einige sind sogar bereits industriell für bestimmte Fälle verfügbar. Es muß nachgewiesen werden, daß die Sicherheitsreserven und das Betriebsverhalten des Reaktors durch den niedrigeren Anreicherungsgrad nicht verschlechtert werden. Dort, wo eine Herabsetzung der Anreicherung nicht durchführbar ist, könnte die Verringerung

rung der Lagerbestände an HEU-Brennstoff in Erwägung gezogen werden.

Arbeitsgruppe 8 zog daraus den Schluß, daß der gesamte Bereich der Verringerung der Brennstoffanreicherung in Forschungsreaktoren zur Verbesserung des Proliferationswiderstandes noch in einem frühen Stadium seiner Entwicklung ist, jedoch sowohl kurz- wie langfristige Ansatzmöglichkeiten bietet. Nicht nur bei Forschung und Entwicklung, sondern auch bei der Aufstellung von Kriterien und Verfahrensweisen ist internationale Zusammenarbeit nachdrücklich zu empfehlen.

V-B. Sicherungskontrollen

Ein wesentliches Charakteristikum des derzeitigen Nichtverbreitungssystems ist ein Netz bilateraler und multilateraler Abkommen, in denen sich Staaten verpflichten, internationale Sicherungskontrollen für einige oder alle ihre Aktivitäten im nukleartechnischen Bereich zu akzeptieren. Die Sicherungskontrollen werden im allgemeinen von der IAEA gemäß den mit den betreffenden Staaten geschlossenen Abkommen durchgeführt. Dabei können die Verpflichtungen insbesondere im Hinblick auf Faktoren, die internationale Sicherungskontrollen auslösen würden, inhaltlich leicht verschieden festgelegt sein. Generell können die Staaten, die Sicherungskontrollen akzeptiert haben, in zwei große Gruppen eingeteilt werden. Die erste Gruppe umfaßt Staaten, die aufgrund ihres Beitritts zum Nichtverbreitungsvertrag oder zum Vertrag von Tlatelolco oder aus anderen Gründen internationale Sicherungskontrollen für all ihre kerntechnischen Aktivitäten akzeptiert haben. Die nach dem NV-Vertrag anzuwendenden Sicherungskontrollen sind im IAEA-Dokument INFCIRC/153 festgelegt. Ziel der Sicherungskontrollen ist in diesem Falle „die rechtzeitige Entdeckung der Abzweigung signifikanter Mengen Kernmaterials von friedlichen nuklearen Aktivitäten für die Herstellung von Kernwaffen und sonstigen Kernsprengkörpern oder für unbekannte Zwecke sowie die Abschreckung von einer solchen Abzweigung durch das Risiko einer frühzeitigen Entdeckung“. Die zweite Gruppe setzt sich aus Staaten zusammen, die Sicherungskontrollen nur für bestimmte Importe an Kernmaterial, kerntechnischer Ausrüstung und entsprechender Technologie akzeptiert haben, wobei die Möglichkeit offengelassen wird, daß bestimmte Aktivitäten auf dem Kernenergiesektor internationalen Sicherungskontrollen nicht unterliegen. Die in diesem Fall anzuwendenden Sicherungskontrollen sind im IAEA-Dokument INFCIRC/66/Rev. 2 festgelegt. Das Ziel der Sicherungskontrollen besteht hier darin „zu gewährleisten, daß besonderes spaltbares und anderes Material, Dienstleistungen, Ausrüstungen, Anlagen und Informationen . . . nicht militärischen Zwecken dienen“. Es gibt Fälle, in denen ein Land, das Sicherungskontrollen nach INFCIRC/66/Rev. 2 akzeptiert hat, alle seine Aktivitäten auf dem kerntechnischen Sektor diesen Sicherungskontrollen unterwirft. Die derzeit angewendeten Kontrollverfahren und -techniken beruhen in erster Linie auf der Kernmaterialbilanzierung in geeigneten Materialbilanzzonen, wobei

Einschluß und Überwachung wichtige komplementäre Maßnahmen sind. Diese Sicherungskontrollmaßnahmen werden durch Inspektionen überprüft, die die IAEA in Übereinstimmung mit den genannten Kontrollabkommen durchführt.

Zu den Aufgaben einiger Arbeitsgruppen, die sich mit einem bestimmten Teil des Brennstoffkreislaufs befassen, gehörte es zu überprüfen, ob die angewendeten Sicherungskontrollen angemessen sind. Dabei stellten die Arbeitsgruppen keine wesentlichen Probleme hinsichtlich der Wirksamkeit dieser Methoden und Techniken in bestehenden, in Betrieb befindlichen Anlagen fest. Die Weiterentwicklung und Verbesserung bestehender Methoden und Techniken wurde für erforderlich gehalten, insbesondere um die Sicherungskontrollziele bei vertretbaren Kosten zu erreichen, und zwar in Anlagen, die die Möglichkeit zum Zugang zu besonderem Kernmaterial in waffengrädiger Form bieten wie bei der Urananreicherung, bei der industriellen Wiederaufarbeitung bestrahlten Brennstoffs und bei der Herstellung von Mischoxidbrennelementen für LWR oder Brutreaktoren. Eine solche Weiterentwicklung sollte im allgemeinen die Anwendung von Sicherungskontrollen schon bei der Auslegung der Anlage berücksichtigen sowie verstärkte Maßnahmen des Einschlusses und der Überwachung und verbesserte Methoden der Materialbilanzierung umfassen. Wirksame internationale Sicherungskontrollen werden als ein wesentliches Element bei der nuklearen Energieerzeugung angesehen, und es sollte erheblichen zusätzlichen Bemühungen auf dem Gebiet der Sicherungskontrollen große Bedeutung beigemessen werden.

Arbeitsgruppe 2 unterstrich, daß die UF_6 -Meßtechnik an den Grenzen der Materialbilanzzonen von Gasdiffusions-, Trenndüsen- und Zentrifugenanlagen sehr genau ist und dadurch verstärkt die Möglichkeit gegeben ist, mit Hilfe sehr genauer Kernmaterialbilanzierung eine eventuelle Abzweigung von signifikanten Kernmaterialmengen festzustellen. Diese genaue Kernmaterialbilanzierung in Verbindung mit der Verifizierung von Anlagendaten und mit effektiven Einschluß- und Überwachungsmaßnahmen dürfte die rechtzeitige Entdeckung einer Abzweigung von Kernmaterial sowie des Mißbrauchs einer Anlage, die Sicherungskontrollen unterliegt, gewährleisten. Werden zur Minimierung des Proliferationsrisikos, das sich aus dem Zugang zu sensibler Technologie und deren Verbreitung ergibt, nicht zugängliche Bereiche eingerichtet, dann sollten diese so abgegrenzt sein, daß effektive und effiziente Sicherungskontrollen möglich sind. Dieser beschränkte Zugang zu bestimmten Anlagenbereichen kann zwar als eine Komplikation angesehen werden, doch wird dies z. B. durch die Anwendung geeigneter Einschluß- und Überwachungsmaßnahmen ausgeglichen. Gegenwärtig werden sich damit die wesentlichen Zielsetzungen in Forschung und Entwicklung auf eine Verbesserung der Kosteneffektivität von Sicherungskontrollen und auf Einschluß- und Überwachungsmaßnahmen konzentrieren. Die Überwachung von Personal- und Materialbewegungen könnte in Zukunft automatisiert werden, um den Inspektions-

aufwand und die dadurch entstehenden Kosten soweit wie möglich zu verringern, ohne dabei die Wirksamkeit von Sicherungskontrollen zu vermindern.

Arbeitsgruppe 4 stellte fest, daß die Erfahrungen mit der Durchführung von Sicherungskontrollen in Wiederaufarbeitungsanlagen und in den nachfolgenden Anlagen bis zur Fertigung von Mischoxidbrennelementen begrenzt seien, daß sich jedoch aus den bisherigen Erfahrungen nützliche Erkenntnisse gewinnen lassen. Das Kontrollsystem für solche Anlagen beruhte bisher auf der Materialbilanzierung, die durch Einschluß- und Überwachungsmaßnahmen in begrenztem Umfang ergänzt wurde. Im allgemeinen ermöglicht diese Kombination eine wirksame internationale Überwachung für bestehende, in Betrieb befindliche Anlagen. Die bisherigen Erfahrungen können für die Entwicklung neuer und verbesserter Sicherungskontrolltechniken nützlich sein. Eine Reihe von Konzepten und Maßnahmen für diese Techniken befinden sich gegenwärtig in unterschiedlichen Entwicklungsstadien. Sie umfassen alle die gegenwärtigen, durch verbesserte Einschluß- und Überwachungstechniken ergänzten Materialbilanzierungsverfahren, manche zusätzlich noch Messungen im laufenden Prozeß der Anlage. In diesem Zusammenhang wäre es besonders wichtig, sensitive Anlagen so auszulegen, daß die Durchführung von Sicherungskontrollen erleichtert wird. Arbeitsgruppe 4 stellte weiterhin fest, daß es bei zukünftigen Wiederaufarbeitungsanlagen und Anlagen zur Herstellung von Mischoxidbrennelementen sehr wichtig ist, die Kriterien wirksamer internationaler Sicherungskontrollen schon bei der Planung zu berücksichtigen, zusammen mit den anfallenden Kosten. Im Planungsstadium sollte auch eine Bewertung der für Sicherungskontrollen vorgeschlagenen Gesamtstrategie eingeschlossen sein. Diese Bewertung würde auf der Erfahrung von Kontrollbehörden und Betreibern sowie auf praktischen Tests beruhen und sollte für das gesamte System auch Aufwand und Kosteneffektivität in Betracht ziehen. Arbeitsgruppe 4 kam zu dem Schluß, daß wesentliche Verbesserungen, die sich aus den jetzt laufenden Studien und Entwicklungsarbeiten ergeben, bei zukünftigen industriellen Wiederaufarbeitungsanlagen und Betrieben zur Herstellung von Mischoxidbrennelementen angewandt werden sollten, um die Ziele der Sicherungskontrollen zu annehmbaren Kosten erreichen zu können. Man stellte überdies fest, daß die Sicherungskontrollen für Plutoniumlager und den Transport von Plutonium sich leicht mittels Stückzahlerfassung und unter umfassendem Einsatz von Einschluß- und Überwachungsmaßnahmen durchführen lassen. Arbeitsgruppe 5 wies darauf hin, daß Sicherungskontrollmaßnahmen für den SBR-Kreislauf unter Berücksichtigung seiner spezifischen Charakteristika weiterentwickelt werden und daß Aussicht besteht, daß künftig Verbesserungen der Kosteneffektivität sowohl der Kernmaterialbilanzierung als auch der Einschluß- und Überwachungsmaßnahmen erreicht werden können. Bei der Planung neuer Anlagen ist es notwendig, Maßnahmen zur Erleichterung der wirksamen Durchführung von Sicherungskontrollen zu berücksichtigen. Bei kombiniertem Einsatz wer-

den sich diese Techniken gegenseitig in ihrer Effektivität verstärken, und sie dürften die Anwendung wirksamer Sicherungskontrollen in zukünftige kommerzielle SBR, Wiederaufarbeitungs- und Brennelementfabrikationsanlagen zu annehmbaren Kosten ermöglichen.

Sicherungskontrollmaßnahmen für die Lagerung und den Transport abgebrannter Brennelemente werden in Übereinstimmung mit nationalen oder multinationalen Anforderungen sowie bilateralen und IAEO-Abkommen durchgeführt. Die gegenwärtigen Sicherungskontrollen für verschiedene Arten der Brennelementlagerung (in Reaktorlagerbecken und reaktorunabhängigen Lagern) ähneln einander im allgemeinen und sind eingeführt und bewährt. Sie sind unabhängig von Standorten anwendbar und bestehen aus der Kernmaterialbilanzierung, die durch Einschluß- und Überwachungsmaßnahmen ergänzt wird. Die Kernmaterialbilanzierung beruht auf der Identifizierung und Erfassung der Stückzahl der Brennelemente und wird in einigen Fällen noch durch zerstörungsfreie Messungen ergänzt. Die Einschluß- und Überwachungsmaßnahmen umfassen die Verwendung von speziellen Siegelsystemen und verschiedener Arten von Überwachungsgeräten.

Der Einfluß von Sicherungskontrollanforderungen auf neue Brennelementlagertechniken ist noch unbekannt, doch scheinen die gegenwärtigen Vorkehrungen für zukünftige, auf der heutigen Technologie beruhende große Lager auszureichen. Es ist wichtig, bereits beim Entwurf zukünftiger Anlagen die Voraussetzungen für verbesserte Einschluß-, Überwachungs- und Materialbilanzierungstechniken zu berücksichtigen.

In ähnlicher Weise stellte Arbeitsgruppe 7 fest, daß die meisten Kategorien nuklearen Abfalls aufgrund ihrer relativ geringen Attraktivität zur Herstellung von Kernwaffen wahrscheinlich den IAEO-Kriterien für die Beendigung der Sicherungskontrollen bereits vor ihrer Endlagerung entsprechen. Eine Ausnahme bilden abgebrannte Brennelemente aus Wegwerfzyklen, die zwar anfangs wegen der Strahlungsbarriere relativ wenig attraktiv sind, jedoch im Laufe der Zeit zugänglicher werden. Die Durchführung von Sicherungskontrollen für abgebrannte Brennelemente, die sich in Kanistern befinden und daher durch Zählen und Inventarüberprüfung kontrollierbar sind, wäre während des Transports und des Einbringens in das geologische Endlager relativ einfach. Danach würde das sukzessive Verfüllen von Lagerbohrungen, Lagerräumen und Strecken einen zusätzlichen Einschluß mit sich bringen. Nach dem Schließen der Anlage würde selbst eine sehr flüchtige Überwachung sicherstellen, daß Abzweigtätigkeiten rechtzeitig entdeckt werden, da diese eine umfangreiche bergmännische Ausrüstung, zahlreiche Arbeitskräfte und die Lagerung von gefördertem Gestein und Erde über Tage erfordern. Der Überwachungsaufwand wird sich jedoch über einen unbestimmten Zeitraum erstrecken. Solange noch keine Entscheidung darüber gefallen ist, ob die Brennelemente wiederaufgearbeitet oder endgelagert werden, erwägt man derzeit auch die Nutzung von Ein-

richtungen für die Zwischenlagerung von in Kanistern verpackten abgebrannten Brennelementen über einen unbestimmten Zeitraum. In diesem Fall könnten die Brennelemente vor der Verkapselung ohne weiteres viel länger als die von Arbeitsgruppe 7 angenommenen zehn Jahre in Lagerbecken gelagert werden. Es ist offensichtlich, daß die Abzweigungsrisiken und damit der erforderliche Sicherungskontrollaufwand einer derart ausgedehnten Lagerung

größer würden, da sich die Radioaktivität der abgebrannten Brennelemente mit der Zeit verringert.

Arbeitsgruppe 8 stellte fest, daß für den Thorium-Brennstoffkreislauf geeignete, die spezifischen Strahlungseigenschaften berücksichtigende Verfahren und Geräte für Sicherungskontrollen in der Entwicklung sind. Diese Verfahren sind noch im Entstehen begriffen, und es ist zu erwarten, daß sie sich mit fortschreitender Erfahrung voll herausbilden werden.

VI. Institutionelle Vereinbarungen

Die Arbeitsgruppen hatten im Rahmen ihrer jeweiligen Mandate mögliche institutionelle Regelungen zu untersuchen. Der Begriff „institutionelle Regelungen“ wurde weit gefaßt. Er schließt ein weites Feld von Aktivitäten entweder von regierungsamtlichen oder von privaten Stellen ein, deren Ziel es ist, ein wirkungsvolles und ungestörtes Funktionieren des Kernbrennstoffkreislaufs zu erleichtern. Weiter umfassen die institutionellen Regelungen kommerzielle Verträge, zwischenstaatliche Abkommen, technische Hilfsprogramme, internationale Studien, NV-Vereinbarungen, Liefervereinbarungen sowie internationale- und multinationale Institutionen. Ihr Ziel ist es, die bestehenden Mechanismen der Zusammenarbeit bei der friedlichen Nutzung der Kernenergie und der Nichtverbreitung von Kernwaffen zu unterstützen und zu stärken. Auch sollen sie direkt oder indirekt die IAEA als wichtiges internationales Organ in diesem Bereich unterstützen.

Institutionelle Vereinbarungen wurden als wesentlicher Beitrag sowohl zur Minimierung von Proliferationsrisiken als auch zur Versorgungssicherheit angesehen. So machte Arbeitsgruppe 3 als allgemeines Prinzip geltend, daß Versorgungssicherheit und Nichtverbreitung sich gegenseitig ergänzen. Die wirksame Sicherung der Ziele der Nichtverbreitung erhöht nicht nur die Versorgungssicherheit, auch die Nichtverbreitungsverpflichtungen eines Landes können als um so überzeugender angesehen werden, je mehr das betreffende Land sich für einen Teil seiner nuklearen Versorgung auf internationale Märkte abstützt. Überdies kann eine größere Versorgungssicherheit die Nichtverbreitungsziele dadurch unterstützen, daß der Druck zur weltweiten Verbreitung von Anreicherungs- und Wiederaufarbeitungsanlagen vermindert wird. Man sollte jedoch beachten, daß die nationale Notwendigkeit zu technologischer Weiterentwicklung und Energieunabhängigkeit die Errichtung derartiger Anlagen des Brennstoffkreislaufs unter Einhaltung des Nichtverbreitungsgrundsatzes letztlich doch erfordern kann. In Arbeitsgruppe 3 vorgeschlagene Maßnahmen waren beispielsweise ein Sicherheitsnetz, eine internationale Kernbrennstoffbank und finanzielle Beteiligung der Kunden an Uranabbau-, Anreicherungs- und Wiederaufarbeitungsvorhaben.

Außerdem arbeitete man Fälle heraus, in denen derartige institutionelle Vereinbarungen andere bedeu-

tende Vorteile hätten, wie z. B. Kostendegression, Teilung finanzieller Risiken oder die Optimierung günstiger Umweltbedingungen.

Wie schon erwähnt, stellte Arbeitsgruppe 1 (wenn auch in erster Linie unter dem Blickwinkel der Marktstabilität) fest, daß sich bereits ein bestimmtes Muster von Verbraucherinvestitionen in Produktionsaktivitäten abzeichnet, und die meisten Länder sind der Meinung, daß dies gefördert werden sollte.

Bei den Maßnahmen zur Minimierung des Proliferationsrisikos der Anreicherung nannte Arbeitsgruppe 2 u. a. multinationale oder nationale institutionelle Vereinbarungen mit Beteiligung der Regierungen an der Kontrolle der Anlagentechnologie und des produzierten Kernmaterials. Maßnahmen wie Klassifizierung und Exportkontrolle sensibler Komponenten und Technologie, aber auch die Errichtung von Anlagen unter multinationalem Regime, wodurch die Anzahl der Anlagen verringert werden könnte, sind bereits verfügbar. Sie haben zum Teil die Risiken und Bedenken vermindert, die nicht allein von internationalen Sicherungskontrollen abgedeckt würden, wenn auch die Auswahl dieser institutionellen Maßnahmen von einer Reihe zusätzlicher Faktoren abhängt. Man hat festgestellt, daß multinationale Anlagen im allgemeinen ein komplizierteres Managementsystem als nationale Anlagen hätten. Man kam weiterhin zu dem Schluß, daß vom Standpunkt der Nichtverbreitung eine Beschränkung der Zahl der Anlagen und die Schaffung zusätzlicher Anreicherungskapazitäten nur gemäß dem Bedarf des Marktes wünschenswert sei. Soweit es für einen wettbewerbsfähigen Markt erstrebenswert ist, kann die größenspezifische Kostendegression die Beschränkung der Zahl der Anlagen unterstützen. Nur wenige Länder auf der Welt sind in der Lage, auf nationaler Ebene wirtschaftliche Anreicherungskapazitäten zu entwickeln, denn solche Anlagen erfordern hohe Kapitalinvestitionen, hochentwickelte Grundlagentechnologie und eine gut entwickelte industrielle Infrastruktur. Zu den wenigen Ländern, die nationale Anlagen bauen können und dazu einen beträchtlichen wirtschaftlichen und industriellen Anreiz haben, sind die Länder mit großen nationalen Kernenergieprogrammen oder großen einheimischen Natururanvorkommen zu zählen.

Arbeitsgruppe 4 stellte fest, daß das Entstehen institutioneller Vereinbarungen als ein sich allmählich

entwickelnder Prozeß gesehen werden muß. Wird wiederaufgearbeitet, so werden anfangs Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen zum Bau großtechnischer Anlagen wahrscheinlich ergeben, daß nicht alle Länder die Technologie gleichzeitig einführen müssen, sondern daß die Länder, die große nationale Wiederaufarbeitungsanlagen bauen, den Ländern, die sich noch in einem früheren Stadium der Kernenergieentwicklung befinden, Wiederaufarbeitungsdienstleistungen anbieten könnten. In dem Maße, wie sich die Kernenergieprogramme und die Erfahrung dieser Länder weiter entwickeln, wird man erwarten können, daß auch diese Länder im Laufe ihrer Entwicklung ein Stadium erreichen, in dem ihre Kernenergieprogramme die Wiederaufarbeitung im eigenen Land rechtfertigen. Sie werden dann möglicherweise den Bau eigener Anlagen in Erwägung ziehen und wären somit ihrerseits in der Lage, anderen Ländern Wiederaufarbeitungsdienstleistungen anzubieten. Die Entwicklung institutioneller Vereinbarungen in Richtung auf multinationale Unternehmungen scheint wünschenswert und könnte zum Aufbau regionaler Kernbrennstoffkreislaufzentren führen. Die praktischen Schwierigkeiten bei der Errichtung und beim Betrieb solcher Einrichtungen sollten jedoch nicht unterschätzt werden. Über Art und Charakter einer Internationalen Kernbrennstoffbehörde (INFA), eines der verschiedenen erörterten institutionellen Modelle, herrscht noch keine Klarheit; ihre Einrichtung und ihre Arbeitsweise würden eine internationale Initiative größeren Umfangs erfordern. Gegenwärtig gibt es kaum Hinweise dafür, daß Bedarf an den Dienstleistungen einer solchen Behörde besteht.

Arbeitsgruppe 4 befaßte sich auch mit der speziellen Frage der Möglichkeiten einer internationalen Kontrolle des abgetrennten Plutoniums und berichtete über Vereinbarungen über eine Internationale Plutoniumlagerung. Das IAEA-Statut, Artikel XII A (5), bietet eine mögliche Basis für eine solche Vereinbarung für Überschußplutonium. Eine Experten-Gruppe befaßt sich im Rahmen der IAEA mit diesem Problem, und Arbeitsgruppe 4 konnte sich deren erste Überlegungen zunutze machen. Sie kam zu dem Schluß, daß eine Internationale Plutoniumlagerung wesentliche Vorteile für die Nichtverbreitung und die Versorgungssicherheit bieten könnte. Unabhängig davon, ob sich die meisten Länder dafür entscheiden, ihre abgebrannten Brennelemente wieder aufzuarbeiten oder nicht, wäre ein solches Projekt wichtig, denn es gibt bereits abgetrenntes Plutonium auf der Welt, und manche Länder haben feste Pläne, die Einführung der Wiederaufarbeitung fortzusetzen.

Arbeitsgruppe 5 befaßte sich mit dem Brennstoffkreislaufzentrum als einer der institutionellen Einrichtungen, die man zur Erhöhung der Proliferations-sicherheit des Brennstoffkreislaufs vorgeschlagen hatte. Als Ausgangspunkt verwendete die Arbeitsgruppe die IAEA-Studie über regionale Brennstoffkreislaufzentren für LWR. Sie stellte fest, daß unter dem Gesichtspunkt der Nichtverbreitung eine multinationale oder internationale Anlage attraktiv sein könnte, indem sie beispielsweise die Durchführung von Sicherungskontrollen erleichtert und unbefugtes

Eingreifen erschwert. Ein vorläufiger Vergleich zwischen den multinationalen und den internationalen Lösungen scheint zu zeigen, daß multinationale Modelle etwas weniger Schwierigkeiten bei den Besitzverhältnissen und relativ weniger Probleme mit sich bringen. Negative Auswirkungen könnten in dem erhöhten Risiko des Transfers sensibler Technologien und in den Schwierigkeiten bestehen, Objektschutz und Sicherheitsmaßnahmen mit denen des Gastlandes zu koordinieren. Unter Berücksichtigung der bedeutenden technischen Probleme, die mit der Co-location verbunden sind, insbesondere dann, wenn in das Zentrum Reaktoren mit einbezogen werden, kam die Arbeitsgruppe zu der allgemeinen Schlußfolgerung, daß in bezug auf Gesichtspunkte wie Sicherheit, Umweltbelastung, öffentliche Akzeptanz, Land- und Wasserbedarf die Co-location lediglich von Wiederaufarbeitungs- und Fabrikationsanlagen einen gangbareren Weg in Richtung auf eine verbesserte Abzweigungssicherheit sein könnte. Angesichts der Vielschichtigkeit des Problems wäre jedoch vor jeder Durchführung eine sorgfältige Bewertung erforderlich. Co-locations-Studien sollten sich auf spezifische Standorte beziehen, für die eine angemessene Auswertung der Auswirkungen auf die Umwelt und der Folgen für die umliegenden Gemeinden erstellt und deren öffentliche Akzeptanz überprüft werden kann.

Die Entscheidung für eines der Managementkonzepte wird dadurch erschwert, daß Institutionen, die Dienstleistungen wie Wiederaufarbeitung oder unabhängige Zwischenlagerung anbieten und für die Durchführung einiger dieser Konzepte benötigt werden, entweder nicht vorhanden oder nicht in der Lage sind, den Anforderungen mancher Länder zu entsprechen. Länder mit großen Kernenergieprogrammen werden höchstwahrscheinlich ihre eigenen nationalen Anlagen und Institutionen für die Lagerung und den Transport abgebrannter Brennelemente nutzen. Es gibt jedoch Länder, die innerhalb ihrer Landesgrenzen nicht über alle Entsorgungsschritte des Brennstoffkreislaufs verfügen und dies auch nicht planen. Sie sind daher auf ausländische Nuklearindustrien und -dienstleistungen angewiesen. Aus diesem Grunde müssen zur Unterstützung der Entsorgungskonzepte dieser Länder ausreichende Zwischenlagerkapazitäten geschaffen werden. Es gibt auch Länder, die sich derzeit noch nicht dafür entschieden haben, alle Schritte der Entsorgung des Brennstoffkreislaufs zu entwickeln, jedoch den Bau nationaler reaktorunabhängiger Lager beschlossen haben. Die Auswertung ergab Fälle, die die Lösung von Problemen bei Lagerung und Transport abgebrannter Brennelemente erforderlich machen. Die Hauptsorge betrifft Restriktionen, denen die Länder bei der Wahl ihres Entsorgungskonzepts unterworfen sind. Die notwendigen Lösungen umfassen sowohl den rechtlichen als auch den institutionellen Bereich und sollten berücksichtigen, daß die Größenordnung des Problems von Land zu Land sehr unterschiedlich ist. In einigen Fällen hat mangelnde langfristige Versorgungssicherheit Länder bereits veranlaßt, früher als ursprünglich für die technische und wirtschaftliche Entwicklung vorgesehen, eine Unabhängigkeit im Brennstoffkreislauf anzustreben. Es

sollte die Machbarkeit eines internationalen Mechanismus untersucht werden, der den Teilnehmerstaaten den Zugang zu ihren abgebrannten Brennelementen sowie deren Verwendung unter Einhaltung des Grundsatzes der Nichtverbreitung zusichert. Bei der Erarbeitung von Optionen für die Lagerung und den Transport abgebrannter Brennelemente sollte eine internationale Zusammenarbeit in Betracht gezogen werden. In dieser Hinsicht hat Arbeitsgruppe 6 Anforderungen festgelegt, die internationale oder multinationale Institutionen in idealer Weise erfüllen sollten. Weil Verhandlungen über multinationale oder internationale Unternehmen und deren Verwirklichung im allgemeinen viel Zeit in Anspruch nehmen, scheinen in der nächsten Zeit in den meisten Fällen nationale Einrichtungen die realistischste Lösung zu sein, um einen Engpaß bei der Brennelementlagerung zu vermeiden. Überdies bleibt die Grundfrage bestehen, in welchem Umfang einzelne Länder bereit wären, Lagerstandorte zur Verfügung zu stellen und die international vereinbarten Bedingungen zu akzeptieren. Man sollte jedoch auch betrachten, ob internationale Formen für die Lagerung und den Transport abgebrannter Brennelemente nicht die Aussichten für die Brennelementlagerung überhaupt verbessern und so bestimmten Ländern unter Wirtschaftlichkeits- und Managementgesichtspunkten bei der Brennelementlagerung von Nutzen sein könnten. In diesem Sinne wäre es hilfreich, die Rolle zu definieren, die die IAEO und andere internationale Organisationen spielen könnten.

Arbeitsgruppe 7 schließlich sprach folgende Empfehlungen aus: Multinationale und internationale Endlager könnten Vorteile in bezug auf Nichtverbreitung ebenso wie auch in wirtschaftlicher Hinsicht bieten. Vorschläge für rechtliche und institutionelle Lösungen bei der Errichtung multinationaler und internationaler Endlager sollten erarbeitet werden. Zentrale Anlagen für die Endlagerung abgebrannter Brennelemente und/oder verglaster hochaktiver Abfälle würden die Sorgen von Ländern mit kleinen Nuklearprogrammen oder von Ländern, die möglicherweise nicht über geeignete Standorte verfügen, verringern. Diese Anlagen, ob international, multinational oder national mit Zugang durch andere Länder, würden von der in Abschnitt 7 der Zusammenfassung von Arbeitsgruppe 7 erörterten anlagengrößenabhängigen Kostendegression profitieren. Sie könnten zudem das Risiko der Abzweigung reduzieren, da eine große Anzahl von Endlagern für abgebrannte Brennelemente dieses Risiko offensichtlich vergrößern würde. Ferner würde aufgrund der Tatsache, daß die Gesamtstrahlenbelastung im Ver-

gleich zur jährlichen Belastung durch Hintergrundstrahlung gering ausfiele, ein zentrales Endlager keine bedeutende radiologische Belastung im Land seines Standorts hervorrufen. Es wurde jedoch festgestellt, daß im Falle internationaler Endlager eine recht lange Zeit für Verhandlungen erforderlich und ihre Verwaltung schwieriger sein kann als die nationaler oder multinationaler Anlagen.

Bei allen internationalen oder multinationalen Vereinbarungen stellte man fest, daß bei solch heiklen Fragen wie Mitgliedschaft, Finanzierung, Stimmrechtsregelungen, Zugangsbedingungen, Beilegung von Meinungsverschiedenheiten, Status der Gastregierung und dergleichen Entscheidungen erforderlich wären. Man müßte eine Lösung finden, um mögliche Eingriffe von seiten der Gastregierung zu vermeiden. Es wurde weiterhin festgestellt, daß manche Lieferstaaten außer den multilateralen und internationalen Nichtverbreitungsverpflichtungen den Abschluß eines bilateralen Abkommens oder den Nachweis dafür verlangen, daß im Falle des Exports das Material oder die Ausrüstung einem anderen anerkannten bilateralen Abkommen unterliegen. Einige Arbeitsgruppen untersuchten im Hauptteil ihrer Berichte mögliche Alternativlösungen für diese Fragen. Aber man stellte fest, daß endgültige Lösungen nur von den potentiellen Teilnehmern selbst auf politischer Ebene erarbeitet werden könnten. Aussagen über diese Dinge lagen daher nicht im Aufgabenbereich von INFCE.

Man hatte zwar den Schwerpunkt auf formale institutionelle Vereinbarungen gelegt, doch erörterten mehrere Arbeitsgruppen auch die wachsende Bedeutung internationaler Zusammenarbeit durch die Erstellung von Empfehlungen, Richtlinien und Verhaltensregeln zur Vereinheitlichung von Verfahren und zur Harmonisierung von Gepflogenheiten auf diesem Gebiet. Einige Arbeitsgruppen stellten beispielsweise fest, daß im Bereich des internationalen Transports internationale Zusammenarbeit erforderlich sei, und zwar besonders bei der Genehmigung von Transportbehältern und der Harmonisierung von Bestimmungen.

Schließlich bestätigten viele Arbeitsgruppen den Wert ständiger bilateraler und multilateraler Konsultationen für eine reibungslose Lösung von Problemen, die sich aus divergierenden nationalen Interessen und Strategien in Zusammenhang mit dem Kernbrennstoffkreislauf ergeben. Die Konsultationen könnten eventuell zu gemeinsamen Lösungsansätzen führen, die schließlich, wie bereits im letzten Absatz von Kapitel IV erwähnt, in stärker formalisierte Maßnahmen münden könnten.

VII. Besondere Bedürfnisse von und Bedingungen in Entwicklungsländern

Die besonderen Bedürfnisse von Entwicklungsländern müssen vor dem Hintergrund stark unterschiedlicher Gegebenheiten in diesen Ländern gesehen werden. Die Verfügbarkeit von Energie ist für die Entwicklung eines jeden Landes von entschei-

dender Bedeutung, und wahrscheinlich bestehen hier die größten Unterschiede zwischen den Ländern. Man sollte besonders hervorheben, daß die Einführung von Kernenergie für viele Entwicklungsländer eine besondere Bedeutung hat, da sie direkte Aus-

wirkungen auf ihre unabhängige Entwicklung, ihre Selbständigkeit und ihre nationale Souveränität haben kann.

Der Einsatz von Kernenergie im Dienste der wirtschaftlichen und sozialen Entwicklung wird als unveräußerliches Recht aller Länder und als eine brauchbare Option für die Stromversorgung in einer Reihe von Entwicklungsländern angesehen. Die Kernenergie kann eine bedeutende Rolle bei einer Energieversorgung zu annehmbaren Preisen in vielen Ländern spielen, doch ist es klar, daß sie kein Allheilmittel für alle Entwicklungsländer sein wird.

1978 hatten sechzehn Entwicklungsländer Kernenergieprogramme aufgestellt, in zwölf Entwicklungsländern waren Kernkraftwerke im Bau oder in Betrieb. Bei einigen handelt es sich um größere nationale Programme, die bis zum Ende dieses Jahrhunderts eine Stromerzeugungskapazität von mehreren Dutzend GWe umfassen sollen, während bei anderen zwar der erste Auftrag vergeben ist, über eine weitere Anlage jedoch noch keine Entscheidung gefallen ist. Natürlich kann man derart unterschiedliche Verhältnisse nicht gleich behandeln.

Ein Angebot kleinerer Kernkraftwerke würde die Zahl der Entwicklungsländer erhöhen, die noch in diesem Jahrhundert Kernenergie in ihr Stromverbundnetz einführen könnten. Außer einem Druckwasserreaktor mit 440 MWe werden derzeit meist Mindestanlagengrößen von 600 MWe zum Export angeboten. Kürzlich wurde auch eine kleinere Anlage von 125 MWe angeboten. Derartige kleinere Anlagen würden möglicherweise einen großen Marktbedarf decken, werden aber wahrscheinlich nur unter besonderen Bedingungen wettbewerbsfähig sein.

Kernenergie stellt an die Infrastruktur eines Landes höhere Anforderungen, insbesondere in den folgenden Bereichen:

- a) Verfügbarkeit von Facharbeitskräften und entsprechenden Ausbildungsstätten,
- b) Entwicklungsstand der heimischen Industrie und der Forschungs- und Entwicklungseinrichtungen,
- c) gesetzliche Vorschriften für Aktivitäten im Kernenergiebereich, die sich von allgemeinen Gesetzen bis zu Spezialverordnungen erstrecken, einschließlich der Einrichtung einer Aufsichts- und Genehmigungsbehörde,
- d) Verfügbarkeit von Finanzkapital.

Diese Infrastruktur ist in Entwicklungsländern häufig weniger entwickelt als in Industrieländern und daher anfälliger für Änderungen der Bedingungen.

Jede unerwartete Änderung von Abkommen und Verträgen über nukleare Versorgung oder deren Anwendung hätte daher für Entwicklungsländer ernstere Konsequenzen als für industrialisierte Verbraucherländer, weil

- a) sie in größerem Umfang von Lieferungen aus dem Ausland abhängig sind,
- b) ihre relativ geringe Rohstoff- und Anreicherungs-nachfrage für Lieferländer kommerziell weniger attraktiv sein wird,

c) ihre Reaktorkapazität einen erheblichen Teil der gesamten installierten Kraftwerksleistung umfaßt, was ihre Fähigkeit, Versorgungsverpflichtungen einzuhalten, erheblich herabsetzt, wenn die Kernkraftwerke nicht betrieben werden können,

d) ihre schwächere Infrastruktur ständige und sichere Hilfe und Versorgung in allen einschlägigen Bereichen erfordert.

Außerdem wurde darauf hingewiesen, daß die Abhängigkeit von Anbietern zu Pressionen führen könnte, die die Unabhängigkeit der Entwicklungsländer beeinträchtigt. Der Transfer von Technologie, Material und Ausrüstung kann unter Bedingungen stattfinden, die das Proliferationsrisiko nicht vergrößern.

Die meisten Entwicklungsländer werden wahrscheinlich zumindest in der nahen Zukunft und vermutlich noch einige Jahrzehnte auf ausländische Anbieter von Material, Dienstleistungen und Technologie angewiesen sein. Trotz der diesbezüglich besonders ausgeprägten Bedürfnisse der Entwicklungsländer bieten die derzeitigen institutionellen Vereinbarungen keine zusätzliche Sicherheit im Vergleich zu denen, die zwischen Industrieländern existieren. Daher sind alternative kurz- bis mittelfristige Mechanismen erforderlich, die unter Einhaltung des Grundsatzes der Nichtverbreitung die rechtzeitige Lieferung bei Verzögerungen oder Unterbrechungen der Versorgung gewährleisten. Für Entwicklungsländer hat die Sicherheit regelmäßiger Versorgung mit Kernmaterial und nuklearen Dienstleistungen sowie mit entsprechender Ausrüstung und Technologie eine besondere Bedeutung.

Einige Entwicklungsländer streben danach, letztlich Unabhängigkeit im Kernbrennstoffkreislauf zu erlangen und sind daher an einem Technologietransfer interessiert. Diese Länder würden eine erhöhte Sicherheit in einem besseren Zugang zu allen Technologien unter wirksamen Sicherungskontrollen finden, wobei der sich im Laufe der Zeit ergebende Bedarf ihrer Kernenergieprogramme und die normalen kommerziellen Restriktionen urheberrechtlich geschützter Informationen zu berücksichtigen sind. Geeignete institutionelle Vereinbarungen wie multinationale und/oder internationale Unternehmungen könnten ein Weg zu einer solchen Sicherheit sein. Derartige Vereinbarungen könnten auch zu der erforderlichen Kostendegression und zur Zerstreuung der bereits erwähnten Proliferationsbedenken beitragen.

Es ist klar, daß in Zukunft bei intensiverer Uran-suche die Vorräte in den Entwicklungsländern eine größere Bedeutung erlangen werden. Die Schnelligkeit, mit der sich die dortigen Uranindustrien entwickeln, wird jedoch von einer Reihe von Faktoren abhängen, deren wichtigster die Verfügbarkeit technischen Know-hows und finanzieller und organisatorischer Ressourcen ist, die wahrscheinlich alle zu einem großen Teil aus dem Ausland kommen werden. Eine intensivere internationale und bilaterale Zusammenarbeit der Entwicklungsländer untereinander und zwischen Industrie- und Entwicklungs-

ländern sowie die Förderung von Investitionen würden die Suche und Produktion von Uran in den Entwicklungsländern und den Technologietransfer für die Erschließung von Uranvorräten fördern. Dies könnte die Zahlungsbilanz verbessern und zur gesamtwirtschaftlichen Entwicklung dieser Länder beitragen. Die IAEA könnte in diesem Zusammenhang eine wichtigere Rolle spielen.

Angesichts der technischen, industriellen und wirtschaftlichen Anforderungen für die Errichtung nationaler Anreicherungskapazitäten würde man in den meisten Fällen zu dem Schluß kommen, daß der Bedarf der Entwicklungsländer an Anreicherungsdiensten besser durch einen diversifizierten Versorgungsmarkt als durch eigene Anreicherungsanlagen gedeckt werden könnte. Dabei geht man jedoch von der Existenz eines wettbewerbsfähigen Weltmarkts aus, zu dem die Entwicklungsländer freien Zugang haben, und von einer angemessenen Flexibilität der Versorgungsvereinbarungen. Diese Flexibilität ist aufgrund des starken Einflusses erforderlich, den unvorhergesehene Änderungen in einem kleinen Kernenergieprogramm auf den Anreicherungsbedarf ausüben können. In diesem Zusammenhang sollte man auch das Interesse der Entwicklungsländer an Vereinbarungen zur Pool-Bildung für die regelmäßige und zuverlässige Versorgung mit dem benötigten Kernbrennstoff, der Ausrüstung, der Technologie und den Dienstleistungen hervorheben.

Viele Entwicklungsländer, insbesondere die mit kleinen Kernenergieprogrammen, werden wahrscheinlich die Rezyklierung von Uran und Plutonium in thermischen Reaktoren nicht als wirtschaftlich attraktiv ansehen, zumindest nicht in der Einführungsphase, obgleich einige Länder darin einen positiven Beitrag zur Energieunabhängigkeit und Versorgungssicherheit sehen werden. Aus diesen und anderen Gründen entscheiden sich manche Entwicklungsländer möglicherweise für die Wiederaufarbeitung ihrer abgebrannten Brennelemente, und sie haben dieselben Rechte und Anreize wie andere Länder, den ihnen zur Verfügung stehenden Uranbrennstoff so gut wie möglich zu nutzen. Entscheiden sie sich für die Wiederaufarbeitung, werden sie es vermutlich für wirtschaftlicher halten, die Wiederaufarbeitungsdienstleistungen einer großen nationalen oder multinationalen Anlage in Anspruch zu nehmen.

Für einige Schritte bei der Entsorgung des Brennstoffkreislaufs würde jedes Land selbst verantwortlich bleiben, das ein Kernenergieprogramm einführt, und es müßte entsprechend planen und die notwendigen Vorkehrungen treffen, die auch die Beteiligung an bilateralen oder multilateralen Vereinbarungen mit einschließen könnten. Diese Schritte umfassen:

- a) Zwischen- oder Langzeitlagerung abgebrannter Brennelemente,
- b) Transport abgebrannter Brennelemente und
- c) Endlagerung hochaktiven Abfalls.

Die Genehmigungsanforderungen für einige dieser Schritte befinden sich in den Industrieländern immer

noch im Stadium der Ausarbeitung. Die Entwicklungsländer sehen sich daher dem Problem des Transfers einer Technologie gegenüber, für die im Lieferland noch kein gesetzliches Regelwerk geschaffen wurde. Infolgedessen müssen sie dafür eine gewisse technische Kompetenz aufbauen und ein Aufsichts- und Genehmigungssystem dafür schaffen.

Bei der Befriedigung der besonderen Bedürfnisse der Entwicklungsländer waren multilaterale und internationale Mechanismen bisher nur begrenzt wirksam. Beim Technologietransfer haben Programme der IAEA und des UNDP*) in den Anfangsphasen eine gewisse Rolle gespielt. Außerdem hat die IAEA auf verschiedenen Gebieten bei der Entwicklung der Kernenergie Ausbildungskurse durchgeführt. Andererseits waren in der Vergangenheit bilaterale Vereinbarungen wichtiger. Die Erfahrung zeigt, daß Entwicklungsländer umfangreiche Vereinbarungen benötigen, die nicht nur die Lieferung von Ausrüstung und Material abdecken, sondern auch die Ausbildung der erforderlichen Facharbeitskräfte, die Entwicklung der beteiligten einheimischen Industrie, die Zusammenarbeit in der Forschung und die Finanzierung langfristig sichern. Diese Vereinbarungen sollten umfassen:

- a) Vorplanung von Energiesystemen im allgemeinen und Elektrizitätssystemen im besonderen;
- b) ein Abkommen, das einen Rahmen nicht nur für kommerzielle Verträge bietet, sondern auch für detaillierte Zusammenarbeits-, Unterstützungs- und Liefervereinbarungen sowie für bestimmte Konditionen einschließlich Sicherheitskontrollen;
- c) Vereinbarungen über den wissenschaftlichen Austausch zwischen bestimmten Institutionen mit dem Ziel, die Infrastruktur einschließlich Ausbildungsprogrammen für Arbeitskräfte und für die Ausübung von Aufsichts- und Genehmigungsfunktionen zu entwickeln;
- d) die grundlegende Struktur von Lieferverträgen, Produktions- und Verfahrenslizenzen sowie von Verträgen für den Aufbau von Ingenieurkapazitäten;
- e) gegebenenfalls gemeinsame Abmachungen auf Unternehmensebene als zweifellos wirksame Maßnahme zur Erreichung eines Technologietransfers.

Die IAEA sollte sich des großen Interesses an der Kernenergie in einer wachsenden Zahl ihrer in der Entwicklung befindlichen Mitgliedstaaten bewußt werden und ihre Programme dieser Situation anpassen. Mit höheren Mitteln und ohne die Grundlagen ihres technischen Hilfsprogramms zu ändern, könnte die Organisation eine bedeutendere Rolle bei der Bereitstellung von Spezialwissen nicht nur in der Vorprojektphase und bei der Ausübung regulatorischer Funktionen, sondern auch beim Bau und Betrieb von Anlagen zur Stromerzeugung und bei

*) United Nations Development Program: Entwicklungsprogramm der Vereinten Nationen (Anm. d. Übers.)

Brennstoffkreislaufprozessen spielen. Hier sollte die Unterstützung der Organisation den Bedingungen für den Zugang zur Technologie und für deren Transfer entsprechen, die in einem breiteren Zusammenhang vereinbart worden sind.

Entwicklungsländer sind der Ansicht, daß zu den Kriterien zur Bewertung der Effektivität und Akzeptanz bilateraler Abkommen zwischen Entwicklungs- und Industrieländern auch gehören:

- a) Verständnis für ihre Bedürfnisse und entsprechende Unterstützung;
- b) wirksame Sicherheitskontrollen;
- c) der Umfang, in welchem beidseitig eingegangene Nichtverbreitungsverpflichtungen das Programm eines Landes zur friedlichen Nutzung der Kernenergie beeinträchtigen oder beschränken könnten.

Zugunsten einiger Entwicklungsländer könnte man neue internationale Übereinkommen vorsehen, die folgende Bereiche abdecken würden:

- a) Internationale Vereinbarungen für die Sicherung der Brennstoff- und Schwerwasserversorgung;
- b) Beteiligung an bestimmten Stufen des Kernbrennstoffkreislaufs auf bilateraler oder multilateraler Basis gemäß den Nichtverbreitungsverpflichtungen der beteiligten Parteien;
- c) größere Verfügbarkeit von Fachausbildungsprogrammen für die in kerntechnischen Anlagen benötigten Arbeitskräfte;
- d) größere Verfügbarkeit finanzieller Mittel für Kernenergieprogramme von internationalen Finanzierungsorganisationen.

Die Einführung solcher internationaler Vereinbarungen wäre für die Entwicklungsländer von Nutzen, die insbesondere folgende Punkte begrüßen würden:

- a) Die Beteiligung an solchen Vereinbarungen sollte freiwillig und vom tatsächlichen Bedarf eines Landes abhängig sein.
- b) Die beteiligten Länder sollten bei größeren Entscheidungen über die grundsätzliche Politik und über die Durchführung gleiche Rechte haben.
- c) Die Beteiligung sollte die den Sicherheitskontrollen unterliegenden Aktivitäten, die Teil des Programms eines Landes zur friedlichen Nutzung der Kernenergie sind, nicht gefährden.
- d) die Beteiligung an solchen Vereinbarungen sollte gewährleistet und ohne Störung durch staatlichen Eingriff aufrechterhalten werden, es sei denn, ein solcher Eingriff entspräche den Bedingungen der Vereinbarung.
- e) Die Beteiligung an solchen Vereinbarungen ist von solcher Bedeutung, daß diese die Form rechtsverbindlicher internationaler staatlicher Verpflichtungen annehmen sollten.

Letztlich besteht in allen Entwicklungsländern auf allen Ebenen ein grundsätzlicher Bedarf an qualifizierten Arbeitskräften. In der Vergangenheit wurden durch bilaterale Vereinbarungen oder internationale Organisationen Ausbildungsmöglichkeiten angeboten, die zwar recht nützlich waren, insbesondere in den Anfangsphasen von Kernenergieprogrammen, jedoch im allgemeinen keine praktische Ausbildung am Arbeitsplatz einschlossen. Ein Internationales Technologiezentrum, dessen Aufgabenbereich vielleicht auf bestimmte Fachgebiete wie Materialtechnologie, Schweißen, Wartung von Spezialgeräten und Qualitätssicherung beschränkt wäre, könnte für Entwicklungsländer zur Gewährleistung einer praktischen Ausbildung und fachlicher Beratung von großer Bedeutung sein. Ein solches Zentrum könnte im Rahmen der IAEO möglicherweise auf der Grundlage bestehender Einrichtungen in Mitgliedstaaten errichtet werden.

Schlußkommuniqué der Gründungskonferenz zur Internationalen Bewertung des Kernbrennstoffkreislaufs

Vorsitzender: A. Chayes (USA)

Die Mitglieder der Gründungskonferenz zur Internationalen Bewertung des Kernbrennstoffkreislaufs sind sich der dringenden Notwendigkeit bewußt, daß der Weltenergiebedarf gedeckt werden muß und daß dazu die Kernenergie zur friedlichen Nutzung weit- hin verfügbar gemacht werden sollte. Sie sind auch davon überzeugt, daß effektive Maßnahmen zur Minimierung des Risikos der Weiterverbreitung von Kernwaffen ergriffen werden können und sollten, auf nationaler Basis und durch internationale Vereinbarungen, ohne die Energieversorgung oder die Entwicklung der Kernenergie zur friedlichen Nutzung zu gefährden.

Die folgenden Länder haben daher als Mitglieder der Gründungskonferenz zugestimmt, daß eine Internationale Bewertung des Kernbrennstoffkreislaufs (INFCE) durchgeführt wird, um zu untersuchen, mit welchen Mitteln diese Ziele am besten zu erreichen sind:

Ägypten	Kanada
Algerien	Korea, Republik
Argentinien	Mexiko
Australien	Niederlande
Belgien	Nigeria
Brasilien	Norwegen
Dänemark	Österreich
Deutsche Demokratische Republik	Pakistan
Deutschland, Bundesrepublik	Philippinen
Finnland	Polen
Frankreich	Portugal
Indien	Rumänien
Indonesien	Schweden
Iran	Schweiz
Irland	Spanien
Israel	Tschechoslowakei
Italien	Türkei
Japan	UdSSR
Jugoslawien	USA
	Venezuela
	Vereinigtes Königreich.

An der Gründungskonferenz nahmen auch Vertreter der Internationalen Atomenergiebehörde, der Kommission der Europäischen Gemeinschaft, der Internationalen Energieagentur und der Kernenergieagentur der OECD teil. Sie drückten ihre Bereitschaft zur Teilnahme an INFCE aus.

Die Teilnehmer stimmten darin überein, daß sich alle interessierten Staaten und relevanten internationalen Körperschaften an der zukünftigen Arbeit von INFCE beteiligen können. Außerdem kam man dahin gehend überein, daß alle Teilnehmer die gleiche Möglichkeit haben sollen, zu dieser Arbeit beizutragen.

Die Teilnehmer sind sich der vitalen Bedeutung der Verhinderung der Proliferation bewußt und darüber hinaus auch der Bedeutung effektiver und dringlicher Maßnahmen zur Beendigung und Umkehrung des nuklearen Wettrüstens zwischen den Kernwaffenstaaten.

Die Bewertung soll auf der Grundlage des beigefügten Dokuments mit dem Titel „Internationale Bewertung des Kernbrennstoffkreislaufs: Technische und wirtschaftliche Aufgabenstellung und Arbeitsmethoden“ durchgeführt werden. Die Mitglieder erkannten an, daß die spezifischen Bedürfnisse von und Bedingungen in Entwicklungsländern ebenfalls besonders betrachtet werden sollten.

Die Teilnehmer stimmten darin überein, daß INFCE eine technische und analytische Studie und keine Verhandlungen sein soll. Die Ergebnisse werden den Regierungen übermittelt werden für ihre weiteren Überlegungen bei der Entwicklung ihrer Nuklearenergiepolitik und zur internationalen Diskussion über Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Kernenergie und damit zusammenhängender Fragen der Kontrollen und Sicherungsmaßnahmen. Die Mitglieder würden nicht an die Ergebnisse von INFCE gebunden sein.

Die Studie soll im Geiste der Objektivität und in gegenseitiger Achtung der Standpunkte und der Entscheidungen eines jeden Landes durchgeführt werden. Dabei sollen die jeweiligen nationalen Brennstoffkreislaufprogramme oder internationale Kooperationen sowie Vereinbarungen und Verträge zur friedlichen Nutzung der Kernenergie nicht gefährdet werden, vorausgesetzt, daß anerkannte Maßnahmen für Sicherheitskontrollen angewandt werden.

Die Teilnehmer begrüßten grundsätzlich die Entscheidung der Internationalen Atomenergiebehörde, INFCE durch angemessene technische Hilfe und Sekretariatsdienste zu unterstützen. Sie drückten die Hoffnung aus, daß Umfang und Art dieses Unterstützung durch die entsprechenden Gremien der IAEA gutgeheißen werden. Gleichzeitig geben sie ihrer Erwartung Ausdruck, daß die IAEA bei der Durchführung von INFCE auf allen Ebenen eine aktive Rolle spielen wird, insbesondere im Bereich der technischen Koordinierung. In diesem Zusammenhang erkennen die Teilnehmer die zweifache Verantwortlichkeit der IAEA an, nämlich Förderung der Kernenergie bei gleichzeitiger Durchführung effektiver Sicherheitskontrollen.

Die Texte der Dokumente, in denen die wesentlichen Arbeitsinhalte der Studie niedergelegt sind, werden allen Regierungen und internationalen Körperschaften, die ein Interesse daran haben, zur Verfügung gestellt.

Technische und wirtschaftliche Aufgabenstellung und Arbeitsmethoden der Studie

A. Technische und wirtschaftliche Aufgabenstellung

1. Verfügbarkeit von Uran und Schwerwasser

- a) Schätzung des Kernenergiebedarfs und des damit verbundenen Bedarfs an Uran und Schwerwasser in Abhängigkeit von verschiedenen Kernbrennstoffkreislaufstrategien;
- b) Uranverfügbarkeit
 - Bewertung von Vorräten und Produktionskapazitäten;
 - Politik und Anreize für Prospektion/Exploration und Produktion einschließlich gemeinsamer Unternehmungen;
 - Marktpolitik und/oder Absatzgarantien für in Prospektion/Exploration und Produktion investierende Unternehmen;
 - Marktpolitik und/oder Liefergarantien für Elektrizitätsversorgungsunternehmen;
 - technische Entwicklungen auf den Gebieten Prospektion/Exploration, Erzgewinnung und -aufbereitung;
- c) Schwerwasserverfügbarkeit;
- d) Thoriumverfügbarkeit;
- e) Besondere Bedürfnisse von Entwicklungsländern.

2. Verfügbarkeit der Anreicherung

- a) Anreicherungsbedarf und Verfügbarkeit in bezug auf verschiedene Brennstoffkreislaufstrategien
 - Gemeinsame Planung zukünftiger Kapazitäten;
 - Möglichkeiten des „cross-investment“;
 - Auswahlmöglichkeiten für die Verbraucher auf einem freien Markt
- b) Technische und wirtschaftliche Bewertung verschiedener Anreicherungstechnologien;
- c) Bewertung und Vergleich von Proliferationsrisiken bei verschiedenen Anreicherungstechnologien;
- d) Spezifische Aspekte der Sicherungskontrolle bei der Anreicherung;
- e) Multinationale, regionale Brennstoffkreislaufzentren oder ähnliche Einrichtungen;
- f) Besondere Bedürfnisse von Entwicklungsländern.

3. Sicherstellung der Langzeitversorgung mit Technologie, Brennstoff und Schwerwasser sowie Dienstleistungen zur Deckung nationaler Bedürfnisse und in Übereinstimmung mit NV-Zielen

- a) Anreize für kommerzielle Langzeitverträge zwischen Lieferanten und Verbrauchern, einschließlich der die Marktstabilität beeinflussenden Faktoren, wie z. B. Angebot, Nachfrage und Preise;

- b) Versorgungsgarantien im Zusammenhang mit nationalem Import, Export und NV-Politik;
- c) Multinationale oder internationale Mechanismen als Garantie zur rechtzeitigen Ersatzlieferung bei Lieferverzögerungen oder -unterbrechungen;
- d) Möglichkeiten des Plutoniumaustauschs oder des Plutoniumkredits für andere Kernbrennstoffe;
- e) Besondere Bedürfnisse von Entwicklungsländern.

4. Wiederaufarbeitung, Plutoniumhandhabung, Rezyklierung

- a) Wiederaufarbeitung
 - Untersuchung der technologischen, wirtschaftlichen, umwelt- und energiepolitischen Aspekte der großtechnischen Wiederaufarbeitung;
 - Sicherungskontrollen im Zusammenhang mit Wiederaufarbeitung;
 - multinationale und regionale Brennstoffkreislaufzentren oder ähnliche Einrichtungen;
 - alternative Verfahren zur Wiederaufarbeitung;
 - Einfluß verschiedener Wiederaufarbeitungsverfahren auf die Abfallbehandlung und -endlagerung sowie auf die Wirtschaftlichkeit.

b) Plutoniumhandhabung

- mögliche Bedingungen und Beschränkungen für sachgemäße Lagerung, Transport und Verwendung von Plutonium in höheren Konzentrationen;
- internationale Kontrolle für abgetrenntes Plutonium (einschließlich der Lagerung unter IAEO-Aufsicht und den damit verbundenen Kriterien zur Herausgabe für Plutonium);
- alternative Methoden für die Handhabung, einschließlich Beimengen von stark radioaktiven Materialien („Spiking“), oder die Auslieferung von Plutonium in Form von Mischoxiden oder in Form fertiger Brennelemente, eventuell sogar erst nach Vorbestrahlung.

c) Rückführung in thermischen Reaktoren

- Untersuchung der technologischen, wirtschaftlichen, ökologischen und Energienutzungsaspekte dieses Konzepts in großtechnischem Maßstab;
- Sicherungskontrollen im Zusammenhang mit der Rückführung;
- Möglichkeit der Beschränkung der Rückführung auf Uran.

d) Besondere Bedürfnisse von Entwicklungsländern.

5. Schnelle Brutreaktoren

- a) Untersuchung des Konzepts im industriellen Maßstab unter den Aspekten der Technologie,

der Wirtschaftlichkeit, des Umweltschutzes und der Energie;

- b) Spezifische Aspekte der Sicherungskontrollen bei Schnellen Brutreaktoren;
- c) Wiederaufarbeitungskonzepte unter Berücksichtigung von:
 - Untersuchungen zur Wiederaufarbeitung im industriellen Maßstab unter den Aspekten der Technologie, der Wirtschaftlichkeit, des Umweltschutzes und der Energie;
 - Spezifische Aspekte der Sicherungskontrolle bei Wiederaufarbeitung von Brennelementen Schneller Brutreaktoren;
 - Multinationale, regionale Brennstoffkreislaufzentren oder ähnliche Einrichtungen;
 - Alternative Wiederaufbereitungsverfahren
- d) Besondere Bedürfnisse von Entwicklungsländern.

6. Lagerung und Transport abgebrannter Brennelemente

- a) Lagerstrategien und -kosten
 - für Leichtwasserreaktoren,
 - für Schwerwasserreaktoren,
 - für gasgekühlte Reaktoren,
 - für schnelle Brutreaktoren.
- b) Kurzzeit- bzw. Zwischenlagerung
 - Bewertung gegenwärtiger Lagermöglichkeiten,
 - Maßnahmen zur Erweiterung der Lagerkapazität für abgebrannte Brennelemente,
 - Standort- und Transportprobleme,
 - effizientere Nutzung der bestehenden Brennelementelagerkapazitäten,
 - institutionelle Aspekte, Fragen der Umwelt, der Sicherungskontrollen und der Sicherheit, einschließlich Probleme der Unversehrtheit von Brennelementen und der damit verbundenen Risiken,
 - Kosten,
 - rechtliche Fragen.
- c) Besondere Bedürfnisse von Entwicklungsländern.

7. Abfallbehandlung und -endlagerung

- a) Technologie zur Behandlung und Endlagerung von
 - abgebrannten Brennelementen
 - Abfallprodukten
- b) Endlager (ohne und mit Rückholbarkeit)
 - Standortprobleme
 - Möglichkeiten oder Risiken einer Rückgewinnung
 - Institutionelle Aspekte, Umwelt- und Sicherheitsaspekte einschließlich Integritätsproblemen der Endlager, geologischer Risiken und Schutz gegen mögliche Freisetzung von Spaltprodukten
 - Kosten
 - Rechtliche Aspekte
- c) Besondere Bedürfnisse von Entwicklungsländern.

8. Fortgeschrittene Brennstoffkreislauf- und Reaktorkonzepte

- a) Brennstoffnutzung bei vorhandenen thermischen Reaktoren in offenen Zyklen (ohne Rezyklierung)
 - Methoden für die verbesserte Brennstoffnutzung in offenen Zyklen
 - optimierte Auslegung von Brennstoff und Beladung
 - Tandemzyklus
 - Spektralverschiebung
 - Energiebilanz, wirtschaftliche Sicherungskontrollen und Umweltgesichtspunkte der Brennstoffnutzung ohne Rezyklierung
 - für Leichtwasserreaktoren,
 - für Schwerwasserreaktoren,
 - für gasgekühlte Reaktoren.
- b) Andere Reaktoren und Brennstoffkreislaufkonzepte
 - Herstellung, Nutzung und Sicherungskontrollen von hochangereichertem Uran für Leistungsreaktoren;
 - Forschungsreaktoren (Gebrauch von hochangereichertem Uran und mögliche Alternativen dazu),
 - der Thorium/U-233-Kreislauf,
 - Leichtwasser und Thorium Brüterkonzepte,
 - Hochtemperaturreaktoren,
 - weitere fortgeschrittene Reaktorkonzepte einschließlich von Fusions- und Spallationsbrutreaktoren, gegebenenfalls jeweils mit
 - Kennzeichnung der Stellen im Brennstoffkreislauf, an denen kernwaffengrädiges Material abgetrennt werden könnte, und mögliche Maßnahmen, das Proliferationsrisiko zu minimieren;
 - Wirtschaftlichkeits-, Umwelt- und Energieaspekte;
 - kommerzielle Einführungszeiten;
 - Sicherheitsprobleme.
- c) Besondere Bedürfnisse von Entwicklungsländern.

B. Organisation

1. Für jeden der vorgenannten Themenkreise wird eine internationale Arbeitsgruppe gebildet, die sich aus allen Staaten zusammensetzt, die hierfür einen Beitrag leisten wollen. Als Co-Vorsitzende für die acht Arbeitsgruppen wurden bestimmt:
 - Gruppe 1: Co-Vorsitzende
Ägypten, Indien, Kanada
 - Gruppe 2: Co-Vorsitzende
Bundesrepublik Deutschland, Frankreich, Iran
 - Gruppe 3: Co-Vorsitzende
Australien, Philippinen, Schweiz
 - Gruppe 4: Co-Vorsitzende
Japan, Vereinigtes Königreich
 - Gruppe 5: Co-Vorsitzende
Belgien, Italien, UdSSR

Gruppe 6: Co-Vorsitzende
Argentinien, Spanien

Gruppe 7: Co-Vorsitzende
Finnland, Niederlande, Schweden

Gruppe 8: Co-Vorsitzende
Republik Korea, Rumänien, USA

2. Jede Gruppe wird — gegebenenfalls nach Konsultationen mit den Vorsitzenden anderer betroffener Gruppen — entscheiden, ob Untergruppen gebildet werden sollen, die der Gruppe zuarbeiten. Es wird keine gemeinsame Finanzierung der Studien geben. Jedes Teilnehmerland, einschließlich derjenigen, die einen Vorsitzenden stellen, muß die Kosten für seine Teilnahme selbst tragen. Jede Gruppe oder Untergruppe verteilt die Arbeit unter seinen Mitgliedern. Gemeinschaftliche Studien von nationalen Organisationen oder Industrien beteiligter Staaten sollten soweit wie möglich in Gang gesetzt werden. Beiträge von Teilnehmerstaaten werden begrüßt.
3. Damit die verschiedenen Gruppen für ihre jeweiligen Arbeitsgebiete vollständige und wirklichkeitsnahe Informationen erhalten, werden alle Teilnehmer den zur Vervollständigung des Bewertungsprogramms notwendigen Informationsaustausch fördern.
4. Die verschiedenen Arbeitsgruppen werden einer Plenarkonferenz der Teilnehmer Bericht erstatten, die mindestens einmal pro Jahr zusammentritt. Die nächste Plenarkonferenz soll in ungefähr einem Jahr in Wien einberufen werden. Die Studien sollen in zwei Jahren oder früher abge-

schlossen werden. Diese Berichte und Studien werden in erster Linie technischer und analytischer Natur sein. Wo Übereinstimmung erzielt werden kann, sollte dies ausgedrückt werden, jedoch ist jeder Teilnehmer berechtigt, eine abweichende oder losgelöste Meinung auf Wunsch im Bericht der Arbeitsgruppe zu dokumentieren. Die abschließende Plenarkonferenz der Teilnehmerländer wird in ca. zwei Jahren stattfinden.

5. Wenn nicht anders vereinbart, wird alle sechs Monate ein Technisches Koordinierungskomitee zusammentreten, das aus den Co-Vorsitzenden der Arbeitsgruppen gebildet wird. Es hat die Aufgabe, die Arbeit der verschiedenen Gruppen unter technischen Gesichtspunkten zu koordinieren. Andere Teilnehmer können als Beobachter anwesend sein. Das Technische Koordinierungskomitee wird am 12. Dezember 1977 bei der IAEO in Wien das erste Mal zusammentreten. Das Technische Koordinierungskomitee wird der Plenarkonferenz Bericht erstatten.
6. Bei der Durchführung der Studie wird man die Einrichtungen der IAEO nutzen. Die IAEO kann im Technischen Koordinierungskomitee und in allen am Arbeitsprogramm beteiligten Gruppen und Untergruppen vertreten sein. Die IAEO kann insbesondere um die Bereitstellung von Sekretariatsdiensten gebeten werden. Andere relevante internationale und zwischenstaatliche Gremien sind eingeladen, sich an den Arbeitsgruppen zu beteiligen.

Pressecommuniqué der ersten INFCE-Plenarkonferenz

Präsident: Kamal Effat (Ägypten)

Die erste Plenarkonferenz der Internationalen Bewertung des Kernbrennstoffkreislaufs (INFCE) hat vom 27. bis 29. November 1978 in Wien im Kongreßzentrum der Neuen Hofburg getagt. Mehr als 250 Delegierte aus 56 Ländern und von fünf internationalen Organisationen nahmen daran teil. Dr. Kamal Effat, der Leiter der ägyptischen Delegation und Vorsitzende der Atomenergiebehörde in Ägypten, wurde per Akklamation zum Präsidenten der Konferenz gewählt.

Die Konferenz bestätigte Zweck und Ziel der INFCE-Studie gemäß dem Abschlußkommuniqué der Washingtoner Gründungskonferenz vom Oktober 1977.

Hauptaufgabe dieser Konferenz war die Sichtung und Bewertung der Fortschritte, die die Studie seit ihrem Beginn im Oktober 1977 gemacht hatte. Dazu wurden von jeder der acht Arbeitsgruppen und vom Technischen Koordinierungskomitee (TCC) jeweils ein Bericht vorgelegt. Darüber hinaus berichtete Dr. Sigvard Eklund, der Generaldirektor der Internationalen Atomenergie-Organisation (IAEO), über die von der IAEO für diese Studie geleistete Unterstützung und die von ihr eingebrachten Beiträge.

Es wurde festgestellt, daß der Schwerpunkt im ersten Jahr von INFCE notwendigerweise bei organisatorischen Angelegenheiten, der Sammlung von Informationen und einer vorläufigen Analyse gelegen hat. Die Konferenz betrachtete die bis heute erreichten Fortschritte generell als zufriedenstellend. Es wurde erwartet, daß die Arbeitsgruppen im kommenden Jahr detaillierte Analysen und Auswertungen der vorliegenden Informationen erstellen werden und daß weiteres wichtiges Material geprüft wird einschließlich der technischen und institutionellen Maßnahmen, die geeignet sind, die anerkannten Ziele von INFCE zu erreichen. Die Konferenz dankte der IAEO für die INFCE gewährte Hilfe und Unterstützung.

Die Arbeitsgruppen sollen ihre Berichte bis zum November 1979 fertigstellen. Weiterhin wurde beschlossen, daß das TCC eine Zusammenfassung der Studie erstellen soll, die bei der Abschlußkonferenz zusammen mit den Berichten der acht Arbeitsgruppen vorzulegen ist.

In Anbetracht dieses Zeitplans wurde beschlossen, daß die abschließende Plenarkonferenz vom 25. bis 29. Februar 1980 in der Neuen Hofburg in Wien zusammentreten sollte.

Liste der Aktionen und Entscheidungen der ersten INFCE-Plenarkonferenz

Die erste Plenarkonferenz der „Internationalen Bewertung des Kernbrennstoffkreislaufs“ (INFCE) fand vom 27. bis 29. November 1978 im Kongreßzentrum der Neuen Hofburg in Wien statt. Es nahmen mehr als 250 Vertreter aus 56 Ländern und fünf internationalen Organisationen teil. Die Konferenz wählte Dr. Kamal A. Effat, Vorsitzender der Atomenergiebehörde Ägyptens und Leiter der ägyptischen Delegation, per Akklamation zum Präsidenten.

Im Verlauf der Beratungen beschloß die Konferenz:

- Die Internationale Atomenergie-Organisation (IAEO) soll aufgefordert werden, als Dokumentationsarchiv für INFCE zur Verfügung zu stehen und eine Liste aller bei der IAEO hinterlegten Dokumente den IAEO-Mitgliedstaaten und den teilnehmenden internationalen Organisationen zugänglich zu machen.
- Das Technische Koordinierungskomitee (TCC) soll einen Bericht erstellen, der die Ergebnisse der in den einzelnen Arbeitsgruppen durchgeführten Studien zusammenfaßt und eine Übersicht über die in INFCE geleistete Arbeit gibt.
- Der Bericht des TCC soll in Übereinstimmung mit den folgenden Vereinbarungen erstellt werden:
 - a) Der Bericht soll die Ergebnisse der in den Arbeitsgruppen durchgeführten Studien zusammenfassen und einen Überblick über die Arbeit von INFCE enthalten. Er soll ausschließlich auf den Berichten der Arbeitsgruppen basieren und die dort enthaltenen Schlußfolgerungen korrekt widerspiegeln. Er soll keine Daten, Analysen oder Ansichten enthalten, die nicht durch die Berichte der Arbeitsgruppen belegbar sind. Das Dokument darf in keiner Weise die Unabhängigkeit der Arbeitsgruppen bei der Durchführung ihrer Arbeit behindern oder die Einheit und Integrität der Berichte beeinträchtigen. Im Geiste der Gründungskonferenz ist jeder Teilnehmer berechtigt, zu jedem Teil des Berichts eine abweichende Position zu beziehen und seine abweichende Meinung in dem Bericht zu dokumentieren;
 - b) Ein erster Berichtsentwurf wird von dem auf Zeit bestimmten Vorsitzenden des TCC nach Beratung mit den Co-Vorsitzenden der Arbeitsgruppen und mit Hilfe der IAEO erstellt werden;
 - c) Der Entwurf wird an alle Mitglieder des TCC und andere INFCE-Teilnehmer in schriftlicher Form verteilt werden, die ihre Kommentare, Bemerkungen und Änderungswünsche schriftlich übermitteln werden;
 - d) Ein zweiter Entwurf wird unter Berücksichtigung dieser Kommentare erstellt und durch das TCC auf einem Treffen im November 1979 überarbeitet;
 - e) Der Text des Berichtsentwurfs wird zur Beratung und weiteren Verwendung der abschließenden Plenarkonferenz vorgelegt.
- Die IAEO soll aufgefordert werden, die Abschlußberichte zu veröffentlichen.
- Die Abschlußberichte der Arbeitsgruppen sollen nur in Englisch herausgegeben werden.
- Die Zusammenfassungen der Gruppen-Arbeitsberichte sowie die Zusammenfassung des TCC werden in Englisch, Französisch, Russisch und Spanisch herausgegeben. Die Übersetzung der Entwürfe der Zusammenfassungen ins Französische, Russische und Spanische wird, soweit wie möglich, unter der Berücksichtigung der Tatsache erfolgen, daß das TCC-Treffen für den November 1979 geplant ist.
- Die IAEO kann Länder bitten, für die Vorbereitungen zum Druck der Dokumente kostenlos redaktionelle Mitarbeiter bereitzustellen.
- Die abschließende Plenarkonferenz soll in der mit dem 25. Februar 1980 beginnenden Woche im Kongreßzentrum der Neuen Hofburg in Wien stattfinden.
- Der organisatorische Rahmen der abschließenden Plenarkonferenz soll in etwa der gleiche wie bei der ersten Plenarkonferenz sein.

Liste der Teilnehmer an der ersten INFCE-Plenarkonferenz

Ägypten	Libysch-Arabische
Argentinien	Dchamahirija
Australien	Malaysia
Belgien	Mexiko
Brasilien	Niederlande
Bulgarien	Neuseeland
Chile	Niger
Dänemark	Nigeria
Deutsche Demokratische	Norwegen
Republik	Osterreich
Deutschland,	Pakistan
Bundesrepublik	Panama
Ekuador	Peru
Finnland	Philippinen
Frankreich	Polen
Griechenland	Portugal
Guatemala	Rumänien
Indien	Saudi-Arabien
Indonesien	Schweden
Iran	Schweiz
Irak	Spanien
Irland	Thailand
Israel	Tschechoslowakei
Italien	Tunesien
Japan	Türkei
Jugoslawien	UdSSR
Kanada	USA
Katar	Venezuela
Kolumbien	Vereinigtes Königreich
Korea, Republik	
Kommission der Europäischen Gemeinschaften	
Internationale Atomenergie-Organisation	
Internationale Energie-Agentur	
Kernenergieagentur der OECD	
Vereinte Nationen	

Liste der Teilnehmer am Technischen Koordinierungskomitee

Vorsitzender: A. Chayes (USA)

Arbeitsgruppe 1	Ägypten	K. Effat
	Indien	S. Fareeduddin
	Kanada	T. Carter
		M. Copithorne
Arbeitsgruppe 2	Bundesrepublik Deutschland	M. Popp
	Frankreich	B. Goldschmidt
	Iran	H. Rafizadeh
		C. Samii
Arbeitsgruppe 3	Australien	A. Wilson
		J. R. Kelso
	Philippinen	D. Siazon
	Schweiz	C. Zangger
Arbeitsgruppe 4	Japan	S. Tamiya
	Vereinigtes Königreich von Großbritannien und Nordirland	
		H. Bondi
Arbeitsgruppe 5	Belgien	S. Amerlindxx
	Italien	C. Salvetti
		G. M. Borga
	Union der Sozialistischen Sowjetrepubliken	I. G. Morozow
Arbeitsgruppe 6	Argentinien	A. Carrea
	Spanien	B. Lopez-Perez
Arbeitsgruppe 7	Finnland	P. O. Silvennoinen
	Niederlande	J. A. Goedkoop
	Schweden	T. Eckered
Arbeitsgruppe 8	Republik Korea	B. W. Lee
	Rumänien	S. A. Olariu
	Vereinigte Staaten von Amerika	A. Carnesale
	Internationale Atomenergie-Organisation	I. Zheludev

Einführung in den Kernbrennstoffkreislauf

Diese kurze Beschreibung des Kernbrennstoffkreislaufs soll helfen, die Arbeiten in INFCE im Zusammenhang zu sehen.

Kernkraftwerke erzeugen elektrische Energie aus der Wärme, die bei der Spaltung von Atomkernen schwerer Elemente entsteht. Die Kernreaktionen, die auf diesem Wege Wärme freisetzen, finden in einem Reaktor statt. Die Wärme wird in einer Kesselanlage dazu benutzt, um Dampf für den Antrieb konventioneller Turbinen zu erzeugen.

Als Brennstoff dient in den derzeitigen Kernkraftwerken normalerweise Uran. Jedoch sind auch andere mögliche Brennstoffkreisläufe, zum Beispiel auf der Basis von Thorium, betrachtet worden.

Uranerze sind ein natürlicher Bestandteil der Erdkruste. Sie werden nach üblichen Abbaufahrten gewonnen und dann zu einem Material aufbereitet, das als Brennstoff in einem Kernreaktor eingesetzt werden kann. Das in der Natur vorkommende Uran besteht im wesentlichen aus zwei Isotopen, Uran-238 und Uran-235. Nur die Kerne der U-235-Atome sind leicht spaltbar, d. h. sie können in einem weiten Bereich physikalischer Randbedingungen gespalten werden. Aber nur etwa 0,7 % des Natururans besteht aus U-235. Obwohl einige Reaktoren Natururan als Brennstoff benutzen, verwenden heute die meisten Reaktoren leicht angereichertes Uran, in dem der Anteil der U-235-Atome künstlich erhöht, d. h. angereichert wurde. Daher wird der größte Teil des bergmännisch gewonnenen Urans nach der Aufbereitung durch eine Anreicherungsanlage geschickt, bevor Brennelemente für die Beladung von Reaktoren hergestellt werden.

Der Brennstoff wird im Reaktor bestrahlt (d. h. Bedingungen unterworfen, unter denen Kernspaltungsprozesse ablaufen können). Bei der Kernspaltung von U-235-Atomen entstehen leichtere Elemente, die sogenannten Spaltprodukte. Einige von ihnen sind hoch radioaktiv. Auch einige U-238-Atome werden umgewandelt und bilden dabei schwerere Elemente, die ebenfalls radioaktiv sind. Das wichtigste davon ist Plutonium. Pu-239, das Plutoniumisotop, das in der größten Menge gebildet wird, ist wie U-235 spaltbar und stellt deshalb einen nutzbaren Brennstoff dar. Tatsächlich wird ein Teil des entstandenen Plutoniums gleich wieder gespalten und setzt Energie frei, während sich der Brennstoff noch im Reaktor befindet. So kommt etwa ein Drittel der bei der Bestrahlung von Uranbrennstoff gewonnenen Energie aus der Spaltung von Plutonium.

Die bei den Kernspaltungsprozessen freigesetzte Wärme wird durch ein Kühlmittel, das durch die Brennstoffanordnung strömt, abgeführt und zu dem Dampferzeugersystem, das mit der Turbine verbunden ist, transportiert. In einigen Reaktortypen werden flüssige Kühlmittel, wie normales (leichtes) oder schweres Wasser benutzt; in anderen Reakto-

ren Gase wie z. B. Kohlendioxid. Die meisten derzeit betriebenen Leistungsreaktoren verwenden leichtes Wasser und werden deshalb Leichtwasserreaktoren (LWR) genannt. Es gibt zwei Arten von LWR: den Druckwasserreaktor (DWR) und den Siedewasserreaktor (SWR). Daneben gibt es auch eine größere Zahl von Schwerwasserreaktoren (HWR), insbesondere in Kanada, wo der CANDU-Schwerwasserreaktor entwickelt wurde, aber auch von gasgekühlten Reaktoren, im besonderen in Frankreich und Großbritannien.

Wenn der abgebrannte Brennstoff aus dem Reaktor entladen wird, enthält er unverbrauchtes Uran, Spaltprodukte, Plutonium und einige andere schwere Elemente. Er gibt weiterhin Wärme ab und ist radioaktiv. Er wird zur Kühlung in wassergefüllten Becken gelagert. Wenn der abgebrannte Brennstoff lange genug gekühlt wurde, kann er aufgelöst und chemisch behandelt, d. h. wiederaufgearbeitet werden, um aus ihm das unverbrauchte Uran und das Plutonium abzutrennen. Aus diesen Stoffen kann dann neuer Brennstoff hergestellt und wieder in den Reaktor zurückgeführt werden. Neue Brennelemente, die auf diese Weise hergestellt wurden, enthalten eine Mischung aus Uran und Plutonium (z. B. Mischoxid = MOX), wobei Plutonium den hauptsächlichen Spaltstoff im Brennstoff darstellt.

Normalerweise unterscheidet man drei verschiedene Arten von Brennstoffkreisläufen, je nach dem, ob der abgebrannte Brennstoff aufgearbeitet wird oder nicht, und wenn ja, in welcher Art von Reaktoren Uran und Plutonium zurückgeführt werden:

- Im Wegwerfzyklus¹⁾ werden die abgebrannten Brennelemente nicht wiederaufgearbeitet, sondern solange in Lagerbecken gehalten bis sie endgültig beseitigt werden, z. B. durch Konditionierung und anschließende Verbringung in ein Endlager im tiefen geologischen Untergrund.
- Beim Brennstoffkreislauf mit thermischer²⁾ Rückführung wird der abgebrannte Brennstoff wiederaufgearbeitet und Uran und Plutonium von den Spaltprodukten abgetrennt, die nach Weiter-

¹⁾ Streng genommen handelt es sich hier nicht um einen „Zyklus“, denn die unverbrauchten Bestandteile im abgebrannten Brennstoff werden nicht zurückgeführt.

²⁾ Ein Reaktor heißt „thermisch“, wenn die Neutronen, die die Kernspaltung bewirken, durch Stoßvorgänge mit leichten Atomkernen im Reaktorkern so weit abgebremst werden, daß sie im thermischen Gleichgewicht mit ihrer Umgebung sind (d. h. sie haben die gleiche Temperatur und eine ähnliche kinetische Energie, also 0,025 eV bei Raumtemperatur). Ein „schneller“ Reaktor arbeitet mit hochenergetischen Neutronen (über 0,1 MeV), die nicht auf die beschriebene Weise abgebremst wurden. Das Wort „schnell“ bezieht sich also nicht auf die Fähigkeit, Plutonium zu erbrüten.

behandlung, z. B. durch Einschluß in Glas, im tiefen geologischen Untergrund endgelagert werden. Sowohl Uran als auch Plutonium können dann in neuen Brennelementen in Reaktoren grundsätzlich der gleichen Bauart wie jene, in denen das Plutonium ursprünglich gebildet wurde, zurückgeführt werden. (Andere Möglichkeiten hierzu wären, entweder nur das Uran zurückzuführen und das Plutonium zu lagern, oder das Plutonium zurückzuführen und das Uran zu lagern.)

- Beim Brennstoffkreislauf des Schnellen¹⁾ Brutreaktors wird der abgebrannte Brennstoff in ähnlicher Weise wiederaufgearbeitet und neue Brennelemente aus dem Uran und Plutonium hergestellt. Sie werden dann aber in Schnellen Brutreaktoren (SBR) zurückgeführt. Solche Reaktoren haben eine zentrale Kernzone aus Uran-Plutonium-Brennstoff, umgeben von einem Mantel aus abgereichertem Uran, also Uran, aus dem bei der Herstellung von angereichertem Uran die meisten U-235-Atome entfernt wurden. Abgereichertes Uran besteht somit fast ausschließlich aus U-238-Atomen. Durch Bestrahlung wird ein Teil von ihnen in Plutonium umgewandelt. Bei geeigneter Betriebsweise können solche Reaktoren etwas mehr Plutonium erzeugen als sie selbst

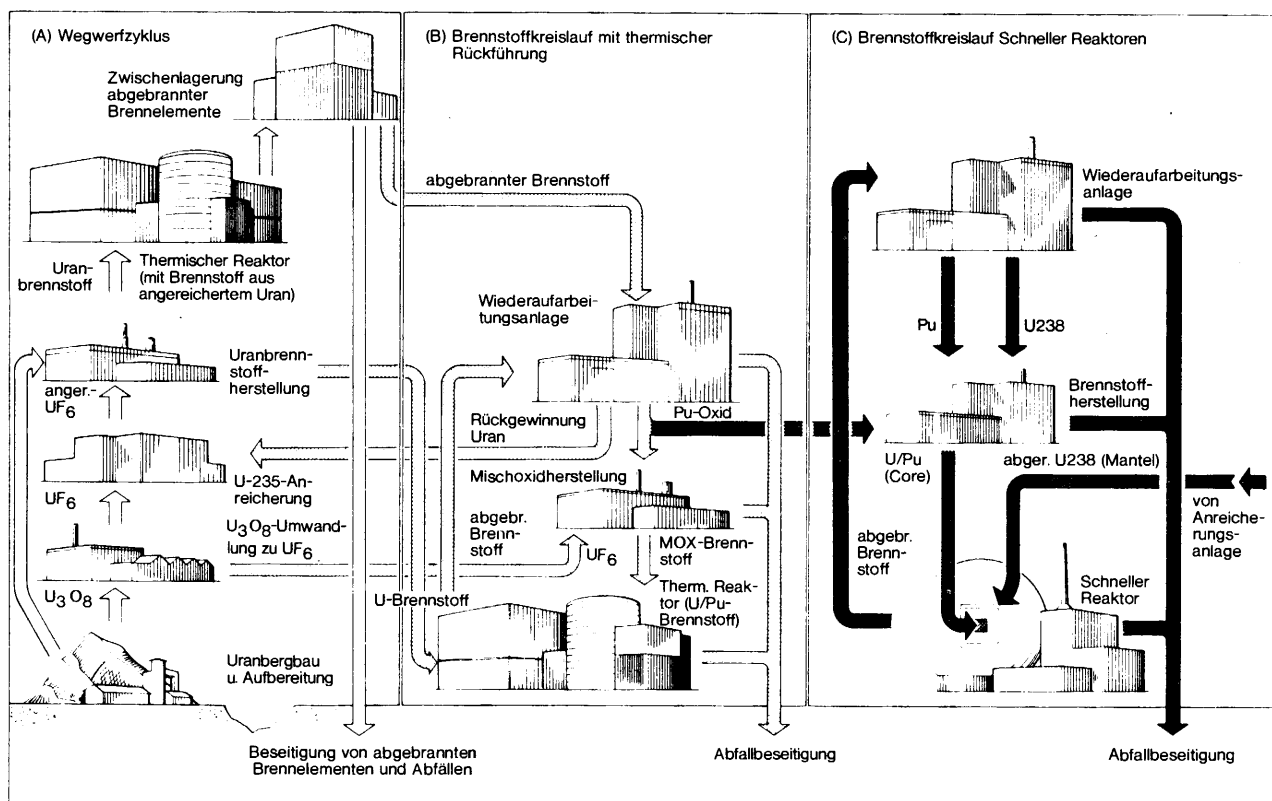
verbrauchen (daher der Name „Brüter“); die Betriebsweise kann dem Plutoniumbedarf angepaßt werden.

Sowohl bei der Rückführung in thermischen als auch in Schnellbrutreaktoren werden neben der Wiederaufarbeitungsanlage, den Betrieben zur Brennstoffherstellung und den Anlagen zur Abfallbehandlung und -beseitigung auch Einrichtungen zur Lagerung von abgetrenntem Plutonium bis zu seiner Wiederverwendung und für den Transport von abgetrenntem Plutonium zwischen verschiedenen Anlagenstandorten benötigt. Der Transport von abgetrenntem Plutonium ist nicht erforderlich, wenn Wiederaufarbeitung und Brennstoffherstellung an einem gemeinsamen Standort erfolgen. Eine graphische Darstellung der wichtigsten Brennstoffkreisläufe ist in Abbildung 1 wiedergegeben.

Für alle Bereiche dieser Brennstoffkreisläufe werden Forschungs- und Entwicklungsprogramme durchgeführt, z. B. zur Verbesserung der thermischen Reaktoren hinsichtlich Uranausnutzung, zur Rückführung von Plutonium in thermischen und schnellen Reaktoren und zur Behandlung und Beseitigung von radioaktiven Abfällen und von abgebrannten Brennelementen. Der Fortschritt dieser Arbeiten wird ohne Zweifel die Entscheidungen verschiedener Länder über ihre jeweiligen Kernenergieprogramme beeinflussen.

¹⁾ siehe Fußnote 2) auf S. 49

Kernbrennstoffkreisläufe



INFCE-Dokumentation

Die erste INFCE-Plenarkonferenz beschloß, daß die IAEО aufgefordert werden sollte, die zentrale INFCE Dokumentationsstelle zu sein. Eine Liste aller bei der IAEО hinterlegten Dokumente sollte allen IAEО-Mitgliedstaaten und den teilnehmenden internationalen Organisationen zur Verfügung gestellt werden. Damit das möglich ist, wurden alle Arbeitsgruppen aufgefordert, der IAEО Listen von allen Dokumenten, die für Nachschlagzwecke hinterlegt werden sollen, zur Verfügung zu stellen. Diese Dokumente wurden in das Internationale Kernenergie Informationssystem (INIS) der IAEО aufgenommen. Deshalb werden die Titel in den normalen INIS-Listen erscheinen. Die Dokumente können in Form von Mikrokarten bei der IAEО bezogen werden. Anforderungen sind zu richten an:

IAEO, INIS Section

Postfach 100

A-1400 Wien, Österreich

Kommuniqué der Abschluß-Plenarkonferenz von INFCE

1. Die Abschluß-Plenarkonferenz der Internationalen Bewertung des Kernbrennstoffkreislaufs (INFCE) fand wie vorgesehen vom 25. bis 27. Februar 1980 in der Hofburg in Wien statt. An der Konferenz nahmen 59 Staaten und sechs internationale Organisationen teil.

2. Die Konferenz wurde vom Präsidenten der ersten Plenarkonferenz, Dr. Kamal Effat, Ägypten, eröffnet. Auf Antrag von Sir Hermann Bondi, Großbritannien, der vom tunesischen Botschafter Ghezal sowie von Dr. Röhnsch, Deutsche Demokratische Republik, unterstützt wurde, wählten die Delegierten den Leiter der japanischen Delegation, Atsuhiko Yatabe, per Akklamation zum Präsidenten der Konferenz.

3. INFCE war auf einer Gründungskonferenz im Oktober 1977 in Washington begonnen worden. Das Kommuniqué der Gründungskonferenz stellte fest, daß die Teilnehmer

— sich der dringenden Notwendigkeit bewußt sind, daß der Weltenergiebedarf gedeckt werden muß und daß dazu die Kernenergie zur friedlichen Nutzung weithin verfügbar gemacht werden sollte;

— überzeugt waren, daß wirkungsvolle Maßnahmen auf nationaler Basis und durch internationale Vereinbarungen ergriffen werden können und sollten, um die Gefahr der Weiterverbreitung von Kernwaffen zu minimieren, ohne die Energieversorgung oder die Entwicklung zur friedlichen Nutzung der Kernenergie zu gefährden;

— anerkannten, daß die spezifischen Bedürfnisse von und die Bedingungen in Entwicklungsländern besonders betrachtet werden sollten.

Diese drei Elemente bildeten den Schwerpunkt der INFCE-Studie.

4. Die Teilnahme an INFCE stand allen interessierten Staaten und in Frage kommenden internationalen Gremien offen. 66 Länder und fünf internationale Organisationen nahmen an der Studie teil. Darunter befanden sich Industrie- und Entwicklungsländer; Länder mit größeren oder kleineren Kernenergieprogrammen verschiedener Entwicklungsstufen; Verbraucher und Lieferanten von Materialien, Technologie und Ausrüstung; Staaten mit Marktwirtschaft und Zentralverwaltungswirtschaft; Kernwaffenstaaten, Nichtkernwaffenstaaten, Unterzeichner des Euratomvertrages, des NV-Vertrages und des Vertrages von Tlatelolco sowie Staaten, die keinem dieser Verträge angehören und Länder aller geographischen Regionen.

5. Die Durchführung der Studie wurde auf acht Arbeitsgruppen verteilt, die, wie folgt, für jeweils einen spezifischen Teil des Brennstoffkreislaufs verantwortlich waren:

1. Verfügbarkeit von Brennstoff und Schwerwasser;

2. Verfügbarkeit von Anreicherung;

3. Sicherung der langfristigen Versorgung mit Technologie, Brennstoff, Schwerwasser und Dienstleistungen unter Berücksichtigung des nationalen Bedarfs und unter Einhaltung der Nichtverbreitung von Kernwaffen;

4. Wiederaufarbeitung, Plutoniumhandhabung, Rezyklierung;

5. Schnelle Brutreaktoren;

6. Lagerung und Transport abgebrannter Brennelemente;

7. Abfallbehandlung und -endlagerung und

8. Fortgeschrittene Brennstoffkreislauf- und Reaktorkonzepte.

Die Arbeit jeder Arbeitsgruppe wurde durch drei oder in einigen Fällen durch zwei Länder als Co-Vorsitzende organisiert, die sich freiwillig hierzu bereiterklärt hatten. Insgesamt nahmen 519 Experten aus 46 Ländern und von fünf internationalen Organisationen an den Arbeitsgruppen teil. Sie hielten 61 Sitzungen ab und erstellten in den zwei Jahren der Studie Dokumente mit einem Umfang von insgesamt mehr als 20 000 Seiten.

6. Zur Koordinierung der Studie unter technischen Gesichtspunkten wurde schon im Washingtoner Kommuniqué ein Technisches Koordinierungskomitee (TCC) eingesetzt, das aus den 22 Co-Vorsitzenden der Arbeitsgruppen bestand. Dieses Komitee hielt neun Sitzungen unter dem Vorsitz von Professor Abram Chayes ab und erarbeitete in Übereinstimmung mit den Weisungen der ersten Plenarkonferenz eine zusammenfassende Übersicht der INFCE-Studie.

7. Die Internationale Atomenergie-Organisation (IAEO) war in allen Arbeitsgruppen und im TCC vertreten und stellte für die Studie Sekretariatsdienste und andere technische Unterstützung zur Verfügung.

8. Im November 1978, etwa nach der halben Laufzeit der Studie, wurde in Wien eine Plenarkonferenz abgehalten, um den Fortschritt der Arbeit zu prüfen.

9. Auf der Abschluß-Plenarkonferenz legte jede Arbeitsgruppe ihren Bericht vor. Der TCC-Vor-

sitzende berichtete über die Arbeit des Komitees und legte die zusammenfassende Übersicht vor. Es folgte eine allgemeine Debatte, in welcher die Delegationen Kommentare zu den Arbeitsberichten, zur Arbeit von INFCE und zu künftigen Entwicklungen abgaben.

10. Die Teilnehmer befanden, daß INFCE seine Aufgaben erfüllt habe. INFCE habe Wege und Mittel aufgezeigt, die Versorgungssicherheit zu erhöhen und dabei gleichzeitig die Gefahr der Weiterverbreitung von Kernwaffen zu minimieren. Dies würde internationale Zusammenarbeit, technische, rechtliche und institutionelle Maßnahmen ebenso einschließen wie mögliche Entwicklungen auf dem Gebiet der Sicherheitskontrollen. In diesem Zusammenhang untersuchte INFCE als eine der gestellten Aufgaben die besonderen Bedürfnisse von Entwicklungsländern und gab Maßnahmen an, die Staaten über die IAEA ergreifen könnten, sowie andere Mittel, um diesen Bedürfnissen Rechnung zu tragen.
11. Die Delegierten erkannten die zentrale Rolle an, die die IAEA in der Vergangenheit gespielt hat und die sie weiterhin spielen muß, damit die in der INFCE-Studie besonders herausgestellten Probleme gelöst werden können.
12. Die Teilnehmer nahmen mit Befriedigung zur Kenntnis, daß die Arbeitsgruppenberichte der Plenarkonferenz ohne getrennte oder abweichende Voten vorgelegt wurden. Wie bei allen im Konsensverfahren erstellten Dokumenten bedeutete dies jedoch nicht, daß jedes Arbeitsgruppenmitglied mit jedem Wort voll übereinstimmte oder jede gewählte Formulierung unterstützte.
13. Innerhalb ihrer Aufgabenstellung wurden von den Arbeitsgruppen Aspekte der Umwelt, des Strahlenschutzes und der Sicherheit betrachtet, um festzustellen, ob bestimmte Brennstoffkreislaufaktivitäten in Übereinstimmung mit anerkannten Normen durchgeführt werden können. Die Untersuchung dieser Probleme ergab, daß dies möglich ist. Umfassendere Betrachtungen zu Umwelt, Strahlenschutz und Sicherheit werden in anderen nationalen und internationalen Gremien durchgeführt, insbesondere in der IAEA.
14. Die Berichte enthalten keine politischen Empfehlungen, da INFCE nicht als politische, sondern als technisch-analytische Studie gedacht war und nicht als eine Verhandlung. Die Delegierten stimmten darin überein, daß die INFCE-Berichte einen wichtigen Beitrag zur Klarstellung der Probleme im Rahmen der einzelnen Bereiche der Studie darstellen und wertvolle Anregungen gebracht haben und daß INFCE die Unterschiede in den Standpunkten der Teilnehmer vermindert und das gegenseitige Verständnis gefördert hat.
15. Nach der Debatte unternahm die Abschluß-Plenarkonferenz folgende Schritte:
 1. Die Konferenz nahm die Arbeitsgruppenberichte und die zusammenfassende Übersicht entgegen. Sie leitete sie weiter an die Regierungen der Teilnehmerstaaten zur Berücksichtigung bei der Entwicklung ihrer Nuklearpolitik und zur Berücksichtigung bei internationalen Diskussionen über die Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Kernenergie und damit zusammenhängender Überwachungs- und Sicherheitskontrollmaßnahmen. Hierbei wurde darauf hingewiesen, daß die Teilnehmer im Sinne des Washingtoner Kommuniqués nicht an die INFCE-Ergebnisse gebunden sind. Darüber hinaus entschied die Konferenz, daß die Berichte allen Regierungen und internationalen Organisationen und Konferenzen, die an der friedlichen Nutzung der Kernenergie interessiert sind, verfügbar gemacht werden sollen.
 2. Die Konferenz entschied, daß die Internationale Bewertung des Kernbrennstoffkreislaufs vollständig durchgeführt sei und entließ die Arbeitsgruppen und das TCC aus ihrer Verantwortung. In diesem Zusammenhang drückte sie allen an der INFCE-Studie Beteiligten den Dank für ihre Bemühungen aus und beglückwünschte sie zu der hohen Qualität der geleisteten Arbeit. Sie sprach den 22 Co-Vorsitzenden der Arbeitsgruppen, bei denen die Hauptverantwortung für die Studie lag, sowie den Präsidenten der Plenarkonferenzen und nicht zuletzt dem TCC-Vorsitzenden Prof. Abram Chayes, der auch Präsident der Gründungskonferenz gewesen war, ihre besondere Anerkennung aus.
 3. Die Konferenz dankte der IAEA für die hervorragende Qualität der technischen und administrativen Unterstützung für die Studie.
 4. Die Konferenz erklärte, daß die Internationale Bewertung des Kernbrennstoffkreislaufs beendet sei und die Arbeitsgruppenberichte sowie die zusammenfassende Übersicht für die allgemeine Öffentlichkeit freigegeben werden solle.
16. Abschließend legt die Konferenz Wert darauf festzustellen, daß die Ergebnisse von INFCE folgende Auffassungen bestärkt haben:
 - Es ist zu erwarten, daß bei der Deckung des Weltenergiebedarfs der Kernenergie eine wachsende Bedeutung zukommt und daß sie zu diesem Zweck weithin verfügbar gemacht werden kann und sollte;
 - Zur Deckung der spezifischen Bedürfnisse der Entwicklungsländer in Hinsicht auf die friedliche Nutzung der Kernenergie können und sollten effektive Maßnahmen ergriffen werden;
 - Zur Minimierung der Gefahr der Weiterverbreitung von Kernwaffen können und sollten effektive Maßnahmen ergriffen werden, ohne

die Energieversorgung oder die Entwicklung der Kernenergie zu friedlichen Zwecken zu gefährden.

17. Die Konferenz erkannte an, daß die obengenannten Ziele nur durch ständige internationale

Zusammenarbeit zu erreichen sind. Die Teilnehmer sind entschlossen, das Klima gegenseitigen Verständnisses und internationaler Zusammenarbeit auf dem Gebiet der Kernenergie, das eines der wesentlichsten Ergebnisse von INFCE ist, zu erhalten.

Liste der Teilnehmer an der abschließenden INFCE-Plenarkonferenz

Ägypten	Irland	Peru	Süd-Afrika
Algerien	Israel	Philippinen	Thailand
Argentinien	Italien	Polen	Tschechoslowakei
Australien	Japan	Portugal	Tunesien
Belgien	Jugoslawien	Rumänien	Türkei
Brasilien	Kanada	Saudi-Arabien	UdSSR
Bulgarien	Katar	Senegal	USA
Chile	Kolumbien	Schweden	Venezuela
Dänemark	Korea, Republik	Schweiz	Vereinigtes Königreich
Deutsche Demokratische Republik	Kuba	Spanien	Zaire
Deutschland, Bundesrepublik	Libysch-Arabische Dschamahirija	Kommission der Europäischen Gemeinschaften	
Ekuador	Mexiko	Internationale Atomenergie-Organisation	
Finnland	Niederlande	Internationale Energie-Agentur	
Frankreich	Neuseeland	Kernenergieagentur der OECD	
Griechenland	Niger	Agentur für das Verbot von Kernwaffen in Lateinamerika	
Guatemala	Nigeria	Vereinte Nationen	
Indien	Norwegen		
Indonesien	Österreich		
Irak	Pakistan		
	Panama		

