

Die Nuklearkatastrophe Tschernobyl

Radioaktive Strahlung und Einheiten

Radioaktive Strahlung entsteht bei dem Zerfall eines Atomkerns. Es gibt drei Arten von radioaktiver Strahlung: die Alphastrahlung, die Betastrahlung und zuletzt die Gammastrahlung. Sie alle wirken unterschiedlich und werden für verschiedene Zwecke verwendet.

Die Alphastrahlung besteht aus Alphateilchen, also Helium-4 Kernen. Die Alpha-Strahlung hat eine geringe Reichweite und ist leicht abzuschirmen, hat aber ein hohes Ionisierungsvermögen. Sie kann in Rauchmeldern genutzt werden, in denen Rauchpartikel die ionisierte Luft abbremsen, was sich dann als Spannungsveränderung bemerkbar macht.

Die Betastrahlung besteht aus Elektronen oder Positronen. Sie ist etwas stärker als Alphastrahlung und besitzt auch eine größere Reichweite. Sie wurde in der Nuklearmedizin genutzt.

Gammastrahlung entsteht bei radioaktivem Zerfall eines Atomkerns. Diese Strahlung hat die höchste Reichweite und ist schwer abzuschirmen. Sie besitzt jedoch das niedrigste Ionisierungsvermögen und wird in der Strahlentherapie genutzt.

Becquerel

Radioaktivität wird in Becquerel (Bq) gemessen. Benannt wurde die Einheit nach Henri Becquerel, dem Entdecker der Radioaktivität. Mit ihr wird angegeben wie viele Atomkerne in einer Zeiteinheit zerfallen sind. Das heißt ein Becquerel entspricht einem Zerfall pro Sekunde ($1\text{Bq} = 1/\text{s}$).

Sievert

Die Äquivalentdosis wird in Sievert gemessen und mit der Formel: $1\text{ Sv} = 1\text{ J/kg}$ definiert. Mit ihrer Hilfe kann man die Risiken der Strahlung ermitteln. 1 Sievert kann schon gefährlich sein, es führt zu Verbrennungen und Schwächung des Immunsystems. Bei 4 Sv sterben die meisten Menschen. Ab 7 Sievert stirbt der Menschliche Organismus. Ab 7-10 Sv stirbt man in nur kurzer Zeit durch die absterbenden Zellen.

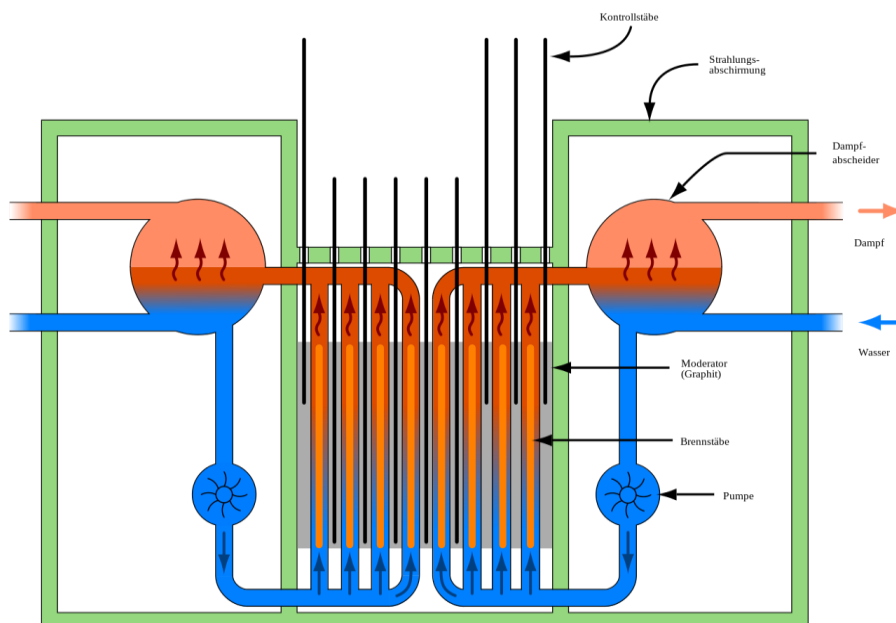
Dampfblasenkoeffizient

Der Dampfblasenkoeffizient gibt die Veränderung der Reaktorleistung an, wenn sich Dampfblasen bilden. Diese Dampfblasen entstehen, wenn das Kühlmittel (Wasser) verdampft oder aus anderen Gründen abhandenkommt. Bei einem positiven Dampfblasenkoeffizienten, wie er bei dem RBMK-Reaktor zu finden ist, erhöht sich die Reaktorleistung, sobald sich Dampfblasen bilden. Das hängt damit zusammen, dass Wasser mit erhöhter Temperatur eine immer geringere Dichte hat, wodurch es weniger Neutronen absorbiert. Dadurch sind mehr Neutronen vorhanden, die Kernreaktionen auslösen können. Da Wasser in einem RBMK-Reaktor nicht

auch als Moderator genutzt wird, werden die Neutronen weiterhin (mit Hilfe des Graphits) abgebremst.

Funktionsweise der RBMK Reaktoren

Die RBMK Reaktoren erlangten weltweite Aufmerksamkeit nach dem Unglück in Tschernobyl. Das Unglück fand in einem graphitmoderierten Druckröhrenreaktor statt. In RBMK-Reaktoren sind 102.000 8 cm große Druckröhren verbaut, in welchen sich die Brennelemente befinden. Brennelemente sind Radioaktive Stoffe wie Uran und Plutonium. Die Druckröhrenreaktoren sollen durch Steuerstäbe kontrolliert werden, die Steuerstäbe absorbieren die Neutronen und mit ihnen kann man theoretisch den Reaktor abschalten. Außerdem werden Moderatoren genutzt um die zu schnellen Neutronen abzubremesen. Dadurch wird die Kettenreaktion aufrechterhalten. Nun folgt die Kernspaltung, die Radioaktiven Stoffe teilen sich in mehrere kleinere. Bei dem Vorgang der Kernspaltung entsteht Wärme, welche vom verdampfenden Wasser aufgenommen wird. Der Dampf steigt in Dampfturbinen, wodurch die Generatoren angetrieben werden um einen elektrischen Strom zu erzeugen.



Unfallsablauf

In Reaktorblock 4 im Atomkraftwerk Tschernobyl, nördlich von Kiew gelegen, sollte am 26. April 1986 ein Sicherheitstest durchgeführt werden. Dabei sollte getestet werden, ob die Turbine bei einem Stromausfall noch genug Strom liefert, um die Zeit zu überbrücken, die die Dieselgeneratoren brauchen, um anzufahren. Im Jahr zuvor wurde in Reaktorblock 3 bereits ein ähnlicher Test ausgeführt, der aber fehlgeschlagen ist. Der Test war eigentlich für Mittag angesetzt und zu diesem Zeitpunkt war der Reaktor bereits nur noch bei einer Leistung von 50%, allerdings wurde der Test auf den späten Abend verlegt, da die Stromlastverteiler-Zentrale in Kiew weiter Strom anforderte. Die Notkühlung war zu diesem Zeitpunkt bereits

abgeschaltet und die Mittagschicht vergaß diese wieder an zu schalten. Das sollte der Nachtschicht später zum Verhängnis werden.

Um 0:28 sank die Leistung auf ca. 1% der Leistung im Normalbetrieb, und daher bildete sich ^{135}Xe , das stark neutronenabsorbierend ist. Als dann die Steuerstäbe weiter hinausgefahren wurden, um die Reaktorleistung wieder zu stabilisieren, konnte diese nur auf 6% erhöht werden, da das Xenon die Kernspaltung behinderte. Damit waren schon mehr Steuerstäbe aus dem Reaktor hinausgefahren worden, als laut Vorschrift vorgesehen war.

Um kurz nach 1 Uhr wurden die Turbineneinlassventile geschlossen, wodurch das Notkühlsystem anlaufen sollte, dieses war aber weiterhin ausgeschaltet. Es wurden weitere Hauptkühlmittelpumpen in Betrieb genommen, was zu einer besseren Wärmeabführung führte, was wiederum (auf Grund des positiven Dampfblasenkoeffizienten) zu einer Reduzierung der Reaktorleistung führte. Außerdem wurden weitere Steuerstäbe aus dem Reaktor hinausgefahren, sodass sich insgesamt nur noch 18 der 211 Steuerstäbe im Reaktor befanden.

Um 1:23 Uhr sollte der eigentliche Test beginnen, doch der Schichtleiter Akimow will den Test abbrechen. Der Stellvertretende Chefsingenieur Anatolij Djatlow befiehlt mit den Worten „Etwas beweglicher, meine Herren! Noch ein, zwei Minuten und alles ist vorbei!“ den Test zu beginnen, was sich als fataler Fehler erweist. Zuerst wurden die Turbinenschnellschlussventile geschlossen. Dadurch kam kein weiteres Kühlwasser in den Reaktor, was (auf Grund des positiven Dampfblasenkoeffizienten) zu einer Erhöhung der Reaktorleistung führte. Die Steuerstäbe wurden alle gleichzeitig eingefahren, allerdings befanden sich an deren Spitzen Graphitblöcke, die kurzzeitig die Reaktorleistung um ein Vielfaches erhöhten. Dadurch wurde der Reaktor prompt überkritisch. In diesem Zustand vermehrten sich die Kernspaltungen exponentiell innerhalb von Bruchteilen einer Sekunde. Das führte zu einer Kernschmelze (die Brennelemente und die Hüllrohre für die Steuerstäbe sind so heiß geworden, dass sie sich verformt haben), wodurch die Brennstäbe nicht weiter eingefahren werden konnten. In Folge der hohen Temperaturen kam es im Reaktor zu Explosionen (Hüllrohre barsten, ...) Außerdem erhitzte sich auch das Kühlwasser, das dann gasförmig wurde und gemeinsam mit Zirkonium (Aus den Legierungen der Brennstäbe; bei Temperaturen $> 900^\circ\text{C}$) zu Wasserstoff und Zirkoniumoxid reagiert. Der Graphit(C) reagiert mit Wasser ebenfalls zu Wasserstoff und Kohlenstoffmonoxid, was ebenfalls zu dem explosiven Gasgemisch beitrug. Dieses Explodierte dann in einer 2. Explosion. Entweder diese oder die vorausgegangene Explosion zerstörten den Reaktordeckel, der die Außenwelt vor Strahlung abschirmen sollte und das Dach des Kraftwerks, welches nur für äußere Gefahren konzipiert worden war. Dadurch konnte Sauerstoff in den Reaktorkern kommen, weshalb der heiße Graphit sofort zu brennen anfang. Dieser Brand dauerte auch die nächsten 10 Tage an und dabei wurden etwa 250 Tonnen Graphit in die Umwelt freigesetzt.

Die Eindämmungsversuche der sowjetischen Regierung

Erste Löschversuche

Zuerst wurde Löschwasser in den Reaktor geleitet, doch dies zeigte keine löschende Wirkung.

Als dieser Versuch fehlschlug, wurden Hubschrauber organisiert, die 5000T Bor, Sand und Lehm aus der Luft in den Brandherd schütteten.

Die Liquidatoren

Die Männer hatten nur 45 Sekunden um eine Leiter hochzuklettern und radioaktives Material in den Reaktor zu schütten. Sie trugen dabei eine Weste mit Blei am Rücken und der Brust. Die Liquidatoren wurden nicht über die Gefahren der Strahlen aufgeklärt und spürten die Gefahr nicht, deshalb blieben sie oft viel zu lange ohne die Weste (sie war zu Warm) auf dem Reaktordach. 50.000 der Liquidatoren sind laut Strahlenmedizinern umgekommen, laut Armee nur 20.000.



LIQUIDATOREN ARBEITEN AM HAVARIERTEN BLOCK 4, QUELLE: IAEA

Die 6000 Männer, die direkt nach dem Unfall den radioaktiven Müll wegräumen mussten, und den ersten Sarkophag bauten waren aus Tadschikistan.



„Die Offiziere sagten nur, dass ich als Teil eines Bauteams nach Russland geschickt werde, um dort neue Wohngebäude zu errichten.“

Komidschon Obidschonow (oben) (66), wurde als junger Mann von einem Tag auf den anderen eingezogen und musste Betonarbeiten in Tschernobyl leisten.

„Als wir ankamen, wurden wir in einem Militärlager rund 18 km von Tschernobyl entfernt untergebracht.“

“Sie gaben uns Overalls, dazu eine Gasmaske, und schickten uns zur Arbeit.“

Die Männer arbeiteten direkt am zerstörten Block 4 mit nicht ausreichender Schutzbekleidung. Ein Arbeitstag wurde bereits nach 20 Minuten beendet. „Danach sind wir alle mit einem speziellen Gerät untersucht worden“, erklärte Obidschonow „Die Kleidung wurde chemisch behandelt, dann in einen verschleißbaren Behälter geworfen und irgendwo vergraben.“

Eigentlich habe es Vorgaben gegeben, wie lange bestimmte Tätigkeiten ausgeführt werden dürfen, erzählt Hodschijew, ein anderer Liquidator aus Tadschikistan. Die Offiziere verschwiegen den Soldaten die vorgegebenen Arbeitszeiten und so arbeiteten die Liquidatoren statt 15min, 30min am strahlenden Reaktor.

Akkumulatoren, also Geräte die die Strahlung gespeichert haben, wurden zwar von den Liquidatoren getragen, aber sie wurden nicht über zulässige Strahlendosen aufgeklärt bzw. verstanden die Gefahr nicht.

Hodschijew litt nach seiner Arbeit in Tschernobyl an Schwäche, Schwindel, chronischen Rückenschmerzen und inneren Erkrankungen. „Ein anderer Liquidator, den ich kannte, starb kurz nach seiner Rückkehr. Viele unserer Kollegen hatten nicht das Glück, bis heute zu überleben, obwohl sie noch recht jung waren“, berichtet er.

Zeitlicher Ablauf der Maßnahmen

5. Mai

Die Stadt Tschernobyl und umliegende Ortschaften werden in einem Umkreis von 30km evakuiert und zur Sperrzone erklärt. Doch die Radioaktivität im Reaktor steigt weiter. Nach dem ein Löschversuch mit Kühlwasser fehlschlug, wurden 5000t Borsäure und Sand in den Reaktor geschüttet. Der Kernbrennstoff glüht auf dem Grund des Reaktors weiter. Zur Abdichtung des Reaktors werden 2400t Blei in den Reaktor geschüttet. Das Grundwasser droht mit dem radioaktiven Kernbrennstoff in Kontakt zu kommen.

13. Mai

Über den Zeitraum eines Monats graben Tausende Bergleute einen Tunnel unter den Reaktor. Geplant er für ein Kühlsystem, doch der Tunnel wurde kurzfristig mit Beton gefüllt um den Reaktor zu stabilisieren.

14. Mai

Präsident Gorbatschow mobilisiert mit einer Rede an die Bevölkerung ca. 100.000 Soldaten und 400.000-800.000 Zivilisten. Genaue Zahlen gibt es nicht. Diese Liquidatoren beseitigen in den folgenden Monaten radioaktiven Schutt und bauten im Juli 1986 einen Sarkophag, der Radioaktivität am Austreten hindern soll.

Sarkophag

Um radioaktive Strahlung am Austreten zu hindern wurde ein Sarkophag um Block 4 gebaut, welcher auf 20-30 Jahre ausgelegt war. Doch bereits nach einigen Jahren war der Sarkophag schwer beschädigt und musste 1997 in Zusammenarbeit mit der EU, Russland und den G7 Staaten neugebaut werden.

New Safe Confinement



DIE NEUE SCHUTZHÜLLE IN IHRER FINALEN POSITION ÜBER DEM HAVARIERTEN REAKTORBLOCK IM OKTOBER 2017

Das New Safe Confinement ist die neue Schutzhülle über dem temporären Sarkophag des Atomkraftwerks Tschernobyl. Sie dient dem Ziel, unter sicheren Bedingungen radioaktive Brennstoffe zu entfernen, strahlenden Abfall zu verwerten um die Anlage in ein ökologisch ungefährliches System zu verwandeln und ist auf 100 Jahre ausgelegt.

Die Gesamtkosten für die neue Schutzhülle betrugen 935 mio. Euro und die Betriebskosten für die Hülle sollen bei jährlich ca. 8 mio. Euro liegen.

Die Hülle hat eine Spannweite von 257 m, eine Länge von 162 m und eine Höhe von 108 m. Sie soll Temperaturen von -30°C bis $+50^{\circ}\text{C}$, einem Erdbeben der Stärke 6 sowie einem Tornado der Stufe 3 standhalten können. 81.000 m³ Beton dienen als Fundament, während die Konstruktion 24.860 Tonnen wiegt.

Die neue Schutzhülle wurde am 10.07.2019 offiziell in Betrieb genommen.

Auswirkungen der Katastrophe

Sperrgebiete



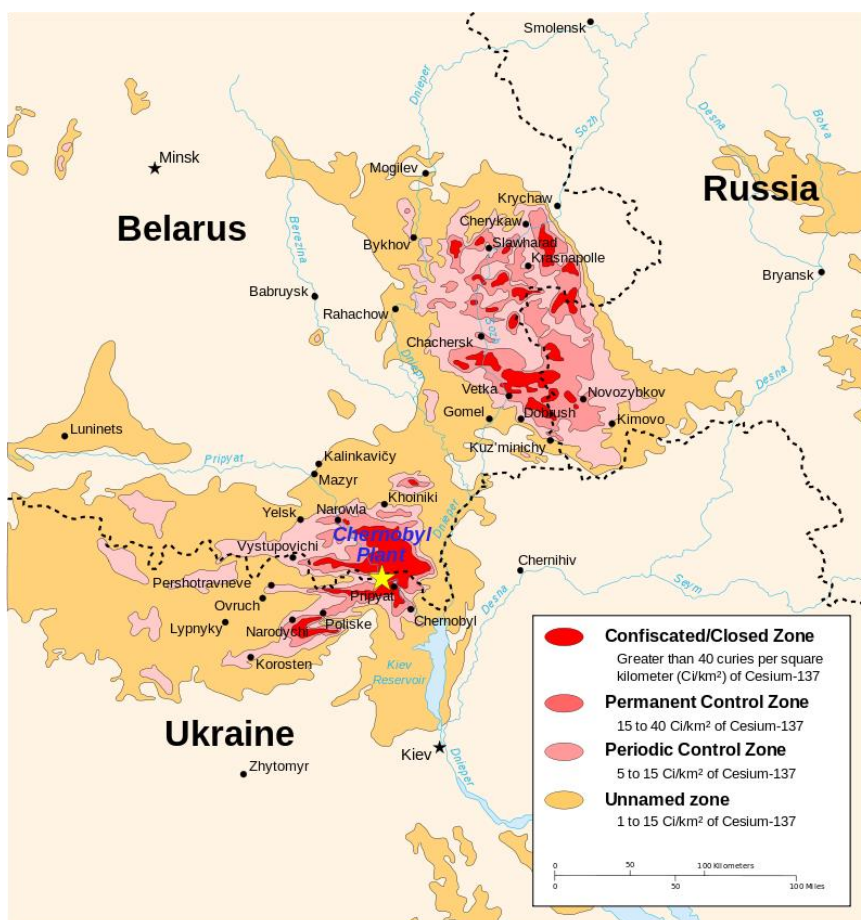
DIE SPERRGEBIETE IN BELARUS UND UKRAINE

Prypjat ist jetzt nicht mehr bewohnbar und bildet das Zentrum der Sperrzone. Bei der Sperrzone von Tschernobyl handelt es sich um ein Sperrgebiet mit einem Radius von 30 km, welches auf dem Gebiet der Ukraine errichtet wurde. Auf der Seite von Belarus schließt sich das Polessische Staatliche Radioökologische Schutzgebiet an die Sperrzone von Tschernobyl an.

Gesundheitliche Auswirkungen auf die Bevölkerung durch die Strahlenbelastung

Die größten gesundheitlichen Schäden verursachten das kurzlebige Iod-131 ($t_{1/2} = 8\text{d}$) und das relativ langlebige Cäsium-137 ($t_{1/2} = 30\text{a}$), da die beiden Isotope eine große Strahlungsdosis in die Bevölkerung brachten.

Die Kontamination von frischer Milch mit Iod-131 resultierte in hohe Dosen von radioaktivem Material in der Schilddrüse. Vor Allem in denen von Kindern. In der hiervon betroffenen Gruppe wurden bis 2005 ca. 6000 Schilddrüsenkrebsfälle diagnostiziert. Ein großer Anteil dürfte auf die Einnahme von Iod-131 zurückgeführt werden können. Auch in Zukunft ist ein Anstieg der Schilddrüsenkrebsinzidenz aufgrund des Tschernobyl-Unfalls zu vermuten.



$$1 \text{ Ci} = 3.7 \times 10^{10} \text{ Bq} = 37 \text{ GBq}$$

Über einen längeren Zeitraum wirkte Cäsium-137 extern und die kontaminierten Lebensmittel intern auf die Bevölkerung. Durch die getroffenen Gegenmaßnahmen waren die resultierenden Strahlungsdosen in den kontaminierten Gebieten im Schnitt jedoch relativ klein: "the average additional dose in 1986-2005 in "contaminated areas" of the three republics was about equivalent to that from a computed tomography (CT) scan in medicine" (S. 6 UNSCEAR 2008 report). Diese geringen Dosen in Höhe von ca. 9 mSv sollten also eigentlich keine starken Auswirkungen auf die Gesundheit der Bevölkerung haben.

Auf die 115.000 evakuierten Personen wirkten aber im Schnitt Dosen von 30 mSv ein. Für 530.000 Liquidatoren, welche den zerstörten Reaktor eindämmten, lagen die Strahlungsdosen bei ca. 120 mSv.

Eine Mehrheit der Liquidatoren erhielt Dosen zwischen 0.02 und 0.5 Gy und ist deshalb immer noch einem erhöhten Risiko von Krebs und anderen Krankheiten ausgesetzt.

In der Gruppe der Liquidatoren, welche höhere Strahlungsdosen erhielten, besteht eine leicht erhöhte Inzidenz von Leukämie. Basierend auf anderen Studien ist aber zu erwarten, dass dieser Anstieg in den kommenden Jahren wieder zurückgehen wird.

Von den 600 am Morgen des Unfalls in Tschernobyl Arbeitenden, erhielten 134 hohe Strahlungsdosen (0.8-16 Gy) und litten unter Strahlenkrankheit. Von diesen starben 28 in den ersten 3 Monaten und weitere 19 starben im Zeitraum 1987-2004 (diese Tode sind nicht unbedingt auf Tschernobyl zurückzuführen). Jene Überlebende der Strahlenkrankheit entwickelten häufig strahlenbedingten grauen Star.

Außerhalb von Belarus, Russland und der Ukraine lagen die Strahlungsdosen, die auf Tschernobyl zurückzuführen sind im ersten Jahr bei unter 1 mSv und nahmen dann mit Verlauf der Zeit ab. Diese Dosen sind vergleichbar mit der jährlichen Dosis der natürlichen ionisierenden "background radiation" (ca. 2,4 mSv pro Person/Jahr).

Abgesehen von dem relativ großen Anstieg der Schilddrüsenkrebsinzidenz und den kleineren Anstiegen der Leukämie- und Kataraktinzidenz bei den Arbeitern sind keine Anstiege in den Inzidenzen von Krebs oder auch anderen nicht bösartigen Störung in der betroffenen Bevölkerung vorhanden.

Quellen

Fabian:

Elektrizitätswerke Schönburg, Tilav Rasul-Zade

<https://www.ews-schoenau.de/energiewende-magazin/zur-sache/das-leid-der-liquidatoren-nach-tschernobyl/>

GEO, Helmut Stapel

<https://www.geo.de/wissen/tschernobyl--reaktorexperiment-wird-zur-katastrophe-30844826.html#:~:text=Heute%20ist%20um%20das%20Kernkraftwerk,350.000%20Menschen%20evakuiert%20und%20umgesiedelt>

DAtF Reaktorunfall Tschernobyl Publikation

https://www.kernd.de/kernd-wAssets/docs/service/025reaktorunfall_tschernobyl2011.pdf

DW

<https://www.dw.com/de/die-helden-von-tschernobyl/a-1979486#:~:text=Sie%20nannten%20sich%20selbst%20sarkastisch,fatalen%20Folgen%20f%C3%BCr%20die%20Betroffenen>

Vincent:

UNSCEAR (*United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation*)

<https://www.unscear.org/unscear/en/chernobyl.html>, zuletzt eingesehen am 01.04.2022

UNSCEAR Publikationen:

„Evaluation of data on thyroid cancer in regions affected by the Chernobyl accident“

„Exposures from the Chernobyl Accident (1988)“

Wikipedia (beinhaltet Bilder):

https://de.wikipedia.org/wiki/New_Safe_Confinement, zuletzt eingesehen am 01.04.2022

https://de.wikipedia.org/wiki/Sperrzone_von_Tschernobyl, zuletzt eingesehen am 01.04.2022

Konstantin:

https://de.wikipedia.org/wiki/Nuklearkatastrophe_von_Tschernobyl

<https://www.spiegel.de/wissenschaft/technik/tschernobyl-der-super-gau-im-protokoll-a-1089220.html>

<https://de.wikipedia.org/wiki/Synthesegas>

Henry:

<https://de.wikipedia.org/wiki/RBMK>

<https://www.kernfragen.de/kernfragen/lexikon/entries/R/RBMK.php>

<https://www.leifiphysik.de/kern-teilchenphysik/kernspaltung-und-kernfusion/ausblick/reaktorkatastrophe-von-tschernobyl>

<https://www.spektrum.de/lexikon/physik/strahlung/13984>

<https://physikunterricht-online.de/jahrgang-12/arten-und-eigenschaften-radioaktiver-strahlung/>

[https://de.wikipedia.org/wiki/Sievert_\(Einheit\)](https://de.wikipedia.org/wiki/Sievert_(Einheit))

Arbeitsaufteilung:

Henry: Funktionsweise RBMK-Reaktoren, Strahlung/Einheiten

Konstantin: Unfallablauf, Dampfblasenkoeffizient

Fabian: Maßnahmen der sowjetischen Regierung

Vincent: New Safe Confinement, Auswirkungen der Katastrophe, Erstellen der PDF