

Kernenergie

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	2
I. Einleitung	3
II. Reaktortypen	3
1. Druckwasserreaktor	3
2. Heißdampfreaktor	3
3. Gas-Graphit-Reaktor	3
4. Hochtemperaturreaktor	3
5. Natrium-Graphit-Reaktor	4
6. Kraftwerke des Typ Tschernobyls	4
III. Abfall	4
IV. Nuklearwaffen	4
1. Wasserstoffbombe	5
2. Cobaltbombe	6
3. Neutronenbombe	6
4. Detonation von Atombomben	6
V. Auswirkungen von atomaren Explosionen	6
1. Thermische Auswirkung	6
2. Klimatische Auswirkung	7

Vorwort

Mit dem hier vorliegenden Protokoll, bietet sich ihnen eine ideale Grundlage zur Vorbereitung insbesondere auf das Abitur. In den folgenden vier Kapiteln werden grundlegende Informationen zu Kernreaktoren und Nuklearwaffen geliefert. Einige Protokolle haben fast idealtypischen Charakter, andere hingegen weisen kleinere bis mittlere sprachliche sowie inhaltliche Defizite auf, jedoch sollte jeder Schüler der gymnasialen Oberstufe in der Lage sein das nötige Wissen zu extrahieren. Gleiches gilt für subjektive Eindrücke der Autoren. Die Texte sind weitgehend in der Originalfassung belassen, jedoch wurden augenscheinig grobe Fehler korrigiert.

Da die meisten Texte nur in gedruckter Form vorlagen ist ein nicht zu verachtender Arbeitsaufwand entstanden. Dabei kann es zu Fehlern bei der Texterkennung gekommen sein. Jedoch wurde mit größtmöglicher Sorgfalt gearbeitet und die Zahl der Fehler sollte somit relativ gering sein. Falls dennoch Fehler festgestellt werden, bitten wir diese mit Datei- und Zeilenangabe an die unten genannte Adresse zu melden. Generell sind wir über jeden Art von Rückmeldung erfreut!

KONTAKT

Email:
redaxxion@classof99.de

Im Internet:
www.classof99.de

Dieses Dokument darf nicht für kommerzielle Zwecke verwendet werden! Für nichtkommerzielle Zwecke, darf es beliebig oft kopiert und weitergegeben werden, solange es unverändert und in vollem Umfang erhalten bleibt! Für jegliche Schäden oder Einkommensverluste, die aus irgendeinem Grund aus der Benutzung dieses Dokumentes resultieren, könne die Autoren in keiner Weise haftbar gemacht werden.

I. Einleitung

Nachdem nun Tobias erklärt hat, wie in einem Reaktor die Kernspaltung zur Energiegewinnung genutzt wird und dieses anhand eines Siedewasserreaktors erklärt hat, sollen nun andere Reaktortypen veranschaulicht werden. Des Weiteren wird gezeigt was mit dem Atommüll geschieht und wie die militärische Nutzung von Kernenergie aussieht.

II. Reaktortypen

Reaktoren lassen sich in verschiedene Klassen einteilen. Diese Klassen werden durch die verwendeten Neutronen charakterisiert. Wenn man langsame Neutronen benutzt handelt es sich um einen thermischen Reaktor. Bei mittelschnellen Neutronen spricht man von einem epithermischen Reaktor und bei schnellen Neutronen spricht man von einem schnellen Reaktor. Innerhalb dieser Klassen kann man die Reaktoren nochmals unterscheiden, in Abhängigkeit von den verwendeten Moderatoren.

Reaktoren: Druckwasserreaktoren, Siedewasserreaktoren, Heißdampfreaktoren, Gas-Graphit-Reaktoren, Hochdruckreaktoren, Schwerwasserreaktoren, Natrium-Graphit-Reaktoren

1. Druckwasserreaktor (engl.: Pressurize water reactor PWR)

Es handelt sich hierbei um einen thermischen Reaktor, indem Wasser oder schweres Wasser bei einem Druck zwischen 120 und 160 bar als Kühlmittel und Moderator dient. Durch den hohen Druck wird der Siedepunkt des Wassers angehoben, so dass das Wasser nicht im Druckbehälter verdampft trotz einer Temperatur von ca. 290 °C. Das Wasser des primären Kreislaufes unter Hochdruck gibt seine Wärme in Dampferzeugern an das Wasser des sekundären Kreises ab. Im sekundären Wasserkreis herrscht lediglich ein Druck von 66 bar, so dass das Wasser bei ca. 285 C schnell verdampft. Dieser Wasserdampf treibt nun die Turbinen an. Die Turbinen kommen somit nicht mit kontaminiertem Wasser in Berührung. Aufgrund der zwei Wasserkreisläufe ist dieser Reaktortyp sicherer als ein Siedewasserreaktor weshalb dieser Typ zu den deutschen Standardreaktoren zählt, wie z.B. Biblis mit einer Leistung von ca. 1300 MW.

2. Heißdampfreaktor (HDR)

Er arbeitet wie ein Siedewasserreaktor, jedoch wird der Heiße Dampf nach den Turbinen nicht heruntergekühlt, sondern gleich wieder in den Kern (Core) geschickt.

3. Gas Graphit-Reaktor

Er ist ähnlich aufgebaut wie ein Siedewasserreaktor, jedoch arbeitet er mit einer Temperatur von 600 °C. Dies ist möglich, weil Kohlendioxid als Kühlmittel und Graphit als Moderator benutzt wird.

4. Hochtemperaturreaktoren (engl.: high temperature gas cooled reactor HTGR)

Dieser Reaktor bei einem Druck von ca. 40 bar. Als Kühlmittel werden Edelgase verwendet wie z.B. Helium. Als Moderator dient wieder Graphit. Das besondere an diesem Reaktor ist, dass die Brennelemente kugel- oder blockförmig sind und nicht wie als Stäbe im Kern vorhanden sind. Die Kugeln sind ca. 6 cm dick und enthalten jeweils etwa 1g Uran-235 welches die Neutronen für den Brutstoff Thorium-232 liefert. Dieses ist ebenfalls zu 10 g in jeder Kugel vorhanden, wobei sich die 10 g aus Thorium in kleinen Kügelchen von 0,5 bis 0,7 mm Durchmesser zusammensetzen, die mit einer Keramikummantelung versehen sind, um eine Hitzebeständigkeit zu erreichen. Etwa 35000 dieser Kügelchen befinden sich in einer Kugel. Aufgrund der hohen Temperaturen von 750 C die im Kern herrschen und der 530 C an den Turbinen, können Turbogeneratoren eingesetzt werden. Diese führt zu einem Wirkungsgrad von über 40 %. Dieser ist somit um ca. 5-6 % höher als bei Siede- oder Druckwasserreaktoren und um 1% höher als die Natrium Graphit Reaktoren.

5. Natrium-Graphit-Reaktoren

Beispiel für einen schnellen Reaktor

Als Kühlmittel dient flüssiges Natrium, wobei der Moderator wieder Graphit ist. Da Natrium von Natur aus einen höheren Siedepunkt als Wasser hat, kann man die im Reaktor anfallende Wärme bei möglichst hohen Temperaturen abführen ohne dass man ein dickes Druckgefäß verwenden muss wie beim Druckwasserreaktor. Im Kern herrscht eine Temperatur von 545 °C bei einem Druck von 10 bar, was sehr gering ist. Das Natrium im Primärkreislauf erhitzt das Natrium im sekundärem Kreislauf. Dieser zweite Kreislauf erhitzt dann Wasser in einem dritten Kreislauf, welches dann die Turbinen antreibt. Der Wasserdampf hat eine Temperatur von ca. 487 °C bei einem Druck von 177 bar. Der dreifache Kreislauf ist notwendig, weil im ersten Kreislauf aus dem Natrium-23 durch die Neutronen Natrium-24 entsteht, welches radioaktiv ist und das Wasser bei einem Unfall mit Natrium chem. reagiert würde.

Diese Reaktortypen werden insbesondere für Brüter benutzt, hierbei entfällt allerdings der Moderator, weil man schnelle Neutronen benötigt. Ein schneller Brüter zeichnet sich dadurch aus, dass im Kern mehr spaltbares Material erzeugt wird, als gleichzeitig zur Energieerzeugung verbraucht wird. Der Kern dieses Reaktors besteht aus zwei Zonen, in der Inneren befinden sich die Brennstäbe mit Uran. Hier findet hauptsächlich die Kernspaltung statt. Im äußeren Mantel befindet sich Uran 238 welches durch schnelle Elektronen in Plutonium 239 umgewandelt wird. Im Schnitt erhält man für 100 gespaltene Plutoniumkerne 115 neue. Diese neuen kann man aufbereiten und in Leichtwasserreaktoren benutzen. Man kann somit das Natururan 60 mal besser ausnutzen, was zu einer Verringerung des Atommülls führt. Neben der Herstellung von Plutonium für andere Reaktoren, hat der Brüter einen Nettowirkungsgrad von 39 %.

6. Kraftwerke des Typs Tschernobyl

In einem Graphitblock befinden Druckröhren mit den Brennelemente. Der Graphitblock befindet sich in einem Stahlbehälter. Zwischen dem Block und dem Behälter befindet sich ein Schutzgas, welchen verhindern soll, dass das Graphit brennt. Die Druckröhren sind mit Wasser gefüllt. Dieses dient gleichzeitig zur Kühlung und als Moderator. Das Wasser treibt dann, wenn es verdampft Turbinen an. Neben den schlechten Sicherheitsvorkehrungen bei diesem Reaktortyp (kein Druckbehälter, kein ausreichender Strahlenschutz, Turbinen werden mit kontaminiertem Wasser betrieben, wobei die Turbinen nicht zur Umwelt hin ausreichend abgeschirmt sind.

III. Abfall

Die ausgebrannten Stäbe werden in einem Kernkraftwerk für längere Zeit in einem Wasserbecken (Abklingbecken) aufbewahrt, so dass die Restaktivität weiterhin absinkt. Anschließend werden sie unter Wasser in einem Castorbehälter geladen, der ebenfalls mit Wasser gefüllt ist (Kühlung und Moderator). Die Behälter sind so gebaut, dass kaum Strahlung ins freie gelangt. Die Brennstäbe werden dann meistens wiederaufbereitet. Dabei isoliert man das restliche Uran 235 und das Plutonium 239 welche dann wieder zu Rennelementen verarbeitet werden. Die Reststoffe die bei der Aufbereitung anfallen werden mit Glas eingeschmolzen und in speziellen Lagern gelagert. Bei diesen Lagern handelt es sich um alte Salzbergwerke. Sie bieten die Garantie, dass nicht von den radioaktiven Stoffen in das Grundwassergelangt. Zudem leitet Salz die entstehende Wärme recht gut ab. Neben die Reststoffen aus den Aufarbeitungsanlagen werden in den Salzstollen auch sonstige radioaktive Abfälle gelagert, wie z.B. die kontaminierte Kleidung. In Zukunft sollen auch Brennstäbe, wenn sie verbraucht sind, direkt in solche Salzbergwerke kommen, da die Wiederaufbereitung zu großen Kosten führt. In Deutschland ist allerdings noch keine Lösung für die Endlagerung von hoch radioaktiven Stoffen gefunden.

IV. Nuklearwaffen

Beim Einsatz werden große Mengen an Atomenergie frei. Die erste Atombombe wurde am 16. Juli 1945 auf dem Versuchsgelände bei Alamogordo (New Mexico) getestet. Bis zu diesem Zeitpunkt gab es nur Sprengkörper, die ihre Sprengkraft aus der schnellen Verbrennung oder der Zersetzung chemischer Substanzen entwickelten. Derartige Prozesse setzen nur die Energie der äußersten Elektronen im Atom frei.

Die ersten Entwicklungen und Tests liefen in Los Alamos (New Mexico) unter dem Decknamen Manhattan-Projekt. Es wurde während des 2. Weltkrieges (August 1942) gegründet.

Es wurden weitere Bombentypen entwickelt, um sich die Energie leichter Elemente, wie z.B. Wasserstoff, zu erschließen. Treibende Kraft bei diesem Bombentyp war der Fusionsprozess, wobei die Kerne der Wasserstoffisotope zu einem schwereren Heliumkern verschmelzen (siehe thermonukleare oder Verschmelzungswaffen weiter unten). Im Ergebnis dieser Waffenforschung wurden Bomben hergestellt, die eine Sprengkraft von einem Bruchteil einer Kilotonne (entspricht 1 000 Tonnen TNT) bis zu vielen Megatonnen (entspricht einer Million Tonnen TNT) hatten. Auch die Größe der Bombe wurde mit fortschreitender Entwicklung deutlich verringert. Man begann nukleare Artilleriegranaten und kleine Raketen zu bauen, die von tragbaren Granatwerfern im Feld abgeschossen werden können. Obwohl Atombomben ursprünglich als strategische Waffen zur Ausrüstung großer Bomber entwickelt wurden, sind heute Atomwaffen für eine Vielzahl von sowohl strategischen als auch taktischen Anwendungen verfügbar. Heute erforscht man Kernwaffen z.B. in Los Alamos (USA), im Lawrence Livermore Labor (Kalifornien) und in Aldermaston (Großbritannien).

Während in Atomkraftwerken Kettenreaktionen völlig kontrolliert ablaufen, findet bei einer Atombombenexplosion eine unkontrollierte Kettenreaktion statt. Diese läuft innerhalb von Sekundenbruchteilen (1/1 Mio. Sekunde) ab. Dadurch werden explosionsartig große Mengen an Wärmeenergie frei (14 Mio. °C , 23 kWh pro Kg U-235). Neben diesen ungeheuren Energien werden auch tödliche radioaktive Spaltprodukte freigesetzt. In der Atombombe kann es nur dann zur Kettenreaktion kommen, wenn genügend freie Neutronen auf genügend spaltbare Kerne treffen.

Zwei Bedingungen müssen hierfür erfüllt werden:

1. Die Bombe muss reines U-235 enthalten, da sich nur diese Kerne spalten lassen. Natururan eignet sich hierfür nicht, da es ja nur aus 0,7 % U-235 besteht. Das passive U-238 wird in Isotopentrennanlagen herausgefiltert.

2. Eine ausreichend große Masse Uran muss vorhanden sein, denn sonst verlassen die meisten Neutronen das Uran durch seine Oberfläche, ohne dass eine Kettenreaktion ausgelöst wird. Diese notwendige Mindestmasse, nennt man auch kritische Masse. Die kritische Masse beträgt bei U-235 23 Kilogramm. Erhöht man die Masse und presst das Spaltmaterial in eine Kugel, dann entsteht eine superkritische Anordnung, bei der die darauf folgenden Generationen von Spaltungen sehr schnell zunehmen. Im Ergebnis führt die extrem schnelle Freisetzung riesiger Energiemengen zur Explosion. Deshalb muss in einer Atombombe eine Menge spaltbaren Materials, die größer ist als die kritische Masse, unverzüglich zusammengefügt und für etwa eine Millionstelsekunde zusammengehalten werden, um die Kettenreaktion voranschreiten zu lassen. Ein schweres Material, auch Reflektor genannt, umhüllt die spaltbare Masse und verhindert ihren vorzeitigen Durchbruch. Mit dem Reflektor wird auch die Zahl der entweichenden Neutronen verringert. Wenn jedes Atom in 0,5 Kilogramm Uran sich spaltete, würde die erzeugte Energie der Sprengkraft von 9,9 Kilotonnen TNT entsprechen. In diesem theoretischen Fall wäre der Wirkungsgrad des Vorgangs 100 Prozent. Man kann außer U-235 auch noch Plutonium-239 verwenden. Hierbei beträgt die kritische Masse sogar nur 5,6 Kilogramm. Es kommt in der Natur nur sehr selten vor, wird aber in den Reaktoren von Kernkraftwerken ständig erzeugt.

Die bei der Explosion verlorengegangene Masse ist vergleichsweise gering. Bei der Hiroshima-Bombe (6.8.1945) tötete ein Gramm Materie, das in Energie umgewandelt wurde, ca. 200 000 Menschen.

1. Wasserstoffbombe

Bei Wasserstoffbomben bzw. thermonuklearen Sprengkörpern entsteht die Energie durch Kernfusion der H-Isotope Deuterium und Tritium oder Lithium-6. Zur Einleitung einer solchen Reaktion sind hohe Temperaturen von einigen Millionen °C nötig. Deswegen benutzt man eine Atombombe als Zünder. Die Energie der Bombe führt zu einer. Die Verschmelzung der Isotopenkerne leichter Atome (z. B. Wasserstoff) bildet das Gegenstück zur Spaltung. Diese Waffen bezeichnet man als Wasserstoffbomben oder H-Bomben. Von den drei Wasserstoffisotopen verbinden sich die zwei schwersten Isotope, Deuterium und Tritium, sehr leicht zu Helium. Die freigesetzte Energiemenge pro nuklearer Reaktion ist zwar geringer als bei der Kernspaltung, jedoch enthalten 0,5 Kilogramm des leichteren Materials deutlich mehr Atome. Dadurch ist die Energie, die aus 0,5 Kilogramm Brennstoff aus Wasserstoffisotopen freigesetzt wird (etwa 29 Kilotonnen TNT), fast dreimal so viel wie bei der gleichen Menge Uran. Dieser Schätzwert setzt jedoch eine vollständige Verschmelzung aller Wasserstoffatome voraus. Verschmelzungsreaktionen laufen nur bei Temperaturen von mehreren Millionen Grad ab, wobei sich mit steigender Temperatur der Wirkungsgrad erhöht. Die Entwicklung war vor der Fertigstellung der A-Bomben gar nicht möglich, da man nur mit Hilfe einer A-Bombe diese gewaltigen Temperaturen erreichen konnte.

2. Cobaltbombe

Umgibt man eine Wasserstoffbombe mit einem Cobaltmantel, so wird das natürliche Cobaltisotop Co-59 durch Neutroneneinfang in das radioaktive Co-60 umgewandelt, dessen starke Gammastrahlung eine Halbwertszeit von 5,272 Jahren (5 Jahre und 99,28 Tage) hat. Als radioaktiver Niederschlag würde es eine verheerende Wirkung auf alles Leben ausüben.

3. Neutronenbombe

Die weiterentwickelte Strahlungs-Verschmelzungs-Bombe, auch Neutronenbombe genannt, die von den Vereinigten Staaten und anderen Atommächten getestet wurde, setzt keine lang anhaltenden radioaktiven Spaltprodukte frei. Im Grunde genommen ist die Neutronenbombe somit eine sehr kleine Wasserstoffbombe. Jedoch weiß man, dass die hohe Anzahl frei werdender Neutronen in einem verhältnismäßig kleinen Gebiet um den Explosionsherd herum Radioaktivität in Stoffen hervorruft besonders in Erde und Wasser. Allerdings entsteht bei ihrer Detonation nur wenig Hitze und eine schwache Druckwelle, so dass fast keine Beschädigungen an Gebäuden und Waffen auftreten. Dafür kommt es aber, zu einer sehr starken Neutronenstrahlung, die bei der Kernfusion entsteht. Sie wirkt vor allem gegen Lebewesen aufgrund des Wassergehaltes in den Zellen. Die Gefährlichkeit der Neutronenbombe beruht in erster Linie auf der biologischen Strahlenwirkung, der bei der Deuterium-Tritium-Fusionsreaktion freigesetzten schnellen Neutronen, die fast alle Materialien durchdringen. Die von Neutronen getroffenen organischen Moleküle können ihre biologischen Funktionen nicht mehr ausführen, was zur Zerstörung der Zellen und schließlich zu Krankheit und Tod führt. Auf Grund ihrer verheerenden Wirkung für Lebewesen wird die Neutronenbombe als taktische Waffe angesehen. Der radioaktive Niederschlag hingegen ist so geringfügig als bei einer normalen Atombombe, jedoch kann man das Gebiet aufgrund der starken Neutronenstrahlung nicht allzu schnell betreten..

4. Detonation von Atombomben

Eine kompliziertere Methode (auch Implosion) wird in einer kugelförmigen Waffe angewandt. Der äußere Teil der Kugel besteht aus einer Schicht dicht nebeneinander angeordneter und speziell geformter Bauteile, die aus hochexplosivem Material bestehen und die Explosion auf die Bombenmitte richten sollen. Jeder Abschnitt des hochexplosiven Materials ist mit einer Sprengkapsel versehen. Diese wiederum sind mit allen anderen Abschnitten durch Drähte verbunden. Mit einem elektrischen Impuls werden alle Teilstücke des hochexplosiven Materials gleichzeitig gezündet. Die daraus entstehende Detonationswelle läuft im Zentrum der Waffe zusammen. Dort befindet sich eine Kugel aus spaltbarem Material. Durch den enormen nach innen gerichteten Druck (Implosion) wird diese Kugel zusammengedrückt. Bei diesem Vorgang erhöht sich die Dichte des Metalls, und eine superkritische Anordnung wird erzeugt. Sowohl die Testbombe von Alamogordo als auch die am 9. August 1945 auf Nagasaki abgeworfene Bombe waren Implosionsbomben. Jede von ihnen hatte eine Sprengkraft von etwa 20 Kilotonnen TNT. Unabhängig von der zum Erreichen der superkritischen Anordnung eingesetzten Methode läuft die Kettenreaktion in etwa einer Millionstelsekunde ab und setzt dabei riesige Mengen von Wärmeenergie frei. Die extrem schnelle Abgabe einer sehr großen Energiemenge in einem verhältnismäßig kleinen Raum führt dazu, dass die Temperatur auf mehrere Millionen Grad steigt.

V. Auswirkungen von atomaren Explosionen

1. Thermische Auswirkungen

Bei der Explosion einer 10-Kilotonnen-Bombe in der Luft erreicht der Feuerball einen maximalen Durchmesser von 300 Metern. Bei einer 10-Megatonnen-Waffe kann der Feuerball bis zu 4,8 Kilometer Durchmesser erreichen. Eine extrem heiße Hitzewelle wird blitzartig vom Feuerball ausgestrahlt. Ihre Intensität nimmt mit der Entfernung ab. Die Wärmeenergiemenge, die in einer bestimmten Entfernung von der nuklearen Explosion wahrgenommen wird, hängt von der Sprengkraft der Waffe und dem Zustand der Atmosphäre ab. Ist die Sicht schlecht oder läuft die Explosion oberhalb der Wolken ab, verringert sich die Wirkung des Hitzeblitzes. Trifft die Wärmestrahlung auf unbedeckte Haut, kann das zu schwersten Verbrennungen führen. Die Explosion einer 10-Kilotonnen-Bombe kann in einem Umkreis bis zu 2,4

Kilometern vom Nullpunkt aus mittlere Verbrennungen (Verbrennungen 2. Grades) hervorrufen. Bei einer 10-Megatonnen-Bombe beträgt der entsprechende Umkreis mehr als 32 Kilometer. Selbst in größerer Entfernung könnte es noch zu leichteren Verbrennungen nackter Haut kommen.

Die Hitzestrahlung kann trockene, entflammbare Materialien, z. B. Papier und einige Gewebe, entzünden. Bei der Explosion einer 1-Megatonnen-Bombe verbrennt beispielsweise Papier noch in einem Umkreis von 14 Kilometern.

2. Klimatische Auswirkungen

Neben dem durch die Druckwelle und die Strahlung einzelner Bomben verursachten Schäden, könnte ein großflächiger Einsatz nuklearer Waffen durch mehrere Staaten wahrscheinlich katastrophale Auswirkungen auf das globale Klima haben. Diese Möglichkeit, die in einem im Dezember 1983 von einer internationalen Gruppe von Wissenschaftlern veröffentlichten Papier vorgebracht wurde, ist als Theorie vom Nuklearen Winter bekannt geworden. Nach Meinung der Wissenschaftler würde die Explosion von nicht einmal der Hälfte aller Sprengköpfe der Vereinigten Staaten und Russlands enorme Mengen an Staub und Rauch in die Atmosphäre wirbeln. Diese Menge würde ausreichen, um der Erde für mehrere Monate das Sonnenlicht zu nehmen, ein Frostklima wäre die Folge. Besonders auf der nördlichen Halbkugel käme es zum Absterben der Pflanzenwelt. Auch die Ozonschicht wäre betroffen, was zu weiteren Schäden infolge der ultravioletten Strahlung der Sonne führen würde. 1985 veröffentlichte das US-Verteidigungsministerium einen Bericht, der die Theorie des Nuklearen Winters bestätigte.