

HSFK-Report Nr. 3/2009

# **Verifikation der Abrüstung von Kernmaterial**

Annette Schaper

© Hessische Stiftung Friedens- und Konfliktforschung (HSFK)

Adresse:

HSFK · Baseler Straße 27-31 · 60329 Frankfurt am Main

Telefon: +49(0)69 95 91 04-0 · Fax: +49(0)69 55 84 81

E-Mail: [schaper@hsfk.de](mailto:schaper@hsfk.de) · Internet: [www.hsfk.de](http://www.hsfk.de)

**ISBN: 978-3-937829-83-8**

Euro 6,-

## Zusammenfassung

Der Wechsel der U.S.-Regierung gibt Anlass zu Hoffnungen auf das ernsthafte Bemühen um vollständige nukleare Abrüstung. Eine Voraussetzung dafür ist allerdings eine glaubwürdige Verifikation: Sind die Sprengköpfe verschrottet, muss die Welt überzeugt sein, dass dies tatsächlich der Fall ist und dass das daraus freiwerdende Material nicht wieder für neue Sprengköpfe verwendet wird. Bei der ehrgeizigen Aufgabe, auf Null abzurüsten, stoßen die bisherigen Erfahrungen mit der Überwachung von Kernmaterial an ihre Grenzen. Denn bisher wurden nur zivile Anlagen überwacht. Aber für eine komplette Abrüstung muss man auch ehemalige Sprengkopffabriken in die Verifikation einbeziehen. In einer kernwaffenfreien Welt hat sich das Vertrauen etabliert, dass keine Sprengköpfe mehr übrig sind und dass niemand an einer heimlichen Wiederaufrüstung arbeitet. Vorher aber findet eine Übergangsphase der nuklearen Abrüstung statt, deren Verifikation das Thema dieses Reports ist. Ein wichtiger Schritt auf diesem Weg ist, dass ein Fissile Material Cutoff Treaty (FMCT), der künftig die Produktion von Nuklearmaterial für Kernwaffen verbieten soll, zustande kommt und verifiziert wird. Die dabei zu erwartenden Probleme ähneln denen der Übergangsphase und werden in diesem Report diskutiert.

Durch die Abrüstung werden große Mengen an waffentauglichem hochangereichertem Uran (HEU) und Plutonium frei, das abgerüstet werden muss. „Abrüstung“ kann man technisch verstehen, wenn man damit meint, das Material so zu verändern, z.B. zu verdünnen, dass es technisch schwieriger wird, es wieder für Kernwaffen einzusetzen. Man kann „Abrüstung“ auch politisch verstehen, indem sich die Besitzer verpflichten, es irreversibel internationalen Safeguards zu unterstellen, wie es bereits in der zivilen Kernindustrie der Nichtkernwaffenstaaten (NKWS) Standard ist.

Es gibt Standardmethoden der Verifikation in Nichtkernwaffenstaaten (NKWS), die in einer kernwaffenfreien Welt auf alle angewendet werden können. Hierzu gehören Materialbuchhaltung, technische Überwachung, Inspektionen, staatliche Aufklärung und nicht zuletzt soziale Verifikation, deren Rolle nicht unterschätzt werden darf. Materialbuchhaltung erfasst das gesamte Nuklearmaterial eines Landes und kann mit Hilfe von Diskrepanzen Verdachtsmomente feststellen. Technische Überwachung umfasst eine Vielzahl von Methoden wie Siegel, permanente Kameras oder Messapparaturen. Inspektionen können nach verschiedenen Regeln durchgeführt werden. Staatliche Aufklärung umschreibt Methoden, mit denen sich Staaten in eigener Regie Informationen über ein anderes Land verschaffen. Soziale Verifikation verlässt sich auf die Beteiligung der gesamten Bevölkerung eines Staates.

Zusätzliche Schwierigkeiten entstehen in der Übergangsperiode. Sie gleichen den Problemen, die auch bei der Verifikation eines FMCT zu erwarten sind. So sind einige bisher militärische Anlagen, z.B. Lager- und Produktionsstätten von ehemaligem Waffenmaterial, zunächst nicht mit den üblichen Methoden verifizierbar. Das kann technische Gründe haben, z.B. Kontamination oder ungünstige bauliche Eigenschaften. Oder der Besitzer fürchtet, dass bei der Verifikation Informationen offengelegt werden, die er schützen möchte. Die Standardverifikationsmethoden kann man daher nicht einfach anwenden. „Heikle“ Informationen könnten z.B. den Bau von Nuklearsprengköpfen er-

leichtern. Aber auch anders geartete Informationen sehen ihre Besitzer als zu heikel an, zum Teil aus plausiblen Gründen, aber auch aus Gründen, die aus Sicht der Autorin nicht akzeptabel sind. Die übertriebene Geheimhaltung ist der Grund für viele Probleme bei der Verifikation im Nuklearbereich. Es gibt jedoch einige Präzedenzfälle für den Umgang mit dem Spannungsfeld zwischen Geheimhaltung und Offenlegung, aus denen Lehren gezogen werden könnten.

Weitere Schwierigkeiten für die Verifikation entstehen dadurch, dass man manche Produktionsanlagen nur mit Schwierigkeiten nachträglich an Safeguards anpassen kann, im Gegensatz zu modernen Produktionsanlagen in NKWS, die von Anfang an so konzipiert wurden, dass sie die Verifikation möglichst erleichtern.

Weiterhin darf man nicht von Anfang an Anlagen übersehen und muss heimliche Aktivitäten frühzeitig entdecken. Am schwierigsten ist dies mit der Zentrifugenanreicherung. Materialbuchhaltung funktioniert nur unzulänglich in einem Kernwaffenstaat, solange ihm noch Ausnahmen erlaubt sind. Wenn Materialbuchhaltung aber als Verifikationsmethode ausgeschlossen wird, wie es in Diskussionen zum FMCT von manchen Delegationen gefordert wird, sind Abzweigungen schwieriger zu entdecken. Schließlich gibt es auch noch große Mengen an waffentauglichem hochangereichertem Uran (HEU) für nuklearbetriebene U-Boote, deren technische Einzelheiten die Kernwaffenstaaten geheim halten. Ein FMCT muss die zukünftige Produktion von HEU für U-Boote verbieten, um glaubwürdig zu bleiben. Ein weiteres Problem in der Übergangsperiode ist die Skepsis vieler Kritiker, welche die Synergie der verschiedenen Methoden zu wenig würdigen.

Schon jetzt realisierbare Maßnahmen auf dem Weg zu einer Optimierung der Verifikation sind:

- Ein FMCT mit einer möglichst vollständigen Verifikation,
- internationale Studien zu speziellen Problemen der Verifikation und problematischen Anlagen,
- Deklarationen aller Bestände,
- Internationalisierung der Produktion waffentauglicher Nuklearmaterialien,
- Reform von Geheimhaltungsrichtlinien,
- Globalisierung des Zusatzprotokolls,
- Umstellung aller HEU-betriebenen Reaktoren,
- Zusammenarbeit bei der Weiterentwicklung der Methoden zur Entdeckung heimlicher Aktivitäten.

# Inhalt

1.	Eine kernwaffenfreie Welt?	3
2.	Kategorien von kernwaffentauglichen Materialien	4
2.1	Technische Einteilung von Kernmaterialien	5
2.2	Politische Einteilung von Kernmaterialien	8
3.	Ausweiten der etablierten Verifikationsmethoden	14
3.1	Verifikationsmethoden in NKWS und ihre mögliche Anwendung in ehemaligen KWS	15
3.2	Verifikationsmethoden in verschiedenen Anlagen	19
4.	Verifikationsprobleme während des Übergangs	24
4.1	Anlagen, die nicht für Safeguards konzipiert sind	24
4.2	Heikle Informationen	25
4.3	Die Entdeckung undeklariierter Bestände	29
4.4	Die Entdeckung heimlicher Produktion	30
4.5	Reaktorbrennstoff für militärische Schiffsantriebe	31
4.6	Überzeugung von Skeptikern	32
5.	Empfehlungen	33
6.	Literatur	35
Anhang I:	Nuklearmaterialien, ihre rechtliche Einstufung durch die IAEO und ihre Rolle bei der Entwicklung von Kernwaffen	38
Anhang II:	Inventare waffentauglicher Materialien	39
Anhang III:	Illustration von Brennstoffkreisläufen	40
Anhang IV:	Abkürzungsverzeichnis	41



## 1. Eine kernwaffenfreie Welt<sup>1</sup>

Der Wechsel der U.S.-Regierung gibt Anlass zu Hoffnungen auf das ernsthafte Bemühen um vollständige nukleare Abrüstung. Dieses ehrgeizige Ziel scheint aus dem Reich der fernen Utopie wieder etwas näher an die Realität gerückt zu sein. Aufsehen erregt haben Wortmeldungen ehemaliger hochrangiger Politiker, die die völlige Abschaffung jeglicher Nuklearbewaffnung fordern, insbesondere die Aufrufe der ehemaligen amerikanischen Außenminister Henry Kissinger und George Shultz, des ehemaligen Verteidigungsministers William Perry und des Senators Sam Nunn in den Jahren 2007 und 2008.<sup>2</sup> Am 30. Juni 2008 folgte ein ähnlicher Appell der ehemaligen britischen Außenminister Douglas Hurd, Malcolm Rifkind und David Owen und des ehemaligen NATO-Generalsekretärs George Robertson.<sup>3</sup> Die Kampagne „Global Zero“ zur Abschaffung aller Atomwaffen startete am 9. Dezember 2008, initiiert von über 100 prominenten Persönlichkeiten, darunter Michail Gorbatschow und Jimmy Carter.<sup>4</sup> Im Januar 2009 meldeten sich auch deutsche ehemalige Politiker mit einem ähnlichen Aufruf zu Wort, nämlich Helmut Schmidt, Richard von Weizsäcker, Egon Bahr und Hans-Dietrich Genscher.<sup>5</sup>

Barack Obama hat in seiner Wahlkampagne mehrfach das Ziel einer kernwaffenfreien Welt betont.<sup>6</sup> Und VN-Generalsekretär Ban Ki-Moon schlug am 24. Oktober 2008 einen Fünf-Punkte-Plan für nukleare Abrüstung und Nichtverbreitung vor, in dem er drängte, effektive Maßnahmen zu ergreifen, die zu nuklearer Abrüstung führen. Dabei wies er auf den Entwurf einer Konvention zu einer kernwaffenfreien Welt hin.<sup>7</sup> Am 5. April 2009 hielt Präsident Obama eine vielbeachtete Rede in Prag, in der er das Ziel einer kernwaffenfreien

1 Dieser Report entstand in Zusammenarbeit mit der Nuclear Threat Initiative (NTI), deren Partner die HSFK ist. Eine englische Version des Reports wird durch die NTI veröffentlicht.

2 Henry Kissinger, George Shultz, William Perry und Sam Nunn, A World Free of Nuclear Weapons, The Wall Street Journal, January 4, 2007; dieselben, Toward a Nuclear-Free World, The Wall Street Journal, Jan. 15, 2008.

3 Douglas Hurd, Malcolm Rifkind, David Owen and George Robertson, Start Worrying and Learn to Ditch the Bomb, The Times, June 30, 2008.

4 [www.globalzero.org](http://www.globalzero.org) (2.7.2009).

5 Helmut Schmidt, Richard von Weizsäcker, Egon Bahr und Hans-Dietrich Genscher, Für eine atomwaffenfreie Welt, FAZ, 8. Januar 2009.

6 Eine Sammlung von Zitaten findet sich auf der Webseite der Campaign for a Nuclear Weapon Free World: <http://blog.nuclearweaponsfree.org/index.cfm/2008/11/17/Presidenclect-Obama-on-the-Nuclear-Weapons-Free-World> (2.7.2009).

7 Secretary-General Ban Ki-Moon, Address to the East-West Institute entitled "The United Nations and security in a nuclear-weapon-free world", 24 October 2008, [www.un.org/apps/news/infocus/sgspeeches/search\\_full.asp?statID=351](http://www.un.org/apps/news/infocus/sgspeeches/search_full.asp?statID=351) (2.7.2009).

Welt bekräftigte.<sup>8</sup> Außenminister Frank-Walter Steinmeier erklärte mehrfach, dieses Ziel zu teilen.<sup>9</sup>

Bevor sich Politiker ernsthaft für eine vollständige nukleare Abrüstung einsetzen, müssen sie darauf vertrauen, dass sie möglich ist. Eine Voraussetzung ist vor allem eine glaubwürdige Verifikation: Sind die Sprengköpfe verschrottet, muss die Welt überzeugt sein, dass dies tatsächlich der Fall ist und dass das daraus freiwerdende Material nicht wieder für neue Sprengköpfe verwendet wird. Ebenso muss die Verifikation glaubhaft überprüfen, dass keine heimliche nukleare Wiederaufrüstung stattfindet. Wichtig ist die frühzeitige Entdeckung auch kleinerer Verstöße gegen die neue Norm der Kernwaffenfreiheit, damit die Staatengemeinschaft sie so früh wie möglich abwehren kann. Die Verifikation muss diese Aufgaben nicht nur leisten, sie muss auch glaubwürdig sein. Im Fall von Regelverstößen muss es einen Mechanismus geben, der die Regelverletzung sanktioniert.

Die vollständige Erfassung sämtlichen spaltbaren Materials ist der Schlüssel für eine erfolgreiche Verifikation, denn es ist der wichtigste Bestandteil eines Kernsprengkopfes, und seine unentdeckte Beschaffung ist die höchste technische Hürde in einem geheimen Programm.<sup>10</sup> Ein weiterer Bestandteil eines Kernsprengkopfes ist die Zündtechnologie, ihre Entwicklung ist jedoch technisch weniger aufwendig und schwieriger zu entdecken. Das Thema dieses Reports ist daher die Verifikation der Abrüstung und Nichtproduktion von spaltbarem Material für Kernwaffen.

Nicht alle Aufgaben, die die Verifikation einer kernwaffenfreien Welt leisten muss, sind neu: Seit Jahren verifiziert die Internationale Atomenergie-Organisation (IAEO) die Vertragstreue aller Nichtkernwaffenstaaten (NKWS) im Nichtverbreitungsvertrag (NVV), genauer, sie überprüft, dass kein Nuklearmaterial illegal abgezweigt oder produziert wird. Trotz der großen zivilen Nuklearindustrien in einer Reihe dieser Länder kann die Staatengemeinschaft dank der Verifikation sicher sein, dass sie keinerlei Absichten verfolgen, ihre Industrie für Kernwaffen zu missbrauchen. In den letzten Jahrzehnten sind viele technische und politische Erfahrungen gesammelt worden, die für die nukleare Abrüstung von großem Wert sein können. Doch sie stoßen bei der ehrgeizigen Aufgabe, auf Null abzurüsten, an ihre Grenzen. Zu unterscheiden sind die Verifikation des Endzustandes der kernwaffenfreien Welt und die der Übergangsphase der nuklearen Abrüstung. Im Endzustand herrscht die Überzeugung, dass kein geheimes Sprengkopf- oder Spalt-

8 The White House, Office of the Press Secretary, Remarks by President Barack Obama, April 5, 2009, [www.whitehouse.gov/the\\_press\\_office/Remarks-By-President-Barack-Obama-In-Prague-As-Delivered/](http://www.whitehouse.gov/the_press_office/Remarks-By-President-Barack-Obama-In-Prague-As-Delivered/) (2.7.2009).

9 U.a. in einer Rede vor dem Bundestag am 27. April 2009: Steinmeier 2009.

10 Beispiele für Literatur zum Thema Verifikation der Abrüstung von Nuklearmaterialien sind: Albright/Barbour 1999; NAS 1994 und 1995, Albright et al. 1997. Schaper/Frank 1999; International Panel On Fissile Materials 2008. Siehe auch die Publikationen von Mathew Bunn et al., Belfer Center, Harvard University und die Webseite des Institute of Science and International Security (ISIS): [www.isis-online.org](http://www.isis-online.org) (2.7.2009).



materiallager und auch keine geheime Produktionsstätte mehr übriggeblieben sind. Der Weg dahin ist noch weit. Bis dahin muss viel Vertrauen aufgebaut werden. Dieses geschieht in einer Übergangsphase, in der Verifikationsmethoden implementiert und verfeinert werden.

Die Übergangsphase hält viele Herausforderungen bereit, die über die der derzeitigen Verifikation des NVV hinausgehen:

- Durch die Abrüstung werden große Mengen von waffentauglichem Material frei, insbesondere hochangereichertes Uran (HEU) und Plutonium (Pu). Wenige Kilogramm reichen für einen Nuklearsprengkopf aus, und die weltweit existierenden Mengen umfassen Hunderte von Tonnen. Diese wird man entsorgen, in zivile Nutzung überführen oder einfach lagern müssen. In jedem Fall muss die Verifikation Vertrauen schaffen, dass die Verschrottung in der Tat geschieht, aber ohne dass zu sensitive Informationen in falsche Hände gelangen.
- Produktionsanlagen wird man entweder still legen oder Safeguards unterstellen. Aber auch einige dieser Produktionsanlagen enthalten sensitive Informationen. Außerdem ist es schwierig, sie nachträglich an Safeguards anzupassen, im Gegensatz zu modernen Produktionsanlagen in NKWS, die von vornherein so geplant wurden, dass Safeguards möglichst einfach und effektiv sind.
- Weiterhin muss die Verifikation sicherstellen, dass nicht von Anfang an Anlagen übersehen werden, oder dass unbeobachtet neue gebaut werden. Einige zentrale Verifikationsmethoden in NKWS, wie z.B. Materialbuchhaltung, funktionieren nur unzulänglich in einem Kernwaffenstaat, solange ihm noch Ausnahmen erlaubt sind.

Dies sind nur einige Beispiele für die Herausforderungen, die vor uns liegen. Einigen Herausforderungen wird sich die Staatengemeinschaft bald stellen: Ende Mai 2009 gelang es der Genfer Abrüstungskonferenz, eine zwölfjährige Blockade zu durchbrechen und den Beginn von Verhandlungen zu einem Fissile Material Cutoff Treaty (FMCT) zu beschließen. Dieser Vertrag soll jegliche Produktion von Nuklearmaterial für Kernwaffen verbieten. Obwohl viele Meinungsverschiedenheiten erwartet werden, besteht Einigkeit, dass dieses Verbot auch verifiziert werden soll.<sup>11</sup> Die Aufgaben und Probleme der Verifikation eines FMCT ähneln einigen der Übergangsperiode zu einer kernwaffenfreien Welt. Ein FMCT ist daher ein wichtiger Meilenstein auf dem Weg zu einer kernwaffenfreien Welt, dessen Bedeutung zur Zeit noch völlig unterschätzt wird. Ein Streitpunkt zum FMCT ist die Frage, ob er auch das schon existierende Nuklearmaterial erfassen soll oder nicht. Aber selbst wenn dieses im Vertrag nicht berücksichtigt werden sollte und selbst wenn die Verifikation noch lückenhaft sein sollte, wird man aus der FMCT-Verifikation viele Lehren für die Übergangsphase zu einer kernwaffenfreien Welt ziehen können. Darüber hin-

<sup>11</sup> Die Bush-Regierung war von dem Ziel der Verifikation eines FMCT abgerückt, aber die Obama-Regierung hat diese Entscheidung revidiert. Zur Verifikation eines FMCT siehe Schaper 2001.

aus wird dieser Vertrag dafür sorgen, dass sich auch die Kernwaffenstaaten international kontrollieren lassen müssen. Dies ist ein Paradigmenwechsel, denn die Kernwaffenstaaten (KWS) betrachteten ihre zivile Nuklearindustrie bisher als nationale Angelegenheit und sahen es nicht als ihre Pflicht an, der internationalen Gemeinschaft Rechenschaft abzulegen.<sup>12</sup>

Ein Schwerpunkt dieses Reports sind die Herausforderungen der Übergangsperiode und die Voraussetzungen und nächsten Schritte, die den Einstieg in die Verifikation der nuklearen Abrüstung erleichtern. Er beschreibt die Aufgaben, die die Verifikation leisten muss, und zeigt technische und politische Wege auf, die zu einer Lösung dieser Aufgaben führen können. Er identifiziert außerdem Probleme, die noch weiterer detaillierter Analyse bedürfen und zeigt, wie weit diese auch den FMCT betreffen.

Das erste Kapitel ist ein Überblick über die heute existierenden Materialien, die für Kernwaffen genutzt werden können. Ich kategorisiere sie auf zwei verschiedene Weisen, nämlich einmal anhand technischer und einmal anhand politischer Kriterien. Das zweite Kapitel untersucht, wie man die heute angewandten Verifikationsmethoden auf den Übergang zu einer kernwaffenfreien Welt ausweiten kann. Das letzte Kapitel beschreibt die besonderen Probleme und Herausforderungen und illustriert einige Wege, wie sie gelöst werden könnten.

## 2. Kategorien von kernwaffentauglichen Materialien

Die Nuklearmaterialien, die in der Vergangenheit für Kernwaffen genutzt wurden, sind Plutonium und HEU. Die heute existierenden Mengen – sowohl für Kernwaffen als auch für andere Zwecke – würden für Tausende von Sprengköpfen ausreichen. Es gibt auch andere Isotope, die waffentauglich sind, insbesondere Uran-233, Neptunium-237 oder Americium-241, aber nur in vergleichsweise kleinen Mengen. Prinzipiell muss die Verifikation auch sie berücksichtigen. Die Abrüstung konzentriert sich aber vor allem auf Pu und HEU.<sup>13</sup>

Man kann die verschiedenen Nuklearmaterialien anhand diverser Kriterien einteilen. In diesem Kapitel verwende ich zwei Kategorisierungen: Die erste ist die technische Tauglichkeit für Kernsprengköpfe. Die zweite ist die frühere und jetzige Verwendung des Materials und damit seine politische Bedeutung. Die unterschiedliche Einteilung impliziert auch ein unterschiedliches Verständnis von „Abrüstung“ von Nuklearmaterial.

12 Frankreich und Großbritanniens Nuklearindustrie ist von dieser Betrachtung ausgenommen, denn sie wird bereits von Euratom kontrolliert.

13 Für einen quantitativen Überblick siehe Anhang II: Inventare waffentauglicher Materialien.

## 2.1 Technische Einteilung von Kernmaterialien

### 2.1.1 Plutonium

Plutonium findet sich nicht in der Natur, sondern entsteht künstlich durch Kernreaktionen, wenn Uran-238 einem Neutronenbeschuss ausgesetzt wird. Dies kann in einem Kernreaktor oder in einer anderen Neutronenquelle geschehen. Mittels der sogenannten *Wiederaufarbeitung* kann man das Plutonium vom Rest der abgebrannten Brennelemente aus einem Reaktor abtrennen. Bei Wiederaufarbeitung handelt es sich um eine Kombination mechanischer, chemischer und Strahlenschutz-Techniken. Im kleinen Maßstab reichen dafür sogenannte *Heiße Zellen*, aber damit erhält man auch nur kleine Mengen. Wiederaufarbeitungsanlagen im Industriemaßstab sind viel größer. Sie sind erforderlich, falls ein Staat ein Nukleararsenal herstellen will oder das Plutonium für die zivile Energiewirtschaft nutzen will. Die für einen einzigen Sprengkopf benötigte Menge sind aber nur wenige Kilogramm.<sup>14</sup>

Normalerweise besteht Plutonium aus einer Mischung verschiedener Isotope, deren Zusammensetzung vom Herstellungsprozess abhängt. Da so gut wie alle Isotopenmischungen waffentauglich sind, stuft die IAEO alle als sogenanntes *unmittelbar verwendbares Material* ein. Für dieses gelten die genauesten Kontrollvorschriften.<sup>15</sup> Früher wurde angezweifelt, ob auch *Reaktorplutonium* aus abgebrannten Brennelementen aus Leistungsreaktoren, das einen beträchtlichen Anteil höherer Isotope enthält, überhaupt für Kernwaffen geeignet sei.<sup>16</sup> Die höheren Isotope sind radioaktiver und so entwickelt sich im Reaktorplutonium mehr Wärme als im sogenannten *Waffenplutonium*, das zum größten Teil nur aus dem vergleichsweise stabilen Pu-239 besteht. Die Wärme und die Radioaktivität stellen technische Komplikationen für jegliche weitere Anwendung dar, sei sie militärisch oder zivil; sie sind jedoch kein unüberwindliches Hindernis für die Verwendung in Nuklearsprengköpfen. Wegen der technischen Nachteile des Reaktorplutoniums ziehen die Kernwaffenstaaten Waffenplutonium vor. Sie produzieren es, indem sie

14 Die IAEO definiert eine Größe namens „signifikante Menge“. Für Plutonium beträgt sie zur Zeit 8 kg. Siehe IAEO Safeguards Glossary, 2001. Die signifikante Menge ist ein juristischer Ausdruck, der Konsequenzen für Safeguards-Vorschriften hat. Sie ist ein Kompromiss zwischen einer möglichst großen Zuverlässigkeit der Safeguards einerseits und den Kosten andererseits. Der Ausdruck „kritische Masse“ ist dagegen physikalisch definiert: Es handelt sich dabei um die Masse einer Kugel mit Normaldichte, in der die Neutronenzahl während einer Kettenreaktion gerade konstant bleibt. Für Pu-239 sind dies ungefähr 10 kg. Die „Masse des Spaltmaterials“ in einem Sprengkopf kann sich von diesen Größen unterscheiden. Er wird während der nuklearen Detonation komprimiert und hat daher nicht mehr die Normaldichte. Außerdem ist er von einem Reflektor umgeben, und die Neutronenzahl bleibt nicht konstant, sondern steigt stark an. Daher ist die Masse des Nuklearmaterials in einem Sprengkopf kleiner als die kritische Masse.

15 Außer für Plutonium, das mehr als 80 % Pu-238 enthält und stark radioaktiv ist, IAEO Safeguards Glossary 2001. Vgl. auch Anhang I: Nuklearmaterialien, ihre rechtliche Einstufung durch die IAEO und ihre Rolle bei der Entwicklung von Kernwaffen und

16 Ein historischer Überblick über die Diskussion findet sich in: Kankeleit et al. 1989.

den Uran-Brennstoff im Reaktor nur kurze Zeit dem Neutronenfluss aussetzen. Der Nachteil ist, dass sie auf diese Weise nur geringe Mengen gewinnen. Aus diesem Grund ist dieses Vorgehen unprofitabel in der zivilen Energiewirtschaft. Waffengrädiges Plutonium erhält man aber auch in größeren Mengen aus Schnellen Brutreaktoren oder mittels anderer spezieller Neutronenquellen.

Da die Kernwaffenstaaten Waffenplutonium bevorzugen, wurde behauptet, dass Reaktorplutonium für Sprengköpfe unbrauchbar sei.<sup>17</sup> Diese Debatten fanden jedoch Ende der 80er Jahre ein Ende, weil plausible technische Argumente vorgetragen werden konnten, die erläutern, warum es prinzipiell auch möglich ist, Reaktorplutonium für Waffenzwecke zu verwenden.<sup>18</sup> Heutzutage ist anerkannt, dass jede Plutoniummischung im Prinzip für Kernexplosionen missbraucht werden könnte, außer Pu-238. Die Kernwaffenstaaten müssten allerdings dafür das Design ihrer Sprengköpfe ändern. Das Plutonium aus der nuklearen Abrüstung ist Waffenplutonium, während es sich bei Plutonium aus der zivilen Kernenergie um Reaktorplutonium handelt. In beiden Kategorien existieren Hunderte von Tonnen.

### 2.1.2 Uran

Das andere Isotop, das in großem Umfang für Kernwaffen genutzt wurde, ist Uran-235. Natururan besteht zu 0,7 % aus dem Isotop U-235 und zu 99,3 % aus dem Isotop U-238, das in einer Kettenreaktion nicht gespalten wird. Für Kernwaffen muss der U-235-Anteil stark erhöht werden. Je höher er ist, desto geringer ist die Masse, die für einen Sprengkopf benötigt wird. Kernwaffenstaaten bevorzugen einen U-235-Anteil, der deutlich über 90 % liegt. Aber ein einfacher Sprengkopf ist auch möglich mit einem viel niedrigeren U-235-Anteil, wenn auch mit viel größerer Masse.

Die IAEO bezeichnet Uran mit einer Anreicherung über 20 % als *hochangereichertes Uran* (*highly enriched uranium*, HEU). Uran, dessen Anreicherung darunter liegt, heißt *Schwach angereichertes Uran* (*low enriched uranium*, LEU). HEU fällt wie Plutonium in die Kategorie des *unmittelbar verwendbaren Materials*. LEU und Natururan können nicht direkt für Kernwaffen verwendet werden. Für sie gibt es eigene IAEO-Kategorien mit weniger aufwendigen Safeguards-Regelungen (vgl. Anhänge I und III).

Uran ist weniger radioaktiv als Plutonium und hat eine geringere Neutronenstrahlung. Deshalb können Sprengköpfe aus Uran mit einer simpleren Technik konstruiert werden

17 U.a. fanden diese Debatten im Hessischen Landtag statt, anlässlich eines Genehmigungsverfahrens für eine Mischoxid-Brennelement-Fabrik in Hanau: Hessischer Landtag, 11. Wahlperiode, WTA/11/6, HAA/11/6, 15. Juni 1984.

18 Kankleit et al. 1989. Den entscheidenden Argumentationsfaden, der sich nur auf nicht geheime Quellen stützte, wiederholte später Carson Mark (Mark 1993). Da dieser selbst ein führender Wissenschaftler in der Kernwaffenforschung war, wurde seine Argumentation auch von Nichtphysikern als überzeugende Bestätigung gewertet: Siehe auch NAS 1994, 1995 und 2005.

als aus Plutonium, vorausgesetzt, es ist genügend HEU vorhanden. Es ist daher besonders attraktiv für Missbrauch und benötigt einen entsprechenden Schutz.

Für den Brennstoff gewöhnlicher Leistungsreaktoren verwendet man jedoch nur LEU oder Natururan. Die einzige zivile Anwendung von HEU ist Brennstoff in wenigen speziellen Forschungsreaktoren. Um die Proliferationsgefahren zu reduzieren, bemüht man sich seit Jahren in internationaler Zusammenarbeit, diese Forschungsreaktoren auf LEU umzustellen (Reistad/Hustveit 2008). Darüber hinaus verwenden einige Kernwaffenstaaten HEU als Brennstoff in militärischen U-Boot-Reaktoren. Wenn die Umstellung von Forschungsreaktoren gelungen ist, wird in einer kernwaffenfreien Welt HEU überhaupt nicht mehr benötigt. Die nukleare Abrüstung wird einfacher, und Proliferationsgefahren werden minimiert, wenn man sich bemüht, alles HEU zu eliminieren.

HEU und LEU werden mit *Anreicherungsanlagen* produziert. Es gibt mehrere Varianten dieser Technologie, aber nur zwei im industriellen Maßstab, nämlich die eher uneffektive Gasdiffusion und die moderne Zentrifugenanreicherung. Heimliche Zentrifugenanreicherung lässt sich leichter verstecken als Gasdiffusion.

Ein weiteres Uranisotop ist U-233. Es kommt nicht in der Natur vor, aber entsteht – analog zu Plutonium – durch eine Kernreaktion, wenn Thorium mit Neutronen bestrahlt wird. Es gibt Konzepte für die zivile Nutzung von Thorium und U-233, die prinzipiell auch für Kernexplosionen missbraucht werden können. Bisher ist U-233 aber noch nicht im Industriemaßstab genutzt worden.

### 2.1.3 Andere Isotope und andere Mischungen

Es gibt noch andere Isotope, die für Kernsprengköpfe genutzt werden könnten, insbesondere Neptunium (Np-237). Die Waffentauglichkeit von Americium (Am-241) ist umstritten, weil es sehr radioaktiv ist.<sup>19</sup> Beide, Np und Am, sind in abgebrannten Brennelementen aus Leistungsreaktoren enthalten, aber anders als Plutonium sind diese Elemente noch nicht im Industriemaßstab separiert worden. Mittels Wiederaufarbeitung könnte man größere Mengen gewinnen. Die IAEA hat daher beide Isotope in ihren Safeguards-Regularien berücksichtigt.

Die Energie für eine Nuklearexplosion kann nicht nur aus Kernspaltung, sondern auch aus Kernfusion stammen. Dies ist der Fall in sogenannten *geboosteten* und thermonuklearen Sprengköpfen. Die Materialien, die bei der Kernfusion zum Einsatz kommen, sind Tritium, Deuterium und Lithium. Sie werden auch in der zivilen Fusionsforschung verwendet. Aber Sprengköpfe, die nur mit Fusion funktionieren, gibt es nicht, es ist immer auch ein Energieanteil aus der Kernspaltung dabei. Die Isotope für die Fusion stellen daher noch keine Proliferationsgefahr dar und unterliegen keinen Safeguards-Bestimmungen.

<sup>19</sup> Albright/Kramer 2005; Eine Tabelle mit Eigenschaften von spaltbaren Nukliden findet sich in: Nuclear Energy Research Advisory Committee 2000.

Die bisher betrachteten Isotope können in verschiedenen Mischungen auftreten. Einige kann man direkt für Kernwaffen verwenden, andere mit geringem technischen Aufwand. Zum unmittelbar verwendbaren Material der IAEA gehören nicht nur HEU und Plutonium, sondern auch Mischoxid-Brennstoff (MOX) für zivile Reaktoren, solange es noch nicht bestrahlt ist, denn dann kann das darin enthaltene Plutonium leicht extrahiert werden. Auch durch chemische Verbindungen, z.B. Oxide, ändert sich die IAEA-Klassifikation nicht. Abgebrannte Brennelemente oder LEU fallen dagegen in eine breitere Kategorie, nämlich die des *besonderen spaltbaren Materials*. Zu ihr gehören alle Materialien, die irgendwelche spaltbaren Isotope enthalten, für die aber ein größerer technischer Aufwand nötig ist, bevor sie für eine Kernexplosion missbraucht werden können. Auch besonderes spaltbares Material unterliegt IAEA-Safeguards, wenn auch solchen mit geringerem Aufwand.

Die Tabelle in Anhang I gibt einen Überblick über einige Isotope und Materialien mit ihren verschiedenen IAEA-Kategorien, ihrer Nutzbarkeit für Kernexplosionen, ihren Produktionsmethoden und ihrer zivilen Verwendung. Das Schaubild in Anhang III illustriert verschiedene Brennstoffkreisläufe und die rechtliche Einstufung verschiedener Materialien durch die IAEA.

#### 2.1.4 Was heißt „Abrüstung“ im technischen Sinn?

„Unmittelbar verwendbares Material“, wie es die IAEA passenderweise nennt, lässt sich mit nur geringem technischen Aufwand für Kernwaffen missbrauchen. „Besonderes spaltbares Material“ hingegen, z.B. abgebrannte Brennelemente, Natururan oder LEU, erfordert Wiederaufarbeitung oder Anreicherung, also einen höheren Aufwand. Abrüstung von Plutonium oder HEU im technischen Sinn bedeutet, technische Hürden gegen einen Missbrauch einzubauen, mit anderen Worten, die Menge des unmittelbar verwendbaren Materials zu verringern. Dies kann auf verschiedene Weisen geschehen: Im Fall von HEU gibt es Bemühungen, es mit Natururan oder abgereichertem Material zu verdünnen, um LEU für zivile Kernreaktoren zu gewinnen (Potter 2008). Im Fall von Plutonium gibt es Überlegungen in eine ähnliche Richtung. Am weitesten gediehen ist das Szenario, das Plutonium für MOX-Brennstoff zu verwenden. Nach der Bestrahlung im Reaktor würde Wiederaufarbeitung erforderlich, um es doch noch für Kernwaffen zu missbrauchen. Allerdings sind das eher langfristige Maßnahmen für die Abrüstung, da es Jahrzehnte und immensen finanziellen Aufwand erfordern wird, bevor solche Projekte zum Abschluss kommen.

## 2.2 Politische Einteilung von Kernmaterialien

In Diskussionen zum Verbotstatbestand eines FMCT gibt es Uneinigkeit, ob der Vertrag nur die zukünftige Produktion von waffentauglichen Materialien verbieten soll, oder ob er auch die schon existierenden Materialien betreffen soll, also ob er auch Abrüstung vorschreiben soll. Einigkeit besteht darüber, dass er sich nur mit Nuklearmaterialien für Waffenzwecke befassen und die zivile Nuklearindustrie nicht berühren soll. Das oben beschriebene Verständnis von „Abrüstung im technischen Sinn“ ist für den FMCT daher ungeeignet, denn es kategorisiert Nuklearmaterialien nur nach ihrer Waffentauglichkeit,

nicht jedoch nach ihrer wahren Zweckbestimmung. Es gibt mehrere Länder, die Plutonium für zivile Zwecke nutzen wollen und es ablehnen würden, dieses „abrüsten“ zu müssen, was eine Konsequenz des technischen Verständnisses wäre. Eine andere Auffassung von Abrüstung, die sich mehr auf die wahre Zweckbestimmung von Nuklearmaterialien und ihre daraus resultierende politische Bedeutung bezieht, wäre daher sinnvoller in Diskussionen zum FMCT und in Überlegungen zu nuklearer Abrüstung.

Zu diesem Zweck stelle ich in diesem Abschnitt eine andere Einteilung vor: Kernmaterialien können unter internationalen Safeguards stehen, sie können offiziell als überschüssig für militärische Zwecke deklariert sein oder nur inoffiziell als überschüssig angesehen werden, sie könnten als U-Boot-Brennstoff eingeplant sein, oder sich in Kernwaffen und im technischen Kreislauf für Waffenzwecke befinden.<sup>20</sup>

### 2.2.1 Kernmaterialien unter Safeguards

In einer kernwaffenfreien Welt muss sichergestellt werden, dass jeder Versuch des Missbrauchs von Kernmaterial für Kernexplosionen frühzeitig entdeckt wird. Die Mittel hierfür sind internationale Safeguards. Unabhängig davon, ob Nuklearmaterial aus ehemaligen Kernwaffen direkt entsorgt oder für zivile Zwecke umgewidmet wird, solange es unter Safeguards steht und damit garantiert ist, dass ein Missbrauch für Explosivzwecke mit hoher Wahrscheinlichkeit und zeitnah entdeckt werden kann, kann es als „abgerüstet“ betrachtet werden. Selbstverständlich muss das Prinzip gelten, dass Safeguards irreversibel sind, dass also eine Wiederverwendung für Waffen verboten ist.

Mehrere Länder verwenden Plutonium in großen Mengen für zivile Energiegewinnung. Der größte Anteil dieses zivilen Plutoniums ist reaktorgrädig. Sollte es zu einer intensiven Nutzung Schneller Brüter kommen, werden diese auch waffengrädiges Plutonium in größeren Mengen produzieren. Es gibt Länder, die die zivile Plutoniumnutzung ablehnen und abgebrannte Brennelemente direkt entsorgen wollen, aber andere streben geschlossene Brennstoffkreisläufe mit Schnellen Brütern an. Da es ein breites Spektrum verschiedener Energiepolitiken gibt, die sich zum Teil widersprechen, geht dieser Report davon aus, dass die nukleare Abrüstung unabhängig von zivilen Nutzungsplänen erfolgen sollte, und dass auch in einer kernwaffenfreien Welt die zivile Nutzung von Plutonium möglich sein sollte. Ein weltweiter Konsens zur Abrüstung wäre sonst nicht möglich.<sup>21</sup>

20 Mengenangaben, die heute bekannt sind, finden sich auf der Webseite des Institute for Science and International Security, Global Stocks of Nuclear Explosive Materials, [http://isis-online.org/global\\_stocks/end2003/tableofcontents.html](http://isis-online.org/global_stocks/end2003/tableofcontents.html) (2.7.2009). Für eine Zusammenfassung siehe Anhang II: Inventare waffentauglicher Materialien.

21 Es gibt Überlegungen zu neuartigen Brennstoffkreisläufen, die proliferationsresistenter sind, so zum Beispiel offene Kreisläufe, in denen unmittelbar verwendbares Material nicht vorkommt. Während es empfehlenswert ist, Proliferationsgefahren mit neuen Technologien zu verringern, geht die Diskussion der Proliferationsresistenz über das Thema dieses Reports hinaus.

Dies ist jedoch nicht so mit HEU. Die einzige zivile Nutzung von HEU ist als Brennstoff in einer geringen Zahl von Forschungsreaktoren. Die meisten Forschungsreaktoren werden ohnehin mit LEU betrieben, und seit längerem gibt es weitgehend erfolgreiche Bemühungen, die restlichen von HEU auf LEU zu konvertieren. Es ist wahrscheinlich, dass sich die zivile Nutzung von HEU einem Ende zuneigt, wenn der letzte HEU-Forschungsreaktor stillgelegt wird. HEU ist wegen seiner geringen Radioaktivität und seiner einfachen technischen Handhabbarkeit das am leichtesten zu missbrauchende unmittelbar verwendbare Material. Die Detektion geschmuggelten HEUs ist dagegen sehr schwierig, im Gegensatz zu Plutonium. Die Verifikation einer kernwaffenfreien Welt wäre einfacher, wenn jegliche Nutzung von HEU – zivil oder militärisch – beendet würde. HEU kann mit abgereichertem oder Natururan zu LEU verdünnt werden.

Das unmittelbar verwendbare Material im Besitz von NKWS ist vor allem MOX, Plutonium für die Produktion von MOX und geringe Mengen von HEU für Forschungsreaktoren. Der größte Teil des Nuklearmaterials unter Safeguards ist nicht unmittelbar verwendbares, sondern besonderes spaltbares Material, nämlich LEU und abgebrannte Brennelemente.

Frankreich und Großbritannien sind die einzigen Kernwaffenstaaten, deren gesamter Brennstoffkreislauf unter Safeguards zumindest von Euratom stehen, wenn auch nicht unter denen der IAEO. Euratom-Safeguards sind genauso gründlich wie die der IAEO.<sup>22</sup> Derzeit haben alle Kernwaffenstaaten (KWS) die Möglichkeit, Kernmaterial und -anlagen IAEO-Safeguards zu unterstellen, aber sie haben auch das Recht, diese wieder zurückzuziehen. In der Vergangenheit sind Safeguards in KWS nur in einem sehr geringen Maß angewandt worden. Nur die USA und Großbritannien haben bisher HEU und Plutonium aus der Abrüstung IAEO-Safeguards unterstellt, und auch nur wenige Tonnen, obwohl Hunderte von Tonnen als überschüssig gelten.<sup>23</sup> Nach Abschluss eines FMCT, selbst wenn er nur zukünftig zu produzierende Materialien regelt, würde dieses in die Kategorie der Kernmaterialien unter Safeguards fallen.

### *2.2.2 Zivile Kernmaterialien und als überschüssig deklariertes Material ohne Safeguards*

Die USA, Russland, China, Indien, Pakistan und Israel besitzen große Bestände von zivilem Kernmaterial ohne internationale Safeguards. Der größte Anteil sind LEU und abgebrannte Brennelemente wie in der zivilen Industrie der NKWS. Außerdem sind die USA und Russland im Besitz großer Mengen von HEU und Plutonium, die sie offiziell als überschüssig für Waffenzwecke deklariert, aber noch keinen Safeguards unterstellt haben.

22 Euratom hat sogar noch mehr Zugangsrechte als die IAEO, und es hat im Gegensatz zur IAEO die Möglichkeit, Sanktionen zu verhängen.

23 Vgl. Anhang II: Inventare waffentauglicher Materialien.



Das meiste stammt aus abgerüsteten Sprengköpfen oder aus der Sprengkopffabrikation. Einiges ist auch ziviles HEU, das die USA aus anderen Ländern reimportiert haben.<sup>24</sup>

Die USA und Russland kooperieren mit einigen anderen Staaten, um diese Materialien abzurüsten, und zwar im oben beschriebenen technischen Sinn: HEU soll vor allem zu LEU verdünnt und auf den zivilen Markt gebracht werden. Das Vorgehen beim Plutonium wurde jahrelang diskutiert und studiert (NAS 1995). Wichtig hierbei sind nicht nur die technische Machbarkeit, Kosten und Nichtverbreitung, sondern auch die Akzeptanz und Debatten über die Zukunft der Kernenergie. Am realistischsten und fortgeschrittensten erscheint die Option, das Plutonium in Form von MOX in der zivilen Kernenergie zu verwenden. Die konkrete Umsetzung steht noch an ihrem Beginn.

Vor allem aus wirtschaftlichen und technischen Gründen werden diese Projekte vermutlich Jahrzehnte dauern, und die konkreteren Details sind zum Teil noch gar nicht klar. In der Zwischenzeit wird das Material gespeichert, mit dem Risiko der Wiederaufrüstung und Weiterverbreitung. Daher wären irreversible internationale Safeguards eine wichtige und schneller zu implementierende Abrüstungsmaßnahme. Ein FMCT würde festlegen, dass Nuklearmaterial, wenn es erst mal Safeguards unterstellt wird, diesen nicht mehr entzogen werden darf.

Die Forderung nach universellen Safeguards ist nicht neu: Absichtserklärungen hat es schon bei verschiedenen Gelegenheiten gegeben, so 1996 auf dem G8-Gipfel in Moskau,<sup>25</sup> in den *Richtlinien zum Umgang mit Plutonium* von 1997 (INFCIRC/549), auf die sich die wichtigsten plutoniumnutzenden Staaten geeinigt haben, und auf der NVV-Überprüfungskonferenz im Mai 2000:<sup>26</sup> „Wir sind entschlossen, spaltbare Materialien, die von uns als überschüssig für Verteidigungszwecke ausgewiesen sind, der Internationalen Atomenergie-Organisation (IAEO) oder einer anderen einschlägigen internationalen Verifikation zu unterstellen, sobald dies praktikabel ist.“ Dasselbe forderte auch der EU-Ministerrat auf der gleichen Überprüfungs-konferenz.<sup>27</sup> Auch mehrere Resolutionen der VN-Generalversammlung wiederholten die Forderung, zuletzt im November 2001.<sup>28</sup> Allerdings ist der Schlüssel in dieser Formulierung der Ausdruck „praktikabel“. Er ist nicht definiert und kann auf vielerlei Weisen interpretiert werden. So impliziert die Zu-

24 Um die Verbreitung des ursprünglich von den USA in andere Länder gelieferten HEU zu minimieren, betreiben die USA ihr sogenanntes „take back program“: Albright/Kramer 2005.

25 Moscow Nuclear Safety and Security Summit Declaration, April 20, 1996, para 25.

26 Letter dated 1 May 2000 from the representatives of France, China, Russia, the UK and the US addressed to the President of the 2000 Review Conference of the Parties to the Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons, [www.basicint.org/nuclear/NPT/2000revcon/MC3ChairReportMay12.htm](http://www.basicint.org/nuclear/NPT/2000revcon/MC3ChairReportMay12.htm) (2.7.2009).

27 Council Common Position of 13 April 2000 relating to the 2000 Review Conference of the Parties to the Treaty on the Non-proliferation of Nuclear Weapons Official Journal L 097, 19/04/2000 p. 0001 (Document 400X0297)), Article 2 (2 i).

28 Resolution 56/24N of the UN General Assembly, 29 November 2001: A Path to the Total Elimination of Nuclear Weapons.

sage nicht unbedingt baldige Aktionen. Und tatsächlich ist seit Jahren kein erfolgreicher Versuch bekannt geworden, Safeguards für überschüssiges Material etwas realistischer erscheinen zu lassen. Die USA und Russland haben in den 90er Jahren einige Versuche unternommen, sich auf mehr Transparenz ihres Nuklearmaterials zu einigen, diese jedoch nie zum Erfolg gebracht (Bunn 2000: 47). Im Gegenteil, in Diskussionen zum FMCT weigern sich Diplomaten der KWS kategorisch, irgendwelche Verpflichtungen zu schon existierendem Material überhaupt in Betracht zu ziehen.

Hierfür gibt es viele Gründe. Einer, der oft gegen Transparenz von Nuklearbeständen angeführt wird, betrifft sensitive<sup>29</sup> Informationen (Schaper 2004): Kernmaterial aus der Abrüstung befindet sich zunächst in Formen, die zuviel Informationen über die Konstruktion von Sprengköpfen preisgeben würden. Bevor die KWS internationale Safeguards akzeptieren können, müssen sie ihr Material in andere Formen überführen. Hierzu sind die technischen Abrüstungsmaßnahmen geeignet, die in Abschnitt 2.1.4 beschrieben sind.

### *2.2.3 Überschüssiges Kernmaterial, das noch nicht als solches ausgewiesen ist*

Die KWS haben nicht alle ihre überschüssigen Bestände als solche deklariert. Seit dem Ende des Kalten Krieges sind Tausende von Sprengköpfen abgerüstet und Hunderte von Tonnen Kernmaterial frei geworden, weit mehr als offiziell als überschüssig erklärt. Einiges HEU wollen die Amerikaner als Schiffsbrennstoff reservieren, aber darüber hinaus gibt es auch noch beträchtliche Mengen von Plutonium.

Offizielle Deklarationen dieser Bestände und Transparenz zugehöriger Daten sind die erste Voraussetzung für internationale Safeguards. Informationen, die dazu benötigt werden, sind: Mengenangaben zum Plutonium und HEU, die nach verschiedenen Kategorien eingeteilt sind, und zwar einmal genauer aufgeschlüsselt nach der Verwendung, z.B. „Reservematerial“, „benötigt für Sprengkopfwartung“, und „noch in militärischen Beständen aber überschüssig“; und einmal aufgeschlüsselt nach Isotopen- und chemischer Zusammensetzung, und physischen Formen, z.B. in Sprengköpfen, Fabrikationsreste usw. Weitere Angaben sind Orte, z. B. Sprengkopffabriken, Lager oder andere Entsorgungsprozesse, darüber hinaus zivile Bestände und Brennstoff für Schiffe. Dokumentationen zu früherer Produktion sind hilfreich als Vorbereitung für eine vollständige Erfassung aller Bestände. Heutzutage sind die Besitzer dieser Informationen allerdings noch der Ansicht, sie seien zu heikel für eine Veröffentlichung.

Die Mengen in der Kategorie „Überschüssiges Kernmaterial, das noch nicht als solches ausgewiesen ist“ übersteigen die Mengen des schon deklarierten Materials. Sie sind eine Reserve für eine potentielle Wiederaufrüstung. Der nächste Schritt für weitere Abrüstung sollte deshalb darin bestehen, mehr Material als überschüssig zu deklarieren und diese Deklarationen irreversibel zu machen. Hierfür ist ein rechtliches Instrument erforderlich.

29 Siehe Fußnote 41.

Material, das einmal als überschüssig ausgewiesen worden ist, darf nie wieder für Explosivzwecke genutzt werden. Der nächste Schritt wären dann internationale Safeguards. Es gibt Staaten, die fordern, dass ein FMCT auch solches, schon vor Inkrafttreten existierende Material berücksichtigen soll. Andere lehnen diese Forderung vehement ab. Auf dem Weg zu einer kernwaffenfreien Welt werden Regelungen nötig werden. Dieses könnte aber auch durch einen anderen Vertrag als den FMCT geschehen.

#### 2.2.4 *Schiffs-Brennstoff*

Die U-Boote der USA und Großbritanniens werden mit zu 97 % angereichertem HEU betrieben. Dieses wäre direkt für Kernwaffen nutzbar. Die USA haben 100 Tonnen für diesen Zweck reserviert. Die Anreicherung des Brennstoffs für russische Atom-U-Boote und Eisbrecher wird auf 20 -90 % geschätzt, wobei der größte Anteil zwischen 21 % und 45 % liegt, mit nur wenigen Ausnahmen (Bukharin 1996). Die Menge des britischen U-Boot-HEU wird auf 5 -7 t geschätzt (Albright et al. 1997). Frankreich hat immer LEU mit einer mittleren Anreicherung von 7 % verwendet (Albright et al. 1997). China verwendet vermutlich ebenfalls nur LEU (Gronlund et al. 1995).

Militärische U-Boote werden mit Kernreaktoren angetrieben, weil diese am leisesten sind und jahrelang ohne Wartung oder Brennstofferneuerung fahren. Mit HEU statt LEU können die Reaktoren besonders kompakt gebaut werden. Zur Verwendung von HEU in zivilen Forschungsreaktoren gibt es detaillierte Diskussionen. Ein bekanntes Beispiel ist die Debatte zur Verwendung von HEU im Garchingener Forschungsreaktor FRM-II. In ihrem Mittelpunkt standen nicht nur politische sondern auch technische Aspekte, z.B. die Größe des Reaktorkerns oder die mittlere Energie der Neutronen, um deren Bedeutung verschiedene Fachleute stritten.<sup>30</sup> Im Fall von militärischen U-Boot-Reaktoren sind Diskussionen auf vergleichbarem Niveau nicht möglich, weil keinerlei technische Details bekannt sind. Trotzdem kann man annehmen, dass einige Überlegungen zur Umstellung von Reaktoren von HEU auf LEU auch auf Schiffsreaktoren übertragen werden können.

HEU für militärische Nuklearantriebe ist eine besondere Herausforderung beim Übergang zu einer kernwaffenfreien Welt, da es riesige Bestände gibt, die nicht zweckentfremdet werden dürfen. Solange dieses Material einer extremen Geheimhaltung unterliegt, wird man Probleme bei der Verifikation haben. Dieses Problem würde auch einen FMCT betreffen, sofern er nicht verbietet, HEU für Schiffsantriebe zu produzieren, ohne die Verwendung zu verifizieren.

#### 2.2.5 *Kernmaterial für Sprengköpfe*

Solange es noch Kernwaffen gibt, wird es auch Kernmaterial für diesen Zweck geben. Es kann sich in intakten Sprengköpfen, in Komponenten, Reserven oder in der Wartung

30 Schaper 2010; Glaser 2005: Glasers Dissertation war möglich, weil er Zugang zu einer Fülle technischer Informationen über das Konzept des FRM-II hatte.

befinden. Wenn abgerüstet wird, werden weitere Sprengköpfe verschrottet und mehr Material wird überschüssig und in die oben beschriebenen Kategorien transferiert.

### 2.2.6 Was heißt „Abrüstung“ im politischen Sinn?

Im Sinn der Einteilung in diesem Kapitel ist abgerüstetes Kernmaterial solches, das nicht mehr für Kernwaffen verwendet wird. Je stärker die Verpflichtung ist, nicht mehr benötigtes Kernmaterial nicht doch wieder militärisch zu nutzen, desto irreversibler ist die Abrüstung. Im ersten Schritt stellt ein KWS fest, dass er eine gewisse Menge von Kernmaterial nicht mehr benötigt. In nächsten Schritt deklariert er diese Menge offiziell als „überschüssig“ und im letzten Schritt unterstellt er sie internationalen Safeguards. Mit anderen Worten, „Abrüstung“ von Kernmaterial im politischen Sinn ist seine Verschiebung innerhalb der in diesem Abschnitt beschriebenen Kategorien.

Je nach Sichtweise kann es Kernmaterial geben, das im politischen Sinn als „abgerüstet“ betrachtet werden kann, aber nicht im technischen Sinn, und umgekehrt. Verschiedene Staaten können hier unterschiedliche Prioritäten setzen. So bemühen sich z.B. die USA und Russland, die größten KWS, deren Nuklearindustrie kaum internationalen Safeguards unterliegt, um nukleare Abrüstung im technischen Sinn, d.h. um Plutoniumentsorgung und die Verdünnung von HEU zu LEU. Ein anderes Beispiel sind NKWS mit ziviler Nuklearindustrie, die Plutonium nutzt, das unter Safeguards steht. Sie würden die Idee, dass ihre Industrie noch „Abrüstungsmaßnahmen“ benötige, kaum akzeptieren, obwohl sie kooperieren, wenn es um Nichtverbreitung geht, z.B. mit den Bemühungen, die zivile Verwendung von HEU zu minimieren.

Allerdings gibt es zwei Voraussetzungen für die Zweckmäßigkeit einer Definition wie „Abrüstung von Kernmaterial heißt, es irreversibel internationalen Safeguards zu unterstellen“: Erstens müssen die Safeguards glaubwürdig sein, d.h., es muss eine sehr hohe Wahrscheinlichkeit geben, dass jede Abzweigung entdeckt wird, und dass die Bestände korrekt deklariert sind. Zweitens muss die Autorität der Verifikationsbehörde fest etabliert sein und durchgesetzt werden können. Betrügereien müssen so stark abgeschreckt werden, dass sie extrem selten werden. Dies ist bereits der Fall bei der Mehrzahl der NKWS. Es überrascht daher nicht, dass sie keine Probleme mit der politischen Definition von Abrüstung haben. In den KWS und den Staaten außerhalb des NVV muss die Autorität der IAEA allerdings erst etabliert werden.

## 3. Ausweiten der etablierten Verifikationsmethoden

Wenn der Abrüstungsprozess vollzogen ist, muss die Verifikation der Nichtproduktion und Nichtabzweigung weitergehen, aber sie wird einfacher und denen in NKWS ähneln. Internationale Safeguards gibt es fast schon so lange wie die zivile Nutzung der Kernenergie. Die Gründung von IAEA und Euratom 1957 war durch den Wunsch nach Nutzung ziviler Kernenergie ohne Proliferationsgefahren motiviert. Von Anfang an unterstellten die Gründer von Euratom ihre zivile Nuklearindustrie Safeguards (Müller 1990). In einigen Mitgliedsstaaten, so z.B. in Deutschland, hat es nie Kernenergie ohne Safeguards ge-

geben, und ihre Qualität hat sich im Laufe der Jahre stetig verbessert. Inzwischen werden Safeguardserfordernisse schon während der Designphase eines Nuklearsystems berücksichtigt. Dies ist auch der Fall in den beiden Kernwaffenstaaten Großbritannien und Frankreich. Ein anderes Resultat ist soziologischer Natur: Für die Industrie, die Entscheidungsträger und die Öffentlichkeit sind Safeguards inzwischen eine Selbstverständlichkeit. Die nukleare Kultur basiert auf der Annahme, dass Kernmaterialien eine Angelegenheit internationaler Verantwortung und keine rein nationale Angelegenheit sind. Je länger sich die Nuklearindustrie schon an Safeguards gewöhnt hat, desto selbstverständlicher ist diese Haltung. In der langen Geschichte der Safeguards wurden Methoden weiterentwickelt und verbessert, und es gibt eine weltweite große Community von Safeguardsexperten.

Es gibt verschiedene Verifikationsmethoden, die in Synergie von der IAEO in NKWS verwendet werden. Dieses Kapitel gibt einen Überblick über die etablierten Methoden und zeigt auf, wie sie auch in abrüstenden KWS angewendet werden können. Der erste Teil widmet sich verschiedenen Methoden, der zweite verschiedenen Anlagentypen.

### **3.1 Verifikationsmethoden in NKWS und ihre mögliche Anwendung in ehemaligen KWS**

#### *3.1.1 Materialbuchhaltung*

Jeder NKWS gibt regelmäßige Deklarationen über seine Bestände und Nuklearanlagen ab, und die IAEO verifiziert, ob diese korrekt und vollständig sind. Die Deklarationen umfassen den operativen Status und viele technische Details einer Anlage sowie detaillierte Angaben über Produktion und Inventare. Dies alles wird von der IAEO überprüft.

Falls die Nuklearindustrie eines Staates schon lange von IAEO-Safeguards begleitet wurde, sind die Messfehler klein und das Vertrauen in die Vollständigkeit der Materialbuchhaltung groß. Falls die Verifikation neu einsetzt, ist die erste Aufgabe, das Nuklearinventar vollständig zu erfassen. Es gibt historische Präzedenzfälle, vor allem Südafrika (von Baeckmann 1995). Hier gab es zunächst Diskrepanzen zwischen Deklarationen und Messungen. Die Deklarationen basierten auf Dokumentationen der bisherigen Produktion. Es schien, als ob signifikante Mengen von U-235 fehlen würden. Es war jedoch möglich, diese aufzuspüren: Sie befanden sich im abgereicherten Uran, das bei der Anreicherung angefallen war. Dieser Erfolg war möglich, weil das gesamte Uraninventar erfasst wurde, nicht nur die angereicherten Bestände. Aus diesem Fall kann die Lehre gezogen werden, dass die Materialbuchhaltung nicht nur alles HEU und LEU, sondern das gesamte Nuklearinventar einbeziehen muss. Heute ist die Vollständigkeit der südafrikanischen Materialbuchhaltung allgemein akzeptiert.

Kann dieses Beispiel auf die zukünftige Aufgabe, das Nuklearmaterial der Kernwaffenstaaten zu erfassen, übertragen werden? Skeptiker könnten drei Einwände anführen: Erstens sind die Mengen viel größer als im südafrikanischen Fall, insbesondere in den USA und Russland. Zweitens war ihre Produktion viel komplexer. Sie zog sich über Jahrzehnte hin und fand an vielerlei Orten mit verschiedenen Technologien statt. Drittens ist

die Dokumentation der Produktion wahrscheinlich unvollständig, und eine Rekonstruktion wird vermutlich unbefriedigend bleiben.

Zum ersten Einwand lässt sich entgegnen, dass die Methoden der Inventarmessung für kleine oder für große Bestände die gleichen sind. Verschiedene Zusammensetzungen sind kein Hindernis. Sie werden außerdem stetig verbessert und weiterentwickelt und in der zivilen Nuklearindustrie erprobt, die ebenfalls sehr komplex ist. Ein vielversprechender Ansatz, frühe Produktion zu erfassen, ist die „nukleare Archäologie“ (Fetter 1993): Spezielle Isotope in Reaktorkomponenten, Wiederaufbereitungsanlagen oder Restbeständen aus den Anreicherungen können benutzt werden, um vergangene Produktionen zu rekonstruieren. Allerdings können Fehler bei dieser Methode viel größer als eine signifikante Menge sein.

Auch der zweite Einwand, der der Komplexität der Aufgabe, ist kein prinzipieller: Eine Voraussetzung für eine Inventarisierung ist allerdings, dass sämtliche Orte vergangener Produktion bekannt sind, und dass diese zugänglich sind. Dann kann an jedem Ort das Inventar gemessen werden. Falls es an manchen Orten, z.B. einer ehemaligen Sprengkopffabrik, noch zu sensitive Informationen gibt, müssen diese zunächst entfernt werden. Vorher kann schon sichergestellt werden, dass kein Material unregistriert eine solche Anlage verlässt.

Der dritte Einwand betrifft die Unvollständigkeit und geringe Zuverlässigkeit vergangener Dokumentation. Diese muss man akzeptieren. Dokumentation ist jedoch nicht unerlässlich, wenn auch hilfreich. Die wichtigsten Methoden sind physische Messungen. Solange es plausible Erklärungen für Widersprüche zwischen Messungen und Dokumentation gibt, kann trotzdem eine glaubwürdige Materialbilanz erstellt werden. Man muss davon ausgehen, dass die Diskrepanzen viel größer als eine signifikante Menge sein werden. Deshalb sollte man von vornherein verhindern, dass die KWS Kritik an diesen Diskrepanzen fürchten müssen. Denn sonst würden sie sich einer Verifikation oder auch nur besserer Transparenz von vornherein verweigern. Stattdessen sollte man sie vor zu aggressiver Kritik schützen. Im Gegenteil, Geduld und vertrauensvolle Kooperation sind unerlässliche Voraussetzungen für den Erfolg.

Ein vielversprechender Anfang sind die U.S.-Veröffentlichungen ihrer bisherigen Produktion und Verwendung von Plutonium und HEU (US Department of Energy 1996 und 2001). Eine solche nationale Inventarisierung ist der erste Schritt, um internationale Verifikation vorzubereiten. Parallel zur Inventarisierung sollten die KWS auch administrative Prozesse vorbereiten. Dazu gehört das sogenannte *Nationale Buchführungs- und Kontrollsystem für Kernmaterial*, das der IAEO berichtspflichtig ist und das spezifizierten Standards genügen muss.<sup>31</sup>

31 Für die meisten EU-Staaten ist dies Euratom.

Im Fall eines FMCT wird die Materialbuchhaltung umstritten sein, wie Diskussionen zwischen Delegierten seit Jahren zeigen. Auch wenn ein FMCT nur zukünftig zu produzierendes Material erfassen sollte, kann man illegale Abzweigungen besser entdecken, wenn man Inventare erfasst. Es gibt aber Meinungen, die genau dies nicht wollen, inzwischen bekannt als der sogenannte *Focused Approach* für die FMCT-Verifikation.<sup>32</sup> Vertreter des Focused Approach fordern z.B. im Fall einer Anreicherungsanlage, nur zu überprüfen, ob sie so konfiguriert ist, dass sie LEU und nicht HEU produziert. Aber eine Re-Konfiguration könnte sehr schnell erfolgen, so dass die Wahrscheinlichkeit, diese zu entdecken, nicht allzu hoch wäre. Wenn hingegen auch die Menge und Zusammensetzung des ein- und ausgehenden und des enthaltenen Inventars verifiziert würde, wäre die Entdeckungswahrscheinlichkeit höher. Focused-Approach-Vertreter fordern auch, auf die Erfassung des Inventars von Leistungsreaktoren zu verzichten. Tatsächlich ist aber die Verifikation des Inventars von Leistungsreaktoren sehr einfach und leicht zu automatisieren. Sie würde die Materialbuchhaltung in Wiederaufarbeitungsanlagen vereinfachen.<sup>33</sup> Es ist daher dringend zu empfehlen, auch schon bei der FMCT-Verifikation die bewährte Technik der Materialbuchhaltung miteinzubeziehen.

### 3.1.2 Technische Mittel zur Eingrenzung und Beobachtung

Damit die IAEO jede Aktion in einer Nuklearanlage entdecken kann, installiert sie verschiedene technische Mittel wie Siegel, Detektoren, Monitore und Kameras. Diese Methoden werden üblicherweise zusammenfassend mit dem Namen *Eingrenzung und Beobachtung* bezeichnet. Es gibt Unterschiede in verschiedenen Anlagen: So wird z.B. in einem Leichtwasserreaktor der Behälter des Reaktorkerns nur selten geöffnet, so dass es möglich ist, ihn zu versiegeln. Brennelemente können leicht gezählt und inventarisiert werden. Dies ist in einer Anlage mit Kernmaterial in offener Form, wie z.B. Anreicherungs- oder Wiederaufarbeitungsanlagen nicht so einfach: Dort gibt es verschiedene Materialströme mit unterschiedlichen Zusammensetzungen, die – zum Teil automatisierte – Messungen an etlichen Stellen erfordern. Dieser Aufwand schlägt sich in Kosten nieder.

### 3.1.3 Inspektionen und geregelter Zugang

Ein weiteres Element der Verifikation sind Inspektionen. Inspektoren kontrollieren die technische Überwachung und nehmen Materialproben. Insbesondere überprüfen sie die Materialbuchhaltung. Die Einzelheiten der Aktivitäten hängen stark von der Art der Anlage ab und umfassen Kombinationen von:

1. Beobachtungen und Messungen;
2. Installation von Siegeln, Detektoren, Monitoren, Kameras und weiteren Apparaturen;

<sup>32</sup> Bragin/Carlson 2000.

<sup>33</sup> Zur Erläuterung: Das in Wiederaufarbeitungsanlagen eingehende Material sind abgebrannte Brennelemente aus Leistungsreaktoren.

3. Prüfung von Berichten;
4. Messungen, um die Materialbuchhaltung zu kontrollieren;
5. Entnahme von Umweltproben, die an ein Labor zur Analyse geschickt werden.<sup>34</sup>

Es gibt verschiedene Varianten des Betriebszustandes einer Anlage, die Auswirkungen auf den Verifikationsaufwand haben. Im Fall einer stillgelegten Anlage ist dies weniger als bei einer Anlage im Stand-by-Zustand, die den Betrieb jederzeit wieder aufnehmen kann oder gar einer Anlage, die in Betrieb ist.

Die rechtliche Grundlage für die IAEO-Safeguards in NKWS ist der Modellvertrag INFCIRC/153. Man unterscheidet *Ad-Hoc-*, *Routine-* und *Sonderinspektionen*. Die meisten Inspektionen sind Routineinspektionen in Anlagen, für die es jeweils Vereinbarungen über die Durchführung gibt, sogenannte *facility attachment*-Vereinbarungen. Falls eine solche Vereinbarung fehlt, spricht man von Ad-Hoc-Inspektionen. Sonderinspektionen führt die IAEO nur dann durch, wenn sie die vorliegenden Informationen für noch unzureichend einschätzt (Fischer/Stein 1999). Später wurden die Rechte der IAEO erweitert, mit dem sogenannten *Zusatzprotokoll* INFCIRC/540. Es ist noch nicht von allen NVV-Mitgliedern ratifiziert. U.a. erlaubt es auch kurzfristig einen Zugang über die deklarierten Stätten hinaus.

Zusammen mit dem Zusatzprotokoll wurde das Konzept des *geregeltten Zugangs* (*managed access*) eingeführt (Fischer/Stein 1999). Es ermöglicht einen Zugang der Inspektoren auch zu Orten mit geheimer kommerzieller Information, wobei Prozeduren ausgehandelt werden, die diese Informationen einerseits schützen, aber andererseits klären, ob illegale Aktivitäten stattfinden oder nicht.

#### 3.1.4 Soziale Verifikation und nationale Aufklärung

Soziale Verifikation zielt, im Gegensatz zur traditionellen Verifikation, auf die Mitarbeit der gesamten Bevölkerung eines Staates ab. Sie ist, anders als die oben beschriebenen Methoden, nicht vertraglich geregelt. Trotzdem trägt sie zu den anderen Methoden bei und kann mitunter eine Schlüsselrolle spielen.

Soziale Verifikation bedeutet, dass die Bürger ermutigt werden, alle Informationen über Vertragsverletzungen der internationalen Behörde zu melden. Dies wäre nicht nur das Recht, sondern auch die Pflicht jeden Bürgers und müsste in die Gesetzgebung aufgenommen werden (Rotblat 1993, Blackaby 1996). Allerdings lehnen viele Staaten gerade diese Idee ab. In der Praxis sind Informanten oft Mitarbeiter, die durch ihre Arbeit von einem geheimen Projekt erfahren. Für sie müssten Schutzmaßnahmen eingerichtet werden, um persönliche Risiken zu vermeiden, insbesondere für Bürger nichtdemokratischer Staaten. Beispiele für solche Maßnahmen sind Rechtsbeistand und soziale Fonds oder typische Geheimdienstmethoden zum Schutz von Informanten.

34 Das IAEO Safeguards Analytical Laboratory in Seibersdorf, Österreich.



In demokratischen Staaten stehen die Chancen gut, dass Betrug bei der Abrüstung entdeckt wird. Eine freie Presse spielt dabei eine wichtige Rolle. Falls ein Vertragsmitglied die Absicht hätte, zu betrügen und undeklariertes Nuklearmaterial zurückzuhalten, müsste es dabei auf sorgfältige und extreme Geheimhaltung achten. Das technische Personal müsste entsprechend ausgewählt und kontrolliert werden. Mit Methoden wie Indoktrination und Einschüchterung sowie Belohnungen und Ehrung würden die Initiatoren des Betrugs versuchen, soziale Verifikation zu verhindern. Um den wahren Zweck der Aktivitäten zu verschleiern, wäre außerdem ein Legenden- und Lügengebäude erforderlich, das auch technisch plausibel und konsistent sein müsste. Anforderungen an die Konsistenz der verschiedenen technischen Angaben sind hoch. Beispielsweise erweckte Nord-Korea Verdacht, weil seine technischen Erklärungen der IAEO-Analyseresultate inkonsistent waren. Der Betrug muss mit allen Beteiligten koordiniert werden. Es wird unvermeidlich bleiben, dass wichtige Mitarbeiter sich bewusst sind, gegen die Gesetze, die das internationale Abkommen implementieren, zu verstoßen.

In einer Demokratie bräuchte man daher Personal sowohl mit technischer Fachausbildung als auch mit krimineller Energie. In nichtdemokratischen Staaten ist dagegen ein Unrechtsbewusstsein nicht unbedingt vorhanden, und es wäre leichter, Betrug zu verschleiern.

Allerdings fürchten gerade undemokratische Staaten die Folgen von sozialer Verifikation. Man darf deshalb nicht damit rechnen, dass bei Verhandlungen alle Teilnehmer bereit wären, soziale Verifikation in einen Vertrag mit aufzunehmen, und es ist zu empfehlen, auf diesem Punkt nicht zu beharren. Stattdessen sollte es reichen, auf Verdachtsmomente mit Inspektionen und Klärungsvorgängen reagieren zu können, ohne dass es genaue Festlegungen auf den Ursprung des Verdachts gibt. Auch das Zusatzprotokoll erlaubt Sonderinspektionen aufgrund von Verdachtsmomenten.

*Nationale Aufklärung (national technical means, NTM)* ist ein weiteres Verifikationsmittel, das Staaten zunächst ohne offizielle internationale Zusammenarbeit anwenden können. Viele Rüstungskontrollverträge sehen diese Möglichkeit ausdrücklich vor, im Gegensatz zu sozialer Verifikation. Beispiel sind Satellitenbeobachtung, Sammeln von Umweltproben, Beobachtung des internationalen Handels. Allgemeiner wird darunter das Sammeln von allen Informationen verstanden, die Aufschlüsse über die Vertragseinhaltung eines Staates ermöglichen. Letztlich gehören dazu auch Informationen aus sozialer Verifikation und von Geheimdiensten, wobei diplomatische Kreise letzteres nicht offiziell zugeben. Diese informellen Methoden erhöhen die Entdeckungswahrscheinlichkeit und tragen zur Abschreckung potentieller Betrüger bei. Auch bei einem FMCT werden sich die Verhandlungsführer vermutlich auf die Erwähnung von NTM einigen.

### **3.2 Verifikationsmethoden in verschiedenen Anlagen**

Verifikationsmethoden können sich je nach Anlagentyp erheblich unterscheiden. Die folgenden Abschnitte beschreiben die wichtigsten Unterschiede.

### 3.2.1 Verifikation von Anlagen, die loses Plutonium verarbeiten

Anlagen mit losem Plutonium sind Wiederaufarbeitungsanlagen und Brennstofffabriken. Loses Plutonium kann direkt für Kernwaffen verwendet werden. Wiederaufarbeitung trennt aus radioaktivem abgebranntem Reaktorbrennstoff verschiedene Elemente voneinander, kann aber verschiedene Isotope des gleichen Elements nicht trennen.<sup>35</sup> Die Mittel sind mechanische und chemische Prozesse zusammen mit Strahlenschutz. Die abgetrennten Materialien werden wiederverwendet, der radioaktive Rest entsorgt. Wiederaufarbeitung hat den Zweck, einige der im abgebrannten Reaktorbrennstoff enthaltene Elemente für zivile oder militärische Zwecke wieder zu verwenden. Diese Elemente sind heutzutage Plutonium und Uran, theoretisch könnten es auch Neptunium, Americium und andere sein. Es wäre prinzipiell möglich, abgebrannte Brennelemente ohne Wiederaufarbeitung zu entsorgen.<sup>36</sup>

Safeguards in Wiederaufarbeitungsanlagen sind komplexer und teurer als in jeder anderen Anlage (Shea 1999). Die Gründe sind erstens die hohe Radioaktivität, die eine Fülle verschiedener Strahlenschutzaktivitäten erfordert, und zweitens die Komplexität der verschiedenen Materialien in abgeschirmten Behältern und Leitungen. Sie enthalten alle Plutonium- und Uranisotope, deren Mengen und Zusammensetzungen gemessen werden müssen, um den Gesamtbestand zu erfassen. Die Safeguards müssen jede illegale Abzweigung entdecken.

In allen Anlagen unter Safeguards gibt es sogenannte *Schlüsselmesspunkte*, in denen das Material in einer Form vorliegt, die die nötigen Messungen erlaubt. Es gibt außerdem sogenannte *Materialbilanzzonen*, in denen die ein- und ausgebrachten Mengen mit festgelegten Verfahren ermittelt werden. So kann man das Inventar jeder Zone und damit der gesamten Anlage bestimmen. Safeguards-freundliche Anlagen haben gut abgegrenzte und ausgestattete Schlüsselmesspunkte und Materialbilanzzonen. Trotzdem ist die Genauigkeit der Ergebnisse begrenzt. Fehler in der Plutoniumbilanz können u.U. eine signifikante Menge übersteigen. Sie haben viele verschiedene technische Ursachen. Die Genauigkeit kann erhöht werden, wenn man Informationen aus der Produktionsgeschichte des eingehenden Reaktorbrennstoffs mit einbezieht. Dafür sind Safeguards und Materialbuchhaltung auch in Reaktoren die Voraussetzung. Dies gilt ebenso für die Verifikation eines FMCT. Ohne Materialbuchhaltung und Berücksichtigung des ein- und ausgehenden Materials, wie es das Konzept des Focused Approach vorschlägt, sind die Messfehler größer und die Verifikation ungenauer.

In Anlagen, die man erst nachträglich unter Safeguards stellt, muss man auch die Schlüsselmesspunkte und Materialbilanzzonen nachträglich einrichten. Es ist nicht klar, ob dies bei jeder Anlage möglich sein wird. Ein historisches Beispiel ist eine britische

35 Vgl. Anhang III: Illustration von Brennstoffkreisläufen.

36 Es gibt ein paar Ausnahmen, in denen aus technischen Gründen eine Wiederaufarbeitung nötig ist.

Wiederaufarbeitungsanlage (B205 in Sellafield), die 20 Jahre nach Inbetriebnahme erfolgreich unter Euratom Safeguards gestellt wurde. Ein Problem bei zukünftigen Fällen könnten sensitive Informationen sein, die der Eigentümer schützen will. Dies ist vor allem bei früheren militärischen Anlagen der Fall, die man zivil weiternutzen will. Mit diesem Problem wird man auch bei der Verifikation eines FMCT konfrontiert werden, selbst wenn man nur dem Konzept des Focused Approach anhängt.

Eine weitere Aufgabe der Verifikation sowohl der Übergangsphase als auch eines FMCT ist es, undeklarierte Wiederaufarbeitung zu entdecken. Dabei werden charakteristische Gase und Partikel frei, die man durch Umweltmessungen aufspüren kann (Kalinowski 2008). Abschirmung geheimer Wiederaufarbeitung ist nur in Grenzen möglich, es bleibt immer eine beträchtliche Entdeckungswahrscheinlichkeit.

### 3.2.2 Verifikation von Anreicherungsanlagen und anderen Anlagen mit losem Uran

Eine Uran-Anreicherungsanlage ändert die Isotopenzusammensetzung von Uran. Die wirtschaftlich erfolgreichste Technologie hierfür ist Zentrifugenanreicherung.<sup>37</sup> Sie verdrängt Anlagen mit älterer Technologie und ist in einer Reihe von Ländern verbreitet. Weitere Staaten verfolgen ehrgeizige Entwicklungsprojekte, darunter Iran und Brasilien.<sup>38</sup> Bezüglich Nichtverbreitung und Safeguards hat Zentrifugenanreicherung einige Nachteile (Wood et al 2008, Sharikov 2007): Das erste Problem ist die Möglichkeit eines schnellen Missbrauchs. Man kann eine Anlage kurzfristig umbauen, um statt LEU HEU zu produzieren. Sogar ohne Umbau kann man relativ schnell HEU produzieren, wenn man schon vorhandenes LEU weiter anreichert (Glaser 2008). Solche Szenarien haben kurze Zeitskalen, so dass die Verifikation ebenfalls zeitnah stattfinden muss. Die Mittel sind Überprüfung des Aufbaus, Analyse von Umweltproben und Materialbuchhaltung in kurzen Zeitabständen sowie permanente Messeinrichtungen. Spuren von HEU sind nur dann signifikant, falls in dieser Anlage bisher nur LEU produziert wurde. Andernfalls gibt es aber auch vielversprechende Analysemethoden, mit denen man den Ursprung einer Probe aufklären kann (Wood 2008).

Materialbuchhaltung ist unverzichtbar, sowohl für die Übergangsphase als auch für eine glaubwürdige Verifikation eines FMCT. Sonst könnte heimlich abgezweigtes LEU schnell weiter angereichert werden und das mit einer nur geringen Entdeckungswahrscheinlichkeit. In NKWS verifiziert die IAEO nicht nur das Design von Anreicherungsanlagen, sondern auch das Inventar des U-235, das eingebracht, enthalten und herausgebracht wird, mit Einbeziehung der Isotope im LEU und abgereichertem Uran. Eine besonders hohe Genauigkeit ist in Anlagen nötig, die Uranhexafluorid ( $UF_6$ ) produzieren,

37 Es gibt eine ganze Reihe verschiedener Anreicherungstechnologien, die nicht alle kommerziell genutzt werden. Siehe Krass et al. 1983.

38 Aus diesem Grund wird die Internationalisierung des Brennstoffkreislaufes diskutiert: Müller 2006 und Steinmeier 2007.

das Ausgangsmaterial für Zentrifugenanreicherung. Man muss sicherstellen, dass kein Uran existiert, das nicht erfasst ist, mit anderen Worten, der gesamte Brennstoffkreislauf eines Landes muss umfassenden Safeguards unterstellt werden.

Das zweite Problem ist die Schwierigkeit, geheime Anreicherung zu entdecken. Aufgrund eines Satellitenbildes ist es nicht möglich, zwischen einer normalen und einer Zentrifugenanlage zu unterscheiden. Der Energiebedarf ist eher gering, so dass es auch kein signifikantes Infrarotsignal gibt, und Abgase und freiwerdende Partikel kann man, anders als bei Wiederaufarbeitung, nur in einem Radius von wenigen Kilometern aufspüren (Wood et al. 2008). Ein sicherer Nachweis ist daher nur möglich, falls es einen Anfangsverdacht über einen Ort einer geheimen Anreicherung gibt. Das Problem der Aufdeckung undecklarierter Aktivitäten regelt das Zusatzprotokoll (INFCIRC/540), das der IAEO das Recht gibt, auch an undecklierten Orten zu inspizieren. Auslöser können NTM oder soziale Verifikation sein. Dadurch wird eine Entdeckungswahrscheinlichkeit gegeben. In einer kernwaffenfreien Welt müssen diese Methoden universal angewendet werden.

Eine weitere Schwierigkeit entsteht dadurch, dass technische Details der Zentrifugenanreicherung aus Gründen der Nichtverbreitung und des Schutzes von Industriegeheimnissen geheim bleiben müssen. Lösungen wurden im Rahmen des sogenannten *Hexapartite Safeguards Project* entwickelt, das 1980 Deutschland, die Niederlande und Großbritannien zusammen mit einigen weiteren Staaten, der IAEO und Euratom initiierten.<sup>39</sup> Die Gruppe einigte sich auf das Konzept des *in der Häufigkeit beschränkten, nicht angekündigten Zugangs*, das auf drei Bedingungen beruht: Alle Maßnahmen werden gleichermaßen in KWS und NKWS angewandt, individuelle Verifikationsaktivitäten werden im Voraus definiert, und für die Geheimhaltungsprobleme arbeitet man individuelle Kompromisse aus. Die Möglichkeit weiterer unangekündigter Inspektionen ist eine starke Abschreckung illegaler Aktivitäten zwischen zwei regulären Inspektionen. In zukünftigen Verifikationsszenarien müssen solche Maßnahmen auch in den KWS implementiert werden.

Eine neue Anreicherungstechnologie ist Laserisotopenanreicherung (AVLIS), die noch schwieriger zu detektieren ist als Zentrifugenanreicherung. Aber für diese Technologie müsste man noch einen großen Aufwand für weitere Forschung und Entwicklung leisten, weshalb eine wirtschaftliche Nutzung in absehbarer Zukunft nicht erwartet wird. Es ist prinzipiell möglich, dass jederzeit eine neue Anreicherungsmethode erfunden wird. Unabhängig von der Anreicherungstechnologie sind die wichtigsten Verifikationsmethoden Materialbuchhaltung und soziale Verifikation.

39 Zu Einzelheiten des Hexapartite Safeguards Projekts siehe Fischer/Stein 1999. Deutschland, die Niederlande und Großbritannien sind Partner in der kommerziellen Zentrifugenanreicherung durch die Firma URENCO.

### 3.2.3 Verifikation von Reaktoren

Verifikation von Reaktoren ist viel einfacher als von Wiederaufarbeitungs- und Anreicherungsanlagen, da in ihnen nur große zählbare Gegenstände mit Nuklearmaterial, nämlich die Brennelemente, enthalten sind. Die Entdeckungswahrscheinlichkeit illegaler Abzweigung ist daher hoch und die Bewachung einfach und weitgehend automatisierbar. Trotzdem müssen alle Reaktoren in die Verifikation miteinbezogen werden, weil sonst eine Gesamtbilanz des Nuklearmaterials in einem Land nicht möglich wäre.

Je nach Typ besteht der Reaktorbrennstoff aus LEU, MOX, HEU oder Natururan. Die Verifikation muss bestätigen, dass die deklarierten Mengen stimmen (Harms/Rodriguez 1996). Dies geschieht durch Zählung und Identifizierung, zerstörungsfreie Messungen der Zusammensetzung und Verifikation der Unversehrtheit der Brennelemente. Diese Maßnahmen werden von den Betreibern ohnehin durchgeführt und können stichprobenartig überprüft werden.

Heutzutage hängt die Frequenz der Routineinspektionen von Reaktoren von der Größe des Brennstoffkreislaufes ab. Daher finden die meisten Inspektionen in Ländern statt, die einen großen Brennstoffkreislauf haben, z.B. Kanada, Japan oder Deutschland. Da auch die KWS eine große Zahl von Reaktoren betreiben, würden genauso häufige Routineinspektionen wie zur Zeit in NKWS die Verifikationskosten beträchtlich erhöhen. Es wäre daher empfehlenswert, die Routineinspektionen in Reaktoren durch weniger häufige, dafür aber unangekündigte Inspektionen zu ersetzen. Die Abschreckung von Betrugsfällen bleibt so durch die Entdeckungswahrscheinlichkeit gewährleistet.

Auf Materialbuchhaltung des Inventars von Reaktoren sollte man nicht verzichten, denn frische Brennelemente sind das ausgehende Inventar von Anreicherungsanlagen und abgebrannte Brennelemente das eingehende Inventar von Wiederaufarbeitungsanlagen. Der Focused Approach bei der FMCT-Verifikation empfiehlt zwar, auf die Verifikation von Reaktoren zu verzichten. Aber die Berücksichtigung des Inventars von Reaktoren würde die Zuverlässigkeit und Glaubwürdigkeit der Verifikation beträchtlich erhöhen.

### 3.2.4 Verifikation anderer Neutronenquellen und innovativer Brennstoffkreislauftechnologien

Plutonium und andere spaltbare Isotope entstehen durch Kernreaktionen, an denen ein Neutron beteiligt ist. Daher kann jede Anlage, die Neutronen produziert, für die Produktion von Kernwaffenbrennstoff missbraucht werden, und man muss sie Safeguards unterstellen. Heute sind solche Anlagen vor allem Reaktoren, aber in Zukunft können es auch andere Technologien sein. Die bekanntesten Beispiele sind Spallationsneutronenquellen oder große Fusionsexperimente. Es gibt die Möglichkeit, ihren Neutronenfluss direkt zu messen, aber da die Messgenauigkeit schwankt, zieht man es vor, andere Größen wie Energiefreisetzung oder Isotopenzusammensetzungen zu messen und daraus Rückschlüsse für eine Materialbuchhaltung zu ziehen.

Es gibt viele Vorschläge für neue nukleare Energiesysteme, von denen sich die meisten noch in einer frühen Forschungsphase befinden. Einige werden als sehr proliferationsresistent gepriesen. Beispiele sind Brennstoffe mit Thorium für Leichtwasserreaktoren,

Plutoniumbrenner, die mit Neutronenbeschleunigern betrieben werden, Wiederverwendung von Brennstoff ohne Wiederaufarbeitung, oder kleine, langlebige Reaktoren, die weitgehend automatisch betrieben werden. Andere Vorschläge hingegen bergen ähnliche Risiken wie heutige Systeme. Ein Rahmen für internationale Forschungskooperation ist das U.S.-geführte „Generation IV International Forum“ (GIF).<sup>40</sup> Es bewertet einige ausgewählte Vorschläge anhand verschiedener Kriterien, darunter die Proliferationsresistenz (Gen IV Forum 2006). Ausführliche und sehr ähnliche Kriterien hat schon vorher die IAEA entwickelt (INPRO 2003). Ein Element in beiden Kriterienkatalogen ist das Beharren auf Safeguards. Es gibt keine Nukleartechnologie, die so proliferationsresistent ist, dass sie ohne Safeguards auskäme. Bei Entscheidungen zu neuen Nukleartechnologien sollte die Proliferationsresistenz eine wichtige Rolle spielen. Die Safeguardsmethoden bei neuen Systemen sind die gleichen wie bei den bisherigen. Wichtig ist es, schon in der Planungsphase die Erleichterung der Arbeit von Safeguards zu berücksichtigen.

#### **4. Verifikationsprobleme während des Übergangs**

Das vorige Kapitel beschreibt die Verifikationsmethoden in der Abwesenheit eines laufenden Kernwaffenprogramms, sowie die weniger problematischen Aspekte während des Übergangs zu einer kernwaffenfreien Welt. Aber die Übergangsphase birgt einige spezielle Probleme – Probleme, die oft von Skeptikern angeführt werden, die nicht an die grundsätzliche Machbarkeit glauben. Darüber hinaus spielen diese Probleme auch in Diskussionen über einen FMCT eine Rolle. Plausible Antworten, wie mit diesen Problemen umgegangen werden kann, sind daher ein Schlüssel, wenn das Vertrauen in die Machbarkeit einer kernwaffenfreien Welt wachsen soll.

Die größten Probleme werden in diesem Kapitel beschrieben und diskutiert. Ich behaupte nicht, sie alle lösen zu können, aber es ist möglich, Lösungsansätze sowohl technischer als auch politischer Art aufzuzeigen.

##### **4.1 Anlagen, die nicht für Safeguards konzipiert sind**

In NKWS werden Anlagen von Anfang an so konstruiert, dass Safeguards mit möglichst wenig Aufwand eingesetzt werden können. Abzweigungspfade sind minimiert, bekannt und bewacht.

Anders ist die Situation in Staaten, die nicht als NKWS Mitglieder im NVV sind. So gibt es dort manchmal keine Materialbilanzzonen oder Schlüsselmesspunkte. Eine nachträgliche Installation ist schwierig, besonders in kontaminierten Anlagen mit losem Material. Für jede solche Anlage, die nicht geschlossen wird, muss man individuell studieren

40 U.S. DoE 2002; siehe auch die Homepage von GIF: [www.gen-4.org](http://www.gen-4.org) (2.7.2009).

und verhandeln, welche Art von Verifikation implementiert werden soll. Am Anfang wird man die ganze Anlage als Black Box behandeln und nur die Mengen des ein- und ausgehenden Materials erfassen. Darüber hinaus wird es schwierig sein, ein Anfangsinventar zu messen. Innen gibt es eine Fülle von Leitungen und Behältern, und Anfangsmessfehler werden groß sein. Die Dokumentation ist wahrscheinlich unvollständig und widersprüchlich. Selbst in NKWS stellt die IAEO manchmal „nicht nachgewiesenes Material“ fest, dessen Verbleib aufgeklärt werden muss.<sup>41</sup>

Für eine Übergangsperiode und für den FMCT muss man akzeptieren, dass die Materialbuchhaltung nicht den Standards in NKWS entsprechen wird. Zumindest muss sichergestellt werden, dass keine undeklarierten Vorgänge in einer Anlage stattfinden. Dabei hilft zumindest Materialbuchhaltung allen ein- und ausgehenden Materials, die Messfehler zu reduzieren.

Für Safeguards ungeeignete Anlagen sind auch ein Problem bei der Verifikation eines FMCT. Es wird eine prominente Rolle bei zukünftigen Verhandlungen spielen (Schaper 2001). Es ist zu empfehlen, Studien in internationaler Zusammenarbeit durchzuführen, die spezifische Verifikationsmethoden für bestimmte Anlagen untersuchen. Zu den Fragen gehören u.a.: Wie kann ein Anfangsinventar gemessen werden? Wie könnten Verfahren des geregelten Zugangs aussehen? Welche Messapparaturen könnten permanent installiert werden?

## 4.2 Heikle Informationen<sup>42</sup>

In KWS sind weniger die technischen Herausforderungen durch einen ungeeigneten Zustand mancher Anlagen das Problem, als die Befürchtung, dass bestimmte Informationen nicht geschützt werden können. Dies betrifft nicht nur Anreicherungs- und Wiederaufarbeitungsanlagen, sondern auch Sprengkopffabriken und -lager.

### 4.2.1 Heikle Informationen in Sprengkopffabriken und -lagern

So lange eine Anlage zur Wartung, Verschrottung oder Lagerung von Sprengköpfen noch in Betrieb ist, stellt sie ein Problem für die Verifikation dar, denn ohne Transparenz könnte sie auch für geheime Produktion missbraucht werden. Vor-Ort-Inspektionen oder andere gründliche Verifikationsmaßnahmen würden aber zu viele geheime Informationen offenlegen. Dieses Problem entsteht auch bei der Verifikation eines FMCT, denn er

41 Englisch: „material unaccounted for (MUF)“. Auch auf Deutsch wird häufig der englische Begriff gebraucht.

42 Der Begriff „heikel“ wird hier als Übersetzung für das englische „sensitive“ gewählt. Unter „sensitiven Informationen“ versteht man i. Allg. solche, deren Freigabe sicherheitspolitische Probleme verursachen würde. Unter „heiklen Informationen“, wie ich sie hier problematisiere, verstehe ich nicht nur die sensitiven, sondern darüber hinaus auch noch solche, deren Geheimhaltung nicht mit Sicherheitsproblemen oder Industriegeheimnissen gerechtfertigt werden können.

würde die Wartung von Sprengköpfen nicht ausschließen. In geringerem Maße taucht das gleiche Problem auch in der Phase des Übergangs zu einer kernwaffenfreien Welt auf, denn es muss verifiziert werden, dass Sprengköpfe nur verschrottet, aber nicht produziert werden. Dafür benötigt man Materialbuchhaltung allen Nuklearmaterials, das in eine Verschrottungsanlage hinein- und hinausgebracht wird, allerdings unter Geheimhaltung der Konstruktionsweise der Sprengköpfe.

Methoden, die das ermöglichen würden, hat die sogenannte *Trilaterale Initiative* vorgestellt (Shea 2001 und 2008). Dabei handelt es sich um eine mehrjährige Zusammenarbeit (1996-2002) zwischen Russland und den USA mit der IAEO. Die Initiative hat Methoden entwickelt, wie Nuklearmaterial, das noch mit technischen Informationen zu Sprengköpfen behaftet ist, trotzdem schon IAEO-Safeguards unterstellt werden könnte, ohne dass heikle Informationen zutage treten. Dabei soll die IAEO nur die Ein- und Ausgänge einer Anlage kontrollieren, in der die Eigentümer die Informationen beseitigen, z.B. dadurch, dass sie Sprengkopfkomponenten zerlegen und die Isotopen- und chemische Zusammensetzung des Materials verändern. Beim Eingang in die Anlage befindet sich das Material in verschlossenen und versiegelten Behältern. Ein Automat misst verschiedene Parameter, und zwar hinter sogenannten „Informationsbarrieren“, die nur das Minimum an Information herausgeben, das zur Bestätigung der Vertragseinhaltung nötig ist (Bukharin 2003; Fuller/Wolford 2001; Whiteson/MacArthur 1998). Er gibt nur die Menge des eingehenden Plutoniums oder Urans an, damit eine Materialbuchhaltung möglich wird. Um zu gewährleisten, dass keine zusätzlichen Informationen bekannt werden, sollen die benutzten Computer z.B. keine Permanentspeicher haben. Nichttrivial sind die Methoden, mit denen sie authentifiziert und zertifiziert werden sollen, damit alle Seiten sicher sind, dass niemand manipuliert oder spioniert hat. Dafür hat die Initiative mehrere vielversprechende Vorschläge entwickelt und diskutiert.<sup>43</sup>

#### 4.2.2 Heikle Informationen in Produktionsstätten für Spaltmaterialien

Auch in weiterbetrieblenen und zu ziviler Nutzung konvertierten Anlagen können heikle Informationen zum Problem werden. Safeguards könnten Spuren früherer Produktion aufspüren. So wäre es wahrscheinlich möglich, nachträglich die Isotopenzusammensetzung von Plutonium für Kernwaffen aufzudecken. Es gibt auch Anlagen, die sowohl für zivile als auch für militärische Zwecke genutzt werden, z.B. die russische „Ural Electrochemistry Plant“, in der sowohl Urananreicherung als auch Sprengkopffabrikation stattfand (Bukharin 1994). Heikle Informationen könnten aus Werkzeugen, Maschinen oder Spuren von Nuklearmaterial erschlossen werden. Weitere Beispiele für heikle Informationen sind neben der Isotopen- auch die chemische Zusammensetzung oder die

43 Einige wurden vorgestellt in: Session 17: Verification Technology for Nuclear Disarmament, Proceedings of the Symposium on International Safeguards: Verification and Nuclear Material Security, Vienna, Oct. 29 - Nov. 2, 2001.



kristalline Phase.<sup>44</sup> Die Konversion einer solchen Dual-Use-Anlage ist also nicht trivial. Einige Eigner behaupten, dass es unmöglich sei, heikle Informationen völlig zu beseitigen.<sup>45</sup>

Beispiele für heikle Informationen in der Zentrifugenanreicherung sind technische Einzelheiten der Rotoren, ihrer Lager oder ihrer Beschleunigungssysteme. Sie wären in einem Drittland mit Kernwaffenambitionen sehr nützlich und müssen deshalb geschützt werden. Die Informationen, die man für Safeguards benötigt, sind jedoch andere: Denn für die Materialbuchhaltung muss man Mengen und Zusammensetzung aller Materialien kennen, sowie sicherstellen, dass nirgends undeklariertes Material versteckt werden kann. Daher müssen die Inspektoren den Zentrifugen zwar nahe kommen und Proben nehmen, aber es ist nicht nötig, dass sie in das Innere eines Rotors schauen.

#### 4.2.3 Präzedenzfälle

Es gibt Präzedenzfälle, in denen der Widerspruch zwischen Genauigkeit des Safeguards einerseits und dem Wunsch nach Schutz von Informationen andererseits eine Rolle spielt. Das erste Beispiel ist die Geschichte der Safeguards von Zentrifugenanlagen, für die das Hexapartite Project entwickelt wurde (vgl. Abschnitt 3.2.2). Die Lektion dieses Beispiels ist, für jede Technologie individuelle Verfahren und Kompromisse zu entwickeln und auszuhandeln (Fischer/Stein 1999).

Ähnliche Probleme scheinen auch in Brasiliens Zögern, das Zusatzprotokoll zu unterzeichnen, eine Rolle zu spielen (Alvim 2004). Brasilianische Experten behaupten, dass die vorgesehenen Methoden in bestimmten Fällen nicht anwendbar seien und fordern Alternativen (Peixoto/Vinhas 2005). Ähnliche Meinungsverschiedenheiten gab es auch in vielen anderen Staaten, darunter Deutschland.<sup>46</sup> Diese konnten jedoch gelöst werden. Die Lektion aus diesem zweiten Beispiel ist die Notwendigkeit, individuelle Lösungen für jede Anlage zu erarbeiten, selbst im Fall gleicher Technologien.

Das dritte Beispiel ist Südafrikas nukleare Abrüstung. Südafrika erlaubte dabei der IAEO Zugang zu allen Produktions- und Lagerstätten, dies aber erst, nachdem die Verschrottung seiner Sprengköpfe vollzogen und der größte Teil der heiklen Informationen beseitigt war. Während der Übergangsphase gab es keine Verifikation. Dieser Fall ist relativ einfach, weil Südafrika seine militärischen Absichten aufgegeben hatte und auch die Preisgabe kommerzieller Informationen nicht fürchtete. Die hier richtige Vorgehensweise war, die heiklen Informationen vor Beginn der Safeguards zu beseitigen.

44 Davon ist inzwischen vieles freigegeben worden: U.S. Department of Energy, Office of Declassification, Restricted Data Declassification Policy 1946 to the Present (RDD-7), January 1, 2001, [www.fas.org/sgp/othergov/doe/rdd-7.html](http://www.fas.org/sgp/othergov/doe/rdd-7.html) (2.7.2009).

45 U.a. hatte dies die Bush-Regierung im Juli 2004 behauptet, als sie eine Verifikation eines FMCT ablehnte.

46 Statement by the Utilities Employing Nuclear Energy and the Nuclear Industry in Germany on the IAEA Programme 93+2, 3 Juni 1996.

Das vierte Beispiel sind die Safeguards von Euratom. Ihnen untersteht die gesamte zivile Nuklearenergie der EU, einschließlich der beiden Kernwaffenstaaten Großbritannien und Frankreich, die auch Dual-Use-Anlagen betreiben.<sup>47</sup> Eine davon ist eine große britische Wiederaufarbeitungsanlage (B205), die zunächst nur militärisch genutzt wurde und erst Jahre später erfolgreich den Safeguards unterstellt wurde. Dieses Beispiel zeigt, dass Kernwaffenstaaten sich an Safeguards auch in ehemaligen militärischen Produktionsanlagen gewöhnen können. Man sollte diesen Fall genau studieren, um daraus Lehren für andere problematische Anlagen zu ziehen. Eine Möglichkeit wäre, dies im Rahmen von FMCT-Verhandlungen zu tun.

Das letzte Beispiel ist die schon oben vorgestellte Trilaterale Initiative. Sie zeigt, dass man schon frühzeitig Vertrauen schaffen kann, dass kein Material heimlich abgezweigt wurde, obwohl sich die Methoden zunächst stark von den Safeguards von zivilem Material unterscheiden würden. Aus diesem Beispiel lassen sich mehrere Lehren ziehen: Erstens ist Verifikation schon früher möglich, obwohl es noch heikle Informationen zu schützen gibt. Zweitens reichen einige technische Ideen schon weiter als sich viele in der Politik vorstellen können. Und drittens ist der Verifikationsprozess umso einfacher, je weniger heikle Informationen es gibt. Ihre Besitzer sollten daher ihre Klassifizierungsrichtlinien überarbeiten.

#### 4.2.4 Was sind „heikle Informationen“?

Die Preisgabe heikler Informationen ist umstritten. Das einzige bekannte Beispiel mit erkennbaren Ergebnissen ist die *Openness Initiative* der Clinton-Regierung, die die darauffolgende Bush-Regierung zum Teil wieder rückgängig machte (Schaper 2004). Aber die heutige Informationsverweigerung geht oft weit darüber hinaus, was zur Vermeidung von Proliferation nötig wäre. Ein Beispiel ist die Isotopenzusammensetzung von Waffenplutonium, die in Russland immer noch geheimgehalten wird. Dadurch entstehen zusätzliche Schwierigkeiten bei der Abrüstung und Verifikation. Deutlich wird dies im *Abkommen zur Verwendung von Plutonium* zwischen den USA und Russland von 2000.<sup>48</sup> Um die heikle Information der Plutoniumzusammensetzung zu umgehen, legt das Abkommen fest, dass ehemaliges Waffenplutonium bis zu 12 % mit Plutonium anderer Zusammensetzung aus ziviler Herkunft vermischt werden darf.

Es gibt verschiedene Motive für Geheimhaltung: Nichtverbreitung ist eines davon. Ein weiteres ist der Schutz kommerzieller Informationen. Ein drittes nennt sich „nationale Sicherheit“. Gemeint sind damit ursprünglich Informationen zu strategischen Fähigkeiten und Absichten, zu technischen Schwächen, oder technischer Überlegenheit, die für eine Zweitschlagsfähigkeit als Abschreckung wichtig sind oder waren, sowie alle Informatio-

47 Die Produktion für Kernwaffen ist inzwischen beendet.

48 Agreement Between The Government Of The United States Of America And The Government Of The Russian Federation Concerning The Management And Disposition Of Plutonium Designated As No Longer Required For Defense Purposes And Related Co-operation, 1 September 2000, [www.state.gov/gov/documents/organization/18557.pdf](http://www.state.gov/gov/documents/organization/18557.pdf) (24.8.2009).

nen, die entsprechende Rückschlüsse erlauben würden. Nach dem Ende des Kalten Krieges, aber erst recht mit dem erklärten Ziel einer kernwaffenfreien Welt, sollten diese überarbeitet werden. Ein viertes Motiv ist der Status, den der exklusive Besitz von Informationen verleiht. Im Fall eines Konsensus über das Ziel einer kernwaffenfreien Welt wird sich dieser anders manifestieren. Fünftens ist exzessive Geheimhaltung auch ein Resultat demokratischer Defizite. Sie ist geeignet, Missmanagement, Korruption und Verbrechen zu verschleiern, spezielle Interessen zu fördern, andere von Entscheidungen auszuschließen und kritische Nachfragen zu verhindern. Der sechste Grund für Geheimhaltung sind schließlich Traditionen und bürokratische Trägheit. So gibt es oft einfach nur kein bürokratisches Verfahren und keine Anreize zur Freigabe von Informationen.

Paradoxerweise wird die Spannung zwischen Geheimhaltung und Verifikation umso weniger problematisch, je weiter der nukleare Abrüstungsprozess fortgeschritten ist. Eine kernwaffenfreie Welt wäre einfacher zu verifizieren als der Übergang oder ein FMCT. Dies liegt daran, dass es während des Übergangs und im Fall eines FMCT weiterhin erlaubt sein würde, Material zu besitzen, das nicht den strengen Verifikationsregeln unterworfen ist. Durch diese Ausnahmen von der Verifikation entstehen Probleme bei der Unterscheidung zwischen legalen und illegalen Aktivitäten und Beständen. Trotzdem glauben mehr Beobachter an die Machbarkeit der Verifikation eines FMCT als an die einer kernwaffenfreien Welt. Im letzteren Fall werden nicht nur einige technische Probleme gelöst sein, es wird sich auch die Kultur verändert haben, als Ergebnis vergangener Erfahrungen und Erfolge. Die Bemühungen der Openness Initiative sollten wiederaufgenommen werden, und weitere Staaten sollten diesem Beispiel folgen.

### 4.3 Die Entdeckung undeklarerter Bestände

In einem Szenario, das in Diskussionen über die Machbarkeit einer kernwaffenfreien Welt häufig angeführt wird, betrügen ehemalige Kernwaffenstaaten, indem sie nicht alles Nuklearmaterial deklarieren. Die Verifikation muss daher in der Lage sein, undeklarierte Bestände mit einer genügend großen Wahrscheinlichkeit aufzuspüren.

Wie schon erläutert, wird es in der Anfangsphase Ungenauigkeiten und Widersprüche in der Materialbuchhaltung geben. Ein kooperativer Aufklärungsprozess reduziert die Fehler dann allmählich, bis schließlich der Standard der NKWS erreicht ist. Man kann nicht oft genug hervorheben, dass dieser Prozess gesichtswahrend erfolgen muss. Daher muss es einem Staat auch möglich sein, nachträglich entdecktes Nuklearmaterial auf seinem Territorium zu deklarieren. Solange er dies mit vergangenen Ungenauigkeiten erklären kann, darf ein solcher Fall nicht skandalisiert werden. Andernfalls würde der Staat auf eine nachträgliche Deklaration verzichten. Sollte jedoch undeklariertes Material ohne plausible Erklärung gefunden werden, muss man annehmen, dass der Besitzer es absichtsvoll abgezweigt hatte. Falls es einen Anfangsverdacht über einen Lagerort gibt, ist es mit den etablierten Methoden möglich es nachzuweisen.

Aber wie kann die Wahrscheinlichkeit für die Entstehung eines Anfangsverdacht groß genug werden? Ein Anfangsverdacht entsteht immer durch Inkonsistenzen bei der Rekonstruktion vergangener Produktion, bei der die bisherigen Mitarbeiter mit einbezo-

gen werden sollten. Er kann entweder entkräftet oder verstärkt werden. Die wichtigste Rolle hierbei spielt soziale Verifikation.

Dies lässt sich mit einer Plausibilitätsüberlegung begründen: Die Entscheidung, Material nicht zu deklarieren, muss am Anfang des Abrüstungsprozesses getroffen werden, bevor der Behörde alle Informationen zu Mengen und Lagerstätten bekannt gemacht worden sind. Nur vorher hat ein Betrüger eine Chance, Material unentdeckt abzuzweigen und für diesen Zweck eine undeclared Lagerstätte bereitzuhalten. Mit anderen Worten, die Betrugsabsicht muss schon sehr früh bestehen. Aber für sein illegales Lager würde der betrügende Staat Personal benötigen. Dieses Personal wird nicht nur die speziellen technischen Fähigkeiten aufweisen, sondern auch die nötige kriminelle Energie aufbringen müssen, um den Betrug aktiv zu decken. Das Zusammentreffen dieser beiden „Qualifikationen“ kann bei dem bisherigen Personal nicht mit Sicherheit erwartet werden. Denn zur Zeit arbeitet es im Einklang mit gültigen Gesetzen und Richtlinien. Den Mitarbeitern würde es nicht verborgen bleiben, dass sie völkerrechtswidrig handeln. Ein betrügender Staat würde daher immer ein Risiko eingehen, entdeckt zu werden und sein Personal entsprechend unter Druck setzen, den Betrug mitzutragen. Es ist sehr unwahrscheinlich, dass solche Situationen für lange Zeit aufrechterhalten werden können. Soziale Verifikation sollte daher so weit wie möglich erleichtert und einbezogen werden.

#### 4.4 Die Entdeckung heimlicher Produktion

Die Methoden zur Entdeckung heimlicher Produktion sind NTM, einschließlich sozialer Verifikation, Geheimdienstinformationen, Umweltmonitoring und Vor-Ort-Inspektionen (NAS 2005). Da für die Produktion von waffentauglichem Material immer Eingangsmaterial benötigt wird, sind weitere wichtige Methoden Materialbuchhaltung und Rekonstruktion vergangener Produktion. Die Aktivität, die wegen ihrer geringen Signaturen am schwierigsten zu entdecken ist, ist Zentrifugenanreicherung. Hier spielen soziale Verifikation und NTM eine Schlüsselrolle. Eine weitere Methode ist die Detektion des Eingangsmaterials Uranhexafluorid ( $UF_6$ ) (Kemp 2008). In der Atmosphäre reagiert es mit Wasser und bildet Uranylfluorid, eine stabile Substanz, die man nachweisen kann.

Nicht nur in einer kernwaffenfreien Welt ist die schwierige Entdeckung heimlicher Anreicherung ein Problem. Das Zusatzprotokoll dient dem Zweck, die Anwendung der Entdeckungsmethoden zu erleichtern. Die überwiegende Mehrzahl aller Staaten hat glaubwürdig auf illegale Aktivitäten verzichtet. Ebenso werden sich ehemalige Kernwaffenstaaten das Vertrauen der anderen verdienen, nicht zuletzt durch Transparenz und aktive Mitwirkung bei der Verifikation.

Dieses Problem wird auch bei der Verifikation des FMCT eine Rolle spielen, unabhängig von Einzelheiten des Verbotstatbestandes. Selbst wenn die Verifikation des FMCT wenig gründlich und lückenhaft ausfallen sollte, kann das Problem der Entdeckung heimlicher Produktion nicht ausgeklammert werden. Es ist außerdem zentral bei allen Versuchen der Eindämmung von Proliferation. Die FMCT-Verhandlungen sind daher eine gute Gelegenheit, um in internationaler Zusammenarbeit die bisherigen technischen Lösungen zu verbessern.

#### 4.5 Reaktorbrennstoff für militärische Schiffsantriebe

Reaktorbrennstoff für militärische Schiffsantriebe ist in den USA und Großbritannien waffentaugliches HEU und stellt wegen der extremen Geheimhaltung ein großes Problem dar (vgl. Abschnitt 2.2.4). Auch in Diskussionen über die Verifikation eines FMCT spielt es eine Rolle. Nur wenig ist offiziell über U-Boot-Reaktorkerne bekannt (Maerli 2000). Die USA bevorzugen HEU, weil es besonders kompakte Reaktorkerne erlaubt (U.S. DoE 2001). Würden jedoch alle Reaktorkerne auf LEU umgestellt, wie es für zivile Forschungsreaktoren erstrebt wird, könnte jegliche Nutzung von HEU abgeschafft werden. Inzwischen gibt es neue Reaktorbrennstoffe, die die Konversion von zivilen Forschungsreaktoren erlauben. Ebenso sollte man auch militärische U-Boot-Reaktoren konvertieren. Dies würde auch die Verifikation eines FMCT erleichtern.

In einer kernwaffenfreien Welt muss man auch alle Bestände für Schiffsantriebe miteinbeziehen. In Diskussionen mit Diplomaten über einen FMCT zeigt sich immer wieder, dass dies zur Zeit ein Problem für die KWS ist. Der Grund ist die extreme Geheimhaltung aller technischen Aspekte der U-Boote. Dieses Problem wird sich in einer Zukunft, in der auf Kernwaffen verzichtet wird, erledigt haben, denn es wäre wahrscheinlich, dass dann auch auf Abschreckung durch auf U-Booten stationierte Langstreckenraketen verzichtet würde.

Ein Recht auf den Besitz von militärischem HEU für nichtexplosive Zwecke ohne Safeguards haben auch NKWS.<sup>49</sup> In einem solchen Fall würden sich die IAEO und der Staat auf eine Regelung einigen, die die genaueren Umstände festlegen würden. Da er bis heute noch nie eingetreten ist, ist nicht klar, wie solche Regelungen aussehen würden. Eine Unterbrechung der Safeguards könnte auf den Brennstoff im Reaktor beschränkt bleiben, oder sie könnte auch alle Brennstofflager betreffen. Falls es weiterhin erlaubt bliebe, HEU für nichtexplosive, militärische Zwecke ohne Safeguards zu besitzen, hätte die Verifikation einer kernwaffenfreien Welt eine große Lücke. Es ist zu empfehlen, das Problem der Materialbuchhaltung von militärischem Reaktorbrennstoff genauer zu untersuchen und zu fragen, ob die exzessive Geheimhaltung weiterhin nicht abgebaut werden kann. Einen Ansatz könnten die Methoden der Trilateralen Initiative bieten.

Es wäre ein Widerspruch zum Ziel einer kernwaffenfreien Welt, wenn die Nutzung von militärischem HEU nicht ausgeschlossen wäre. Im Fall eines FMCT wird die *Nutzung* zwar wahrscheinlich weiterhin zugelassen, aber es wäre ein Widerspruch zu allen Abrüstungsbeteuerungen, wenn man auch die *Produktion* weiterhin zulassen würde. Denn die Bestände aus der Abrüstung sind so riesig, dass sie noch für viele Jahrzehnte, wenn nicht gar für ein Jahrhundert reichen würden. Wer trotzdem fordert, die Produktion von HEU für militärische U-Boote weiterhin zu erlauben, gesteht ein, dass er nicht die Absicht hat, jemals vollständig abzurüsten.

49 INFCIRC/153: §14b.

## 4.6 Überzeugung von Skeptikern

Trotz der bisher vorgestellten Methoden zur Verifikation einer kernwaffenfreien Welt gibt es immer wieder Skeptiker, die behaupten, das Ziel einer kernwaffenfreien Welt sei unrealistisch, da es keine hundertprozentige Wahrscheinlichkeit gibt, alle Betrüger aufzuspüren.<sup>50</sup> Einige Lücken der Verifikation können jedoch akzeptiert werden, zumindest für eine Übergangsperiode. Beispiele sind Fehler bei der Materialbuchhaltung, späte Entdeckung heimlicher Zentrifugenanreicherung, nur qualitative statt quantitative Verifikation in speziellen Anlagen, oder fortdauerndes Misstrauen zwischen Vertragspartnern. Nimmt man diese Unzulänglichkeiten zusammen, so wird behauptet, sei die Verifikation nicht überzeugend genug, um global akzeptiert zu werden.

Es gibt aber Gegenargumente: Erste Voraussetzung ist die Einführung einer glaubwürdigen Abschreckung von Betrügereien. Betrüger werden die Risiken einschätzen: Wenn die Entdeckungswahrscheinlichkeit zwar klein, aber die Folgen untragbar sind, ist es unwahrscheinlich, dass sie das Risiko trotzdem eingehen. Die Konsequenzen einer Zuwiderhandlung müssen also entsprechend drastisch ausfallen. Dies setzt voraus, dass eine Zuwiderhandlung eindeutig von einer „Schlamperei“ unterschieden werden muss. Wie oben erläutert, wird es in der Anfangsphase der nuklearen Abrüstung Inkonsistenzen und Widersprüche geben. Hier muss es ein gesichtswahrendes Verfahren zur Aufklärung geben. Sind die Widersprüche mit Ungenauigkeiten der Vergangenheit erklärbar, muss dies akzeptiert werden. Sollte ein Staat aber absichtsvoll betrügen, müssen die Konsequenzen ganz andere sein, so dass das Risiko sehr hoch wird.

Zweitens verbessern sich Safeguards mit der Zeit, wie die Geschichte gezeigt hat. Nordkorea ist dem NVV mit einem Betrugsplan beigetreten. Dabei sind die nordkoreanischen Nukleartechniker von Szenarien ausgegangen, die aktuell waren, bevor man im Jahr 1991 Iraks heimliche Nuklearaktivitäten entdeckte. Aber seitdem gab es Reformen, und die IAEA hat gelernt, auf weitere Informationen zu achten. Daher entdeckte sie bald Inkonsistenzen in den nordkoreanischen Angaben, und der Betrug wurde entdeckt.

Drittens ist die Entdeckungswahrscheinlichkeit zwar nicht 100 %, aber auch nicht Null. Niemand kann sicher sein, dass soziale Verifikation, NTM oder die Aktivitäten Dritter seinen Betrug nicht früher oder später aufdecken, auch wenn dies in nichtdemokratischen Ländern eine Weile dauern kann. Immerhin haben im nordkoreanischen Fall z.B. auch Satellitenbilder eine wichtige Rolle gespielt (Albright/Hinderstein 2000).

50 Siehe Krause 2009. Er behauptet, dass heimliche Produktion nicht entdeckt werden, aber mit Kernwaffen abgeschreckt werden könne.

## 5. Empfehlungen

Die Welt hat sich bisher noch nicht zur vollständigen nuklearen Abrüstung entschlossen. Aber es gibt neue Hoffnungen. Die neue U.S.-Regierung läßt auf Abrüstungsfortschritte hoffen, insbesondere auf eine weitere Reduzierung von Sprengköpfe, ernsthafte Verhandlungen zu einem FMCT, die Ratifizierung des CTBT und Transparenz zu schon existierendem Material.

Seit vielen Jahren diskutieren akademische und diplomatische Foren über einen FMCT. Die Einzelheiten sind umstritten, aber grundsätzlich einig sind sich die Staaten über die Nützlichkeit eines solchen Vertrages. Die Verifikation eines FMCT hat einen großen Symbolwert für einen Paradigmenwechsel, denn zum ersten Mal in der Geschichte wären auch die KWS verpflichtet, internationale Safeguards auf ihren Territorien zuzulassen und sich der IAEO gegenüber zu verantworten. Nuklearmaterialien wären nicht mehr eine nur nationale Angelegenheit, selbst wenn die Verifikation anfangs nur bescheiden ausfallen würde. Die Probleme bei der Verifikation eines FMCT ähneln denen der Übergangsphase zu einer kernwaffenfreien Welt. Beispiele sind die Detektion heimlicher Anreicherungsaktivitäten und die Schwierigkeiten bei der Verifikation spezieller Anlagen, die nicht auf Verifikation ausgelegt sind. Sind erst einmal Fortschritte bei der FMCT-Verifikation erreicht, wird es leichter, weitere Maßnahmen zu implementieren, die auch für die Verifikation einer kernwaffenfreien Welt erforderlich sind. Daher sollten schon jetzt internationale Arbeitsgruppen eingesetzt werden, die die technischen Probleme im Detail studieren.

Da ein FMCT wahrscheinlich nur auf eine Beendigung weiterer Produktion nach Inkrafttreten zielen wird und das bis dahin produzierte Nuklearmaterial nicht berücksichtigen wird, sollte man parallel auch Maßnahmen zu dem schon vorher produzierten Material implementieren. Ein Vorschlag, den mehrere Staaten befürworten, ist eine Initiative zur Sicherung von Spaltmaterialien.<sup>51</sup> Staaten würden sich zur Zusammenarbeit verpflichten, um die Sicherheit, Transparenz und Kontrolle über weltweite Bestände zu erhöhen, damit ihre Verwendung in Kernwaffen verhindert wird.

Wenn das Ziel die Beseitigung aller Kernwaffen mit einer umfassenden Verifikation ist, sollte man folgende Aufgaben jetzt in Angriff nehmen:

**Anlagen, die nicht für Safeguards ausgelegt sind:** Internationale Arbeitsgruppen sollten diese Anlagen im Detail untersuchen und Vorschläge für nationale Materialbuchhaltung und internationale Verifikation entwickeln.

51 Proposal by Robert Einhorn: Fissile Material Control Initiative (FMCI) – A CSIS Proposal, December 2007, Creating a New Momentum for a Fissile Material Cut-Off Treaty (FMCT), Working Paper submitted by Germany, Preparatory Committee for the 2010 Review Conference of the Parties to the Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons, NPT/CONF.2010/PC.II/WP.21, 30 April 2008.

**Undeklarierte Bestände:** Die Kernwaffenstaaten sollten zunächst eine umfassende nationale Materialbuchhaltung einführen und nach und nach immer mehr Nuklearmaterial IAEA-Safeguards unterstellen. Auch ihren gesamten zivilen Brennstoffkreislauf sollten sie von der IAEA kontrollieren lassen. Alle Staaten sollten kooperieren, um Maßnahmen zur Erleichterung sozialer Verifikation einzuführen.

**Heikle Informationen:** Die USA und Russland sollten die Aktivitäten der Trilateralen Initiative wiederaufnehmen und mit anderen Kernwaffenstaaten zu ähnlichen Projekten kooperieren. Alle sollten ihre Richtlinien zur Geheimhaltung reformieren und andere Staaten zu ähnlichen Reformen motivieren.

**Heimliche Zentrifugenanreicherung:** Anreicherung und Wiederaufarbeitung sollte nur noch in internationaler Kooperation stattfinden. Hierfür sollte man die Internationalisierung dieser Aktivitäten vorantreiben. Soziale Verifikation ist ein Schlüssel bei der Entdeckung illegaler Aktivitäten.

**Brennstoff für militärische Schiffsantriebe:** Diese sollten, wie auch zivile Forschungsreaktoren, von HEU auf LEU umgestellt werden. Die extreme Geheimhaltung aller technischen Informationen zu U-Booten sollte man reformieren und untersuchen, wie weit die Ergebnisse der Trilateralen Initiative auch auf Bestände für militärische Schiffsantriebe übertragbar sind.

**Vertrauen:** Staaten, in denen das Zusatzprotokoll noch nicht in Kraft ist, sollten zu seiner Annahme bewegt werden. Transparenzmaßnahmen und Zusammenarbeit bei der Weiterentwicklung der Methoden zur Entdeckung heimlicher Aktivitäten tragen hierzu bei.

**Nächste Schritte:** Beispiele für nächste Schritte, die heute realistisch erscheinen, sind der FMCT und eine internationale Initiative zur Kontrolle von Nuklearbeständen.

**Kultur der Kooperation:** NKWS sollten anerkennen, dass die Situation in KWS noch anders ist und ihre Erfahrungen zur Kooperation anbieten. Man muss das richtige Maß zwischen Geduld und Druck finden.



## 6. Literatur

*Albright, David/Berkhout, Frans/Walker, William* 1997: Plutonium and Highly Enriched Uranium 1996 – World Inventories, Capabilities and Policies, SIPRI Oxford, 1997.

*Albright, David/Barbour, Lauren* (Hrsg.) 1999: The Challenges of Fissile Material Control, Washington, DC.

*Albright, David/Hinderstein, Corey* 2000: Evidence of Camouflaging of Suspect Nuclear Waste Sites, in: David Albright and Kevin O'Neill (Hrsg.): Solving the North Korean Nuclear Puzzle, ISIS Press, October 2000.

*Albright, David/Kramer, Kimberly* 2005: Neptunium 237 and Americium: World Inventories and Proliferation Concerns, [http://isis-online.org/global\\_stocks/end2003/np\\_237\\_and\\_americium.pdf](http://isis-online.org/global_stocks/end2003/np_237_and_americium.pdf) (2.7.2009).

*Albright, David/Kramer, Kimberly* 2005a: The Disposition of Excess US and Russian Military Highly Enriched Uranium (HEU), in: ISIS-Online, Global Stocks of Fissile Materials, [http://isis-online.org/global\\_stocks/end2003/disposition\\_of\\_excess\\_heu.pdf](http://isis-online.org/global_stocks/end2003/disposition_of_excess_heu.pdf) (2.7.2009).

*Alvim, Carlos Feu* 2004: Brazil and the Additional Protocol of the Safeguards Agreement, Transcription of an Article published in „Correio Braziliense“ of 04/19/2004, [http://ecen.com/eee43/eee43e/adic\\_protc\\_cb.htm](http://ecen.com/eee43/eee43e/adic_protc_cb.htm) (2.7.2009).

*Ban Ki-Moon* 2008: The United Nations and Security in a Nuclear-weapon-free World, 24 October 2008, in: [www.un.org/apps/news/infocus/sgspeeches/search\\_full.asp?statID=351](http://www.un.org/apps/news/infocus/sgspeeches/search_full.asp?statID=351) (2.7.2009).

*Blackaby, Frank* 1996: Societal Verification, in: Background Papers of the Canberra Commission on the Elimination of Nuclear Weapons, 264.

*Bragin, Victor/Carlson, John* 2000: An Introduction to Focused Approach to Verification under FMCT in: The Journal of Nuclear Materials Management, Winter 2000, 39-45.

*Bukharin, Oleg* 1994: Integration of the Military and Civilian Nuclear Fuel Cycles in Russia, in: Science & Global Security, 4: 3, 385-406.

*Bukharin, Oleg* 1996: Analysis of the Size and Quality of Uranium Inventories in Russia, in: Science & Global Security, 6: 1, 59-77.

*Bukharin, Oleg* 2003, Russian and US Technology Development in Support of Nuclear Warhead and Material Transparency Initiatives, in: Transparency in Nuclear Warheads and Materials, in: Zarimpas, Nicholas (Hrsg.), Oxford, 165-180.

*Bunn, Matthew* 2000: The Next Wave: Urgently Needed New Steps to Control Warheads and Fissile Material, Report Carnegie Endowment for International Peace and Harvard University.

*Fetter, Steve* 1993: Nuclear Archaeology: Verifying Declarations of Fissile Material Production, in: Science & Global Security, 3, 237-259.

*Fischer, Wolfgang/Stein, Gotthard* 1999: On-Site Inspections: Experiences from Nuclear Safeguarding, in: Disarmament Forum, 3, 45-54.

*Fuller, James L./Wolford, James K.* 2001: Information Barriers, Proceedings IAEA-SM-367/17/01, [www.pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/ss-2001/PDF%20files/Session%2017/Paper%2017-01.pdf](http://www.pub.iaea.org/MTCD/publications/PDF/ss-2001/PDF%20files/Session%2017/Paper%2017-01.pdf) (2.7.2009).

*Gen IV Forum* 2006: The Proliferation Resistance and Physical Protection Evaluation Methodology Expert Group Of the Generation IV International Forum: Evaluation Methodology for Proliferation Resistance and Physical Protection of Generation IV Nuclear Energy Systems, Revision 5, November 30, [www.gen-4.org/Technology/horizontal/PRPPEM.pdf](http://www.gen-4.org/Technology/horizontal/PRPPEM.pdf) (2.7.2009).

*Glaser, Alexander* 2005: Neutronics Calculations Relevant to the Conversion of Research Reactors to Low-Enriched Fuel, Ph.D. diss., Technical University Darmstadt, February 2005, [elib.tu-darmstadt.de/diss/000566/aglaser\\_thesisrev.pdf](http://elib.tu-darmstadt.de/diss/000566/aglaser_thesisrev.pdf) (2.7.2009).

*Glaser, Alexander* 2008: Characteristics of the Gas Centrifuge for Uranium Enrichment and Their Relevance for Nuclear Weapon Proliferation, in: Science & Global Security, 16, 1-25.

*Gronlund, Lisbeth/Wright, David/Yong Liu* 1995: China and a Fissile Material Production Cutoff, in: Survival, 37: 4, 147-167.

*Harms, Neil/Rodriguez, Perpetua* 1996: Safeguards at Light-water Reactors – Current Practices, Future Directions, in: IAEA-Bulletin, 38, 4: 16-19.

*INFCIRC/153* 1972: The Structure and Content of Agreements Between the Agency and States Required in Connection with the Treaty on the Non-Proliferation of Nuclear Weapons, International Atomic Energy Agency Information Circular, (Corrected) June 1972.

*INFCIRC/540* 1997: Model Protocol Additional to the Agreement(s) Between State(s) and the International Atomic Energy Agency for the Application of Safeguards, International Atomic Energy Agency Information Circular, (Corrected).

*INFCIRC/549* 1998: Communication Received from Certain Member States Concerning their Policies Regarding the Management of Plutonium, International Atomic Energy Agency Information Circular; 31 March.

*INPRO* 2003: Guidance for the Evaluation of Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycles, Report of Phase 1A of the International Project on Innovative Nuclear Reactors and Fuel Cycles (INPRO), International Atomic Energy Agency, IAEA-TECDOC-1362.

*International Atomic Energy Agency* 2001: IAEA Safeguards Glossary: 2001 Edition.

*International Panel On Fissile Materials* 2008: Global Fissile Material Report 2008: Scope and Verification of a Fissile Material (Cutoff) Treaty, [www.fissilematerials.org/ipfm/site\\_down/gfmr08.pdf](http://www.fissilematerials.org/ipfm/site_down/gfmr08.pdf) (2.7.2009).

*ISIS* 2003: Institute for Science and International Security: ISIS-Online, Global Stocks of Fissile Materials, [http://isis-online.org/global\\_stocks/end2003/tableofcontents.html](http://isis-online.org/global_stocks/end2003/tableofcontents.html) (2.7.2009).

*Joint United States/Russian Plutonium Disposition Study* 1996: Prepared by the Joint U.S.-Russian Plutonium Disposition Steering Committee. U.S. Department of Energy, Washington, DC, September 1996.

*Kalinowski, Martin B.* 2008: Remote Environmental Sampling for the Detection of Clandestine Nuclear Weapons Production and Testing, ESARDA Training Course “Nuclear Safeguards and Nonproliferation”, Ispra, 14-18 April 2008, [http://esarda2.jrc.it/internal\\_activities/WC-MC/Web-Courses/01-Background/09-Environmental-Kalinowski.pdf](http://esarda2.jrc.it/internal_activities/WC-MC/Web-Courses/01-Background/09-Environmental-Kalinowski.pdf) (2.7.2009).

*Kankeleit, Egbert/Küppers, Christian/Imkeller, Ulrich* 1989: Bericht zur Waffentauglichkeit von Reaktorplutonium, Report IANUS-1/1989, Darmstadt.

*Kemp, R. Scott* 2008: Initial Analysis of the Detectability of UO<sub>2</sub>F<sub>2</sub> Aerosols Produced by UF<sub>6</sub> Released from Uranium Conversion Plants, in: *Science & Global Security*, 13: 3, 115-125.

*Krass, Allan S./Boskma, Peter /Elzen, Boelie/Smit, Wim A.* 1983: Uranium Enrichment and Nuclear Weapon Proliferation, London.

*Krause, Joachim* 2009: Eine Welt mit weniger Atomwaffen, in: *Frankfurter Allgemeine Zeitung*, 3. April, 2009.

*Maerli, Morten Bremer* 2000: Deep Seas and Deep-Seated Secrets: Naval Nuclear Fuel Stockpiles and the Need for Transparency, in: *Disarmament Diplomacy*, 49, [www.acronym.org.uk/dd/dd49/49fuel.htm](http://www.acronym.org.uk/dd/dd49/49fuel.htm) (2.7.2009).

*Mark, Carson* 1993: Explosive Properties of Reactor-Grade Plutonium, in: *Science & Global Security*, 4: 111-128.

*Müller, Harald* 2006: Multilateralisierung des Brennstoffkreislaufs: Ein Ausweg aus den Nuklearkrisen?, HSFK-Report 10/2006, Frankfurt.

*Müller, Wolfgang D.* 1990: Geschichte der Kernenergie in der Bundesrepublik Deutschland – Anfänge und Weichenstellungen, Stuttgart.

*NAS* 1994: Committee on International Security and Arms Control (CISAC) of the National Academy of Sciences: Management and Disposition of Excess Weapons Plutonium, Washington, DC.

*NAS* 1995: Committee on International Security and Arms Control (CISAC) of the National Academy of Sciences: Management and Disposition of Excess Weapons Plutonium: Reactor Related Options, Washington, DC.

*NAS* 2005: Committee on International Security and Arms Control (CISAC) of the National Academy of Sciences: Monitoring Nuclear Weapons and Nuclear -Explosive Materials, Washington, DC.

- Nuclear Energy Research Advisory Committee* 2000: Annex: Attributes of Proliferation Resistance for Civilian Nuclear Power Systems, U.S. Department of Energy, October 2000, <http://www.ne.doe.gov/neac/neacPDFs/FinalTOPSRptAnnex.pdf> (2.7.2009).
- Peixoto, Orpet J.M./Vinhas, Laércio A.* 2005: Information Protection when Applying Safeguards to Centrifuge Enrichment Facilities; ABACC News, 4, [www.abacc.org/abaccnews/trabalhos.asp?edicao\\_id=3](http://www.abacc.org/abaccnews/trabalhos.asp?edicao_id=3) (2.7.2009).
- Potter, William C.* 2008: Nuclear Terrorism and the Global Politics of Civilian HEU Elimination, in: *The Nonproliferation Review*, 15: 2, 135-158.
- Reistad Ole/Hustveit, Styrkaar* 2008: HEU Fuel Cycle Inventories and Progress on Global Minimization, in: *The Nonproliferation Review*, 15: 2, 265-287.
- Rotblat, Joseph* 1993: Societal Verification, in: Rotblat, Joseph/Steinberger, Jack/Udgaonkar, Bhalchandra (Hrsg.): *A Nuclear-Weapon-Free World: Desirable? Feasible?*, Boulder, CO, 103-18.
- Schaper, Annette/Frank, Katja* 1999: *A Nuclear Weapon Free World – Can it be verified?*, PRIF Reports No. 53, Frankfurt.
- Schaper, Annette* 2001: *Principles of the Verification for a Future Fissile Material Cutoff Treaty (FMCT)*, PRIF Report No. 58, Frankfurt.
- Schaper, Annette* 2004: *Looking for a Demarcation between Nuclear Transparency and Nuclear Secrecy*, PRIF Reports No 68, Frankfurt.
- Schaper, Annette* 2010: HEU in Germany, zur Veröffentlichung vorgesehen, in: *Nonproliferation Review*.
- Sharikov, Dmitry* 2007: *Verification Challenges for Safeguarding Uranium Enrichment Plants*; in: *ESARDA Bulletin*, 37, 75-79.
- Shea, Thomas E.* 1999: *Reconciling IAEA Safeguards Requirements in a Treaty Banning the Production of Fissile Material for Use in Nuclear Weapons or other Nuclear Explosive Devices*, in: *Disarmament Forum, UNIDIR*, 2, 57-71.
- Shea, Thomas E* 2001: *Report on the Trilateral Initiative – IAEA Verification of Weapon-Origin Material in the Russian Federation & the United States*, in: *IAEA Bulletin*, 43: 4, 49-53.
- Shea, Thomas E.* 2008: *The Trilateral Initiative: A Model For The Future?*, in: *Arms Control Today*, 38: 4.
- Steinmeier, Frank-Walter* 2007: *Eine kommerzielle Anlage unter der Hoheit der IAEO könnte die Weiterverbreitung von Atomwaffen verhindern*, in: *Handelsblatt*, 2. Mai 2007.
- Steinmeier, Frank-Walter* 2009: *Rede von Bundesminister Frank-Walter Steinmeier im Deutschen Bundestag anlässlich der Abrüstungsdebatte*, [www.auswaertiges-amt.de/diplo/de/Infoservice/Presse/Reden/2009/090424-BM-BT-Abruestung.html](http://www.auswaertiges-amt.de/diplo/de/Infoservice/Presse/Reden/2009/090424-BM-BT-Abruestung.html) (2.7.2009).
- US Department of Energy* 1996: *Plutonium: The First 50 Years: United States Plutonium Production, Acquisition, and Utilization from 1944 through 1994*, DOE/DP-0137.
- U.S. Department of Energy* 2001: *Highly Enriched Uranium: Striking a Balance - A Historical Report on the United States Highly Enriched Uranium Production, Acquisition, and Utilization Activities from 1945 through September 30, 1996*.
- U.S. Department of Energy* 2001A: *Restricted Data Declassification Policy 1946 to the Present (RDD-7)*, January 1, [www.fas.org/sgp/othergov/doe/rdd-7.html](http://www.fas.org/sgp/othergov/doe/rdd-7.html) (2.7.2009).
- U.S. Department of Energy/Generation IV International Forum* 2002: *A Technology Roadmap for Generation IV Nuclear Energy Systems*, Dezember.
- von Baeckmann, Adolf Dillon, Gary /Perricos, Demetrius* 1995: *Nuclear Verification in South Africa*, *IAEA Bulletin*, Volume 37: 1, 42-48.
- Whiteson, Rena/MacArthur, Duncan W.* 1998: *Information Barriers in the Trilateral Initiative: Conceptual Description*, Report LAUR-98-2137, Los Alamos, NM.
- Wood, Houston G./Glaser, Alexander/Kemp, R. Scott* 2008: *The Gas Centrifuge and Nuclear Weapons Proliferation*, in: *Physics Today*, September 2008; 40-45.
- Wood, Houston G.* 2008: *Effects of Separation Processes on Minor Uranium Isotopes in Enrichment Cascades*, in: *Science & Global Security*, 16, 26-36.

### Anhang I: Nuklearmaterialien, ihre rechtliche Einstufung durch die IAEO und ihre Rolle bei der Entwicklung von Kernwaffen

Material	IAEO-Einstufung	Bedeutung für nukleare Sprengkörper	
„Waffengrädiges Pu“: hoher Anteil des Isotops Pu-239	Kernmaterial „Plutonium“ keine rechtliche Differenzierung Unmittelbar verwendbares Material Besonderes spaltbares Material	Kann direkt für Kernsprengköpfe verwendet werden	
„Reaktorgrädiges Pu“: Pu-239 + beträchtliche Anteile anderer Isotope (Pu-240, Pu-241 ...)		Kann direkt für Kernsprengköpfe verwendet werden, mit einigen technischen Komplikationen	
Pu-238- Mischungen (> 80%)	keine	keine	
„Waffengrädiges“ HEU : Anteil von U-235 ist hoch (> 90 %)	Kernmaterial „HEU“ keine rechtliche Differenzierung Unmittelbar verwendbares Material Ausgangsmaterial Unmittelbar verwendbares Material Ausgangsmaterial Unmittelbar verwendbares Material unbestrahlt bestrahlt Besonderes spaltbares Material	Kann direkt für Kernsprengköpfe verwendet werden	
HEU mit geringerem U-235-Anteil		Kann direkt für Kernsprengköpfe verwendet werden, aber schwieriger als mit 90% HEU	
LEU: LEU (U-235-Anteil < 20%)		Anreicherung nötig, um HEU herzustellen; Oder Bestrahlung mit Neutronen, um Pu zu erbrüten	
Natur-U: U-238 mit U-235-Anteil = 0,7 %			
Abgereichertes U: U-235-Anteil < 0,7 %		Kann direkt für Kernsprengköpfe verwendet werden U-233 muss zunächst mit Wiederaufarbeitung abgetrennt werden	
U-233			
Mischungen mit U-233		Neutronbestrahlung um U-233 zu erbrüten	
Thorium (Th-232)		Unmittelbar verwendbares Material unbestrahlt bestrahlt Besonderes spaltbares Material	Pu muss zunächst mit chemischen Methoden abgetrennt werden
MOX: Mischungen von U- und Pu-Oxiden			Wiederaufarbeitung zur Gewinnung von Pu
Frische abgebrannte Brennelemente: U-238 + U235 + Pu + hochradioaktive Isotope....			Wiederaufarbeitung ist einfacher
Gelagerte abgebrannte Brennelemente (> 10-20 Jahre): U-238 + U235 + Pu + weniger radioaktive Isotope....			
Neptunium (Np-237)	ohne Einstufung, aber Materialbuchhaltung	Kann direkt für Kernsprengköpfe verwendet werden	
Americium (Am-241)	ohne Einstufung, aber Berichtspflicht	Kann für Kernsprengköpfe verwendet werden, aber extreme technische Komplikationen	
Uranerze („yellow cake“)	ohne Einstufung, aber Berichtspflicht ohne Materialbuchhaltung	Rohstoff zur Gewinnung von Natururan	
Tritium	keine	Zusatzstoff in fortgeschrittenen Kernwaffen	

**Anhang II: Inventare waffentauglicher Materialien**

Diese Tabelle ist eine Zusammenfassung der Schätzungen des Instituts of Science and International Security (ISIS 2003). Diese sind Aktualisierungen von Albright et al. 1997. Die Zahlenangaben sind in Tonnen.

	USA	Rußl.	Großb.	Frankr.	China	Indien	Pak.	Israel	NKWS
In Waffen, für militärische Zwecke oder undeklariertes Überschuss									
<i>Pu</i>	47	95	3,2	5	4	0,43	0,02-0,06	0,58	0
<i>HEU</i>	525 <sup>a</sup>	773 <sup>b</sup>	21,9	29	21	0,15-0,3	1,1	?	0
Davon vorgesehen als U-Boot-Brennstoff									
<i>HEU</i>	100	40-70	5-7	1					0
Als Überschuss deklariert									
<i>Pu</i>	52,5	50	4,4						
<i>HEU</i>	174,3 <sup>c</sup>	500 <sup>d</sup>							
Davon unter Safeguards									
<i>Pu</i>	2		4,4						
<i>HEU</i>	10								
Schon entsorgt									
<i>Pu</i>									
<i>HEU</i>	51,3 <sup>e</sup>	200 <sup>f</sup>							
Für zivile Zwecke									
<i>Pu</i>		38.2	74.6	48.1		1-1.5			23-27
<i>HEU</i>	125	15-30	1,5	4,0-5,3	1	0,005-0,01	0,017	0,034	19,4-21,8

a ISIS rechnet 123 t HEUs, die die USA zwar als überschüssig deklariert, aber noch nicht dem militärischen Kreislauf entzogen haben, noch zu der militärischen Kategorie hinzu und kommt daher auf 700 t.

b ISIS rechnet 300 t HEUs, die Russland zwar als überschüssig deklariert, aber noch nicht dem militärischen Kreislauf entzogen hat, noch zu der militärischen Kategorie hinzu und kommt daher auf 1073 t.

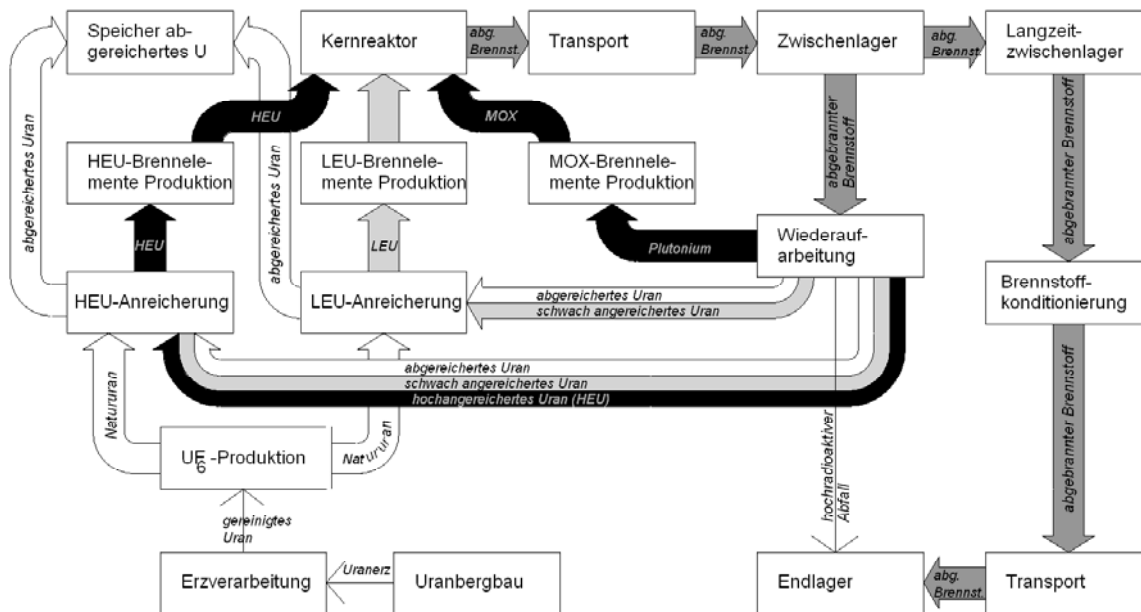
c 123 t dieses Urans befindet sich technisch noch im militärischen Kreislauf.

d 300 t dieses Urans befindet sich technisch noch im militärischen Kreislauf.

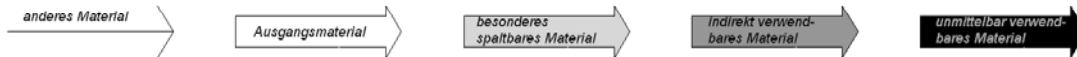
e Diese sind in den 174,3 t des von den USA als überschüssig deklarierten HEU enthalten.

f Diese sind in den 500 t des von Russland als überschüssig deklarierten HEU enthalten.

### Anhang III: Illustration von Brennstoffkreisläufen



#### Klassifikation der IAEO:



Die IAEO stuft verschiedene Nuklearmaterialien in unterschiedliche Kategorien ein, denen jeweils bestimmte Safeguards vorgeschrieben werden. Diese Kategorien sind „unmittelbar verwendbares Material“, „indirekt verwendbares Material“, „besonderes spaltbares Material“, „Ausgangsmaterial“ und „anderes Material“. Bei unmittelbar verwendbarem Material ist der technische Aufwand, um es für Kernwaffen zu missbrauchen, am niedrigsten und die Safeguards am genauesten (IAEO 2001, vgl. auch Anhang I).

**Anhang IV: Abkürzungsverzeichnis**

Am	Americium
AVLIS	Laserisotopenanreicherung
FMCT	Fissile Material Cutoff Treaty
GIF	Generation IV International Forum
IAEO	Internationale Atomenergie-Organisation
HEU	hochangereichertes Uran („highly enriched uranium“)
KWS	Kernwaffenstaat
LEU	schwach angereichertes Uran („low enriched uranium“)
MOX	Mischoxid-Brennstoff
NKWS	Nichtkernwaffenstaat
Np	Neptunium
NTI	Nuclear Threat Initiative
NTM	Nationale Aufklärungstechniken („national technical means“)
NVV	Nuklearer Nichtverbreitungsvertrag
Pu	Plutonium
UF <sub>6</sub>	Uranhexafluorid
UNGA	Generalversammlung der Vereinten Nationen
VN	Vereinte Nationen