



November 2011, Reaktorruine von Tschernobyl, Ukraine: Vor Baubeginn des New Safe Confinement © EBRD

**GREENPEACE**

# 26 Jahre nach Tschernobyl

## Die Lage am Standort – keine Lösung in Sicht.

Dipl. Phys. Oda Becker, Hannover

*„Kartoffeln kann man in Tschernobyl nach wie vor anbauen, mit dem Essen muss man jedoch warten. Vielleicht 20.000 Jahre.“*

Igor Gramotkin, Leiter des AKW Tschernobyl<sup>1</sup>

V.i.S.d.P.: Alexandra Boehlke, STAND 04/2012

Greenpeace e.V. Pressestelle T 040. 3 06 18 - 340, F 040. 3 06 18 - 130, presse@greenpeace.de, www.greenpeace.de  
Anschrift Greenpeace e.V., Große Elbstraße 39, 22767 Hamburg  
Politische Vertretung Berlin Marienstraße 19-20, 10117 Berlin, T 030. 30 88 99 - 0, F 030. 30 88 99 - 30

## 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, 26 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, 26 Jahre nach der Havarie, steht Japan mitten in einer atomaren Katastrophe – in einem dicht bevölkerten, technisch hochentwickelten Land ist im vergangenen Jahr das passiert, was eigentlich, so die Atomlobby, nicht passieren kann. Gleich mehrere Reaktoren sind nach dem Erdbeben und dem Tsunami nicht mehr zu beherrschen, 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. Selbst der Atomausstieg Deutschlands wird sich noch rund zehn Jahre hinziehen. Dass er bis 2015 technisch möglich sowie sinnvoll ist, zeigt das Greenpeace-Energiekonzept „Der Plan“. 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 zügig und konsequent zu gehen.

Einleitung .....	4
Zusammenfassung .....	5
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).....	15
2.1 Zielsetzung.....	16
2.2 Kosten und Finanzierung .....	16
2.3 (Politische) Diskussionen und Kritik in der Ukraine.....	18
2.4 Zeitplan .....	19
2.5 Stabilisierung des alten Sarkophags.....	20
2.6 Das New Safe Confinement (NSC).....	21
2.7 Ungelöste Bergung der radioaktiven Stoffe.....	23
3 Gesamtsituation am Atomkraftwerk Tschernobyl .....	24
3.1 Status der Reaktorblöcke 1 – 3.....	24
3.2 Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente .....	25
3.3 Anlage zur Verarbeitung von flüssigen radioaktiven Abfällen (LRWTP) .....	27
3.4 Abfallbehandlungszentrum für feste radioaktive Abfälle (ICSRM) .....	28
3.5 Rolle der westlichen Firmen.....	30
4 Gefährdungen durch den havarierten Reaktorblock 4 .....	31
4.1 Gefahr eines Einsturzes.....	31
4.2 „Normale“ radioaktive Freisetzungen in die Luft.....	33
4.3 Gefährdung durch kontaminiertes Wasser.....	34
4.4 Gefahr einer nuklearen Kettenreaktion .....	35
4.5 Gefährdung durch Brand.....	36
4.6 Überführung in ein ökologisch sicheres System? .....	36
5 Situation in der „Verbotenen Zone“.....	37
5.1 Langzeitschäden der Ökosysteme .....	38
5.2 Umgang mit der belasteten Umwelt .....	40
Schlussfolgerungen und Ausblick.....	42

## Einleitung

Anfang 2011, im Vorfeld des 25. Jahrestages der Katastrophe von Tschernobyl, versucht die Atomlobby den Reaktorunfall als ein Argument für den weiteren Betrieb von Atomkraftwerken zu nutzen. Nach Tschernobyl, so heißt es, hätten die Betreiber die Initiative ergriffen, die Sicherheit der Atomkraftwerke zu erhöhen.

Die Katastrophe im japanischen Atomkraftwerk Fukushima zeigt aber, dass bisher keine wesentlichen Lehren aus dem Unfall in Tschernobyl gezogen wurden. Wie nach dem Unfall in Fukushima erfolgte auch nach dem Unfall in Tschernobyl eine Sicherheitsüberprüfung der Atomkraftwerke – allerdings ohne entscheidende Konsequenzen. Es bleibt abzuwarten, ob die laufenden Überprüfungen, wie z.B. der EU-Stresstest, weiter reichende Konsequenzen haben – wie die sofortige Stilllegung besonders gefährdeter alter Anlagen und / oder von Anlagen an besonders gefährdeten Standorten.

Aus dem Unfall in Tschernobyl haben einige Länder, wie z.B. Italien, (energie-) politische Konsequenzen gezogen und sich gegen die Nutzung der Atomkraft entschieden. Die Ukraine selbst setzt weiter auf Atomkraft: 15 Reaktoren an vier AKW-Standorten erzeugen fast 50 Prozent des Strombedarfs des Landes. Zwei Reaktorblöcke gingen erst 2004 ans Netz, zwei weitere Reaktoren sind in Bau.

Der Reaktorunfall belastet den Staatshaushalt der Ukraine nach wie vor. Daher will die Regierung im September 2011 Vergünstigungen und Rentenzuschüsse für die noch lebenden Tschernobyl-Liquidatoren, die häufig unter schweren gesundheitlichen Schäden leiden, streichen. Eine Gruppe von Liquidatoren versucht daraufhin am 1. November 2011 das Parlament zu stürmen.<sup>2</sup> Die Ukraine strebt zudem an, die sogenannte „Verbotene Zone“ rund um den havarierten Reaktor wirtschaftlich zu nutzen und öffnet diese – trotz bestehender Gefahren – für den Massentourismus.

Die Katastrophe im japanischen Atomkraftwerk Fukushima wird, zumindest für einen kurzen Zeitraum, das fachliche und hoffentlich auch das politische Interesse an der prekären Situation in Tschernobyl erhöhen. Vielleicht kann dies dazu dienen, dass Gelder bereitgestellt werden, um den explodierten Reaktor langfristig zu sanieren und die Auswirkungen ionisierender Strahlung auf Ökosysteme und die menschliche Gesundheit weiter zu erforschen – auch um für Fukushima zu lernen.

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

Einleitend geht das Kapitel 1 auf den Unfall am 26. April 1986 ein. Kapitel 2 stellt den sogenannten Shelter Implementation Plan (SIP), der seit 1997 Grundlage internationaler Projekte zur Sanierung des Sarkophags ist, dar und bewertet ihn kritisch. Kapitel 3 thematisiert den Status der Reaktorblöcke 1 – 3 und der Anlagen zur Behandlung und Lagerung der radioaktiven Abfälle dieser Blöcke. Kapitel 4 erläutert die Gefahren, die vom havarierten Reaktor immer noch ausgehen. Kapitel 5 skizziert die Situation in der „Verbotenen Zone“. Im abschließenden Kapitel sind die Schlussfolgerungen formuliert.

## Zusammenfassung

26. April 1986 – im Reaktorblock 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 sind 14 RBMK-Reaktoren in Betrieb, vier in Tschernobyl.

Menschliche Fehler kombiniert mit der technischen Auslegung des Reaktortyps und eine unzureichende Sicherheitskultur 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 havarierten 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 wird, einigt 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**, NSC. Im März 2012 werden die ersten Stahlteile für das NSC am Standort angeliefert. Der Bau der gigantischen Struktur (Höhe: 110 Meter, Länge: 164 Meter und Spannweite: 257 Meter) kann im April 2012 beginnen. Aufgrund des hohen Strahlenniveaus ist ihr Aufbau direkt über dem Sarkophag nicht möglich. Sie wird abseits der Anlage gefertigt und – nach aktueller Planung – im Oktober 2015 über die Ruine geschoben.

Die Umsetzung des SIP gestaltet sich bisher als problematisch. Inzwischen liegt er rund zehn Jahre hinter dem Zeitplan zurück. Die einst geschätzten Kosten von 768 Millionen US Dollar haben sich bereits fast verdreifacht, die erwarteten Kosten für den SIP liegen zurzeit bei 1,6 Milliarden Euro (rund 2,1 Milliarden US Dollar) – und das umfangreichste Projekt (die Errichtung des NSC) hat erst begonnen. Die Europäische Bank für Wiederaufbau und Entwicklung, EBRD, hat die administrative Leitung des SIP übernommen und richtet dafür den **Chernobyl Shelter Fund**, CSF, ein. Bisher sind von der EU, 23 Geberländern sowie einigen weiteren Ländern rund 1,5 Milliarden Euro eingezahlt.

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**.

## Gefahren durch den explodierten Reaktor

Das Konsortium „Stabilization“ führt von 2004 bis 2008 dringend erforderliche Stabilisierungsarbeiten am maroden Sarkophag aus. Ziel ist eine Stabilisierung für die nächsten 15 Jahre, also bis 2023. Die errechnete Wahrscheinlichkeit für einen **Zusammenbruch des Sarkophags** beträgt 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 extremen Wetterereignissen (z.B. orkanartige Stürme) und Erdbeben. Durch den Unfall hat sich der Großteil des verbliebenen Kernbrennstoffs mit Graphit und Betontrümmern zu einer Art „Lava“ verschmolzen. Im Inneren der Ruine befinden sich aber auch mehr als rund 1,5 Tonnen **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 der maroden Schutzhülle dringt aber auch **Wasser und Feuchtigkeit** in den Sarkophag ein, dadurch wird der weitere Verfall der Gebäudestruktur beschleunigt. Auch die glasartige Oberfläche der brennstoffhaltigen Reste wird dadurch zerstört, anders als früher angenommen entsteht somit (trotz Staubunterdrückungssystem) nach und nach immer mehr leicht freisetzbarer radioaktiver Staub. Zudem werden langlebige Radionuklide gelöst und eine radioaktive Flüssigkeit bildet sich. In den unteren Räumen des Sarkophags befinden sich ca. 3000 Kubikmeter kontaminiertes Wasser. Es ist zu befürchten, dass dieses nach außen gelangt. Studien wiesen inzwischen nach, dass ein kleiner Teil des Wassers im Sarkophag 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.

Es besteht die Gefahr, dass ein **Brand** auf die Ruine übergreift. Im Inneren befinden sich fast 2000 Tonnen brennbare Materialien. Im Falle eines Brands droht ein Einsturz, was erhebliche Freisetzungen verursachen würde. Durch die Hitzeentwicklung wären – auch ohne Einsturz – hohe Freisetzungen der staubförmigen Partikel zu befürchten.

Eine effektive Barriere für die Ausbreitung der radioaktiven Stoffe in die Umwelt fehlt bisher. Ob diese 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.

Aus heutiger Sicht ist nicht vorstellbar, dass der explodierte Reaktor jemals in ein ökologisch sicheres System überführt wird und damit langfristig keine Gefahr mehr von ihm ausgeht.

## Situation am AKW Standort Tschernobyl

Betreiber des AKW Tschernobyl ist seit September 2000 die State Specialized Enterprise „Chernobyl NPP“ (SSE ChNPP). Am Standort befinden sich nicht nur der havarierte Reaktorblock 4 und die Großbaustelle zur Errichtung des New Safe Confinement, sondern auch die **Reaktorblöcke 1 – 3**. Ende 2000 geht mit der endgültigen Abschaltung von Block 3 das gesamte Atomkraftwerk Tschernobyl vom Netz. Auf dem AKW-Gelände entstehen mit internationaler finanzieller Unterstützung drei Anlagen (-komplexe) zur Behandlung und Lagerung der radioaktiven Betriebs- und Stilllegungsabfälle der Blöcke 1 – 3.

Mangels eines neuen Zwischenlagers beginnen die Betreiber 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 muss dafür durch Kompaktlagerung erhöht werden. Es entspricht nicht modernen Standards. Deutsche, französische und ukrainische Gutachterorganisationen stellen erhebliche Defizite fest, u.a. in der baulichen Konstruktion und Auslegung. Dieses Lager stellt daher eine Gefahr dar.

Die Entladung der Brennelemente aus Block 3 ist seit September 2010 abgeschlossen, die Entladung aus den Lagerbecken der Blöcke 1 und 2 wird nach derzeitigem Plan 2013 beendet sein. Solange sich noch Brennelemente in den Lagerbecken der Reaktoren befinden, geht von diesen eine nukleare Gefahr aus.

Das neue **Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente** (ISF-2) soll bis 2003 errichtet werden. Das Lagerkonzept der Firma Areva NP (ehemals Framatome ANP, Frankreich) stellt sich aber als ungeeignet heraus, da einige der Brennelemente beschädigt sind und Wasser enthalten. Nach jahrelangem Disput wird der Vertrag mit Areva NP Anfang 2007 „freundschaftlich“ aufgelöst. Im September 2007 erhält die amerikanische Firma Holtec International den Auftrag zur Fertigstellung des Zwischenlagers, nach derzeitigen Plänen soll sie bis 2014/15 erfolgen.

Ein belgisch-französisch-italienisches Konsortium (Belgatom, SGN und Ansaldo) soll 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 – 3 anfallenden flüssigen Abfälle verarbeitet werden. Jahrelang befindet sich die Anlage im Zustand der „unvollständigen Errichtung“ – der Vertrag mit dem Konsortium wird 2006 aufgelöst. Der Betreiber SSE ChNPP wird die Anlage mit einigen Änderungen selber fertigstellen, auch die Abfälle aus dem Betrieb des Sarkophags sollen nun dort behandelt werden. Die Inbetriebnahme wird für 2012 erwartet.

Das deutsche Unternehmen Nukem wird im Frühjahr 2001 mit der Errichtung eines **Zentrums zur Behandlung und Lagerung fester radioaktiver Abfälle** aus den Blöcken 1 – 3 beauftragt (ICSRM). Die Fertigstellung ist für Mitte 2005 vorgesehen, erfolgt aber erst im April 2009. Die Anlage befindet sich zurzeit im Testbetrieb. Zu dem Abfallzentrum gehört auch ein **oberflächennahes Endlager (ENSDF) für schwach- und mittelradioaktive Abfälle** auf dem 17 km vom Standort entfernten Atommüllagerkomplex VEKTOR. Die Übergabe dieser Anlage an den Betreiber erfolgt Ende 2007. Laut Gutachterorganisationen (u.a. aus Deutschland [GRS]) hat das Endlager (gemessen an westlichen Standards) erhebliche Defizite. Die Aufsichtsbehörde erteilt 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 einfacher 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 wird nach dem Unfall aufgrund der hohen Kontaminationen vollständig evakuiert und zur „Verbotenen Zone“ erklärt. Heute ist diese Zone alles andere als menschenleer: Täglich befinden sich dort fast 20.000 Personen zum Arbeiten, einige Hundert (meist ältere Menschen) leben in der Zone, sie werden geduldet.

Kürzlich wurde die „Verbotene Zone“ für den Massentourismus geöffnet. Mehrere Hundert oder gar Tausend Touristen täglich werden erwartet.

In der Zehn-Kilometerzone um den havarierten Reaktor werden Cäsium-137 Bodenkontaminationen von mehr als 1500 kBq/m<sup>2</sup> gemessen. In diesem Bereich liegen der AKW-Standort sowie diverse Deponien mit radioaktiven Materialien aus den Aufräumarbeiten. Bisherige Untersuchungen gehen von insgesamt ca. 800 Deponien innerhalb der „Verbotenen Zone“ aus.

Heute (und noch für viele Jahrhunderte) gibt es in der „Verbotenen Zone“ viele offene „Quellen“ für die Ausbreitung der Radionuklide. Sie können den abgesperrten Bereich zum Beispiel mit dem Wind, dem Oberflächen- oder dem Grundwasser verlassen. Bei Hochwasser besteht die Gefahr, dass die Radionuklide aus diesen „Depots“ in den Fluss Prypjat gelangen.

Laut einer Studie der Universität Lüneburg aus 2012 sind nach atomaren Katastrophen die Langzeitschäden der betroffenen Ökosysteme größer als bisher angenommen. Es zeigt sich, dass selbst geringe Strahlendosen Pflanzen und Tiere schädigen können. Zudem bleiben in einigen Organismen die Aktivitätskonzentrationen sehr hoch – anders, als früher erwartet wurde.

Die Auswirkung der Strahlung auf die Flora und Fauna ist eines der wichtigsten – aber bisher noch ungenügend untersuchten – Probleme der „Verbotenen Zone“. Eine Studie zeigt 2007, 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 in kontaminierten Gebieten auch in der „Verbotenen Zone“ wieder für die landwirtschaftliche Nutzung freigegeben werden.

Insgesamt ist festzustellen, dass es eine große Diskrepanz zwischen den Forschungsergebnissen zu den Folgen der Strahlenbelastung einerseits und dem Umgang mit den kontaminierten Regionen andererseits gibt. Immer deutlicher wird 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 (neue Schutzhülle) Zeit zu gewinnen, um eine langfristige Lösung zu suchen, schien zunächst vernünftig. Inzwischen wird deutlich, dass an der Entwicklung einer langfristigen Lösung, die außerhalb des SIP erfolgen soll, fast nicht gearbeitet wird. Es muss befürchtet werden, dass die Ukraine nach Abschluss des SIP mehr oder weniger alleine mit diesem Problem dasteht. Noch ist eine Finanzierung der Bergung vollständig offen.

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. Brüche 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.

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 26 Jahre nach dem Super-GAU eine Gefahr vom havarierten Reaktor ausgeht. Eine wirkliche 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 sind 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 1000 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 sind insgesamt 14 Reaktoren dieses Typs in Betrieb.<sup>3</sup> Heute werden noch insgesamt elf sicherheitstechnisch nachgerüstete RBMK-Reaktoren an drei Standorten (Kursk, Leningrad und Smolensk) in Russland betrieben.<sup>4</sup>

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. 1700 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.<sup>5</sup>

## 1.1 Der Unfall

Am 26. April 1986 kommt es im Reaktor 4 des AKW Tschernobyl zum Super-GAU. Die nukleare Kettenreaktion gerät außer Kontrolle. Explosionen zerstören den Reaktorkern. Die ca. 3000 Tonnen schwere Reaktorplatte wird angehoben und der obere Teil des 64 Meter hohen Reaktorgebäudes zerstört. Teile des Kernbrennstoffs werden in die Umgebung geschleudert. Die Graphitblöcke des Reaktorkerns geraten in Brand. Durch die Explosionen und den Brand gelangen radioaktive Stoffe bis in Höhen von mehr als 1000 Metern und werden durch meteorologische Einwirkungen großräumig in Europa und darüber hinaus verteilt. Über zehn Tage wird eine große Menge an radioaktiven Stoffen freigesetzt.<sup>6</sup>

Der Unfall ereignet sich während eines Tests. Ziel ist, 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 dient also (makabererweise) einer besseren Notfallbeherrschung. Während des Tests wird zur Erfassung von Versuchsdaten eine beträchtliche Anzahl von Dokumentationskanälen verwendet, auf denen sonst Betriebswerte aufgezeichnet werden. Die dadurch fehlenden Werte erschweren später die Ermittlung von Unfallablauf und -ursache.<sup>7</sup>

Zur Klärung des Unfallablaufs dienen Augenzeugenberichte sowie nach dem Unfall durchgeführte Strahlenmessungen, Experimente und Analysen. Von außerhalb des Reaktorgebäudes wurden zwei Explosionen beobachtet. Sie erfolgen im Abstand von zwei bis drei Sekunden und führen zu starken Beschädigungen am Gebäude. Aus dem Reaktor fliegen heiße Stücke in die Höhe, die teilweise auf dem Maschinenhaus landeten.<sup>8</sup>

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.<sup>9</sup>

Der Unfall verläuft so rasant schnell ab und die Reaktionen sind so komplex, dass trotz vieler Studien bis heute 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 werden die Radionuklide großräumig verteilt, so bleibt für die nähere Umgebung eine noch größere Katastrophe aus: In Folge des thermischen Auftriebs durch den Brand im Reaktorgebäude wird der Hauptteil der radioaktiven Stoffe in Höhen zwischen 1000 und 2000 Meter verteilt. Außerdem dauert die Freisetzung zehn Tage an, in dieser Zeit ändert sich die Wettersituation mehrfach. Die radioaktiven Stoffe führen aus diesen beiden Gründen zwar in weiten Teilen Europas zu erheblichen Kontaminationen, die Konzentration der radioaktiven Stoffe wird so aber „verdünnt“ – und der katastrophale Reaktorunfall in Tschernobyl führt 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 zeichnet sich im Laufe der Jahre eine Verschiebung ab. Zunächst wird der Unfall vor allem der Betriebsmannschaft angelastet. In der ersten umfassenden internationalen Bewertung wird eine Reihe von Betriebsverstößen und die Außerbetriebnahme von Sicherheitssystemen als Unfallursache genannt – während gleichzeitig davon ausgegangen wird, dass der Reaktortyp derartige Unfälle beherrschen kann. Hauptursache für den Unfall wird in dem äußerst unwahrscheinlichen Zusammentreffen einer Nichtbeachtung der Betriebsvorschriften und eines Fehlers in der Bedienung der Anlage gesehen.<sup>10</sup>

Später zeigt sich, dass die Systemschwächen der RBMK-Reaktoren den Unfall wesentlich mitverantwortet haben. Technische Ursachen sind vor allem die gravierenden Defizite in der reaktorphysikalischen Auslegung, bei der Abschaltvorrichtung und bei den Betriebsvorschriften.<sup>1</sup> Dadurch ist bei bestimmten Betriebszuständen eine explosionsartige Leistungsexkursion möglich.<sup>11</sup>

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 wird bereits 1983 bei der Inbetriebnahme eines Reaktors gleichen Typs im AKW Ignalina (Litauen) festgestellt, diese Erfahrung wird 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 sind dem Betriebspersonal weder bekannt, noch in den Betriebs- und Störfallprozeduren eindeutig dargestellt. Auf diese Weise wird der Unfall paradoxerweise durch die Aktivierung der Reaktorabschaltung ausgelöst.<sup>12</sup>

Insgesamt stellt sich inzwischen heraus, dass alle maßgeblichen technischen Unfallursachen vorher bekannt sind. Die notwendigen Maßnahmen, die den Unfall verhindert hätten, sind vor dem Unfall konzipiert, jedoch nicht umgesetzt. 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 geschieht.<sup>13</sup>

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 ist nur möglich, weil die Sicherheitsorganisation als Ganzes versagt. Betriebserfahrungen werden nicht ausreichend ernst genommen, die Gewährleistung der Sicherheit ist nicht oberstes Gebot

---

<sup>1</sup> Bei allen RBMK Reaktoren wurden die Steuerstäbe verändert, zusätzliche Neutronenabsorber installiert und die Urananreicherung erhöht, um die Anlagen bei niedrigen Leistungen stabiler zu machen. Eine Wiederholung des Unfalls ist laut GRS heute nahezu unmöglich.

für die Betriebsführung.<sup>14</sup> Eine weitere Hauptursache des Unfalls ist also die unzureichende Sicherheitskultur.<sup>15</sup>

### 1.3 Interventionsmaßnahmen

Unmittelbar nach dem Unfall brechen im Umkreis bis 150 Meter um den Reaktor durch die herausgeschleuderten heißen Bruchstücke des Reaktorkerns Feuer aus. Glücklicherweise gelingt 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 brennt jedoch weiter.<sup>16</sup>

Nach dem Unfall wird zunächst versucht, Kühlwasser in den Reaktorkern zu pumpen. Erst am Ende des ersten Tages ist klar, dass der Reaktorkern vollständig zerstört ist. Die Einspeisung wird abgebrochen, da die beabsichtigte Kühlung nicht gelingt und zudem kontaminiertes Wasser aus der Anlage herausfließt.<sup>17</sup>

Auch nach dem Unfall werden noch große Mengen an radioaktiven Stoffen aus der Ruine in die Umgebung freigesetzt. Daher werden 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 werden mehr als 5000 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. 2400 Tonnen), um durch den Schmelzvorgang die Hitze zu absorbieren und eine gewisse Abschirmung der Gammastrahlung zu erreichen; Sand und Lehm (ca. 1800 Tonnen) als Filtermaterial für die radioaktiven Stoffe. Die aus der Luft abgeworfene Abdeckung erhöht zunächst jedoch die Temperatur und somit auch die Freisetzung von radioaktiven Stoffen. Außerdem wird befürchtet, dass die Ruine die zusätzlichen Lasten nicht aufnehmen könne. Daher wird der Abwurf gestoppt und erst nach der aktiven Phase des Unfalls fortgesetzt. Spätere Untersuchungen zeigen dann, dass die abgeworfenen Materialien ihren Zweck nur unzureichend erfüllt haben.<sup>18</sup>

Flüssiger Stickstoff soll in die Reaktorkaverne eingeleitet werden, um den Brand zu löschen und die Kernreste zu kühlen. Er steht aber nicht zu Verfügung, so wird stattdessen gasförmiger Stickstoff in den unteren Bereich der Anlage eingeblasen. Der flüssige Stickstoff wird erst nach Ende der aktiven Phase des Unfalls angeliefert, die Einspeisung wird dann nur noch für einen kurzen Zeitraum versucht.<sup>19</sup>

Da befürchtet wird, dass die Kernreste in das Kondensationsbecken durchschmelzen und dort Dampfexplosionen verursachen kann, wird versucht, das dortige Wasser zu entfernen. Diese Maßnahme ist erst zwei, drei Tage nach der aktiven Phase des Unfalls beendet. Da aber tatsächlich geschmolzener Brennstoff bis in das Kondensationsbecken gelangt, hat möglicherweise die bis dahin erzielte teilweise Entleerung die Folgen gemindert.<sup>20</sup>

Außerdem soll durch ein besonderes Kühlsystem die Fundamentplatte des Reaktorgebäudes vor der Zerstörung durch die Kernschmelze geschützt werden. Der Bau beginnt einige Tage nach der aktiven Phase des Unfalls. Das Fundament ist letztendlich nicht mehr erforderlich, da die Schmelze zu diesem Zeitpunkt bereits erstarrt ist.<sup>21</sup>

Die Maßnahmen zur Bekämpfung der Aktivitätsabgaben in der aktiven Phase des Unfalls (die ersten zehn Tage) sind nur wenig erfolgreich.<sup>22</sup> 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.<sup>23</sup> Insgesamt wird aber eher angenommen, dass die Interventionsmaßnahmen keinen wesentlichen Einfluss auf den Unfallablauf und die radiologischen Folgen haben. Nach zehn Tagen gehen die radioaktiven Freisetzungen deutlich zurück. Sie werden nicht durch die äußeren Maßnahmen, sondern durch „natürliche“ Prozesse des Unfalls (wie Erstarrung der Brennstoffreste) beendet. Diese Einschätzung wird auch dadurch bestätigt, dass die festgestellten Unfallfolgen im Reaktor durch ein unbeeinflusst ablaufendes Szenario erklärt werden können.<sup>24</sup>

## 1.4 Freisetzungen

Die erste Abschätzung der freigesetzten Radionuklide erfolgt bereits unmittelbar nach dem Unfall. Aus Messungen der Luftkontamination in der Umgebung des Reaktors und dem vorhandenen Modell zum Unfallablauf kann die Freisetzungen nur sehr grob abgeschätzt werden. Dennoch geht diese Abschätzungen 1986 in den ersten IAEA-Bericht ein und erhält so einen offiziellen Charakter.<sup>25</sup>

Die massiven radioaktiven Freisetzungen führen 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 werden. Nach systematischer Auswertung der weltweit gemessenen Luft- und Bodenkontaminationen müssen am ersten Quellterm wesentliche Korrekturen vorgenommen werden. Die Freisetzungsraten flüchtiger Spaltprodukte (wie Jod und Cäsium) sind erheblich höher, als zunächst angegeben.<sup>26</sup>

Trotz der vielen Messdaten verbleiben Unsicherheiten. Sie werden sich auch künftig kaum verringern. Denn die Aktivitätsabgaben erstrecken sich über einen Zeitraum von mehreren Tagen, in denen sich die Nuklidzusammensetzung und die Wetterverhältnisse erheblich ändern. 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) ausgeschleudert 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 2000°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.<sup>27</sup>

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

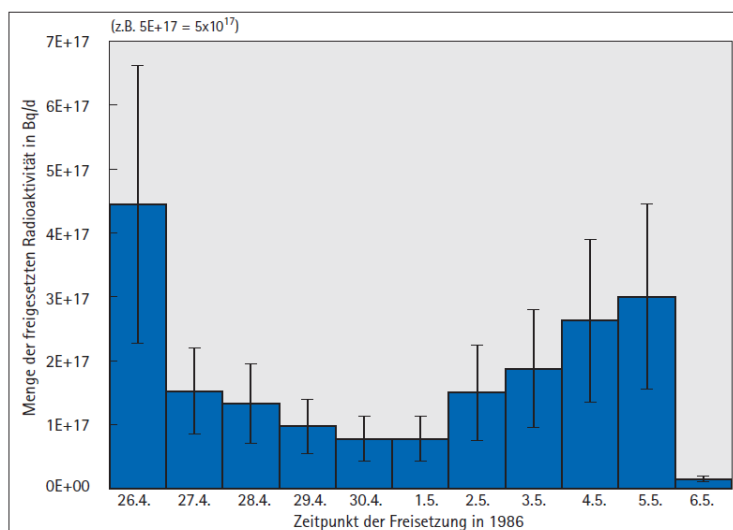


Abbildung 1: Freigesetzte Radioaktivität in den ersten zehn Tagen (mit Unsicherheitsbereichen)<sup>28</sup>

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 drei bis vier Prozent an radioaktivem Material freigesetzt wurde.“<sup>29</sup>

K. Tschetscherow, ehemals Physiker am Moskauer Kurtschatow-Institut, hielt hingegen einen viel höheren Quellterm für wahrscheinlich. Er vertritt die These, dass der größte Teil des Kernbrennstoffs (bis zu 95 Prozent) im Verlauf des Unfalls in die Umwelt geschleudert wurde. 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.<sup>30</sup> Auch wenn immer noch Unsicherheiten über die freigesetzte Menge bleiben, kann die These von Tschetscherow aufgrund der Untersuchungen des havarierten Reaktorblocks inzwischen als widerlegt angesehen werden.

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.<sup>31</sup>

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 Radiojodids und 37 bis 49 Prozent des radioaktiven Cäsiums freigesetzt wurden. Das entspricht einem Quellterm von  $1,7$  bis  $2,3 \cdot 10^{18}$  Becquerel (Bq) für Jod-131 und von  $0,95$  bis  $1,28 \cdot 10^{17}$  Bq für Cäsium-137.<sup>32</sup>

Selbst wenn sich auch in Zukunft nicht genau ermitteln lassen wird, wie viel des vorhandenen Brennstoffs freigesetzt wurde, bzw. wie hoch der Quellterm war: 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 1659 Brennstäbe<sup>2</sup> 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.<sup>33</sup>

Die brennstoffhaltigen Materialien liegen in vier Modifikationen vor: Bruchstücke von Brennelementen, erstarrte brennstoffhaltige Lava, 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.<sup>3</sup> Welcher Anteil des radioaktiven Inventars in den Reaktortrümmern liegt, kann durch Messungen und durch Bohrungen nur näherungsweise ermittelt werden. Dazu

---

<sup>2</sup> mit einem mittleren Abbrand von etwa 11 MWd/kg Uran

<sup>3</sup> 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 Sarkophags, zum verbliebenen Brennstoff und seinen Modifikationen zu sammeln, zu verifizieren und in Form einer Datenbank bereitzustellen.

werden in den ca. 1000 Räumen des Sarkophags die Ortsdosisleistung (ODL) gemessen. Die meisten Räume sind für kurze Zeit begehbar. Schwer oder nicht zugängliche Räume werden zusätzlich durch 133 Bohrkanäle erkundet. In 162 Räumen ist die ODL erhöht, mit Spitzenwerten von bis zu ca. 21.000 mSv/h.<sup>34</sup>

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 nicht möglich.<sup>35</sup>

Die Strahlungssituation in den zugänglichen Räumen ist bekannt und hängt zum einen von der Menge des radioaktiven Materials und zum anderen von der strahlungsabschirmenden Verfüllung mit Beton, Sand usw. ab. Sie variiert daher sehr. In den meisten Räumen der unteren Ebenen beträgt die ODL weniger als 10 mSv/h. In den Räumen des Nasskondensationsbeckens, in die lavaartige, brennstoffhaltige Materialien eindringen, werden ODL von bis zu einigen 10.000 mSv/h gemessen. Ähnlich hohe Werte werden auch im zerstörten „Zentralen Saal“ über Bruchstücken von Brennelementen gemessen, die unter Gebädetrümmern und Abschirmmaterialien liegen. Die ODL auf dem Dach des Sarkophags erreicht Werte von bis zu 60 mSv/h.<sup>36</sup> Zum Vergleich: ODL Werte von mehr als 3 mSv/h sind in deutschen Atomkraftwerken als Sperrbereich zu kennzeichnen.

Bei Betrachtung der GRS-Daten der einzelnen Räume wird deutlich, dass bei den Mengenangaben für fast alle Bereiche des Gebäudes Unsicherheiten bestehen, die bei rund 30 Prozent liegen.<sup>37</sup>

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.<sup>38</sup>

Auch wenn zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht ganz genau bekannt ist, wie groß die Menge an radioaktiven Stoffe sich im Inneren der Ruine genau ist: 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 nicht exakt bekannt ist.

## 1.6 Bau des Sarkophags

Nach dem Unfall wird hastig eine Umhüllung um den Katastrophenreaktor erstellt – der sogenannte Sarkophag entsteht. Dieser wird unter sehr schwierigen Randbedingungen auf den Resten des alten Reaktorblocks errichtet. Starke Strahlung verhindert zum einen eine genaue Untersuchung der Standfestigkeit der bestehenden und weiter genutzten Baustrukturen. Zum anderen müssen viele Bauteile ferngesteuert montiert werden, wodurch diese nicht immer präzise angebracht werden können, so dass Öffnungen bleiben.<sup>39</sup>

Weder bautechnische Vorschriften noch kerntechnische Normen und Sicherheitsanforderungen können im erforderlichen Umfang umgesetzt werden. So ist dieser Sarkophag von Anfang an nicht als eine dauerhafte Lösung vorgesehen, sondern für eine Standzeit von rund 30 Jahren konzipiert (maximal bis 2016).<sup>40</sup> Laut anderer Quellen ist der Sarkophag für eine maximale Lebensdauer von nur 20 bis 25 Jahren ausgelegt (2006 bis 2011).<sup>41</sup>

Auf der nördlichen Seite des Reaktors wird 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 – werden in die Kaskadenwand einbetoniert. Vor die weitgehend erhalten gebliebene Westwand des Reaktorgebäudes wird von außen eine Stahlhohlwand gestellt.

Als Stützkonstruktion für das Sarkophagdach wird die Westwand und zwei auf der Ostseite erhalten gebliebene Luftschächte aus Stahlbeton verwendet. Als Hauptstütze für das Dach wird auf dieser Konstruktion zwei Stahlträger (B1 und B2) befestigt. Stahlrohre mit einem Durchmesser von 1,2 Metern werden auf die beiden Träger gelegt und eine Dachkonstruktion aus Stahl

und Dachplatten aufgesetzt. Auf der Südseite werden zwei große Stahlträger („Mamont“ und „Osminok“) eingezogen. Diese beiden stützen sich auf Behelfsfundamente und auf verbleibende Teile des zerstörten Reaktors. Die Dachkonstruktion wird nach Süden verlängert und geht dort in das Dach des Maschinenhauses über. Auch die Kaskadenwand wird bis an das Dach geführt.<sup>42</sup>

Am 30. November 1986, nach knapp sechs Monaten Bauzeit, steht 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 verfügt, hat den Bau erstellen lassen.<sup>43</sup>

Russische Ingenieure schlagen 18 verschiedene Varianten für diese erste Schutzhülle vor, die sich in zwei Gruppen unterteilen lassen. Eine Gruppe umfasst verschiedene Vorschläge für ein hermetisch abgeschlossenes Gebäude, z.B. in Form eines Bogens oder einer Kuppel. Die zweite Gruppe schlägt vor, so viel wie möglich von dem zerstörten Gebäude zu benutzen. Aufgrund der kürzeren Konstruktionszeit und den geringeren Kosten wird die zweite Vorgehensweise ausgewählt – obwohl damit zwei wesentliche Nachteile verbunden sind: die nicht bekannte Stabilität der verbliebenen Strukturen und der nicht dichte Abschluss der Ruine. Die Vorgehensweise ermöglicht jedoch den Weiterbetrieb des angrenzenden Nachbarblocks, der über das gemeinsame Maschinenhaus und das Hilfsanlagegebäude mit dem explodierten Reaktor verbunden ist.<sup>44</sup>

## 2 Der Shelter Implementation Plan (SIP)

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

1992 schreibt die Ukraine auf internationaler Ebene einen Konzeptwettbewerb zur Überführung des explodierten Reaktors in einen sichereren Zustand aus. Mehr als 400 Vorschläge werden eingereicht. Kein Vorschlag erfüllt jedoch die Anforderungen. Im Rahmen dieses Wettbewerbs wird grundsätzlich die Errichtung eines neuen Schutzbauwerks favorisiert.<sup>45</sup>

1994 vergibt dann die Europäische Kommission eine Machbarkeitsstudie zur Errichtung eines neuen Schutzes an das Konsortium „Alliance“. Leitung hat die französische Firma Campenon Bernard SGE, beteiligt sind die Firmen Bouygues und SGN (beide Frankreich), Taywood Engineering (Großbritannien), Walter Bau (Deutschland) sowie ukrainische und russische Firmen. In dieser Studie entsteht das Konzept, den zerstörten Block 4 sowie den unmittelbar angrenzenden (und damals noch laufenden) Block 3 einzuhüllen. Die Kosten für dieses Bauwerk werden auf drei bis vier Milliarden US\$ geschätzt. Auch dieses Konzept wird verworfen – u.a. weil die Ukraine den Block 3 weiter betreiben will.<sup>46</sup>

Letztendlich findet kein in den Jahren 1992 bis 1996 von russischer, ukrainischer und westlicher Seite entwickeltes Konzept allgemeine Akzeptanz.<sup>47</sup> Sie werden international vor allem deshalb verworfen, weil die vorgeschlagenen technischen Lösungsansätze zu aufwendig und zu kostenintensiv sind.

Auf dem G7-Gipfel im Juli 1994 (Neapel) wird der Ukraine ein Zusammenarbeitsprogramm für die Stilllegung des AKW Tschernobyl vorgeschlagen.<sup>48</sup> Im Dezember 1995 wird zwischen den G7-Staaten, der Europäischen Kommission und der Ukraine ein „Memorandum of Understanding“ (MoU) zur Stilllegung des AKW Tschernobyl vereinbart. Auf dieser Basis werden – 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 nachhaltigen sicheren Zustand – kann keiner der untersuchten Lösungsansätze zufriedenstellend erfüllen. Daher empfiehlt die Untersuchung ein Vorgehen in mehreren Stufen. Dieses Konzept findet die Zustimmung der Verantwortlichen in der Ukraine und den G7-Staaten. Der Durchführungsplan zur Sicherung des havarierten Reaktors wird im Frühjahr 1997 durch Experten aus den USA, Japan, Europa und der Ukraine aufgestellt.<sup>49</sup>



Im Mai 1997 stimmen die Ukraine, die EU und die G7-Staaten dem sogenannten Shelter Implementation Plan (SIP) zu.<sup>50</sup> Dieser ist seitdem Grundlage der internationalen Zusammenarbeit. Auf dem G7-Gipfel in Köln 1999 sowie auf allen nachfolgenden Gipfeln erneuern die G7- bzw. später die G8-Staaten und die Europäische Kommission ihre Verpflichtung zur Umsetzung des MoU mit der Ukraine.<sup>51</sup>

## 2.1 Zielsetzung

Der Shelter Implementation Plan (SIP) gliedert sich zu Beginn in 22 Teilprojekte (Tasks) mit insgesamt 248 Arbeitsschritten – ohne jedoch technische Lösungsvorschläge zu geben. Er definiert besonders vordringliche Aufgaben (Early Biddable Projects), die zunächst umgesetzt werden sollen. Der SIP beinhaltet auch die Integration von geplanten, laufenden oder abgeschlossenen bilateralen und ukrainischen Projekten, sowie die Optimierung des Genehmigungsprozesses.<sup>52</sup>

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.<sup>53</sup>

Die Ziele dieses Plans 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 (siehe Kapitel 2.6). Dies ist mit rund zwei Drittel der Kosten das größte Projekt.<sup>54</sup>

Der SIP muss gegenüber der Anfangsplanung erweitert werden und umfasst inzwischen 297 Arbeitsschritte.<sup>55</sup> Während der Durchführung stellt sich z.B. heraus, dass die Errichtung der erforderlichen Infrastruktur für den Bau der neuen Schutzhülle zunächst nicht vorgesehen ist.

## 2.2 Kosten und Finanzierung

Die Europäische Bank für Wiederaufbau und Entwicklung (European Bank for Reconstruction and Development, EBRD) übernimmt die administrative Leitung des Shelter Implementation Plan (SIP) und richtet im September 1997 den Chernobyl Shelter Fund (CSF) ein. Die Gesamtkosten des SIP werden zu Beginn auf 768 Millionen US\$ geschätzt. Der größte Teil soll von den G7-Staaten und der Europäischen Union bereitgestellt werden. Die Ukraine verpflichtet sich zu einem Beitrag in Höhe von 50 Millionen US\$. Der G7-Gipfel im Juni 1997 (Denver) stellt die ersten 300 Millionen US\$ bereit.

Auf der ersten Geberkonferenz im November 1997 in New York werden weitere Staaten aufgefordert, sich an den Kosten zu beteiligen. 25 Ländern sagen insgesamt Beiträge in Höhe von rund 400 Millionen US\$ zu. Weitere Geberkonferenzen finden im Mai 2000 (Berlin) und im April 2005 (London) statt.<sup>56</sup>

Nach offiziellen Angaben liegen die Arbeiten im Jahr 2002 noch im Rahmen des Budgets, eine Überschreitung wird nicht erwartet. Im August 2003 gibt der ukrainische Energieminister dann bekannt, dass (aufgrund von veränderten Arbeitsschutzbestimmungen und gestiegenen Finanzierungskosten) die Projektkosten steigen werden.<sup>57</sup>

Anfang 2004 liegen die erwarteten Kosten bei 978 Millionen US\$<sup>58</sup> (780 Millionen Euro), Anfang 2005 bei ca. 1,1 Milliarden US\$<sup>59</sup> (rund 845 Millionen Euro) und Anfang 2008 bei ca. 1,39 Milli-



arden US\$<sup>60</sup> (rund 1,016 Milliarden Euro). Ein Bericht der Europäischen Kommission warnt 2008 vor einem Finanzierungsdefizit.<sup>61</sup>

Die EBRD überweist 2009 einen Teil ihres Jahresgewinns 2007 von 1,1 Milliarde Euro<sup>62</sup> in den Fond. Diese Zuwendung in Höhe von 58 Millionen Euro ist als ein „Katalysator“ für die erforderlichen weiteren Beiträge der internationalen Gebergemeinschaft gedacht.<sup>63</sup>

Bis Anfang 2011 werden insgesamt 864 Millionen Euro in den CSF eingezahlt.<sup>64</sup> Die Beiträge kommen von der Europäischen Union (29 Prozent) sowie von 23 Geberländern (siehe Tabelle 1). Zusätzlich zahlen sechs weitere Länder (Island, Israel, Korea, Portugal, Slowakei und Slowenien) in den Fond ein.<sup>65</sup> Deutschland ist dabei mit 60 Millionen Euro direkt und einem weiteren Beitrag über die EU größter Geber.<sup>66</sup> Russland hat von allen G8-Ländern den kleinsten Beitrag beigesteuert. Laut eines Medienberichts wirft Kommissionspräsident Barroso auf dem EU-Russland-Gipfel Ende 2010 daher der russischen Regierung vor, hohe Summen für den Bau neuer Reaktoren bereitzustellen<sup>4</sup>, für die Folgen des Atomunfalls von Tschernobyl aber nur unzureichend zu zahlen.<sup>67</sup> In Tabelle 1 sind die Beiträge der Geberländer bis Ende 2010 zusammengestellt.

Tabelle 1: Beiträge der Geberländer und der EU zum CSF (Stand 2010)<sup>68</sup>

	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 <sup>5</sup>	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
	<b>gesamt</b>	<b>860,70</b>	<b>100,0</b>

<sup>4</sup> Der Neubau von Atomkraftwerken wurde in 2010 mit 1,7 Milliarden Euro finanziert.

<sup>5</sup> Die Ukraine hat zugesagt, weitere 22 Millionen US\$ zum SIP beizusteuern.

Am 25.01.2011 verkündet der Direktor der EBRD auf einer Pressekonferenz, dass weitere 600 Millionen Euro für das NSC sowie weitere 140 Millionen für das Zwischenlager benötigt werden. Er zeigt sich zuversichtlich, die Summe von 740 Millionen Euro auf der nächsten Geberkonferenz zu erhalten – da auf der G8-Konferenz im Juni 2010 alle Geberländer ihre Unterstützung für die Tschernobyl-Projekte bestätigt hatten. Die Geberkonferenz findet im April 2011 in Kiew statt, kurz vor dem 25. Jahrestag des katastrophalen Unfalls.<sup>69</sup>

Dort werden allerdings nur insgesamt 550 Millionen Euro zugesagt. Einige der Geberländer wie Irland, Spanien und Kanada machen keine Zusagen und verweisen auf wirtschaftliche Schwierigkeiten. Auch Japan stellt angesichts der Katastrophe im eigenen Land keine zusätzlichen Mittel zur Verfügung. 28 Länder stellen neue Beträge bereit (Frankreich z.B. 47 Millionen Euro), einige weitere Länder bekunden ihre grundsätzliche Zahlungsbereitschaft.<sup>70</sup> Nach einer weiteren Geberkonferenz am 7. Juli 2011 in London sind dann insgesamt 670 Millionen zugesagt.<sup>71</sup> Die ukrainische Regierung gibt daraufhin bekannt, dass mit dem Bau des New Safe Confinement begonnen werden kann. Da die Länder nur einen Betrag beisteuern, ist nicht klar, wie sich die 670 Millionen Euro auf die beiden Projekte (Schutzhülle und Zwischenlager) aufteilen.<sup>72</sup>

Die geschätzten Gesamtkosten liegen zurzeit bei 1,54 Milliarden Euro bzw. (laut EBRD) bei rund 1,6 Milliarden Euro (rund 2,1 Milliarden US\$).<sup>73</sup> Diese Kosten sind bereits jetzt fast dreimal so hoch, wie ursprünglich veranschlagt! Da das umfangreichste Projekt (die Errichtung des NSC) erst 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 mehr als problematisch. Im Jahr 2002 kommt sie deutlich ins Stocken. Auf internationalen Druck weist 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.<sup>74</sup>

Im August 2003 beschließt die Regierung der Ukraine ein Tschernobyl-Gesamtprogramm festzulegen. Vorher werden die Tschernobyl-Aktivitäten in einzelnen, kurzzeitigen Projekten durchgeführt.<sup>75</sup> Außerdem werden angeblich in einigen Fällen Tschernobyl-Haushaltsmittel zur Finanzierung anderer Aufgaben verwendet. Die Zuständigkeit für das AKW Tschernobyl wird vom Energieministerium, das den Tschernobyl-Fragen angeblich nicht genügend Aufmerksamkeit widmen konnte, an das Katastrophenschutzministerium übergeben.<sup>76</sup>

Auch das technische Konzept der neuen Schutzhülle wird immer wieder in Frage gestellt. Eine von einem ukrainischen Professor geführte Gruppe spricht sich 2003 gegen die Pläne des SIP aus und verfiert stattdessen das „Monolith“ Konzept, das 1991 russische Wissenschaftler vorgeschlagen haben. 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.<sup>77</sup> Die Gruppe hat Unterstützer unter den Parlamentariern, die den Behörden Misswirtschaft bei den gesamten Tschernobyl-Fragen vorwerfen und eine parlamentarische Untersuchung fordern.<sup>78</sup>

Ein Mitglied des Parlamentsausschusses für Energiefragen vertritt im Dezember 2003 die Meinung, dass die Regierung das westliche Geld für unnötige Beratungsleistungen und für Planungen aussichtsloser Projekte ausgabe. Der Abgeordnete betont, dass, solange sich radioaktive Stoffe unter dem Sarkophag befinden, Tschernobyl für die Umwelt eine Gefahr darstelle.<sup>79</sup> Letztendlich wird das Konzept des New Safe Confinement nach langen und heftigen Diskussionen im Juli 2004 vom ukrainischen Kabinett angenommen.<sup>80</sup>

Aber das Konzept bleibt auch im Jahr 2004, während bereits die Ausschreibung zur Errichtung läuft, Gegenstand kontroverser Diskussionen. Ukrainische und russische Gegner des Konzepts fordern die ukrainische Regierung erneut auf, es aufzugeben und ein anderes Schutzkonzept zu wählen. Nach Meinung der Kritiker liegen 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 insbesonde-

re 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) sieht zwar ebenfalls einen bogenförmigen Schutz vor, allerdings aus Stahlbeton, der eine stärkere Abschirmung gewährleisten kann.<sup>81)</sup>

Als die Errichtung einer neuen Schutzhülle als grundsätzliche Lösungsvariante für den explodierten Reaktor 4 gewählt wird, sind 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 fordern deshalb 2004, die internationalen Geldgeber darüber zu informieren, dass das New Safe Confinement die Probleme nicht löst.<sup>82)</sup>

Als Alternative zum jetzigen technischen Konzept wird von dem staatseigenen Forschungs- und Entwicklungsbüro Yuzhnoye das „Dock-Caisson“-Konzept entwickelt. Die Auslegung ist ähnlich dem nun verfolgten Bogenkonzept, 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.<sup>83)</sup>

Neben der Kritik am technischen Konzept des NSC im Rahmen des SIP wird häufig Kritik an der Rolle der westlichen Firmen hierbei geäußert. Der Leiter des Parlamentarischen Komitees der ökologischen Konsequenzen von Tschernobyl vermutet, 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 werden. Laut EBRD sind 60 Prozent der Subunternehmen der beiden Konsortien, die sich für den Bau des NSC bewerben, Unternehmen aus der Ukraine.<sup>84)</sup>

Die Regierung der Ukraine und die EBRD einigen 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.<sup>85)</sup>

Nach langen Jahren heftiger interner Diskussionen stimmt das ukrainische Parlament am 15. Januar 2009 endgültig dem Bau des NSC zu.<sup>86)</sup> Aber die Gegenstimmen verstummen nicht, im April 2009 kritisieren ukrainische Experten, die Umsetzung des SIP verläuft viel langsamer und kostet viel mehr als erwartet. Der Chef der ukrainischen Volkspartei weist nochmals darauf hin, dass vom havarierten Reaktorblock 4 eine Gefahr ausgehe, solange dieser radioaktive Massen enthält.<sup>87)</sup>

## 2.4 Zeitplan

Auch unabhängig von den Schwierigkeiten auf politischer Ebene verlängert sich die Planungsphase für die einzelnen Schritte aufgrund technischer Probleme, die bei der Umsetzung der im Shelter Implementation Plan (SIP) oft sehr allgemein gehaltenen Angaben auftreten. Auch die konkreten Ausführungen dauern aufgrund verschiedenster Probleme zum Teil deutlich länger als erwartet. Zudem stellt sich während der Durchführung des SIP heraus, dass die erforderliche Infrastruktur weder vorhanden, noch im Rahmen des SIP vorgesehen ist.<sup>88)</sup>

Von Anfang an wird von einer verhältnismäßig langen Laufzeit für den SIP ausgegangen. Im Wesentlichen aus zwei Gründen: Zum einen herrschen schwierige Arbeitsbedingungen aufgrund hoher Strahlenbelastungen und eingeschränkter Standfestigkeit des Sarkophags. Zum anderen können viele technische Details, deren Kenntnis für die Planung einzelner Arbeitsschritte notwendig ist, erst im Verlauf der Arbeiten bestimmt werden.<sup>89)</sup>

Bei Beginn 1997 wird für die Realisierung des SIP zunächst ein Zeitraum von acht bis neun Jahren angenommen<sup>90)</sup>, Mitte 2002 verschiebt sich der vorgesehene Projektabschluss bereits von 2005 auf 2007.<sup>91)</sup> Anfang 2006 wird die Fertigstellung des New Safe Confinement im Jahr 2010<sup>92)</sup> und Anfang 2008 im Jahr 2012 erwartet.<sup>93)</sup>

Im Januar 2011 wird von Seiten der EBRD mit einer Fertigstellung in 2014 gerechnet – allerdings nur, wenn die erforderlichen Gelder bereitgestellt werden.<sup>94</sup> Da dieses erst mit Verzögerung geschieht, wird im Frühjahr 2011 mit der Fertigstellung im Sommer 2015 gerechnet.<sup>95</sup> Laut EBRD wird jetzt Oktober 2015 anvisiert.<sup>96</sup>

Bei der endgültigen Genehmigung des SIP durch den ukrainischen Staat am 15. Januar 2009 wird keine Deadline für die Inbetriebnahme des neuen Schutzes genannt. Ukrainische Medien berichten 2009, dass die Gefahr einer Verzögerung des Baus um weitere ein bis drei Jahre bestehe, da es Abweichungen zwischen den Standards des französischen Auftragnehmers und den Sicherheitsstandards der Ukraine gibt.<sup>97</sup>

Insgesamt stellen sich bisher die im Vorfeld aufgestellten Zeitpläne als vollkommen unrealistisch heraus. Zum jetzigen Zeitpunkt wird von einem Umsetzungszeitraum von 18 Jahren ausgegangen, zehn Jahre länger, als ursprünglich veranschlagt! Es ist zu befürchten, dass sich weitere Verzögerungen während der Errichtung der riesigen Schutzhülle ergeben.

## 2.5 Stabilisierung des alten Sarkophags

In den ersten beiden Jahren des Shelter Implementation Plans (bis Ende 1999) werden nur die dringendsten Stabilisierungsmaßnahmen durchgeführt, z.B. am Schornstein zwischen den Blöcken 3 und 4.<sup>98</sup>

Weitere Maßnahmen werden über mehrere Jahre diskutiert<sup>99</sup>, aber nichts geschieht. Erst im Juli 2004 kommt es zum Vertragsabschluss mit dem Konsortium Stabilization, das aus der russischen Firma „AtomStroyExport“ (ASE) und der ukrainischen Firma „YuzhTeploEnergoMontazh“ (YUTEM) besteht.<sup>100</sup> Laut Pressemeldungen ist dieses Konsortium der einzig qualifizierte Anbieter. Insgesamt gehen zwei Angebote für die Stabilisierungsarbeiten ein. Das zweite Angebot reicht ein Konsortium westlicher Unternehmen unter der Leitung des französischen Bauunternehmens Vinci ein. Diese Gruppe bietet jedoch nur einen Teil der Arbeiten an.<sup>101</sup>

Nach einer langen Pause werden im November 2004 die dringend erforderlichen Stabilisierungsmaßnahmen fortgesetzt. Im Mai 2005 beginnen die Arbeiten an einem der beiden Stahlträger (Mamont), die das Dach halten. Die Arbeiten sollen im Juni 2005 beendet sein.<sup>102</sup> Die Verstärkung der westlichen Stütze des Stahlträgers, die ursprünglich als eine der leichtesten Maßnahmen des Stabilisierungsprojekts betrachtet wird, endet erst im November 2005. Unerwartet hohe Dosisleistungen auf dem Baugelände erfordern eine Änderung der Auslegung, stärkere Abschirmungen und längeres Training der Beschäftigten.<sup>103</sup>

Ein Teil der Stabilisierungsarbeiten muss im Mai 2005 für etwa zwei Monate unterbrochen werden, da es zu einer internen Strahlenbelastung der Beschäftigten kommt. Es wird nur bekannt, dass die Kontamination während der Stabilisierungsmaßnahmen am Kamin der Entlüftungsanlage auftritt. Dieser wird beim Reaktorunfall schwer beschädigt und kippte um rund einen Meter zu Seite. Um das Risiko eines Zusammenbruchs zu verringern, werden sieben zusätzliche Metallstützen unterhalb der Bodenplatte installiert. Dazu muss zunächst die Bodenplatte verstärkt werden. Die gefährlichsten Arbeiten werden innerhalb des havarierten Reaktors ausgeführt, dort ist die Strahlung hoch und die Struktur sehr instabil. Jede Arbeitsschicht darf nicht länger als eine Stunde dauern. Auch dort, wo die Fundamente für die o.g. Metallstützen gebaut werden, ist die Strahlendosisleistung 2500 Mal höher als die Hintergrundstrahlung in Kiew.<sup>104</sup>

Das Sicherheitskomitee, das ab 2005 die Stabilisierungsarbeiten überwacht und in dem auch die Betreiber des AKW und die EBRD vertreten sind, gibt 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 wird geäußert, dass früher unerlaubte Strahlenbelastungen nicht entdeckt wurden, denn erst die EBRD fordere eine vollständige medizinische Überwachung aller Personen, die an der Stabilisierung arbeiten. Die Stabilisierungsarbeiten sind jedoch nicht nur wegen der hohen Dosisleistung, sondern zusätzlich auch aufgrund der Höhen, in der sie teilweise stattfinden, gefährlich. Im Frühjahr 2005 stürzen drei Beschäftigte von einer hohen Struktur, einer verunglückte dabei tödlich.<sup>105</sup>

Die Rekrutierung von Personal erweist sich als ein kritischer Punkt für die Stabilisierungsmaßnahmen. Es werden zwar Roboter eingesetzt, aber die Hauptarbeit muss – genau wie bei der Errichtung des Sarkophags – von Menschen (damals „Bioroboter“ genannt) erledigt werden. Eine medizinische Untersuchung hat dazu geführt, dass rund 40 Prozent der Bewerber zurückgewiesen werden, da sie an den verschiedensten Krankheiten leiden. Ein personeller Engpass entsteht, und die Arbeiten verzögern sich. Die Stabilisierungsfirmen versuchen Beschäftigte von Firmen anzuheuern, die an anderen AKW-Standorten arbeiten. Im Vorfeld sind sie davon ausgegangen, vor Ort genug Kandidaten zu finden, da die Löhne mit mehr als 1000 US\$ pro Monat vergleichsweise hoch sind. Die an den Stabilisierungsmaßnahmen beteiligten Personen werden in einem Trainingscenter ausgebildet und kontinuierlich überwacht. Ukrainische Experten haben Schutzkleidung aus Blei entwickelt, die mehr als zehn Kilogramm wiegt.<sup>106</sup>

Nach Abschluss der geplanten Stabilisierungsmaßnahmen zeigt sich, dass diese nicht ausreichend sind. So wird das gleiche Konsortium im Januar 2008 erneut beauftragt. Weitere dringende Reparaturen betreffen das Dach des Sarkophags.<sup>107</sup> Nach Abschluss dieser Arbeiten werden nun 80 Prozent der Last des Dachs von einer neu errichteten externen Struktur getragen.<sup>108</sup> Die Stabilisierungen erfolgen insgesamt von 2004 bis 2008, sie sollten ursprünglich bis Ende 2006 abgeschlossen sein. Laut EBRD bleibe die Stabilisierungsarbeiten im Rahmen der Kostenschätzungen von rund 50 Millionen US\$.<sup>109</sup>

Die Zielsetzung der Stabilisierungsmaßnahmen kann laut EBRD erreicht werden. Sie ist allerdings von geringer Nachhaltigkeit: Der existierende Sarkophag soll nur für die nächsten 15 Jahre stabilisiert werden. Damit soll 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.<sup>110</sup>

## 2.6 Das New Safe Confinement (NSC)

In den Jahren 2001 bis 2003 erstellt 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.<sup>111</sup>

Am 11. März 2004 veröffentlicht die EBRD die Ausschreibung für die Errichtung des New Safe Confinement. Sie wurde in zwei Stufen durchgeführt. An der ersten Stufe beteiligen sich drei Gruppen. Ein Angebot kommt 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 ist Teil des Konsortiums Alliance, das die Originalidee der Konstruktion eines neuen Shelters hatte.<sup>112</sup>) Die zweite Gruppe wird von der amerikanischen Firma CH2M Hill geleitet und schließt die großen ukrainischen Baufirmen Interbudmontazh und Yuzmontazh ein. Als dritte Gruppe beteiligt sich die Aleksandroff Gruppe aus Frankreich (unter der Leitung zweier aus Russland stammender Architekten).

Die Aleksandroff Gruppe bietet ein anderes Konzept für die Schutzhülle an, als in der Ausschreibung verlangt wird. Ihr Angebot sieht auch den Abbau der Ruine vor, der durch den Nachbarblock erfolgen soll. Als Schutzhülle ist eine Aluminiumstruktur geplant, die weniger massiv als eine Stahlkonstruktion ist. Einige der beteiligten Unternehmen steigen jedoch aus dem Konsortium kurzfristig aus – angeblich auch auf politischen Druck. Da das Angebot nicht vollständig ist, lehnt es die EBRD ab.<sup>113</sup>

Die beiden verbleibenden Anbieter werden im September 2005 eingeladen, an der zweiten Stufe der Ausschreibung teilzunehmen, die auch Kostenangaben beinhaltet. Die Novarka Gruppe nennt 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 heißt es, der Gewinner werde noch Ende 2005 bekannt gegeben.<sup>114</sup> Da die genannten Kosten der Novarka Gruppe niedriger sind, muss nach den Regeln der EBRD zunächst mit dieser verhandelt werden. Dabei kommt es offenbar zu Kontroversen. Im September 2006 weisen die Betreiber des AKW Tschernobyl eigenmächtig das Angebot des Konsortiums Novarka zurück.<sup>115</sup> Schlussendlich erhält am 17.

September 2007 aber doch das europäische Konsortium Novarka den Vertrag zum Bau des New Safe Confinement.<sup>116</sup>

Zur Unterstützung der ukrainischen Genehmigungs- und Aufsichtsbehörde wird zur gutachterlichen Begleitung ein Konsortium (SIP-Licensing Consultant, SIP-LC) aus US-amerikanischen, französischen und deutschen Expertenorganisationen eingerichtet.<sup>117</sup>

Das New Safe Confinement ist als eine passend gefertigte, wetterfeste Schutzhülle geplant, die den alten Sarkophag und die Überreste des explodierten Reaktors komplett überdeckt. 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. Das New Safe Confinement wird die größte je gebaute bewegliche Struktur.<sup>118</sup>

Die Planer wählen laut eigenen Angaben eine „altbewährte“ Stahlkonstruktion – statt einer neuen, unerprobten Technik – um gefährliche Reparatur- und Wartungsarbeiten zu minimieren. Es ist jedoch zu erwarten, dass ein so gigantisches technisches Projekt nicht ohne erhebliche technische Schwierigkeiten durchgeführt werden kann. 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.<sup>119</sup>

Das New Safe Confinement (NSC) besteht aus einer bogenförmigen Metallrohrkonstruktion mit einem Gewicht von 29.000 Tonnen, einer Höhe von 110 Metern, einer Länge von 164 Metern und einer Spannweite von 257 Metern.<sup>120</sup> An der Konstruktion wird eine doppelwandige Außenhaut angebracht, die den explodierten Reaktor mit seinen radioaktiven Materialien gegenüber der Außenwelt isolieren soll.<sup>121</sup> 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.<sup>122</sup>

Die Gesamtstruktur entsteht in zwei Teilen. Diese wird laut aktuellem Zeitplan 2015 zusammengesetzt und über den Sarkophag geschoben.<sup>123</sup> Für die „Schienen“ werden insgesamt 396 Pfähle mit einer Länge von 25 Metern und einen Durchmesser von einem Meter 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.<sup>124</sup>

Vor der Errichtung des riesigen New Safe Confinement muss eine entsprechende Infrastruktur installiert werden. Der Baubereich erhält einen neuen Straßen- und Schienenanschluss, auch die Elektrizitäts- und Wasserversorgung wird umfassend erneuert. Im Rahmen des SIP werden weiterhin umfangreiche Strahlenschutz- und Notfallprogramme entwickelt sowie ein Flügel im Krankenhaus der nahegelegenen Stadt Slavutich erneuert und entsprechend ausgerüstet. Zudem werden Trainingsmaßnahmen zur Einführung einer neuen Sicherheitskultur durchgeführt. Für das Personal entsteht ein modernes Gebäude zur medizinischen Versorgung (inklusive Notfallstation und Strahlungsüberwachung).<sup>125</sup>

Im Jahr 2010 werden auf dem Gelände Vorbereitungsarbeiten für die Errichtung des NSC durchgeführt. Zunächst wird der Errichtungsbereich aufgeräumt. Ziel der Aufräumarbeiten ist eine Verringerung des Strahlenniveaus, so dass Personen dort ohne Schutzanzug arbeiten können.<sup>126</sup> Dann werden mehrere Gebäude umgesetzt und Aushebungsarbeiten für das Fundament erfolgen. Dabei müssen große Mengen an kontaminierten Boden und hochradioaktiven Materialien gehandhabt werden. Es handelt sich um 32.000 Kubikmeter festen radioaktiven Abfall sowie um große Baumaschinen, die dort während des Baus des Sarkophags vergraben wurden. Parallel zur Aushebung startet im August 2010 die Errichtung der Pfähle für die „Schienen“.<sup>127</sup> Ende 2010 beginnt die Erstellung der Plattform, auf der die Kräne und Gleitelemente installiert und die vorgefertigten Stahlelemente des NSC zusammengebaut werden.<sup>128</sup>

Am alten Sarkophag wird Ende 2010 das integrierte automatische Kontrollsystem (IACS) installiert.<sup>129</sup> Damit sollen 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.<sup>130</sup> Bevor das NSC über den Sarkophag geschoben werden kann, muss der alte Abluftkamin des Reaktorblocks abgebaut und eine neuer errichtet werden. In diesem Zusammenhang muss das Lüftungssystem modernisiert werden. Die Arbeiten dazu beginnen im Jahr 2011 und sollen 2012 abgeschlossen werden.<sup>131</sup>

Mitte März 2012 trifft am Standort die erste Lieferung für den NSC (bestehend aus 149 Tonnen Stahl) per Bahn aus Italien ein. Eine zweite Ladung mit 1030 Tonnen startet auf dem Seeweg mit Ziel Odessa. Die Montagearbeiten der Stahlteile sollen im April 2012 beginnen.<sup>132</sup> Am 27. März 2012 verkündet der ukrainische Präsident gegenüber der Presse, dass die Errichtung am 26. Jahrestag des Reaktorunfalls starten wird.<sup>133</sup> Die neue Struktur soll im Oktober 2015 über den bestehenden Sarkophag geschoben werden.<sup>134</sup>

Um die Sicherheit der Beschäftigten zu garantieren, ist ein integriertes Kontrollsystem am NSC geplant, weiterhin werden Systeme zum Brandschutz und zur Sicherung sowie eine Blitzschutzanlage installiert.<sup>135</sup> Es wird geschätzt, dass 2500 bis 3000 Personen am Bau beteiligt sein werden.<sup>136</sup>

## 2.7 Ungelöste Bergung der radioaktiven Stoffe

Während und nach den Explosionen des Reaktors entstehen aus dem Kernbrennstoff (aufgrund physikalischer und thermochemischer Prozesse) verschiedene Modifikationen, die mit anderen Materialien verschmelzen oder sich mit diesen vermischen. Dadurch werden 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.<sup>137</sup>

Im Rahmen des Shelter Implementation Plan (SIP) ist weder festgelegt, 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 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.<sup>138</sup> Es wird jedoch nicht direkt gesagt, dass dieses erst zu einem späteren noch nicht bestimmten Zeitpunkt durchgeführt werden soll.<sup>139</sup>

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.

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.<sup>140</sup> Der Abbau der restlichen Strukturen ist erst innerhalb der nächsten Jahrzehnte vorgesehen. Aus heutiger Sicht ist unvorstellbar, dass innerhalb dieses Zeitrahmens die Bergung der brennstoffhaltigen Massen stattfindet (siehe Kapitel 4.6).

Sogar die Finanzierung der Demontage von instabilen Dachstrukturen des Sarkophags 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, also bis 2023.<sup>141</sup>

### 3 Gesamtsituation am Atomkraftwerk Tschernobyl

Betreiber des Atomkraftwerks Tschernobyl ist seit September 2000 die State Specialized Enterprise „Chernobyl NPP“ (SSE ChNPP).<sup>142</sup> Zum AKW Tschernobyl gehören neben dem havarierten Reaktorblock 4 auch die Reaktorblöcke 1 – 3. Im Rahmen ihrer Stilllegung entstehen mit internationaler finanzieller Unterstützung ein Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente, eine Anlage zur Behandlung flüssiger Abfälle und eine Anlage zur Behandlung und Lagerung von festen radioaktiven Abfällen. Auf dem AKW-Gelände werden zurzeit große Mengen radioaktiver Abfälle in unbehandelter Form aufbewahrt. Mehr als 26.000 Kubikmeter flüssige und rund 2500 Kubikmeter feste radioaktive Abfälle sind dort bereits im Jahr 2002 gelagert.<sup>143</sup> Im Rahmen der endgültigen Stilllegung werden weitere Abfallmengen dazukommen.

Die IAEA unterstützt den Betreiber von 2009 bis 2011 im Rahmen eines technischen Kooperationsprojekts<sup>6</sup> bei der Stilllegung des Atomkraftwerks sowie beim Umgang mit den radioaktiven Abfällen am Standort. Schwerpunkte sind in dieser Zeit die Erstellung von Stilllegungsdokumenten, die Verbesserung der Abfallbehandlung (auch von radioaktiven Flüssigkeiten im Sarkophag), die Stilllegung des Kühlteichs und die Verbesserung der Managementstruktur des Betreibers. Im Rahmen des Projektes werden rund 15 Besuche an andere AKW Standorte organisiert. Zudem präsentieren Experten des AKWs bei acht internationalen Konferenzen und Workshops ihre Erfahrungen im Bereich Abfallbehandlung. Die IAEA unterstützt den Betreiber in einem weiteren technischen Kooperationsprojekt von 2012 bis 2013.<sup>144</sup>

#### 3.1 Status der Reaktorblöcke 1 – 3

Im AKW Tschernobyl laufen 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 gehen sie wieder in Betrieb, die Reaktorblöcke 1 und 2 bereits Ende 1986, Block 3 folgt Ende 1987.<sup>145</sup> Erst Jahre später werden für insgesamt 400 Millionen US\$ Sicherheitsverbesserungen an den drei Reaktoren durchgeführt.<sup>146</sup>

Zehn Jahre nach dem Unfall (November 1996) wird zunächst Block 1 endgültig abgeschaltet. Erst im März 1999 beschließt die Regierung der Ukraine das endgültige Abschalten von Block 2, obwohl dieser bereits seit Oktober 1991 nach einem Brand im Maschinenhaus außer Betrieb ist. Block 3 wird am 6. Dezember 2000 aufgrund eines Lecks abgeschaltet. Am 15. Dezember 2000 wird auch in Block 3 Leistungsbetrieb eingestellt und damit das AKW Tschernobyl endgültig abgeschaltet.<sup>147</sup>

Allerdings wird in der Ukraine bereits zwei Jahre später über eine Wiederinbetriebnahme von Block 3 diskutiert. Nach Meinung des Energieministeriums stellt 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 könnte. Laut AKW-Betreiber werden 2002 die geplanten Maßnahmen wegen mangelnder Finanzen nicht umgesetzt.<sup>148</sup>

Auch Jahre später wird aufgrund fehlender Finanzmittel des Betreibers über eine Wiederinbetriebnahme von Block 3 diskutiert. Laut Energieministerium werden die Tschernobyl-Programme über Monate nur ungenügend aus dem Staatshaushalt der Ukraine finanziert. Im März 2005 belaufen sich die Schulden des Betreibers auf 6,8 Millionen US\$. Wie schon Jahre zuvor werden Löhne nicht gezahlt. Die Ausstände betragen 1,6 Millionen US\$. Außerdem wird befürchtet, dass wegen nicht bezahlter Rechnungen die Gas- und Stromversorgung abgedreht sowie der Personaltransport eingestellt wird.<sup>149</sup>

Offenbar wird 2005 dann eine andere, ebenfalls fragwürdige, Einnahmequelle gefunden. Der Betreiber plant Teile des abgeschalteten Atomkraftwerks (Pumpen und anderen technischen Geräte) zu verkaufen, um die nötige Finanzierung von Sicherheitsmaßnahmen am Sarkophag zu gewährleisten.<sup>150</sup> Der Direktor des AKW versichert, dass die zu verkaufenden Teile nicht

---

<sup>6</sup> IAEA Technical Cooperation Project UKR 3/003 “Chernobyl NPP Units Decommissioning and Radioactive Waste Management at the Site Including Shelter Object”



kontaminiert sind. Als Hauptkäufer wird Russland vermutet, da dort Reaktoren des gleichen Typs (RBMK) betrieben werden.<sup>151</sup>

Das ukrainische Parlament verabschiedet am 15. Januar 2009 ein Programm zur Stilllegung des AKW Tschernobyl. Danach sind Maßnahmen zur Stilllegung der Blöcke 1 – 3 zwischen 2013 und 2022 geplant. Dann werden die Arbeiten bis 2045 eingestellt, um eine Abnahme der Dosisleistung der Gebäude (durch natürlichen radioaktiven Zerfall) abzuwarten. Die Reaktoren werden von 2045 bis 2065 abgebaut und das Anlagengelände dekontaminiert.<sup>152</sup>

Vor der eigentlichen Stilllegung müssen die abgebrannten Brennelemente aus den Reaktoren und den Lagerbecken entladen werden. Solange noch Brennelemente in den Reaktoren sind, geht eine nukleare Gefahr von diesen aus. Doch die Entnahme der Brennelemente verzögert sich erheblich. 2005 befinden sich in den Reaktorkernen von Block 1 noch 812 und von Block 3 noch 1563 Brennelemente. Zusätzlich sind in den drei Lagerbecken der Reaktoren noch mehr als 3000 Brennelemente vorhanden.<sup>153</sup>

Da die Errichtung des neuen Brennelement-Zwischenlagers eine enorme Zeitverzögerung aufweist (s.u.), nehmen 2005 die Betreiber die Situation in die eigenen Hände, statt auf internationale Hilfe zu warten. Das Fehlen des Zwischenlagers kostet die Ukraine zur Aufrechterhaltung der Nachbetriebsphase der Reaktoren rund 15 Millionen Euro jährlich.<sup>154</sup>

Ende 2005 beginnt die Entladung der Brennelemente aus Reaktor 3.<sup>155</sup> Diese ist besonders wichtig, da Block 3 an den Sarkophag angrenzt. Die abgebrannten Brennelemente werden vorerst in das am Standort vorhandene Zwischenlager, ein altes russisches Nasslager (ISF-1), entladen. Es wurde von 1983 bis 1986 errichtet und im September 1986 in Betrieb genommen. Da es mit mehr als 15.500 Brennelementen fast voll ist, wird die Kapazität durch Kompaktlagerung um 25 Prozent erhöht.<sup>156</sup> 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 alten Nasslagers gelagert.<sup>157</sup>

Das Lager entspricht nicht modernen Standards. Deutsche, französische und ukrainische Gutachterorganisationen (GRS, ISRN und SSTC) stellen erhebliche Defizite in der vorgelegten Dokumentation, in der baulichen Konstruktion und Auslegung sowie in der Betriebsführung fest. Die Aufsichtsbehörde in der Ukraine stellt die Genehmigung nur unter der Bedingung aus, dass bis 2012 eine Reihe von Verbesserungsmaßnahmen und eine erneute Sicherheitsüberprüfung erfolgen.<sup>158</sup> Es wird als unwahrscheinlich angesehen, dass die Lizenz verlängert wird, wenn sie 2016 nach 30-jähriger Betriebszeit ausläuft.<sup>159</sup>

Im September 2010 sind alle Brennelemente aus Block 3 entladen und in das Nasslager transportiert. Damit ist die erste von drei Phasen der Entladung der Brennelemente abgeschlossen. Anfang 2012 befinden sich in den Lagerbecken der Reaktoren 1 und 2 immer noch 1365 bzw. 1355 Brennelemente. Am 19. Januar 2012 erhält der Betreiber (SSE ChNPP) die Genehmigung zum Transport der nicht beschädigten Brennelemente aus den Blöcken 1 und 2 in das Nasslager. Diese Arbeiten sollen nach aktueller Planung 2013 abgeschlossen sein. In der dritten Phase werden die beschädigten Brennelemente, die in speziellen Behältern aufbewahrt werden, aus den Reaktoren entfernt.<sup>160</sup>

Das neue Zwischenlager hat eine Aufnahmekapazität von maximal 2500 Brennelementen im Jahr<sup>161</sup>, so dass sich die Entladung der über 20.000 Brennelemente aus dem gefährlichen Nasslager mindestens über acht Jahre, d.h. mindestens bis 2023, hinziehen wird. Probleme sind programmiert.

### **3.2 Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente**

Im Jahr 1999 unterzeichnet Areva NP (ehemals Framatome) einen Vertrag für die Errichtung eines Zwischenlagers für die abgebrannten Brennelemente der Reaktoren 1 – 3. Die Inbetriebnahme des Lagers ist für 2003 geplant.<sup>162</sup> Das Zwischenlager soll für einen Zeitraum von 100 Jahren ausgelegt sein. Es soll mehr als 21.000 Brennelemente der Reaktoren 1 – 3 aufnehmen. Damit wird es das bisher größte Brennelement-Zwischenlager der Welt. Als Lagerkonzept wird

ein trockenes Zwischenlager gewählt, das gegenüber einem Nasslager als sicherer gilt, da es nicht von einer Kühlung abhängig ist.

Es ist geplant, die Anlage nach dem Nuhoms-Konzept auszulegen.<sup>163</sup> 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.<sup>164</sup> Areva NP hat bei Vertragsabschluss kaum Erfahrung mit der Zwischenlagerung von abgebrannten Brennelementen, sie hatte die Technologie aus den USA eingekauft.<sup>165</sup>

Im Jahr 2003 stellt Areva NP dann fest, dass das gewählte Lagerkonzept ungeeignet ist, da einige der Brennelemente beschädigt sind und Wasser enthalten, und setzt die Arbeiten aus. Nach monatelanger Auseinandersetzung stimmt 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 soll der Betreiber des AKW Tschernobyl (SSE ChNPP) übernehmen.<sup>166</sup>

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

Der AKW-Betreiber wirft 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 lehnt die Verantwortung für die Kostenerhöhung ab, da es ein Fehler der Betreiber sei, keine detaillierten Angaben zu den Brennelementen bereitzustellen.<sup>167</sup>

Als Areva NP im Dezember 2005 eine erneute Kostenerhöhung ankündigt, beschließen die Geldgeber, dass ein unabhängiges Gremium den technischen Vorschlag von Areva NP analysieren und die aufgestellten Extrakosten überprüfen soll. Die Prüfung wird an das schwedische Kernbrennstoffunternehmen (SKB) übergeben.<sup>168</sup> Ergebnis der Prüfung ist (laut eines Medienberichts), dass bisher alle Beteiligten (SSE ChNPP, Areva NP und EBRD) inkompetent handelten.<sup>169</sup>

Der Betreiber SSE ChNPP hält russische Behälter für die Lagerung der beschädigten Brennelemente geeignet.<sup>170</sup> Areva NP schlägt eine wesentlich teurere Lösung vor, basierend auf einer Technik, die Cogema – auch ein Unternehmen der Areva Gruppe – in La Hague anwendet.<sup>171</sup> Die ukrainische Behörde verweigert die Genehmigung für die vorgeschlagene Lösung zur Behandlung der beschädigten und undichten Brennelemente, daraufhin wird der Vertrag im April 2007 „freundschaftlich“ beendet.<sup>172</sup>

Am 17. September 2007 schließen SSE ChNPP und der Firma Holtec International einen Vertrag über die Fertigstellung des zu errichtenden Zwischenlagers (ISF-2) ab.<sup>173</sup> Das Unternehmen, das auch an den anderen AKW-Standorten der Ukraine tätig ist, erhielt bereits Ende 2005 für drei Millionen Euro eine Auftrag im Rahmen der Errichtung der Anlage zur Trocknung der beschädigten Brennelemente.<sup>174</sup>

Der im Jahr 2007 mit Holtec International abgeschlossene Vertrag schließt die Auslegung und Genehmigung von doppelwandigen Lagerbehältern ein. Diese sollen in den von Areva NP gelieferten Nuhom-Modulen aufbewahrt werden. Auch die von Areva NP gelieferten Transportbehälter sowie die Heiße Zelle für das ferngesteuerte Schneiden und Verpacken der Brennelemente sollen verwendet werden. Holtec wird ein Gastrocknungssystem einsetzen, welches sich das Unternehmen zur Trocknung der RBMK-Brennelemente patentieren ließ.<sup>175</sup> 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 wird der nach ukrainischem Regelwerk geforderten Doppelwandigkeit nicht in vollem Umfang gerecht und deshalb von den Genehmigungsbehörden abgelehnt. Daher überarbeitete Holtec dieses.<sup>176</sup>

Im Oktober 2010 genehmigt die Aufsichtsbehörde der Ukraine das von Holtec beantragte technische Konzept, auch der Nuclear Safety Account (NSA) als Geldgeber stimmt zu. Am 16. Februar 2011 wird eine Ergänzung zum bestehenden Vertrag hinsichtlich der Ausstattung der Anlage abgeschlossen. Diesbezügliche Verhandlungen laufen zu diesem Zeitpunkt bereits seit Mai 2010. Holtec sichert Anfang 2011 zu, die Arbeiten innerhalb von vier Jahren zu beenden.<sup>177</sup> Die Fertigstellung des Zwischenlagers hat inzwischen begonnen. Der Abschluss der Arbeiten wird 2014/15 erwartet.<sup>178</sup>

Im Auftrag der NSA wird im Jahr 2010 von den Gutachterorganisationen GRS (Deutschland) und IRSN (Frankreich) der Sicherheitsbericht für das Zwischenlager (ISF-2), die dazugehörige Konditionierungsanlage und das neue Behälterkonzept bewertet. Ihre abschließende Bewertung 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.<sup>179</sup>

**Beteiligte Firmen:** Ursprünglich (1999) wird die französische Firma Framatome, Tochterunternehmen des französischen Atomkonzerns Areva mit dem Bau des Zwischenlagers beauftragt. Framatome wird 2001 durch einen Zusammenschluss mit Siemens Nuclear Power (SNP) zum Unternehmen Framatome ANP, das 2006 in Areva NP umbenannt wird.<sup>180</sup> Nach der Auflösung des Vertrags mit Areva NP wird 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) finanziert, der ebenfalls von der EBRD verwaltet wird.<sup>7</sup> Die Kosten des Projekts werden zu Beginn mit 68 Millionen Euro angegeben. In einer zweiten Schätzung steigen sie auf zunächst 90 Millionen Euro, da das Lager innerhalb des AKW-Geländes verlegt werden muss.<sup>181</sup> Im Jahr 2006 werden die Kosten auf 110,6 Millionen Euro geschätzt.<sup>182</sup> Im Jahr 2005 verkündet die EBRD an, dass dieses Projekt das bei weitem schwierigste sei, das sie jemals zu verwalten hatte.<sup>183</sup> In 2009 steuert die Bank 77 Millionen Euro aus eigenen Mitteln bei.<sup>184</sup> Ende 2010 werden weitere Zusatzkosten von 140 Millionen Euro erforderlich.<sup>185</sup> Die Gesamtkosten (inklusive Fond Management und Unterstützung bei Genehmigungsfragen) werden laut EBRD bei rund 300 Millionen Euro liegen.<sup>186</sup> Das ist mehr als viermal so viel, wie ursprünglich angenommen.

**Zeitplan:** Bei Vertragsabschluss in 1999 ist die Fertigstellung für 2003 geplant, jetzt ist 2014/15 anvisiert.<sup>187</sup> Die vollständige Anlieferung der Behälter wird dann noch zwei bis drei weitere Jahre dauern.<sup>188</sup> Sollte die Fertigstellung ab jetzt ohne erhebliche Verzögerung gelingen, hätte sich der Zeitrahmen von ehemals vier auf rund 15 Jahre ausgedehnt – damit also mehr als vervierfacht.

### 3.3 Anlage zur Verarbeitung von flüssigen radioaktiven Abfällen (LRWTP)

Ein belgisch-französisch-italienisches Konsortium beginnt 2000 mit der Errichtung einer Anlage zur Verarbeitung von flüssigen radioaktiven Abfällen (LRWTP = Liquid Radioactive Waste Treatment Plant). Diese Anlage soll innerhalb von zehn Jahren die über 30.000 Kubikmeter an flüssigen Abfällen verarbeiten, die in mehreren Tanks auf dem Gelände lagern. Es handelt sich hierbei vor allem um leicht- und mittlerradioaktive Abfälle aus dem Betrieb der Reaktoren 1 – 3. Die geschätzte Gesamtaktivität beträgt  $418 \cdot 10^{12}$  Becquerel.<sup>189</sup>

Die bei der Stilllegung der Blöcke 1 – 3 sowie die beim Betrieb des Zwischenlagers ISF-2 und des Sarkophags anfallenden radioaktiven Flüssigkeiten sollen ebenfalls in der Anlage konditioniert werden. Die flüssigen Abfälle sollen nach dem Zementierungsprinzip verfestigt, in 200-Liter-Stahlfässer verfüllt und dann in das oberflächennahe Endlager (ENSDF), s.u., gebracht werden. Die Anlage soll zur Behandlung von mindestens 2500 Kubikmetern flüssigen radioakti-

---

<sup>7</sup> 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 – 3 in Tschernobyl zu finanzieren. Auch die Anlage zur Behandlung der flüssigen radioaktiven Abfälle (s.u.) sowie Maßnahmen zur Erhöhung der Sicherheit und der Sicherung werden aus dem NSA finanziert.

ven Abfalls pro Jahr ausgelegt sein. Das Konzept der Anlage beruht auf einem in Frankreich entwickelten und vollautomatisierten Zementierungsverfahren.<sup>190</sup> Die Anlage besteht aus drei Teilen: (1) einer Einrichtung zur Rückholung von flüssigen radioaktiven Abfällen aus der bestehenden Lagern, (2) einer Einrichtung zum Transport der Abfälle zur Verarbeitungsanlage und (3) einer Einrichtung zur Verarbeitung und Zementierung der Abfälle.<sup>191</sup>

Unzulänglichkeiten bei der Abfallcharakteristik und bei der Auslegung der Anlage führen dazu, dass sich das westliche Konsortium 2006 aus dem Auftrag zurückzieht. Jahre befindet sich die Anlage in einem Zustand der „unvollständigen Errichtung“, und der Betreiber des AKW Tschernobyl (SSE ChNPP) muss die Wartung der Anlage übernehmen. SSE ChNPP entschließt sich daher, die Anlage nach einem geänderten Konzept selbst fertig zu stellen. Die Änderung des Konzepts erfordert zusätzliche Mittel vom NSA, deren Bereitstellung die EBRD an eine straffe Projektplanung und -kontrolle koppelt.<sup>192</sup> Die Aktivitäten zur Beendigung des Projekts werden in Arbeitspakete aufgeteilt und einzeln ausgeschrieben.<sup>193</sup> Eine Inbetriebnahme der Anlage ist für Ende 2012 anvisiert.<sup>194</sup>

Die deutsche Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) unterstützt die Genehmigungsbehörde der Ukraine und bewertet mit anderen Gutachterorganisationen die Genehmigungsunterlagen. Eine Begutachtung der Sicherheitsberichte zeigt 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, der auch die Änderungen berücksichtigt.<sup>195</sup>

**Beteiligte Firmen:** Errichtet werden soll die Anlage von einem Konsortium der Unternehmen Belgatom (Belgien), SGN (Frankreich) und Ansaldo (Italien).<sup>196</sup> Der Vertrag wird allerdings am 15. September 2006 aufgelöst.<sup>197</sup>

**Kosten und Finanzierung:** Finanziert wird die Anlage durch den Nuclear Safety Account (NSA), der von der EBRD verwaltet wird. Bei Vertragsabschluss 1999 werden die Kosten auf 25 Millionen Euro geschätzt.<sup>198</sup> Die tatsächlichen Kosten werden sicher um ein Vielfaches höher liegen, Angaben dazu liegen noch nicht vor.

**Zeitplan:** Bei Vertragsabschluss 1999 ist die Fertigstellung in 2001 geplant. Im Jahr 2006 heißt es, die Inbetriebnahme wird demnächst erfolgen.<sup>199</sup> Aber auch diese Anlage bleibt weit hinter dem Zeitplan zurück, mindestens fünf Jahren ruhen die Arbeiten. Für die Fertigstellung wird n 2010 eine Zeitspanne von 65 Wochen angegeben.<sup>200</sup> Zurzeit wird die Inbetriebnahme Ende 2012 erwartet.<sup>201</sup>

### 3.4 Abfallbehandlungszentrum für feste radioaktive Abfälle (ICSRM)

Am 24. April 2009 übergibt 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 – 3 angefallen, während der Stilllegung der Blöcke werden weitere Abfälle hinzukommen. Hochradioaktive und langlebige leicht- und mittelradioaktive Festabfälle werden aussortiert und separat aufbewahrt.<sup>202</sup> Die Betriebsdauer wird mit 30 Jahren angegeben.<sup>203</sup> Laut Betreiber sollen nun, anders als ursprünglich vorgesehen, auch radioaktive Betriebsabfälle aus dem Sarkophag behandelt werden.<sup>204</sup>

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.<sup>205</sup>

- Los 0: Zwischenlager für hochradioaktive sowie langlebige leicht- und mittelradioaktive Abfälle.
- Los 1: Anlage zur Rückholung fester leicht-, mittel- und hochradioaktiver Abfälle (bis drei Kubikmeter täglich) aus bestehenden Zwischenlagern (Betonbunker).

- Los 2: Konditionierungsanlage zur Sortierung fester Abfälle aller Kategorien und zur Behandlung leicht- und mittelradioaktiver fester Abfälle (bis zu 20 Kubikmeter täglich).
- Los 3: Oberflächennahes Endlager (Engineered Near Surface Disposal Facility = ENSDF) für konditionierte leicht- und mittelradioaktive Abfälle mit kurzen und mittleren Halbwertszeiten.

Das bestehende Zwischenlager (Los 0) wird nachgerüstet und im Juni 2008 an den Auftraggeber übergeben.<sup>206</sup> Es erhält am 10. Dezember 2010 von der ukrainischen Aufsichtsbehörde die Betriebsgenehmigung und soll die Lagerung von 13.000 Fässern für mindestens 30 Jahre gewährleisten.<sup>207</sup> Wohin danach die hochradioaktiven Abfälle gebracht werden, ist noch unklar.

Die Abfälle werden in Container verladen (Los 1) 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. Die so volumenreduzierten Abfälle werden in 200-Liter-Stahlfässer verfüllt und mit Beton-Sandmörtel verfestigt. Die Aktivität wird auf  $100 * 10^{12}$  Becquerel geschätzt.<sup>208</sup>

Am 13. Mai 2010 erhält der Betreiber im Rahmen der Stilllegung der Reaktorblöcke 1 – 3 die Genehmigung zum Probetrieb der Anlage. Die Ergebnisse der so genannten „Heißtests“ entscheiden über die Länge der Testphase. Am 18. Januar 2010 wird ein Vertrag zur Unterstützung der „Heißtests“ zwischen der Europäischen Kommission und NUKEM Technologies GmbH geschlossen.<sup>209</sup>

Deutsche (GRS), französische, italienische und belgische Gutachterorganisationen führten die sicherheitstechnische Bewertung von Genehmigungsunterlagen durch, fast alle aufgedeckten Mängel sind bis 2011 beseitigt.<sup>210</sup> Im Rahmen eines Technischen Kooperationsprojekts mit der IAEA (2009 bis 2011) wird eine Verbesserung der Verbrennungsanlage geplant, der Auslegung wird zurzeit begutachtet.<sup>211</sup>

Das oberflächennahe Endlager ENSDF wird bereits Ende 2007 übergeben und ist für die Lagerung von 55.000 Kubikmetern Abfall ausgelegt (Los 3). Während der nächsten 30 Jahre soll eingelagert werden, die Überwachung der geschlossenen Anlage soll für 300 Jahre erfolgen. Die Auslegung des Endlagers basiert auf der Auslegung des spanischen Lagers El Cabril.<sup>212</sup> Betreiber ist das staatliche Unternehmen Technocentre.<sup>213</sup> 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.<sup>214</sup>

**Beteiligte Firmen:** Das deutsche Unternehmen Nukem Technologie GmbH, Alzenau, bis Mitte 2006 RWE Nukem, errichtet unter Beteiligung einiger ukrainischer Firmen dieses Abfallzentrum.<sup>215</sup> Es ist das erste – und bisher einzige – westliche Unternehmen, das am Standort Tschernobyl eine Anlage zur Abfallbehandlung fertig gestellt hat.<sup>216</sup> Seit Dezember 2009 ist die Nukem Technologies GmbH jedoch eine hundertprozentige Tochtergesellschaft des russischen Kernkraftwerksherstellers Atomstroyexport.<sup>217</sup> 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 beteiligt sich Nukem an weiteren Projekten und Ausschreibungen in der Ukraine.<sup>218</sup> NUKEM Technologies erhält Ende 2011 einen dreijährigen Vertrag von der European Kommission zur Beratung der AKW-Betreiber in der Ukraine zum Umgang mit radioaktiven Abfällen.<sup>219</sup>

**Zeitplan:** Vertragsabschluss für die schlüsselfertige Anlage (ICSRM) ist im Frühjahr 2001, am 11. November 2003 kommt es zur Grundsteinlegung. Die Fertigstellung ist für Mitte 2005 vorgesehen<sup>220</sup>, sie verschiebt sich auf April 2009.<sup>221</sup> Der benötigte Zeitraum verdoppelt sich von vier auf acht Jahre. Angesichts der Verzögerungen in den anderen Projekten am Standort erscheint dieser Verzug moderat. Andererseits ist die vollständige Inbetriebnahme der Anlagen auch noch nicht erfolgt.

**Kosten und Finanzierung:** Die bisherigen Projektkosten belaufen sich auf 47,7 Millionen Euro. Finanziert wird das TACIS-Projekt<sup>8</sup> von der Europäischen Kommission mit 43,6 Millionen Euro. Die Ukraine beteiligt sich mit 3,4 Millionen Euro an den Kosten.<sup>222</sup>

### 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. Bei zwei der drei Anlagen gehen die westlichen Unternehmen vorzeitig und ohne Fertigstellung der Anlage aus dem Vertrag. Ein deutscher Projektleiter für internationale Projekte nennt 2006 als Gründe für die massiven Probleme:<sup>223</sup>

- Die zur Verfügung gestellten Ausgangsdaten sind häufig ungenau und lückenhaft. Die beauftragten Firmen versäumen es sich bei Auftragsvergabe über die reale Sachlage zu informieren und diese sowohl in ihrer zeitlichen als auch finanziellen Planung zu 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 Werktagen 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 sind die Arbeiten aufgrund von hohen Strahlenwerten am Standort schwer kalkulierbar. Sicher ist es auch kompliziert, nach den Anforderungen eines anderen Regelwerks und bei unterschiedlicher Genehmigungspraxis unter diesen Umständen eine Anlage zu errichten. Durch die aufgetretenen massiven Probleme wird allerdings Anschein erweckt, dass die westlichen Unternehmen die Idee hatten, am Standort Tschernobyl bei geringen Personalkosten und Sicherheitsanforderungen, steuerfrei mit internationalen Hilfsprojekten Geld zu verdienen. Zudem ist es erschreckend, dass die Sicherheitsstandards für die Auslegung der Anlagen von den westlichen Unternehmen nicht immer eingehalten werden, wie die Sicherheitsgutachten zeigen.

---

<sup>8</sup> 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.

## 4 Gefährdungen durch den havarierten Reaktorblock 4

Seit Jahren wird, insbesondere von Befürwortern der Atomenergie, über eine wirtschaftliche Neuentwicklung der Tschernobyl-Zone 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. Bis heute sind nur etwa 60 Prozent des havarierten Reaktors untersucht. Der Rest des Gebäudes ist nicht zugänglich (hohe Strahlung, Barrieren).<sup>224</sup> Eine vollständige Überwachung der Anlage ist daher kompliziert. Dadurch sind keine zuverlässigen quantitativen Abschätzungen der verschiedenen Gefahren vorhanden.<sup>225</sup>

Trotz vieler Gegenmaßnahmen verschlechtert sich der bauliche 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 vor – als leicht freisetzbarer radioaktiver Staub oder als radioaktive Flüssigkeiten. 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. Die in den Jahren 2006 bis 2008 durchgeführten Stabilisierungsmaßnahmen, die eine Standsicherheit bis 2023 gewährleisten sollen, haben die Bedrohung nicht beseitigt, sondern lediglich verringert und um einige Jahre verschoben.

Die errechnete Wahrscheinlichkeit für einen Zusammenbruch des Sarkophags beträgt vor Durchführung der Stabilisierungsmaßnahmen rund 0,1 pro Jahr. Die Maßnahmen, die innerhalb des Shelter Implementation Plans (SIP) durchgeführt werden, sollen die Einsturzwahrscheinlichkeit auf 0,001 pro Jahr verringern.<sup>226</sup> Es zeigt sich allerdings, dass die Überreste des Reaktors an einigen Stellen instabiler sind, als es erwartet. Daher ist anzuzweifeln, dass dieses Ziel erreicht ist. Aber selbst wenn eine Reduzierung der Einsturzwahrscheinlichkeit gelungen ist, 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 Lastenwirkungen gefährdet, die z.B. bei Stürmen auftreten, die in der Gegend nicht selten sind.<sup>227</sup> 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 der Stärke 4,3 auf der Richterskala kann zu einem teilweisen Zusammenbruch des Sarkophagdachs und so zur Freisetzung von radioaktivem Staub führen. Die Wahrscheinlichkeit für ein derartiges Ereignis wurde mit 0,24 pro Jahr kalkuliert.<sup>228</sup> 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 führt zu Rissen in der Gebäudestruktur.<sup>229</sup> Auch ein Flugzeugabsturz oder ein Brand im Inneren des Sarkophags (dort befinden sich fast 2000 Tonnen brennbare Materialien – Graphit, Kabel, Kunststoffe und Holzstrukturen) könnten einen Einsturz auslösen.<sup>230</sup>

Aufgrund der bestehenden Gefahr werden mehrfach die radiologischen Folgen eines Einsturzes ermittelt. In der Ruine befinden sich riesige Mengen an radioaktivem Staub. Die typische Parti-

kelgröße der radioaktiven Aerosole liegt zwischen einem bis zehn Mikrometer.<sup>231</sup> 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.

Mit Hilfe des Staubunterdrückungssystems, das seit 1990 arbeitet, wird versucht, den Staub durch Besprühen mit Polymerlösungen zu binden.<sup>232</sup> Damit werden jedoch weder alle Bereiche des Sarkophags erreicht, noch ist diese Abbindung 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.

Die Gesamtmenge des aufwirbelbaren radioaktiven Staubs im Sarkophag wird 2005 auf rund ein Tonne, sein Aktivität auf etwa  $4,3 \cdot 10^{15}$  Becquerel geschätzt. 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.<sup>233</sup> Noch vor einigen Jahren wird davon ausgegangen, dass die Gesamtmenge an ungebundenem Staub nahezu unverändert bleibt.<sup>234</sup> Inzwischen ist bekannt, dass die Staubmenge zunimmt. Die Menge radioaktiven Staubs wird heute auf etwa 1,5 Tonnen geschätzt.<sup>235</sup>

Laut eines Berichts der Nuclear Energy Agency (NEA) aus 2002 kann ein Einsturz eine Freisetzung mit einer Aktivität in der Größenordnung von  $1 \cdot 10^{14}$  Becquerel verursachen.<sup>236</sup> Die Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) nimmt 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.<sup>237</sup>

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.<sup>238</sup> Dieser bezieht sich offenbar auf die Untergrenze der o.g. Freisetzungsmenge. Es ist ein Beispiel dafür, wie im Bericht der IAEA verharmlost wird.<sup>9</sup> Der Bericht nennt zwar korrekterweise die Spannbreite der Freisetzungsmengen verschiedener Analysen, stellt aber die Ergebnisse für den niedrigeren Wert dar. Die von der IAEA zitierte Analyse ergibt dennoch außerhalb der Tschernobyl-Zone (in 50 Kilometern Entfernung) eine zusätzliche Dosis von zwei Millisievert pro Jahr und ist damit oberhalb des Dosisgrenzwerts für die Bevölkerung in der Ukraine.<sup>239</sup>

In offiziellen Berichten wird betont, dass sich nach einem Einsturz fast alle Radionuklide innerhalb der Tschernobyl-Zone niederschlagen.<sup>240</sup> Weiterhin wird darauf verwiesen, dass die neuen Kontaminationen nur einen Bruchteil der schon jetzt vorhandenen Kontaminationen betragen.<sup>241</sup> Jedoch ist eine erneute Kontamination in einem bereits kontaminierten Gebiet nicht dadurch weniger gravierend, 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. Ausbreitungsrechnungen<sup>10</sup> aus dem Jahr 2004 ermitteln 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 Ent-

---

<sup>9</sup> Im Bericht der IAEA werden insbesondere die gesundheitlichen Folgen des Unfalls heruntergespielt.

<sup>10</sup> 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.



fernungen von 300 bis 700 Metern werden Strahlendosen oberhalb von einem Sievert ermittelt.<sup>242</sup> (Als Richtwert gilt, dass ein Mensch ab einer Dosis von einem Sievert sichtbar strahlenkrank wird.) Das Gefährliche an der Inhalationsdosis ist, dass Menschen diese unmittelbar nach Einsturz des Sarkophags durch Einatmen erhalten würden – bevor sie sich schützen könnten.

Borovoi, Physiker des Moskauer Kurtschatov-Instituts, hält 1996 Ergebnisse der Ausbreitungsrechnungen für besorgniserregend. Seiner Meinung nach werden jedoch bei der Berechnung an einigen Punkten zu pessimistische Annahmen getroffen.<sup>243</sup> Inzwischen weist aber einiges darauf hin, dass die Realität eher schlimmer ist, als „pessimistisch“ angenommen wurde. Denn bei den Stabilisierungsmaßnahmen erweist sich die Gebäudestruktur noch instabiler als erwartet, zudem entsteht nach und nach mehr radioaktiver Staub.

Die Aktivität der für die Berechnung der Dosen relevanten Nuklide<sup>11</sup> sinkt seit 1994 zwar um etwa 30 Prozent, während die geschätzte Menge des radioaktiven Staubs aber um rund 50 Prozent steigt. Insgesamt ist daher davon auszugehen, dass die damals ermittelten Auswirkungen für heute noch mindestens zutreffend sind.

Im Rahmen des hier vorliegenden Berichts erfolgte eine Abschätzung zu den Auswirkungen einer Freisetzung von radioaktivem Staub aus der Ruine.<sup>12</sup> Die Abschätzungen zeigen eine starke Abhängigkeit der Auswirkungen von der Freisetzungshöhe. Langfristige Strahlenbelastungen würden sich über das Standortgelände in die „Verbotene Zone“ erstrecken. Für die Bewohner der Stadt Slavutich droht die größte Belastung durch Ingestion (Aufnahme der radioaktiven Stoffe durch die Nahrung).

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.<sup>244</sup> 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).<sup>245</sup> Zusätzlich werden aus den Öffnungen im Gebäude durch natürliche Luftzirkulation radioaktive Aerosole mit einer Aktivität von  $1,1 \cdot 10^{10}$  Bq/a freigesetzt.<sup>246</sup> 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),<sup>247</sup> aber die über einen langen Zeitraum gemittelten Werte relativieren die Gefahren. Die Freisetzungsmengen schwanken bereits im Monatsmittel erheblich, z.B. in den

---

<sup>11</sup> 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.

<sup>12</sup> Verwendet wurde PC COSYMA (code for assessing radiological impacts from accidents), das vom Forschungszentrum Karlsruhe und NRPB (UK) entwickelt und 1995 fertig gestellt wurde. PC COSYMA ermöglicht deterministische Analysen der Auswirkungen von luftgetragenen Emissionen von KKW mithilfe eines Gaußmodells.

Jahren 1990 und 1994 um einen Faktor 20.<sup>248</sup> Zudem ist eine Unterschreitung der Grenzwerte nicht mit einer Unschädlichkeit der Strahlung gleichzusetzen.

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. Laut GRS 2005 beträgt die Luftkonzentration am Sarkophag 11,1 Becquerel pro Kubikmeter (Bq/m<sup>3</sup>) für Betastrahler und 0,02 Bq/m<sup>3</sup> für Alphastrahler.<sup>249</sup> Das ist gegenüber der normalen Aktivitätskonzentration durch natürliche radioaktive Stoffe in der Luft (1 bis 10 Bq/m<sup>3</sup>) erhöht.<sup>250</sup>

Die zweimal im Monat gemessenen Konzentrationen an radioaktiven Stoffen in der Luft weisen starke Schwankungen auf. So liegt z.B. die Cäsium-137 Konzentration zwischen 1998 und 2009 meist unter 0,01 Bq/m<sup>3</sup>. Immer wieder treten aber auch deutlich höhere Werte auf, der höchste Wert (ca. 0,06 Bq/m<sup>3</sup>) im Herbst 2009.<sup>251</sup> Zum Vergleich: 2009 liegt die Durchschnittskonzentration für Cäsium-137 in der Luft – gemessen in Berlin – bei 0,0000006 Bq/m<sup>3</sup>.<sup>252</sup>

Die Aktivitätskonzentration in 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. Sie stieg während der Aushebungsarbeiten im Rahmen der vorbereitenden Arbeiten für die Errichtung des New Safe Confinements an.<sup>253</sup>

### 4.3 Gefährdung durch kontaminiertes Wasser

Wasser und Feuchtigkeit stellen eine große Bedrohung für den Sarkophag dar. Auch nach den Stabilisierungsarbeiten dringen weiterhin ca. 2200 Kubikmeter Niederschlag pro Jahr durch die großen Öffnungen ein. Dazu kommen jährlich ca. 1650 Kubikmeter durch Kondensation und 270 Kubikmeter durch das Staubunterdrückungssystem.<sup>254</sup>

Da Wasser in chemische Wechselwirkung mit Verfüllungsmaterialien und der Baukonstruktion tritt, wird 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.<sup>255</sup> Weiterhin ist zu befürchten, dass radioaktive Flüssigkeiten nach außen gelangen. Wasser zerstört die glasartige Oberfläche der brennstoffhaltigen Massen.<sup>13</sup> Langlebige Radionuklide werden gelöst. Als Ergebnis dieser Prozesse hat sich eine hochradioaktive Flüssigkeit gebildet, in der auch Plutonium- und Uransalze vorhanden sind.<sup>256</sup> In den unteren Räumen des Sarkophags befinden sich ca. 3000 Kubikmeter kontaminiertes Wasser.<sup>257</sup> 1996 lagen die maximalen Konzentrationen bei  $2 \cdot 10^8$  Becquerel pro Liter (Bq/l) für Cäsium-137 und bei  $6 \cdot 10^6$  Bq/l für Strontium-90.<sup>258</sup> Im IAEA-Bericht 2006 wird verharmlosend nur jeweils die durchschnittliche Konzentration angegeben, sie beträgt  $1,6 \cdot 10^7$  Bq/l für Cäsium-137 und  $2 \cdot 10^6$  Bq/l für Strontium-90 (sowie  $1,5 \cdot 10^2$  Bq/l für Plutonium und 6 mg/l für Uran).<sup>259</sup>

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 Radionuklidausbreitung innerhalb der Ruine. Es besteht eine große Gefahr für ein unkontrolliertes Auslaufen in die Räume des angrenzenden Blocks 3 bzw. generell aus dem Sarkophag.<sup>260</sup>

Es wird angenommen, dass von den radioaktiven Flüssigkeiten im Inneren der Ruine ca. 2100 Kubikmeter pro Jahr verdunsten und 1300 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.<sup>261</sup> 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 Grundwasser zunächst vorbei. Es ist

---

<sup>13</sup> In den ersten Jahren nach dem Unfall wurde diese Oberfläche als durch Wasser unlöslich angesehen.

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 (bis max. 5000 Bq/l) und mit Strontium-90 (bis max. 3000 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 gegenüber der Umwelt isoliert sind.<sup>262</sup>

Studien weisen inzwischen nach, dass auch aus der Ruine austretende radioaktive Flüssigkeiten zu einer Belastung des Grundwassers beitragen.<sup>263</sup> Bisher wird aber weder Uran noch Plutonium im Grundwasser nachgewiesen, obwohl diese in größeren Mengen im Sarkophagwasser vorhanden sind.<sup>264</sup> Die GRS vertritt die Meinung, dass bisher trotz gezielter Untersuchungen keine Hinweise existieren, dass radioaktive Flüssigkeiten aus dem Sarkophag in das Grundwasser gelangen.<sup>265</sup>

Auf dem Standortgelände um den Sarkophag werden 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 sinkt zwischen 1993 und 1997 stark und steigt dann bis 2000 geringfügig an, bleibt aber ab 1997 im Mittel unter den Grenzwerten für Trinkwasser.<sup>266</sup> Für das in Richtung des Flusses Pripjat abfließende Grundwasser wird in 2000 eine mittlere Jahresbelastung von 12 Bq/l für Strontium-90 und von 15 Bq/l für Cäsium-137 angegeben.<sup>267</sup> Jedoch treten innerhalb eines Jahres große Schwankungen auf. An den einzelnen Messbrunnen werden die in der ukrainischen Strahlenschutzverordnung festgelegten Grenzwerte für Trinkwasser (96 Bq/l für Cäsium-137, 45 Bq/l für Strontium-90) jahreszeitlich bedingt überschritten.<sup>268</sup>

#### 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.<sup>269</sup> 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.<sup>270</sup> Die Messinstrumente stellen in den 1990er Jahren mehrfach einen erhöhten Neutronenfluss fest, vermutlich wenn Wasser mit dem Kernbrennstoff in Berührung kommt. Erstmals tritt dies 1990 auf, als eine Zunahme der Neutronenstrahlung auf das bis zu Sechzigfache gemessen wird.<sup>271</sup> Ähnliche Vorfälle ereignen sich 1995 und 1996.<sup>272</sup> Ein Alarm aufgrund einer gestiegenen Neutronenstrahlung in 2003 entpuppt sich im Nachhinein als Fehlalarm.<sup>273</sup> Dieser Fehler ist ein Indiz für den desolaten Zustand des vorhandenen Überwachungssystems. Erst seit Ende 2010 ist ein neues System installiert.<sup>274</sup>

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) ermitteln Freisetzungen in Höhe von  $4 \cdot 10^{14}$  Becquerel.<sup>275</sup> Der Quellterm übersteigt den Quellterm der Einsturzszenarien um ein Mehrfaches, bleibt aber in der gleichen Größenordnung wie dieser.

## 4.5 Gefährdung durch Brand

Es besteht die Gefahr, dass ein Brand, z.B. 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 wüten 600 Brände in Zentralrussland, teilweise mehrere Wochen lang. Ursache ist eine extreme Dürre, zusätzlich ist der Sommer 2010 der heißeste seit Beginn der Wetteraufzeichnungen vor 130 Jahren. Die Waldbrände zwingen die Behörden zum Ergreifen von Maßnahmen zum Schutz von Atomanlagen. Aus einer Forschungseinrichtung wird z.B. vorsorglich das radioaktive Material entfernt.<sup>276</sup>

Zudem gelangen 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 wird ein geringer Anstieg der Radioaktivität gemessen.<sup>277</sup> Die Strahlenschutzbehörden in Finnland, Norwegen und Schweden informieren 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 darstellen.<sup>278</sup> Durch die erhebliche Zunahme von Tourismus in der „Verbotenen Zone“ steigt das Risiko, dass ein Brand durch Unachtsamkeit oder einen Unfall ausgelöst wird.

## 4.6 Überführung in ein ökologisch sicheres System?

Die Ukraine entscheidet am 12. März 2001 (auf Empfehlung internationaler Experten) die Überführung des Sarkophags in ein ökologisch sicheres System in drei Phasen durchzuführen. Die erste Phase, die Stabilisierung der existierenden Strukturen, ist inzwischen abgeschlossen. Zurzeit läuft die zweite Phase. Zu dieser gehören nicht nur die Errichtung einer neuen Schutzhülle, sondern auch die Entwicklung von Techniken zur Bergung der brennstoffhaltigen Massen und die Errichtung der erforderlichen Anlagen.

Wie bereits in Kapitel 2.7 erläutert, findet die eigentliche Überführung des Sarkophags in ein ökologisch sicheres System nicht im Rahmen des SIP statt. Aber selbst die Vorbereitung dafür, die zweite Phase, erfolgt nur zum Teil im Rahmen des SIP (Errichtung der Schutzhülle). Die Konzepte der Anlagen zur Behandlung und Lagerung der radioaktiven Massen aus dem explodierten Reaktor müssen offenbar außerhalb des SIP entwickelt werden, was zusätzlichen zeitlichen und finanziellen Aufwand erfordert. Die Bergung kann erst beginnen, wenn diese Anlagen errichtet sind.<sup>14</sup>

Als erster kleiner Schritt wird in den letzten beiden Jahren im Rahmen eines IAEA-Projekts eine Wasserreinigungstechnologie für das Wasser in dem Sarkophag entwickelt. Eine Testanlage wird mit Unterstützung von russischen Wissenschaftlern errichtet, jedoch sind noch einige Verbesserungen erforderlich. Die Ergänzungen sollten im Januar / Februar 2012 installiert werden. Nach erfolgreicher Beendigung der Testphase ist die Entwicklung einer Industrieanlage geplant. Die Finanzierung dafür ist noch unklar. Der Betreiber hofft auf eine Förderung der Europäischen Kommission.<sup>279</sup>

Erst in der dritten Phase ist es geplant die brennstoffhaltigen Massen zu bergen, entsprechend den gesetzlichen Anforderungen nach ihrem Aktivitätsinventar zu sortieren, zu konditionieren und zu lagern. Auf Basis von ökologischen Anforderungen, Erfahrungen aus den Phasen 1 und 2, zusätzlichen Untersuchungen des Zustands des Sarkophags und technischen Möglichkeiten soll das Vorgehen entwickelt werden. Die Art und Weise der Überführung wird durch die verfügbaren technischen und finanziellen Mittel bestimmt.<sup>280</sup>

Wann die dritte Phase beginnt und wie lange sie dauern soll, ist nicht angegeben. Die Bergung der brennstoffhaltigen Massen wird zeitlich und finanziell sehr aufwendig sein. Sie wird größten-

---

<sup>14</sup> Angesichts der langwierigen und schwierigen Errichtung der Anlagen für die „normalen“ radioaktiven Abfälle aus den Blöcken 1 – 3 am Standort Tschernobyl lassen sich die Probleme dafür erahnen.

teils ferngesteuert erfolgen müssen, da aufgrund des hohen Anteils von langlebigen radioaktiven Stoffen die Dosisleistung im Sarkophag in den nächsten Jahrzehnten kaum abnehmen wird.<sup>281</sup>

Selbst wenn die Entwicklung einer Bergungsstrategie gelingt, bleibt die Finanzierung dieses neuen Projekts ein Riesenproblem. Weitere Milliarden müssen dafür aufgebracht werden.

Aus heutiger Sicht ist nicht vorstellbar, dass der explodierte Reaktor jemals in ein ökologisch sicheres System überführt wird und so keine Gefahr mehr von ihm ausgeht.

## 5 Situation in der „Verbotenen Zone“

Nach dem Unfall wird eine 30 Kilometerzone um den explodierten Reaktor aufgrund der hohen Kontaminationen vollständig evakuiert und zur „Verbotenen Zone“ erklärt. Heutzutage ist diese Zone aber alles andere als menschenleer: Im Jahr 2011 halten sich dort etwa 16.500 Personen zum Arbeiten auf. Davon arbeiten 3500 direkt am Standort des AKW Tschernobyl und ca. 13.000 Personen u.a. als Wachpersonal, Waldarbeiter, bei der Feuerwehr oder in wissenschaftlichen Projekten. Die meisten dieser Beschäftigten wohnen in der 45 Kilometer entfernten Stadt Slavutich.<sup>282</sup> Diese Stadt (ca. 26.000 Einwohner) wurde für das Personal des Atomkraftwerks nach dem Unfall außerhalb der „Verbotenen Zone“ neu gebaut.<sup>283</sup>

Die Anzahl der Beschäftigten am AKW Standort wird sich mit der Errichtung der neuen Schutzhülle noch deutlich erhöhen, so dass sich 2012 bis zu 20.0000 Personen zum Arbeiten in der Zone aufhalten.

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.<sup>284</sup>

Zudem gibt es vermutlich noch immer 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.<sup>285</sup>

Zusätzlich werden 2012 bis zu eine Millionen Touristen in der „Verbotenen Zone“ erwartet (s.u.), das sind Hunderte bis zu einigen Tausend Menschen täglich.

In der „Verbotenen Zone“ liegen neben dem AKW-Standort auch diverse Deponien mit radioaktiven Materialien aus den Aufräumarbeiten. Direkt nach dem Unfall werden provisorische Abfalllagerstellen in unmittelbarer Nähe zum Reaktor eingerichtet, dabei werden nur die allernötigsten Strahlenschutzmaßnahmen angewandt. So werden 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 werden in künstlich geschaffene Gräben oder in natürlich vorhandene Bodenvertiefungen geschüttet und mit Erdreich bedeckt. In den Baugruben für die beiden geplanten Blöcke 5 und 6 des AKW Tschernobyls werden Trümmer mit hoher Dosisleistung gekippt. Es fehlt Zeit und Personal, um alles zu dokumentieren.<sup>286</sup>

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  $1 \cdot 10^{16}$  Becquerel sind dort provisorisch deponiert. Rund zehn Prozent dieser Abfälle sind kontaminiertes Metall.<sup>287</sup> Für die Behandlung (Sortierung, Konditionierung) und Lagerung wurde der Atomülllagerkomplex VEKTOR errichtet. Priorität hat die Bergung der Abfälle, die permanent oder saisonal Verbindungen zum Grundwasser haben oder in der Nähe von Oberflächengewässern liegen.<sup>288</sup>

Ein besonderes Problem in der „Verbotenen Zone“ stellt der riesige, künstlich angelegte Kühlteich des AKW Tschernobyl dar, der im ehemaligen Flussbett des Prypjat liegt, eine Fläche von 22,9 Quadratkilometern und ein Volumen von 160 Millionen Kubikmetern hat. Auf seinem Boden haben sich radioaktive Partikel mit einer geschätzten Gesamtaktivität von  $1,3 \cdot 10^{15}$  Becquerel (Bq) Cäsium-137,  $3 \cdot 10^{13}$  Bq Strontium-90 und  $1 \cdot 10^{11}$  Bq Plutonium abgelagert. Seine Wasser-

oberfläche befindet sich sieben Meter oberhalb des Prypjat und ist nur durch einen Damm von diesem getrennt.<sup>289</sup>

Die Ausbreitung der radioaktiven Stoffe ist nicht nur bei einem Dammbruch, sondern auch bei Austrocknung des Kühlteichs möglich. Dies birgt die Gefahr, dass die hochradioaktiven Stoffe mit dem Wind in der Umgebung verteilt werden. Daher wird permanent Wasser aus dem Prypjat in den Teich gepumpt, die Kosten dafür liegen bei einigen Hunderttausend Euro pro Jahr. Das Wasser fließt durch das Flussbett und den Deich stark filtriert in den Fluss zurück.<sup>290</sup>

2009 bis 2011 werden im Rahmen eines IAEA-Projekts fünf internationale Expertentreffen durchgeführt, um eine Machbarkeitsstudie, einen Umweltverträglichkeitsbericht und ein Überwachungsprogramm für die Stilllegung des Kühlteichs vorzubereiten.<sup>291</sup> Geplant ist, den Wasserspiegel um sieben Meter (auf Höhe des Prypjat) abzusenken und zehn bis 20 kleinere Seen zu erzeugen, die das radioaktive Sediment zurückhalten.<sup>292</sup>

Eine problematische Auswirkung des riesigen Kühlteichs ist, dass der Grundwasserspiegel in der Gegend gestiegen ist. Das hat einen negativen Einfluss auf den Baugrund des Zwischenlagers und des New Safe Confinement, außerdem dringt Wasser in untere Bereiche verschiedener Gebäude am Standort ein. Im Rahmen der Stilllegung des Kühlteichs ist daher auch eine Grundwasserabsenkung geplant. Zudem soll eine Änderung der Grundwasserbewegung in der Umgebung des Anlagengeländes erfolgen. Ziel ist dabei die Verlängerung der Zeitdauer, bis die radioaktiven Stoffe aus den provisorischen Abfalllagerstellen den Prypjat erreichen.<sup>293</sup>

Um auch in den nächsten Jahrzehnten über ausreichend Wasser für die Kühlung der Brennelemente und für eine potentielle Brandbekämpfung zu verfügen, muss ein neuer Kühlteich mit Pumpstation angelegt werden. 2012/13 wird – falls die Finanzierung steht – eine Machbarkeitsstudie für die Stilllegung des Kühlteichs erstellt.<sup>294</sup>

## 5.1 Langzeitschäden der Ökosysteme

Die Langzeitschäden für die betroffenen Ökosysteme dauern nach atomaren Katastrophen vermutlich länger an und sind auch größer als bisher angenommen – das ist 2012 das Ergebnis von Forschungen an der Leuphana Universität (Lüneburg). Das Forscherteam stützt sich bei dieser Aussage auf die Auswertung von mehr als 500 Studien über die Auswirkungen des Reaktorunfalls in Tschernobyl. Wichtigstes Ergebnis der Auswertung ist, dass selbst geringe Strahlendosen Pflanzen und Tiere schädigen können. Das Forscherteam fordert die Forschungen besser zu koordinieren, um Erkenntnisse über die langfristige Wirkung von Strahlung auf komplexe Ökosysteme zu gewinnen.<sup>295</sup>

Die Tschernobyl-Katastrophe bietet der Wissenschaft die „Möglichkeit“, die Auswirkungen eines Atomunfalls zu untersuchen. Diese 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 ist besonders deutlich bei Vögeln, die sich von Insekten ernähren, die in der am stärksten kontaminierten oberen Bodenschicht leben. In den am stärksten radioaktiv verstrahlten Gebieten nimmt 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.<sup>296</sup>

Im März 2009 veröffentlichen 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.<sup>297</sup> Die Forscher vermuten zudem, basierend auf Forschungsergebnissen bei Tieren,

dass die Strahlenbelastungen auch für die Geburtsfehler bei Menschen in der Region verantwortlich sein können – 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.<sup>298</sup>

Anfang 2011 berichtet selbst eine internationale Fachzeitschrift 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 sinkt die Größe der Gehirne. Kleine Gehirne sind verbunden mit einer verringerten kognitiven Fähigkeit. Dieser Effekt wurde bereits für Menschen und andere Organismen gezeigt, aber in stärker kontaminierten Gebieten.<sup>299</sup>

In der „Verbotenen Zone“ liegen viele Flüsse und Seen. Die meisten dieser Gewässer sind nach wie vor hoch kontaminiert. Die Verteilung der Radionuklide im Wassersystem ist kompliziert und verändert sich ständig. In den Wasserökosystemen befinden sich die Radionuklide in einer ständigen Migration (biologisch, chemisch und physikalisch) und sammeln sich vorwiegend in den Böden, aber auch in bestimmten Tierarten an.

Der Boden des Glubokoje-Sees, der ca. 6,5 km weit entfernt vom AKW Tschernobyl in der Prypjat-Flussaue liegt, ist mit radioaktivem Schlamm bedeckt. Die Bodenkontamination beträgt 26.000 kBq/m<sup>2</sup> für Strontium-90, ca. 5600 kBq/m<sup>2</sup> für Cäsium-137. Die 2010 bei Rotfedern (Karpfenfische) des Sees gemessenen maximalen Aktivitätskonzentrationen betragen 12.000 Bq/kg für Cäsium-137 und 16.000 Bq/kg für Strontium-90. Die Grenzwerte für Fisch sind 150 Bq/kg für Cäsium-137 und 35 Bq/kg für Strontium-90.<sup>300</sup>

Hohe radioaktive Belastungen verursachen beträchtliche Störungen in den Biosystemen, wie z.B. den Verlust der Widerstandsfähigkeit gegen Parasiten, Schädlinge und Infektionen. So wird im Jahr 2000 erstmalig in der Ukraine in den Gewässern der „Verbotenen Zone“ der Schilf mit einer bestimmten Milbenart (*Steneotarsonemus phragmitidis*) befallen. Befallene Schilfpflanzen sind zwergwüchsig und verlieren die Fähigkeit, sich durch Samen zu vermehren. Die Veränderung des Schilfs in den Gewässern der „Verbotenen Zone“ verbreitet sich sichtbar.<sup>301</sup>

Auch 26 Jahre nach dem Unfall sind die kontaminierten Gebiete rund um den Reaktor eine offene „Quelle“ für die Ausbreitung der Radionuklide, die z.B. mit dem Wind, dem Oberflächen- oder dem Grundwasser die „Verbotene Zone“ verlassen.

Die negative Auswirkung der Strahlung auf die Flora und Fauna ist eines der wichtigsten – aber bisher noch ungenügend untersuchten – Probleme der „Verbotenen Zone“.<sup>302</sup> Zur Überwachung der Ökosysteme werden nur der Gehalt und das Verhalten von Radionukliden bestimmt. Aufgrund der Komplexität natürlicher Lebensräume sollte die Überwachung aber auch die Wechselbeziehungen unter Berücksichtigung der saisonalen Veränderungen einschließen.<sup>303</sup>

### **Exkurs: Wildschweine in Deutschland, Schafe in Wales und Pilze in Schweden**

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 zahlt der Bund 2010 Entschädigungen von insgesamt 424.650 Euro, 1998 sind es umgerechnet nur rund 5100 Euro gewesen. Als Grund für die gestiegenen Ausgaben nennt das „Hamburger Abendblatt“ eine gestiegene Zahl untersuchter Wildproben. Die vom Bund gezahlten Entschädigungszahlungen summieren sich bis Ende Juni 2010 auf 238 Millionen Euro.<sup>304</sup>

Auch 26 Jahre nach der Katastrophe sind Pilze und etliche Wildschweine in Deutschland radioaktiv belastet. In sieben Gemeinden des südlichen Alb-Donau-Kreises wird jedes erlegte Wildschwein auf Radioaktivität untersucht. Ergebnis: Nahezu jedes zweite Stück darf nicht in den

Handel gebracht werden. Im weniger belasteten Kreisgebiet werden Stichproben genommen. So können, laut einem Jägermeister, die Verbraucher „beruhigt“ Wild essen.<sup>305</sup>

Erst am 1. Juni 2012, mehr als 26 Jahre nach der Reaktorkatastrophe, werden in Wales die Kontrollen der Schafe von 327 Farmen aufgehoben.<sup>306</sup> Im Jahr 2010 liegen von den getesteten Tieren immer noch fünf Prozent über dem dort zulässigen Grenzwert von 1000 Bq/kg. Die zuständige Behörde hält aber nun eine Kontrolle nicht mehr für angemessen. 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.<sup>307</sup>

Die Langlebigkeit der Radionuklide sorgt auch z.B. in Nordeuropa noch für erhöhte Strahlenbelastungen: Im Jahr 2009 werden in südschwedischen Pilzen Werte von 180.000 Bq/kg gemessen (EU-Grenzwert 600 Bq/kg).<sup>308</sup>

## 5.2 Umgang mit der belasteten Umwelt

In der „Verbotenen Zone“ sind immer noch hohe Kontaminationen im Boden und Wasser vorhanden, die sich auch auf die Ökosysteme ausgewirkt haben. Große Anstrengungen müssen unternommen werden, um eine weitere Ausbreitung der Radionuklide (z.B. aus den Abfalldeponien) zu verhindern.

Andererseits ist geplant, weitere radioaktive Abfälle in die „Verbotene Zone“ zu transportieren und dort zu lagern. Etwa zehn Kilometer von dem explodierten Reaktor entfernt wird ein zentrales Zwischenlager (Centralized Spent Fuel Storage Facility=CSFS) für insgesamt 16.529 abgebrannte Brennelemente der Reaktortypen WWR-440 und WWR-1000 entstehen. Am 9. Februar 2012 verabschiedet die ukrainische Regierung ein entsprechendes Gesetz. Eine maximale Lagerdauer wird in dem Gesetz nicht genannt. Derzeit transportiert die Ukraine die abgebrannten Brennelemente nach Russland.<sup>309</sup>

Es existiert darüber hinaus die Idee, die Möglichkeit einer oberflächennahen Endlagerung von hochradioaktiven Abfällen in der „Verbotenen Zone“ zu prüfen, um so auf die teure geologische Tiefenlagerung verzichten zu können.<sup>310</sup>

Gleichzeitig wird die „Verbotene Zone“ für den Massentourismus geöffnet. Seit 2002 veranstalten einige Touristikunternehmen, zunächst illegal, Touren zu den gesperrten Gebieten. Jährlich lockt der Sarkophag einige Tausend Besucher an. Ungefähr die Hälfte aus der früheren Sowjetunion, die andere aus westlichen Ländern. Im Februar 2011 erlaubt das für Tschernobyl zuständige ukrainische Katastrophenschutzministerium (in Abstimmung mit den Gesundheits- und Justizbehörden) diese Touren.<sup>311</sup> Die „Verbotene Zone“ soll – insbesondere zur Fußballmeisterschaft 2012 – für den Massentourismus geöffnet und der Sarkophag zu einem attraktiven Ziel deklariert werden. Das Katastrophenschutzministerium gründet zu diesem Zweck ein Touristikunternehmen. Dieses soll geführte Ausflüge in die „Verbotene Zone“ für rund 100 Dollar anbieten und aggressiv bewerben. Bis zu einer Million Touristen pro Jahr werden erwartet. 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 der verlassenen Stadt Prypjat auf dem Programm, die einem Freiluftmuseum der Sowjetunion der 1980er Jahre gleicht. Abschließend ist ein Besuch bei den auf eigene Verantwortung zurückkehrenden Bewohnern der evakuierten Dörfer geplant. Die Rückkehrer bewirten die Touristen – auch mit eingelegten Pilzen, gesammelt in den kontaminierten Wäldern. An Kinder und Schwangere sollen keine Tickets verkauft werden.<sup>312</sup>

Ein US-Magazin (Forbes) bezeichnet die Region um den Reaktor bereits als eines der interessantesten Touristenziele weltweit. Nach Meinung der Chefin des UNO-Entwicklungsprogramms erteilen die Touren eine wichtige Lektion zum Thema Atomsicherheit und sammeln zudem Geld ein.<sup>313</sup> 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.<sup>314</sup>



Laut Medienberichten setzt nach dem 25. Jahrestag des Reaktorunfalls und dem Unfall in Fukushima ein Ansturm auf die Ausflüge nach Tschernobyl ein. Im Sommer 2011 verbietet aber das Kiewer Verwaltungsgericht die touristischen Besuche in der „Verbotenen Zone“, das Gericht prüft die Zulässigkeit solcher Reisen. Seit einigen Monaten sind die Ausflüge unter strengen Sicherheitsauflagen wieder erlaubt. Nun müssen alle Touristen ihren Ausflug nach Tschernobyl 14 Tage vor Antritt bei der Regierung anmelden. Nur spezielle Reisebüros, von der Regierung kontrollierte Firmen, dürfen die Fahrten organisieren. Erfahrungen im letzten Sommer zeigen, dass die Touristen (trotz Warnungen) Wege verlassen und Souvenirs mitnehmen.<sup>315</sup> Diese Reisen bergen sowohl Risiken für die Touristen (Strahlenbelastungen), als auch für die „Verbotene Zone“ (Brandgefahr).

Trotz des weiterhin vorhandenen Risikos sollen geringer kontaminierte Teilflächen der „Verbotenen Zone“ wieder für die landwirtschaftliche Nutzung freigegeben werden. Laut Medienberichten sollte bereits im März 2011 ein entsprechendes Programm zusammen mit dem Landwirtschaftsministerium ausgearbeitet werden.<sup>316</sup> Es ist zu befürchten, dass die dortige Bevölkerung eine überdurchschnittlich hohe Strahlendosis durch die Aufnahme kontaminierter Nahrungsmittel (Ingestion) erhält. Dies zeigen Untersuchungen in kontaminierten Gebieten in Weißrussland.<sup>317</sup>

Es ist zu befürchten, dass 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 z.B. die Markthallen in Moskau. Dort haben alle Marktplätze ein Labor, um Waren vor dem Verkauf zu messen. Laut Angaben der Strahlenschutzbehörde werden im Jahr 2005 rund 830 Kilogramm belastete Waren aufgespürt, vor allem Pilze und Beeren.<sup>318</sup>

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 wird meist mit unbelasteten Pilzen „gestreckt“ bzw. in unverdächtigen Drittländern umgeschlagen und entsprechend umdeklariert. Das Umweltinstitut München fordert daher regelmäßige Kontrollen statt einzelner Stichproben.<sup>319</sup>

Bemerkenswert ist in diesem Zusammenhang, dass in Japan erheblich niedrigere Grenzwerte als in Europa gelten. Japan senkt zum 1. April 2012 seinen Grenzwert für Cäsium-137 in Lebensmitteln auf 100 Bq/kg. Für Milchprodukte und Kinderlebensmittel gilt ein Grenzwert von 50 Bq/kg. In der EU gelten diese Grenzwerte nur für japanische Importprodukte, ansonsten gilt in der EU ein Grenzwert von 600 Bq/kg sowie für Säuglingsnahrung und Milchprodukte von 370 Bq/kg.<sup>320</sup>

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 auch, wie schwierig ein langfristiger Umgang mit einem Gebiet ist, das für viele Generationen als unbewohnbar gilt.

### **Exkurs: Landwirtschaft in kontaminierten Gebieten in Weißrussland**

Nach dem Unfall umfasst das kontaminierte Gebiet (Flächen mit Cäsium-137 Bodenkontaminationen über 37 kBq/m<sup>2</sup>) in Weißrussland insgesamt 44.300 km<sup>2</sup>. Mehr als 3600 Orte (davon 27 Städte mit insgesamt mehr als einem Fünftel der Bevölkerung Weißrusslands) sind betroffen. Bodenbelastungen bis 60.000 kBq/m<sup>2</sup> werden gemessen. Laut Vorhersagen soll sich das kontaminierte Gebiet durch natürlichen radioaktiven Zerfall bis 2016 auf 66 Prozent und bis 2046 erst auf 42 Prozent seiner Anfangsgröße verringert haben.<sup>321</sup>

Die Eigenschaften des Bodens bestimmen die Ausbreitung der radioaktiven Stoffe sowie deren Aufnahme in Pflanzen. Nach dem Unfall werden in den kontaminierten Gebieten Gegenmaßnahmen ergriffen: Pflanzen, die zur Anreicherung von Radionukliden neigen, werden aus der landwirtschaftlichen Nutzung ausgeschlossen. Saure Böden werden gekalkt und Kalium-, Phosphor- oder organische Dünger werden verstärkt auf Anbauflächen gestreut. Das hat zwei Effekte: Die Verfügbarkeit von Cäsium und Strontium wird verringert und durch Dünger die produzier-

te Menge an Nahrungs- oder Futtermittelpflanzen vergrößert (Verdünnungseffekt). Die Maßnahmen senken die Konzentration von Cäsium-137 in landwirtschaftlichen Produkten um das Zwei- bis Zehnfache. Die Konzentration an Strontium-90 wird nur halbiert. Allerdings steigt die Mobilität von Strontium-90 im Boden mit der Zeit leicht an.

Das Problem der landwirtschaftlichen Nutzung kontaminierter Gebiete in Weißrussland ist ungeklärt, trotz erreichter Verbesserungen. Hauptproblem sind ländliche Gegenden mit sandigen und torfhaltigen Böden, diese sind durch hohe Transferfaktoren gekennzeichnet. Die Radionuklide sammeln sich erst in Gemüse und Obst und dann über die Nahrung im Menschen an. Die bisherigen agrarwirtschaftlichen Gegenmaßnahmen sind nicht effektiv genug, einige Maßnahmen sind zudem nicht ökologisch verträglich. Insbesondere haben hohe Dosen an Mineraldünger das Grundwasser belastet.

Forschungsergebnisse zeigen, dass ein deutliches Herabsetzen der Mobilität der Radionuklide im Boden durch die Anwendung von Sapropel (Bodenschlamm von Seen) und bestimmter Industrieabfälle erreicht werden kann. An einer geeigneten Zusammensetzung der Substanzen unter Berücksichtigung wirtschaftlicher Aspekte wird weiter geforscht.<sup>322</sup>

## Schlussfolgerungen und Ausblick

Bis 1996 wird keine für alle Seiten akzeptable Lösung zum Umgang mit dem explodierten Reaktor gefunden. Der Ukraine wird vorgeworfen, mögliche Lösungsansätze zu blockieren, da sie den benachbarten Reaktor 3 weiter betreiben wolle. Während die Ukraine beklagt, dass westliche Firmen lediglich Geld mit der Katastrophe verdienen wollen, 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 verschlechtert, muss dringend gehandelt werden.

Vorteil des 1997 vereinbarten Shelter Implementation Plan (SIP) ist, 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) erst beginnt. Schon jetzt ist die Umsetzung zehn Jahre hinter dem Zeitplan zurück – und das bei einem ursprünglichen Gesamtzeitrahmen von acht bis neun Jahren.

Es 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 wird, um die Kosten signifikant zu senken. Wie schon 1986 beim Bau der ersten Schutzhülle, geht 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 New Safe Confinement 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.

Das Ziel der Stabilisierungsmaßnahmen am Sarkophag ist es, seine Standsicherheit 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.

Bisher sind noch nicht einmal die Anlagen zu Behandlung und Lagerung der radioaktiven Abfälle der Reaktoren 1 – 3 fertig gestellt bzw. in Betrieb. Falls keine erneuten Schwierigkeiten auftreten, wird dieses innerhalb der nächsten drei Jahre erfolgen. Damit war ein Zeitraum von rund 15 Jahren erforderlich, die Kosten dafür liegen bei fast einer halbe Milliarde Euro insgesamt. Die Entwicklung und Errichtung von Anlagen zur Behandlung der brennstoffhaltigen Massen aus dem explodierten Reaktor wird noch deutlich länger dauern und wesentlich höhere Summen erfordern.

Von einer Überführung in ein ökologisch sicheres System ist der Sarkophag nach wie vor weit entfernt. Es bleibt zu hoffen, dass durch den Unfall in Fukushima das fachliche und öffentliche Interesse an einer Lösung der Probleme steigt und auch die erforderlichen Milliarden bereitgestellt werden.

Der Standort Tschernobyl wird auch den ukrainischen Staat noch für viele Jahrzehnte wirtschaftlich 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. Bis zu eine Millionen Touristen jährlich werden erwartet. Dieses Projekt ist aus Gründen des Strahlenschutzes (Vermeidung jeder unnötigen Strahlenbelastung) abzulehnen.

Nach wie vor sind die Kontaminationen in der „Verbotenen Zone“ hoch. Untersuchungen zeigen, wie komplex die Verteilung und Auswirkungen der Radionuklide in den Ökosystem sind. Laut eines aktuellen Forschungsberichts sind nach atomaren Katastrophen die Langzeitschäden der betroffenen Ökosysteme größer als bisher angenommen. Es zeigt sich, dass selbst geringe Strahlendosen Pflanzen und Tiere schädigen können. Forschungen über die langfristige Wirkung von Strahlung auf komplexe Ökosysteme sollten ausgeweitet und koordiniert werden, auch um Erkenntnisse über die Auswirkungen des Reaktorunfalls in Fukushima und über einen bestmöglichen Schutz der dortigen Bevölkerung zu gewinnen.

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.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass auch 26 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 mittelfristige Lösung (100 Jahre) wird möglicherweise in den nächsten drei Jahren erreicht. Eine langfristige Lösung der Situation ist nach wie vor nicht in Sicht.

---

## Literatur

<sup>1</sup>Financial Times Deutschland: Fußball-EM: Fußballfans in Tschernobyl, 08.03.2012, [www.ftd.de/sport/:fussball-em-fussballfans-in-tschernobyl/70004953.html](http://www.ftd.de/sport/:fussball-em-fussballfans-in-tschernobyl/70004953.html), eingesehen März 2012

<sup>2</sup>Ukraine Nachrichten: Gestern versuchten Tschernobylliquidatoren das Parlament zu stürmen, 02.11.2011; [http://ukraine-nachrichten.de/gestern-versuchten-tschernobylliquidatoren-parlament-st%C3%BCrmen\\_3360\\_politik](http://ukraine-nachrichten.de/gestern-versuchten-tschernobylliquidatoren-parlament-st%C3%BCrmen_3360_politik), eingesehen März 2012

- <sup>3</sup> **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](http://www.grs.de/sites/default/files/pdf/GRS-121_Deut.pdf), eingesehen Februar 2011
- <sup>4</sup> World Nuclear Association (WNA): Nuclear Power in Russia, [www.world-nuclear.org/info/inf45.html](http://www.world-nuclear.org/info/inf45.html), eingesehen März 2012
- <sup>5</sup> **IKE 2005**, Informationskreis Kernenergie: Der Reaktorunfall in Tschernobyl; Februar 2005
- <sup>6</sup> **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.
- <sup>7</sup> IKE 2005, s.o.
- <sup>8</sup> **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
- <sup>9</sup> IKE 2005, s.o.
- <sup>10</sup> BMU 1986, s.o.
- <sup>11</sup> **Kerner 2011**, Kerner, A; Stück, R.; Weiß, F.-P.: Der Unfall von Tschernobyl 1986, atw. 56. Jg. (2011) Heft 2, S. 80 – 87
- <sup>12</sup> IKE 2005, s.o.
- <sup>13</sup> Kerner 2011, s.o.
- <sup>14</sup> Krüger 1996, s.o.
- <sup>15</sup> Kerner 2011, s.o.
- <sup>16</sup> Krüger 1996, s.o.
- <sup>17</sup> IKE 2005, s.o.
- <sup>18</sup> Krüger 1996, s.o.
- <sup>19</sup> Krüger 1996, s.o.
- <sup>20</sup> Krüger 1996, s.o.
- <sup>21</sup> Krüger 1996, s.o.
- <sup>22</sup> Krüger 1996, s.o.
- <sup>23</sup> IKE 2005, s.o.
- <sup>24</sup> Krüger 1996, s.o.
- <sup>25</sup> Krüger 1996, s.o.
- <sup>26</sup> Krüger 1996, s.o.
- <sup>27</sup> Kerner 2011, s.o.
- <sup>28</sup> Kerner 2011, s.o.
- <sup>29</sup> IKE 2005, s.o.
- <sup>30</sup> 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](http://www.strahlentelex.homepage.t-online.de/Stx_02_362_S02-03.pdf), eingesehen Februar 2011
- <sup>31</sup> WNA 2012, World Nuclear Association (WNA): Chernobyl Accident, [www.world-nuclear.org/info/chernobyl/inf07.html](http://www.world-nuclear.org/info/chernobyl/inf07.html), eingesehen März 2012
- <sup>32</sup> Fairlie, I.; Sumner, D.: Torch (The Other Report Chernobyl); Bericht im Auftrag von Rebecca Harms, MEP, Greens/EFA in the European Parliament, April 2006
- <sup>33</sup> IKE 2005, s.o.
- <sup>34</sup> **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](http://www.grs.de/sites/default/files/pdf/GRS-IRSN_3_Sicherheitszustand_des_Sarkophags.pdf), eingesehen Februar 2011
- <sup>35</sup> GRS 2005, s.o.
- <sup>36</sup> GRS 2012, s.o.
- <sup>37</sup> **Pretzsch 2004**, Radiological Hazards at the Chernobyl Shelter Site; 11<sup>th</sup> International Congress of the International Radiation Protection Association, Madrid 23-28 May 2004
- <sup>38</sup> IKE 2005, s.o.
- <sup>39</sup> **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
- <sup>40</sup> GRS 1996, s.o.
- <sup>41</sup> **Arcadis 2000**: Die Umsetzung des „Memorandum of Understanding“ zur Schließung des Standortes Tschernobyl, Arcadis Trischler & Partner GmbH, 2000
- <sup>42</sup> GRS 1996, s.o.
- <sup>43</sup> IKE 2005, s.o.; WISE News Communiqué 547: Chernobyl the Shelter Implementation Plan, April 27, 2001
- <sup>44</sup> Borovoi 1996, s.o.
- <sup>45</sup> Borovoi 1996, s.o.
- <sup>46</sup> Borovoi 1996 s.o., IKE 2005 s.o., Pretzsch 2011, s.o.

- 
- <sup>47</sup> Arcadis 2000, s.o.
- <sup>48</sup> **BMU 2010:** Tschernobyl und die Folgen, April 2010, [www.bmu.de/atomenergie\\_sicherheit/downloads/17\\_legislaturperiode/doc/5409.php](http://www.bmu.de/atomenergie_sicherheit/downloads/17_legislaturperiode/doc/5409.php), eingesehen Februar 2011
- <sup>49</sup> Arcadis 2000, s.o.
- <sup>50</sup> **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](http://www.ebrd.com/downloads/research/factsheets/chernobyl25.pdf), eingesehen März 2011,
- <sup>51</sup> BMU 2010, s.o.
- <sup>52</sup> Arcadis 2000, s.o.
- <sup>53</sup> Arcadis 2000, s.o.; Pretzsch 2011, s.o.
- <sup>54</sup> Nucleonics Week, February 3, 2011
- <sup>55</sup> Nucleonics Week, February 3, 2011
- <sup>56</sup> EBRD 2011, s.o.; Pretzsch 2011, s.o.
- <sup>57</sup> Nucleonics Week, August 28, 2003
- <sup>58</sup> Nucleonics Week, March 18, 2004
- <sup>59</sup> Nucleonics Week, April 28, 2005
- <sup>60</sup> Zeitschrift für Atomwirtschaft (ATW), Oktober 2007, S. 676
- <sup>61</sup> Nuclear Engineering International; March 2008, p. 5
- <sup>62</sup> Nuclear Monitor 673; EBRD: More Money to new Safe Confinement Chernobyl; WISE, June 5, 2008, <http://www10.antenna.nl/wise/673/673.pdf>, eingesehen Februar 2011
- <sup>63</sup> **EBRD 2009:** European Bank for Reconstruction and Development: Chernobyl Grant, February 16, 2009, [www.ebrd.com/english/pages/news/press/2009/090216.shtml](http://www.ebrd.com/english/pages/news/press/2009/090216.shtml), eingesehen Februar 2011
- <sup>64</sup> Nucleonics Week, February 3, 2011
- <sup>65</sup> EBRD 2011, s.o.
- <sup>66</sup> Pretzsch 2011, s.o.
- <sup>67</sup> Spiegelonline: Moskaus teure Sünden, 20.12.2010, [www.spiegel.de/spiegel/print/d-75803487.html](http://www.spiegel.de/spiegel/print/d-75803487.html), eingesehen Februar 2011
- <sup>68</sup> EBRD 2011, s.o.
- <sup>69</sup> Nucleonics Week, February 3, 2011
- <sup>70</sup> Spiegelonline: Geberkonferenz in Kiew, 550 Millionen Euro für Tschernobyl-Sarkophag, 19. April 2011, [www.spiegel.de/wissenschaft/technik/0,1518,758042,00.html](http://www.spiegel.de/wissenschaft/technik/0,1518,758042,00.html), eingesehen März 2012
- <sup>71</sup> Spiegelonline: Bauarbeiten für Sarkophag sollen im Herbst beginnen; 13.07.2011; <http://www.spiegel.de/wissenschaft/technik/0,1518,774163,00.html>, eingesehen März 2011
- Nuclear Engineering International: Chernobyl fund shortfall; Juni 2011, S. 7
- <sup>72</sup> NEI 2011: Nuclear Engineering International: Chernobyl confinement project still EUR 200 million short; 26.04.2011; <http://www.neimagazine.com/story.asp?storyCode=2059461>, eingesehen März 2012
- <sup>73</sup> EBRD 2012, Chernobyl 25; F.A.Q.; <http://chernobyltwentyfive.org/node/14>, eingesehen März 2012
- <sup>74</sup> Nucleonics Week, June 20, 2002
- <sup>75</sup> International Chornobyl Center for Nuclear Safety, Radioactive Waste and Radioecology (ICC), News 07.08.2003, [www.chornobyl.net](http://www.chornobyl.net), eingesehen März 2004
- <sup>76</sup> Nucleonics Week, May 22, 2003
- <sup>77</sup> Nucleonics Week, November 25, 2004
- <sup>78</sup> Nucleonics Week, December 4, 2003
- <sup>79</sup> Belarus News, Meldung vom 17.12.2003, [www.belarusnews.de](http://www.belarusnews.de), eingesehen März 2004
- <sup>80</sup> Nucleonics Week, October 6, 2005
- <sup>81</sup> Nucleonics Week, November 25, 2004
- <sup>82</sup> Nucleonics Week, November 25, 2004
- <sup>83</sup> Nucleonics Week, November 25, 2004
- <sup>84</sup> Nucleonics Week, July 14, 2005
- <sup>85</sup> Nucleonics Week, July 14, 2005
- <sup>86</sup> Nucleonics Week, January 22, 2009
- <sup>87</sup> Nucleonics Week, April 30, 2009
- <sup>88</sup> EBRD 2011, s.o.
- <sup>89</sup> IKE 2005, s.o.
- <sup>90</sup> Arcadis 2000, s.o.
- <sup>91</sup> Nucleonics Week, June 20, 2002
- <sup>92</sup> Nucleonics Week, January 19, 2006
- <sup>93</sup> Nucleonics Week, February 7, 2008
- <sup>94</sup> Nucleonics Week, February 3, 2011

- 
- <sup>95</sup> Ukraine Nachrichten: Internationale Gebergemeinschaft wird neuen Tschernobyl-Sarkophag finanzieren, 15.07.2011, [http://ukraine-nachrichten.de/internationale-gebergemeinschaft-wird-neuen-tschernobyl-sarkophag-finanzieren\\_3207\\_pressemitteilungen](http://ukraine-nachrichten.de/internationale-gebergemeinschaft-wird-neuen-tschernobyl-sarkophag-finanzieren_3207_pressemitteilungen); eingesehen März 2012
- <sup>96</sup> **Nuklear Forum Schweiz 2012**: Tschernobyl: baldiger Baubeginn für Schutzhülle, 12.03.2012, [http://www.nuklearforum.ch/ebarticle.php?art\\_id=de-13311985144535&id=de-116487550462](http://www.nuklearforum.ch/ebarticle.php?art_id=de-13311985144535&id=de-116487550462), eingesehen März 2012; EBRD Direktor Novak in einer Email an Greenpeace; 21.12.2011
- <sup>97</sup> Nucleonics Week, April 30, 2009
- <sup>98</sup> WISE News Communiqué 547: Chernobyl the Shelter Implementation Plan, April 27, 2001
- <sup>99</sup> Gesellschaft für Reaktorsicherheit, [www.grs.de](http://www.grs.de), eingesehen März 2003
- <sup>100</sup> Nucleonics Week, January 19, 2006
- <sup>101</sup> Nucleonics Week, December 4, 2003
- <sup>102</sup> Nucleonics Week, April 28, 2005
- <sup>103</sup> Nucleonics Week, November 17, 2005
- <sup>104</sup> Nucleonics Week, July 28, 2005
- <sup>105</sup> Nucleonics Week, July 28, 2005
- <sup>106</sup> Nucleonics Week, July 28, 2005; Nucleonics Week, December 16, 2004
- <sup>107</sup> Nucleonics Week, February 7, 2008
- <sup>108</sup> EBRD 2011, s.o.
- <sup>109</sup> EBRD 2011, s.o.
- <sup>110</sup> Nucleonics Week, January 19, 2006
- <sup>111</sup> Nucleonics Week, November 25, 2004
- <sup>112</sup> Nucleonics Week, December 4, 2003
- <sup>113</sup> Nucleonics Week, November 25, 2004
- <sup>114</sup> Nucleonics Week, October 6, 2005
- <sup>115</sup> Nuclear Monitor: Chernobyl officials nearing decision on shelter bid, WISE, December 15, 2006 |, <http://www.nirs.org/mononline/nm650.pdf>, eingesehen Februar 2011
- <sup>116</sup> EBRD 2011, s.o.
- <sup>117</sup> Pretzsch 2011, s.o.
- <sup>118</sup> The Washington Post, 10. 01. 2003
- <sup>119</sup> Pretzsch 2011, s. o
- <sup>120</sup> EBRD 2011, s.o.
- <sup>121</sup> **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](http://www.grs.de/content/grs-projekte-f%C3%BCr-tschernobyl), eingesehen Februar 2011
- <sup>122</sup> BMU 2010, s.o.
- <sup>123</sup> NEI 2011, s.o.
- <sup>124</sup> **ChNPP 2011b**: Chernobyl Nuclear Power Plant: NSC Construction Progress, 21.01.2011, [www.chnpp.gov.ua/eng/news.php?lng=en](http://www.chnpp.gov.ua/eng/news.php?lng=en), eingesehen Februar 2011; The Washington Post, 10. 01. 2003
- <sup>125</sup> EBRD 2011, s.o.
- <sup>126</sup> Nucleonics Week, February 3, 2011
- <sup>127</sup> **ChNPP 2011b**: Chernobyl Nuclear Power Plant: NSC Construction Progress, 21.01.2011, [www.chnpp.gov.ua/eng/news.php?lng=en](http://www.chnpp.gov.ua/eng/news.php?lng=en), eingesehen Februar 2011
- <sup>128</sup> EBRD 2011, s.o.
- <sup>129</sup> EBRD 2011, s.o.
- <sup>130</sup> Nucleonics Week, January 19, 2006
- <sup>131</sup> YEM: Construction of new ventilation stack (NVS); [http://www.ukrenergomontazh.com/index.php?option=com\\_content&view=category&layout=blog&id=110&Itemid=788&lang=en](http://www.ukrenergomontazh.com/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=110&Itemid=788&lang=en), eingesehen März 2012
- <sup>132</sup> **ChNPP 2012a**, Chernobyl Nuclear Power Plant : The first metal for Arch is available!; 16 March 2012; [www.chnpp.gov.ua/index.php?option=com\\_content&view=section&layout=blog&id=68&Itemid=11&lang=en](http://www.chnpp.gov.ua/index.php?option=com_content&view=section&layout=blog&id=68&Itemid=11&lang=en); eingesehen März 2012
- <sup>133</sup> Daily Nation: Work on new Chernobyl sarcophagus to start next month, 27 March 2012; <http://www.nation.co.ke/News/world/Work+on+new+Chernobyl+sarcophagus+to+start+next+month+/-/1068/1375012/-/Xxvw4u/-/>, eingesehen März 2012
- <sup>134</sup> Nuklear Forum Schweiz 2012, s.o.
- <sup>135</sup> Chernobyl 4 shelter implementation plan lightning protection, Ukraine; 19 August 2011, <http://www.neimagazine.com/story.asp?storyCode=2060450> ; ChNPP 2012a, s.o
- <sup>136</sup> Nuklear Forum Schweiz 2012, s.o.
- <sup>137</sup> IKE 2005, s.o.
- <sup>138</sup> BMU 2010, s.o.
- <sup>139</sup> Pretzsch 2011, s.o.

- 
- <sup>140</sup> Nucleonics Week, April 28, 2005
- <sup>141</sup> Nucleonics Week, April 28, 2005
- <sup>142</sup> Chernobyl Nuclear Power Plant: The State Specialized Enterprise „Chernobyl Nuclear Power Plant“, [www.chnpp.gov.ua/eng/index.php?lng=en](http://www.chnpp.gov.ua/eng/index.php?lng=en), eingesehen Februar 2011
- <sup>143</sup> **NEA 2002**; CHERNOBYL Assessment of Radiological and Health Impacts, 2002 Update of Chernobyl: Ten Years On, Nuclear Energy Agency (NEA); 2002
- <sup>144</sup> **ChNPP 2012b**, Chernobyl Nuclear Power Plant: IAEA highly appreciated the results of technical assistance project implementation at ChNPP, News, 24 January 2012, [www.chnpp.gov.ua/index.php?option=com\\_content&view=article&id=181%3Aiaea-highly-appreciated-the-results-of-technical-assistance-project-implementation-at-chnpp&catid=94%3Anews&Itemid=11&lang=en](http://www.chnpp.gov.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=181%3Aiaea-highly-appreciated-the-results-of-technical-assistance-project-implementation-at-chnpp&catid=94%3Anews&Itemid=11&lang=en), eingesehen März 2012
- <sup>145</sup> GRS 1996, s.o.
- <sup>146</sup> WNA 2005, Chernobyl Accident, Sept. 2005, <http://world-nuclear.org>, eingesehen Februar 2006
- <sup>147</sup> IKE 2005, s.o.
- <sup>148</sup> Nuclear Engineering International: Chernobyl 3 restart proposed, December 2002
- <sup>149</sup> Nucleonics Week, April 28, 2005
- <sup>150</sup> Direktion für Entwicklung und Zusammenarbeit (DEZA): Tschernobyl Info, News 21.2.2005, [www.chernobyl.info](http://www.chernobyl.info), eingesehen Februar 2006
- <sup>151</sup> Nucleonics Week, March 10, 2005
- <sup>152</sup> Nucleonics Week, January 22, 2009
- <sup>153</sup> Nucleonics Week, September 15, 2005
- <sup>154</sup> Nucleonics Week, September 15, 2005
- <sup>155</sup> 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
- <sup>156</sup> Nucleonics Week, December 22, 2005
- <sup>157</sup> Pretzsch 2011, s.o.
- <sup>158</sup> Pretzsch 2011, s.o.
- <sup>159</sup> EBRD 2011, s.o.
- <sup>160</sup> Chernobyl Nuclear Power Plant: Current Status of Chernobyl NPP power units, [www.chnpp.gov.ua/index.php?option=com\\_content&view=article&id=91&Itemid=83&lang=en](http://www.chnpp.gov.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=91&Itemid=83&lang=en), eingesehen März 2012
- <sup>161</sup> ChNPP: Interim Spent Nuclear Fuel Dry Storage Facility (ISF-2); [http://www.chnpp.gov.ua/index.php?option=com\\_content&view=category&layout=blog&id=45&Itemid=31&lang=en](http://www.chnpp.gov.ua/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=45&Itemid=31&lang=en); März 2012
- <sup>162</sup> NEA 2002, s.o.
- <sup>163</sup> Nucleonics Week, September 15, 2005
- <sup>164</sup> Pretzsch 2011, s.o.
- <sup>165</sup> Nucleonics Week, September 15, 2005
- <sup>166</sup> Nucleonics Week, December 22, 2005
- <sup>167</sup> Nucleonics Week, September 15, 2005
- <sup>168</sup> Nucleonics Week, December 22, 2005
- <sup>169</sup> FAZ.net: Tschernobyl – Bekommen wir mehr, bekommen Sie mehr, 25.10.2006; [www.faz.net](http://www.faz.net), eingesehen Februar 2011
- <sup>170</sup> Nucleonics Week, December 22, 2005
- <sup>171</sup> Nucleonics Week, September 15, 2005
- <sup>172</sup> Nuclear Fuel, November 1, 2010
- <sup>173</sup> Nuclear Fuel, November 1, 2010
- <sup>174</sup> Nucleonics Week, December 22, 2005
- <sup>175</sup> Nuclear Fuel, November 1, 2010
- <sup>176</sup> Pretzsch 2011, s.o.
- <sup>177</sup> Nucleonics Week, February 24, 2011
- <sup>178</sup> NEI 2011, s.o.
- <sup>179</sup> Pretzsch 2011, s.o.
- <sup>180</sup> Wikipedia, [http://de.wikipedia.org/wiki/Areva\\_NP](http://de.wikipedia.org/wiki/Areva_NP), eingesehen Februar 2011
- <sup>181</sup> Nucleonics Week, January 8, 2004; Nucleonics Week, December 22, 2005
- <sup>182</sup> **ATW 2006**: Tschernobyl – 20 Jahre danach, atw 51. Jg, (2006), Heft 4, S. 251 – 253
- <sup>183</sup> Nucleonics Week, December 22, 2005
- <sup>184</sup> EBRD 2009, s.o.
- <sup>185</sup> Nucleonics Week, February 24, 2011
- <sup>186</sup> EBRD 2011, s.o.

- 
- <sup>187</sup> NEA 2002, s.o.; NEI 2011, s.o.
- <sup>188</sup> Nucleonics Week, February 3, 2011
- <sup>189</sup> Pretzsch 2011, s.o.
- <sup>190</sup> Pretzsch 2011, s.o.
- <sup>191</sup> Chernobyl Nuclear Power Plant: Liquid Radioactive Waste Treatment Plant (LRTP), [www.chnpp.gov.ua/index.php?option=com\\_content&view=article&id=28&Itemid=33&lang=en](http://www.chnpp.gov.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=28&Itemid=33&lang=en), eingesehen März 2012
- <sup>192</sup> Pretzsch 2011, s.o.
- <sup>193</sup> **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
- <sup>194</sup> Pretzsch 2011, s.o.
- <sup>195</sup> Pretzsch 2011, s.o.
- <sup>196</sup> ATW 2006, s.o.
- <sup>197</sup> Nuclear Engineering International (NEI): EBRD - Liquid Radwaste Treatment Plant Completion general procurement notice, Ukraine, 24.11.2009, [www.neimagazine.com/story.asp?storyCode=2054818](http://www.neimagazine.com/story.asp?storyCode=2054818), eingesehen Februar 2011
- <sup>198</sup> Wehner 2004: Maßnahmen zu Verbesserung der ökologischen Situation in Tschernobyl- Das RWE Nukem Projekt ICSR, Informationskreis KernEnergie, 2004
- <sup>199</sup> ATW 2006, s.o.
- <sup>200</sup> NEI 2010, s.o.
- <sup>201</sup> Pretzsch 2011, s.o.
- <sup>202</sup> Nucleonics Week, April 30, 2009
- <sup>203</sup> **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
- <sup>204</sup> **ChNPP 2012c:** Chernobyl Nuclear Power Plant: Industrial Complex for Solid Radioactive Waste Management (ICSRM); [http://www.chnpp.gov.ua/index.php?option=com\\_content&view=article&id=29&Itemid=38&lang=en](http://www.chnpp.gov.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=29&Itemid=38&lang=en); eingesehen März 2012
- <sup>205</sup> ChNPP 2010d, s.o.
- <sup>206</sup> **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
- <sup>207</sup> 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](http://www.chnpp.gov.ua/eng/news.php?lng=en&id=2), eingesehen Februar 2011
- <sup>208</sup> Pretzsch 2011, s.o.
- <sup>209</sup> ChNPP 2012c, s.o.
- <sup>210</sup> Pretzsch 2011, s.o.
- <sup>211</sup> ChNPP 2012b, s.o.
- <sup>212</sup> ChNPP 2010d, s.o.
- <sup>213</sup> Pretzsch 2011, s.o.
- <sup>214</sup> Pretzsch 2011, s.o.
- <sup>215</sup> Wehner 2004, s.o.
- <sup>216</sup> Nucleonics Week, April 30, 2009
- <sup>217</sup> RiaNovosti: Russischer AKW-Bauer übernimmt deutsche Atomfirma NUKEM Technologies, 14.12.2009; unter <http://de.rian.ru/business/20091214/124366804.html>, eingesehen März 2012
- <sup>218</sup> Eichhorn 2011, s.o.
- <sup>219</sup> Nuclear Engineering International: NUKEM wins Ukraine radwaste consultancy, 08 November 2011; <http://www.neimagazine.com/story.asp?storyCode=2061091>, eingesehen März 2012
- <sup>220</sup> Wehner 2004, s.o.
- <sup>221</sup> Nucleonics Week, April 30, 2009
- <sup>222</sup> Nucleonics Week, April 30, 2009
- <sup>223</sup> ATW 2006, s.o.
- <sup>224</sup> **ChNPP 2011:** Chernobyl Nuclear Power Plant: Current Status, 05.02.2009, [www.chnpp.gov.ua/eng/articles.php?lng=en&pg=36](http://www.chnpp.gov.ua/eng/articles.php?lng=en&pg=36), eingesehen Februar 2011
- <sup>225</sup> ChNPP 2011, s.o.
- <sup>226</sup> 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](http://www.eurosafe-forum.org/files/poster6_1.pdf), eingesehen Februar 2011
- <sup>227</sup> GRS 1996, s.o.
- <sup>228</sup> ChNPP 2011, s.o.
- <sup>229</sup> GRS 1996, s.o.
- <sup>230</sup> ChNPP 2011, s.o.
- <sup>231</sup> IAEA 2006, s.o.



- 
- <sup>232</sup> **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](http://www-pub.iaea.org/mtcd/publications/pdf/pub1239_web.pdf), eingesehen Februar 2011
- <sup>233</sup> GRS 2005, s.o.
- <sup>234</sup> GRS 2005, s.o.
- <sup>235</sup> ChNPP 2011, s.o.
- <sup>235</sup> **ChNPP 2012d**: Chernobyl Nuclear Power Plant: Current Status of the Shelter Object, [http://www.chnpp.gov.ua/index.php?option=com\\_content&view=article&id=25&Itemid=22&lang=en](http://www.chnpp.gov.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=25&Itemid=22&lang=en), eingesehen März 2012
- <sup>236</sup> NEA 2002, s.o.
- <sup>237</sup> **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.
- <sup>238</sup> IAEA 2006, s.o.
- <sup>239</sup> IAEA 2006, s.o.
- <sup>240</sup> IAEA 2006 s.o.; IKE 2005, s.o.; Pretzsch 2004, s.o.
- <sup>241</sup> IAEA 2006, s.o.
- <sup>242</sup> Pretzsch 1996, s.o.
- <sup>243</sup> Borovoi 1996, s.o.
- <sup>244</sup> IAEA 2006, s.o.
- <sup>245</sup> IAEA 2006, s.o.
- <sup>246</sup> GRS 2005, s.o.
- <sup>247</sup> IAEA 2006, s.o.
- <sup>248</sup> Borovoi 1996, s.o.
- <sup>249</sup> GRS 2005, s.o.
- <sup>250</sup> 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](http://www.kit.edu/downloads/Japan-Hintergrundinfo_Nr018_Einheiten_und_Groessen_00.pdf), eingesehen März 2011
- <sup>251</sup> BMU 2010, s.o.
- <sup>252</sup> Bundesamt für Strahlenschutz (BfS): Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung, Jahresbericht 2009, [www.bfs.de/de/bfs/druck/uus/JB\\_archiv.html/#2009](http://www.bfs.de/de/bfs/druck/uus/JB_archiv.html/#2009), eingesehen Februar 2011
- <sup>253</sup> ChNPP 2012d, s.o.
- <sup>254</sup> ChNPP 2011, s.o. :
- <sup>255</sup> GRS 2005, s.o.
- <sup>256</sup> GRS 2005, s.o.
- <sup>257</sup> GRS 2005, s.o.
- <sup>258</sup> Borovoi 1996, s.o.
- <sup>259</sup> IAEA 2006, s.o.
- <sup>260</sup> ChNPP 2011, s.o.
- <sup>261</sup> IAEA 2006, s.o.
- <sup>262</sup> Arcadis 2000, s.o.
- <sup>263</sup> IAEA 2006, s.o.
- <sup>264</sup> ChNPP 2011, s.o.
- <sup>265</sup> GRS 2011, s.o.
- <sup>266</sup> Pretzsch 2004, s.o.
- <sup>267</sup> Pretzsch 2004, s.o.
- <sup>268</sup> GRS 2005, s.o.
- <sup>269</sup> GRS 2011, s.o.
- <sup>270</sup> IKE 2005, s.o.
- <sup>271</sup> A. Borovoy: Safety Aspects of the Object Shelter of the Chernobyl Nuclear Power Plant Unit 4; Kurchatov Institute Working Materials, IAEA, Vienna, 1995
- <sup>272</sup> Strahlentelex Nr. 234-235, 1996, Strahlentelex Nr. 244-245, 1997; WISE News Communiqué, April 27, 2001
- <sup>273</sup> Nucleonics Week, July 17, 2003
- <sup>274</sup> EBRD 2011, s.o.
- <sup>275</sup> NEA 2002, s.o.
- <sup>276</sup> Nucleonics Week, August 12, 2010
- <sup>277</sup> Nuclear Engineering International: Fires in Chernobyl region pose no additional health concerns, 13.08.2010
- <sup>278</sup> Nucleonics Week, August 12, 2010
- <sup>279</sup> ChNPP 2012b, s.o.

- 
- <sup>280</sup> Chernobyl Nuclear Power Plant : Shelter object transformation into ecologically safe system; [www.chnpp.gov.ua/index.php?option=com\\_content&view=category&layout=blog&id=46&Itemid=40&lang=en](http://www.chnpp.gov.ua/index.php?option=com_content&view=category&layout=blog&id=46&Itemid=40&lang=en) , eingesehen März 2012
- <sup>281</sup> IAEA 2006, s.o.
- <sup>282</sup> Kraemer 2011, s.o.
- <sup>283</sup> Arcadis 2000, s.o.
- <sup>284</sup> Kraemer 2011, s.o.
- <sup>285</sup> Kraemer 2011, s.o.
- <sup>286</sup> BMU 2010 s.o., Kraemer 2010 s.o.
- <sup>287</sup> BMU 2010, s.o.
- <sup>288</sup> Kraemer 2011, s.o.
- <sup>289</sup> Kraemer 2011, s.o.
- <sup>290</sup> **Ukraine Nachrichten 2011:** „Angereicherte“ Gewässer, 25.04.2011, [http://ukraine-nachrichten.de/angereicherte-gew%C3%A4sser\\_3091\\_meinungen-analysen](http://ukraine-nachrichten.de/angereicherte-gew%C3%A4sser_3091_meinungen-analysen), eingesehen März 2012
- Nature 2011:** Chernobyl's Legacy; Mark Peblow, Nature 471; 31 March 2011, S. 562 -565
- <sup>291</sup> **ChNPP 2012e,** Chernobyl Nuclear Power Plant: ChNPP Cooling Pond Decommissioning Project; [www.chnpp.gov.ua/index.php?option=com\\_content&view=article&id=106%3A2011-06-23-13-31-55&catid=45%3Aprojects&Itemid=93&lang=en](http://www.chnpp.gov.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=106%3A2011-06-23-13-31-55&catid=45%3Aprojects&Itemid=93&lang=en) , eingesehen März 2012
- <sup>292</sup> **Nature 2011:** Chernobyl's Legacy; Mark Peblow, Nature 471; 31 March 2011, S. 562 -565
- <sup>293</sup> ChNPP 2012e, s.o.; Nature 2011, s.o.
- <sup>294</sup> ChNPP 2012e, s.o.
- <sup>295</sup> **Hamburger Abendblatt 2012:** Wissenschaftler vermuten längere Auswirkungen, 16.03.2012, [www.abendblatt.de/region/lueneburg/article2218163/Wissenschaftler-vermuten-laengere-Auswirkungen.html](http://www.abendblatt.de/region/lueneburg/article2218163/Wissenschaftler-vermuten-laengere-Auswirkungen.html), eingesehen März 2012
- <sup>296</sup> Strahlentelex 2007: Artenvielfalt und Populationsdichte von Vögeln nehmen mit höherer Strahlung ab, Nr. 498-499, unter [www.strahlentelex.de/Stx\\_07\\_498\\_S05.pdf](http://www.strahlentelex.de/Stx_07_498_S05.pdf), eingesehen im Februar 2011
- <sup>297</sup> 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](http://www.strahlentelex.homepage.t-online.de/Stx_09_534_S01-02.pdf), eingesehen im Februar 2011
- <sup>298</sup> Nuclear Monitor 2009: Animals more affected by chernobyl radiation than thought, April 2, 2009, [www.nirs.org/mononline/nm686.pdf](http://www.nirs.org/mononline/nm686.pdf), eingesehen Februar 2011
- <sup>299</sup> Nuclear Engineering International: Chernobyl radiation affects bird brain size, 14.02.2011
- <sup>300</sup> Ukraine Nachrichten 2011, s.o
- <sup>301</sup> Ukraine Nachrichten 2011, s.o
- <sup>302</sup> 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
- <sup>303</sup> Ukraine Nachrichten 2011, s.o.
- <sup>304</sup> **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](http://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](http://www.tagesschau.de/inland/tschernobyl110.html), eingesehen Februar 2011
- <sup>305</sup> **Südwest Presse: Wildschweine nach wie vor belastet: 23.03.2011;** [www.swp.de/ehingen/lokales/alb\\_donau/Wildschweine-nach-wie-vor-belastet:art4299,1390671](http://www.swp.de/ehingen/lokales/alb_donau/Wildschweine-nach-wie-vor-belastet:art4299,1390671), eingesehen März 2012
- <sup>306</sup> BBC News: Chernobyl Sheep controls lifted in Wales and Cumbria; 22 March 2012; [www.bbc.co.uk/news/uk-wales-17472698](http://www.bbc.co.uk/news/uk-wales-17472698), eingesehen März 2012
- <sup>307</sup> Tagesanzeiger: Strahlende Schafe, 07.01.2011, [www.tagesanzeiger.ch/mobile/wissen/natur/Strahlende-Schafe-/s/16042728/index.html](http://www.tagesanzeiger.ch/mobile/wissen/natur/Strahlende-Schafe-/s/16042728/index.html), eingesehen Februar 2011
- <sup>308</sup> Hamburger Abendblatt 2012, s.o.
- <sup>309</sup> Spiegelonline: Unglücksreaktor bekommt neuen Sarkophag; 05.03.2012; [www.spiegel.de/wissenschaft/technik/0,1518,819280,00.html](http://www.spiegel.de/wissenschaft/technik/0,1518,819280,00.html), eingesehen März 2012;
- Chernobyl Nuclear Power Plant: Centralized Storage Facility becomes a part of integrated complex for SSE ChNPP's Spent Fuel Management; [www.chnpp.gov.ua/index.php?option=com\\_content&view=article&id=185%3ACentralized-storage-facility-becomes-a-part-of-integrated-complex-for-sse-chnpps-spent-fuel-management&catid=94%3Anews&Itemid=11&lang=en](http://www.chnpp.gov.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=185%3ACentralized-storage-facility-becomes-a-part-of-integrated-complex-for-sse-chnpps-spent-fuel-management&catid=94%3Anews&Itemid=11&lang=en), eingesehen März 2012
- <sup>310</sup> Kraemer 2011, s.o.
- <sup>311</sup> Financial Times Deutschland: Verstrahlter Unglücksort: Ukraine stoppt Tschernobyl-Tourismus, 25.11.2011, [www.ftd.de/lifestyle/reise/:verstrahlter-ungluecksort-ukraine-stoppt-tschernobyl-tourismus/60134214.html](http://www.ftd.de/lifestyle/reise/:verstrahlter-ungluecksort-ukraine-stoppt-tschernobyl-tourismus/60134214.html), eingesehen März 2012

- 
- <sup>312</sup> Tagesspiegel: Urlaub in Tschernobyl, 06.01.2011, [www.tagesspiegel.de/weltspiegel/urlaub-in-tschernobyl/3690252.html](http://www.tagesspiegel.de/weltspiegel/urlaub-in-tschernobyl/3690252.html), eingesehen Februar 2011
- <sup>313</sup> Spiegelonline: Katastrophentourismus, Ukraine will Tschernobyl für Besucher öffnen, 14.12.2010, [www.spiegel.de/reise/europa/0,1518,734521,00.html](http://www.spiegel.de/reise/europa/0,1518,734521,00.html), eingesehen Februar 2011
- <sup>314</sup> Kraemer 2011, s.o.
- <sup>315</sup> Financial Times Deutschland: Fußballfans in Tschernobyl; 08.03.2012; [www.ftd.de/sport/fussball-em-fussballfans-in-tschernobyl/70004953.html](http://www.ftd.de/sport/fussball-em-fussballfans-in-tschernobyl/70004953.html), eingesehen März 2012  
Spiegelonline: Ukraine stoppt Tschernobyl-Tourismus, [www.spiegel.de/reise/aktuell/0,1518,770697,00.html](http://www.spiegel.de/reise/aktuell/0,1518,770697,00.html); eingesehen März 2012
- <sup>316</sup> Kraemer 2011, s.o.
- <sup>317</sup> **NEI 2012**: Soil contamination in Belarus, 25 years later; Nuclear Engineering International, February 2012:
- <sup>318</sup> Nuclear Monitor, Radioactive produce still arriving at Moscow's markets, January 27, 2006 No. 641, [www.nirs.org/mononline/nm641.pdf](http://www.nirs.org/mononline/nm641.pdf), eingesehen Februar 2011
- <sup>319</sup> BR 2011, s.o.
- <sup>320</sup> Foodwatch: Grenzwert-Chaos für Lebensmittel nach Fukushima, 02.04.2012; <http://www.sonnenseite.com/index.php?pageID=6&article:oid=a21861>, eingesehen März 2012
- <sup>321</sup> NEI 2012, s.o.
- <sup>322</sup> NEI 2012, s.o.