

Radioaktivität II (Best. Nr. 3316)

Die Unterrichtseinheit Radioaktivität II behandelt - aufbauend auf Radioaktivität I die beiden Hauptkapitel STRAHLENBELASTUNG UND STRAHLENSCHUTZ sowie KERNENERGIE. Auch hier ist jedem Unterrichtsblock eine kurze Ablaufskizze vorangestellt, in der der Verlauf der einzelnen Stunden dargestellt ist. Zahlreiche aufwändige Grafiken und Fotomaterial bieten eine anschauliche Möglichkeit, sich in den Stoff zu vertiefen. Vorschläge für schriftliche Übungen einschl. Lösungen runden diese Einheit ab. Eine lohnende Möglichkeit, dieses immer aktuelle Thema Ihren Schülern nahe zu bringen. Geeignet für den Mittelstufenunterricht. Eng inhaltlich verknüpft mit Einheit Radioaktivität I

0. Diverses

001_Titel3.fol	Titelblatt Strahlenbelastung und Strahlenschutz
002_Schueler.txt	Inhaltsverzeichnis für Schüler
003_Vorwort.did	Didaktische Hinweise
004_Litera.txt	Literaturverzeichnis
005_Test.arb	Schriftliche Übung - Arbeitsblatt
006_Test.loe	Schriftliche Übung - Lösungsblatt
007_Radio.int	Weiterführende Internetlinks 3316

Gesamtdatei Diverses

008_Diverses.ges	Gesamtdatei - Abschnitt Diverses
------------------	--

1. Strahlenbelastung und -schutz

009_Radioak3.did	Didaktische Hinweise Strahlenbelastung und -schutz
------------------	--

1.1 Biologische Strahlenwirkung

010_Strahl1.fol	Strahlenbelastung und -schutz - Stunde 1
011_BioWirk.txt	Inhaltsvorschau - Biologische Strahlenwirkung
012_BioRad.txt	Biologische Wirkung radioaktiver Strahlung
013_Zelle.fol	Vorgänge in der Zelle nach Bestrahlung
014_Schaden.txt	Schädigung durch radioaktive Strahlung
015_Schaden.fol	Strahlenwirkung auf lebende Organismen
016_Schutz.fol	Maßnahmen des Strahlenschutzes
017_Messen.fol	Meßgrößen für die Strahlenbelastung
018_Gray.fol	Louis Harold Gray
019_Sievert.fol	Rolf Maximilian Sievert
020_Sievert.his	Biografisches zu Rolf Sievert
021_Aequiva.fol	Beispiele für Äquivalentdosen
022_Fruehsch.fol	Somatische Strahlenfrühschäden
023_AkutWirk.fol	Akute Wirkungen bei kurzzeitiger Bestrahlung
024_Einfluss.txt	Die Strahlenwirkung beeinflussende Faktoren
025_Einfluss.fol	Beeinflussung durch Strahlenwirkung
026_Organe.fol	Strahlenempfindlichkeit von Organen und Gewebe
027_Regeln.arb	Grundregeln im Strahlenschutz - Arbeitsblatt
028_Regeln.loe	Grundregeln im Strahlenschutz - Lösung
029_Kritikal.arb	Kritikalitätsunfall in Japan - Arbeitsblatt
030_Kritikal.loe	Kritikalitätsunfall in Japan - Lösungsblatt

1.2 Natürliche und künstliche Strahlenbelastung

031_Strahl2.fol	Strahlenbelastung und -schutz - Stunde 2
032_Natkunst.txt	Natürliche und künstliche Strahlenbelastung
033_NatStrah.txt	Natürliche Strahlenquellen
034_Umwelt.txt	Umwelt und Technik
035_Exposit.fol	Mittlere externe Strahlenexposition in der BRD
036_Kunststr.txt	Künstliche Strahlenquellen
037_Kunststr.fol	Mittlere Strahlenbelastung der Menschen in der BRD

040_Staub.exp	Einsammeln von radioaktivem Staub durch Hochspannung
041_Radon2.fol	Eindringen von Radon in Wohnräume
042_Radon222.exp	Entstehung des Rn222 in bodennaher Luft
043_Region.fol	Regionale Radonkonzentrationen in der BRD
044_Nahrung.arb	Belastete Nahrungsmittel - Arbeitsblatt
045_Nahrung.loe	Belastete Nahrungsmittel - Lösung

1.3 Radionuklide und Stoffwechsel

046_Strahl3.fol	Radionuklide und Stoffwechsel - Stunde 3
047_Stoffwe.txt	Inhaltsvorschau - Der Stoffwechsel des Menschen
048_Halbwert.txt	Die biologische Halbwertszeit
049_Koerper.txt	Radionuklide im menschlichen Körper
050_NatNukli.fol	Natürliche Nuklide im Menschen
051_Belastun.arb	Belastungspfade für radioaktive Stoffe
052_Pfad.fol	Belastungspfade für radioaktive Stoffe
053_Strontiu.fol	Strontium-Anreicherung im Nahrungssystem
054_NukNahr.fol	Natürliche Radionuklide in Nahrungsmitteln
055_Kalium.fol	Kaliumgehalt in Nahrungsmitteln
056_Tundra.fol	Teil einer Nahrungskette in der Tundra
057_Mensch.fol	Transportwege für Radioaktivität im Menschen
058_AufnAus.fol	Aufnahme und Ausscheidung radioaktiver Stoffe
059_BiolHalb.fol	Radionuklide und ihre biologische Halbwertszeit
060_BiolHalb.arb	Biologische Halbwertszeiten - Arbeitsblatt
061_BiolHalb.loe	Biologische Halbwertszeiten - Lösungsblatt

1.4 Anwendung radioaktiver Nuklide

062_Strahl4.fol	Anwendung radioaktiver Nuklide - Stunde 4
063_Anwend.txt	Inhaltsvorschau - Anwendung radioaktiver Nuklide
064_Medizin.fol	Anwendung von Röntgenstrahlen in der Medizin
065_MedAnw.txt	Radioaktive Strahlung in Medizin und Biologie
066_TechAnw.txt	Technische Anwendungen von Radionukliden
067_TechAnw.fol	Illustrierte Beispiele für technische Anwendungen
068_Haltbar.txt	Haltbarmachung von Lebensmitteln
069_Leukaem.txt	Marie Curie und die Leukämie
070_Fuellsta.arb	Ermittlung der Füllstandshöhe - Arbeitsblatt
071_Fuellsta.loe	Ermittlung der Füllstandshöhe - Lösungsblatt

Gesamtdatei Strahlenbelastung und -schutz

072_Strahlen.ges	Gesamtdatei - Strahlenbelastung und Strahlenschutz
------------------	--

2. Kernenergie

073_Titel4.fol	Titelblatt - Kernenergie
074_Radioak4.did	Didaktische Hinweise - Kernenergie

2.1 Kernspaltung

075_Kernsp1.fol	Kernspaltung - Stunde 1
076_Kernspal.txt	Inhaltsvorschau - Kernspaltung
077_Kunstker.his	Historisches - Künstliche Kernumwandlungen
078_Kernreak.fol	Kernreaktionen
079_Hahn.fol	Nachbildung des Arbeitstisches von Otto Hahn
080_Kernspal.his	Die Entdeckung der Kernspaltung
081_Uran235.fol	Kernspaltung von Uran 235
082_Energie.txt	Energie durch Kernspaltung
083_Messti.fol	Strahlenmesstisch von Hahn und Straßmann
084_Meitner.his	Biografisches zu Lise Meitner
085_Uran235.arb	Kernspaltung des Uran-235 - Arbeitsblatt
086_Uran235.loe	Kernspaltung des Uran 235 - Lösungsblatt
087_Uran235.arb	Bruchstück einer Kernspaltung - Arbeitsblatt
088_Uran235.loe	Bruchstück einer Kernspaltung - Lösungsblatt

2.2 Entwicklung der Atombombe

089_Kernsp2.fol	Entwicklung der Atombombe - Stunde 2
090_EntwBomb.txt	Inhaltsvorschau - Entwicklung der Atombombe
091_Kette.fol	Kettenreaktion
092_Manhatta.txt	Das Manhattan-Projekt
093_Franck.fol	Der Franck-Report
094_Hiroshim.fol	Hiroshima und Nagasaki
095_Hiroshim.txt	Hiroshima - Ein Augenzeuge berichtet
096_BombFolg.txt	Die Folgen von Atombombenexplosionen
097_Bilanz.fol	Plutoniumbilanz

2.3 Energie aus Kernkraftwerken

098_Kernsp3.fol	Energie aus Kernkraftwerken - Stunde 3
099_Kernkraf.txt	Inhaltsvorschau - Energie aus Kernkraftwerken
100_Kontrol.txt	Kontrollierte Kernspaltung
101_Druckwas.fol	Funktionsschema eines Druckwasserreaktors
102_Umwandlu.fol	Energieumwandlung im Kohle- und im Kernkraftwerk
103_SiedDru.fol	Vergleich von Siede- und Druckwasserreaktor
104_Regelst.fol	Regelung der Kettenreaktion im Kernkraftwerk
105_Raum.fol	Räumliche Anordnung wichtiger Komponenten im einem AKW
106_Sicherhe.fol	Sicherheitsbarrieren in einem Kernkraftwerk
107_Sicherhe.txt	Sicherheit eines Kernkraftwerks
108_Druckgef.fol	Reaktordruckgefäß und Sicherheitsbehälter
109_Kernrea1.his	Der erste Kernreaktor
110_Kernrea2.his	Abbildungen des ersten Kernreaktors
111_Megawatt.fol	Zur Erzeugung einer Megawattstunde benötigt man...
112_ProContr.txt	Pro und Contra Wiederaufarbeitung
113_Reserve.txt	Information zu den vorhandenen Uranreserven
114_Fusion.txt	Die Kernfusion
115_Verglei.arb	Vergleich SWR und DWR - Arbeitsblatt
116_Verglei.loe	Vergleich SWR und DRW - Lösungsblatt
117_Austaus.arb	Austausch von Brennelementen - Arbeitsblatt
118_Austaus.loe	Austausch von Brennelementen - Lösungsblatt

2.4 Entsorgung von Kernkraftwerken

119_Kernsp4.fol	Die Entsorgung von Kraftwerken - Stunde 4
120_Entsorg.txt	Inhaltsvorschau - Entsorgung von Kernkraftwerken
121_Kreisla.txt	Der nukleare Brennstoffkreislauf
122_NukKreis.fol	Der nukleare Brennstoffkreislauf
123_Aufberei.txt	Die Wiederaufbereitung
124_Wiederau.fol	Wie funktioniert Wiederaufbereitung
125_Brennele.fol	Die Brennelementefertigung
126_Lagerung.txt	Wohin mit den abgebrannten Brennelementen
127_Entsorgu.txt	Die Entsorgungssituation in der BRD
128_DirEndLa.arb	Direkte Endlagerung - Arbeitsblatt
129_DirEndLa.loe	Direkte Endlagerung - Lösungblatt

2.5 Der Reaktorunfall von Tschernobyl

130_Kernsp5.fol	Der Reaktorunfall von Tschernobyl - Stunde 5
131_Tscherno.txt	Inhaltsvorschau - Der Unfall von Tschernobyl
132_Unfall.txt	Der Reaktorunfall von Tschernobyl
133_Tscherno.fol	Tschernobyl und die Folgen
134_Katastro.fol	Die Katastrophe von 1986
135_Reaktor.fol	Der Siedewasser-Druckröhrenreaktion in Tschernobyl
136_Danach.fol	Tschernobyl nach dem Unfall
137_Opfer.txt	Todesopfer nach Tschernobyl-Unfall



Hinweise zur Arbeit mit diesen Unterrichtseinheiten

Die Unterrichtseinheiten **Radioaktivität** sind ausgerichtet auf den **Mittelstufenunterricht**.

Die vorliegenden Einheiten sind auf insgesamt **9Stunden** angelegt:

RADIOAKTIVITÄT 3:	Strahlenbelastung und Strahlenschutz	4 Stunden
RADIOAKTIVITÄT 4:	Kernenergie	5 Stunden

Die einzelnen Stunden einer Unterrichtseinheit werden in ihrem möglichen Ablauf kurz beschrieben. Die Materialien (Anleitungen bzw. Vorschläge für Experimente, Tafelbilder, Folien, Aufgaben) sind aber so zusammengestellt, dass eine völlige Umgestaltung der Stunden sowohl ihre inhaltliche Gestaltung als auch den zeitlichen Aufwand betreffend möglich ist.

In Ergänzung wird ein Vorschlag für eine **schriftliche Übung** mit Lösungen von etwa 20 Minuten Dauer beigefügt. Die Übung behandelt das Thema

Strahlenbelastung und Strahlenschutz sowie Kernenergie

Bei zahlreichen Abbildungen finden sich Hinweise und grafische Elemente, die über die eigentliche Abbildung gelegt sind und somit bei Bedarf leicht verändert oder entfernt werden können. Die Abbildungen selbst sind durchweg so weit zu vergrößern, dass sie als eigene Folien ausgedruckt werden können.

Korrektur-, Verbesserungs- oder Ergänzungsvorschläge können Sie gerne über den Verlag an uns richten!

Bei der Arbeit mit den Unterrichtseinheiten zur Akustik wünschen wir Ihnen und Ihren Schülern viel Spaß!

Übersicht über die Unterrichtseinheiten und die zu ihnen jeweils vorgeschlagenen Stundeninhalte

RADIOAKTIVITÄT 3: Strahlenbelastung und Strahlenschutz

- 1. Stunde: Biologische Strahlenwirkung
- 2. Stunde: Natürliche und künstliche Strahlenbelastung
- 3. Stunde: Radionuklide und der Stoffwechsel des Menschen
- 4. Stunde: Anwendung radioaktiver Nuklide

RADIOAKTIVITÄT 4: Kernenergie

- 1. Stunde: Kernspaltung
- 2. Stunde: Die Entwicklung der Atombombe
- 3. Stunde: Energie aus Kernkraftwerken
- 4. Stunde: Die Entsorgung von Kernkraftwerken
- 5. Stunde: Der Reaktorunfall in Tschernobyl

VORSCHAU



RADIOAKTIVITÄT 3

4 Stunden

Strahlenbelastung und Strahlenschutz

1. Stunde: Biologische Strahlenwirkung

In dieser Unterrichtssequenz geht es um die vielfältigen Einwirkungen ionisierender Strahlung auf den lebenden Organismus - insbesondere den menschlichen - und die Schutzmaßnahmen vor solcher Strahlung.

Zur Information des Unterrichtenden dient dabei die Datei 'Info - Biologische Wirkung radioaktiver Strahlung'.

Die Vorgänge können an der 'Folie - Vorgänge in einer Zelle nach Bestrahlung' den Schülern erläutert werden. Zur Unterstützung kann der für Schüler geeignete 'Text - Biologische Wirkung radioaktiver Strahlung' (ggf. nur auszugsweise) herangezogen werden.

Die Datei 'Folie - Einteilung der Strahlenschäden' bietet die Möglichkeit, die Strahlenwirkung auf Organismen in geraffter Weise zu präsentieren und zeigt auf einer gesonderten Seite die übliche Einteilung somatischer Strahlenschäden. Eine der Übersichten kann ggf. auch in das Heft der Schüler übernommen werden.

Die 'Folie - Strahlenschäden, Bilder' zeigt die u.U. eintretenden Folgen zu hoher Strahlendosen.

Zwanglos kann man nun zu der Frage übergehen, wie man sich vor Strahlung schützen kann. Die Schüler können dabei an die erworbenen Kenntnisse aus der vorangegangenen Unterrichtssequenz anknüpfen. Die 'Maßnahmen des Strahlenschutzes' sind auf einer Folie aufgezählt.

Um die Wirkung und das Risiko bei der Exposition eines Menschen mit radioaktiver Strahlung zu erfassen und vergleichen zu können, werden in der Dosimetrie verschiedene Äquivalentdosisbegriffe verwendet. In der schon genannten umfangreichen Infodatei zur biologischen Wirkung radioaktiver Strahlung sind die wichtigsten genannt. Weitergehende Informationen findet man z.B. in der Strahlenschutzverordnung, die auch auf der Internetseite des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) zugänglich ist.

Bei der Bewertung der Wirkung einer radioaktiven Strahlung wird in jüngster Zeit anstelle des Qualitätsfaktors der Strahlungs-Wichtungsfaktor benutzt. Auch wenn sich im Einzelnen die Definition der Faktoren geändert hat, so begegnet dem Schüler wegen der vereinfachenden Betrachtungsweise in der Schule hier aber lediglich ein anderer Begriff: Die Zahlenwerte für die überschlagsmäßige Bewertung der Strahlungsarten haben sich nicht geändert.

Die 'Folie - Messgrößen für die Strahlenmessung' macht die Unterschiede zwischen Energiedosis und Äquivalentdosis deutlich.

2. Stunde: Natürliche und künstliche Strahlenbelastung

In der 2. Stunde sollen die Schüler über die unterschiedlichen Quellen ionisierender Strahlung informiert werden. Der Information des Lehrers dient die Datei 'Info - Natürliche Strahlenquellen'. Einer verharmlosenden Darstellung hinsichtlich der Auswirkungen zivilisatorischer Strahlenbelastung, wie man sie bisweilen in Publikationen der Stromwirtschaft findet, ist ebenso entgegen zu treten wie auch zuweilen übertrieben warnenden von anderer Seite.

Die Strahlenbelastung der Bevölkerung in der BRD durch medizinische Diagnostik und Therapie ist fast ebenso hoch wie die natürliche Strahlenbelastung. Die Belastung durch 2 Stunden tägliches Fernsehen (0,01 mS/a) und den Reaktorunfall von Tschernobyl (0,02 mS/a) sind von gleicher Größenordnung; damit beträgt aber der Anteil an der zivilisatorisch bedingten Strahlenbelastung in der BRD durch den Reaktorunfall im Durchschnitt (nur) etwa 1 %.

Um nicht in eine verharmlosende Betrachtungsweise zu verfallen, muss an dieser Stelle unbedingt darauf verwiesen werden, dass die kumulativen Effekte niedriger Dosen auf den menschlichen Körper noch nicht endgültig erforscht sind. Zur Information sei nochmals auf die Datei 'Info - Biologische Wirkung radioaktiver Strahlung' hingewiesen.

Die Stunde zerfällt in zwei Abschnitte zunächst werden die Strahlenbelastungen, denen Menschen heute im allgemeinen ausgesetzt sind, miteinander verglichen. In einem zweiten Schritt soll auf die unvermeidliche Radon-Belastung eingegangen werden.

Begonnen wird mit einer Information über die 'terrestrische Strahlung'. Die etwas problematische Zuordnung der Bilder 3 - 6 zu diesem Thema kann mit den Schülern erörtert werden. Man gelangt dann ganz selbstverständlich zur Unterscheidung von natürlicher und zivilisatorischer Strahlenbelastung. Als optische Ergänzung kann die Folie - Mittlere externe Strahlenexposition in der BRD im Freien im Jahre 2000 herangezogen werden.

Ebenfalls für die Schüler geeignet ist die Datei 'Info - Künstliche Strahlenquellen'.

Der zusammenfassende Tafelanschrieb findet sich in der UE dieser Stunde.

Über die 'Mittlere Strahlenbelastung der Menschen in der BRD' kann anhand einer Folie informiert werden. Hier sind die grafischen Darstellungen des BMU für die Jahre 1999 und 2000 bereitgestellt, die sich in der Art der Darstellung unterscheiden, hinsichtlich der Zahlen jedoch kaum. An dieser Folie können nun die oben genannten vergleichenden Betrachtungen durchgeführt werden. Als Ergänzung kann 'Info - Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahr 2000' herangezogen werden.

Vom sorglosen - ja auch verantwortungslosen - Umgang mit Radionukliden in der Vergangenheit zeugt 'Historisches - Todesfälle durch Radium'.

Der zweite Teil der Stunde wird durch das Experiment 'Einsammeln von radioaktivem Staub mit Hilfe von Hochspannung' eingeleitet.

3. Stunde: Radionuklide und der Stoffwechsel des Menschen

Ziel dieser Stunde ist es, den Einfluss des menschlichen Stoffwechsels auf Belastung des Menschen durch Radionuklide in groben Zügen darzustellen. Das Thema hat naturgemäß auch biologische und chemische Aspekte. Es eignet sich daher ggf. auch für ein fächerübergreifendes Projekt.

Damit ein Mensch leben kann, findet ein ständiger Stoffwechsel statt. Dabei nimmt der Mensch über die Atemluft, das Wasser und die Nahrung ständig chemische Elemente auf, bei denen der Körper nicht zwischen den Isotopen unterscheidet. Die Nuklide (stabil oder radioaktiv) werden über die Ausscheidungsorgane wieder ausgeschieden. Dabei ist die Verweilzeit der Stoffe im Körper durchaus sehr unterschiedlich.

Die Datei 'Info - Biologische Halbwertszeit', die im Blick auf die Bewertung der Folgen der Aufnahme von Radionukliden durch den Menschen von Bedeutung ist, ist für den Unterrichtenden gedacht.

Als Einführung in das Problemfeld dient der Text 'Radionuklide im menschlichen Körper'. Die Tabelle 'Die Aktivität der wichtigsten natürlichen Radionuklide im Menschen' verdeutlicht die Verhältnisse noch mit weiteren Zahlenwerten. (Die Angaben im Text weichen von denen der Tabelle etwas ab.)

Nach diesem ersten Einstieg soll das Arbeitsblatt 'Belastungspfade für radioaktive Stoffe' eingesetzt werden, um die im einzelnen komplizierten Zusammenhänge der Wege radioaktiver Stoffe zum Menschen den Schülern in Übersicht näher zu bringen. An einer farbigen Folie gleichen Namens können - nach ausreichender Bearbeitungszeit - die Ergebnisse der Schüler diskutiert und überprüft werden.

Ein Beispiel für die Anreicherung eines Radionuklids in einem Nahrungssystem zeigt die Folie 'Anreicherung von Strontium-90 im Süßwasser-Nahrungssystem.'

Die Folie 'Spezifische Aktivität von Radionukliden in Nahrungsmitteln' zeigt, dass der Mensch mit der Nahrungsaufnahme unvermeidlich einer radioaktiven Strahlung von ausgesetzt ist. Eine Tatsache, die den Schülern aber in der Regel nicht bekannt ist.

Das für den Menschen lebenswichtige Kalium enthält zu 0,012 % das radioaktive Isotop K-40. Den 'Kaliumgehalt von Nahrungsmitteln' zeigt eine Folie.

Die Folie 'Teil einer Nahrungskette in der Tundra' zeigt, dass es Nahrungsketten gibt, in denen bestimmte Radionuklide besonders angereichert werden, an deren Ende ggf. auch der Mensch stehen kann. So war es nach dem Reaktorunfall von Tschernobyl angezeigt - und ist es u. U. heute noch -, vom Verzehr bestimmter Lebensmittel (z. B. Waldpilzen) abzusehen.

Mit den Aufnahmewegen für Radionuklide und den Speicherorganen des menschlichen Körpers beschäftigen sich die Folien 'Transportwege für radioaktive Stoffe im menschlichen Körper' und 'Aufnahme und Ausscheidung natürlicher Nuklide durch den menschlichen Körper'. Hier wird auch der Begriff der biologischen Halbwertszeit zur Sprache gebracht.

4. Stunde: Anwendung radioaktiver Nuklide

In der letzten Stunde dieser Sequenz sollen die vielfältigen Anwendungsmöglichkeiten ionisierender Strahlung besprochen werden. Dabei soll auch die Anwendung der Röntgenstrahlung in der Medizin zur Sprache gebracht werden, die in mancherlei Hinsicht der γ -Strahlung ähnelt, die von Radionukliden ausgeht.

Als erstes Material kommt daher die Folie 'Anwendung von Röntgenstrahlung in der Medizin' zum Einsatz. An ihr kann ggf. auch auf den Entstehungsprozess der Röntgenstrahlung eingegangen werden.

Auf den Text 'Umwelt und Technik: Radioaktive Strahlung in Medizin und Biologie' muss man sicher einige Zeit verwenden. Die Folie 'Anwendung von Radionukliden in Medizin und Biologie' bietet dazugehöriges Anschauungsmaterial.

Die Materialien 'Umwelt und Technik - Anwendung von Radionukliden' und 'Folie - Anwendung von Radionukliden in Umwelt und Technik' beschäftigen sich mit technischen Anwendungen.

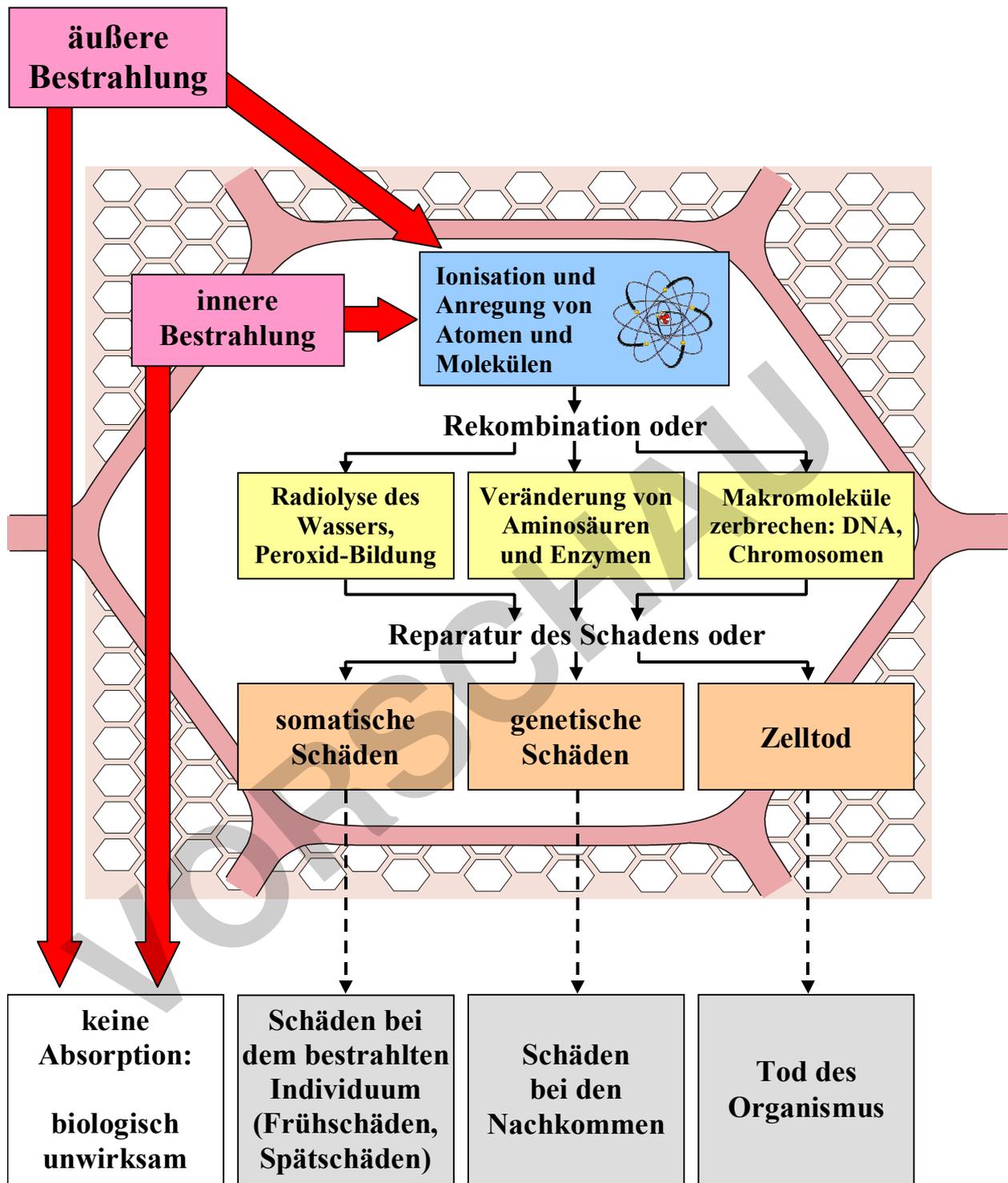
Mit dem Text 'Haltbarmachung von Lebensmitteln' wird eine umstrittene Anwendung von radioaktiver Strahlung angesprochen.

Die biographischen Anmerkungen 'Marie Curie und die Leukämie' machen noch einmal darauf aufmerksam, dass ein sorgloser Umgang mit radioaktiven Stoffen nicht angezeigt ist.

Die Aufgabe 'Füllstandshöhe' kann die Stunde beenden.



Vorgänge in einer Zelle nach Bestrahlung



- physikalische Phase
- chemisch-biochemische Phase
- biologische Phase

nach: Martin Volkmer, Radioaktivität und Strahlenschutz, Hamburgische Electricitäts-Werke AG 1994, S. 39



Natürliche und künstliche Strahlenbelastung

Info:	Natürliche Strahlenquellen
Umwelt und Technik:	Terrestrische Strahlung
Folie:	Mittlere externe Strahlenexposition in der BRD im Freien 1999
Info:	Künstliche Strahlenquellen
Folie:	Mittlere Strahlenbelastung der Menschen in der BRD
Info:	Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahr 1999
Historisches:	Todesfälle durch Radium

Der Mensch ist stets einer *natürlichen Strahlenbelastung* ausgesetzt:

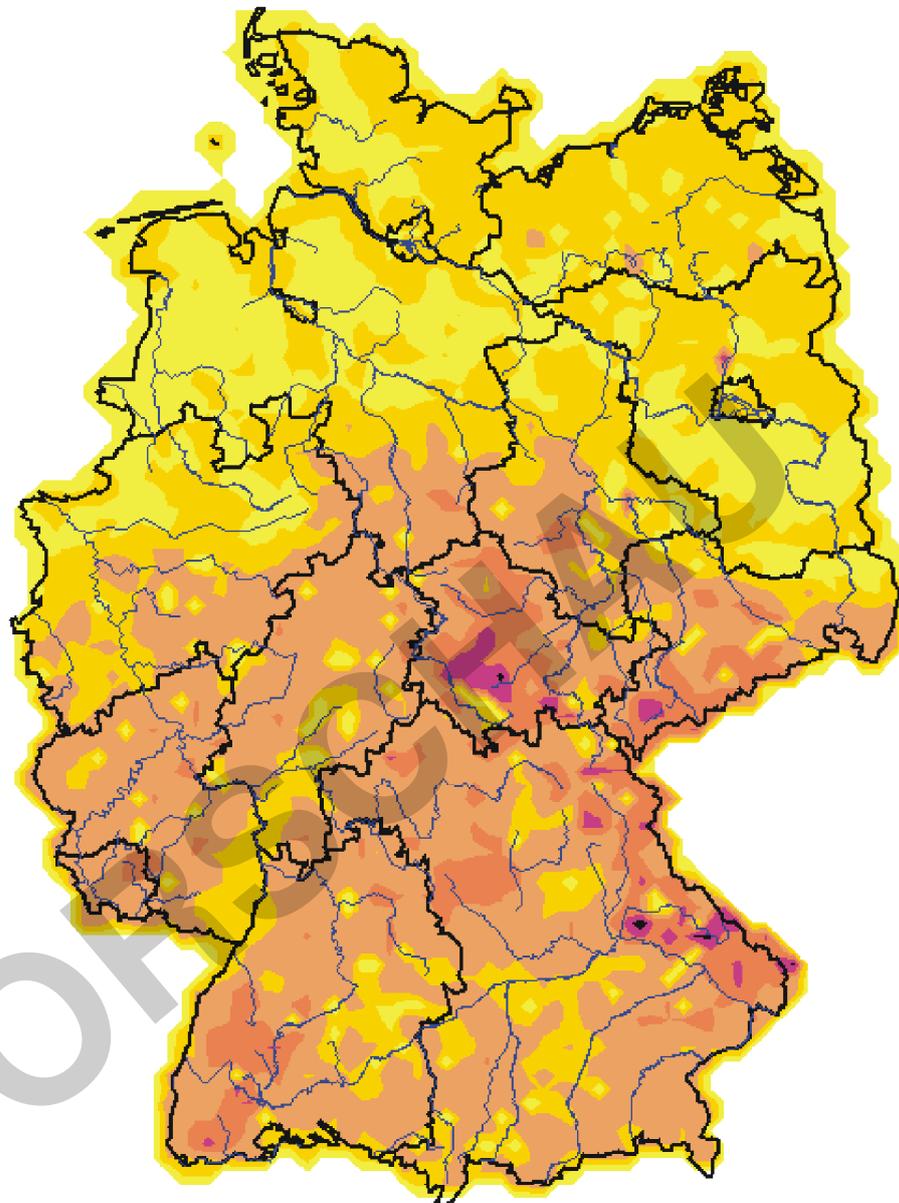
- **kosmische Strahlung**
- **terrestrische Strahlung.**

Die *zivilisatorische Strahlenbelastung* ist vor allem durch medizinische Diagnostik und Therapie verursacht.

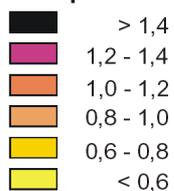
Experiment:	Einsammeln von radioaktivem Staub mit Hilfe von Hochspannung
Folie:	Entstehung des Rn-222 und seiner Folgeprodukte in bodennaher Luft
Folie:	Eindringen des radioaktiven Radon in Wohnräume
Folie:	Regionale Verteilung der Radonkonzentration
Aufgabe:	Äquivalentdosis durch belastete Nahrung



Mittlere externe Strahlenexposition in der BRD im Freien im Jahre 2000



mSv pro Jahr



0 50 100 150 km

Mittlere externe Strahlenexposition
in der Bundesrepublik Deutschland
im Freien 2000

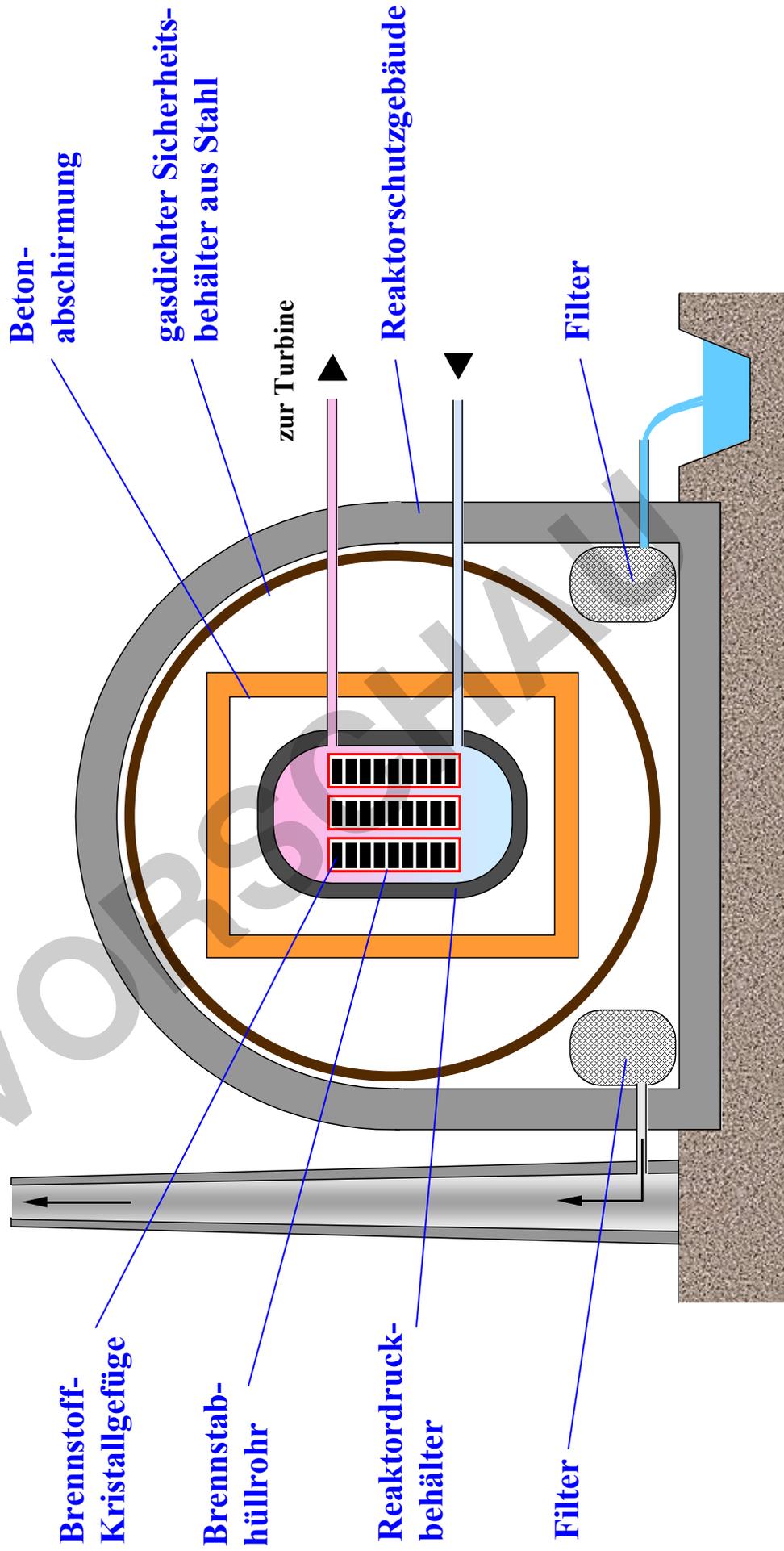
Daten aus IMIS

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz
und Reaktorsicherheit, Bonn

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU): Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahr 2000, S. 7



Sicherheitsbarrieren in einem Kernkraftwerk





Biografisches: Marie Curie und die Leukämie

Madame Curie ist an einer Leukämie gestorben, die sicher auf den Umgang mit den vielen radioaktiven Präparaten zurückzuführen ist, die im Laufe ihrer Tätigkeit durch ihre Hände gegangen sind.

Das Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU) über die Wirkung ionisierender Strahlung:

Im Strahlenschutz werden stochastische und deterministische Strahlenwirkungen unterschieden. Beide Kategorien von Schadenstypen haben grundsätzlich verschiedene Dosiswirkungsbeziehungen. Bei den deterministischen Strahlenwirkungen muss zunächst eine Schwellendosis überschritten werden, bevor die beschriebenen Effekte induziert werden können. Oberhalb der Schwellendosis steigt die Zahl der Defekte und der Schweregrad des Effektes mit steigender Dosis an. Der Entwicklung dieser Strahlenschäden liegt ein multizellulärer Mechanismus zugrunde. Es müssen viele Zellen geschädigt werden, damit es zu einer Manifestation derartiger Effekte kommt. Zu diesen Strahlenwirkungen zählen alle akuten Strahleneffekte, die Linsentrübung (Katarakt) und die Entwicklung von fibrotischen Prozessen in verschiedenen Geweben.

Bei einem zweiten Typ von Strahlenwirkungen, den stochastischen Effekten, wird davon ausgegangen, dass keine Schwellendosis besteht und dass die Wahrscheinlichkeit des Eintretens mit steigender Strahlendosis zunimmt. Auch bei kleinen Strahlendosen können also noch Wirkungen auftreten, wenn auch mit geringerer Wahrscheinlichkeit als bei höheren Dosen.

(...)

Zu dieser Kategorie von Strahlenwirkungen zählen die Induktion von vererbaren Defekten und von malignen Erkrankungen (Leukämie und Krebs).

(...)

Während für die Abschätzung des genetischen Strahlenrisikos keine ausreichenden Erfahrungen beim Menschen vorliegen, kann man für die Abschätzung des Leukämie- und Krebsrisikos auf eine Vielzahl von Daten aus epidemiologischen Untersuchungen beim Menschen zurückgreifen.

In Betracht kommen hierfür vor allem Untersuchungen an

- Überlebenden nach den Atombombenabwürfen in Hiroshima und Nagasaki,
- Personen nach beruflichen Strahlenexpositionen,
- Patienten mit medizinischen Strahlenexpositionen,
- Personen mit Strahlenbelastung durch die Tschernobyl-Katastrophe.

Da eine strahlenbedingte maligne Erkrankung sich nicht von einer "spontanen" malignen Erkrankung unterscheidet, können Leukämie oder Krebs im Einzelfall nicht allein aufgrund ihrer Erscheinungsform oder ihres klinischen Verlaufes als strahlenbedingte Erkrankung erkannt werden. Nur epidemiologisch-statistische Untersuchungen können dazu beitragen, quantitative Daten für die Risikoabschätzung beim Menschen zu erhalten. Strahlenexponierte Personengruppen müssen dabei nicht-exponierten Personengruppen gegenübergestellt werden. Dann kann erkannt werden, ob und in welchem Ausmaß die Raten an Leukämie und Krebs nach Bestrahlung in der exponierten Gruppe erhöht sind. Auch hier ist auf individueller Basis eine qualitative Unterscheidung hinsichtlich der Frage, ob der Krebs strahlenbedingt ist oder nicht, nicht möglich. Es kann lediglich die Wahrscheinlichkeit ermittelt werden, mit der eine individuelle Krebserkrankung durch die vorausgegangene Bestrahlung verursacht ist.

Erschwert werden diese Untersuchungen dadurch, dass die Erkrankungen mit einer erheblichen Latenzzeit (5-10 Jahre bei Leukämie und mehrere Jahrzehnte bei Krebs) auftreten können und damit analytisch, z. B. hinsichtlich der Anamnese, schwer zugänglich werden. Da Leukämien mit einer relativ

kurzen Latenzzeit nach einer Bestrahlung und mit einem besonders hohen relativen Risiko beobachtet werden, liegen für diese Erkrankungen verhältnismäßig umfangreiche Daten vor.

Es wird beobachtet, dass vor allem myeloische Leukämien (akute und chronische Erscheinungsformen), aber auch akute lymphatische Leukämien, nach Bestrahlung vermehrt auftreten. Dagegen sind chronisch-lymphatische Leukämien nicht erhöht beobachtet worden. Die Untersuchungen an den Überlebenden in Hiroshima und Nagasaki, aber auch bei Patientengruppen, wie z.B. nach Bestrahlung wegen Morbus Bechterew, ergeben für die Gesamtpopulation, dass nach Strahlendosen im Bereich von 0,2 bis 0,5 Sv und höher mit einer signifikanten Erhöhung der Leukämierate zu rechnen ist. Strahlendosen, die unter diesem Bereich liegen, haben bei epidemiologischen Untersuchungen von Gruppen der Gesamtbevölkerung nicht zu einer statistisch signifikant erhöhten Leukämierate geführt.

Nach unserem heutigen Verständnis bedeutet dieses nicht, dass geringere Strahlendosen als 0,2 Sv keine Leukämien hervorrufen können. Die Zahl der Fälle wird jedoch dann so klein, dass andere Faktoren wie Lebensgewohnheiten, genetische Prädispositionen usw., die das Krebs- und Leukämierisiko beeinflussen, mit ihrer Variabilität das strahlenbedingte Risiko überlagern, so dass letzteres sich aus den Schwankungen der "spontanen" Leukämie- und Krebsrate nicht mehr heraushebt.

Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit (BMU), Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung im Jahr 2000, S. 48 - 49

VORSCHAU



Der Reaktorunfall in Tschernobyl

In Tschernobyl bei Kiew wurden 1986 vier Reaktoren vom Typ RBMK-1000 betrieben. Die Buchstaben sind das russische Kürzel für einen heterogenen, wassergekühlten und graphitmoderierten Druckröhrenreaktor. Die Zahl 1000 deutet die elektrische Leistung von 1000 MW an.

Aufbau

Der Reaktorkern besteht aus Graphitziegeln, die einen Zylinder von 7 m Höhe und 12 m Durchmesser bilden. Diese etwa 1700 t Graphit enthalten 1661 vertikale Bohrungen für die von Wasser durchströmten Druckrohre aus einer Zirkoniumlegierung. Die Druckrohre haben einen Innendurchmesser von 80 mm und eine Wandstärke von 4 mm, um dem Druck von ca. $70 \cdot 10^5$ Pa standzuhalten. In ihnen hängen zwei Brennelemente übereinander, die jeweils 18 Brennstäbe aus schwach angereichertem (2 %) Uranoxid enthalten. Ein weiteres System von Bohrungen nimmt 211 Absorberstäbe zur Regelung und Abschaltung auf. In der Mehrzahl können sie von oben in den Kern eingefahren werden. Um Graphitbrände zu vermeiden, ist alles von einem Stahlbehälter umschlossen, in dem eine He-N₂-Atmosphäre aufrecht erhalten wird.

Arbeitsweise

Ein RBMK-Reaktor arbeitet im Prinzip wie ein Siedewasserreaktor: Die Hauptkühlmittelpumpen drücken das Kühlwasser in die Druckrohre, wobei es zum Teil verdampft. In Dampfabseparatoren wird der Dampf vom Wasser getrennt und gelangt dann direkt zu den Turbinen.

Aus ökonomischer Sicht hat diese Bauweise einige Vorteile:

- Da der schwierig zu fertigende Reaktordruckbehälter entfällt, kann der Reaktor auch größer gebaut werden. (Neubauten mit einer elektrischen Leistung von 2000 MW waren geplant.)
- Während des Betriebs ist ein Brennelementwechsel möglich, wodurch Stillstandszeiten entfallen.

Das entscheidende Sicherheitsrisiko ist der positive Dampfblasenkoeffizient.

Mit Ausnahme des schnellen Brütters benötigen Kernreaktoren zur Aufrechterhaltung einer Kettenreaktion einen Moderator. Der Moderator hat die Aufgabe, die bei der Kernspaltung entstandenen schnellen Neutronen abzubremesen, damit sie weitere Kernspaltungen auslösen können. Als Moderatoren sind Graphit, "schweres Wasser" (D₂O) und "leichtes Wasser" (H₂O) geeignet. Leichtes Wasser absorbiert jedoch auch die Neutronen.

Bei den in der BRD verbreiteten Leichtwasserreaktoren ist das Wasser Kühlmittel und Moderator zugleich. Nimmt die Zahl der Kernspaltungen je Sekunde zu, steigt also auch die thermische Leistung, erhöht sich der Anteil der Dampfblasen im Wasser. Da im Wasserdampf die Moleküle nicht mehr so dicht gepackt sind, stoßen die Neutronen weniger häufig mit Wasserstoffatomen zusammen. Das hat zur Folge, dass weniger schnelle Neutronen abgebremst werden. Hierdurch sinkt die Zahl der Kernspaltungen. Ein vollständiger Verlust des Kühlmittels bedeutet also auch einen totalen Verlust des Moderators, wobei die Kettenreaktion von selbst zum Erliegen kommt. Dieser Reaktortyp kann also nicht auf diese Weise außer Kontrolle geraten. Er hat eine ihm innewohnende Selbststabilisierung. Für diese inhärente Sicherheit ist der negative Dampfblasen-Koeffizient ausschlaggebend. Er spielte auch eine entscheidende Rolle bei der Wahl eines geeigneten Reaktortyps für die BRD in den 50er Jahren.

	durch ihr Eigengewicht in den Reaktor fallen, was aber nicht geschieht.
01.23.43 Uhr	In nur 3 Sekunden ist die Leistung auf ca. 17 % der Nennleistung gestiegen. Die Brennstofftemperatur steigt stark an. Es kommt zur großflächigen Verdampfung von Kühlmittel an den Brennstäben. Die Wärmeübertragung von den Brennstäben an das Kühlmittel verringert sich und führt zu einem weiteren Anstieg der Brennstofftemperatur.
01.23.44 Uhr	Zu diesem Zeitpunkt erreicht die Reaktorleistung das 100fache der Nennleistung (nachträgliche Berechnungen).
nach 01.23.44 Uhr	Brennstäbe platzen auf und die flüssigen Brennstoffpartikel erzeugen im Kontakt mit dem Kühlwasser Dampfexplosionen, sodass 30 % der Druckröhren bersten. In der Folge wird der Schutzgasbehälter, der den Graphit-Moderator vor Sauerstoff schützt zerstört. Der obere Teil des Reaktors (die 1000 t schwere Deckplatte) wird weggehoben, die Reaktorhalle zerstört. Augenzeugen berichten von zwei explosionsartigen Vorgängen im Abstand von wenigen Sekunden. Der Graphit-Moderator brennt. Durch den herausgeschleuderten Brennstoff kommt es zu über 30 Bränden.
gegen 5.00 Uhr	Brände sind gelöscht. Abschalten von Block 3
27.04.1986, 01.13 Uhr	Abschalten von Block 1
02.13 Uhr	Abschalten von Block 2
ab 27.04.1986 bis 10.05.1986	Zuschütten des Reaktors mit 5000 t Borcarbid, Dolomit, Sand, Lehm und Blei. <ul style="list-style-type: none"> - 40 t Borcarbid [B₄C] zur Verminderung der Gefahr einer Kritikalität - 800 t Dolomit [(CaMg)CO₃] zur Bildung von CO₂, das den Brand ersticken sollte und auch der Energieabsorption dienlich war - 1800 t Lehm und Sand zur Filterung von Spaltprodukten - 2400 t Blei zur Abschirmung und Energieabsorption
ab 04.05.1986 06.05.1986	Zur Kühlung des Reaktorkerns wird Stickstoff in den Kernbereich eingeblasen. Die Spaltproduktfreisetzung ist weitgehend beendet. Dies wurde durch die Stickstoff-Kühlung und das Abdecken des Kernbereichs bewirkt.
27.11.2000	Abschaltung der gesamten Anlage

Aktivitätsfreisetzung durch den Reaktorunfall

Durch die hohe Temperatur der Verbrennungsgase wurden wegen der Schornsteinwirkung freigesetzte Radionuklide in Höhen von 1-2 km transportiert und durch Winde über weite Teile Europas verteilt. Die insgesamt freigesetzte Aktivität betrug etwa $3 \cdot 10^{18}$ Bq, das ist 10-mal soviel wie in Hiroshima und Nagasaki.

Angaben nach: Gesellschaft für Reaktorsicherheit (Hg): Neuere Erkenntnisse zum Unfall im Kernkraftwerk Tschernobyl, Köln Februar 1987