



März 2011, Reaktorrüine von Tschernobyl, Ukraine: Greenpeace misst die radioaktive Strahlung.
© Grarup / NOOR / Greenpeace

25 Jahre nach Tschernobyl

Die Lage am Standort – keine Lösung in Sicht.

Dipl. Phys. Oda Becker, Hannover

Greenpeace-Vorwort

Am 26. April 1986 verraucht das Konzept der „friedlichen Nutzung der Atomenergie“ in einer radioaktiven Wolke über dem havarierten Reaktorblock 4 des Atomkraftwerks Tschernobyl in der heutigen Ukraine. Ein Experiment war außer Kontrolle geraten, der Reaktor explodiert. Volle zehn Tage brennt er, radioaktive Materialien werden großflächig verteilt.

In den Jahren nach der Havarie werden aus der gesamten ehemaligen Sowjetunion Menschen zusammengezogen, um den zerstörten Reaktor und die Umgebung notdürftig zu sichern. Allein in den Jahren 1986 und 1987 sind es geschätzte 440.000, so der Wissenschaftliche Ausschuss der Vereinten Nationen, UNSCEAR. Hunderttausende kommen in den Folgejahren dazu. Die Lage am Standort soll unter Kontrolle gebracht werden – das ist bis zum heutigen Tag nicht gelungen.

In den ersten Tagen sollen abgeworfene Materialien die massiven radioaktiven Freisetzungen und die Flammen eindämmen – ein sinnloses Unterfangen, wie sich im Rückblick zeigt. Heute geht man davon aus, dass diese Maßnahme keinen wesentlichen Einfluss auf den Unfallablauf und die radiologischen Folgen hatte – „natürliche“ Prozesse, die Erstarrung von Brennstoffresten, scheinen letztlich die Freisetzungen zu beenden.

In den Monaten nach dem Brand wird über den strahlenden Trümmern des zerstörten Reaktors eilig eine Schutzhülle errichtet – ein Sarkophag, der die Umwelt vor weiterer Strahlung abschirmen soll. Ende November 1986 ist er notdürftig errichtet – eine Lösung für 20, vielleicht 30 Jahre. In dieser Zeit, so die Idee, könne ein neues, ein besseres Schutzkonzept entwickelt und verwirklicht werden.

Heute, 25 Jahre nach der Havarie, steht über der Reaktorruine immer noch der alte Sarkophag. Die notwendigsten Stabilisierungsarbeiten – und wirklich auch nur die! – sind in den letzten Jahren ausgeführt worden, sie sollen bis etwa 2023 den rostigen Koloss vor dem Einsturz bewahren. Mehr nicht. Nach wie vor ist die Konstruktion löchrig, Wasser dringt ein, Staub hinaus. Der Bau der neuen Hülle – aber auch der Bau der Anlagen für die betriebsbedingten radioaktiven Abfälle der anderen Blöcke am Standort – hängen aufgrund diverser Unwegsamkeiten gnadenlos hinter allen Zeitplänen, und die Finanzierung ist nicht gesichert. Dieser Report beleuchtet Fragen zur Situation vor Ort, vorliegende Pläne und deren Schwachstellen.

Und heute, 25 Jahre nach der Havarie, steht Japan am Beginn einer atomaren Katastrophe – in einem dicht bevölkerten, technisch hochentwickelten Land ist das passiert, was eigentlich, so die Atomlobby, nicht passieren kann. Gleich mehrere Reaktoren sind nicht beherrschbar, Radioaktivität gelangt in die Umwelt. Aktuell wagt keiner, den Ausgang der Katastrophe zu prognostizieren. Ein Blick auf die Situation in Tschernobyl lässt erahnen, was Japan noch bevorsteht – technisch wie menschlich.

Japan zeigt – wie damals Tschernobyl, wie auch Majak und Windscale und die vielen anderen Unfälle in Atomanlagen –, dass Atomenergie eine nicht beherrschbare, eine menschenverachtende Energieform ist. Die Energiewende ist überfällig, Konzepte liegen seit Jahren vor – was fehlt ist der Wille und der Mut von Politik und Industrie, den Weg in eine Erneuerbare Energiezukunft zu gehen.

Einleitung

Zusammenfassung

1 Der explodierte Reaktorblock	9
1.1 Der Unfall.....	9
1.2 Unfallursache.....	10
1.3 Interventionsmaßnahmen.....	11
1.4 Freisetzungen.....	12
1.5 Im Inneren der Ruine.....	13
1.6 Bau des Sarkophags	14
2 Der Shelter Implementation Plan (SIP)	16
2.1 Zielsetzung	16
2.2 Kosten und Finanzierung.....	17
2.3 (Politische) Diskussionen und Kritik in der Ukraine	19
2.4 Zeitplan.....	20
2.5 Stabilisierung des alten Sarkophags	21
2.6 Das New Safe Confinement (NSC)	22
2.7 Ungelöste Bergung der radioaktiven Stoffe.....	24
3 Gesamtsituation am Atomkraftwerk Tschernobyl	26
3.1 Status der Reaktorblöcke 1 bis 3.....	26
3.2 Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente.....	27
3.3 Anlage zur Verarbeitung von flüssigen radioaktiven Abfällen (LRWTP)	29
3.4 Abfallbehandlungszentrum für feste radioaktive Abfälle (ICSRM).....	30
3.5 Rolle der westlichen Firmen	31
4 Gefährdungen durch den havarierten Reaktorblock 4	33
4.1 Gefahr eines Einsturzes	33
4.2 „Normale“ radioaktive Freisetzungen in die Luft.....	35
4.3 Gefährdung durch kontaminiertes Wasser	36
4.4 Gefahr einer nuklearen Kettenreaktion.....	37
4.5 Gefährdungen durch Waldbrände	38
5 Situation in der Verbotenen Zone	39
5.1 Belastung Tiere	40
5.2 Umgang mit der belasteten Umwelt	41

Schlussfolgerungen und Ausblick

Literatur

Einleitung

Im Vorfeld des 25. Jahrestags des Unfalls in Tschernobyl wurde von der Atomlobby versucht, ihn gar als Argument für den Betrieb von Atomkraftwerken zu nutzen. So heißt es z.B., nach Tschernobyl hätten die Betreiber die Initiative ergriffen, die Sicherheit und Zuverlässigkeit ihrer Kraftwerke zu steigern. Auch die Konferenz vom 20. bis 22. April 2011 in Kiew hat zum Ziel, aus dem katastrophalen Unfall zu lernen, um zukünftig die Sicherheit von Atomkraftwerken zu gewährleisten.

Der katastrophale Unfall in Fukushima, Japan, zeigt aber, dass bisher keine wesentlichen Lehren aus der Katastrophe von Tschernobyl gezogen wurden. Ähnlich – wie jetzt auch als Reaktion auf den Unfall in Japan – erfolgte auch nach Tschernobyl eine umfassende Sicherheitsüberprüfung älterer Atomkraftwerke – die aber keine entscheidenden Konsequenzen (Stilllegung von Anlagen) hatte. Es bleibt abzuwarten, ob aus dem zweiten Super-GAU in 25 Jahren entsprechend weitreichende Konsequenzen gezogen werden.

Der Umgang mit den zerstörten Reaktorblöcken in Fukushima wird ein komplexes und teures Unterfangen werden. Das zeigen die Erfahrungen am AKW Tschernobyl. In diesem Bericht soll die dortige Situation dargestellt werden.

Einleitend wird im Kapitel 1 auf den Unfall am 26. April 1986 eingegangen. Seit 1997 ist der sogenannte Shelter Implementation Plan Grundlage internationaler Projekte zur Sanierung des Standorts. Dieser wird in Kapitel 2 diskutiert und kritisch bewertet. Kapitel 3 thematisiert den Status der für die Stilllegung der Reaktorblöcke 1 bis 3 am Standort zu errichtenden Anlagen. In Kapitel 4 werden die Gefahren, die vom havarierten Reaktor ausgehen, erläutert. Kapitel 5 skizziert die Situation in der Verbotenen Zone. Abschließend werden die Schussfolgerungen formuliert.

Zusammenfassung

26. April 1986 – im Reaktor 4 des AKW Tschernobyl kommt es zum Super-GAU. Das Unglück ereignet sich in einem Reaktor vom Typ RBMK, einem graphitmoderierten, wassergekühlten Siedewasser-Druckröhrenreaktor. Zur Zeit des Unfalls waren 14 RBMK-Reaktoren in Betrieb, vier in Tschernobyl.

Menschliche Fehler kombiniert mit der technischen Auslegung des Reaktortyps führen zur Havarie. Zwei Explosionen zerstören den Reaktor, der Graphitblock fängt Feuer und brennt zehn Tage, radioaktives Material wird in die Atmosphäre geschleudert und verteilt sich weiträumig. Innerhalb eines halben Jahres wird unter schwierigen Bedingungen eine Abdeckung für die Ruine, der Sarkophag, gebaut – gedacht als Schutz für 20 bis 30 Jahre.

Bisher sind weder die Freisetzungsmenge des folgenschweren Unfalls, noch die genaue Menge des im Reaktor verbliebenen Kernbrennstoffs vollständig bekannt. Aus den erhobenen Daten lässt sich allerdings schließen, dass sich noch große Mengen radioaktiver Stoffe im Reaktor befinden. Die stellen eine erhebliche Gefahr für die Umwelt dar und dürfen nicht sich selbst überlassen werden.

Shelter Implementation Plan

1995 vereinbarten die G7-Staaten, die Europäische Kommission und die Ukraine ein „Memorandum of Understanding“ zur Stilllegung des AKW Tschernobyl. Da keine Lösung für den zerstörten Reaktor gefunden wurde, einigte man sich auf ein Vorgehen in mehreren Stufen. Seit 1997 ist der sogenannte **Shelter Implementation Plan**, SIP, Grundlage der internationalen Zusammenarbeit. Seine Zielsetzung ist es, die Ruine mittelfristig sicherer zu machen – damit soll Zeit gewonnen werden, eine langfristige Lösung zu entwickeln.

Wesentlich für die Umsetzung des mittelfristigen Ziels ist ein neuer Einschluss des zerstörten Reaktors. Als neue Schutzhülle ist eine den Reaktor überspannende Stahlkonstruktion in

Bogenform geplant, das **New Safe Confinement**. Aufgrund des hohen Strahlenniveaus an vor Ort ist ihr Aufbau direkt über dem alten Sarkophag nicht möglich. Sie wird abseits der Anlage gefertigt und über den bestehenden Sarkophag geschoben.

Die Zielsetzung, die mit dem Bau der neuen Schutzhülle verfolgt wird, ist pragmatisch: Für einen Zeitraum von 100 Jahren soll das Eindringen von Wasser sowie die Freisetzung von radioaktivem Staub verhindert werden. Die Schutzhülle soll auch die Bergung der brennstoffhaltigen Massen zu einem späteren Zeitpunkt ermöglichen – dieser Aspekt ist aber nicht konkreter Gegenstand des internationalen Plans, finanzielle Mittel sind dafür im SIP nicht vorgesehen. Eine langfristige Abwendung der Gefahr, die vom havarierten Reaktorblock ausgeht, wird durch die neue Schutzhülle nicht erreicht. Vor allem deswegen war – und ist – der SIP Gegenstand kontroverser Diskussionen.

Die Umsetzung des SIP gestaltet sich problematisch. Inzwischen liegt er rund zehn Jahre hinter dem Zeitplan. Die Errichtung der Schutzhülle soll, so aktuelle Planungen, 2014 oder 2015 abgeschlossen sein (wenn das erforderliche Geld bereitgestellt wird). Die Europäische Bank für Wiederaufbau und Entwicklung, EBRD, hat die administrative Leitung des SIP übernommen und richtete dafür den Chernobyl Shelter Fund, CSF, ein. Bisher wurden von der EU, 23 Geberländern sowie sechs weiteren Ländern rund 864 Millionen Euro in den CSF eingezahlt. Die einst geschätzten Kosten für den SIP von 768 Millionen US Dollar haben sich bereits verdreifacht, die erwarteten Kosten liegen zurzeit bei 1,6 Milliarden Euro – und das umfangreichste Projekt (die Errichtung der Schutzhülle) steht noch aus.

Der eigentliche Bau der Struktur kann, so die EBRD, im Frühjahr 2011 beginnen. 2010 wurden Vorbereitungsarbeiten auf dem Anlagengelände durchgeführt, die erforderliche Infrastruktur aufgebaut. Ende 2010 wurde ein integriertes automatisches Kontrollsystem (IACS) fertig gestellt, das den Zustand der brennstoffhaltigen Massen und der Gebäudestruktur, die Strahlung innerhalb wie außerhalb des Sarkophags sowie die seismischen Bedingungen überwachen soll.

Gefahren vor Ort

Das Konsortium „Stabilization“ führte von 2004 bis 2007 dringend erforderliche Stabilisierungsarbeiten am maroden Sarkophag aus. Weitere Stabilisierungsmaßnahmen waren nötig, das gleiche Konsortium führte sie 2008 durch. Ziel war eine Stabilisierung für die nächsten 15 Jahre, also bis 2023. Die errechnete Wahrscheinlichkeit für einen **Zusammenbruch des Sarkophags** betrug vor Durchführung der Stabilisierungsmaßnahmen rund 0,1 pro Jahr. Die Stabilisierungsmaßnahmen sollen die Einsturzwahrscheinlichkeit auf 0,001 pro Jahr verringern. Es zeigte sich allerdings, dass die Überreste an einigen Stellen extrem instabil sind. Daher ist anzuzweifeln, dass dieses Ziel erreicht wurde. Äußere Gefährdungen für den Sarkophag resultieren u.a. aus starken Wettereinflüssen (z.B. Stürme) und Erdbeben. Die Standsicherheit wird auch durch einen möglichen Brand im Inneren bedroht.

Durch den Unfall hat sich der Großteil des verbliebenen Kernbrennstoffs mit Graphit und Betontrümmern zu einer Art „Lava“ verschmolzen. Im Inneren der Ruine befindet sich aber auch mehr als eine Tonne radioaktiver **Staub**. Ein Einsturz des Sarkophags würde dementsprechend zu einer hohen radioaktiven Freisetzung führen. Dabei würden relevante Strahlenbelastungen bis in Entfernungen von 50 Kilometern auftreten. Ein Einsturz des Sarkophags würde vor allem das Leben der Beschäftigten am Standort massiv gefährden. Aber auch ohne einen Einsturz wird aus den Öffnungen des Sarkophags kontinuierlich radioaktiver Staub in kleinen Mengen freigesetzt.

Durch die Öffnungen dringt aber auch **Wasser und Feuchtigkeit** in den Sarkophag ein, dadurch wird der weitere Verfall der Gebäudestruktur beschleunigt. Auch die durch den Unfall entstandene glasartige Oberfläche der brennstoffhaltigen Reste wird dadurch zerstört, mehr radioaktiver Staub kann so entstehen. Zudem werden langlebige Radionuklide gelöst, radioaktive Flüssigkeit entsteht. In den unteren Räumen des Sarkophags befinden sich ca. 3.000 Kubikmeter kontaminiertes Wasser. Es ist zu befürchten, dass dieses nach außen gelangt.

Studien wiesen inzwischen nach, dass ein kleiner Teil des kontaminierten Wassers in den Boden unterhalb der Ruine einsickert.

Eindringendes Wasser könnte theoretisch auch zum **Wiederaufflackern der Kettenreaktion** in den Brennstoffresten im Inneren der Ruine führen. Dieses wird allerdings inzwischen als sehr unwahrscheinlich angesehen.

Situation am AKW Standort Tschernobyl

Betreiber des AKW Tschernobyl ist seit September 2000 die State Specialized Enterprise "Chernobyl NPP". Am Standort befinden sich nicht nur der havarierte Reaktorblock und die Großbaustelle zu Errichtung des New Safe Confinement. Auf dem AKW-Gelände sind weiterhin die drei stillgelegten Reaktorblöcke des AKW Tschernobyl sowie mehrere, teilweise noch im Bau befindliche, Anlagen zur Behandlung und Lagerung der radioaktiven Betriebs- und Stilllegungsabfälle.

Ende 2000 ging mit der endgültigen Abschaltung des Reaktors 3 das gesamte Atomkraftwerk Tschernobyl vom Netz. Die Reaktoren 1, 2 und 3 befinden sich zurzeit in der **Nachbetriebsphase**.

Ein **Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente** sollte bis 2003 errichtet werden. Das Lagerkonzept der Firma Areva NP (ehemals Framatome ANP, Frankreich) stellte sich aber als ungeeignet heraus, da einige der Brennelemente beschädigt sind und Wasser enthalten. Nach jahrelangem Disput wurde der Vertrag mit Areva NP Anfang 2007 „freundschaftlich“ aufgelöst.

Mangels eines neuen Zwischenlagers begannen die Betreiber des Atomkraftwerks Ende 2005 die Brennelemente in ein bereits am Standort vorhandenes Zwischenlager einzulagern. Es handelt sich um das 1986 in Betrieb gegangene russische **Nasslager ISF-1**. Die Kapazität des fast vollen Lagers musste dafür durch Kompaktlagerung erhöht werden. Es entspricht nicht modernen Standards. Deutsche, französische und ukrainische Gutachterorganisationen stellten erhebliche Defizite fest, u.a. in der baulichen Konstruktion und Auslegung. Dieses Lager stellt daher eine Gefahr dar.

Im September 2007 erhielt die amerikanische Firma Holtec International den Auftrag zur **Fertigstellung des Zwischenlagers**, nach derzeitigen Plänen soll sie bis 2014 erfolgen, allerdings fehlen noch Finanzmittel.

Ein belgisch-französisch-italienisches Konsortium (Belgatom, SGN und Ansaldo) sollte bis 2001 auf dem Gelände des AKW Tschernobyl eine **Anlage zur Verarbeitung radioaktiver Flüssigabfälle** (LRWTP) errichten. In dieser sollen die existierenden flüssigen Betriebsabfälle und die bei der Stilllegung der Blöcke 1 bis 3 anfallenden flüssigen Abfälle verarbeitet werden. Seit Jahren ist die Anlage im Zustand der „unvollständigen Errichtung“ – der Vertrag mit dem Konsortium wurde 2006 aufgelöst. Die Inbetriebnahme der Anlage wird nun frühestens 2012 erwartet.

Das deutsche Unternehmen Nukem wurde im Frühjahr 2001 mit der Errichtung eines **Zentrums zur Behandlung und Lagerung fester radioaktiver Abfälle** aus den Blöcken 1 bis 3 beauftragt (ICSRM, mit vier Teilanlagen). Die Fertigstellung war für Mitte 2005 vorgesehen, erfolgte aber erst im April 2009. Im Rahmen des Projekts entstand ein **oberflächennahes Endlager (ENSDF) für schwach- und mittelradioaktive Abfälle** auf dem 17 km vom Standort entfernten Atommülllagerkomplex. Die Übergabe dieser Anlage an den Betreiber erfolgte Ende 2007. Laut Gutachterorganisationen (u.a. aus Deutschland [GRS]) hat das Endlager (gemessen an westlichen Standards) erhebliche Defizite. Die Aufsichtsbehörde erteilte daher zunächst nur eine befristete Betriebsgenehmigung.

Die bei allen Anlagen aufgetretenen Schwierigkeiten weisen darauf hin, dass sich offenbar die westlichen Firmen die Durchführung der Projekte am Standort Tschernobyl deutlich ein-

facher vorgestellt haben. Es zeigt sich auch, dass die von den westlichen Unternehmen errichteten Anlagen nicht den erforderlichen Sicherheitsstandards entsprechen.

Situation in der Verbotenen Zone

Eine 30 Kilometerzone um den explodierten Reaktor wurde nach dem Unfall aufgrund der hohen Kontaminationen vollständig evakuiert und zur „Verbotenen Zone“ erklärt. Heutzutage ist diese Zone alles andere als menschenleer: Täglich befinden sich dort etwa 16.500 Personen zum Arbeiten, einige Hundert (meist ältere Menschen) leben geduldet in der Zone.

In der zehn Kilometerzone um den havarierten Reaktor wurden Cäsium-137 Bodenkontaminationen von mehr als 1.500 kBq/m² gemessen. In diesem Bereich liegt der AKW-Standort sowie diverse Deponien mit radioaktiven Materialien aus den Aufräumarbeiten. Bisherige Untersuchungen gehen von ca. 800 Deponien innerhalb der Verbotenen Zone aus. Für die Behandlung (Sortierung, Konditionierung) und Lagerung wurde der Atommülllagerkomplex VEKTOR errichtet.

Auch 25 Jahre nach dem Unfall sind die kontaminierten Gebiete eine offene „Quelle“ für die Ausbreitung der Radionuklide, die zum Beispiel mit dem Oberflächen- und Grundwasser die Verbotene Zone verlassen. Die Verteilung der Radionuklide im Wassersystem ist kompliziert und verändert sich ständig. Die Absperrung der Gewässer in der inneren Zone verstärkte die Mobilität der Radionuklide, vor allem von Strontium-90. Bei Hochwasser besteht die Gefahr, dass die Radionuklide aus diesen „Depots“ in den Fluss Pripjat gelangen.

Die Auswirkung der Strahlung auf die Flora und Fauna ist eines der wichtigsten – aber bisher noch ungenügend untersuchten – Probleme der Verbotenen Zone. Eine Studie wies nach, dass die Radioaktivität die Artenvielfalt und die Populationsdichte von Vögeln beeinflusst. Die Forscher vermuten daher, dass die dauerhaften Strahlenbelastungen auch für Menschen relevante Folgen haben könnten.

Trotz des weiterhin vorhandenen Risikos sollen geringer kontaminierte Teilflächen wieder für die landwirtschaftliche Nutzung freigegeben werden, auch eine touristische Erschließung ist im Gespräch. Insgesamt ist festzustellen, dass es eine große Diskrepanz zwischen den Forschungsergebnissen zur Ausbreitung der radioaktiven Stoffe und den Folgen der Strahlenbelastung einerseits, und dem Umgang mit den kontaminierten Regionen andererseits gibt. Immer deutlicher wird dadurch auch, wie schwierig ein langfristiger Umgang mit einem Gebiet ist, das für viele Generationen als unbewohnbar gilt.

Fazit

Vorteil des SIP war, ohne fertiges technisches Gesamtkonzept für den explodierten Reaktor sofort mit den dringlichsten Arbeiten beginnen zu können. Die Zielsetzung, mit einer mittelfristigen Lösung Zeit zu gewinnen, um eine langfristig Lösung zu suchen, schien vernünftig. Inzwischen wird deutlich, dass der SIP real nur die Umsetzung der mittelfristigen Lösung beinhaltet. Erschreckend ist, dass die langfristige Lösung – die Bergung der hochradioaktiven Stoffe – nicht im Rahmen des SIP erfolgt. Es muss befürchtet werden, dass die Ukraine nach Abschluss des SIP alleine mit diesem Problem dasteht.

Für die komplexe und hochgefährliche Maßnahme der Bergung der hochradioaktiven Stoffe bleibt wieder extrem wenig Zeit, denn: Die Stabilisierung des alten Sarkophags ist nur bis ins Jahr 2023 ausgelegt. Bricht er unter dem neuen Schutzmantel zusammen, wäre eine Bergung ungleich schwieriger. Vor allem aber ist das Leben der dann am Sarkophag beschäftigten Arbeiter bei einem Einsturz bedroht.

Noch ist eine Finanzierung der Bergung ist vollständig offen.

Es macht insgesamt wenig Sinn, mit einem derart hohen finanziellen Aufwand eine zweite – wieder temporäre – Hülle um den zerstörten Reaktorblock zu bauen. Die Gefahr wird damit

nicht beseitigt, eine Lösung des eigentlichen Sicherheitsproblems wird verschoben. Es ist nicht akzeptabel, diese Last späteren Generationen zu überlassen.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass auch 25 Jahre nach dem Super-GAU eine Gefahr vom havarierten Reaktor ausgeht. Eine Lösung dieser Situation ist nicht in Sicht.

1 Der explodierte Reaktorblock

Das AKW Tschernobyl befindet sich etwa 100 Kilometer nördlich von Kiew im Grenzbereich zwischen der Ukraine und Weißrussland. Zur Zeit des Unfalles waren dort vier RBMK Reaktoren in Betrieb, zwei weitere im Bau. Der havarierte Reaktor war der jüngste der vier Reaktorblöcke und erst drei Jahre vor dem Unfall (1983) in Betrieb gegangen. Er hatte eine elektrische Leistung von 1.000 Megawatt.

Bei den RBMK-Reaktoren handelt es sich um eine Reaktorlinie, die auch zur Plutoniumgewinnung für militärische Zwecke genutzt werden kann. Sie wurde nur auf dem Gebiet der damaligen UdSSR errichtet. 1986 waren insgesamt 14 Reaktoren dieses Typs in Betrieb.¹ Heute erzeugen noch insgesamt elf RBMK-Reaktoren an drei Standorten (Kursk, Leningrad und Smolensk) in Russland Atomstrom.²

RBMK-Reaktoren sind graphitmoderierte Siedewasser-Druckröhrenreaktoren. Der Reaktorkern ist ein Graphitblock in Form eines Zylinders mit einem Durchmesser von 11,8 Metern und einer Höhe von sieben Metern. In diesem sind ca. 1.700 Druckröhren untergebracht, die die Brennelemente enthalten. Der Graphit übernimmt die Moderation, d.h. die schnellen Neutronen werden gebremst. Das Wasser dient bei den RBMK-Reaktoren nur als Kühlmittel.

Während bei einem Leichtwasserreaktor durch Kühlwassermangel die Neutronenbremsung verringert und damit die Kettenreaktion automatisch gebremst wird, sind bei den RBMK-Anlagen Kühlmittel- und Neutronen-Bremsmittel nicht identisch. Dadurch entsteht unter bestimmten Umständen ein Effekt, der in der Fachsprache als „positiver Dampfblasenkoeffizient“ bezeichnet wird: Bei Leistungs- und Temperatursteigerung nimmt bei den RBMK-Reaktoren auch die Kettenreaktionsrate immer schneller zu. Dieser Effekt war eine der physikalischen Ursachen für den Unfall.³

1.1 Der Unfall

Am 26. April 1986 kam es im Reaktor 4 des AKW Tschernobyl zum Super-GAU. Die nukleare Kettenreaktion geriet außer Kontrolle. Explosionen zerstörten den Reaktorkern. Die ca. 3.000 Tonnen schwere Reaktorplatte wurde angehoben und der obere Teil des 64 Meter hohen Reaktorgebäudes zerstört. Teile des Kernbrennstoffs wurden in die Umgebung geschleudert. Die Graphitblöcke des Reaktorkerns gerieten in Brand. Durch die Explosionen und den Brand gelangten radioaktive Stoffe bis in Höhen von mehr als 1.000 Metern und wurden durch meteorologische Einwirkungen großräumig in Europa und darüber hinaus verteilt. Über zehn Tage wurde eine große Menge an radioaktiven Stoffen freigesetzt.⁴

Der Unfall ereignete sich während eines Tests. Ziel war, zu prüfen, ob bei einem Stromausfall die auslaufenden Turbinen so lange den erforderlichen Strom für den Eigenbedarf erzeugen können, bis die Notstromdiesel starten. Der Test diente also (makabrer Weise) einer besseren Notfallbeherrschung. Während des Tests wurde zur Erfassung von Versuchsdaten eine beträchtliche Anzahl von Dokumentationskanälen verwendet, auf denen sonst Betriebswerte aufgezeichnet werden. Die dadurch fehlenden Werte erschwerten später die Ermittlung von Unfallablauf und -ursache.⁵

Zur Erklärung des Unfallablaufs war man auf die Augenzeugenberichte sowie auf nach dem Unfall durchgeführte Strahlenmessungen, nachgestellte Experimente und Analysen angewiesen. Von außerhalb des Reaktorgebäudes wurden zwei Explosionen beobachtet. Sie erfolgten im Abstand von zwei bis drei Sekunden und führten zu starken Beschädigungen am Gebäude. Aus dem Reaktor flogen heiße Stücke in die Höhe, die teilweise auf dem Maschinenhaus landeten.⁶

Über die Ursachen der zweiten – nach Aussagen von Augenzeugen stärkeren – Explosion wurden verschiedene Hypothesen aufgestellt: Die eine Hypothese geht von einer nicht-nuklearen Explosion in Form einer Dampfexplosion aus, verbunden entweder mit stark exothermen (Wärme freisetzenden) Reaktionen oder mit einer Wasserstoffexplosion. Die andere Hypothese geht von einer nuklearen Explosion innerhalb oder außerhalb des Reaktors aus.⁷

Der Unfall lief so rasant schnell ab und die Reaktionen waren so komplex, dass trotz vieler Studien auch nach 25 Jahren der Unfallablauf nicht vollständig rekonstruiert werden kann. Insofern kann nicht beurteilt werden, inwieweit bloßes Glück noch größere radioaktive Freisetzungen verhinderte. Eines lässt sich sicher sagen. Aufgrund von zwei Besonderheiten wurden die Radionuklide großräumig verteilt, so blieb für die nähere Umgebung eine noch größere Katastrophe aus: In Folge des thermischen Auftriebs durch den Brand im Reaktorgebäude wurde der Hauptteil der radioaktiven Stoffe in Höhen zwischen 1.000 und 2.000 Meter verteilt. Außerdem dauerte die Freisetzung zehn Tage an, in dieser Zeit änderte sich die Wettersituation mehrfach. Die radioaktiven Stoffe führten aus diesen beiden Gründen zwar in weiten Teilen Europas zu erheblichen Kontaminationen, die Konzentration der radioaktiven Stoffe wurde so aber „verdünnt“ – und der katastrophale Reaktorunfall in Tschernobyl führte für die Bevölkerung der näheren Umgebung (z.B. in den großen Städten Kiew oder Gomel) nicht zu den größtmöglichen Strahlenbelastungen.

1.2 Unfallursache

Bei der Bewertung der Unfallursache zeichnete sich im Laufe der Jahre eine Verschiebung ab. Zunächst wurde der Unfall vor allem der Betriebsmannschaft angelastet. In der ersten umfassenden internationalen Bewertung wurden eine Reihe von Betriebsverstößen und die Außerbetriebnahme von Sicherheitssystemen als Unfallursache genannt – während gleichzeitig davon ausgegangen wurde, dass der Reaktortyp derartige Unfälle beherrschen kann. Hauptursache für den Unfall wurde in dem äußerst unwahrscheinlichen Zusammentreffen einer Nichtbeachtung der Betriebsvorschriften und eines Fehlers in der Bedienung der Anlage gesehen.⁸

Später zeigte sich, dass die Systemschwächen der RBMK-Reaktoren den Unfall wesentlich mitverantwortet haben. Technische Ursachen waren vor allem die gravierenden Defizite in der reaktorphysikalischen Auslegung, bei der Abschalteneinrichtung und bei den Betriebsvorschriften. Dadurch war bei bestimmten Betriebszuständen eine explosionsartige Leistungsexkursion möglich.⁹

Aufgrund ihrer fehlerhaften Konzeption erhöhen die Steuerstäbe beim Einfahren die Reaktivität zunächst, d.h. die Kettenreaktion wird nicht sofort beendet, sondern für kurze Zeit beschleunigt. Dieser Effekt wurde bereits 1983 bei der Inbetriebnahme eines Reaktors gleichen Typs im AKW Ignalina (Litauen) festgestellt, diese Erfahrung wurde aber nicht an die Betriebsmannschaften anderer Anlagen weitergegeben. Die Konzeptmängel an den Steuerstäben und in der gesamten Kernauslegung dieses RBMK-Typs sowie die möglichen Folgen für das Reaktorverhalten waren dem Betriebspersonal weder bekannt, noch in den Betriebs- und Störfallprozeduren eindeutig dargestellt. Auf diese Weise wurde der Unfall paradoxerweise durch die Aktivierung der Reaktorabschaltung ausgelöst.¹⁰

Insgesamt stellte sich inzwischen heraus, dass alle maßgeblichen technischen Unfallursachen vorher bekannt waren. Die notwendigen Maßnahmen, die den Unfall verhindert hätten, waren vor dem Unfall konzipiert, jedoch nicht umgesetzt worden. Aus den mehrfachen Verstößen des Betriebspersonals gegen die Vorschriften kann auch gefolgert werden, dass dies mit Billigung leitender Verantwortlicher und in Unkenntnis der sicherheitstechnischen Bedeutung geschah.¹¹

Von (westlichen) Vertretern der Atomindustrie wird die Meinung vertreten, dass der katastrophale Unfall vor allem der unzureichenden Auslegung des russischen Reaktortyps zugeschrieben werden kann und diese Mängel in anderen (westlichen) Reaktoren nicht vorhanden sind. Unbestritten hat dieser Reaktortyp gravierende Auslegungsschwächen, die den Unfall wesentlich mit verursacht haben. Insgesamt lässt sich aber feststellen: Wie bei jedem schweren technischen Unfall, sind auch für Tschernobyl die Ursachen in einer Kombination von Mängeln in der technischen Auslegung der Anlagen und in der Betriebsführung begründet. Die Katastrophe war nur möglich, weil die Sicherheitsorganisation als Ganzes versagte. Betriebserfahrungen wurden nicht ausreichend ernst genommen, die Gewährleistung der

Sicherheit war nicht oberstes Gebot für die Betriebsführung.¹² Eine weitere Hauptursache des Unfalls war die unzureichende Sicherheitskultur.¹³

1.3 Interventionsmaßnahmen

Im Umkreis bis 150 Meter um den Reaktor brachen durch die herausgeschleuderten heißen Bruchstücke des Reaktorkerns Feuer aus. Glücklicherweise gelang es innerhalb von drei Stunden, die Feuer zu löschen und damit die Ausdehnung der Katastrophe auf die drei weiteren Reaktoren zu verhindern. Das Graphitfeuer im Reaktor 4 brannte jedoch weiter.¹⁴

Nach dem Unfall wurde zunächst versucht, Kühlwasser in den Reaktorkern zu pumpen. Erst am Ende des ersten Tages war klar, dass der Reaktorkern vollständig zerstört war. Die Einspeisung wurde abgebrochen, da die beabsichtigte Kühlung nicht gelang und zudem kontaminiertes Wasser aus der Anlage herausfloss.¹⁵

Auch nach dem Unfall wurden noch große Mengen an radioaktiven Stoffen aus der Ruine in die Umgebung freigesetzt. Daher wurden erhebliche Anstrengungen unternommen, um die Situation am Standort unter Kontrolle zu bringen. Die Berichte über die verschiedenen Maßnahmen, ihre Dauer und ihre Wirksamkeit, sind lückenhaft und teilweise widersprüchlich.

In den ersten Tagen wurden mehr als 5.000 Tonnen Materialien aus mehr als 30 Militärhubschraubern auf den Reaktor abgeworfen: Borkarbid (ca. 40 Tonnen), um eine erneute Kettenreaktion zu verhindern; Dolomit (ca. 800 Tonnen), dessen Zersetzung die Wärmeentwicklung auffangen und den Graphitbrand ersticken sollte; Blei (ca. 2.400 Tonnen), um durch den Schmelzvorgang die Hitze zu absorbieren und eine gewisse Abschirmung der Gamma-Strahlung zu erreichen; Sand und Lehm (ca. 1.800 Tonnen) als Filtermaterial für die radioaktiven Stoffe. Die aus der Luft abgeworfene Abdeckung erhöhte zunächst jedoch die Temperatur und somit auch die Freisetzung von radioaktiven Stoffen. Außerdem wurde befürchtet, dass die Ruine die zusätzlichen Lasten nicht aufnehmen könne. Daher wurde der Abwurf gestoppt und erst nach der aktiven Phase des Unfalls fortgesetzt. Spätere Untersuchungen zeigten dann, dass die abgeworfenen Materialien ihren Zweck nur unzureichend erfüllt haben.¹⁶

Flüssiger Stickstoff sollte in die Reaktorkaverne eingeleitet werden, um den Brand zu löschen und die Kernreste zu kühlen. Er stand aber nicht zu Verfügung, so wurde stattdessen gasförmiger Stickstoff in den unteren Bereich der Anlage eingeblasen. Der flüssige Stickstoff wurde erst nach Ende der aktiven Phase des Unfalls angeliefert, die Einspeisung wurde dann nur noch für einen kurzen Zeitraum versucht.¹⁷

Da befürchtet wurde, dass die Kernreste in das Kondensationsbecken durchschmelzen und dort Dampfexplosionen verursachen könnten, wurde versucht, das dortige Wasser zu entfernen. Diese Maßnahme war erst zwei, drei Tage nach der aktiven Phase des Unfalls beendet. Da aber tatsächlich geschmolzener Brennstoff bis in das Kondensationsbecken gelangte, hat möglicherweise die bis dahin erzielte teilweise Entleerung die Folgen gemindert.¹⁸

Außerdem sollte durch ein besonderes Kühlsystem die Fundamentplatte des Reaktorgebäudes vor der Zerstörung durch die Kernschmelze geschützt werden. Der Bau begann einige Tage nach der aktiven Phase des Unfalls. Das Fundament war letztendlich nicht mehr erforderlich, da die Schmelze zu diesem Zeitpunkt bereits erstarrt war.¹⁹

Die Maßnahmen zur Bekämpfung der Aktivitätsabgaben in der aktiven Phase des Unfalls (die ersten zehn Tage) waren nur wenig erfolgreich.²⁰ In Publikationen von Vertretern der Atomindustrie wird hingegen häufig der Eindruck erweckt, als sei es durch die Interventionsmaßnahmen gelungen, den Unfall in den Griff zu bekommen und die Freisetzung zu beenden.²¹ Insgesamt wird aber eher angenommen, dass die Interventionsmaßnahmen keinen wesentlichen Einfluss auf den Unfallablauf und die radiologischen Folgen hatten. Nach zehn Tagen gingen die radioaktiven Freisetzungen deutlich zurück. Sie wurden nicht durch die äußeren Maßnahmen, sondern durch „natürliche“ Prozesse des Unfalls (wie Erstarrung der Brennstoffreste) beendet. Diese Einschätzung wird auch dadurch bestätigt, dass die festge-

stellten Unfallfolgen im Reaktor durch ein unbeeinflusst ablaufendes Szenario erklärt werden können.²²

1.4 Freisetzungen

Die erste Abschätzung der freigesetzten Radionuklide erfolgte bereits unmittelbar nach dem Unfall. Aus Messungen der Luftkontamination in der Umgebung des Reaktors und dem vorhandenen Modell zum Unfallablauf konnten die Freisetzungen nur sehr grob abgeschätzt werden. Dennoch gingen diese Abschätzungen 1986 in den ersten IAEA-Bericht ein und erhielten so einen offiziellen Charakter.²³

Die massiven radioaktiven Freisetzungen führten aufgrund der Veränderung der Wetterlage in weiten Teilen Europas (und darüber hinaus) zu hohen Aktivitätskonzentrationen in der Luft, die durch eine Vielzahl von Messungen dokumentiert wurden. Nach systematischer Auswertung der weltweit gemessenen Luft- und Bodenkontaminationen mussten am ersten Quellterm wesentliche Korrekturen vorgenommen werden. Die Freisetzungsraten flüchtiger Spaltprodukte (wie Jod und Cäsium) waren erheblich höher, als zunächst angegeben.²⁴

Trotz der vielen Messdaten verbleiben Unsicherheiten. Sie dürften sich auch künftig kaum verringern lassen. Denn die Aktivitätsabgaben erstreckten sich über einen Zeitraum von mehreren Tagen, in denen sich die Nuklidzusammensetzung und die Wetterverhältnisse erheblich änderten. Der Unfallablauf lässt sich nicht eindeutig rekonstruieren und kann nur mit Einschränkungen als Anhaltspunkt für die Freisetzungsbedingungen und -abläufe herangezogen werden.

Die Freisetzung lässt sich in vier Phasen einteilen: 1.) Am ersten Tag wird bei der Explosion des Reaktors und während des späteren Brands ein Teil des Brennstoffs (teilweise zu Brennstoffstaub oder -körnern fraktioniert) herausgeschleudert oder ausgetragen. Edelgase und leicht flüchtige Nuklide wie Jod, Tellur und Cäsium werden massiv freigesetzt. 2.) In den folgenden fünf Tagen nimmt die Freisetzung aufgrund der Maßnahmen zum Löschen des Graphitbrands und zur Abdeckung des Reaktorkerns stetig ab. 3.) Vom sechsten bis neunten Tag nimmt die Freisetzung deutlich zu. Die den zerstörten Kern überdeckenden Materialien behindern die Wärmeabfuhr. Dies führt zu einer Aufheizung des Reaktorkerns auf über 2.000°C. Aus dem heißen Brennstoff wird zunächst noch verbliebenes Jod ausgetrieben. 4.) Am 6. Mai nimmt die massive Freisetzung abrupt ab. Messbare (geringere) Freisetzungen dauern noch während des restlichen Monats an.²⁵

In der folgenden Abbildung sind die Freisetzungsmengen (mit Unsicherheitsbereichen) an den einzelnen Tagen aufgetragen. Es wird deutlich, wie groß die verbliebenen Unsicherheiten noch sind.

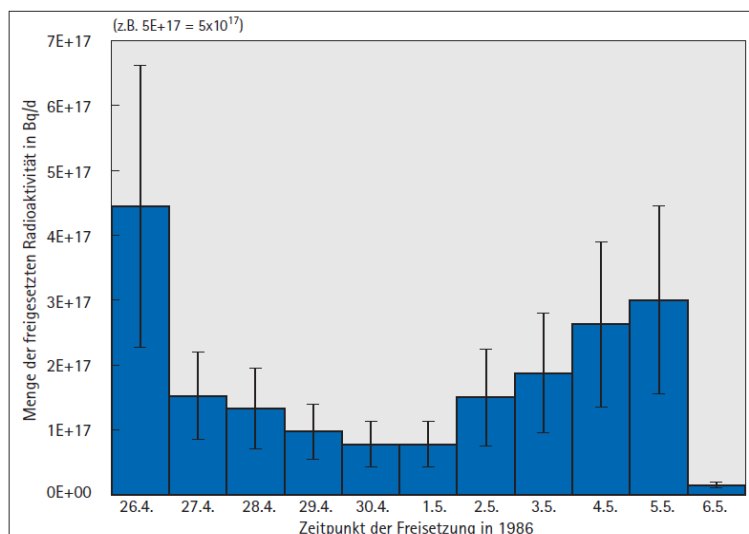


Abbildung 1: Freigesetzte Radioaktivität in den ersten zehn Tagen (mit Unsicherheitsbereichen)²⁶

Trotz der großen Unsicherheiten suggerieren Veröffentlichungen von Vertretern der Atomindustrie unverständlicherweise, es gäbe eine Gewissheit über die Freisetzungsmenge, z.B. „Hieraus lässt sich mit Hilfe wissenschaftlich abgesicherter Modelle ableiten, dass insgesamt etwa 3 bis 4% an radioaktivem Material freigesetzt wurde.“²⁷

K. Tschetscherow, ehemals Physiker am Moskauer Kurtschatow-Institut, hielt hingegen einen viel höheren Quellterm für wahrscheinlich. Er vertrat die These, dass der größte Teil des Kernbrennstoffs (bis zu 95 Prozent) im Verlauf des Unfalls in die Umwelt geschleudert worden ist. Der Reaktorkern, der riesige Graphitblock mit Druckröhren und Brennstoff, sei wie eine Rakete 40 bis 50 Meter nach oben geschossen, dabei zum Teil verdampft und anschließend von einer nuklearen Explosion auseinander gerissen worden.²⁸ Auch wenn immer noch Unsicherheiten über die freigesetzte Menge bleiben, kann die These von Tschetscherow aufgrund der beschriebenen Untersuchungen des Sarkophags inzwischen als widerlegt angesehen werden (siehe dazu z.B. auch Endnote²⁹).

Jedoch hat es in den letzten Jahren offenbar eine leichte Verschiebung zu höheren Freisetzungsmengen gegeben, der Weltverband der AKW-Betreiber (World Nuclear Association / WNA) war Anfang 2011 der Meinung, dass mindestens fünf Prozent des Inventars freigesetzt wurden.³⁰

Jedes Radionuklid hat eine unterschiedlich strahlenbiologische Wirkung, daher ist zur Beurteilung der radiologischen Folgen vor allem wichtig, die freigesetzte Menge der einzelnen Nuklide (Quellterme) zu kennen.

Unabhängig vom genauen Unterfallablauf lassen sich am ehesten die Freisetzungen der leicht flüchtigen radioaktiven Stoffe abschätzen. So wird laut einer neueren Analyse angenommen, dass etwa 100 Prozent der radioaktiven Edelgase, 54 bis 75 Prozent des Radiojods und 37 bis 49 Prozent des radioaktiven Cäsiums freigesetzt wurden. Das entspricht einem Quellterm für Cäsium-137 von $0,95$ bis $1,28 \cdot 10^{17}$ Becquerel und von $1,7$ bis $2,3 \cdot 10^{18}$ Becquerel für Jod-131.³¹

Selbst wenn sich auch in Zukunft nicht genau ermitteln lassen wird, wie viel des vorhandenen Brennstoffs freigesetzt wurde, bzw. wie hoch die Quellterme waren: Unstrittig ist, dass durch den katastrophalen Reaktorunfall große Mengen radioaktiver Stoffe in die Umwelt gelangten. Millionen Menschen leiden noch heute unter den Folgen der Katastrophe.

1.5 Im Inneren der Ruine

Die Berechnung zum Quellterm stützt sich auch auf Bestimmung der in den Trümmern verbliebenen radioaktiven Stoffe. Aber auch diese ist kompliziert und die Menge kann nur abgeschätzt werden. Zum Zeitpunkt des Reaktorunfalls enthielt der Reaktorkern 1.659 Brennstäbe¹ mit einer Masse von insgesamt ca. 190,2 Tonnen Kernbrennstoff (Uran).

Nur ein Teil des verbliebenen Brennstoffs ist in Form von Bruchstücken innerhalb des Sarkophags verstreut. Ein großer Teil des Kernbrennstoffs ist durch den Unfall mit anderen Materialien zu einer Art „Lava“ verschmolzen, zu einer Mischung aus Brennstoff, Graphit und Betontrümmern. Das Volumen an radioaktiven Materialien hat sich dadurch drastisch vergrößert und die Menge des verbliebenen Brennstoffs lässt sich nicht einfach bestimmen.³²

Die brennstoffhaltigen Materialien kommen in vier Modifikationen vor: Bruchstücke von Brennelementen, geschmolzene Brennstofflava, radioaktiver Staub und im Wasser gelöste Uran- und Plutoniumsalze. Die deutsche Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) hat im Rahmen einer Deutsch-Französischen Initiative (DFI) eine Datenbank zur radiologischen Situation des Sarkophags erstellt.² Welcher Anteil des radioaktiven Inventars in

¹ mit einem mittleren Abbrand von etwa 11 MWd/kg Uran

² Deutschland und Frankreich gründeten eine deutsch-französische Initiative (DFI) und finanzierten zur Bearbeitung ungelöster Folgeaufgaben des Unfalls drei Kooperationsprogramme. Programm 1 betraf den Sicherheitszustand des Sarkophags. Ziel war alle Kenntnisse zur bautechnischen, nuklearen, radiologischen Situation des

den Reaktortrümmern blieb, konnte durch Messungen und durch Bohrungen nur näherungsweise ermittelt werden. Dazu wurden in den ca. 1.000 Räumen des Sarkophags die Ortsdosisleistung(ODL)-Werte gemessen. Die meisten Räume sind für kurze Zeit begehbar. Schwer oder nicht zugängliche Räume wurden zusätzlich durch 133 Bohrkanäle erkundet. In 162 Räumen des Blocks 4 treten erhöhte ODL-Werte auf, mit Spitzenwerten von bis zu ca. 21 Sv/h.³³

Laut der im Rahmen der DFI gesammelten und überprüften Informationen befinden sich nachweislich mindestens noch 150 Tonnen des ursprünglich im Reaktor vorhandenen Kernbrennstoffs innerhalb des Sarkophags. Weitere etwa 30 Tonnen Kernbrennstoff in unterschiedlichen Modifikationen werden in bestimmten Räumen vermutet. Ein Vordringen dorthin ist jedoch aufgrund von Verschüttungen und extrem hoher Strahlenpegel bisher nicht möglich.³⁴

Teile des Brennstoffs liegen als leicht freisetzbarer Staub vor.³⁵ Dieser Staub kann zum Teil in Form von Aerosolen aus dem Sarkophag austreten. Die Gesamtmasse des aufwirbelbaren radioaktiven Staubs im Sarkophag wurde 2005 auf etwa eine Tonne geschätzt, seine Aktivität auf $4,3 \cdot 10^{15}$ Becquerel. Diese Aktivität geht insbesondere auf die langlebigen Nuklide Strontium 90 (rund 47 Prozent, Halbwertszeit ca. 28 Jahre) und Cäsium 137 (rund 30 Prozent, Halbwertszeit ca. 30 Jahre) zurück.³⁶

Mit Hilfe des Staubunterdrückungssystems, das seit 1990 arbeitet, wird versucht, den Staub durch Besprühen mit Polymerlösungen zu binden.³⁷ Damit werden allerdings nicht alle Bereiche des Sarkophags erreicht. Diese Abbindung ist jedoch nicht dauerhaft. Außerdem entsteht durch Zersetzungsprozesse an den Oberflächen der Lava, die im Laufe der Zeit unter dem Einfluss von Strahlung, Wärme und Feuchtigkeit in einen porösen, bimssteinähnlichen Zustand überging, kontinuierlich neuer Staub. Bis vor einigen Jahren wurde noch davon ausgegangen, dass die Gesamtmenge an ungebundenem Staub nahezu unverändert bleibt.³⁸ Inzwischen ist bekannt, dass die Staubmenge zunimmt. Die Menge radioaktiven Staubs wird jetzt auf etwa 1,5 Tonnen geschätzt.³⁹

Ein kleinerer Teil der radioaktiven Stoffe hat sich in Wasser gelöst. In den unteren Räumen des Sarkophags befinden sich ca. 3.000 Kubikmeter Wasser. Dabei handelt es sich um Löschwasser und eingedrungenes Regenwasser.⁴⁰

Bei Betrachtung der GRS-Daten der einzelnen Räume wird aber auch deutlich, dass noch immer bei den Mengenangaben für fast alle Bereiche des Gebäudes Unsicherheiten bestehen, die bei rund 30 Prozent liegen.⁴¹

Trotz der vorhandenen Unsicherheiten suggerieren Veröffentlichungen von Vertretern der Atomindustrie, ähnlich wie bereits bei der Menge der Freisetzungen zitiert, dass es eine Gewissheit über die Menge des verbliebenen Brennstoffs gibt.⁴²

Auch wenn zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht ganz genau bekannt ist, wie viel radioaktive Stoffe sich im Gebäude befinden: Tatsache ist, dass es noch riesige Massen sind. Diese stellen eine Gefahr für die Umwelt dar und können nicht sich selbst überlassen werden. Tatsache ist auch, dass die Probleme mit den Überresten des havarierten Reaktors dadurch verschärft werden, dass die Situation im Inneren des Sarkophags nicht exakt bekannt ist.

1.6 Bau des Sarkophags

Nach dem Unfall wurde hastig eine Umhüllung um den Katastrophenreaktor erstellt – der sogenannte Sarkophag entstand. Dieser wurde unter sehr schwierigen Randbedingungen auf den Resten des alten Reaktorblocks errichtet. Starke Strahlung verhinderte zum einen eine genaue Untersuchung der Standfestigkeit der bestehenden und weiter genutzten Bau-

Sarkophags, zum verbliebenen Brennstoff und seinen Modifikationen zu sammeln, zu verifizieren und in Form einer Datenbank bereitzustellen.

strukturen. Zum anderen mussten viele Bauteile ferngesteuert montiert werden, wodurch diese nicht immer präzise angebracht werden konnten, so dass Öffnungen blieben.⁴³

Weder bautechnische Vorschriften noch kerntechnische Normen und Sicherheitsanforderungen konnten im erforderlichen Umfang umgesetzt werden. So war dieser Sarkophag von Anfang an nicht als eine dauerhafte Lösung vorgesehen, sondern für eine Standzeit von rund 30 Jahren konzipiert.⁴⁴ Laut anderer Quellen war der Sarkophag für eine maximale Lebensdauer von nur 20 bis 25 Jahren ausgelegt.⁴⁵

Auf der nördlichen Seite des Reaktors wurde eine Kaskadenwand errichtet. Diese besteht aus vier Betonstufen, der untere Bereich ist bis zu 20 Meter dick. Tausende Kubikmeter radioaktiver Müll – Trümmer des zerstörten Reaktors, Teile des Reaktorkerns und kontaminierter Erdboden – wurden in die Kaskadenwand einbetoniert. Vor die weitgehend erhalten gebliebene Westwand des Reaktorgebäudes wurde von außen eine Stahlhohlwand gestellt.

Als Stützkonstruktion für das Sarkophagdach wurden die Westwand und zwei auf der Ostseite erhalten gebliebene Luftschächte aus Stahlbeton verwendet. Als Hauptstütze für das Dach wurden auf dieser Konstruktion zwei Stahlträger (B1 und B2) befestigt. Stahlrohre mit einem Durchmesser von 1,2 Metern wurde auf die beiden Träger gelegt und eine Dachkonstruktion aus Stahl und Dachplatten aufgesetzt. Auf der Südseite wurden zwei große Stahlträger („Mamont“ und „Osminok“) eingezogen. Diese beiden stützen sich auf Behelfsfundamente und auf verbleibende Teile des zerstörten Reaktors. Die Dachkonstruktion wurde nach Süden verlängert und geht dort in das Dach des Maschinenhauses über. Auch die Kaskadenwand wurde bis an das Dach geführt.⁴⁶

Am 30. November 1986, nach knapp sechs Monaten Bauzeit, stand der Sarkophag. Etwa 300.000 Menschen, vor allem Soldaten waren an der Konstruktion beteiligt. Das sowohl für zivile als auch für militärische Aufgaben zuständige Ministerium für Mittleren Maschinenbau, das über eigene militärische Einheiten verfügte, hatte den Bau erstellen lassen.⁴⁷

Russische Ingenieure hatten 18 verschiedene Varianten für diese erste Schutzhülle vorgeschlagen, die sich in zwei Gruppen unterteilen lassen. Eine Gruppe umfasste verschiedene Vorschläge für ein hermetisch abgeschlossenes Gebäude, z.B. in Form eines Bogens oder einer Kuppel. Die zweite Gruppe schlug vor, so viel wie möglich von dem zerstörten Gebäude zu benutzen. Aufgrund der kürzeren Konstruktionszeit und den geringeren Kosten wurde diese Vorgehensweise ausgewählt – obwohl damit zwei wesentliche Nachteile verbunden waren (die nicht bekannte Stabilität der verbliebenen Strukturen und der nicht dichte Abschluss der Ruine). Die Vorgehensweise ermöglichte jedoch den Weiterbetrieb des angrenzenden Nachbarblocks, der über das gemeinsame Maschinenhaus und das Hilfsanlagengebäude mit dem explodierten Reaktor verbunden war.⁴⁸

2 Der Shelter Implementation Plan (SIP)

Bei den Planungen zur Sanierung des baufälligen Sarkophags standen drei grundsätzliche Varianten zur Debatte: Verfüllung mit Beton, Stabilisierung der bestehenden Konstruktion sowie die Errichtung eines neuen Schutzbauwerks.

1992 schrieb die Ukraine auf internationaler Ebene einen Konzeptwettbewerb zur Überführung des explodierten Reaktors in einen sichereren Zustand aus. Mehr als 400 Vorschläge wurden eingereicht. Kein Vorschlag erfüllte jedoch die Anforderungen. Im Rahmen dieses Wettbewerbs wurde grundsätzlich die Errichtung eines neuen Schutzbauwerks favorisiert.⁴⁹

1994 vergab dann die Europäische Kommission eine Machbarkeitsstudie zur Errichtung eines neuen Schutzes an das Konsortium „Alliance“. Leitung hatte die französische Firma Campenon Bernard SGE, beteiligt waren die Firmen Bouygues und SGN (beide Frankreich), Taywood Engineering (Großbritannien), Walter Bau (Deutschland) sowie ukrainische und russische Firmen. In dieser Studie entstand das Konzept, den zerstörten Block 4 sowie den unmittelbar angrenzenden (und damals noch laufenden) Block 3 einzuhüllen. Die Kosten für dieses Bauwerk wurden auf drei bis vier Milliarden US\$ geschätzt. Auch dieses Konzept wurde verworfen – u.a. weil die Ukraine den Block 3 weiter betreiben wollte.⁵⁰

Letztendlich fand kein in den Jahren 1992 bis 1996 von russischer, ukrainischer und westlicher Seite entwickeltes Konzept allgemeine Akzeptanz.⁵¹ Sie wurden international vor allem deshalb verworfen, weil die vorgeschlagenen technischen Lösungsansätze zu aufwendig und zu kostenintensiv waren.

Auf dem G7-Gipfel im Juli 1994 (Neapel) wurde der Ukraine ein Zusammenarbeitsprogramm für die Stilllegung des AKW Tschernobyl vorgeschlagen.⁵² Im Dezember 1995 wurde zwischen den G7-Staaten, der Europäischen Kommission und der Ukraine ein „Memorandum of Understanding“ (MoU) zur Stilllegung des AKW Tschernobyl vereinbart. Auf dieser Basis wurden – von einer internationalen Expertengruppe unter der Leitung der Firma Arcadis – Konzepte für kurz- und langfristige Maßnahmen erarbeitet. Das Ziel – die Entwicklung einer wirtschaftlich und technisch optimalen Lösung zur Überführung des Reaktorblocks 4 in einen für die Umwelt nachhaltig sicheren Zustand – konnte keiner der untersuchten Lösungsansätze zufriedenstellend erfüllen. Daher empfahl die Untersuchung ein Vorgehen in mehreren Stufen. Dieses Konzept fand die Zustimmung der Verantwortlichen in der Ukraine und den G7-Staaten. Der Durchführungsplan zur Sicherung des havarierten Reaktors wurde im Frühjahr 1997 durch Experten aus den USA, Japan, Europa und der Ukraine aufgestellt.⁵³

Im Mai 1997 stimmten die Ukraine, die EU und die G7-Staaten dem sogenannten Shelter Implementation Plan (SIP) zu.⁵⁴ Dieser ist seitdem Grundlage der internationalen Zusammenarbeit. Auf dem G7-Gipfel in Köln 1999 sowie auf allen nachfolgenden Gipfeln erneuerten die G7- bzw. später die G8-Staaten und die Europäische Kommission ihre Verpflichtung zur Umsetzung des MoU mit der Ukraine.⁵⁵

2.1 Zielsetzung

Der Shelter Implementation Plan (SIP) gliederte sich zu Beginn in 22 Teilprojekte (Tasks) mit insgesamt 248 Arbeitsschritten – ohne jedoch technische Lösungsvorschläge zu geben. Er definierte besonders vordringliche Aufgaben (Early Biddable Projects), die zunächst umgesetzt werden sollten. Der SIP beinhaltet auch die Integration von geplanten, laufenden oder abgeschlossenen bilateralen und ukrainischen Projekten, sowie die Optimierung des Genehmigungsprozesses.⁵⁶

Die fünf Hauptziele des umfangreichen SIP sind allgemein gehalten, sie lauten:

- Reduzierung der Wahrscheinlichkeit eines Einsturzes der Ruine,
- Reduzierung der radiologischen Auswirkungen,
- Verbesserung der nuklearen Sicherheit innerhalb des Sarkophags,

- Verbesserung der Sicherheit des Personals und der Umwelt,
- Entwicklung einer langfristigen Strategie für die Umwandlung des Objekteinschlusses in ein langfristig stabiles und ökologisch sicheres System.⁵⁷

Die Ziele des Shelter Implementation Plan (SIP) zur Sanierung des Sarkophags sind pragmatisch und überwiegend von begrenzter Reichweite: Die Ruine soll mittelfristig sicherer gemacht werden, damit Zeit gewonnen wird, eine langfristige Lösung zu entwickeln. Die Umsetzung einer langfristigen Lösung für den explodierten Reaktor sieht der Arbeitsplan jedoch nicht vor. Beabsichtigt ist lediglich, einen stabilen Zustand für die nächsten 100 Jahre zu erreichen. Wesentlich für die Umsetzung dieses mittelfristigen Ziels ist die Errichtung eines neuen Einschlusses (New Safe Confinement, NSC) des zerstörten Reaktors. Dies ist mit rund zwei Drittel der Kosten das größte Projekt (siehe Kapitel 2.6).⁵⁸

Die von Anfang an verhältnismäßig lange Laufzeit des Sanierungsprojekts beruht wesentlich auf zwei Umständen: Zum einen herrschen schwierige Arbeitsbedingungen aufgrund hoher Strahlenbelastungen und eingeschränkter Standfestigkeit des vorhandenen Bauwerks. Zum anderen können viele technische Details, deren Kenntnis für die Planung einzelner Arbeitsschritte notwendig ist, erst im Verlauf der Arbeiten bestimmt werden.⁵⁹

Der SIP musste gegenüber der Anfangsplanung erweitert werden und umfasst inzwischen 297 Arbeitsschritte.⁶⁰ Während der Durchführung stellte sich z.B. heraus, dass die Errichtung der erforderlichen Infrastruktur für den Bau der neuen Schutzhülle zunächst nicht vorgesehen war.

2.2 Kosten und Finanzierung

Die Europäische Bank für Wiederaufbau und Entwicklung (European Bank for Reconstruction and Development, EBRD) übernahm die administrative Leitung des Shelter Implementation Plan (SIP) und richtete im September 1997 den Chernobyl Shelter Fund (CSF) ein. Die Gesamtkosten des SIP wurden zu Beginn auf 768 Millionen US\$ geschätzt. Der größte Teil sollte von den G7-Staaten und der Europäischen Union bereitgestellt werden. Die Ukraine verpflichtete sich zu einem Beitrag in Höhe von 50 Millionen US\$. Der G7-Gipfel im Juni 1997 (Denver) stellte die ersten 300 Millionen US\$ bereit. Auf der im November 1997 (New York) stattfindenden ersten Geberkonferenz wurden auch andere Staaten aufgerufen, sich an den Kosten zu beteiligen, es wurden dort bereits von 25 Ländern rund 400 Millionen US\$ zugesagt. Weitere Geberkonferenzen fanden im Mai 2000 (Berlin) und im April 2005 (London) statt.⁶¹

Nach offiziellen Angaben lagen die Arbeiten im Jahr 2002 noch im Rahmen des Budgets und eine Überschreitung wurde nicht erwartet. Im August 2003 gab der ukrainische Energieminister dann bekannt, dass (aufgrund von veränderten Arbeitsschutzbestimmungen und gestiegenen Finanzierungskosten) die Projektkosten steigen würden.⁶²

Anfang 2004 lagen die erwarteten Kosten bei 978 Millionen US\$⁶³ (780 Millionen Euro), Anfang 2005 bei ca. 1,1 Milliarden US\$⁶⁴ (rund 845 Millionen Euro) und Anfang 2008 bei ca. 1,39 Milliarden US\$⁶⁵ (rund 1,016 Milliarden Euro). Ein Bericht der Europäischen Kommission warnte 2008 vor einem Finanzierungsdefizit.⁶⁶

Die EBRD überwies 2009 einen Teil des Jahregewinns 2007 von 1,1 Milliarde Euro⁶⁷ in den Fond. Diese Zuwendung in Höhe von 58 Millionen Euro war als ein „Katalysator“ für die erforderlichen weiteren Beiträge der internationalen Gebergemeinschaft gedacht.⁶⁸

Auf einer Pressekonferenz am 25.01.2011 verkündete der Direktor der EBRD, Novak, dass weitere 600 Millionen Euro benötigt werden. Er zeigte sich aber zuversichtlich die Summe zu erhalten, da auf der G8-Konferenz im Juni 2010 alle Geberländer ihre Unterstützung für die Tschernobyl-Projekte bestätigten. Die Geberkonferenz, auf der über die weitere finanzielle Unterstützung entschieden werden soll, findet kurz vor dem 25. Jahrestag des katastrophalen Unfalls im April 2011 in Kiew statt.⁶⁹

Bis Anfang 2011 wurden insgesamt 864 Millionen Euro in den CSF eingezahlt.⁷⁰ Die Beiträge kamen von der Europäischen Union (29 Prozent) sowie 23 Geberländern (siehe Tabelle 1). Zusätzlich zahlten sechs weitere Länder (Island, Israel, Korea, Portugal, Slowakei und Slowenien) in den Fond ein.⁷¹

Tabelle 1: Beiträge der Geberländer und der EU zum CSF (Stand 2010)⁷²

	Land	Beitrag [Mio. Euro]	Beitrag [%]
01	Europäische Union	250,00	29,0
02	USA	182,80	21,2
03	Deutschland	60,50	7,0
04	Großbritannien	53,10	6,2
05	Frankreich	52,50	6,1
06	Japan	45,70	5,3
07	Ukraine ³	45,00	5,2
08	Italien	41,50	4,8
09	Kanada	34,90	4,1
10	Russland	15,30	1,8
11	Schweiz	9,30	1,1
12	Irland	8,00	0,9
13	Österreich	7,50	0,9
14	Schweden	7,20	0,8
15	Norwegen	7,00	0,8
16	Niederlande	5,70	0,7
17	Kuwait	5,40	0,6
18	Spanien	5,10	0,6
19	Dänemark	5,00	0,6
20	Griechenland	5,00	0,6
21	Finnland	4,90	0,6
22	Belgien	4,30	0,5
23	Polen	2,50	0,3
24	Luxemburg	2,50	0,3
	gesamt	860,70	100,0

Deutschland ist mit bisher rund 60 Millionen Euro (direkt und über den Beitrag der EU) größter Geber.⁷³ Bisher hat Russland von allen G8-Ländern den kleinsten Beitrag beigesteuert. Laut eines Medienberichts Ende 2010 brachte Kommissionspräsident Barroso auf dem EU-Russland-Gipfel daher Moskaus mangelnde Zahlungsbereitschaft zur Sprache. In dem Artikel wird der russischen Regierung vorgeworfen, hohe Summen für den Bau neuer Reaktoren bereitzustellen, für die Folgen des Atomunfalls von Tschernobyl aber nur unzureichend zu zahlen.^{4 74}

³ Die Ukraine hat zugesagt, weitere 22 Millionen US\$ zum SIP beizusteuern.

⁴ Der Neubau von Atomkraftwerken wurde in 2010 mit 1,7 Milliarden Euro finanziert. Nach bisherigem Plan soll bis 2020 über ein Dutzend neuer Reaktorblöcke ans Netz gehen. Den Überlebenden von Tschernobyl zahlt der Staat hingegen nur eine Monatsrente von rund 50 Euro.

Der Gesamtbetrag, der dem Chernobyl Shelter Fund (CSF) bis Ende 2010 zur Verfügung stand, lag bei 990 Millionen Euro (Beiträge plus Einkünfte, z.B. aus der Vermögensanlage). Der SIP erfordert laut EBRD weitere 600 Millionen Euro. Somit liegen zurzeit die geschätzten Gesamtkosten bei nahezu 1,6 Milliarden Euro (rund 2,25 Milliarden US\$).⁷⁵

Diese Kosten sind bereits jetzt rund dreimal so hoch wie ursprünglich veranschlagt! Da das umfangreichste Projekt (die Errichtung des NSC) noch nicht begonnen hat, sind weitere Kostensteigerungen zu erwarten.

2.3 (Politische) Diskussionen und Kritik in der Ukraine

Die Umsetzung des Shelter Implementation Plans (SIP), und damit auch die Einhaltung des Zeitplans, gestaltet sich bisher mehr als problematisch. Im Jahr 2002 kam sie deutlich ins Stocken. Auf internationalen Druck wies der ukrainische Präsident seine Regierung im Mai 2002 an, die Schwierigkeiten zu beseitigen und dem SIP die geforderte „kontinuierliche organisatorische Aufmerksamkeit“ zu widmen. Die Geberländer hatten zuvor diplomatische Schritte gegen die Ukraine in Erwägung gezogen.⁷⁶

Im August 2003 beschloss die Regierung der Ukraine ein Tschernobyl-Gesamtprogramm festzulegen. Vorher wurden die Tschernobyl-Aktivitäten in einzelnen, kurzzeitigen Projekten durchgeführt.⁷⁷ Außerdem wurden angeblich in einigen Fällen Tschernobyl-Haushaltsmittel zur Finanzierung anderer Aufgaben verwendet. Die Zuständigkeit für das AKW Tschernobyl wurde vom Energieministerium, das den Tschernobyl-Fragen angeblich nicht genügend Aufmerksamkeit widmen konnte, an das Katastrophenschutzministerium übergeben.⁷⁸

Auch das technische Konzept der neuen Schutzhülle wurde immer wieder in Frage gestellt. Eine von einem ukrainischen Professor geführte Gruppe sprach sich 2003 gegen die Pläne des SIP aus und verfocht stattdessen das „Monolith“ Konzept, das 1991 russische Wissenschaftler vorgeschlagen hatten. Das Projekt sieht die Verfüllung der Räume, die die größten Mengen an radioaktivem Material enthalten, mit speziellem Beton vor, um den Sarkophag zu stabilisieren und eine Minimierung der radioaktiven Freisetzungen zu erreichen.⁷⁹ Die Gruppe hatte Unterstützer unter den Parlamentariern, die den Behörden Misswirtschaft bei den gesamten Tschernobyl-Fragen vorwarfen und eine parlamentarische Untersuchung forderten.⁸⁰

Ein Mitglied des Parlamentsausschusses für Energiefragen vertrat im Dezember 2003 die Meinung, dass die Regierung das westliche Geld für unnötige Beratungsleistungen und für Planungen aussichtsloser Projekte ausbebe. Der Abgeordnete betonte, dass, solange sich radioaktive Stoffe unter dem Sarkophag befinden, Tschernobyl für die Umwelt eine Gefahr darstelle.⁸¹ Letztendlich wurde das Konzept des New Safe Confinement nach langen und heftigen Diskussionen im Juli 2004 vom ukrainischen Kabinett angenommen.⁸²

Aber das Konzept blieb auch im Jahr 2004, während bereits die Ausschreibung zur Errichtung lief, Gegenstand kontroverser Diskussionen. Ukrainische und russische Gegner des Konzepts forderten die ukrainische Regierung erneut auf, es aufzugeben und ein anderes Schutzkonzept zu wählen. Nach Meinung der Kritiker lagen die bisherigen zeitlichen Verzögerungen des SIP in dem unausgereiften Konzept begründet. Laut Auffassung der Wissenschaftler erfüllt es weder die gesetzten eigenen Ziele, noch die nationalen Interessen der Ukraine. Das gelte insbesondere deshalb, weil hohe finanzielle Aufwendungen über einen langen Zeitraum erforderlich sind und für die Beschäftigten hohe Strahlendosen zu erwarten seien. (Das verworfene Konzept des internationalen Konsortium Alliance (1995) sah zwar ebenfalls einen bogenförmigen Schutz vor, allerdings aus Stahlbeton, der eine stärkere Abschirmung gewährleisten könnte.⁸³)

Als die Errichtung einer neuen Schutzhülle als grundsätzliche Lösungsvariante für den explodierten Reaktor 4 gewählt wurde, waren auch der Abbau des alten Reaktors und die Bergung der brennstoffhaltigen Massen beabsichtigt. Diese sind – um die Projektkosten signifikant zu senken – jetzt nicht mehr Gegenstand des Projekts. Die Kritiker forderten deshalb

2004, die internationalen Geldgeber darüber zu informieren, dass das New Safe Confinement die Probleme nicht löst.⁸⁴

Als Alternative zum jetzigen technischen Konzept wurde von dem staatseigenen Forschungs- und Entwicklungsbüro Yuzhnoye das „Dock-Caisson“-Konzept entwickelt. Die Auslegung ist ähnlich dem Bogen-Konzept, die Schutzhülle besteht auch aus einer Metallstruktur, die außerhalb des Sarkophags errichtet und dann über diesen geschoben werden soll. Das Projekt beinhaltet aber zusätzlich die Verwendung mobiler Geräte, um die brennstoffhaltigen Massen zu bergen.⁸⁵

Neben der Kritik am technischen Konzept des NSC im Rahmen des SIP wurde häufig Kritik an der Rolle der westlichen Firmen beim SIP geäußert. Der Leiter des Parlamentarischen Komitees der ökologischen Konsequenzen von Tschernobyl vermutete, dass die Ukrainer vor allen Dingen die gefährlichen Arbeiten ausführen werden, während andererseits 70 bis 80 Prozent der Verträge von den Unternehmen der Geberländer ausgeführt würden. Laut EBRD sind 60 Prozent der Subunternehmen der beiden Konsortien, die sich für den Bau des NSC beworben haben, Unternehmen aus der Ukraine.⁸⁶

Die Regierung der Ukraine und die EBRD einigten sich im Juni 2005 auf die Einrichtung eines gemeinsamen Komitees, das die Arbeiten für das New Safe Confinement beaufsichtigen soll. Das Komitee solle sofort reagieren, falls Probleme während der Durchführung des SIP auftreten.⁸⁷

Nach langen Jahren heftiger interner Diskussionen stimmte das ukrainische Parlament am 15. Januar 2009 endgültig dem Bau des NSC zu.⁸⁸ Aber die Gegenstimmen verstummten nicht, im April 2009 kritisierten ukrainische Experten, die Umsetzung des SIP verlief viel langsamer und kostete viel mehr als erwartet. Der Chef der ukrainischen Volkspartei und Mitglied des Parlaments wies erneut darauf hin, dass vom havarierten Reaktor 4 eine Gefahr ausgehe, solange dieser radioaktive Massen enthält.⁸⁹

Auch unabhängig von den Schwierigkeiten auf politischer Ebene verlängerte sich die Planungsphase für die einzelnen Schritte aufgrund technischer Probleme, die bei der Umsetzung der im Shelter Implementation Plan oft sehr allgemein gehaltenen Angaben auftraten. Auch die konkreten Ausführungen dauern aufgrund verschiedenster Probleme zum Teil deutlich länger als erwartet. Zudem stellte sich während der Durchführung des SIP heraus, dass die erforderliche Infrastruktur weder vorhanden, noch im Rahmen des SIP vorgesehen war.⁹⁰

2.4 Zeitplan

Für die Realisierung des SIP wurde zunächst ein Zeitrahmen von acht bis neun Jahren angenommen⁹¹, Mitte 2002 hatte sich der vorgesehene Projektabschluss bereits von 2005 auf 2007 verschoben.⁹² Anfang 2006 wurde die Fertigstellung des New Safe Confinement im Jahr 2010⁹³ und Anfang 2008 im Jahr 2012 erwartet.⁹⁴

Seit Januar 2011 wird nun von Seiten der EBRD mit einer Fertigstellung in 2014 gerechnet – allerdings nur, wenn das erforderliche Geld bereitgestellt wird.⁹⁵ Das für das Programm zuständige ukrainische Katastrophenschutzministerium gab Ende 2010 bekannt, man hoffe, dass die neue Schutzhülle bis 2015 fertig ist.⁹⁶

Bei der endgültigen Genehmigung des SIP durch den ukrainischen Staat am 15. Januar 2009 wurde keine Deadline für die Inbetriebnahme des neuen Schutzes genannt. Ukrainische Medien berichteten, dass die Gefahr bestehe, dass der Bau sich weitere ein bis drei Jahre verzögere, da es Abweichungen zwischen den Standards des französischen Auftragnehmers und den Sicherheitsstandards der Ukraine gibt.⁹⁷

Insgesamt stellten sich bisher die im Vorfeld aufgestellten Zeitpläne als vollkommen unrealistisch heraus. Zum jetzigen Zeitpunkt wird von einem Umsetzungszeitraum von 17 Jahren ausgegangen. Es ist zu befürchten, dass es zu weiteren erheblichen Verzögerungen kommt.

2.5 Stabilisierung des alten Sarkophags

In den ersten beiden Jahren des Shelter Implementation Plans (bis Ende 1999) wurden nur die dringendsten Stabilisierungsmaßnahmen durchgeführt, z.B. am Schornstein zwischen den Blöcken 3 und 4.⁹⁸

Weitere Maßnahmen wurden über mehrere Jahre diskutiert⁹⁹, aber nichts geschah. Erst im Juli 2004 kam es zum Vertragsabschluss mit dem Konsortium Stabilization, das aus der russischen Firma „AtomStroyExport“ (ASE) und der ukrainischen Firma „YuzhTeploEnergoMontazh“ (YUTEM) bestand.¹⁰⁰ Laut Pressemeldungen war dieses Konsortium der einzig qualifizierte Anbieter. Insgesamt waren zwei Angebote für die Stabilisierungsarbeiten eingegangen. Das zweite Angebot reichte ein Konsortium westlicher Unternehmen unter der Leitung des französischen Bauunternehmens Vinci ein. Diese Gruppe bot jedoch nur einen Teil der Arbeiten an.¹⁰¹

Nach einer langen Pause wurden im November 2004 die dringend erforderlichen Stabilisierungsmaßnahmen fortgesetzt. Im Mai 2005 begannen die Arbeiten an einem der beiden Stahlträger (Mamont), die das Dach halten. Die Arbeiten sollten im Juni 2005 beendet sein.¹⁰² Die Verstärkung der westlichen Stütze des Stahlträgers, die ursprünglich als eine der leichtesten Maßnahmen des Stabilisierungsprojekts betrachtet worden war, wurde erst im November 2005 beendet. Unerwartet hohe Dosisleistungen auf dem Baugelände erforderten eine Änderung der Auslegung, stärkere Abschirmungen und längeres Training der Beschäftigten.¹⁰³

Ein Teil der Stabilisierungsarbeiten musste im Mai 2005 für etwa zwei Monate unterbrochen werden, da es zu einer internen Strahlenbelastung der Beschäftigten kam. Es wurde nur bekannt, dass die Kontamination während der Stabilisierungsmaßnahmen am Kamin der Entlüftungsanlage auftrat. Dieser wurde beim Reaktorunfall schwer beschädigt und kippte um rund einen Meter zu Seite. Um das Risiko eines Zusammenbruchs zu verringern, wurden sieben zusätzliche Metallstützen unterhalb der Bodenplatte installiert. Dazu musste zunächst die Bodenplatte verstärkt werden. Die gefährlichsten Arbeiten wurden innerhalb des havarierten Reaktors ausgeführt, dort ist die Strahlung hoch und die Struktur sehr instabil. Jede Arbeitsschicht durfte nicht länger als eine Stunde dauern. Auch dort, wo die Fundamente für die o.g. Metallstützen gebaut werden mussten, war die Strahlendosisleistung 2.500 Mal höher als die Hintergrundstrahlung in Kiew.¹⁰⁴

Das Sicherheitskomitee, das ab 2005 die Stabilisierungsarbeiten überwachte und in dem auch die Betreiber des AKW und die EBRD vertreten waren, gab bei seinem ersten Treffen (21. Juli 2005) die Erlaubnis zur Wiederaufnahme der besonders riskanten Arbeiten am Sarkophag. Im Zusammenhang mit der unerwartet hohen Strahlenbelastung der Beschäftigten wurde geäußert, dass früher unerlaubte Strahlenbelastungen nicht entdeckt worden waren, denn erst die EBRD fordere eine vollständige medizinische Überwachung aller Personen, die an der Stabilisierung arbeiten. Die Stabilisierungsarbeiten waren jedoch nicht nur wegen der hohen Dosisleistung, sondern zusätzlich auch aufgrund der Höhen, in der sie teilweise stattfinden, gefährlich. Im Frühjahr 2005 stürzten drei Beschäftigte von einer hohen Struktur, einer verunglückte dabei tödlich.¹⁰⁵

Die Rekrutierung von Personal erwies sich als ein kritischer Punkt für die Stabilisierungsmaßnahmen. Es wurden zwar Roboter eingesetzt, aber die Hauptarbeit musste – genau wie bei der Errichtung des Sarkophags – von Menschen (damals „Bioroboter“ genannt) erledigt werden. Eine medizinische Untersuchung hatte dazu geführt, dass rund 40 Prozent der Bewerber zurückgewiesen wurden, da sie an den verschiedensten Krankheiten litten. Ein personeller Engpass entstand, und die Arbeiten verzögerten sich. Die Stabilisierungsfirmen versuchten Beschäftigte von Firmen anzuheuern, die an anderen AKW-Standorten arbeiteten. Im Vorfeld waren sie davon ausgegangen, vor Ort genug Kandidaten zu finden, da die Löhne mit mehr als 1.000 US\$ pro Monat vergleichsweise hoch waren. Die an den Stabilisierungsmaßnahmen beteiligten Personen wurden in einem Trainingscenter ausgebildet und kontinu-

ierlich überwacht. Ukrainische Experten haben Schutzkleidung aus Blei entwickelt, die mehr als zehn Kilogramm wiegt.¹⁰⁶

Nach Abschluss der geplanten Maßnahmen zeigte sich, dass diese nicht ausreichend waren. So wurde das gleiche Konsortium im Januar 2008 mit weiteren Stabilisierungsmaßnahmen beauftragt. Weitere dringende Reparaturen betrafen das Dach des Sarkophags.¹⁰⁷ Nach Abschluss dieser Arbeiten werden nun 80 Prozent der Last des Dachs von einer neu errichteten externen Struktur getragen.¹⁰⁸ Die Stabilisierung erfolgte insgesamt von 2004 bis 2008, sie sollte ursprünglich bis Ende 2006 abgeschlossen sein. Laut EBRD blieben die Stabilisierungsarbeiten im Rahmen der Kostenschätzungen von rund 50 Millionen US\$.¹⁰⁹

Die Zielsetzung der Stabilisierungsmaßnahmen konnte laut EBRD erreicht werden. Sie ist allerdings von geringer Nachhaltigkeit: Der existierende Sarkophag sollte für die nächsten 15 Jahre stabilisiert werden. Damit sollte die Voraussetzung für die mittel- und langfristigen Maßnahmen geschaffen werden: die Errichtung der neuen Schutzhülle (NSC), den Abbau instabiler Strukturen und die Bergung der brennstoffhaltigen Materialien.¹¹⁰

2.6 Das New Safe Confinement (NSC)

In den Jahren 2001 bis 2003 erstellte ein internationales Konsortium unter der Leitung des Unternehmens Bechtel (San Francisco) die Pläne für die neue Schutzhülle des explodierten Reaktorblocks 4. Die Entwurfsarbeiten sehen eine Stahlkonstruktion in Form eines Bogens vor, die außerhalb des Sarkophags errichtet und dann über den Sarkophag geschoben werden soll. Die Konstruktion wird wegen ihrer Bogenform auch Bogenkonzept (engl. arch-concept) genannt.¹¹¹

Die zerstörten Überreste des Reaktorblocks 4 und der Sarkophag sollen mit einem passend gefertigten, wetterfesten Schild überdeckt werden. Eine Seite des Schutzes wird komplett verschlossen, die andere wird den Gebäuden des Reaktorblocks 3 angepasst. Aufgrund des teilweise lebensbedrohlich hohen Strahlenniveaus ist ein Aufbau direkt über dem alten Sarkophag unmöglich. Daher wird die neue Konstruktion abseits der Anlage gefertigt und dann auf den Sarkophag geschoben. Für die „Schienen“ werden Pfähle in dichtem Abstand in den Boden gerammt und die Zwischenräume mit Beton ausgefüllt. Dann wird alles mit Platten aus rostfreiem Stahl bedeckt. Zum besseren Gleiten werden die Schienen mit einem Schmiermittel bestrichen und unter der Stahlkonstruktion Teflonplatten befestigt. Das New Safe Confinement wird die größte je gebaute bewegliche Struktur.¹¹²

Die Planer wählten laut eigenen Angaben eine „altbewährte“ Stahlkonstruktion – statt einer neuen, unerprobten Technik – um gefährliche Reparatur- und Wartungsarbeiten zu minimieren. Ein so gigantisches technisches Projekt wird sich jedoch nicht ohne erhebliche technische Schwierigkeiten durchführen lassen. Darüber hinaus werden die Bedingungen vor Ort, vor allem wegen des hohen Strahlenniveaus, die Arbeit gefährlich und kompliziert gestalten.

Die neue Schutzhülle soll (laut Auslegung) für einen Zeitraum von 100 Jahren sowohl das Eindringen von Wasser, als auch die Freisetzung von radioaktivem Staub verhindern. Sie soll weiterhin den Abbau der instabilen Strukturen der Ruine und, zu einem späteren Zeitpunkt, auch die Bergung der brennstoffhaltigen Massen ermöglichen.¹¹³

Am 11. März 2004 veröffentlichte die EBRD die Ausschreibung für die Errichtung des New Safe Confinement. Sie wurde in zwei Stufen durchgeführt. An der ersten Stufe beteiligten sich drei Gruppen. Ein Angebot kam von der Novarka Gruppe. Diese wird von der französischen Baufirma Vinci geleitet, eingebunden sind auch die deutschen Firmen Hochtief und Nukem sowie einige ukrainische Firmen. (Vinci war Teil des Konsortiums Alliance, das die Originalidee der Konstruktion eines neuen Shelters hatte.¹¹⁴) Die zweite Gruppe wurde von der amerikanischen Firma CH2M Hill geleitet und schloss die großen ukrainischen Baufirmen Interbudmontazh und Yuzmontazh ein. Als dritte Gruppe beteiligte sich die Aleksandroff Gruppe aus Frankreich (unter der Leitung zweier aus Russland stammender Architekten).

Die Aleksandroff Gruppe hatte ein anderes Konzept für die Schutzhülle angeboten, als in der Ausschreibung verlangt wurde. Ihr Angebot sah auch den Abbau der Ruine vor, der durch den Nachbarblock erfolgen sollte. Als Schutzhülle war eine Aluminiumstruktur geplant, die weniger massiv als eine Stahlkonstruktion ist. Einige der beteiligten Unternehmen stiegen aus dem Konsortium kurzfristig aus – angeblich auch auf politischen Druck. Da das Angebot nicht vollständig war, wurde es von der EBRD abgelehnt.¹¹⁵

Die beiden verbliebenen Anbieter wurden im September 2005 eingeladen, an der zweiten Stufe der Ausschreibung teilzunehmen, die auch Kostenangaben beinhaltet. Die Novarka Gruppe nannte Kosten in Höhe von insgesamt 450,6 Millionen US\$, CH2M Hill Kosten in Höhe von 598,3 Millionen US\$. Bei Öffnung der Angebote im November 2005 hieß es, derjenige, der den Zuschlag bekommt, solle noch Ende 2005 bekannt gegeben werden.¹¹⁶ Da die genannten Kosten der Novarka Gruppe niedriger waren, musste nach den Regeln der EBRD zunächst mit dieser verhandelt werden. Dabei kam es offenbar zu Kontroversen. Im September 2006 wiesen die Betreiber des AKW Tschernobyl eigenmächtig das Angebot des Konsortiums Novarka zurück.¹¹⁷ Schlussendlich erhielt am 17. September 2007 aber doch das europäische Konsortium Novarka den Vertrag zum Bau des New Safe Confinement.¹¹⁸

Zur Unterstützung der ukrainischen Genehmigungs- und Aufsichtsbehörde wurde zur gutachterlichen Begleitung ein Konsortium (SIP-Licensing Consultant, SIP-LC) aus US-amerikanischen, französischen und deutschen Expertenorganisationen etabliert.¹¹⁹

Das New Safe Confinement (NSC) wird eine bogenförmige Metallrohrkonstruktion mit einem Gewicht von 29.000 Tonnen, einer Höhe von 110 Metern, einer Länge von 164 Metern und einer Spannweite von 257 Metern sein.¹²⁰ An der Konstruktion wird eine doppelwandige Außenhaut angebracht, die das Innere gegen die Außenwelt abdichtet und so gegen klimatische Einwirkungen isoliert.¹²¹

Innerhalb der Struktur wird ein Kransystem installiert, damit sollen bereits kurz nach Inbetriebnahme der neuen Schutzhülle große Elemente des alten Sarkophags demontiert werden. Der Abbau des restlichen Sarkophags sowie des havarierten Reaktorblocks ist dann innerhalb der nächsten Jahrzehnte, also außerhalb des SIP, vorgesehen.¹²²

Ende Januar 2011 gab die EBRD bekannt, dass der Bau der Struktur innerhalb der nächsten drei Monate beginnen könne, sobald von den ukrainischen Behörden die Genehmigung erteilt wird.¹²³

Im Jahr 2010 wurden Vorbereitungsarbeiten für die Errichtung des NSC durchgeführt. Zunächst wurde der Errichtungsbereich aufgeräumt. Ziel war, dass nach den Aufräumarbeiten das Strahlenniveau so gering ist, dass es Personen möglich ist, ohne Schutzanzug zu arbeiten.¹²⁴ Dann wurden mehrere Gebäude umgesetzt und Aushebungsarbeiten für das Fundament erfolgten. Dabei mussten insgesamt große Mengen an kontaminierten Boden und hochradioaktive Materialien gehandhabt werden. Dabei handelte es sich um 32.000 Kubikmeter festen radioaktiven Abfall, sowie um große Baumaschinen, die dort während der Errichtung des Sarkophags vergraben wurden. Parallel zur Aushebung startete im August 2010 die Errichtung der Pfähle für die „Schienen“. Insgesamt 396 Pfähle sind erforderlich, jeder dieser Metallpfähle hat eine Länge von 25 Metern und einem Durchmesser von einem Meter.¹²⁵

Ende 2010 begann die Errichtung einer Plattform, auf der das NSC gebaut wird. Auf diesem Fundament werden dann Kräne und Gleitelemente installiert. Die vorgefertigten Stahlelemente des NSC werden darauf zusammengesetzt. Die Gesamtstruktur entsteht in zwei Teilen, die dann zusammengesetzt und über den Sarkophag geschoben werden.¹²⁶

Zum Schutz der Beschäftigten wird eine 90.000 Quadratmeter große Betonfläche gegossen.¹²⁷ Zurzeit wird an der Errichtungsfläche eine Dosisleistung von 6 $\mu\text{Sv/h}$ gemessen. Im Jahr 2010 waren 300 bis 550 Personen im Rahmen des NSC Projekts tätig, ab 2010 sollen es 650 bis 700 Beschäftigte sein.¹²⁸

Für die Errichtung des riesigen New Safe Confinement musste eine entsprechende Infrastruktur installiert werden. Der Baubereich erhielt einen neuen Straßen- und Schienenanschluss, auch die Elektrizitäts- und Wasserversorgung wurde umfassend erneuert. Zur Vorbereitung für die Errichtung des NSC wurden im Rahmen des SIP auch umfangreiche Strahlenschutz- und Notfallprogramme entwickelt sowie ein Flügel im Krankenhaus der nahegelegenen Stadt Slavutich entsprechend erneuert und ausgerüstet. Zudem wurden Trainingsmaßnahmen zur Einführung einer neuen Sicherheitskultur durchgeführt. Für das Personal wurde ein modernes Gebäude zur medizinischen Versorgung (inklusive einer Notfallstation und Strahlungsüberwachung) errichtet.¹²⁹

Ende 2010 wurde auch endlich das integrierte automatische Kontrollsystem (IACS) fertig gestellt.¹³⁰ Damit soll der Zustand der brennstoffhaltigen Massen, der Zustand der Gebäudestruktur, die Strahlung innerhalb und außerhalb des Sarkophags und die seismischen Bedingungen überwacht werden. Bereits im November 2003 hatte ein internationales Konsortium (unter der Leitung von Ansaldo) den Auftrag für das schlüsselfertige System erhalten.¹³¹

2.7 Ungelöste Bergung der radioaktiven Stoffe

Während und nach den Explosionen des Reaktors entstanden aus dem Kernbrennstoff (aufgrund physikalischer und thermochemischer Prozesse) verschiedene Modifikationen, die mit anderen Materialien verschmolzen oder sich mit diesen vermischten. Dadurch wurden auch ursprünglich nicht radioaktive Materialien (z.B. Bautrümmer) kontaminiert. Das Volumen an radioaktiven Materialien im Sarkophag hat sich dementsprechend drastisch vergrößert. Das zu entsorgende Volumen wird auf mehrere 100.000 Kubikmeter geschätzt.¹³²

Im Rahmen des Shelter Implementation Plan (SIP) ist nicht festgelegt, was mit diesen brennstoffhaltigen Massen im Inneren des zerstörten Reaktorblocks 4 geschehen soll. Bisher ist weder geklärt, wann – noch wie – die Bergung der radioaktiven Stoffe erfolgen soll. Klar ist nur, dass die Bergung der riesigen Mengen radioaktiver Stoffe nicht innerhalb des SIP durchgeführt wird. Das heißt insbesondere, dass dafür im Rahmen dieses Planes keine finanziellen Mittel vorgesehen sind.

Zwar wird oft betont, wesentliches Element des SIP sei es, die Bergung der brennstoffhaltigen Massen zu ermöglichen. So ist laut BMU das Ziel des SIP (nach der Stabilisierung des bestehenden Sarkophags) die Errichtung einer neuen sicheren Schutzhülle, die den Rückbau des Sarkophags und der alten Gebäudereste des Blocks 4 sowie das Bergen des radioaktiven Inventars zu einem späteren Zeitpunkt ermöglicht.¹³³ Es wird jedoch nicht dazu gesagt, dass die Bergung erst zu einem späteren (noch nicht genannten) Zeitpunkt durchgeführt werden soll. Die Beseitigung der radioaktiven Stoffe aus dem alten Sarkophag und dessen Rückbau sind nicht Bestandteil des SIP.¹³⁴

Die bisher nicht vorgesehene Bergung der brennstoffhaltigen Massen steht im Widerspruch zu der Tatsache, dass die Gefährdungen gerade von diesen hochradioaktiven Materialien ausgehen. Ein deutlicher Schritt in Richtung einer langfristigen Gefahrenabwendung wird daher auch nach Beendigung des SIP Plans nicht vollzogen. Es nicht akzeptabel, die Probleme mit den Überresten des explodierten Reaktors späteren Generationen zu überlassen.

Es muss eine Langzeitstrategie für die Behandlung der brennstoffhaltigen Massen entwickelt werden. Dazu gehört auch die Planung und Errichtung von Anlagen zur Behandlung und Zwischenlagerung von langlebigen und hochradioaktiven Abfällen aus dem explodierten Reaktor. Bevor diese Anlagen errichtet sind, kann mit der Bergung nicht begonnen werden. Angesichts der langwierigen und von Schwierigkeiten begleiteten Bau- und Planungsphasen der Anlagen zur Behandlung und Lagerung des „normalen“ radioaktiven Abfalls aus den Blöcken 1 bis 3 am Standort Tschernobyl lassen sich die Probleme dafür erahnen. Parallel muss zudem ein geeignetes geologisches Endlager gesucht und errichtet werden.

Ein Problem wird eine potenziell hohe Strahlenbelastung für die Beschäftigten sein. Aufgrund des hohen Anteils von langlebigen radioaktiven Stoffen wird die Strahlenbelastung in den

Jahrzehnten kaum abnehmen. Die Bergung wird größtenteils ferngesteuert erfolgen müssen.¹³⁵

Im Rahmen des SIP wird lediglich innerhalb des New Safe Confinement ein Kransystem installiert. Damit sollen dann kurz nach Inbetriebnahme der neuen Schutzhülle große Elemente des alten Sarkophags demontiert werden, sofern dieses finanziert werden kann. Das kann frühestens ab 2015 erfolgen. Der Abbau des restlichen Sarkophags sowie des havarierten Reaktorblocks ist dann erst innerhalb der nächsten Jahrzehnte vorgesehen. Aus heutiger Sicht ist unvorstellbar, dass innerhalb dieses Zeitrahmens die Bergung der brennstoffhaltigen Massen stattfindet.

Selbst wenn die Entwicklung einer Bergungsstrategie gelingt, bleibt die Finanzierung dieses neuen Projekts ein Riesenproblem. Weitere Milliarden müssten dafür aufgebracht werden. Sogar die Finanzierung der Demontage von instabilen Dachstrukturen ist noch offen. Zeitlich wird dieses wieder zu ernsthaften Schwierigkeiten führen, das ist vorprogrammiert: Die auslegungsgemäße Stabilisierung des Sarkophags erfolgte nur für einen verhältnismäßig kurzen Zeitraum von 15 Jahren (bis 2023).¹³⁶

3 Gesamtsituation am Atomkraftwerk Tschernobyl

Betreiber des AKW Tschernobyl ist seit September 2000 die State Specialized Enterprise "Chernobyl NPP" (SSE ChNPP).¹³⁷ Am Standort befinden sich nicht nur der havarierte Reaktorblock und die Großbaustelle zur Errichtung des New Safe Confinement. Auf dem AKW-Gelände sind weiterhin die drei stillgelegten Reaktorblöcke des AKW Tschernobyl sowie mehrere (teilweise noch im Bau befindliche) Anlagen zur Behandlung und Lagerung der radioaktiven Betriebs- und Stilllegungsabfälle.

3.1 Status der Reaktorblöcke 1 bis 3

Im AKW Tschernobyl liefen zur Zeit des Unfalls drei weitere Reaktoren, Block 1 war 1977, Block 2 1978 und Block 3 1981 in Betrieb gegangen. Nach ihrer Dekontaminierung und Errichtung des Sarkophags gingen sie nach dem Unfall wieder in Betrieb (Reaktorblöcke 1 und 2 Ende 1986, Block 3 Ende 1987).¹³⁸ Erst Jahre später wurden für insgesamt 400 Millionen US\$ Sicherheitsverbesserungen an den Reaktoren 1 bis 3 durchgeführt.¹³⁹ Für das Personal des Atomkraftwerks wurde die neue Stadt Slavutich (ca. 26.000 Einwohner) außerhalb der gesperrten 30 Kilometerzone gebaut.¹⁴⁰

Zehn Jahre nach dem Unfall (November 1996) wurde zunächst Block 1 endgültig abgeschaltet. Erst im März 1999 beschloss die Regierung der Ukraine das endgültige Abschalten von Block 2, obwohl dieser bereits seit Oktober 1991 nach einem Brand im Maschinenhaus außer Betrieb war. Block 3 wurde am 6. Dezember 2000 aufgrund eines Lecks abgeschaltet. Am 15. Dezember 2000 erfolgte mit seiner endgültigen Abschaltung auch die endgültige Abschaltung des AKW Tschernobyl.¹⁴¹

Allerdings wurde in der Ukraine bereits zwei Jahre später über eine Wiederinbetriebnahme von Block 3 diskutiert. Nach Meinung des Energieministeriums stellte der Block im Leistungsbetrieb eine geringere Gefahr für die Ukraine dar, als im abgeschalteten Zustand – da dann die produzierten Strommengen die finanziellen Mittel zur Durchführung der Schutzmaßnahmen am zerstörten Reaktor 4 liefern könnten. Laut AKW-Betreiber konnten 2002 die geplanten Maßnahmen wegen mangelnder Finanzen nicht umgesetzt werden.¹⁴²

Auch Jahre nach der endgültigen Abschaltung des AKW Tschernobyl wurde in der Ukraine erneut über eine Wiederinbetriebnahme von Block 3 diskutiert – und wieder aufgrund fehlender Finanzmittel des Betreibers. Laut Energieministerium wurden die Tschernobyl-Programme über Monate nur ungenügend aus dem Staatshaushalt der Ukraine finanziert. Im März 2005 beliefen sich die Schulden der Betreiber auf 6,8 Millionen US\$. Wie schon Jahre zuvor waren Löhne nicht gezahlt worden. Die Ausstände betragen 1,6 Millionen US\$. Außerdem war zu befürchten, dass wegen nicht bezahlter Rechnungen die Gas- und Stromversorgung abgedreht sowie der Personaltransport eingestellt wird.¹⁴³

Eine Wiederinbetriebnahme von Block 3 ist schon lange keine Option mehr. Jedoch sind die Begründungen äußerst erschreckend, die hinter den entsprechenden Überlegungen steckten. Offenbar wurde eine andere, ebenfalls fragwürdige, Einnahmequelle gefunden. Die Betreiber planten Teile des stillgelegten Atomkraftwerks zu verkaufen. Mit dem Verkauf von Pumpen und anderen technischen Geräten sollte die nötige Finanzierung für Schutzmaßnahmen am Sarkophag gewährleistet werden.¹⁴⁴

Der Verkauf der Anlagenteile der stillgelegten Reaktoren begann im März 2005. Der Direktor des AKW versicherte, dass die zu verkaufenden Teile nicht kontaminiert seien. Als Hauptkäufer wurde Russland vermutet, da dort noch Reaktoren des gleichen Typs (RBMK) betrieben werden.¹⁴⁵

Mit internationaler Unterstützung wurde ein Plan zur Stilllegung der Reaktoren 1 bis 3 aufgestellt. Dieser Plan sah die Errichtung eines Zwischenlagers für abgebrannte Brennelemente, einer Anlage zur Behandlung flüssiger Abfälle und einer Anlage zur Behandlung und Lagerung von festen radioaktiven Abfällen vor. Im Jahr 2002 wurden in Tschernobyl über 26.000 Kubikmeter flüssige und rund 2.500 Kubikmeter feste radioaktive Abfälle in unbehan-

delter Form gelagert.¹⁴⁶ Im Rahmen der endgültigen Stilllegung werden weitere Abfallmengen dazukommen.

Zwischen 2013 und 2022 sind Maßnahmen zur Stilllegung der Blöcke 1 bis 3 geplant. Von 2022 bis 2045 sollen die Arbeiten eingestellt werden, um eine Abnahme der Strahlendosis zu gewährleisten. Die Reaktoren sollen von 2045 bis 2065 abgebaut werden, zudem soll dann das Anlagengelände dekontaminiert werden. Das ukrainische Parlament stimmte am 15. Januar 2009 diesem Programm zur Stilllegung des AKW Tschernobyl zu.¹⁴⁷

Bis die Entladung der Brennelemente abgeschlossen ist, befinden sich die drei Reaktoren in der Nachbetriebsphase – und von den Reaktorblöcken geht eine nukleare Gefahr aus. Die Entnahme der Brennelemente aus den Reaktoren verzögerte sich erheblich. Im Reaktorkern von Block 1 waren 2005 noch 812 und im Block 3 noch 1.563 Brennelemente. In den Lagerbecken der Blöcke 1, 2 und 3 waren noch weitere 1.288, 1.057 bzw. 961 Brennelemente.¹⁴⁸ Ende 2005 wurde mit der Entladung der Brennelemente aus Reaktor 3 begonnen, bis zu 45 Brennelemente sollten pro Woche entladen werden.¹⁴⁹ Die Entladung von Block 3 ist besonders wichtig, da dieser an den Sarkophag angrenzt. Das New Safe Confinement kann erst errichtet werden, wenn der Reaktor entladen ist. Insgesamt sind inzwischen alle Brennelemente aus den Reaktorkernen entfernt, die Entladung aus den Lagerbecken soll 2013 abgeschlossen sein.¹⁵⁰

3.2 Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente

Im Jahr 1999 unterzeichnete Areva NP (ehemals Framatome) einen Vertrag für die Errichtung eines Zwischenlagers für die abgebrannten Brennelemente der Reaktoren 1 bis 3. Die Inbetriebnahme des Lagers sollte 2003 erfolgen.¹⁵¹ Es soll für 22.500 Brenn- und Steuerstäbe aus den Reaktoren 1 bis 3 für insgesamt 100 Jahre ausgelegt sein. Als Lagerkonzept wurde ein trockenes Zwischenlager gewählt, das gegenüber einem Nasslager als sicherer gilt, da es nicht von einer Kühlung abhängig ist.

Es war geplant, die Anlage nach dem Nuhoms-Konzept auszulegen.¹⁵² Dabei werden die Brennelemente in doppelwandige Stahlbehälter geladen, die dann horizontal in kubischen Betonmodulen untergebracht werden. Die Betonmodule sollen die Abschirmung, die Stahlbehälter den dichten Einschluss des radioaktiven Inventars gewährleisten. Die Nachzerfallswärme wird über Luftkonvektion aus den Lagemodulen abgeführt. Dieses für Brennelemente westlicher Bauart entwickelte Konzept sollte für die RBMK-Brennelemente angepasst werden.¹⁵³ Areva NP hatte bei Vertragsabschluss kaum Erfahrung mit der Zwischenlagerung von abgebrannten Brennelementen, sie hatte die Technologie aus den USA eingekauft.¹⁵⁴

Im Jahr 2003 stellte Areva NP dann fest, dass das gewählte Lagerkonzept ungeeignet sei, da einige der Brennelemente beschädigt sind und Wasser enthalten, und setzte die Arbeiten aus. Nach monatelanger Auseinandersetzung stimmte das Unternehmen im November 2003 zu, den Großteil der finanziellen Konsequenzen der Konzeptänderung zu tragen. Die Extrakosten wurden damals auf 50 Millionen Euro geschätzt, zehn Millionen Euro sollten die Betreiber des AKW Tschernobyl (SSE ChNPP) übernehmen.¹⁵⁵

Als Areva NP Ende 2004 erneut mitteilte, es würden zusätzliche Kosten entstehen, weigerte sich die EBRD als Verwalterin der internationalen Gelder für diese Kosten aufzukommen. Nach heftigen Verhandlungen wurde vereinbart, die stark beschädigten Brennelemente – etwa fünf bis zehn Prozent der Gesamtmenge – aus dem bestehenden Vertrag herauszunehmen. Areva NP forderte dennoch zusätzliche 75 Millionen Euro für die Behandlung der nichtdefekten Brennelemente.

Der AKW-Betreiber warf Areva NP vor, bei der Auslegung zu optimistische Annahmen getroffen zu haben. Es sei nicht realisiert worden, dass viele der Brennelemente beschädigt sind. Areva NP lehnte die Verantwortung für die Kostenerhöhung ab, da es ein Fehler der Betreiber war, keine detaillierten Angaben zu den Brennelementen bereitzustellen.¹⁵⁶

Als Areva NP im Dezember 2005 eine erneute Kostenerhöhung ankündigte, beschlossen die Geldgeber, dass ein unabhängiges Gremium den technischen Vorschlag von Areva NP analysieren und die aufgestellten Extrakosten überprüfen soll. Die Prüfung wurde an das schwedische Kernbrennstoffunternehmen (SKB) übergeben.¹⁵⁷ Ergebnis der Prüfung war (laut eines Medienberichts), dass alle Beteiligten (SSE ChNPP, Areva NP und EBRD) inkompetent handelten.¹⁵⁸

Der Betreiber hielt am ehesten russische Behälter für die Lagerung der beschädigten Brennelemente für geeignet.¹⁵⁹ Areva NP hatte eine wesentlich teurere Lösung vorgeschlagen, basierend auf einer Technik, die Cogema – auch ein Unternehmen der Areva Gruppe – in La Hague anwendet.¹⁶⁰ Die ukrainische Behörde erteilte die Genehmigung für die vorgeschlagene Lösung zur Behandlung der beschädigten und undichten Brennelemente nicht, daraufhin wurde der Vertrag im April 2007 „freundschaftlich“ beendet.¹⁶¹

Am 17. September 2007 wurde ein Vertrag zwischen dem Betreiber des AKW Tschernobyl (SSE ChNPP) und der Firma Holtec International geschlossen. Der Auftrag beinhaltet die Fertigstellung des zu errichtenden neuen Zwischenlagers (ISF-2).¹⁶² Das Unternehmen, das auch an den anderen AKW-Standorten der Ukraine tätig ist, war vom AKW-Betreiber Ende 2005 hinzugezogen worden, um für drei Millionen Euro bei der Errichtung einer Anlage zur Trocknung der beschädigten Brennelemente zu helfen.¹⁶³

Der im Jahr 2007 mit Holtec International abgeschlossene Vertrag schließt die Auslegung und Genehmigung von doppelwandigen Lagerbehältern, die in den von Areva NP gelieferten Nuhom-Modulen aufbewahrt werden, sowie die von Areva NP gelieferten Transportbehälter und die Heiße Zelle für das ferngesteuerte Schneiden und Verpacken der Brennelemente ein. Holtec wird weiterhin ein Gastrocknungssystem verwenden, welches sich das Unternehmen zur Trocknung der RBMK-Brennelemente patentieren ließ.¹⁶⁴ Das Trocknen und Verpacken der Brennelemente wird in einer Konditionierungsanlage erfolgen, die verschlossenen Behälter werden dann in einem abgeschirmten Transportwagen zu den im Freien aufgestellten Lagermodulen gebracht. Das ursprüngliche Behälterkonzept wurde der nach ukrainischem Regelwerk geforderten Doppelwandigkeit nicht in vollem Umfang gerecht und deshalb von den Genehmigungsbehörden abgelehnt. Daher war es von Holtec International überarbeitet worden.¹⁶⁵ Im Oktober 2010 genehmigte die Aufsichtsbehörde der Ukraine das von Holtec International beantragte technische Konzept, auch der Nuclear Safety Account (NSA) als Geldgeber stimmte zu.

Am 16. Februar 2011 wurde eine Ergänzung zum bestehenden Vertrag hinsichtlich des Equipments der Anlage abgeschlossen. Diesbezügliche Verhandlungen liefen seit Mai 2010. Die Fertigstellung des Zwischenlagers kann nun starten. Holtec hat zugesichert, die Arbeiten innerhalb von vier Jahren nach Baubeginn zu beenden.¹⁶⁶

Im Auftrag der NSA (s.u.) wurde im Jahr 2010 von den Gutachterorganisationen GRS (Deutschland) und IRSN (Frankreich) der Sicherheitsbericht für das Trockenlager, die dazugehörige Konditionierungsanlage und das neue Behälterkonzept bewertet. Ihre abschließende Bewertung, die Ende 2010 übergeben wurde, weist auf eine Reihe von sicherheitstechnischen Mängeln, Schwachpunkten und fehlenden Nachweisen hin, z.B. für die Gewährleistung des sicheren Betriebs des Lagers für einen Zeitraum von 100 Jahren.¹⁶⁷

Da die Errichtung des Zwischenlagers eine enorme Zeitverzögerung aufwies, hatten die Betreiber 2005 die Situation in die eigenen Hände genommen, statt auf internationale Hilfe zu warten. Das Fehlen des Zwischenlagers kostet die Ukraine jährlich zur Aufrechterhaltung der Nachbetriebsphase der Reaktoren rund 15 Millionen Euro.¹⁶⁸

Die abgebrannten Brennelemente werden vorerst in das am Standort vorhandene Zwischenlager, ein altes russische Nasslager (ISF-1), entladen. Dieses wurde von 1983 bis 1986 errichtet und im September 1986 in Betrieb genommen. Da es mit mehr als 15.500 Brennelementen fast voll war, wurde die Kapazität durch Kompaktlagerung um 25 Prozent erhöht.¹⁶⁹ Während des Betriebs haben sich mehr als 21.000 abgebrannte Brennelemente angesammelt. Mehr als 18.000 dieser Brennelemente werden inzwischen in den fünf Becken des al-

ten Nasslagers gelagert. Das Lager entspricht nicht modernen Standards. Deutsche, französische und ukrainische Gutachterorganisationen (GRS, ISRN und SSTC) stellten erhebliche Defizite in der vorgelegten Dokumentation, in der baulichen Konstruktion und Auslegung sowie in der Betriebsführung fest.¹⁷⁰

Die Aufsichtsbehörde in der Ukraine stellte die Genehmigung nur unter der Bedingung aus, dass bis 2012 eine Reihe von Verbesserungsmaßnahmen und eine erneute Sicherheitsüberprüfung erfolgen. Es wird als unwahrscheinlich angesehen, dass die Lizenz verlängert wird, wenn sie 2016 nach 30-jähriger Betriebszeit ausläuft.

Beteiligte Firmen Ursprünglich (1999) wurde die französische Firma Framatome, Tochterunternehmen des französischen Atomkonzerns Areva mit dem Bau des Zwischenlagers beauftragt. Framatome wurde 2001 durch einen Zusammenschluss mit Siemens Nuclear Power (SNP) zum Unternehmen Framatome ANP, was dann 2006 in Areva NP umbenannt wurde.¹⁷¹ Nach Ausscheiden von Areva NP, wurde erneut ein Vertrag mit einem westlichen Unternehmen geschlossen. Holtec International (mit Hauptsitz in den USA) gilt als weltweit führend bei der Technologie zu Lagerung und Transport nuklearer Brennstoffe.

Kosten und Finanzierung Das Lager wird mit Mitteln des Nuclear Safety Account (NSA), der ebenfalls von der EBRD verwaltet wird, finanziert. Der NSA wurde im Jahre 1993 zur Bereitstellung der Finanzierung von Sicherheitsbewertungen und kurzfristigen Sicherheitsverbesserungen der alten russischen Reaktortypen WWER 440/230 und RBMK eingerichtet. Der NSA wurde 1995 erweitert, um auch die Stilllegung der Reaktoren 1 bis 3 in Tschernobyl zu finanzieren.¹⁷² Neben dem Zwischenlager werden die Anlage zur Behandlung der flüssigen radioaktiven Abfälle (s.u.) sowie Maßnahmen zur Erhöhung der Sicherheit und der Sicherung finanziert.

Die Kosten des Projekts waren zu Beginn mit 68 Millionen Euro angegeben. In einer zweiten Schätzung stiegen sie auf zunächst 90 Millionen Euro, da das Lager innerhalb des AKW-Geländes verlegt werden musste.¹⁷³ Im Jahr 2006 wurden die Kosten auf 110,6 Millionen Euro geschätzt.¹⁷⁴

Im Jahr 2005 gab die EBRD an, dass dieses Projekt das bei weitem schwierigste sei, das sie jemals zu verwalten hatte.¹⁷⁵ In 2009 steuerte die Bank 77 Millionen Euro aus eigenen Mitteln bei.¹⁷⁶ Ende 2010 wurden weitere Zusatzkosten von 140 Millionen Euro erwartet.¹⁷⁷ Die Gesamtkosten (inklusive Fond Management und Unterstützung bei Genehmigungsfragen) werden laut EBRD bei fast 300 Millionen Euro liegen.¹⁷⁸ Das wäre dann mehr als viermal so viel, wie ursprünglich angenommen.

Zeitplan Bei Vertragsabschluss war die Fertigstellung für 2003 geplant, jetzt ist 2014 anvisiert. Die vollständige Lieferung der Behälter wird dann noch zwei bis drei weitere Jahre dauern.¹⁷⁹ Nach inzwischen elf Jahren ist die kalkulierte Zeitdauer für die Fertigstellung des Zwischenlagers noch immer (mindestens) vier Jahre – so lange, wie bei Vertragsabschluss insgesamt kalkuliert worden war.

3.3 Anlage zur Verarbeitung von flüssigen radioaktiven Abfällen (LRWTP)

Ein belgisch-französisch-italienisches Konsortium begann 2000 mit der Errichtung einer Anlage zur Verarbeitung von flüssigen radioaktiven Abfällen (LRWTP = Liquid Radioactive Waste Treatment Plant) auf dem Gelände des AKW Tschernobyl. Diese Anlage soll innerhalb von zehn Jahren die über 30.000 Kubikmeter an flüssigen Abfällen verarbeiten, die in neun Tanks auf dem Gelände lagern. Es handelt sich hierbei vor allem um leicht- und mittelradioaktive Abfälle aus dem Betrieb der Reaktoren 1 bis 3. Die geschätzte Gesamtaktivität beträgt $418 \cdot 10^{12}$ Becquerel. Sie sollen nach dem Zementierungsprinzip verfestigt, in 200-l-Stahlfässer verfüllt und dann in das oberflächennahe Endlager (ENSDF) (s.u.) gebracht werden. Die bei der Stilllegung der Blöcke 1 bis 3 anfallenden radioaktiven Flüssigkeiten sollen ebenfalls in der Anlage konditioniert werden. Die Anlage soll zur Behandlung von mindestens 2.500 Kubikmetern flüssigen radioaktiven Abfalls pro Jahr ausgelegt werden. Das Konzept

der Anlage beruht auf einem in Frankreich entwickelten und vollautomatischen Zementierungsverfahren.¹⁸⁰

Unzulänglichkeiten bei der Abfallcharakteristik und bei der Auslegung der Anlage führten dazu, dass sich das westliche Konsortium 2006 aus dem Auftrag zurückzog. Seit Jahren ist die Anlage in einem Zustand der „unvollständigen Errichtung“, und der Betreiber des AKW Tschernobyl (SSE ChNPP) muss die Wartung der Anlage übernehmen. SSE ChNPP hat sich entschlossen, die Anlage nach einem geänderten Konzept selbst fertig zu stellen. Die Aktivitäten zur Beendigung des Projekts wurden in Arbeitspakete aufgeteilt, die einzeln ausgeschrieben wurden.¹⁸¹

Die deutsche Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) unterstützte die Genehmigungsbehörde und bewertete mit anderen Gutachterorganisationen die Genehmigungsunterlagen. Eine Begutachtung der Sicherheitsberichte zeigte sicherheitstechnische Mängel und fehlende Nachweise, z.B. zur Gewährleistung der Annahmekriterien für die Abfallgebinde im Endlager (ENSDF). Es muss ein neuer Sicherheitsbericht zur Begutachtung vorgelegt werden.¹⁸²

Beteiligte Firmen Errichtet werden sollte die Anlage von einem Konsortium der Unternehmen Belgatom (Belgien), SGN (Frankreich) und Ansaldo (Italien).¹⁸³ Der Vertrag wurde allerdings am 15. September 2006 aufgelöst.¹⁸⁴ Inzwischen ist eine erneute Ausschreibung erfolgt, Angebote zur Fertigstellung der Anlage sollten bis 30. November 2010 eingereicht werden.¹⁸⁵

Kosten und Finanzierung Finanziert wird die Anlage durch den Nuclear Safety Account (NSA), der von der EBRD verwaltet wird. Bei Vertragsabschluss 1999 wurden die Kosten auf 25 Millionen Euro geschätzt.¹⁸⁶ Angaben über die geschätzten Gesamtkosten sind zurzeit nicht vorhanden, aber sie werden sicher erheblich höher als die veranschlagte Summe liegen.

Zeitplan Bei Vertragsabschluss 1999 war die Fertigstellung für 2001 geplant. Im Jahr 2006 hieß es, die Inbetriebnahme würde demnächst erfolgen.¹⁸⁷ Aber auch diese Anlage blieb weit hinter dem Zeitplan zurück, seit mindestens fünf Jahren ruhen die Arbeiten. Neue Auftragnehmer werden gesucht. Für die Fertigstellung wird eine Zeitspanne von 65 Wochen ab Vertragsabschluss angegeben.¹⁸⁸ Das heißt, die Fertigstellung kann frühestens im Jahr 2012 erfolgen.

3.4 Abfallbehandlungszentrum für feste radioaktive Abfälle (ICSRM)

Am 24. April 2009 übergab das deutsche Unternehmen Nukem GmbH dem Betreiber SSE CHNPP ein Abfallbehandlungszentrum für feste radioaktiver Abfälle (ICSRM = Industrial Complex for Solid Radwaste Management). Dort sollen feste Abfälle und feste Rückstände aus der Verarbeitung flüssiger Abfälle behandelt und gelagert werden. Diese sind während des Betriebs der Blöcke 1 bis 3 angefallen, während der Stilllegung der Blöcke werden weitere Abfälle hinzukommen. Hochradioaktive und langlebige Festabfälle werden aussortiert und separat aufbewahrt.¹⁸⁹ Die Betriebsdauer wird mit 30 Jahren angegeben.¹⁹⁰

Das Abfallzentrum umfasst vier Teilanlagen (Lose): Die Lose 0, 1 und 2 befinden sich am Standort des AKW Tschernobyl, Los 3 liegt rund 17 Kilometer entfernt in der Verbotenen Zone am Standort VEKTOR, einem Atommülllagerkomplex.¹⁹¹

- Los 0: Zwischenlager für hochradioaktiven sowie langlebigen leicht- und mittelradioaktiven Abfall. Dieses wurde im Juni 2008 an den Auftraggeber übergeben¹⁹² und erhielt am 10. Dezember 2010 von der Aufsichtsbehörde der Ukraine die Betriebsgenehmigung.¹⁹³
- Los 1: Anlage zur Rückholung fester Abfälle (bis drei Kubikmeter täglich) aller Kategorien aus bestehenden Zwischenlagern (Betonbunker).

- Los 2: Konditionierungsanlage zur Sortierung fester Abfälle aller Kategorien und zur Behandlung leicht- und mittelradioaktiver fester Abfälle. Täglich sollen bis zu 20 Kubikmeter Abfall behandelt werden.
- Los 3: Oberflächennahes Endlager (Engineered Near Surface Disposal Facility = ENSDF) für konditionierte leicht- und mittelradioaktive Abfälle mit kurzen und mittleren Halbwertszeiten. Dieses wurde bereits Ende 2007 übergeben und ist für die Lagerung von 55.000 Kubikmetern Abfall ausgelegt. Während der nächsten 30 Jahre soll eingelagert werden, die Überwachung der geschlossenen Anlage soll für 300 Jahre erfolgen.¹⁹⁴ Betreiber ist das staatliche Unternehmen Techno-centre.¹⁹⁵

Die Abfälle werden in Los 1 in Container verladen und durch eine Galerie in eine Konditionierungsanlage (Los 2) gebracht. Dort werden sie nach Beschaffenheit und Aktivität sortiert, teilweise fragmentiert und kompaktiert. Brennbare Abfälle werden in der Verbrennungsanlage verbrannt. Der so insgesamt volumenreduzierte Abfall wird in 200-l-Stahlfässer verfüllt und mit Beton-Sandmörtel verfestigt. Die Aktivität wird auf $100 \cdot 10^{12}$ Becquerel geschätzt. Zurzeit läuft der Testbetrieb.¹⁹⁶

Deutsche (GRS), französische, italienische und belgische Gutachterorganisationen haben die sicherheitstechnische Bewertung von Genehmigungsunterlagen durchgeführt. Die Betriebsgenehmigung für die Lose 1 und 2 wird voraussichtlich in 2011 (aber mit Auflagen) erteilt. Im Endlager ENSDF wurden (gemessen an westlichen Standards) erhebliche Defizite in der baulichen Konstruktion der Anlage festgestellt. Die Aufsichtsbehörde erteilte – entgegen der Empfehlung der Gutachterorganisationen – eine Genehmigung für die Inbetriebnahme des Endlagers. Dieses ist allerdings zunächst nur eine befristete Teilgenehmigung für zwei der 22 Abteile. Die Betriebsgenehmigung soll erst nach einer erneuten Sicherheitsüberprüfung verlängert werden.¹⁹⁷

Beteiligte Firmen Das deutsche Unternehmen Nukem GmbH, Alzenau, bis Mitte 2006 RWE Nukem, errichtete unter Beteiligung einiger ukrainischer Firmen dieses Abfallzentrum.¹⁹⁸ Es ist das erste – und bisher einzige – westliche Unternehmen, das am Standort Tschernobyl eine Anlage zur Abfallbehandlung fertig gestellt hat.¹⁹⁹ Die „erfolgreiche“ Durchführung konnte laut Nukem durch eine enge Zusammenarbeit von westlichen und ukrainischen Unternehmen erreicht werden. Dazu war es hilfreich, mit dem Auftraggeber (wie auch mit den Unterauftragnehmern) auf Russisch zu kommunizieren. Auf Basis dieses Projekts ist Nukem an weiteren Projekten und Ausschreibungen in der Ukraine beteiligt.²⁰⁰

Zeitplan Vertragsabschluss für die schlüsselfertige Anlage (ICSRM) war im Frühjahr 2001, am 11. November 2003 war Grundsteinlegung. Die Fertigstellung war für Mitte 2005 vorgesehen²⁰¹, sie verschob sich auf April 2009.²⁰²

Kosten und Finanzierung Die Projektkosten beliefen sich auf 47,7 Millionen Euro. Finanziert wurde das Tacis-Projekt⁵ von der Europäischen Kommission mit 43,6 Millionen Euro. Die Ukraine beteiligt sich mit 3,4 Millionen Euro an den Kosten.²⁰³

3.5 Rolle der westlichen Firmen

Die Projekte zur Behandlung und Lagerung der radioaktiven Abfälle am Standort des AKW Tschernobyl weisen erhebliche Probleme auf. Zeitpläne und Finanzrahmen werden weit überschritten. Inzwischen gingen die westlichen Unternehmen bei zwei dieser drei Projekte für Anlagen zur Behandlung und Lagerung von radioaktivem Abfall vorzeitig und ohne Fertigstellung der Anlage aus dem Vertrag. Ein deutscher Projektleiter für internationale Projekte nannte 2006 als Gründe für die massiven Probleme.²⁰⁴

⁵ Adressaten des Tacis (Technical Assistance to the Commonwealth of Independent States)-Programms waren alle „neuen“ unabhängigen Staaten, die auf dem Gebiet der ehemaligen Sowjetunion entstanden waren. Ziel des von 1991 bis 2006 durchgeführten Programms war die Unterstützung beim Übergang zur Marktwirtschaft und beim Aufbau rechtsstaatlicher Institutionen.

- Die zur Verfügung gestellten Ausgangsdaten sind häufig ungenau und lückenhaft. Laut Auftraggeber müssen sich aber die beauftragten Firmen bei Auftragsvergabe über die reale Sachlage informieren und diese sowohl in ihrer zeitlichen als auch finanziellen Planung berücksichtigen.
- Alle Beteiligten haben die Schwierigkeiten vor Ort bei der Realisierung ihrer Projekte stark unterschätzt. Damit sind auch die nicht vorhandenen marktwirtschaftlichen Mechanismen gemeint. Die Atomwirtschaft hat in der Ukraine noch weitgehend einen abgesicherten Monopolstatus.
- Um die für internationale Hilfsprojekte zugesagten Steuerbefreiungen zu erhalten, sind Bescheinigungen erforderlich, die der Auftraggeber mit einer Detailprüfung aller mit Unterauftragnehmern geschlossenen Verträge verbindet und sich damit ein Mitspracherecht sichert.
- Es ist nach ukrainischen Normen und Vorschriften zu arbeiten, die dort Gesetzescharakter haben und bis ins kleinste Detail geregelt sind.
- Die grundlegenden Planungsdokumente sind vom Ministerkabinett zu bestätigen und im weiteren Verlauf der Projektrealisierung nur unter erheblichem Aufwand zu verändern.
- Jede einzelne Bauzeichnung ist vor der Realisierung vom Auftraggeber (SSE ChNPP) freizustempeln, was bis zu 30 Werkzeuge dauert.
- Ukrainische Bau- und Montagefirmen sind ungeübt in der Arbeit nach ISO-Qualitätsrichtlinien.
- Preise für Baumaterialien und Ausrüstungen in der Ukraine haben sich in der ersten Dekade dieses Jahrtausends verdoppelt oder gar verdreifacht und liegen seit 2006 bei Weltmarktpreisen.
- Die für das AKW Tschernobyl zuständigen Stellen bemühen sich verstärkt, die Verfügungsgewalt für die internationalen Hilfsgelder aus den Händen der westlich dominierten Projektleitungen in eigene Regie zu übernehmen.

Die westlichen Firmen haben sich offenbar die Durchführung der Projekte am Standort Tschernobyl deutlich einfacher vorgestellt. Sicher waren die Arbeiten aufgrund von hohen Strahlenwerten am Standort schwer kalkulierbar. Sicher ist es auch kompliziert, in einem andern Regelwerk und bei unterschiedlicher Genehmigungspraxis unter diesen Umständen eine Anlage zu errichten. Es erweckt aber auch den Anschein, dass die westlichen Unternehmen die Idee hatten, am Standort Tschernobyl bei geringen Personalkosten und Sicherheitsanforderungen, steuerfrei bei internationalen Hilfsprojekten Geld zu verdienen. Darüber hinaus ist es erschreckend, dass nun deutlich wird, dass westliche Sicherheitsstandards von den westlichen Unternehmen selbst nicht eingehalten werden.

4 Gefährdungen durch den havarierten Reaktorblock 4

Seit Jahren wird, insbesondere von Befürwortern der Atomenergie, über eine wirtschaftliche Neuentwicklung der Tschernobyl-Zone (z.B. eine touristische Erschließung) diskutiert. Dafür muss der AKW-Standort Tschernobyl für ungefährlich erklärt werden. Die Realität zeigt aber ein anderes Bild: Der explodierte Reaktor stellt aufgrund des Gebäudezustands und der brennstoffhaltigen Materialien im Inneren nach wie vor eine Gefahr dar, ein Ende ist nicht in Sicht.

Eine vollständige Überwachung der Anlage ist aufgrund begrenzter Zugangsmöglichkeiten zu einigen Räumen kompliziert. Dadurch sind keine zuverlässigen quantitativen Abschätzungen der verschiedenen Gefahren vorhanden.²⁰⁵

Trotz vieler Gegenmaßnahmen verschlechtert sich der Zustand des Sarkophags mit der Zeit. Unter dem Einfluss von mikroklimatischen Bedingungen innerhalb des Sarkophags werden die brennstoffhaltigen Massen zerstört. Die radioaktiven Stoffe sind dadurch nicht mehr gebunden, sondern liegen mobil in Form von radioaktivem Staub oder radioaktiven Flüssigkeiten vor. Eine effektive Barriere für die Ausbreitung der radioaktiven Stoffe in die Umwelt fehlt jedoch. Ob diese in einigen Jahren nach Errichtung des New Safe Confinement existieren wird, muss sich noch zeigen. Aber auch diese potenzielle Barriere bliebe dann nur für die nächsten 100 Jahre bestehen.

4.1 Gefahr eines Einsturzes

Die Angaben zur Auslegungsdauer der ursprünglichen Baukonstruktion schwanken von 20 bis 30 Jahren. Diese Zeit wäre zwischen 2006 und 2016 abgelaufen. Tatsächlich haben bis heute nur etwa 60 Prozent der Gebäudestruktur des Sarkophags überlebt.²⁰⁶ Die in den Jahren 2006 bis 2008 durchgeführten Stabilisierungsmaßnahmen, die eine Standsicherheit bis 2023 gewährleisten sollen, haben die Bedrohung nicht beseitigt, sondern lediglich etwas verringert und um einige Jahre verschoben.

Die errechnete Wahrscheinlichkeit für einen Zusammenbruch des Sarkophags betrug vor Durchführung der Stabilisierungsmaßnahmen rund 0,1 pro Jahr. Die Maßnahmen, die innerhalb des Shelter Implementation Plans (SIP) durchgeführt wurden, sollen die Einsturzwahrscheinlichkeit auf 0,001 pro Jahr verringern.²⁰⁷ Es zeigte sich allerdings, dass die Überreste des Reaktors an einigen Stellen instabiler sind, als es erwartet wurde. Daher ist anzuzweifeln, dass dieses Ziel erreicht ist. Aber selbst wenn eine Reduzierung der Einsturzwahrscheinlichkeit gelang, ist sie nun nicht so gering, dass die Gefahr eines Einsturzes praktisch ausgeschlossen werden kann.

Bei der Bewertung der ermittelten Einsturzwahrscheinlichkeit ist zu berücksichtigen, dass diese nicht konstant ist, sondern mit der Zeit wieder signifikant wächst. Denn im Inneren der Ruine finden – insbesondere an durch den Unfall vorgeschädigten Stellen – Korrosionsprozesse statt. Die hohe Feuchtigkeit innerhalb der Ruine beschleunigt diese negative Entwicklung.

Die Standsicherheit wird vor allem durch horizontale Lasteinwirkungen gefährdet, die z.B. bei Stürmen auftreten, die in der Gegend nicht selten sind.²⁰⁸ Da die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten von extremen Wetterereignissen (z.B. Unwetter mit orkanartigen Stürmen und starken Niederschlägen) durch den Klimawandel zunimmt, wächst auch die Einsturzgefahr.

Eine erhebliche Gefährdung droht auch durch Erdbeben. Bereits ein Beben von 4,3 auf der Richterskala kann zu einem teilweisen Zusammenbruch des Sarkophagdachs führen.²⁰⁹ Tschernobyl liegt zwar auf der „Russischen Platte“, die sich durch wenig seismische Aktivität auszeichnet, jedoch ist in den rund 700 Kilometer entfernten Karpaten mit stärkeren Beben mit Magnituden über 7 auf der Richterskala zu rechnen. Im Jahre 1990 war die Baukonstruktion bereits einem mittlerem Beben (Epizentrum in den Karpaten, Magnitude 6,8 auf der Richterskala) ausgesetzt. Dieses führte zu Rissen in der Gebäudestruktur.²¹⁰ Auch ein Flugzeugabsturz oder ein Brand im Inneren des Sarkophags (dort befinden sich fast 2.000 Ton-

nen brennbare Materialien – Graphit, Kabel, Kunststoffe und Holzstrukturen) könnten einen Einsturz auslösen.²¹¹

Aufgrund der bestehenden Gefahr wurden mehrfach die radiologischen Folgen eines Einsturzes ermittelt. In der Ruine befinden sich riesige Mengen an radioaktivem Staub. Die typische Partikelgröße der radioaktiven Aerosole liegt zwischen einem bis zehn Mikrometer.²¹² Sie sind daher lungengängig und ihre Inhalation kann zu hohen Strahlenbelastungen führen. Bei einem Einsturz des Sarkophagdachs käme es zu einer Aufwirbelung und teilweisen Freisetzung des Staubes.

Laut Nuclear Energy Agency (NEA) 2002 kann ein Einsturz zu einer Freisetzung mit einer Aktivität in der Größenordnung von $1 \cdot 10^{14}$ Becquerel führen.²¹³ Die deutsche Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) nahm 2004 an, dass sich im Inneren des Sarkophags etwa eine Tonne radioaktiver Staub befindet und dass davon bei einem Zusammenbruch etwa fünf Prozent (etwa 50 Kilogramm) mit einer Aktivität von rund $1,8 \cdot 10^{14}$ Becquerel freigesetzt werden.²¹⁴

Im Bericht der IAEA zum 20. Tschernobyl-Jahrestag wird angegeben, dass bei einem Zusammenbruch des Sarkophags acht bis 50 Kilogramm radioaktive Partikel freigesetzt werden. Für die Aktivität dieser Wolke wird von der IAEA ein um eine Größenordnung kleinerer Wert ($1,6 \cdot 10^{13}$ Becquerel) als von der NEA und GRS angegeben.²¹⁵ Dieser bezieht sich offenbar auf die Untergrenze der o.g. Freisetzungsmenge. Es ist ein Beispiel dafür, wie im Bericht der IAEA verharmlost wird.⁶ Der Bericht nennt zwar korrekterweise die Spannweite der Freisetzungsmengen verschiedener Analysen, stellt aber die Ergebnisse für den niedrigeren Wert dar. Die von der IAEA zitierte Analyse ergab dennoch außerhalb der Tschernobyl-Zone (in 50 Kilometern Entfernung) eine jährliche zusätzliche Dosis von zwei Millisievert und ist damit oberhalb des Dosisgrenzwerts für die Bevölkerung in der Ukraine.²¹⁶

In offiziellen Berichten wird betont, dass sich nach einem Einsturz fast alle Radionuklide innerhalb der Tschernobyl-Zone niederschlagen.²¹⁷ Weiterhin wird darauf verwiesen, dass die neuen Kontaminationen nur einen Bruchteil der schon jetzt vorhandenen Kontaminationen betragen.²¹⁸ Bei dieser Bewertung ist die Frage zu stellen, ob eine erneute Kontamination in einem bereits kontaminierten Gebiet nur dadurch weniger schlimm ist, weil die vorherige Strahlenbelastung höher war. Denn wenn es zu einem Einsturz kommt, werden die Belastungen in der Umgebung (bis mindestens 20 Kilometer), absolut gesehen, gravierend sein. Und für die dann Betroffenen wäre es unwichtig, dass (relativ zum Unfall im Jahr 1986) weniger radioaktive Stoffe freigesetzt wurden. Von einem Einsturz können Tausende betroffen sein, die sich täglich in der Verbotenen Zone zum Arbeiten aufhalten oder dort wieder illegal (aber geduldet) wohnen.

Eine bei einem Einsturz freigesetzte radioaktive Wolke würde zu hohen Strahlenbelastungen für die Beschäftigten am Standort führen. Ausbreitungsrechnungen⁷ aus dem Jahr 2004 ermittelten bei niedriger Windstärke in der unmittelbaren Nähe des Sarkophags eine Inhalationsdosis von fast fünf Sievert, eine für viele Menschen tödliche Dosis. Die ermittelten Dosen liegen, je nach Wetterlage, in Entfernungen von 50 bis 100 Metern zwischen zwei und 4,5 Sievert. Bis in Entfernungen von 300 bis 700 Metern wurden Strahlendosen oberhalb von einem Sievert ermittelt.²¹⁹ (Als Richtwert gilt, dass ein Mensch ab einem Sievert sichtbar strahlenkrank wird.) Das gefährliche an der Inhalationsdosis ist, dass diese innerhalb kurzer Zeit unmittelbar nach Einsturz des Sarkophags durch Einatmen der radioaktiven Stoffe erhalten würde.

Borovoi, Physiker des Moskauer Kurtschatov-Instituts, hält diese Werte für besorgniserregend. Seiner Meinung nach sind jedoch bei der Berechnung an jenen Punkten, zu denen

⁶ Im Bericht der IAEA werden insbesondere die gesundheitlichen Folgen des Unfalls heruntergespielt.

⁷ Im Auftrag des deutschen Bundesumweltministeriums und in Zusammenarbeit mit dem Umweltministerium der Ukraine führt die GRS seit 1992 Untersuchungen zur Situation am und im AKW Tschernobyl durch. Eine Aufgabe dabei war es, die Auswirkungen eines hypothetischen Einsturzes des Sarkophagdachs zu berechnen.

Informationen fehlten, pessimistische Annahmen getroffen worden.²²⁰ Inzwischen weist aber einiges darauf hin, dass die Realität eher schlimmer ist, als damals „pessimistisch“ angenommen wurde. Denn bei den Stabilisierungsmaßnahmen erwies sich die Gebäudestruktur noch instabiler als erwartet, zudem entsteht nach und nach mehr radioaktiver Staub.

Im Rahmen dieses Berichts erfolgte eine Abschätzung zu den Auswirkungen einer Freisetzung von radioaktivem Staub aus der Ruine.⁸ Die Aktivität der für die Berechnung der Dosen relevanten Nuklide⁹ fiel seit 1994 zwar um etwa 30 Prozent, während die geschätzte Menge des radioaktiven Staubs aber um rund 50 Prozent stieg. Es wird davon ausgegangen, dass sich zurzeit etwa 1,5 Tonnen radioaktiver Staub in der Ruine befinden.²²¹ Insgesamt ist davon auszugehen, dass die damals ermittelten Auswirkungen für heute noch mindestens zutreffend sind.

Die Abschätzungen zeigten eine starke Abhängigkeit der Auswirkungen von der Freisetzungshöhe. Langfristige potenzielle Strahlenbelastungen erstrecken sich in Windrichtung über das Standortgelände in die Verbotene Zone. Für die Bewohner der Stadt Slavutich droht die größte Belastung durch Ingestion.

Wenn das New Safe Confinement (NSC) über den zerstörten Reaktorblock geschoben und hermetisch abgeschlossen ist, wird bei Einsturz des Sarkophags voraussichtlich deutlich weniger radioaktiver Staub freigesetzt. Laut dem IAEA-Bericht wird in der Verbotenen Zone die potenzielle Strahlendosis um einen Faktor sieben bis 70 abnehmen. Für die Vor-Ort-Beschäftigten wird die Gefahr aber kaum geringer, teilweise sogar größer. In der näheren Umgebung des NSC soll die Dosis lediglich um einen Faktor 2 geringer werden. Für die innerhalb der neuen Schutzhülle arbeitenden Personen würde die Dosis aufgrund des dichteren Einschlusses des Staubs stark ansteigen.²²² Zukünftige Arbeiten, die für den Abbau der Strukturen und die Bergung der radioaktiven Massen erforderlich werden, würden dadurch extrem schwierig. Möglicherweise werden sie unmöglich, weil sie zu gefährlich sind.

Als indirekte Folgen eines Einsturzes des Sarkophags würden (unabhängig davon, ob der neue Schutz schon errichtet ist), die weiteren Arbeiten am AKW-Standort Tschernobyl noch komplizierter, teurer und langwieriger.

4.2 „Normale“ radioaktive Freisetzungen in die Luft

Luftgetragene radioaktive Stoffe werden nicht nur bei einem potenziellen Einsturz des Sarkophags, sondern permanent in die Umgebung freigesetzt. Über den Abluftkamin erfolgt eine „kontrollierte“ Freisetzung mit einer Aktivität von 0,4 bis $1 \cdot 10^{10}$ Becquerel pro Jahr (Bq/a).²²³ Zusätzlich werden aus den Öffnungen im Gebäude durch natürliche Luftzirkulation radioaktive Aerosole mit einer Aktivität von $1,1 \cdot 10^{10}$ Bq/a freigesetzt.²²⁴ Diese Freisetzung hängt von meteorologischen Gegebenheiten (wie Temperatur, Wind, Druck, Feuchtigkeit) ab und erfolgt unkontrolliert. Auch wenn bei ungünstigen Wetterbedingungen höhere Freisetzungen erfolgen, kann kein Einfluss darauf genommen werden. Die jährlichen Freisetzungen sind zwar unterhalb des Grenzwerts ($9 \cdot 10^{10}$ Bq/a),²²⁵ aber die über einen langen Zeitraum gemittelten Werte relativieren die Gefahren. Die Freisetzungsmengen schwanken bereits im Monatsmittel erheblich, in den Jahren 1990 und 1994 z.B. um einen Faktor 20.²²⁶ Zudem darf aber nicht vergessen werden, dass eine Unterschreitung der Grenzwerte nicht mit einer Unschädlichkeit der Strahlung gleichzusetzen ist. Generell gilt, dass es für Schädigung durch ionisierende Strahlung keinen Grenzwert gibt.

⁸ Verwendet wurde PC COSYMA (code for assessing radiological impacts from accidents), das vom Forschungszentrum Karlsruhe und NRPB (UK) entwickelt und 1995 fertig gestellt wurde. PCC COSYMA ermöglicht deterministische Analysen der Auswirkungen von luftgetragenen Emissionen von KKW mithilfe eines Gaußmodells.

⁹ Relevante Beiträge zur Inhalationsdosis verursachen die Radionuklide Americium-241, Plutonium-238, -239 und -240 und Strontium-90. Die Bodenstrahlung resultiert fast vollständig von Cäsium-137.

Zur Überwachung der an die Luft abgegebenen Aktivitäten sind in einer Entfernung von 60 bis 100 Metern vom Sarkophag drei Messgeräte aufgestellt, die die Oberflächenluft kontinuierlich ansaugen. Die in ihren Filtern abgelagerten Nuklide (Americium-241, Cäsium-137, Plutonium-238, -239 und -240, Strontium-90) werden alle 15 Tage gemessen. Als Hintergrundwerte für die Luftbelastung am Sarkophag ergaben sich z.B. 11,1 Becquerel pro Kubikmeter (Bq/m^3) für Betastrahler und $0,02 \text{ Bq}/\text{m}^3$ für Alphastrahler.²²⁷ Das ist gegenüber der normalen Aktivitätskonzentration durch natürliche radioaktive Stoffe in der Luft (1 bis $10 \text{ Bq}/\text{m}^3$) erhöht.²²⁸

Die zweimal im Monat gemessenen Luftkonzentrationen weisen starke Schwankungen auf. So lag z.B. die Cäsium-137 Konzentration zwischen 1998 und 2009 meist unter $0,01 \text{ Bq}/\text{m}^3$. Immer wieder traten aber auch deutlich höhere Werte auf, der höchste Wert (ca. $0,06 \text{ Bq}/\text{m}^3$) im Herbst 2009.²²⁹ Zum Vergleich: 2009 lag die Durchschnittskonzentration für Cäsium-137 in der Luft – gemessen in Berlin – bei $0,0000006 \text{ Bq}/\text{m}^3$.²³⁰

Die „normale“ radioaktive Belastung der Luft (und damit auch die Inhalationsdosis am Standort) variiert stark. Sie liegt zwar im Mittel unter den Jahresgrenzwerten, sie ist aber während mancher Stunden, Tage oder Wochen deutlich höher – was Messungen dann aber erst im Nachhinein zeigen.

4.3 Gefährdung durch kontaminiertes Wasser

Wasser und Feuchtigkeit stellen eine große Bedrohung für den Sarkophag dar. Auch nach den Stabilisierungsarbeiten dringen weiterhin ca. 2.200 Kubikmeter Niederschlag pro Jahr durch die großen Öffnungen ein. Dazu kommen jährlich ca. 1.650 Kubikmeter durch Kondensation und 270 Kubikmeter durch das Staubunterdrückungssystem.²³¹

Da Wasser in chemische Wechselwirkung mit Verfüllungsmaterialien und der Baukonstruktion tritt, wird zum einen der Verfall der Gebäudestruktur stark beschleunigt. Rund 21.100 Kubikmeter Beton wurden in den Räumen zur Stabilisierung des Sarkophags und zur Abschottung der brennstoffhaltigen Materialien verfüllt.²³² Weiterhin ist zu befürchten, dass radioaktive Flüssigkeiten nach außen gelangen und z.B. das Grundwasser erreichen. Wasser zerstört die glasartige Oberfläche der brennstoffhaltigen Massen.¹⁰ Langlebige Radionuklide werden gelöst. Als Ergebnis dieser Prozesse hat sich eine hochradioaktive Flüssigkeit gebildet, in der auch Plutonium- und Uransalze vorhanden sind.²³³ In den unteren Räumen des Sarkophags befinden sich ca. 3.000 Kubikmeter kontaminiertes Wasser.²³⁴ 1996 lagen die maximalen Konzentrationen für Cäsium-137 bei $2 \cdot 10^8$ Becquerel pro Liter (Bq/l) und für Strontium-90 bei $6 \cdot 10^6 \text{ Bq}/\text{l}$.²³⁵ Im IAEA Bericht 2006 wird nur die durchschnittliche Konzentration angegeben, sie beträgt für Cäsium $1,6 \cdot 10^7 \text{ Bq}/\text{l}$, für Strontium-90 $2 \cdot 10^6 \text{ Bq}/\text{l}$, für Plutonium $1,5 \cdot 10^2 \text{ Bq}/\text{l}$ und für Uran $6 \text{ mg}/\text{l}$.²³⁶

Laut Untersuchungen aus den Jahren 2002 bis 2003 steigt die Konzentration der Radionuklide (außer von Cäsium-137) im Wasser des Sarkophags aufgrund der Zerstörungsprozesse der lavaähnlichen brennstoffhaltigen Massen an. Das führt zu einer steigenden Radionuklid-ausbreitung innerhalb der Ruine. Es besteht eine große Gefahr für ein unkontrolliertes Auslaufen in die Räume des angrenzenden Blocks 3 bzw. generell aus dem Sarkophag.²³⁷

Vor einigen Jahren wurde angenommen, dass von den radioaktiven Flüssigkeiten im Inneren der Ruine ca. 2.100 Kubikmeter pro Jahr verdunsten und 1.300 Kubikmeter pro Jahr in den Boden unterhalb der Ruine einsickern. Nach Errichtung des New Safe Confinement wird erwartet, dass die eindringende bzw. entstehende Wassermenge geringer als die Verdunstungsrate ist, sodass bereits nach zwei Jahren die radioaktiven Flüssigkeiten verdunstet sind.²³⁸ Es wird sich zeigen müssen, ob diese Annahme gerechtfertigt ist. Wenn ja, wäre die Gefährdung durch Auslaufen der radioaktiven Flüssigkeiten in die Umgebung und in das

¹⁰ In den ersten Jahren nach dem Unfall wurde diese Oberfläche als durch Wasser unlöslich angesehen.

Grundwasser zunächst vorbei. Es ist zu bedenken, dass die radioaktiven Stoffe dann nicht weg sind, sondern als trockene Reste (Staub) in der Ruine zurückbleiben.

In der unmittelbaren Nähe des explodierten Reaktors ist das Grundwasser an einigen Stellen mit Cäsium-137 in einer Konzentration von max. 5.000 Bq/l und mit Strontium-90 bis zu 3.000 Bq/l belastet. Diese Kontamination wird vor allem durch die erhebliche Menge an radioaktiven Stoffen verursacht, die sich in der Nähe des havarierten Reaktors unter einer bis zu drei Meter dicken Schicht aus Erde, Sand und Beton befinden und nicht vom Umfeld isoliert sind.²³⁹

Studien wiesen inzwischen nach, dass auch aus der Ruine austretende radioaktive Flüssigkeiten zu einer Belastung des Grundwassers beitragen.²⁴⁰ Bisher wurden aber weder Uran noch Plutonium im Grundwasser nachgewiesen, obwohl diese in größeren Mengen im Sarkophagwasser vorhanden sind.²⁴¹ Die GRS vertritt allerdings die Meinung, dass bisher trotz gezielter Untersuchungen keine Hinweise existieren, dass radioaktive Flüssigkeiten aus dem Sarkophag in das Grundwasser gelangen.²⁴²

Auf dem Standortgelände um den Sarkophag wurden insgesamt 34 Messbrunnen errichtet. Sie dienen dazu, das Grundwasser hydrogeologisch, chemisch und radiologisch zu überwachen. Die durchschnittliche jährliche Grundwasserbelastung mit den relevanten Nukliden Strontium-90 und Cäsium-137 sank zwischen 1993 und 1997 stark und stieg dann bis 2000 geringfügig an, sie blieb ab 1997 im Mittel unter den Grenzwerten für Trinkwasser.²⁴³ Für das in Richtung des Flusses Pripjat abfließende Grundwasser wurde in 2000 eine mittlere Jahresbelastung von 12 Bq/l für Strontium-90 und von 15 Bq/l für Cäsium-137 angegeben.²⁴⁴ Jedoch treten innerhalb eines Jahres große Schwankungen auf. An den einzelnen Messbrunnen werden die in der ukrainischen Strahlenschutzverordnung (NRBU-97) festgelegten Grenzwerte für Trinkwasser (96 Bq/l für Cäsium-137, 45 Bq/l für Strontium-90) jahreszeitlich bedingt überschritten.²⁴⁵

4.4 Gefahr einer nuklearen Kettenreaktion

Grundsätzlich besteht die Gefahr, dass in die Ruine eindringendes Wasser zu einem Wiederaufflackern der Kettenreaktion in den Brennstoffresten führt. Wasser wirkt als Neutronenbremse und unterstützt damit die Kettenreaktion, die durch langsame Neutronen sehr viel leichter in Gang kommt, als durch schnelle. Eine Explosion ist jedoch nicht zu erwarten. Aber auch eine kontinuierlich ablaufende Kettenreaktion, die mit einer Aufheizung des Brennstoffs verbunden ist, kann zu einer erheblichen Freisetzung von radioaktiven Stoffen führen.

Inzwischen wird eine erneute nukleare Kettenreaktion allerdings nahezu ausgeschlossen. Es wird angenommen, dass die über viele Stellen im Sarkophag verteilten brennstoffhaltigen Materialien derzeit in einem deutlich unterkritischen Zustand sind.²⁴⁶ Angesichts der bestehenden Wissenslücken bei der Lokalisierung des Brennstoffs bleiben jedoch Unsicherheiten bestehen.

Zur Überwachung des unterkritischen Zustands wird die Neutronenstrahlung im Inneren der Ruine gemessen.²⁴⁷ Die Messinstrumente hatten früher mehrfach einen erhöhten Neutronenfluss festgestellt, vermutlich wenn Wasser mit dem Kernbrennstoff in Berührung kam. Erstmals trat dies 1990 auf, als eine Zunahme der Neutronenstrahlung auf das bis zu Sechzigfache gemessen wurde.²⁴⁸ Ähnliche Vorfälle ereigneten sich 1995 und 1996.²⁴⁹ Ein Alarm aufgrund einer gestiegenen Neutronenstrahlung in 2003 entpuppte sich m Nachhinein als Fehlalarm.²⁵⁰ Dieser Fehler war ein Indiz für den desolaten Zustand des vorhandenen Überwachungssystems. Seit Ende 2010 ist nun endlich ein neues System installiert.²⁵¹

Auslöser einer erneuten Kettenreaktion könnte der Einsturz des Sarkophags in Folge eines Erdbebens kombiniert mit einer Überflutung sein. Die Analysen eines derartigen „worst-case“ Szenarios (mit Aufflackern einer Kettenreaktion) ermittelten Freisetzungen in Höhe von $4 \cdot 10^{14}$ Becquerel.²⁵² Der Quellterm übersteigt den Quellterm der Einsturzszenarien um ein Mehrfaches, bleibt aber in der gleichen Größenordnung wie dieser.

4.5 Gefährdungen durch Waldbrände

Es besteht die Gefahr, dass ein Waldbrand auf die Ruine übergreift. Im Inneren befinden sich, wie oben erwähnt, erhebliche Brandlasten. Im Falle eines Brands wäre ein Einsturz von Strukturen mit erheblichen Freisetzungen zu befürchten. Durch die Hitzeentwicklung sind – auch ohne Einsturz – hohe Freisetzungen der staubförmigen Partikel zu befürchten. Im Sommer 2010 wüteten 600 Brände in Zentralrussland, teilweise mehrere Wochen lang. Ursache war eine extreme Dürre, zudem war der Sommer 2010 der heißeste seit Beginn der Wetteraufzeichnungen vor 130 Jahren. Die Waldbrände zwangen die Behörden auch zum Ergreifen von Maßnahmen zum Schutz von Atomanlagen. Aus einer Forschungseinrichtung wurde z.B. vorsorglich das radioaktive Material entfernt.²⁵³

Zudem gelangten durch die heftigen Brände die Radionuklide Cäsium-137 und Strontium-90, die sich in Folge des Tschernobyls Unfalls in der Vegetation befanden, in die Luft. Laut einer Untersuchung wurde ein geringer Anstieg der Radioaktivität gemessen, eine Gefahr hätte aber nicht bestanden.²⁵⁴ Die Strahlenschutzbehörden in Finnland, Norwegen und Schweden informierten jeweils, dass sich das durch die Brände freigesetzte Cäsium-137 bis in die Skandinavischen Länder ausgebreitet hat, dass jedoch die kleinen Mengen kein gesundheitliches Risiko darstellten.²⁵⁵

5 Situation in der Verbotenen Zone

Eine 30 Kilometerzone um den explodierten Reaktor wurde nach dem Unfall 1986 aufgrund der hohen Kontaminationen vollständig evakuiert und zur „Verbotenen Zone“ erklärt. Heutzutage ist diese Zone aber alles andere als menschenleer: Täglich befinden sich dort etwa 16.500 Personen zum Arbeiten, davon 3.500 am Standort des AKW Tschernobyl. Weitere ca. 13.000 Personen arbeiten z.B. als Wachpersonal, Waldarbeiter, bei der Feuerwehr oder in wissenschaftlichen Projekten. Die meisten dieser Beschäftigten wohnen in der 45 Kilometer entfernten Stadt Slavutich.²⁵⁶

Trotz hoher Kontaminationen leben in der Verbotenen Zone inzwischen auch einige Hundert überwiegend ältere Menschen, die auf ihre Höfe zurückgekehrt sind und Landwirtschaft für den Eigenbedarf betreiben. Diese sogenannten Rückkehrer befinden sich zwar illegal in der Verbotenen Zone, sie werden aber geduldet.²⁵⁷

Zudem gibt es vermutlich immer noch Plünderer und Wilderer, die illegal in die Zone eindringen und verlassene Siedlungen plündern und Wild bzw. verwilderte Haustiere jagen. Der Zaun, der die Zone abgrenzt, weist an zahlreichen Stellen Durchlässe auf.²⁵⁸

In der zehn Kilometerzone um den havarierten Reaktor wurden Cäsium-137 Bodenkontaminationen von mehr als 1.500 kBq/m² gemessen. In diesem Bereich liegen AKW-Standort sowie diverse Deponien mit radioaktiven Materialien aus den Aufräumarbeiten. Direkt nach dem Unfall wurden provisorische Abfalllagerstellen in unmittelbarer Nähe zum Reaktor eingerichtet, dabei wurden nur die allernötigsten Strahlenschutzmaßnahmen angewandt. So wurden Abstellflächen für Fahrzeuge, Räumpanzer, Autokräne, Busse, Hubschrauber etc. durch Verlegen von Betonplatten und teilweise umgeben mit Betonwänden hergestellt. Kontaminierte Böden aus den sogenannten Hotspots und Trümmerteile wurden in künstlich geschaffene Gräben oder in natürlich vorhandene Bodenvertiefungen geschüttet und mit Erde reich bedeckt. In den Baugruben für die beiden geplanten Blöcke 5 und 6 des AKW Tschernobyls wurden Trümmer mit hoher Dosisleistung gekippt. Es fehlte Zeit und Personal, um alles zu dokumentieren.²⁵⁹

Inzwischen sind die verfügbaren Informationen zu den provisorischen Abfalllagerstellen kartiert und zusammengestellt. Bisherige Untersuchungen gehen von ca. 800 Deponien innerhalb der Verbotenen Zone aus. Schätzungsweise eine Million Kubikmeter radioaktiver Abfall mit einer Aktivität von rund 10¹⁶ Becquerel sind dort provisorisch deponiert. Rund zehn Prozent dieser Abfälle sind kontaminiertes Metall.²⁶⁰ Für die Behandlung (Sortierung, Konditionierung) und Lagerung wurde der Atommüllagerkomplex VEKTOR errichtet.²⁶¹

Zunächst müssen die Abfälle geborgen werden, die permanent oder saisonal Verbindungen zum Grundwasser haben oder in der Nähe von Oberflächengewässern liegen. Ein besonderes Problem stellt der Kühlteich des AKW Tschernobyl mit einer Fläche von 22,9 Quadratkilometern und einem Volumen von 160 Millionen Kubikmetern dar. Auf seinem Boden befinden sich radioaktive Ablagerungen mit einer geschätzten Gesamtaktivität von 1,3 * 10¹⁵ Becquerel, einer Strontium-90 Aktivität von 3 * 10¹³ Becquerel und einer Plutonium Aktivität von 1 * 10¹¹ Becquerel. Der Kühlteich ist nur durch einen Damm vom Fluss Pripjat getrennt, die Wasseroberfläche befindet sich sieben Meter oberhalb der Flussoberfläche.²⁶²

Auch 25 Jahre nach dem Unfall sind die kontaminierten Gebiete rund um den Reaktor eine offene „Quelle“ für die Ausbreitung der Radionuklide, die zum Beispiel mit dem Oberflächen- und Grundwasser die Verbotene Zone verlassen. Die Verteilung der Radionuklide im Wassersystem ist kompliziert und verändert sich ständig. Die Absperrung der Gewässer in der inneren Zone verstärkte die Mobilität der Radionuklide, vor allem von Strontium-90. Bei Hochwasser besteht die Gefahr, dass die Radionuklide aus diesen „Depots“ in den Fluss Pripjat gelangen. Untersuchungen zeigen, dass bei Wasserpflanzen oder -tieren die Aktivität an Strontium-90 um mehr als eine Größenordnung stieg. Die meisten Ökosysteme dieser Gewässer sind nach wie vor hoch kontaminiert. Die Auswirkung der Strahlung auf die Flora und Fauna ist eines der wichtigsten – aber bisher noch ungenügend untersuchten – Probleme der Verbotenen Zone.²⁶³

5.1 Belastung Tiere

Die Tschernobyl-Katastrophe bietet der Wissenschaft die „Möglichkeit“, die Auswirkungen eines Atomunfalls zu untersuchen. Die Forschung ist wichtig für das Verständnis der langfristigen Folgen der Strahlung auf die Ökosysteme und die menschliche Gesundheit.

Im Sommer 2007 haben Forscher eine Arbeit über Waldvögel in der Umgebung des Atomkraftwerks Tschernobyl vorgelegt. Diese greift die weitverbreitete Meinung an, dass die Sperrzone um Tschernobyl ein blühendes Naturschutzreservat sei, in dem man seit Jahren zunehmend Wildtieren begegnen könne. Tatsächlich kann einem dort ein großer Elch oder ein Bär über den Weg laufen. Wird die Situation aber genauer untersucht, ergibt sich ein ganz anderes Bild. So sinken mit steigendem Strahlungsniveau die Artenvielfalt und die Populationsdichte der brütenden Waldvögel (auch nach statistischer Überprüfung möglicher Störfaktoren wie Bodentyp und Höhe des Pflanzenwuchses). Der Effekt war besonders deutlich bei Vögeln, die sich von Bodenbewohnern ernähren, die in der am stärksten kontaminierten oberen Bodenschicht leben. In den am stärksten radioaktiv verstrahlten Gebieten nahm die Zahl der Tiere um 66 Prozent im Vergleich zu geringer belasteten Regionen ab. Die Autoren kommen zu der Einschätzung, dass die ökologischen Folgen der Tschernobyl-Katastrophe beträchtlich größer sind, als bisher angenommen.²⁶⁴

Im März 2009 veröffentlichten die Forscher einen weiteren Artikel im britischen Fachblatt *Biology Letters*. Demnach dezimieren die freigesetzten Radionuklide immer noch Vögel, Hummeln, Schmetterlinge, Heuschrecken, Libellen und Spinnen in Waldgebieten in der Umgebung des Reaktors.²⁶⁵

Die Forscher vermuten zudem, basierend auf Forschungsergebnissen bei Tieren, dass die Strahlenbelastungen auch für die Geburtsfehler bei Menschen in der Region verantwortlich sein könnten – und nicht nur wie von der IAEA im Jahr 2006 vermutet, die Auswirkungen von Umsiedlung, Stress und den sich verschlechternden Lebensbedingungen. Da nach Meinung der Forscher die Auswirkungen von niedrigen Strahlendosen bisher nicht vollständig verstanden sind, sollte man sich mehr Sorgen um die Gesundheit der Menschen machen.²⁶⁶

Anfang 2011 berichtete selbst das internationale Fachblatt zur Nuklearenergie, dass ein Team von Wissenschaftlern aus Frankreich, Italien, Norwegen, Amerika und der Ukraine 25 Jahre nach dem Unfall in Tschernobyl bewiesen hat, dass eine permanente Bestrahlung mit niedriger Dosis einen signifikanten Effekt auf die Gehirnentwicklung bei Vögeln hat. Mit der Strahlendosis sank die Größe der Gehirne. Kleine Gehirne sind verbunden mit einer verringerten kognitiven Fähigkeit. Dieser Effekt war bereits für Menschen und andere Organismen gezeigt worden, aber in stärker kontaminierten Gebieten.²⁶⁷

Exkurs: Belastung Wildschweine in Deutschland und Schafe in Wales

Auch in Deutschland sind die Folgen des Unfalls in Tschernobyl noch zu spüren. So sind z.B. Wildschweine in Bayern immer noch belastet. Sie wühlen in stark kontaminiertem Waldboden und fressen bevorzugt hochbelastete Hirschtrüffel (bis zu 20.000 Becquerel pro Kilo [Bq/kg]). Deshalb muss jedes der mehr als 40.000 jährlich in Bayern geschossenen Wildschweine zu einer offiziellen Messstelle gebracht werden. Viele Wildschweine liegen über dem Grenzwert von 600 Bq/kg, einige haben Werte von 10.000 Bq/kg. Für belastetes Fleisch von Wildschweinen zahlte der Bund 2010 Entschädigungen von insgesamt 424.650 Euro, 1998 waren es umgerechnet nur rund 5.100 Euro gewesen. Als Grund für die gestiegenen Ausgaben nannte das „Hamburger Abendblatt“ eine gestiegene Zahl untersuchter Wildproben. Die vom Bund gezahlten Entschädigungszahlungen summierten sich bis Ende Juni 2010 auf 238 Millionen Euro.²⁶⁸

25 Jahre nach der Reaktorkatastrophe von Tschernobyl müssen auch im Bergland von Wales noch alle Schafe (180.000), die zum Verkauf kommen, untersucht werden. Von den getesteten Tieren liegen noch immer fünf Prozent über dem dort zulässigen Grenzwert von 1.000 Bq/kg. Dass speziell Nordwales so lange betroffen ist, liegt nach Expertenansicht an

einer Kombination aus den schweren Regenfällen und dem hohen Torfgehalt des Bodens. In solchen Böden wird Cäsium-137 direkt an die Vegetation weitergegeben. Von da gelangt es in die Schafe und über deren Ausscheidungen zurück in den Boden, dann wieder in das Gras und in die Pflanzen – ein zäher Kreislauf.²⁶⁹

5.2 Umgang mit der belasteten Umwelt

In der Verbotenen Zone, auch außerhalb der inneren zehn Kilometerzone, sind immer noch teils hohe Kontaminationen im Boden und Wasser sowie in Pflanzen und Tieren vorhanden. Große Anstrengungen müssen unternommen werden, um eine weitere Ausbreitung der Radionuklide (z.B. aus den Abfalldeponien) zu verhindern. Es gibt Bestrebungen, weitere radioaktive Abfälle in die Verbotene Zone zu bringen und dort zu lagern. So wurde diskutiert, dort ein zentrales Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente der anderen ukrainischen Atomkraftwerke einzurichten. Weiterhin existiert die Idee, die Möglichkeit einer oberflächennahen Endlagerung von hochradioaktiven Abfällen zu prüfen, um so auf die teure geologische Tiefenlagerung verzichten zu können.²⁷⁰

Trotz des weiterhin vorhandenen Risikos sollen geringer kontaminierte Teilflächen wieder für die landwirtschaftliche Nutzung freigegeben werden.²⁷¹ Laut Medienberichten sollte bereits im März 2011 ein Programm zusammen mit dem Landwirtschaftsministerium ausgearbeitet werden.²⁷² Es ist zu befürchten, dass dadurch kontaminierte Waren auf die in- und ausländischen Märkte gelangen. Die Überprüfung aller Produkte ist schwierig. Noch immer erreichen große Mengen an radioaktiv belasteten Waren aus kontaminierten Gebieten die Markthallen in Moskau. Dort haben alle Marktplätze ein Labor, um Waren vor dem Verkauf zu messen. Laut Angaben der Strahlenschutzbehörde wurden im Jahr 2005 rund 830 Kilogramm belastete Waren, vor allem Pilze und Beeren, aufgespürt.²⁷³ Auch in Deutschland werden bei Stichproben immer wieder importierte Pilze gefunden, die über dem EU-Grenzwert von 600 Bq/kg liegen. Diese Pilze stammen meist aus den von der Tschernobyl-Katastrophe unmittelbar betroffenen Regionen in Russland oder der Ukraine. Die Ware wurde meist mit unbelasteten Pilzen „gestreckt“ bzw. in unverdächtigen Drittländern umgeschlagen und entsprechend umdeklariert. Das Umweltinstitut München fordert daher regelmäßige Kontrollen statt einzelner Stichproben.²⁷⁴

Laut Medienberichten soll die Verbotene Zone außerdem touristisch erschlossen werden. Bereits jetzt lockt der Sarkophag jährlich einige Tausend Besucher an, einige Firmen veranstalten bereits Touren zu den gesperrten Gebieten. Diese Ausflüge sind jedoch bisher illegal. Die Ukraine will nun aber die Zone um den Unfallreaktor in Tschernobyl für den Massentourismus (vor allem zur Fußball-Europameisterschaft in Polen und der Ukraine 2012) entwickeln. Das für Tschernobyl zuständige ukrainische Katastrophenschutzministerium hat dafür ein Touristikunternehmen gegründet. Dieses soll geführte Ausflüge in die Verbotene Zone für rund 100 Dollar anbieten und aggressiv bewerben – die Regierung hofft auf eine Million Besucher pro Jahr. Der Leiter der staatlichen Tourismusgesellschaft bezeichnet Touren nach Tschernobyl als Extremtourismus. Ein US-Magazin (Forbes) hat die Region um den Reaktor bereits als eines der interessantesten Touristenziele weltweit bezeichnet. Die Chefin des UNO-Entwicklungsprogramms unterstützt das Projekt, da es ihrer Meinung nach helfen könne, Geld zu sammeln und eine wichtige Lektion über Atomsicherheit zu erteilen.

Der fünfstündige Ausflug beginnt mit einem Rundgang über das Kraftwerksgelände und einem Blick von der Aussichtsplattform in der Nähe des explodierten Reaktors. Danach steht eine Besichtigung in der sechs Kilometer entfernten und verlassenen Stadt Pripjat auf dem Programm, die einem Freiluftmuseum zur Sowjetunion der 1980er Jahre gleicht. Abschließend ist ein Besuch bei den Bewohnern der evakuierten Dörfer, die auf eigene Verantwortung zurückgekehrt sind, geplant. Die Rückkehrer bewirten die Besucher – auch mit eingelegten Pilzen, gesammelt in den kontaminierten Wäldern. An Kinder und Schwangere sollen keine Tickets verkauft werden. Experten und Umweltschützer halten das ganze Projekt für

gefährlich.²⁷⁵ Experten kritisieren die touristische Erschließung der Verbotenen Zone als einen allen Strahlenschutzgrundsätzen zuwider laufenden marktwirtschaftlichen Versuch, mit den von Touristen gezahlten Geldern erforderliche Projekte in der Zone zu finanzieren.²⁷⁶

Insgesamt ist festzustellen, dass es eine große Diskrepanz zwischen den Forschungsergebnissen zur Ausbreitung der radioaktiven Stoffe und den Folgen der Strahlenbelastung einerseits, und dem Umgang mit den kontaminierten Regionen andererseits gibt. Immer deutlicher wird dadurch auch, wie schwierig ein langfristiger Umgang mit einem Gebiet ist, das für viele Generationen als unbewohnbar gilt.

Schlussfolgerungen und Ausblick

Bis 1996 wurde keine für alle Seiten akzeptable Lösung zum Umgang mit dem explodierten Reaktor gefunden. Der Ukraine wurde vorgeworfen, mögliche Lösungsansätze zu blockieren, da sie den benachbarten Reaktor 3 weiter betreiben wolle. Während die Ukraine beklagte, dass westliche Firmen lediglich Geld mit der Katastrophe verdienen wollten, mit den eigentlichen Folgen werde sie, die Ukraine, dann aber allein gelassen. Die gegenseitigen Vorwürfe greifen jedoch zu kurz. Die langwierigen Diskussionen über ein geeignetes technisches Konzept zeigen stattdessen, wie kompliziert und teuer die Beseitigung der Katastrophe am AKW-Standort ist.

Da der Zustand des maroden Sarkophags sich zusehends verschlechterte, musste gehandelt werden. Vorteil des 1997 vereinbarten Shelter Implementation Plan (SIP) war, sofort mit den dringlichsten Stabilisierungsmaßnahmen beginnen zu können, ohne ein fertiges technisches Gesamtkonzept zu haben. Auch die Zielsetzung, mit einer neuen Schutzhülle als mittelfristige Lösung Zeit zu gewinnen, um eine langfristige Lösung zu suchen, schien zunächst vernünftig.

Inzwischen wird aber immer deutlicher, dass der SIP real nur die Umsetzung der mittelfristigen Lösung beinhaltet. Diese erweist sich zudem als extrem schwierig. Die Kosten haben sich bereits verdreifacht und werden vermutlich weiter steigen, da das größte Projekt (New Safe Confinement) noch aussteht. Schon jetzt ist die Umsetzung zehn Jahre hinter dem Zeitplan zurück – und das bei einem ursprünglichen Gesamtzeitrahmen von acht bis neun Jahren.

Noch wird gehofft, dass das New Safe Confinement (NSC) die Ruine und die enthaltenden radioaktiven Stoffe hermetisch verschließen wird. Ob das gelingt, ist noch fraglich. Ein so gigantisches Projekt wird sich unter den örtlichen Bedingungen nicht ohne Schwierigkeiten verwirklichen lassen.

Das größte Manko des Shelter Implementation Plans (SIP) ist jedoch, dass die Bergung der brennstoffhaltigen Massen aus dem Projekt genommen wurde, um die Kosten signifikant zu senken. Wie schon 1986 beim Bau der ersten Schutzhülle, ging Wirtschaftlichkeit vor Sicherheit.

Die Gefährdung der Umwelt geht nun aber gerade von diesen brennstoffhaltigen, hochradioaktiven Stoffen aus. Ein langfristiger Abbau der Gefahr, die vom havarierten Reaktorblock ausgeht, wird durch das NSC nicht erreicht. Vor allem aus diesem Grund war – und ist – die neue Schutzhülle Gegenstand kontroverser Diskussionen.

Rückblickend (bzw. hinsichtlich Fukushima in die Zukunft blickend) macht es insgesamt wenig Sinn, mit einem derart hohen finanziellen Aufwand (1,6 Milliarden Euro) eine Hülle um den zerstörten Reaktor zu bauen, die nur für 100 Jahre Schutz bieten soll. Die Gefahr wird nicht beseitigt, eine Lösung des eigentlichen Problems nur verschoben und späteren Generationen überlassen.

Ziel der Stabilisierungsmaßnahmen war es, die Standsicherheit des Sarkophags bis 2023 zu gewährleisten. Aus heutiger Sicht ist es unvorstellbar, dass innerhalb dieses kurzen Zeitraums die Bergung der brennstoffhaltigen Massen stattfindet. Zu bedenken ist, dass bei einem Einsturz hohe, teils tödliche Strahlendosen durch Inhalation am Sarkophag auftreten werden.

Bevor mit der Bergung begonnen werden kann, müssen Anlagen zur Behandlung und Lagerung der brennstoffhaltigen Massen errichtet werden. Die bisher am AKW-Standort Tschernobyl aufgetretenen Probleme, z.B. im Rahmen der Errichtung des Zwischenlagers für abgebrannte Brennelemente, lassen erahnen, wie problematisch dieses Vorhaben werden wird. Völlig ungeklärt ist die Finanzierung der Bergung der brennstoffhaltigen Massen – denn dazu müssen erneut Milliarden von der internationalen Gemeinschaft aufgebracht werden.

Der Standort Tschernobyl wird auch den ukrainischen Staat noch für viele Jahrzehnte belasten. Dass westliche Firmen an den Tschernobyl-Projekten verdienen, hilft der ukrainischen Wirtschaft nicht. Ein Versuch der Ukraine aus dem Unfall Gewinne zu erzielen ist der, die Verbotene Zone touristisch zu erschließen. Dieses Projekt ist aus Gründen des Strahlenschutzes (Vermeidung jeder unnötigen Strahlenbelastung) abzulehnen.

Nach wie vor sind die Strahlungswerte am AKW-Standort und in der Verbotenen Zone hoch. Es zeigt sich, dass die Belastungen in einigen Ökosystemen 25 Jahre nach dem Unfall noch ansteigen. Zunehmend zeigt sich die Diskrepanz zwischen den Forschungsergebnissen zu den Auswirkungen der Strahlenbelastungen auf die Pflanzen, Tiere und Menschen einerseits und dem sorglosen Umgang damit andererseits.

Ein erklärtes Ziel des SIP ist die Überführung des Standorts Tschernobyl in ein ökologisch sicheres System. Davon ist der Standort jedoch weit entfernt.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass auch 25 Jahre nach dem Super-GAU von dem havarierten Reaktor eine Gefahr ausgeht. Durch die zunehmende Zerstörung der lavaartigen Massen werden die Radionuklide mobiler, und können sich so über Luft oder Wasser in die Umwelt ausbreiten, sprich: Die Gefahr, die von der Ruine ausgeht, wächst. Eine Lösung der Situation ist nach wie vor nicht in Sicht.

Literatur

- ¹ **GRS 1996**, Gesellschaft für Anlagen und Reaktorsicherheit (GRS): Tschernobyl – 10 Jahre danach; GRS 121; Februar 1996, www.grs.de/sites/default/files/pdf/GRS-121_Deut.pdf, eingesehen Februar 2011
- ² World Nuclear Association (WNA): Nuclear Power in Russia, www.world-nuclear.org/info/inf45.html, eingesehen Januar 2011
- ³ **IKE 2005**, Informationskreis KernEnergie: Der Reaktorunfall in Tschernobyl; Februar 2005
- ⁴ **Krüger 1996**, F.W. Krüger, L. Albrecht et al.: Der Ablauf des Reaktorunfalls in Tschernobyl und die weiträumige Verfrachtung des freigesetzten Materials: Neue Erkenntnisse und ihre Bewertung, in: Zehn Jahre nach Tschernobyl, eine Bilanz; Hrsg. A. Bayer et al.; Seminar des BfS und der SSK 1996
GRS, 1996 s.o.
- ⁵ **IKE 2005**, s.o.
- ⁶ **BMU 1986**: Bundesumweltministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Der Unfall in dem Kernkraftwerk Tschernobyl und seine Folgen (Übersetzung vom Staatskomitee für die Nutzung der Kernenergie der UdSSR); BMU 1987-168/1; August 1986
- ⁷ **IKE 2005**, s.o.
- ⁸ **BMU 1986**, s.o.
- ⁹ **Kerner 2011**, Kerner, A; Stück, R.; Weiß, F.-P.: Der Unfall von Tschernobyl 1986, atw. 56. Jg. (2011) Heft 2, S. 80 – 87
- ¹⁰ **IKE 2005**, s.o.
- ¹¹ **Kerner 2011**, s.o.
- ¹² **Krüger 1996**, s.o.
- ¹³ **Kerner 2011**, s.o.
- ¹⁴ **Krüger 1996**, s.o.
- ¹⁵ **IKE 2005**, s.o.
- ¹⁶ **Krüger 1996**, s.o.
- ¹⁷ **Krüger 1996**, s.o.
- ¹⁸ **Krüger 1996**, s.o.
- ¹⁹ **Krüger 1996**, s.o.
- ²⁰ **Krüger 1996**, s.o.
- ²¹ **IKE 2005**, s.o.
- ²² **Krüger 1996**, s.o.
- ²³ **Krüger 1996**, s.o.
- ²⁴ **Krüger 1996**, s.o.
- ²⁵ **Kerner 2011**, s.o.
- ²⁶ **Kerner 2011**, s.o.
- ²⁷ **IKE 2005**, s.o.
- ²⁸ Pflugbeil, S.: Tschernobyl - Der zweite Sarkophag - Die Geldmaschine, Strahlentelex Nr. 362-363, 2002, www.strahlentelex.homepage.t-online.de/Stx_02_362_S02-03.pdf, eingesehen Februar 2011
- ²⁹ **GRS 2011**, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit: Häufig gestellte Fragen zum Kernkraftwerk Tschernobyl; www.grs.de/node/882, eingesehen Februar 2011
- ³⁰ World Nuclear Association (WNA): Chernobyl Accident, www.world-nuclear.org/info/chernobyl/inf07.html, eingesehen März 2011
- ³¹ Fairlie, I.; Sumner, D.: Torch (The Other Report Chernobyl); Bericht im Auftrag von Rebecca Harms, MEP, Greens/EFA in the European Parliament, April 2006
- ³² **IKE 2005**, s.o.
- ³³ **GRS 2005**, Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit: Sicherheitszustand des Sarkophags, French-German Initiative for Chernobyl (DFI) GRS / IRSN – 3, November 2005, www.grs.de/sites/default/files/pdf/GRS-IRSN_3_Sicherheitszustand_des_Sarkophags.pdf, eingesehen im Februar 2011
- ³⁴ **GRS 2005**, s.o.
- ³⁵ Nach Angaben der Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit, www.grs.de, eingesehen am 05.04.2002
- ³⁶ **GRS 2005**, s.o.
- ³⁷ **IAEA 2006**, Environmental Consequences of the Chernobyl Accident and Their Remediation: Twenty Years of Experience. Report of the UN Chernobyl Forum Expert Group "Environment" (EGE)" August 2005; http://www-pub.iaea.org/mtcd/publications/pdf/pub1239_web.pdf, eingesehen Februar 2011
- ³⁸ **GRS 2005**, s.o.
- ³⁹ **ChNPP 2011**: Chernobyl Nuclear Power Plant: Current Status, 05.02.2009, www.chnpp.gov.ua/eng/articles.php?lng=en&pg=36, eingesehen im Februar 2011
- ⁴⁰ **GRS 2005**, s.o.
- ⁴¹ **Pretzsch 2004**, Radiological Hazards at the Chernobyl Shelter Site; 11th International Congress of the International Radiation Protection Association, Madrid 23-28 May 2004
- ⁴² **IKE 2005**, s.o.
- ⁴³ **Borovoi 1996**: The Sarcophagus of Unit-4 of the Chernobyl NPP, in: Zehn Jahre nach Tschernobyl, eine Bilanz; Hrsg. A. Bayer et al.; Seminar des BfS und der SSK 1996
- ⁴⁴ **GRS 1996**, s.o.
- ⁴⁵ **Arcadis 2000**: Die Umsetzung des „Memorandum of Understanding“ zur Schließung des Standortes Tschernobyl, Arcadis Trischler & Partner GmbH, 2000
- ⁴⁶ **GRS 1996**, s.o.

-
- ⁴⁷ IKE 2005, s.o.; WISE News Communiqué 547: Chernobyl the Shelter Implementation Plan, April 27, 2001
- ⁴⁸ Borovoi 1996, s.o.
- ⁴⁹ Borovoi 1996, s.o.
- ⁵⁰ Borovoi 1996 s.o., IKE 2005 s.o., Pretzsch 2011, s.o.
- ⁵¹ Arcadis 2000, s.o.
- ⁵² **BMU 2010**: Tschernobyl und die Folgen, April 2010, www.bmu.de/atomenergie_sicherheit/downloads/17_legislaturperiode/doc/5409.php, eingesehen Februar 2011
- ⁵³ Arcadis 2000, s.o.
- ⁵⁴ **EBRD 2011**: European Bank for Reconstruction and Development: Chernobyl 25 years on: New Safe Confinement and Spent Fuel Storage Facility, January 2011, www.ebrd.com/downloads/research/factsheets/chernobyl25.pdf, eingesehen März 2011,
- ⁵⁵ BMU 2010, s.o.
- ⁵⁶ Arcadis 2000, s.o.
- ⁵⁷ Arcadis 2000, s.o.; Pretzsch 2011, s.o.
- ⁵⁸ Nucleonics Week, February 3, 2011
- ⁵⁹ IKE 2005, s.o.
- ⁶⁰ Nucleonics Week, February 3, 2011
- ⁶¹ EBRD 2011, s.o.; Pretzsch 2011, s.o.
- ⁶² Nucleonics Week, August 28, 2003
- ⁶³ Nucleonics Week, March 18, 2004
- ⁶⁴ Nucleonics Week, April 28, 2005
- ⁶⁵ Zeitschrift für Atomwirtschaft (atw) Oktober 2007, S. 676
- ⁶⁶ Nuclear Engineering International; March 2008, p. 5
- ⁶⁷ Nuclear Monitor 673; EBRD: More Money to new Safe Confinement Chernobyl; WISE, Juni 5, 2008, <http://www10.antenna.nl/wise/673/673.pdf>, eingesehen Februar 2011
- ⁶⁸ **EBRD 2009**: European Bank for Reconstruction and Development: Chernobyl Grant, February 16, 2009, www.ebrd.com/english/pages/news/press/2009/090216.shtml, eingesehen Februar 2011
- ⁶⁹ Nucleonics Week, February 3, 2011
- ⁷⁰ Nucleonics Week, February 3, 2011
- ⁷¹ EBRD 2011, s.o.
- ⁷² EBRD 2011, s.o.
- ⁷³ Pretzsch 2011, s.o.
- ⁷⁴ Spiegelonline: Moskaus teure Sünden, 20.12.2010, www.spiegel.de/spiegel/print/d-75803487.html, eingesehen Februar 2011
- ⁷⁵ EBRD 2011, s.o.
- ⁷⁶ Nucleonics Week, June 20, 2002
- ⁷⁷ International Chernobyl Center for Nuclear Safety, Radioactive Waste and Radioecology (ICC), News 07.08.2003, www.chernobyl.net, eingesehen März 2004
- ⁷⁸ Nucleonics Week, May 22, 2003
- ⁷⁹ Nucleonics Week, November 25, 2004
- ⁸⁰ Nucleonics Week, December 4, 2003
- ⁸¹ Belarus News, Meldung vom 17.12.2003, www.belarusnews.de, eingesehen im März 2004
- ⁸² Nucleonics Week, October 6, 2005
- ⁸³ Nucleonics Week, November 25, 2004
- ⁸⁴ Nucleonics Week, November 25, 2004
- ⁸⁵ Nucleonics Week, November 25, 2004
- ⁸⁶ Nucleonics Week, July 14, 2005
- ⁸⁷ Nucleonics Week, July 14, 2005
- ⁸⁸ Nucleonics Week, January 22, 2009
- ⁸⁹ Nucleonics Week, April 30, 2009
- ⁹⁰ EBRD 2011, s.o.
- ⁹¹ Arcadis 2000, s.o.
- ⁹² Nucleonics Week, June 20, 2002
- ⁹³ Nucleonics Week, January 19, 2006
- ⁹⁴ Nucleonics Week, February 7, 2008
- ⁹⁵ Nucleonics Week, February 3, 2011
- ⁹⁶ Spiegelonline: Katastrophentourismus, Ukraine will Tschernobyl für Besucher öffnen, 14.12.2010, www.spiegel.de/reise/europa/0,1518,734521,00.html#ref=rss, eingesehen Februar 2011
- ⁹⁷ Nucleonics Week, April 30, 2009
- ⁹⁸ WISE News Communiqué 547: Chernobyl the Shelter Implementation Plan, April 27, 2001
- ⁹⁹ Gesellschaft für Reaktorsicherheit, www.grs.de, eingesehen im März 2003
- ¹⁰⁰ Nucleonics Week, January 19, 2006
- ¹⁰¹ Nucleonics Week, December 4, 2003
- ¹⁰² Nucleonics Week, April 28, 2005
- ¹⁰³ Nucleonics Week, November 17, 2005

-
- ¹⁰⁴ Nucleonics Week, July 28, 2005
- ¹⁰⁵ Nucleonics Week, July 28, 2005
- ¹⁰⁶ Nucleonics Week, July 28, 2005; Nucleonics Week, December 16, 2004
- ¹⁰⁷ Nucleonics Week, February 7, 2008
- ¹⁰⁸ EBRD 2011, s.o.
- ¹⁰⁹ EBRD 2011
- ¹¹⁰ Nucleonics Week, January 19, 2006
- ¹¹¹ Nucleonics Week, November 25, 2004
- ¹¹² The Washington Post, 10. Jan. 2003
- ¹¹³ Pretzsch 2011, s. o
- ¹¹⁴ Nucleonics Week, December 4, 2003
- ¹¹⁵ Nucleonics Week, November 25, 2004
- ¹¹⁶ Nucleonics Week, October 6, 2005
- ¹¹⁷ Nuclear Monitor: Chernobyl officials nearing decision on shelter bid, WISE, December 15, 2006 |, <http://www.nirs.org/mononline/nm650.pdf>, eingesehen Februar 2011
- ¹¹⁸ EBRD 2011, s.o.
- ¹¹⁹ Pretzsch 2011, s.o.
- ¹²⁰ EBRD 2011, s.o.
- ¹²¹ **GRS 2010:** Gesellschaft für Anlagen und Reaktorsicherheit (GRS): GRS-Projekte für Tschernobyl, 22.04.2010, www.grs.de/content/grs-projekte-f%C3%BCr-tschernobyl, eingesehen Februar 2011
- ¹²² BMU 2010, s.o.
- ¹²³ Nucleonics Week, February 3, 2011
- ¹²⁴ Nucleonics Week, February 3, 2011
- ¹²⁵ **ChNPP 2011b:** Chernobyl Nuclear Power Plant: NSC Construction Progress, 21.01.2011, www.chnpp.gov.ua/eng/news.php?lng=en, eingesehen Februar 2011
- ¹²⁶ EBRD 2011, s.o.
- ¹²⁷ EBRD 2011, s.o.
- ¹²⁸ ChNPP 2010b, s.o.:
- ¹²⁹ EBRD 2011, s.o.
- ¹³⁰ EBRD 2011
- ¹³¹ Nucleonics Week, January 19, 2006
- ¹³² IKE 2005, s.o.
- ¹³³ BMU 2010, s.o.
- ¹³⁴ Pretzsch 2011, s.o.
- ¹³⁵ **IAEA 2006, s.o.**
- ¹³⁶ Nucleonics Week, April 28, 2005
- ¹³⁷ Chernobyl Nuclear Power Plant: The State Specialized Enterprise „Chernobyl Nuclear Power Plant“, www.chnpp.gov.ua/eng/index.php?lng=en, eingesehen Februar 2011
- ¹³⁸ GRS 1996, s.o.
- ¹³⁹ WNA 2005, Chernobyl Accident, Sept. 2005, <http://world-nuclear.org> eingesehen Februar 2006
- ¹⁴⁰ Arcadis 2000, s.o.
- ¹⁴¹ IKE 2005, s.o.
- ¹⁴² Nuclear Engineering International: Chernobyl 3 restart proposed, December 2002
- ¹⁴³ Nucleonics Week, April 28, 2005
- ¹⁴⁴ Direktion für Entwicklung und Zusammenarbeit (DEZA): Tschernobyl Info, News vom 21.2.2005, www.chernobyl.info, eingesehen im Februar 2006
- ¹⁴⁵ Nucleonics Week, March 10, 2005
- ¹⁴⁶ **NEA 2002;** CHERNOBYL Assessment of Radiological and Health Impacts, 2002 Update of Chernobyl: Ten Years On, Nuclear Energy Agency; 2002
- ¹⁴⁷ Nucleonics Week, January 22, 2009
- ¹⁴⁸ Nucleonics Week, September 15, 2005
- ¹⁴⁹ Chernobyl Nuclear Power Plant: Main SSE ChNPP tasks for 2006, 20/02/2006, <http://www.chnpp.gov.ua/eng/news.php?lng=en&id=8>, eingesehen Februar 2006
- ¹⁵⁰ Chernobyl Nuclear Power Plant: Preparation for ChNPP decommissioning, 13.10.2010 www.chnpp.gov.ua/eng/articles.php?lng=en&pg=46, eingesehen im Februar 2011
- ¹⁵¹ NEA 2002, s.o.
- ¹⁵² Nucleonics Week, September 15, 2005
- ¹⁵³ Pretzsch 2011, s.o.
- ¹⁵⁴ Nucleonics Week, September 15, 2005
- ¹⁵⁵ Nucleonics Week, December 22, 2005
- ¹⁵⁶ Nucleonics Week, September 15, 2005
- ¹⁵⁷ Nucleonics Week, December 22, 2005
- ¹⁵⁸ FAZ.net: Tschernobyl – Bekommen wir mehr, bekommen Sie mehr, 25.10.2006; www.faz.net, eingesehen Februar 2011
- ¹⁵⁹ Nucleonics Week, December 22, 2005

-
- ¹⁶⁰ Nucleonics Week, September 15, 2005
- ¹⁶¹ Nuclear Fuel, November 1, 2010
- ¹⁶² Nuclear Fuel, November 1, 2010
- ¹⁶³ Nucleonics Week, December 22, 2005
- ¹⁶⁴ Nuclear Fuel, November 1, 2010
- ¹⁶⁵ Pretzsch 2011, s.o.
- ¹⁶⁶ Nucleonics Week, February 24, 2011
- ¹⁶⁷ Pretzsch 2011, s.o.
- ¹⁶⁸ Nucleonics Week, September 15, 2005
- ¹⁶⁹ Nucleonics Week, December 22, 2005
- ¹⁷⁰ Pretzsch 2011, s.o.
- ¹⁷¹ Wikipedia, http://de.wikipedia.org/wiki/Areva_NP, eingesehen Februar 2011
- ¹⁷² EBRD 2011, s.o.
- ¹⁷³ Nucleonics Week, January 8, 2004; Nucleonics Week, December 22, 2005
- ¹⁷⁴ **atw 2006**: Tschernobyl – 20 Jahre danach, atw 51. Jg. (2006), Heft 4, S. 251 – 253
- ¹⁷⁵ Nucleonics Week, December 22, 2005
- ¹⁷⁶ EBRD 2009, s.o.
- ¹⁷⁷ Nucleonics Week, February 24, 2011
- ¹⁷⁸ EBRD 2011, s.o.
- ¹⁷⁹ Nucleonics Week, February 3, 2011
- ¹⁸⁰ Pretzsch 2011, s.o.
- ¹⁸¹ **ChNPP 2010c**: Chernobyl Nuclear Power Plant: Liquid Radioactive Waste Treatment Plant (LRTP), 11.11.2010, <http://www.chnpp.gov.ua/eng/articles.php?lng=en&pg=14131>, eingesehen Februar 2011; Pretzsch 2011, s.o.
- ¹⁸² Pretzsch 2011, s.o.
- ¹⁸³ atw 2006, s.o.:
- ¹⁸⁴ Nuclear Engineering International (NEI): EBRD - Liquid Radwaste Treatment Plant Completion general procurement notice, Ukraine, 24.11.2009, www.neimagazine.com/story.asp?storyCode=2054818, eingesehen Februar 2011
- ¹⁸⁵ **NEI 2010**: Nuclear Engineering International (NEI): Chernobyl liquid radwaste treatment facility, Ukraine, 01.11.2010, www.neimagazine.com/story.asp?storyCode=2057924, eingesehen Februar 2011
- ¹⁸⁶ Wehner 2004: Maßnahmen zu Verbesserung der ökologischen Situation in Tschernobyl- Das RWE Nukem Projekt ICSRM, Informationskreis KernEnergie, 2004
- ¹⁸⁷ atw 2006, s.o.
- ¹⁸⁸ NEI 2010, s.o.
- ¹⁸⁹ Nucleonics Week, April 30, 2009
- ¹⁹⁰ ChNPP 2010d: Chernobyl Nuclear Power Plant: Industrial Complex for Solid Radioactive Waste Management (ICSRM), 11.11.2010, <http://new.chnpp.gov.ua/eng/articles.php?lng=en&pg=14132>, eingesehen Februar 2011
- ¹⁹¹ ChNPP2010d, s.o.
- ¹⁹² **Eichhorn 2011**, Eichhorn, H.: Industrial Complex for Solid Radwaste Management (ICSRM) at Chernobyl nuclear powerplant functionality of the facilities –Factors of success, atw 56 Jg. (2011) Heft 2, Februar, S. 105 -107
- ¹⁹³ Chernobyl Nuclear Power Plant: Permission for commissioning of Temporary Storage Facility for Solid Radioactive Waste obtained, 21/12/2010, www.chnpp.gov.ua/eng/news.php?lng=en&id=2, eingesehen Februar 2011
- ¹⁹⁴ ChNPP 2010d, s.o.
- ¹⁹⁵ Pretzsch 2011, s.o.
- ¹⁹⁶ Pretzsch 2011, s.o.
- ¹⁹⁷ Pretzsch 2011, s.o.
- ¹⁹⁸ Wehner 2004, s.o.
- ¹⁹⁹ Nucleonics Week, April 30, 2009
- ²⁰⁰ Eichhorn 2011, s.o.
- ²⁰¹ Wehner 2004, s.o.
- ²⁰² Nucleonics Week, April 30, 2009
- ²⁰³ Nucleonics Week, April 30, 2009
- ²⁰⁴ atw 2006, s.o.
- ²⁰⁵ ChNPP 2011, s.o.
- ²⁰⁶ ChNPP 2011, s.o.
- ²⁰⁷ Kondratyev: Status of the SIP Design and their Technical Evaluation; Eurosafe 2003, Paris, 25. - 26. November 2003, www.eurosafe-forum.org/files/poster6_1.pdf, eingesehen Februar 2011
- ²⁰⁸ GRS 1996, s.o.
- ²⁰⁹ ChNPP 2011, s.o.
- ²¹⁰ GRS 1996, s.o.
- ²¹¹ ChNPP 2011, s.o.
- ²¹² IAEA 2006, s.o.
- ²¹³ NEA 2002, s.o.

-
- ²¹⁴ **Pretzsch 1996:** Pretzsch, G.: Radiological Consequences of the Hypothetical Accident Roof Breakdown of the Chernobyl Sarcophagus; Proc. IAEA/EC/WHO Int. Conf. One Decade after Chernobyl, Vienna, April 8-12, 1996, IAEA-TECDOC-964, pp. 591-597, Vienna, Sept. 1997; Pretzsch 2004, s.o.
- ²¹⁵ IAEA 2006, s.o.
- ²¹⁶ IAEA 2006, s.o.
- ²¹⁷ IAEA 2006 s.o.; IKE 2005, s.o.; Pretzsch 2004, s.o.
- ²¹⁸ IAEA 2006, s.o.
- ²¹⁹ Pretzsch 1996, s.o.
- ²²⁰ Borovoi 1996, s.o.
- ²²¹ ChNPP 2011, s.o.
- ²²² IAEA 2006, s.o.
- ²²³ IAEA 2006, s.o.
- ²²⁴ GRS 2005, s.o.
- ²²⁵ IAEA 2006, s.o.
- ²²⁶ Borovoi 1996, s.o.
- ²²⁷ GRS 2005, s.o.
- ²²⁸ Karlsruhe Institut für Technologie: Hintergrundinformationen zu ausgewählten Themen zum nuklearen Störfall in Japan Ausgabe Nr. 018, 24.03.2011 www.kit.edu/downloads/Japan-Hintergrundinfo_Nr018_Einheiten_und_Groessen_00.pdf, eingesehen März 2011
- ²²⁹ BMU 2010, s.o.
- ²³⁰ Bundesamt für Strahlenschutz (BfS): Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung, Jahresbericht 2009, www.bfs.de/de/bfs/druck/uus/JB_archiv.html/#2009, eingesehen Februar 2011
- ²³¹ ChNPP 2011, s.o. :
- ²³² GRS 2005, s.o.
- ²³³ GRS 2005, s.o.
- ²³⁴ GRS 2005, s.o.
- ²³⁵ Borovoi 1996, s.o.
- ²³⁶ IAEA 2006, s.o.
- ²³⁷ ChNPP 2011, s.o.
- ²³⁸ IAEA 2006, s.o.
- ²³⁹ Arcadis 2000, s.o.
- ²⁴⁰ IAEA 2006, s.o.
- ²⁴¹ ChNPP 2011, s.o.
- ²⁴² GRS 2011, s.o.
- ²⁴³ Pretzsch 2004, s.o.
- ²⁴⁴ Pretzsch 2004, s.o.
- ²⁴⁵ GRS 2005, s.o.
- ²⁴⁶ GRS 2011, s.o.
- ²⁴⁷ IKE 2005, s.o.
- ²⁴⁸ A. Borovoy: Safety Aspects of the Object Shelter of the Chernobyl Nuclear Power Plant Unit 4; Kurchatov Institute Working Materials, IAEA, Vienna, 1995
- ²⁴⁹ Strahlentelex Nr. 234-235, 1996, Strahlentelex Nr. 244-245, 1997; WISE News Communiqué, April 27, 2001
- ²⁵⁰ Nucleonics Week, July 17, 2003
- ²⁵¹ EBRD 2011, s.o.
- ²⁵² NEA 2002, s.o.
- ²⁵³ Nucleonics Week, August 12, 2010
- ²⁵⁴ Nuclear Engineering International: Fires in Chernobyl region pose no additional health concerns, 13.08.2010
- ²⁵⁵ Nucleonics Week, August 12, 2010
- ²⁵⁶ Kraemer 2011, Kraemer, J.; Zappe, D.: Tschernobyl und die 30-km-Zone, atw 56. Jg. (2011) Heft 2, Februar.
- ²⁵⁷ Kraemer 2011, s.o.
- ²⁵⁸ Kraemer 2011, s.o.
- ²⁵⁹ BMU 2010 s.o., Kraemer 2010 s.o.
- ²⁶⁰ BMU 2010, s.o.
- ²⁶¹ Kraemer 2011, s.o.
- ²⁶² Kraemer 2011, s.o.
- ²⁶³ Gudkov, D. I. et al: Radioecological Problems of Aquatic Ecosystems of the Chernobyl Exclusion Zone; Radiobiology and Radioecology; Vol. 55 (2010), No. 2, pp. 332-339
- ²⁶⁴ Strahlentelex 2007: Artenvielfalt und Populationsdichte von Vögeln nehmen mit höherer Strahlung ab, Nr. 498-499, unter www.strahlentelex.de/Stx_07_498_S05.pdf, eingesehen im Februar 2011
- ²⁶⁵ Strahlentelex 2009, 23 Jahre nach Tschernobyl, Weniger und missgebildete Insekten und Vögel, Strahlentelex Nr. 534-535, 2. April 2009, www.strahlentelex.homepage.t-online.de/Stx_09_534_S01-02.pdf, eingesehen im Februar 2011
- ²⁶⁶ Nuclear Monitor 2009: Animals more affected by chernobyl radiation than thought, April 2, 2009, www.nirs.org/mononline/nm686.pdf, eingesehen Februar 2011
- ²⁶⁷ Nuclear Engineering International: Chernobyl radiation affects bird brain size, 14.02.2011

²⁶⁸ **BR 2011:** BR-online: Pilze und Wildschweine immer noch belastet, 2011, www.br-online.de/aktuell/bayern-25-jahre-nach-tschernobyl-DID1301314188697/kernenergie-tschernobyl-bayern-ID1300698738756.xml, eingesehen Februar 2011; Tagesschau: 424.650 Euro im Jahr für verstrahltes Wildbret, 29.07.2010, www.tagesschau.de/inland/tschernobyl110.html, eingesehen Februar 2011

²⁶⁹ Tagesanzeiger: Strahlende Schafe, 07.01.2011, www.tagesanzeiger.ch/mobile/wissen/natur/Strahlende-Schafe-/s/16042728/index.html, eingesehen Februar 2011

²⁷⁰ Kraemer 2011, s.o.

²⁷¹ Kraemer 2011, s.o.

²⁷² Kraemer 2011, s.o.

²⁷³ Nuclear Monitor, Radioactive produce still arriving at Moscow's markets, January 27, **2006 No. 641**, www.nirs.org/mononline/nm641.pdf, **eingesehen Februar 2011**

²⁷⁴ BR 2011, s.o.

²⁷⁵ Tagesspiegel: Urlaub in Tschernobyl, 06.01.2011, www.tagesspiegel.de/weltspiegel/urlaub-in-tschernobyl/3690252.html, eingesehen Februar 2011;

Spiegelonline: Katastrophentourismus, Ukraine will Tschernobyl für Besucher öffnen, 14.12.2010, www.spiegel.de/reise/europa/0,1518,734521,00.html, eingesehen Februar 2011

²⁷⁶ Kraemer 2011, s.o.