

## **Zum Iranischen Atomprogramm**

Unterscheidung zwischen ziviler und militärischer Nutzung der Kernkraft

- Ausarbeitung -



## **Wissenschaftliche Dienste des Deutschen Bundestages**

████████████████████

Zum Iranischen Atomprogramm

Unterscheidung zwischen ziviler und militärischer Nutzung der Kernkraft

Ausarbeitung WD 8 – 3000 - 099/06

Abschluss der Arbeit: 09.05.2006

Fachbereich WD 8: Umwelt, Naturschutz, Reaktorsicherheit,  
Bildung und Forschung

████████████████████

Ausarbeitungen und andere Informationsangebote der Wissenschaftlichen Dienste geben nicht die Auffassung des Deutschen Bundestages, eines seiner Organe oder der Bundestagsverwaltung wieder. Vielmehr liegen sie in der fachlichen Verantwortung der Verfasserinnen und Verfasser sowie der Fachbereichsleitung. Die Arbeiten der Wissenschaftlichen Dienste sind dazu bestimmt, Mitglieder des Deutschen Bundestages bei der Wahrnehmung des Mandats zu unterstützen. Der Deutsche Bundestag behält sich die Rechte der Veröffentlichung und Verbreitung vor. Diese bedürfen der Zustimmung des Direktors beim Deutschen Bundestag.

## 1. Waffenfähiges Material

Kernwaffen, die auf dem Prinzip der Kernspaltung beruhen, können im Prinzip entweder aus Uran oder aus Plutonium hergestellt werden<sup>1</sup>. Uran kommt in relativ großer Menge in natürlichen Lagerstätten vor (siehe Lübbert, Lange (2006)). Kleinere Uranvorkommen existieren auch im Iran. Plutonium kommt hingegen in der Natur praktisch nicht (d.h. nur in winzigen Mengen) vor und kann daher nicht durch Abbau gewonnen werden.

Um waffenfähiges **Plutonium** zu erhalten, müsste dieses zunächst in speziellen Reaktoren erzeugt werden (durch Bestrahlung von Uran mit Neutronen) und dann in einer Wiederaufarbeitungsanlage aus den Reaktor-Brennstäben isoliert werden. Reaktoren und Wiederaufarbeitungsanlagen wären nicht nur technisch aufwändig, sondern auch relativ leicht zu lokalisieren und bei Kontrollen als militärischen Zwecken dienend zu erkennen. Es ist daher allgemein davon auszugehen, dass ein Staat, der ein militärisches Atomprogramm vor internationalen Kontrollen verbergen oder möglicherweise vor feindlichen Militärschlägen schützen will, nicht auf Plutonium, sondern eher auf Uran als spaltbares Material setzen wird. „Letztlich ist der Weg zur Bombe über angereichertes Uran der einfachere. Immerhin ist es ein Weg, für den kein Atomreaktor vonnöten ist“ (von Randow 2005).

**Uran** ist zwar in größerer Menge in der Natur zu finden. Jedoch liegt Natururan immer als Mischung der beiden Uran-Isotope  $^{238}\text{U}$  (zu 99,3%) und  $^{235}\text{U}$  (zu 0,7%) vor. Nur das leichtere, seltenere  $^{235}\text{U}$  ist spaltbar und kann an kernphysikalischen Kettenreaktionen teilnehmen. Mit Natururan als Brennstoff kann keinerlei Kettenreaktion aufrechterhalten werden. Für die Verwendung zur Energiegewinnung in zivilen Kernkraftwerken muss der Anteil des spaltbaren  $^{235}\text{U}$  im Brennstoff zuvor auf mindestens 3-5% erhöht werden. Diese so genannte Anreicherung geschieht in speziellen Anreicherungsanlagen. Ein Urangemisch mit einem solchen, nur moderat erhöhten Anteil an  $^{235}\text{U}$  wird als schwach angereichertes Uran (engl.: low-enriched Uranium, LEU) bezeichnet. Für die Verwendung in Kernwaffen muss der  $^{235}\text{U}$ -Anteil jedoch noch weiter erhöht werden. Ab 20%  $^{235}\text{U}$  spricht man von hoch angereichertem Uran (engl.: highly enriched Uranium, HEU). Für die tatsächliche militärische Verwendung wird oft ein Anreicherungsgrad von 85-90% als untere Grenze genannt. Zwar könnte auch Uran mit einem Anreicherungsgrad zwischen 20 und 85% bereits für Waffenzwecke eingesetzt werden. Jedoch würde dabei der relativ hohe Anteil des nicht spaltbaren  $^{238}\text{U}$  die Kettenreaktion behindern und zum vorzeitigen Abbruch der Explosion führen. Dadurch würde die Spreng-

---

1 Beide Typen wurden bereits seit der Frühzeit der Kernwaffenentwicklung verfolgt. Die am 06.08.1945 über Hiroshima abgeworfene Atombombe enthielt Uran, die drei Tage später über Nagasaki abgeworfene Bombe enthielt vermutlich Plutonium als spaltbares Material.

kraft der Bombe reduziert. Auch wäre der Zündmechanismus komplizierter zu konstruieren, und mögliche Trägersysteme für Bomben hätten höhere Anforderungen zu erfüllen, da sie das  $^{238}\text{U}$  als „Ballast“ mit zu transportieren hätten. Es ist daher davon auszugehen, dass ein Staat, der Kernwaffen konstruieren will, erhebliche Anstrengungen in die Anreicherung von Uran auf mindestens etwa 90% investieren wird.

## 2. **Brennstoffkreislauf und Uran-Anreicherung: Methoden und Instrumente**

Der Weg vom Natururan zum schwach oder hoch angereicherten Uran führt über einen mehrstufigen Prozess. Das in Lagerstätten abgebaute Uran-Erz muss zunächst vom Wirtsgestein getrennt, zerkleinert und gereinigt werden. Dann wird es im Rahmen der so genannten „**Konversion**“ chemisch isoliert, umgewandelt und in den gasförmigen Zustand überführt. Das Endprodukt dieses Prozesses, Uranhexafluorid ( $\text{UF}_6$ ), ist ein Gas, das aus Atomen der Elemente Uran und Fluor zusammengesetzt ist. Dabei bestehen die Uran-Atome nach wie vor aus einem Gemisch von 99,3% des Isotops  $^{238}\text{U}$  und 0,7% des Isotops  $^{235}\text{U}$ .

Um diese beiden Isotope zu trennen und das spaltbare  $^{235}\text{U}$  anzureichern, wird das  $\text{UF}_6$ -Gas in der Folge in Anreicherungsanlagen weiter verarbeitet. Dafür stehen im Prinzip verschiedene Technologien zur Wahl. Während früher vor allem **Diffusionsmethoden** zur Anwendung kamen, sind diese heute u.a. wegen des hohen nötigen Energieaufwandes nur noch in geringerem Umfang im Einsatz. Die Mehrzahl der Anreicherungsanlagen funktioniert heute nach dem Verfahren der **Anreicherung durch Gasultrazentrifugen**, so auch die Anlagen der Firma Urenco im nordrhein-westfälischen Gronau, die die deutschen Kernkraftwerke versorgt (Ohnemus 2005). Daneben existieren weitere Anreicherungsverfahren, so etwa die **Laseranreicherung**. Diese bietet einige prinzipielle Vorteile, erscheint jedoch technisch sehr aufwändig und hat sich bisher nicht im industriellen Maßstab durchsetzen können.

Bei der Anreicherung durch Gasultrazentrifugen erfolgt die Trennung allein aufgrund der leicht geringeren Masse des spaltbaren  $^{235}\text{U}$ . Das  $\text{UF}_6$ -Gas wird in zylinderförmige Gefäße (Zentrifugen) eingeleitet, die sich mit hoher Geschwindigkeit um die eigene Achse drehen und dabei das Gas ebenfalls in Rotation versetzen. Aufgrund ihrer höheren Masse erfahren dabei Moleküle, die ein Atom des schwereren Isotops  $^{238}\text{U}$  enthalten, eine etwas größere Fliehkraft als Moleküle mit dem  $^{235}\text{U}$ -Isotop. Daher reichert sich das  $^{235}\text{U}$  im inneren Bereich (nahe der Drehachse) an, während nahe der Außenwand des sich drehenden Zylinders die  $^{238}\text{U}$ -Konzentration höher ist. Durch zwei getrennte Rohre werden die angereicherte und abgereicherte Fraktion des Gasmisches dann abgeleitet.

Dabei ist zu beachten, dass die Trennung in einem einzelnen Zentrifugier-Schritt nicht vollständig sein kann. Vielmehr ist die  $^{235}\text{U}$ -Konzentration nur leicht erhöht bzw. erniedrigt gegenüber dem Anfangszustand. Um eine Anreicherung bis hin zu LEU oder sogar HEU zu erzielen, müssen daher viele Zentrifugen-Systeme zu einer so genannten Kaskade hintereinander geschaltet werden, wobei jede einzelne Zentrifuge jeweils das Produkt des vorhergehenden Schrittes als Ausgangsmaterial nimmt und (etwas) weiter anreichert. Um zusätzlich zum Anreicherungsgrad auch den Durchsatz, d.h. die pro Tag oder Jahr auf eine gegebene Konzentration angereicherte Menge Uran (in kg oder Tonnen) zu erhöhen, werden außerdem mehrere solcher Systeme parallel zueinander betrieben.

Zentrifugen sind zwar konzeptionell einfach, jedoch in der technologischen Realisierung sehr kompliziert. Da sie sich mit sehr hohen Geschwindigkeiten drehen, sind sie sehr anfällig gegenüber mechanischen Störungen und daher wartungsintensiv. Außerdem erfordert die Steuerung und der automatische Betrieb einer Kaskade von vielen (d.h. Tausenden) zusammengeschalteten Zentrifugen einen erheblichen technischen Aufwand (von Randow 2006b).

Verfügt ein Land jedoch einmal über die Technologie und ausgebildetes Personal zum Betrieb einer Anreicherungsanlage, so könnte dieselbe Anlage je nach Betriebsweise für die Herstellung sowohl von schwach als auch von hoch angereichertem Uran verwendet werden. Es wäre nicht möglich, allein aufgrund der Bauart der Anlage zu unterscheiden, ob die Anreicherung für zivile oder militärische Zwecke betrieben wird.

Für die Benutzung zur Energiegewinnung muss das angereicherte Uran schließlich zu Brennelementen und Brennstäben verarbeitet werden. Hierzu wird es üblicherweise zunächst erneut chemisch umgewandelt und in festes Uranoxid ( $\text{UO}_2$ ) überführt. Für den Gebrauch in Bomben hingegen ist es vorteilhaft, das Uran in reiner Form als Uranmetall vorliegen zu haben. Beobachter weisen deshalb darauf hin, dass Funde von elementarem Uranmetall einen deutlichen Hinweis auf militärische Absichten eines Landes darstellten (Rühle 2006).

### **3. Der Fall Iran: Nukleares Material und nukleare Anlagen**

Im Fall des Iranischen Atomprogramms stellt sich die Frage, ob unter den bisher bekannt gewordenen Tatsachen Hinweise auf Anlagen oder Materialien zu finden sind, die allein aufgrund ihrer technisch-naturwissenschaftlichen Charakteristik eindeutig als (nur) für militärische Anwendungen geeignet zu identifizieren sind.

Ein eindeutiger Hinweis aufgrund nuklearen Materials läge etwa dann vor, wenn im Iran Vorräte von hoch angereichertem Uran (HEU) gefunden würden. Dieses böte für

die zivile Verwendung keinen Vorteil gegenüber schwach angereichertem Uran (LEU), wäre aber zwingende Voraussetzung für den Bau von Uran-Kernwaffen. Tatsächlich sind in einem iranischen Labor einmal sehr geringe Mengen von HEU gefunden worden. Nach iranischer Darstellung stammten diese Spuren aus Verunreinigungen an Zentrifugen, die der Iran in Pakistan gebraucht gekauft hatte. Nach längerer Untersuchung des Sachverhalts bestätigte die Internationale Atomenergiebehörde dem Vernehmen nach diese Darstellung (von Randow 2006a).

Ein weiterer Hinweis auf militärische Absichten aufgrund von nuklearem Material könnte sich aus der Tatsache ergeben, dass im Iran 1991 400 Kilogramm Uran chemisch in elementares Uran-Metall umgewandelt wurden (Rühle 2006). Andere Darstellungen berichten sogar, dieses Uranmetall sei in Halbkugel-Form gebracht worden (von Randow 2006a). Metallischer Zustand und halbkugelartige Form wären für den Bombenbau vorteilhaft, für zivile Anwendungen hingegen nicht hilfreich und unüblich. Allerdings lässt sich den vorliegenden Berichten über diesen Fund nicht entnehmen, ob das Uranmetall auch bis zu dem für Waffenzwecke notwendigen Grad angereicht war.

Abgesehen von diesen (wenigen) verdächtigen Materialfunden könnten Hinweise auf militärische Absichten in den iranischen Anlagen zur Uran-Verarbeitung und Anreicherung gesucht werden. Allerdings ist eine trennscharfe Unterscheidung zwischen ziviler und militärischer Nutzung allein anhand von Inspektionen von Anlagen und Geräten äußerst kompliziert. Praktisch alle bisher bekannten Anlagen fallen in die Kategorie der „Dual-Use“-Technologie, die je nach Betriebsweise sowohl zivilen als auch militärischen Zwecken dienen könnten.

Im Zentrum der internationalen Aufmerksamkeit stand in jüngster Zeit die Anlage zur Urananreicherung in Natanz. Unbestritten ist, dass diese Anlage sowohl zur Produktion von LEU als Brennstoff für Kernkraftwerke als auch zur Produktion von HEU für den Bombenbau dienen könnte. Die Mitteilung des iranischen Präsidenten, dass in dieser Anlage 146 Zentrifugen zu einer Kaskade zusammengeschaltet und erfolgreich zur Anreicherung von Uran verwendet worden seien, wurde von manchen Beobachtern so interpretiert, dass Iran faktisch zur Atommacht aufgestiegen sei. Andere Beobachter interpretieren diese Mitteilung primär als politische Drohgeste; im Übrigen sei sie „technisch ein Nullevent“ (von Randow 2006b). Die Zahl von 146 Zentrifugen sei viel zu klein für die Anreicherung in industriellem Maßstab. Man brauche mindestens etwa 1700 Zentrifugen, um angereichertes Uran für eine einzige Atombombe pro Jahr herstellen zu können<sup>2</sup>. Für eine realistische Produktion im industriellen Maßstab seien sogar bis zu 50.000 Zentrifugen notwendig.

---

2 Diese Zahlen wurden der Größenordnung nach bestätigt von [REDACTED] Geschäftsführer der Uran-Anreicherungsanlage der Urenco GmbH in Gronau, NRW [REDACTED]

Mit der Zahl der zu einer Kaskade zusammengeschalteten Zentrifugen steige auch die Komplexität der notwendigen Steuerungs- und Regelungselektronik, über die der Iran bisher vermutlich nicht verfüge. Außerdem fehle es dem Iran noch an Sicherheitstechnik, Betriebserfahrung, Erfahrungen mit Montage, Wartung und Reparatur der sehr störanfälligen Zentrifugensysteme, an hochreinen Ausgangsstoffen und insbesondere an den nötigen Mengen des Elementes Fluor. Selbst wenn alle diese Schwierigkeiten überwunden werden könnten, müsse der Iran noch erhebliche Probleme beim Design von Bomben, der Miniaturisierung von Gefechtsköpfen, der Montage des Gefechtskopfes auf der Trägerrakete etc. lösen, bevor tatsächlich eine Bedrohung durch iranische Kernwaffen befürchtet werden müsse. Nach dieser Darstellung sei der Iran, selbst wenn man ihm militärische Absichten unterstellen wolle, noch mindestens 4 Jahre vom Status einer Atommacht entfernt (von Randow 2006b).

Als weiterer Hinweis auf militärische Absichten wird teilweise der Bau einer Fabrik für schweres Wasser und eines Schwerwasserreaktors in Arak gewertet. Bei diesem Reaktortyp entsteht während des Betriebs vermehrt Plutonium, das für den Bau einer Plutoniumbombe verwendet werden könnte (von Randow 2005, Wirz 2004). Allerdings müsste es hierzu zunächst aus den abgebrannten Brennstäben extrahiert werden. Pläne für den Bau der hierzu notwendigen Wiederaufarbeitungsanlage im Iran sind bisher nicht bekannt. Umgekehrt bietet ein Schwerwasserreaktor auch Vorteile für die zivile Energienutzung: Im Gegensatz zu den üblichen Leichtwasserreaktoren benötigt er nicht einmal schwach angereichertes Uran, sondern kann direkt mit Natururan betrieben werden. Sollte Iran die Option der Energiegewinnung mit Schwerwasserreaktoren systematisch nutzen wollen, könnte dies also möglicherweise als Hinweis auf friedliche Absichten des Atomprogramms interpretiert werden – allerdings wohl nur unter der Bedingung, dass auf eine Uran-Anreicherung vollständig verzichtet wird, da diese dann für die zivile Nutzung vollständig entbehrlich wäre. Andererseits weisen manche Kommentatoren darauf hin, dass Schwerwasserreaktoren gerade deshalb besonders heikel sind, weil Natururan wesentlich leichter zu beschaffen sei – insbesondere in einem Land mit eigenen Uranvorkommen wie dem Iran – und das entstehende Plutonium so leichter unbemerkt missbraucht werden könne als im Fall des für Leichtwasserreaktoren nötigen, leicht angereicherten Urans (Wirz 2004).

Vermutungen über militärische Absichten gründen sich bisher offenbar vor allem auf andere Faktoren wie den oft aggressiven Tonfall führender iranischer Politiker, die mangelhafte Kooperation des Landes mit der Internationalen Atomenergiebehörde, die zögerliche Informationspolitik, die Verheimlichung vieler Bau- und Entwicklungsprojekte, sowie die vermutete geostrategische Interessenlage Irans. Hinweise könnten ferner daraus abgeleitet werden, dass Iran an der Fertigstellung einer eigenen Anreicherungsanlage festhält, obwohl Russland die Belieferung des Kernkraftwerks in Buscher

mit angereichertem Uran angeboten hatte. Weitere Indizien könnten schließlich darin gesehen werden, dass Iran zeitgleich zum Atomprogramm Mittelstreckenraketen entwickelt bzw. beschafft hat, die für atomare Sprengköpfe geeignet wären (Wirz 2004), sowie in angeblichen Versuchen iranischer Agenten, auf dem Schwarzmarkt waffenfähiges Uran zu kaufen (Rühle 2006).

#### 4. Fazit

Eine Unterscheidung zwischen zivilen und militärischen Absichten des iranischen Atomprogramms allein aufgrund technisch-naturwissenschaftlicher Kriterien in eindeutiger Weise zu treffen, erscheint derzeit sehr schwierig.

Insgesamt bleibt festzuhalten: Es gibt viele Hinweise auf mögliche militärische Absichten, jedoch bisher keinerlei Beweis. Rühle (2006) fügt hierzu an: „Das Dilemma hierbei ist, dass die Prozesse zur – erlaubten – friedlichen Nutzung der Kernenergie zu 95 Prozent identisch sind mit den – verbotenen – Prozessen zum Bau einer Atomwaffe. Mit anderen Worten: Technisch betrachtet, wird erst in der allerletzten Phase eines Atomprogramms sichtbar, ob es um friedliche Nutzung oder um Bombenbau geht“.

#### 5. Literatur und weitere Informationsquellen

- Uran als Kernbrennstoff – Vorräte und Reichweite. Info-Brief der Wissenschaftlichen Dienste des Dt. Bundestags. Im Intranet: [http://www.bundestag.btg/Wissen/Ausarbeitungen/Publikationen/2006/Uran\\_als\\_Kernbrennstoff\\_Vorraete.pdf](http://www.bundestag.btg/Wissen/Ausarbeitungen/Publikationen/2006/Uran_als_Kernbrennstoff_Vorraete.pdf) [Stand 03.05.2006].
- Michaelis, Hans; Salander, Carsten – Herausgeber (1995). Handbuch Kernenergie - Kompendium der Energiewirtschaft und Energiepolitik. Frankfurt/Main: VDE-Verlag.
- Ohnemus, Joachim (2005). Die Erweiterung der Urananreicherungsanlage in Gronau. Vortrag im Rahmen des „Forums in Berlin“ des Informationskreises Kernenergie. Zusammenfassung im Internet: [http://www.kernenergie.net/informationskreis/de/veranstaltungen/foruminberlin/veranstaltung\\_detail.php?navid=&detail=/veranstaltungen/de/foruminberlin/2005\\_06\\_28\\_veranstaltung.php](http://www.kernenergie.net/informationskreis/de/veranstaltungen/foruminberlin/veranstaltung_detail.php?navid=&detail=/veranstaltungen/de/foruminberlin/2005_06_28_veranstaltung.php) [Stand 03.05.2006].
- Rühle, Hans (2006). Die Fünf-Prozent-Frage. In: Frankfurter Allgemeine Zeitung, 04.03.2006.
- Schäfer, Helmut (Herausgeber) (1994). VDI-Lexikon der Energietechnik. Düsseldorf: VDI-Verlag.
- Tagesschau (2006). Hintergrund - Die Atomanlagen in Iran. Im Internet: [http://www.tagesschau.de/aktuell/meldungen/0,1185,OID4610186\\_REF1\\_NAV\\_BA\\_B.00.html](http://www.tagesschau.de/aktuell/meldungen/0,1185,OID4610186_REF1_NAV_BA_B.00.html) [Stand 04.05.2006].
- von Randow, Gero (2005). Wie baut man eine Atombombe? In: Die ZEIT online, 24.07.2005. Im Internet: [http://www.zeit.de/2005/29/0atom\\_2](http://www.zeit.de/2005/29/0atom_2) [Stand 04.05.2006].

- von Randow, Gero (2006a). Iran kooperiert noch immer nicht. In: ZEIT online, 27.02.2006. Im Internet: [http://www.zeit.de/online/2006/09/iaea\\_analyse](http://www.zeit.de/online/2006/09/iaea_analyse) [Stand 04.06.2006].
- von Randow, Gero (2006b). Noch 4 Jahre, mindestens. In: Die Zeit Nr. 17/2006 vom 20.04.2006. Im Internet: [http://www.zeit.de/2006/17/Iran\\_Atomwaffen](http://www.zeit.de/2006/17/Iran_Atomwaffen) [Stand 03.05.2006].
- von Winter, Thomas; Maschke, Katharina (2006). Gegenstände des Internationalen Konfliktes um das Iranische Atomprogramm. Info-Brief der Wissenschaftlichen Dienste des Deutschen Bundestags. In Vorbereitung (Mai 2006).
- Wirz, Christoph (2004). Ist Iran auf dem Weg zur Atombombe? Hintergrundinformationen des „Labor Spiez – schweizerische Fachstelle für ABC-Schutz“. Im Internet: [http://www.labor-spiez.ch/d/h\\_info/iran/HI\\_Iran\\_Jan04\\_d2\\_int.pdf](http://www.labor-spiez.ch/d/h_info/iran/HI_Iran_Jan04_d2_int.pdf) [Stand 04.05.2006].