



Tschernobyl: 30 Jahre danach

Die Lage am Standort – Keine Lösung in Sicht

GREENPEACE

Autor: Dipl.-Phys. Oda Becker, Hannover

im Auftrag von Greenpeace e.V.

Hamburg im April 2016

➔ Kein Geld von Industrie und Staat

Greenpeace ist international, überparteilich und völlig unabhängig von Politik, Parteien und Industrie. Mit gewaltfreien Aktionen kämpft Greenpeace für den Schutz der Lebensgrundlagen. Rund 580.000 Fördermitglieder in Deutschland spenden einen regelmäßigen Beitrag an Greenpeace und gewährleisten damit unsere tägliche Arbeit zum Schutz der Umwelt.

Impressum

Greenpeace e.V., Hongkongstraße 10, 20457 Hamburg, Tel. 040/3 06 18 - 0 **Pressestelle** Tel. 040/3 06 18 - 340, F 040/3 06 18-340, presse@greenpeace.de, www.greenpeace.de
Politische Vertretung Berlin Marienstraße 19-20, 10117 Berlin, Tel. 030/30 88 99 - 0 **V.i.S.d.P.** Tobias Münchmeyer **Redaktion** Ortrun Sadik **Foto** Titel: Greenpeace

Tschernobyl: 30Jahre danach

Die Lage am Standort – keine Lösung in Sicht

Erstellt im Auftrag von Greenpeace Deutschland e. V.

Dipl.-Phys. Oda Becker, Hannover

April 2016

Endversion 1.04.2016

Greenpeace-Vorwort

„Vor 30 Jahren ereignete sich die Atom-Katastrophe von Tschernobyl“. Dieser Satz ist falsch. Richtig muss es heißen: „Vor 30 Jahren *begann* die Atom-Katastrophe von Tschernobyl“. Denn sie ist nicht vorbei. Noch lange nicht.

In der Nacht des 26. April 1986 nahm mit der Explosion des Reaktors Nr. 4 im Atomkraftwerk Tschernobyl ein furchtbarer Unfall seinen Lauf: Er hat viel Leid über hunderttausende Menschen gebracht und tut dies bis heute. Darüber hinaus ist Tschernobyl ein Ereignis von historischer Tragweite. Michael Gorbatschow sagt heute: „Die Kernschmelze von Tschernobyl war wohl - mehr noch als meine Perestroika - die wahre Ursache für den Zusammenbruch der Sowjetunion.“

Zu Recht wird heute viel über die Gesundheitsfolgen von Tschernobyl gesprochen. Es gibt Studien über den ökonomischen Schaden durch Tschernobyl. Es wird berichtet über die Kontamination von Böden und Lebensmitteln in erheblichen Bereichen der Ukraine, Weißrusslands und Russlands. Messungen zeigen, dass bis heute in Teilen Skandinaviens, aber auch Bayerns und sogar Großbritanniens Radioaktivitätsgrenzwerte für Wildfleisch und Pilze überschritten werden. Außen vor bleibt dabei jedoch häufig die Frage: Wie ist die Situation heute eigentlich vor Ort, in Tschernobyl selbst und seiner unmittelbaren Umgebung? Wie sicher sind die Überreste des explodierten Reaktors von der Umwelt abgeschirmt? Leben wieder Menschen in der Tschernobyl-Zone? Wie wird mit dem Atommüll umgegangen? All diesen Frage geht Greenpeace in dem vorliegenden Bericht nach, den die Physikerin Oda Becker für uns erarbeitet hat.

Tobias Münchmeyer

Greenpeace e.V.

April 2016

Inhalt

Zusammenfassung	5
Einleitung	10
1 Der explodierte Reaktorblock	11
1.1 Der Unfall	11
1.2 Unfallursache	12
1.3 Interventionsmaßnahmen	13
1.4 Freisetzungen	14
1.5 Bau des Sarkophags	16
2 Der Shelter Implementation Plan (SIP)	18
2.1 Begrenzte Zielsetzung	18
2.2 Kostensteigerungen und Finanzierungslücken	19
2.3 (Politische) Diskussionen und Kritik in der Ukraine	20
2.4 Erhebliche Verzögerungen im Zeitplan	21
2.5 Stabilisierung des alten Sarkophags mit begrenzter Reichweite	22
2.6 Das NSC	23
3 Gesamtsituation am Atomkraftwerk Tschernobyl	27
3.1 Die Reaktorblöcke 1–3	27
3.2 Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente (ISF-2)	29
3.3 Anlage zur Verarbeitung von flüssigen radioaktiven Abfällen (LRWTP)	31
3.4 Abfallbehandlungszentrum für feste radioaktive Abfälle (ICSRM)	32
3.5 Rolle der westlichen Firmen und Fazit	34
4 Gefährdungen durch den havarierten Reaktorblock 4	36
4.1 Komplexe Situation im Inneren der Ruine	36
4.2 Gefahr eines Einsturzes	37
4.3 „Normale“ radioaktive Freisetzungen in die Luft	40
4.4 Gefährdung durch kontaminiertes Wasser	41
4.5 Gefahr einer nuklearen Kettenreaktion	42
4.6 Gefährdung durch Brand und sonstige Einwirkungen	43
4.7 Ungelöste Frage nach Bergung der radioaktiven Stoffe	43
5 Situation in der „Verbotenen Zone“	46
5.1 Komplexe Auswirkungen auf die Umwelt	46
5.2 Umgang mit der kontaminierten Umwelt	51
6 Schlussfolgerungen und Ausblick	54

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 grafitmoderierten, wassergekühlten Siedewasser-Druckröhrenreaktor. Zur Zeit des Unfalls sind 14 RBMK-Reaktoren in Betrieb, vier davon in Tschernobyl.

Menschliche Fehler kombiniert mit der technischen Auslegung des Reaktortyps und eine unzureichende Sicherheitskultur führen zur Havarie. Zwei Explosionen zerstören den Reaktor. Der Grafitblock fängt Feuer und brennt zehn Tage lang, 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 sogenannte Sarkophag, gebaut – gedacht als Schutz für 20 bis 30 Jahre.

Bis heute 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. Diese 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 **NSC**. Im März 2012 werden die ersten Stahlteile für das NSC am Standort angeliefert. Der Bau der gigantischen Konstruktion (Höhe: 109 m, Länge: 162 m, Spannweite: 257 m) beginnt im April 2012. Aufgrund des hohen Strahlenniveaus ist ihr Aufbau direkt über dem Sarkophag nicht möglich. Sie wird abseits der Anlage gefertigt und – nach aktueller Planung – im Jahr 2017 über die Ruine geschoben, an den vorhandenen Sarkophag angepasst und abgedichtet. Ob dieser schwierigste Teil der Arbeit gelingt, wird sich im nächsten Jahr zeigen.

Zurzeit erfolgt der Innenausbau der Schutzhülle: Die neue Schutzhülle ist keine passive Struktur, sondern enthält aktive Systeme. Mithilfe eines **computergesteuerten Belüftungssystems** soll erreicht werden, dass das Bauwerk während seiner Standzeit (ca. 100 Jahre) korrosionsfrei bleibt.

Innerhalb des Tragwerks wird zudem ein Kransystem installiert; damit sollen 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.

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 Materialien zu einem späteren Zeitpunkt ermöglichen – dieser Aspekt ist aber nicht Gegenstand des internationalen Plans, und 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**. Problematisch ist auch, dass nun die Ukraine für die teuren Betriebs- und Instandhaltungskosten des NSC aufkommen muss.

Die Umsetzung des SIP gestaltet sich bisher als problematisch. Inzwischen liegt die Umsetzung rund zwölf Jahre hinter dem Zeitplan zurück. Die einst geschätzten Kosten (768 Millionen US-Dollar) haben sich fast vervierfacht; die erwarteten Kosten für den SIP liegen zurzeit bei rund 3,09 Milliarden US-Dollar (2,15 Milliarden Euro) – und das umfangreichste Projekt (die Errichtung des NSC) ist noch nicht beendet. Die administrative Leitung des SIP hat die Europäische Bank für Wiederaufbau und Entwicklung (EBRD), übernommen, die dafür den **Chernobyl Shelter Fund (CSF)** einrichtet.

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 unter anderem aus extremen Wetterereignissen (zum Beispiel orkanartigen Stürmen) und Erdbeben.

Durch den Unfall hat sich der Großteil des verbliebenen Kernbrennstoffs mit Grafit und Betontrümmern zu einer Art „Lava“ verschmolzen. Im Inneren der Ruine befinden sich aber auch rund 1,5 t **radioaktiver Staub**. Ein Einsturz des Sarkophags würde dementsprechend zu einer hohen radioaktiven Freisetzung führen. Dabei würden relevante Strahlenbelastungen bis in Entfernungen von 50 km 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 in kleinen Mengen radioaktiver Staub freigesetzt. Der Einsturz des benachbarten Maschinenhauses im Februar 2013 und insbesondere die folgenden Untersuchungen zeigen, wie real die Einsturzgefahr ist.

Durch die Öffnungen der maroden Schutzhülle dringen aber vor allem **Wasser und Feuchtigkeit** in den Sarkophag ein, dadurch wird der weitere Verfall der Gebäudestruktur beschleunigt. Auch die glasartige Oberfläche der brennstoffhaltigen Reste wird auf diese Weise zerstört; anders als früher angenommen, entsteht somit (trotz Staubunterdrückungssystem) nach und nach immer mehr leicht freisetzbarer radioaktiver Staub. Zudem werden langlebige Radionuklide gelöst, und es bildet sich eine radioaktive Flüssigkeit. In den unteren Räumen des Sarkophags befinden sich Tausende 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. Nach Errichtung des New Safe Confinement (NSC) wird erwartet, dass nach zwei Jahren die radioaktiven Flüssigkeiten verdunstet sind. Es wird sich zeigen, ob diese Annahme gerechtfertigt ist. Sollte sie sich bestätigen, wäre die Gefährdung durch Auslaufen der radioaktiven Flüssigkeiten in die Umgebung und in das Grundwasser zunächst beendet. Es ist aber zu bedenken, dass die radioaktiven Stoffe dann als trockene Reste (Staub) in der Ruine zurückbleiben.

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 t brennbare Materialien. Im Falle eines Brands droht ein Einsturz, der 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 NSC 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 NSC, sondern auch die **Reaktorblöcke 1–3**. Ende 2000 ging 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 beginnt der Betreiber Ende 2005 damit 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, unter anderem in der baulichen Konstruktion und Auslegung. Dieses Lager stellt daher eine Gefahr dar.

Die Entladung der intakten Brennelemente aus den Reaktoren ist seit September 2013 abgeschlossen. Allerdings müssen die Brennelemente nun noch bis mindestens 2025 im Nasslager ISF-1 verbleiben; erst dann können sie vollständig in das neue Zwischenlager umgelagert werden.

Das neue **Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente** (ISF-2) hätte bis 2003 errichtet werden sollen. Das Lagerkonzept der Firma Areva NP (ehemals Framatome ANP, Frankreich) hat sich aber als ungeeignet herausgestellt. 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 Ende 2017 erfolgen.

Ein belgisch-französisch-italienisches Konsortium (Belgatom, SGN und Ansaldo) hätte bis 2001 auf dem Gelände des AKW Tschernobyl eine **Anlage zur Verarbeitung radioaktiver Flüssigabfälle** (LRWTP) errichten sollen. 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 stellt die Anlage mit einigen Änderungen selbst fertig. Die Inbetriebnahme erfolgt dann erst 2015. Das Projekt ist insgesamt noch immer nicht abgeschlossen.

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 noch immer im Probetrieb. Noch im Juli 2015 arbeitet Nukem im Rahmen der Gewährleistung an der Beseitigung von Mängeln. Zu dem Abfallzentrum gehört auch ein **oberflächennahes Endlager (ENSDF) für schwach- und mittelradioaktive Abfälle**, das im 17 km vom Standort entfernten Atommülllagerkomplex VEKTOR liegt. Die Übergabe dieser Anlage an den Betreiber erfolgt Ende 2007. Laut Gutachterorganisationen (unter anderem aus Deutschland) 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. Zudem wird deutlich, wie kompliziert und langwierig der – ohnehin schwierige und teure – Umgang mit den radioaktiven Abfällen an einem Unfallstandort ist. **Noch steht die Errichtung von Anlagen für die Behandlung und Lagerung der unfallbedingten radioaktiven Stoffe aus.**

Situation in der „Verbotenen Zone“

Eine 30-km-Zone um den explodierten Reaktor wird nach dem Unfall aufgrund der hohen Kontaminationen vollständig evakuiert und zur „Verbotenen Zone“ erklärt. Heutzutage ist diese Zone alles andere als menschenleer: Täglich befinden sich dort Tausende Personen zum Arbeiten; mehr als hundert, meist ältere, Menschen leben illegal in der Zone, sie werden jedoch geduldet. 2012 wurde die „Verbotene Zone“ für den Tourismus geöffnet. So gelangen täglich zahlreiche Touristen legal in das Sperrgebiet.

Um den havarierten Reaktor herum befinden sich diverse Deponien mit radioaktiven Materialien aus den Aufräumarbeiten. Untersuchungen gehen von insgesamt ca. 800 Deponien innerhalb der „Verbotenen Zone“ aus. Ein besonderes Problem stellt der riesige, künstlich angelegte und durch den Unfall stark kontaminierte Kühlteich des AKW Tschernobyl dar.

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. Im Oktober 2015 sorgt eine Studie für Schlagzeilen: In der „Verbotenen Zone“ breitet sich zunehmend eine Wildnis aus, in der zahlreiche Tiere leben – darunter in hoher Dichte auch bedrohte Arten. Die Wissenschaftler erklären allerdings, dass sie keine Aussagen zum Gesundheitszustand der Tiere in dem Reservat treffen können.

Eine Wiederbesiedlung oder landwirtschaftliche Nutzung der „Verbotenen Zone“ ist zurzeit noch nicht geplant. Seit 2013 ist dort ein Biosphärenreservat geplant. Dort sollen nationale und internationale Forschungsprojekte durchgeführt werden. Darüber hinaus umfasst das Reservat Flächen für wirtschaftliche Aktivitäten, in denen Landnutzung, Forstwirtschaft und Wassernutzung möglich sind, um in Zukunft eine Wiederbesiedlung der Gebiete zu ermöglichen.

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 auf die menschliche Gesundheit. Insofern könnte das geplante Biosphärenreservat derartigen Forschungsvorhaben eine große Chance bieten. Allerdings geht es der Ukraine eher um eine wirtschaftliche als um eine wissenschaftliche Nutzung der „Verbotenen Zone“.

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 gar nicht gearbeitet wird. Selbst das Pilotprojekt für einen Test zur Bergung der radioaktiven Materialien wurde eingestellt.

Es muss befürchtet werden, dass die Ukraine nach Abschluss des SIP mit diesem Problem mehr oder weniger alleine dasteht. Noch ist eine Finanzierung der Bergung vollständig offen – dazu müssen nach Schätzungen mehrere zehn Milliarden US-Dollar aufgebracht werden. 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. Bräche er unter dem neuen Schutzmantel zusammen, wäre eine Bergung ungleich schwieriger. Vor allem aber ist bei einem Einsturz das Leben der dann am Sarkophag beschäftigten Personen bedroht.

Trotz der spektakulären Bilder der gigantischen Konstruktion der neuen Schutzhülle zeichnet sich immer mehr ein Scheitern des SIP ab. Insgesamt macht es wenig Sinn, mit einem derart hohen finanziellen Aufwand (mindestens 2,15 Mrd. Euro) eine zweite – wieder temporäre – Hülle um den zerstörten Reaktorblock zu bauen. Die Gefahr wird damit nicht langfristig beseitigt, eine Lösung des eigentlichen Sicherheitsproblems wird nur verschoben. Es ist nicht akzeptabel, diese Last späteren Generationen zu überlassen.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass auch 30 Jahre nach dem Super-GAU vom havarierten Reaktor eine Gefahr ausgeht. Eine wirkliche Lösung dieser Situation ist nicht in Sicht. Unter den gegebenen technischen und wirtschaftlichen Randbedingungen ist zu bezweifeln, dass dies überhaupt erfolgen wird bzw. kann.

Einleitung

Am 26. April 2016 ist der 30. Jahrestag der Reaktorkatastrophe in Tschernobyl. Der Unfall im japanischen Atomkraftwerk Fukushima am 11. März 2011 zeigte, dass aus dem Unfall in Tschernobyl keine wesentlichen Lehren gezogen wurden. Wie nach dem Unfall in Fukushima erfolgte auch nach dem Unfall in Tschernobyl eine Sicherheitsüberprüfung der Atomkraftwerke – allerdings ohne entscheidende Konsequenzen. Auch die Überprüfungen nach Fukushima, wie zum Beispiel der EU-Stresstest, haben keine weitreichende Konsequenzen – wie die sofortige Stilllegung besonders gefährdeter alter Anlagen und/oder von Anlagen an besonders gefährdeten Standorten.

Der Unfall von Tschernobyl hat auf die am stärksten betroffenen Regionen enorme finanzielle Auswirkungen gehabt. Seit der Unabhängigkeit musste die Ukraine mehr als zehn Milliarden US-Dollar aufbringen, um die Auswirkungen des Unfalls zu mindern. Diese Mittel fehlen der Ukraine nun für die Finanzierung von Programmen zu einem angemessenen Schutz der Bevölkerung.¹

Der Reaktorunfall belastet den Staatshaushalt der Ukraine nach wie vor. 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 und für ein Biosphärenreservat.

In diesem Bericht wird die komplexe Situation im und um den havarierten Reaktor dargestellt.

Einleitend geht das Kapitel 1 auf den Unfall am 26. April 1986 ein. Kapitel 2 stellt den sogenannten Shelter Implementation Plan, 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 weiterhin ausgehen. Kapitel 5 skizziert die Situation in der „Verbotenen Zone“. Im abschließenden Kapitel 6 sind die Schlussfolgerungen formuliert.

1 Der explodierte Reaktorblock

Das AKW Tschernobyl befindet sich etwa 100 km 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.

RBMK-Reaktoren

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.²

Die RBMK-Reaktoren sind grafitmoderierte Siedewasser-Druckröhrenreaktoren. Der Reaktor-kern ist ein zylinderförmiger Grafitblock mit einem Durchmesser von 11,8 m und einer Höhe von 7,0 m. In diesem sind ca. 1700 Druckröhren untergebracht, die die Brennelemente enthalten. Der Grafit übernimmt die Moderation: Die bei der Kernspaltung entstehenden schnellen Neutronen werden abgebremst, damit sie verstärkt weitere Kernspaltungen auslösen können.

Während bei einem Leichtwasserreaktor^a durch Kühlwassermangel die Kettenreaktion automatisch gebremst wird, sind bei den RBMK-Anlagen Kühlmittel und Moderator nicht identisch. Dadurch entsteht unter bestimmten Umständen ein gefährlicher Effekt („positiver Dampfblasenkoeffizient“): Bei einer Leistungs- und Temperatursteigerung nimmt in RBMK-Reaktoren auch die Kettenreaktionsrate immer schneller zu. Dieser Effekt war eine der physikalischen Ursachen für den Unfall.³

Heute werden an drei Standorten in Russland noch immer elf – sicherheitstechnisch nachgerüstete – RBMK-Reaktoren (Kursk 1–4, Leningrad 1–4 und Smolensk 1–3) betrieben.⁴ Sicherheitsbedenken bezüglich dieses veralteten Reaktortyps bestehen jedoch weiterhin.⁵ RBMK-Reaktoren haben gravierende Auslegungsmängel und gelten als nicht nachrüstbar auf westliches Sicherheitsniveau, insbesondere da sie keinen Sicherheitsbehälter (Containment) besitzen, der im Falle eines Störfalles radioaktive Stoffe zurückhalten kann.⁶

Im Rahmen der EU-Beitrittsverhandlungen Litauens verlangt die EU-Kommission aus Sicherheitsgründen die Stilllegung der beiden RBMK des AKW Ignalina. Endgültig abgeschaltet werden die beiden Reaktoren jedoch erst 2004 bzw. 2009.⁷

In Russland hingegen entscheidet sich die zuständige Behörde Rosatom 2006 für eine 15-jährige Betriebszeitverlängerung der RBMK-Reaktoren. Die ursprünglich anvisierte Betriebszeit von 30 Jahren wird auf 45 Jahre erhöht. Die endgültige Abschaltung des letzten RBMK-Reaktors ist erst für 2034 anvisiert. Folgende Termine sind für die endgültige Abschaltung angestrebt: Leningrad 1 und 2: 2019/2021, Kursk 1 und 2: 2022/24, Leningrad 3 und 4: 2025/26, Kursk 3 und 4: 2029/30 und Smolensk 1–3: 2028/30/34.⁸

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 t schwere Reaktorplatte wird angehoben und der obere Teil des 64 m hohen Reaktorgebäudes

^a Ein Leichtwasserreaktor (Druckwasser- und Siedewasserreaktoren) ist der häufigste Reaktortyp. Dazu gehören auch die acht noch in Deutschland betriebenen Reaktoren.

zerstört. Teile des Kernbrennstoffs werden in die Umgebung geschleudert. Die Grafitblöcke des Reaktorkerns geraten in Brand. Durch die Explosionen und den Brand gelangen radioaktive Stoffe bis in Höhen von mehr als 1000 m und werden großräumig in Europa und darüber hinaus verteilt.⁹

Der Unfall ereignet sich während eines Tests. Ziel ist es, zu prüfen, ob bei einem Stromausfall die auslaufenden Turbinen so lange den erforderlichen Strom für den Eigenbedarf (zur Kühlung des Kerns) erzeugen können, bis die Notstromdiesel starten. Der Test diente einer besseren Störfallbeherrschung. Während des Tests wird zur Erfassung von Versuchsdaten eine beträchtliche Anzahl von Dokumentationskanälen verwendet, auf denen normalerweise Betriebswerte aufgezeichnet werden. Die dadurch fehlenden Werte erschweren später die Ermittlung von Unfallablauf und -ursache.¹⁰

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 landen.¹¹

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.¹²

Der Unfall verläuft so rasend 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: Infolge des thermischen Auftriebs durch den Brand im Reaktorgebäude wird der Hauptteil der radioaktiven Stoffe in Höhen zwischen 1000 und 2000 m 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 (zum Beispiel in den großen Städten Kiew oder Gomel) zu sehr hohen, jedoch 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. Als Hauptursache für den Unfall wird das äußerst unwahrscheinliche Zusammentreffen einer Nichtbeachtung der Betriebsvorschriften und eines Fehlers in der Bedienung der Anlage angesehen.¹³

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 und bei der Abschalteneinrichtung.^b Dadurch ist bei bestimmten Betriebszuständen eine explosionsartige Leistungsexkursion möglich.¹⁴

Aufgrund ihrer fehlerhaften Konzeption erhöhen die Steuerstäbe beim Einfahren die Reaktivität zunächst, das heißt, dass die Kettenreaktion nicht sofort beendet, sondern für kurze Zeit beschleunigt wird. 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 der Steuerstäbe und in der gesamten Kernauelegung 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.¹⁵

Insgesamt stellt sich inzwischen heraus, dass alle maßgeblichen technischen Unfallursachen vorher bekannt sind. Die notwendigen Maßnahmen, die diesen speziellen Unfallablauf verhindern 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.¹⁶

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 in Tschernobyl die Ursachen eine Kombination von Mängeln in der technischen Auslegung der Anlagen und in der Betriebsführung. Die Katastrophe ist nur möglich, weil die Sicherheitsorganisation als Ganzes versagt. Betriebserfahrungen werden nicht ausreichend ernst genommen; die Gewährleistung der Sicherheit ist für die Betriebsführung nicht oberstes Gebot.¹⁷ Eine weitere Hauptursache des Unfalls ist also die unzureichende Sicherheitskultur.¹⁸

Vielfach wird die Ursache für den katastrophalen Unfall auch im politischen System der Sowjetunion gesehen. In einer aktuellen Veröffentlichung untersucht Sonja Schmid die komplexen Hintergründe des Unfalls. Sonja Schmid vertritt die Auffassung, dass die bisher vorhandenen Erklärungsansätze zu kurz greifen. Der Tschernobyl-Unfall sei zwar einzigartig und spezifisch für die Sowjetunion, eine Kenntnis der tieferliegenden Ursachen könne dennoch wertvolle Erkenntnisse für andere Atomprojekte liefern, insbesondere hinsichtlich der Prävention möglicher Unfälle.¹⁹

1.3 Interventionsmaßnahmen

Unmittelbar nach dem Unfall brechen im Umkreis bis 150 m um den Reaktor durch die herausgeschleuderten heißen Bruchstücke des Reaktorkerns Brände aus. Glücklicherweise gelingt es, diese innerhalb von drei Stunden zu löschen und damit die Ausdehnung der Katastrophe auf die drei weiteren Reaktoren am Standort zu verhindern. Das Grafitfeuer im Reaktor 4 brennt jedoch weiter.²⁰

^b 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.

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.²¹

Es 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 aus mehr als 30 Militärhubschraubern mehr als 5000 t Material auf den Reaktor abgeworfen: Borkarbid (ca. 40 t), um eine erneute Kettenreaktion zu verhindern; Dolomit (ca. 800 t), dessen Zersetzung die Wärmeentwicklung auffangen und den Grafitbrand ersticken sollte; Blei (ca. 2400 t), um durch den Schmelzvorgang die Hitze zu absorbieren und eine gewisse Abschirmung der Gammastrahlung zu erreichen; Sand und Lehm (ca. 1800 t) als Filtermaterial für die radioaktiven Stoffe.

Die aus der Luft abgeworfene Abdeckung erhöht 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.²²

Da flüssiger Stickstoff zur Kühlung der Kernreste nicht zu Verfügung steht, 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.²³

Da befürchtet wird, dass die Kernreste in das Kondensationsbecken durchschmelzen und dort Dampfexplosionen verursachen können, 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 gelangte, hat möglicherweise die bis dahin erzielte teilweise Entleerung die Folgen gemindert.²⁴

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.²⁵

Die Maßnahmen zur Bekämpfung der Aktivitätsabgaben in der aktiven Phase des Unfalls (die ersten zehn Tage) sind nur wenig erfolgreich.²⁶ 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.²⁷ 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.²⁸

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 können die Freisetzungen nur sehr grob abgeschätzt werden. Dennoch gehen diese Abschätzungen 1986 in den ersten IAEA-Bericht ein und erhalten so einen offiziellen Charakter.²⁹

Die massiven radioaktiven Freisetzen 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.³⁰

Trotz der vielen Messdaten verbleiben Unsicherheiten. Diese 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 Brandes ein Teil des Brennstoffs (teilweise zu Brennstoffstaub oder -körnern fraktioniert) herausgeschleudert oder ausgetragen. Edelgase und leicht flüchtige Nuklide wie Jod, Tellur und Cäsium werden massiv freigesetzt.
- 2.) In den folgenden fünf Tagen nimmt die Freisetzung aufgrund der Maßnahmen zum Löschen des Grafitbrands und zur Abdeckung des Reaktorkerns stetig ab.
- 3.) Vom sechsten bis neunten Tag nimmt die Freisetzung wieder 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 noch verbliebenes radioaktives Jod ausgetrieben.
- 4.) Am 6. Mai nimmt die massive Freisetzung abrupt ab. Messbare (geringere) Freisetzen dauern noch den ganzen Monat Mai über an.³¹

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

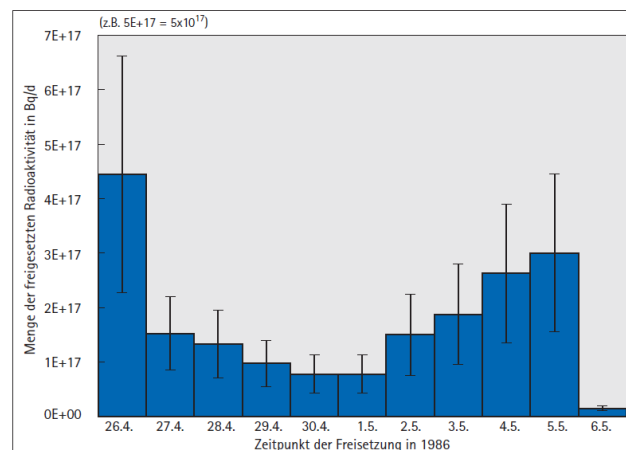


Bild 1 – Freigesetzte Radioaktivität in den ersten zehn Tagen (mit Unsicherheitsbereichen)³²

Trotz der großen Unsicherheiten suggerieren Veröffentlichungen von Vertretern der Atomindustrie unverständlicherweise, es gäbe eine Gewissheit über die Freisetzungsmenge, zum Beispiel „Hieraus lässt sich mithilfe wissenschaftlich abgesicherter Modelle ableiten, dass insgesamt etwa drei bis vier Prozent an radioaktivem Material freigesetzt wurden.“³³

Konstantin Tschetscherow, ehemals Physiker am Moskauer Kurtschatow-Institut, hielt hingegen einen viel höheren Quellterm für wahrscheinlich. Er vertritt die These, dass im Verlauf des Unfalls der größte Teil des Kernbrennstoffs (bis zu 95 Prozent) in die Umwelt geschleudert wurde.

Der Reaktorkern sei wie eine Rakete 40 bis 50 m nach oben geschossen, dabei zum Teil verdampft und anschließend von einer nuklearen Explosion auseinandergerissen worden.³⁴ 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 (siehe unten).

Jedoch hat es in den letzten Jahren in der Bewertung der Unfallfolgen offenbar eine Verschiebung zu etwas höheren Freisetzungsmengen gegeben, der Weltverband der AKW-Betreiber (World Nuclear Association, WNA) gibt inzwischen an, dass mindestens fünf Prozent des Inventars freigesetzt wurden.³⁵ Die insgesamt freigesetzte Menge an radioaktiven Stoffen wird auf etwa 5300 PBq geschätzt.³⁶

Jedes Radionuklid hat eine unterschiedliche strahlenbiologische Wirkung, daher ist es zur Beurteilung der radiologischen Folgen vor allem wichtig, die freigesetzte Menge der einzelnen Nuklide (Quellterme) zu kennen. Die Quellterme für die relevanten Radionuklide sind in der folgenden Tabelle angegeben³⁷:

	Cäsium-137	Cäsium-134	Jod-131	Strontium-90
Aktivität [PBq]	85	47	1760	10

Eine umfassende Studie eines unabhängigen Wissenschaftlers in 2006 ermittelte etwas höhere Quellterme: 1700–2300 PBq für Jod-131 und 95–128 PBq für Cäsium-137.³⁸

Selbst wenn sich auch in Zukunft nicht hundertprozentig genau ermitteln lassen wird, wie viel des vorhandenen Brennstoffs freigesetzt wurde: 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.

Anmerkung: Nach jetzigem Kenntnisstand wurde während des Unfalls in Tschernobyl – verglichen mit dem Unfall in Fukushima – ungefähr die zehnfache Menge der relevanten Nuklide Cäsium-137 und Jod-131 freigesetzt.

1.5 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 Bauwerksteile. Zum anderen müssen viele Bauteile ferngesteuert montiert werden, wodurch diese nicht immer präzise angebracht werden können, sodass Öffnungen bleiben.³⁹

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).⁴⁰ Laut anderen Quellen ist der Sarkophag für eine maximale Lebensdauer von nur 20 bis 25 Jahren ausgelegt (bis 2006 bzw. bis 2011).⁴¹

Auf der nördlichen Seite des Reaktors wird eine Kaskadenwand errichtet. Diese besteht aus vier Betonstufen, der untere Bereich ist bis zu 20 m dick. Tausende Kubikmeter radioaktiver Abfall – 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 Dach des Sarkophags werden die Westwand und zwei auf der Ostseite erhalten gebliebene Luftschächte aus Stahlbeton verwendet. Auf dieser Konstruktion werden zwei Stahlträger befestigt. Stahlrohre mit einem Durchmesser von 1,2 m werden auf die beiden Träger gelegt, und darauf wird 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 Teile des zerstörten Reaktors.⁴²

Am 30. November 1986, nach knapp sechs Monaten Bauzeit, steht der Sarkophag. Etwa 300.000 Menschen, vor allem Soldaten, waren an der Errichtung beteiligt.⁴³ Sie gehören zu den sogenannten Liquidatoren, wie die Aufräumarbeiter nach der Katastrophe genannt werden.

Russische Ingenieure schlagen 18 verschiedene Varianten für diese erste Schutzhülle vor, die sich in zwei grundsätzliche Varianten unterteilen lassen. Eine Variante sieht ein hermetisch abgeschlossenes Gebäude vor, zum Beispiel in Form eines Bogens oder einer Kuppel. Die zweite Variante sieht vor, so viel wie möglich von dem zerstörten Gebäude zu benutzen. Aufgrund der kürzeren Konstruktionszeit und der geringeren Kosten wird die zweite Variante ausgewählt – obwohl damit zwei wesentliche Nachteile verbunden sind: die nicht bekannte Stabilität der verbliebenen Baukörper 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.⁴⁴

2 Der Shelter Implementation Plan (SIP)

Bei den Planungen zur Sanierung des baufälligen Sarkophags stehen zunächst 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 die Errichtung eines neuen Schutzbauwerks favorisiert.⁴⁵

1994 vergibt dann die Europäische Kommission eine Machbarkeitsstudie zur Errichtung eines neuen Schutzes an das Konsortium „Alliance“. 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-Dollar geschätzt. Auch dieses Konzept wird verworfen – unter anderem weil die Ukraine den Block 3 weiter betreiben will.⁴⁶

Letztendlich findet kein in den Jahren 1992 bis 1996 von russischer, ukrainischer und westlicher Seite entwickeltes Konzept allgemeine Akzeptanz.⁴⁷ Diese Konzepte werden 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 Programm für Zusammenarbeit vorgeschlagen.⁴⁸ Im Dezember 1995 wird zwischen den G7-Staaten, der Europäischen Kommission und der Ukraine ein „Memorandum of Understanding“ 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 nachhaltig sicheren Zustand – kann keiner der untersuchten Lösungsansätze zufriedenstellend erfüllen. Daher empfehlen die Experten ein Vorgehen in mehreren Stufen. Dieses Konzept findet die Zustimmung der Verantwortlichen in der Ukraine und in 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.⁴⁹

Im Mai 1997 stimmen die Ukraine, die EU und die G7-Staaten dem sogenannten SIP zu.⁵⁰ Dieser ist seitdem Grundlage der internationalen Zusammenarbeit.

2.1 Begrenzte Zielsetzung

Der SIP gliedert sich in 22 Teilprojekte („Tasks“) mit zu Beginn 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.⁵¹

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

1. Reduzierung der Wahrscheinlichkeit eines Einsturzes der Ruine (geotechnische und seismische Untersuchungen, Stabilisierung, Abschirmung, Überwachung),
2. Reduzierung der radiologischen Auswirkungen (Staubbehandlung, Notfallschutzmaßnahmen),
3. Verbesserung der nuklearen Sicherheit innerhalb des Sarkophags (Charakterisierung der brennstoffhaltigen Materialien, Wasserbehandlung, Verhinderung der Kritikalität),

4. Verbesserung der Sicherheit des Personals und des Umweltschutzes (Strahlenschutz, Arbeitsschutz, Brandschutz, Überwachungssysteme, Informationssystem),
5. Entwicklung einer langfristigen Strategie für die Umwandlung des Objekteinschlusses in ein langfristig stabiles und ökologisch sicheres System.⁵²

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 einer neuen Schutzhülle (NSC) um den zerstörten Reaktor. Dies ist mit rund zwei Dritteln der Kosten das größte Projekt.⁵³

Der SIP muss gegenüber der Anfangsplanung erweitert werden und umfasst inzwischen 297 Arbeitsschritte.⁵⁴ Während der Durchführung stellt sich zum Beispiel heraus, dass die Errichtung der erforderlichen Infrastruktur für den Bau der neuen Schutzhülle nicht vorgesehen war.

2.2 Kostensteigerungen und Finanzierungslücken

Die Europäische Bank für Wiederaufbau und Entwicklung (European Bank for Reconstruction and Development, EBRD) übernimmt die administrative Leitung des SIP und richtet im September 1997 den Chernobyl Shelter Fund (CSF) ein. Die Gesamtkosten des SIP werden zu Beginn auf 768 Millionen US-Dollar geschätzt. Der größte Teil soll von den G7-Staaten und der EU bereitgestellt werden. Die Ukraine verpflichtet sich zu einem Beitrag in Höhe von 50 Millionen US-Dollar. Der G7-Gipfel im Juni 1997 (Denver) stellt die ersten 300 Millionen US-Dollar 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-Dollar zu.⁵⁵ Weitere Geberkonferenzen finden im Mai 2000 (Berlin), im April 2005 (London), im April 2011 (Kiew) und im April 2015 (London) statt.

Nach offiziellen Angaben liegen die Arbeiten im Jahr 2002 noch im Rahmen des Budgets, eine Überschreitung wird nicht erwartet.⁵⁶ Aber dann steigen die Kosten – erst kontinuierlich dann sprunghaft:

Anfang 2004 liegen die erwarteten Kosten bei 978 Millionen US-Dollar⁵⁷ (780 Millionen Euro), Anfang 2005 bei ca. 1,1 Milliarden US-Dollar⁵⁸ (rund 845 Millionen Euro) und Anfang 2008 bei ca. 1,39 Milliarden US-Dollar⁵⁹ (rund 1,016 Milliarden Euro).⁶⁰ 2012 liegen die kalkulierten Kosten bei rund 2,1 Milliarden US-Dollar (ca. 1,54 Milliarden Euro).⁶¹ Nach einer neuen Ermittlung in 2014 werden die Gesamtkosten für den SIP auf 3,09 Milliarden US-Dollar (2,15 Milliarden Euro) geschätzt; allein das NSC verursacht Kosten in Höhe von 1,5 Milliarden Euro.⁶²

Bis Anfang 2011 werden insgesamt 864 Millionen Euro in den CSF eingezahlt.⁶³ Die Beiträge kommen von der EU (29 Prozent), von damals 23 Geberländern und sechs weiteren Ländern.⁶⁴ Deutschland leistet dabei mit 60 Millionen Euro direkt und mit einem weiteren Beitrag über die EU den größten Beitrag.⁶⁵ Russland hat von allen G8-Ländern den kleinsten Beitrag beigesteuert. Kommissionspräsident José Manuel Barroso wirft auf dem EU-Russland-Gipfel Ende 2010 daher der russischen Regierung vor, hohe Summen für den Bau neuer Reaktoren bereitzustellen^c, für die Folgen des Atomunfalls von Tschernobyl aber nur unzureichend zu zahlen.⁶⁶

^c Der Neubau von Atomkraftwerken wurde in 2010 mit 1,7 Milliarden Euro finanziert.

Am 25. Januar 2011 erklärt der Direktor der EBRD, dass weitere 740 Millionen Euro (600 Millionen Euro für das NSC sowie weitere 140 Millionen Euro für das Zwischenlager) benötigt werden. Auf der Geberkonferenz im April 2011 in Kiew, kurz vor dem 25. Jahrestag des katastrophalen Unfalls, 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.⁶⁷

Im Juli 2011 sind dann aber insgesamt 670 Millionen Euro zugesagt.⁶⁸ Die ukrainische Regierung gibt daraufhin bekannt, dass nun mit dem Bau der neuen Schutzhülle (NSC) begonnen werden kann.⁶⁹

Durch die neue Schätzung in 2014 ergibt sich erneut eine immense Finanzierungslücke von 615 Millionen Euro. Im November 2014 erklärt die EBRD, 350 Millionen Euro aus eigenen Mitteln beizusteuern.

Am 29. April 2015 werden auf einer Geber-Konferenz in London, die im Rahmen der deutschen G7-Präsidentschaft von Staatssekretär Jochen Flasbarth geleitet wird, insgesamt 180 Millionen zugesagt – 165 Millionen Euro von der G7 und der EU sowie 15 Millionen Euro von weiteren Ländern.^d Die russische Regierung erklärt am 30. April 2015, insgesamt zehn Millionen Euro beizusteuern. Damit verringert sich die Finanzierungslücke des Fonds auf 75 Millionen Euro.⁷⁰

Die zugesagten Beiträge der Staatengemeinschaft ermöglichen eine unverzügliche Fortsetzung der Arbeiten zur Fertigstellung der neuen Schutzhülle, erklärte die EBRD. Gleichwohl würden die Bemühungen zur Deckung des noch fehlenden Betrags fortgesetzt. Sollte es nicht gelingen, die Lücke zu schließen, so übernehme die EBRD die Differenz.⁷¹

Neben der EU sind die folgenden Länder Mitglieder des CSF: Belgien, China, Dänemark, Deutschland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Großbritannien, Irland, Italien, Japan, Kanada, Kasachstan, Kuwait, Luxemburg, Niederlande, Norwegen, Österreich, Polen, Russland, Saudi-Arabien, Schweden, Schweiz, Spanien, Tschechische Republik, Ukraine und die USA.

Außerdem haben bisher die folgenden Länder in den CSF eingezahlt: Argentinien, Aserbaidschan, Australien, Estland, Indien, Island, Israel, Korea, Kroatien, Liechtenstein, Litauen, Portugal, Rumänien, Slowakische Republik, Slowenien, Türkei und Ungarn.

Bis November 2015 wurden in den CSF beinahe 1,3 Milliarden Euro eingezahlt. Die EBRD hat bis heute 500 Millionen Euro aus eigenen Mitteln beigesteuert.⁷²

2.3 (Politische) Diskussionen und Kritik in der Ukraine

Die Umsetzung des 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.⁷³

Im August 2003 beschließt die Regierung der Ukraine, ein Tschernobyl-Gesamtprogramm festzulegen. Vorher werden die Tschernobyl-Aktivitäten in einzelnen, kurzzeitigen Projekten durchgeführt. Die Zuständigkeit für das AKW Tschernobyl wird vom Energieministerium, das den

^d Die G7-Länder sind Deutschland, Frankreich, Großbritannien, Italien, Japan, Kanada und die USA. Russland war von 1998 bis 2014 Mitglied (G8), dann wird wegen der Krimkrise die Mitgliedschaft ausgesetzt.

Tschernobyl-Fragen angeblich nicht genügend Aufmerksamkeit widmen konnte, zum Katastrophenschutzministerium verschoben.⁷⁴

Auch das technische Konzept der neuen Schutzhülle wird immer wieder infrage gestellt. Eine von einem ukrainischen Professor angeführte Gruppe spricht sich 2003 gegen die Pläne aus und verfiert stattdessen das „Monolith“-Konzept, das russische Wissenschaftler 1991 vorgeschlagen haben. Dieses 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.⁷⁵

Letztendlich wird nach langen und heftigen Diskussionen das Konzept des NSC vom ukrainischen Kabinett im Juli 2004 angenommen.⁷⁶ Aber das Konzept bleibt auch im Anschluss, 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. Gemäß Auffassung der Wissenschaftler erfüllt es weder die gesetzten eigenen Ziele noch die nationalen Interessen der Ukraine. Das gelte insbesondere deshalb, weil hohe finanzielle Aufwendungen über einen langen Zeitraum erforderlich sind und für die Beschäftigten hohe Strahlendosen zu erwarten seien.⁷⁷

Als Anfang der 1990er-Jahre als grundsätzliche Lösungsvariante für den explodierten Reaktor 4 die Errichtung einer neuen Schutzhülle gewählt wird, sind auch der Abbau des alten Reaktors und die Bergung der brennstoffhaltigen Materialien 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 NSC die Probleme nicht löst.⁷⁸

Als Alternative zum jetzigen technischen Konzept wird von dem staatseigenen Forschungs- und Entwicklungsbüro Yuzhnoye das „Dock-Caisson“-Konzept entwickelt. Die Auslegung ist dem nun verfolgten Bogenkonzept ähnlich, das Projekt beinhaltet aber zusätzlich die Verwendung mobiler Geräte, um die brennstoffhaltigen Materialien zu bergen.⁷⁹

Neben der Kritik am technischen Konzept des NSC im Rahmen des SIP wird häufig Kritik an der Rolle der westlichen Firmen geäußert. Der Leiter des Parlamentarischen Komitees für ökologische Konsequenzen aus Tschernobyl, Mikola Tomenko, vermutet, dass die Ukrainer vor allen Dingen die gefährlichen Arbeiten ausführen werden. Laut EBRD sind 60 Prozent der Subunternehmen der beiden Konsortien, die sich für den Bau des NSC bewerben, Unternehmen aus der Ukraine.⁸⁰

Die Regierung der Ukraine und die EBRD einigen sich im Juni 2005 auf die Einrichtung eines gemeinsamen Komitees, das die Arbeiten für das NSC beaufsichtigen soll.⁸¹

Nach erneut langjährigen heftigen internen Diskussionen stimmt das ukrainische Parlament am 15. Januar 2009 dem Bau des NSC endgültig zu.⁸²

2.4 Erhebliche Verzögerungen im Zeitplan

1997, also zu Beginn des SIP, wird für die Realisierung ein Zeitraum von acht bis neun Jahren angenommen.⁸³ Es wird erklärt, dass für den SIP aus zwei Gründen von einer verhältnismäßig langen Laufzeit ausgegangen wird: Zum einen herrschen aufgrund hoher Strahlenbelastungen und eingeschränkter Standfestigkeit des Sarkophags schwierige Arbeitsbedingungen. Zum anderen können viele technische Details, deren Kenntnis für die Planung einzelner Arbeitsschritte notwendig ist, erst im Verlauf der Arbeiten bestimmt werden.⁸⁴

Die Planungsphase für die einzelnen Schritte dauert jedoch aufgrund der technischen Probleme, die bei der Umsetzung der im SIP allgemein gehaltenen Angaben auftreten, länger als erwartet. 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 nicht vorhanden ist.⁸⁵

Mitte 2002 verschiebt sich der vorgesehene Projektabschluss von 2005 auf 2007.⁸⁶ Anfang 2006 wird die Fertigstellung der neuen Schutzhülle im Jahr 2010⁸⁷ und Anfang 2008 im Jahr 2012 erwartet.⁸⁸

Im Januar 2011 wird von Seiten der EBRD mit einer Fertigstellung in 2014 gerechnet – allerdings nur, wenn die erforderlichen Gelder bereitgestellt werden.⁸⁹ Da dies erst mit Verzögerung geschieht, wird im Frühjahr 2011 mit der Fertigstellung im Sommer 2015 gerechnet.⁹⁰

Zu Beginn der Arbeiten an der neuen Schutzhülle im April 2012 ist der Projektabschluss für Oktober 2015 anvisiert.⁹¹ Der Bau kommt aber langsamer voran als geplant. Seit 2015 wird die **Fertigstellung im November 2017** erwartet.⁹²

Insgesamt stellen sich bisher die im Vorfeld aufgestellten Zeitpläne als vollkommen unrealistisch heraus. Zum jetzigen Zeitpunkt wird von einem Umsetzungszeitraum von 20 Jahren ausgegangen, zwölf Jahre länger, als ursprünglich veranschlagt! Es ist zu befürchten, dass sich bei der letzten und schwierigsten Phase der riesigen Schutzhülle weitere Verzögerungen ergeben. Anzeichen dafür sind bereits vorhanden. Eventuelle erneute Verschiebungen werden vermutlich erst nach den Veranstaltungen zum 30. Jahrestag bekannt gegeben.

2.5 Stabilisierung des alten Sarkophags mit begrenzter Reichweite

In den ersten beiden Jahren des SIP (bis Ende 1999) werden nur die dringendsten Stabilisierungsmaßnahmen durchgeführt, zum Beispiel am Schornstein zwischen den Blöcken 3 und 4.⁹³

Nach einer langen Pause werden im November 2004 die dringend erforderlichen Stabilisierungsmaßnahmen fortgesetzt – ausgeführt von dem Konsortium Stabilization, das aus der russischen Firma „AtomStroyExport“ (ASE) und der ukrainischen Firma „YuzhTeploEnergMontazh“ (YUTEM) besteht.⁹⁴ Im Mai 2005 beginnen die Arbeiten an einem der beiden Stahlträger (Mamont), die das Dach tragen.⁹⁵ Die Verstärkung der westlichen Stütze des Stahlträgers, die als eine der leichtesten Maßnahmen betrachtet wird, verzögert sich um einige Monate. Denn unerwartet hohe Dosisleistungen auf dem Baugelände erfordern eine Änderung der Auslegung, stärkere Abschirmungen und längeres Training der Beschäftigten.⁹⁶

Ein Teil der Stabilisierungsarbeiten muss im Mai 2005 für etwa zwei Monate unterbrochen werden, da es zu einer internen Strahlenbelastung der Beschäftigten kommt. Die Kontamination tritt während der Arbeiten am Kamin der Entlüftungsanlage auf. Dieser wird beim Reaktorunfall schwer beschädigt und kippte um rund einen Meter zu Seite. Die Arbeiten innerhalb des havarierten Reaktors sind gefährlich, dort ist verbliebene Teil des Baukörpers sehr instabil und die Strahlung hoch. Jede Arbeitsschicht darf nicht länger als eine Stunde dauern.⁹⁷

Im Zusammenhang mit der unerwartet hohen Strahlenbelastung der Beschäftigten wird erklärt, dass unerlaubte Strahlenbelastungen früher nicht entdeckt wurden, denn erst ab 2005 erfolgte 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 Höhe, in der sie teilweise stattfinden, gefährlich. Im Frühjahr 2005 stürzten drei Beschäftigte von einem hohen Teil des Baukörpers, einer verunglückte dabei tödlich.⁹⁸

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 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.⁹⁹

Nach Abschluss der geplanten Stabilisierungsmaßnahmen zeigt sich, dass diese nicht ausreichend sind. Weitere dringende Reparaturen in 2008 betreffen das Dach des Sarkophags.¹⁰⁰ Die Stabilisierungen enden 2008, sie sollten ursprünglich bis Ende 2006 abgeschlossen sein. Laut EBRD blieben die Stabilisierungsarbeiten im Rahmen der Kostenschätzungen von rund 50 Millionen US-Dollar.¹⁰¹

Laut EBRD kann zwar die Zielsetzung der Stabilisierungsmaßnahmen erreicht werden, diese 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, den Abbau instabiler Bauwerksteile und die Bergung der brennstoffhaltigen Materialien.¹⁰²

2.6 Das 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 Konstruktion wird wegen ihrer Bogenform auch Bogenkonzept (engl. „Arch Concept“) genannt.¹⁰³

Ausschreibung

Am 11. März 2004 veröffentlicht die EBRD die Ausschreibung für die Errichtung des NSC. Sie wird 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^e geleitet, eingebunden sind auch die deutschen Firmen Hochtief und Nukem sowie einige ukrainische Firmen.¹⁰⁴ Die zweite Gruppe wird von der amerikanischen Firma CH2M Hill geleitet und schließt zwei große ukrainische 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 die EBRD es ab.¹⁰⁵

Die beiden verbleibenden Anbieter werden im September 2005 aufgefordert, an der zweiten Stufe der Ausschreibung teilzunehmen, die auch Kostenangaben beinhaltet. Die Novarka-Gruppe nennt Kosten in Höhe von insgesamt 450,6 Millionen US-Dollar, CH2M Hill beziffert die Kosten auf 598,3 Millionen US-Dollar.¹⁰⁶ Da die genannten Kosten der Novarka-Gruppe niedriger sind, wird zunächst mit dieser verhandelt. Dabei kommt es offenbar zu Kontroversen. Im September 2006 weist der Betreiber des AKW Tschernobyl eigenmächtig das Angebot zurück.¹⁰⁷ Schlussendlich erhält am 17. September 2007 aber doch Novarka den Vertrag zur Errichtung des NSC.¹⁰⁸

^e Vinci ist Teil des Konsortiums Alliance, das die ursprüngliche Idee zur Konstruktion eines neuen Shelters hatte.

Konzept

Das NSC ist als eine passend gefertigte, wetterfeste Schutzhülle geplant, die den alten Sarkophag und die Überreste des explodierten Reaktors überdeckt. Eine Seite des Schutzes wird komplett verschlossen, die andere wird an die Gebäude 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. Die Gesamtkonstruktion entsteht in zwei Teilen. Diese wird zusammengesetzt und über den Sarkophag geschoben. Mit einer Höhe von 109 m, einer Länge von 162 m und einer Spannweite von 257 m wird das NSC nach seiner Fertigstellung das größte bewegliche Gebäude der Welt sein.¹⁰⁹

Das NSC besteht aus einer bogenförmigen Metallrohrkonstruktion, die ein Gewicht von rund 30.000 t hat. Die Planer wählen – statt einer neuen, unerprobten Technik – eine laut eigenen Angaben „altbewährte“ Stahlkonstruktion, um gefährliche Reparatur- und Wartungsarbeiten zu minimieren.

An der Konstruktion wird eine doppelwandige Außenhaut angebracht, die den explodierten Reaktor mit seinen radioaktiven Materialien gegenüber der Außenwelt isolieren soll. 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 Teile der Ruine und, zu einem späteren Zeitpunkt, auch die Bergung des brennstoffhaltigen Materials ermöglichen.¹¹⁰

Die Isolierung soll durch zwei Maßnahmen erreicht werden:

- im Zwischenraum zwischen der äußeren und inneren Abdichtung wird durch das Ventilationssystem ein Überdruck gegenüber dem Innenbereich erzeugt,
- eine elastische Membran verbindet an den Seitenflächen den vorhandenen Baukörper mit der neuen Schutzhülle.¹¹¹

Das NSC ist für eine Temperatur im Bereich von –43 bis +45 °C, einen Tornado der Klasse 3 und gegen ein Erdbeben mit einer maximalen Intensität von 6 (MSK 64) ausgelegt.¹¹²

Novarka, ein Joint Venture der beiden französischen Unternehmen VINCI Construction und Bouygues Travaux Publics, ist für die Planung, den Bau und die Inbetriebnahme der neuen Schutzkonstruktion über dem zerstörten Reaktor verantwortlich.¹¹³ Etwa 50 ukrainische Organisationen sind am Projekt des NSC beteiligt.¹¹⁴

Vorbereitung

Vor der Errichtung des riesigen NSC muss eine entsprechende Infrastruktur installiert werden. Der Baubereich erhält einen neuen Straßen- und Schienenanschluss, auch die Elektrizitäts- und Wasserversorgung wird umfassend erneuert. Für das Personal entsteht eine moderne Einrichtung zur medizinischen Versorgung (inklusive einer Notfallstation und Strahlungsüberwachung).¹¹⁵ Seit Oktober 2014 befindet sich am Standort ein Labor für die Untersuchung von medizinischen Proben. Es ist aufgrund des Umfangs der Arbeiten im Rahmen des SIP-Projekts und der wachsenden Zahl der am Sarkophag Beschäftigten erforderlich.¹¹⁶

Im Jahr 2010 werden auf dem Gelände Vorbereitungsarbeiten für die Errichtung des NSC durchgeführt. Um den riesigen Errichtungsbereich vorzubereiten, werden große Mengen an kontaminiertem Boden (55.000 m³) und hochradioaktiven Materialien weggeschafft und eine 90.000 m² große Betonfläche zur Versiegelung des Bodens erstellt.¹¹⁷

Zudem wurde zum Schutz der Beschäftigten vor Strahlung eine 30 m hohe Betonwand zwischen dem Reaktor und dem Baugelände hochgezogen.¹¹⁸

Im September 2010 beginnt die Erstellung der Fundamente, auf denen die Kräne und Gleitelemente installiert und die vorgefertigten Stahlelemente des NSC zusammengebaut werden.¹¹⁹

Das Fundament besteht aus zwei Strängen („Schiene“), die sich unter anderem auf Betonpfähle mit einem Durchmesser von einem Meter und einer Länge von 19 m stützen.¹²⁰

Als weitere umfangreiche Vorbereitungsmaßnahme wird 2011/2012 am zerstörten Reaktor ein neuer Abluftkamin (Höhe 50 m) installiert und am 22. Oktober 2013 in Betrieb genommen. Am 31. Oktober beginnt der Abbau des alten Abluftkamins (Höhe 75,5 m). Die Erneuerung ist erforderlich, damit der NSC über den Sarkophag geschoben werden kann.¹²¹

Errichtung der gigantischen Konstruktion

Mitte März 2012 trifft am Standort die erste Lieferung für den NSC (bestehend aus 149 t Stahl) per Bahn aus Italien ein.¹²² Im April 2012 beginnt der Bau der gigantischen Konstruktion.

Anfang April 2014 ist die östliche Teilkonstruktion mit einer Höhe von 112,5 m fertig montiert und wird in ein Wartebereich geschoben; die Montage der westlichen Teilkonstruktion beginnt.¹²³ Trotz der Unruhen im Osten der Ukraine geht der Bau der neuen Schutzhülle auch 2014 voran.¹²⁴ Beide Hälften werden 2014 jeweils auf ihre komplette Höhe zusammengesetzt.¹²⁵

Am 24. Juli 2015 erreicht das Projekt einen wichtigen Meilenstein: Die östliche und westliche Teilkonstruktion der neuen Sicherheitshülle werden zusammengeschoben und mit 24 präzisen Verbindungen zusammengefügt. Anschließend werden sie mit fast 1000 Bolzen verbunden.¹²⁶ Am 4. Oktober 2015 ist dieser Arbeitsschritt beendet.¹²⁷

Anfang Oktober 2015 feiert Novarka ein besonderes Jubiläum: „20 Millionen Personenstunden am NSC“. Experten aus 27 Ländern sind involviert.¹²⁸

Nach dem Zusammenbau beginnt das Anbringen der Verkleidung. Diese setzt sich aus sieben verschiedenen Schichten zusammen und wurde an Universitäten in Deutschland und England speziell für Tschernobyl entwickelt. Sie besteht unter anderem aus etwa 16 Hektar Edelstahl.¹²⁹ Die Verkleidung ist bis zum 10. März 2016 zu 85 Prozent angebracht.¹³⁰

Innenausbau

Die Installation des Betriebssystems im Inneren der beiden miteinander verbundenen Teile des Bogens ist in Arbeit – vor allem die Stromversorgung, Lüftungsanlagen, Hauptkransysteme und Zugangssysteme werden installiert.

Innerhalb des Tragwerks 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. Welche Teile in welcher Reihenfolge demontiert werden und was nach der Demontage damit geschieht, wird gegenwärtig untersucht.¹³¹

Am 25. November 2015 beginnt das Hochziehen der Westbrücke des Hauptkransystems im NSC, welches nach der Fertigstellung des NSC den Abbau von instabilen Bauwerksteilen des bestehenden Sarkophags ermöglichen soll. Zwei Brücken von 96 m Länge werden in einer Höhe von 82 m installiert.¹³² Dieser Arbeitsschritt ist am 28. November beendet.¹³³

Die neue Schutzhülle ist keine passive Struktur, sondern enthält aktive Systeme (Heizungs-, Lüftungs- und Klimasysteme).¹³⁴ Normalerweise müssen Stahlkonstruktionen alle 10 bis 15 Jahre einen neuen Korrosionsschutz erhalten. Bei der neuen Schutzhülle ist dies aufgrund der hohen Strahlenwerte über der Ruine nicht möglich. Daher soll mithilfe eines **computergesteuerten Belüftungssystems** die Haltbarkeit für 100 Jahre gewährleistet werden.¹³⁵ Ein Ventilationssystem innerhalb der Bogenkonstruktion soll dafür sorgen, dass der Raum zwischen äußerem und innerem Mantel der Schutzhülle klimatisiert wird. Dazu wird die in diesen Bereich eingeblasene Luft vorher getrocknet, sodass die Luftfeuchtigkeit nur noch rund 40 Prozent beträgt. Außerdem wird die Luft auf ca. 3 °C über der Umgebungstemperatur aufgeheizt. Mit diesen Maß-

nahmen soll erreicht werden, dass das Bauwerk während seiner Standzeit (ca. 100 Jahre) korrosionsfrei bleibt.¹³⁶ Die Installation des Belüftungssystems ist am 10. März 2016 zu 76 Prozent abgeschlossen.¹³⁷

Zum NSC gehören auch das Technikgebäude und einige weitere Hilfsgebäude. Parallel zur Installation des Betriebssystems im NSC wird zurzeit das Technikgebäude errichtet, das sich am Fuße der NSC befindet. Dieses enthält unter anderem die Fernsteuerung aller Systeme sowie Bereiche für Dekontamination, Fragmentierung und Verpackung.¹³⁸ Der Projektfortschritt bei der Errichtung des Gebäudes beträgt am 10. März 2016 78 Prozent.¹³⁹

Zudem wird ein Gebäude für eine unabhängige autonome Stromversorgung mit einem Generator für den Fall eines Stromausfalls errichtet.¹⁴⁰

Weitere Hilfsgebäude werden zurzeit ebenfalls errichtet, zum Beispiel eine Pumpstation für Löschwasser (Projektfortschritt am 10. März 2016: 46 Prozent).¹⁴¹

Ausstehende Arbeiten

Der schwierigste Teil steht noch bevor: Das gesamte NSC mit den eingebauten Systemen wiegt insgesamt 36.479 t und soll mithilfe eines komplexen Gleitsystems inklusive hydraulischer Systeme über den havarierten Reaktor geschoben werden. Das Verschieben der gigantischen Konstruktion soll mit einer Geschwindigkeit von rund 10 m pro Stunde erfolgen. Für die 330 m sind somit für einen ununterbrochenen Prozess insgesamt 33 Stunden erforderlich. Der Gleitprozess soll in einem günstigen meteorologischen Zeitfenster von 72 Stunden erfolgen.¹⁴²

Abschließend werden an den Stirnwänden der verbleibende Spalt zwischen der neuen Konstruktion und dem vorhandenen Bauwerk des Reaktorblocks durch flexible Kunststoffmembranen geschlossen.¹⁴³

Ob diese schwierige Arbeit gelingt, wird sich im nächsten Jahr zeigen. Mögliche Probleme können nicht nur bei dem Gleitvorgang selbst, sondern insbesondere bei der Anpassung an den Sarkophag auftreten. Zurzeit wird der Sarkophag hierfür vorbereitet.

Wie bisher sind die Arbeiten am Sarkophag noch komplizierter als erwartet: Am 2. November 2015 findet ein Ortstermin mit ChNPP-Generaldirektor Igor Gramotkin und den Unternehmen, die das Projekt zur Verstärkung und Abdichtung der bestehenden Bauwerksteile des Sarkophags umsetzen, statt. Einige problematische Fragen, die wesentlichen Einfluss auf den Zeitablauf des Projekts haben, werden diskutiert, und es werden Lösungswege skizziert. Auf dem Treffen wird die Möglichkeit diskutiert, das Projekt zu beschleunigen. Der NSC kann nicht über den Reaktor geschoben und in Betrieb genommen werden, bevor die Stirnwände aufgebaut sind.¹⁴⁴

3 Gesamtsituation am Atomkraftwerk Tschernobyl

Betreiber des Atomkraftwerks Tschernobyl ist seit September 2000 die State Specialized Enterprise „Chernobyl NPP“ (SSE ChNPP). 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. In den vorhandenen Lagern befinden sich 2012 rund 20.000 m³ flüssige und rund 2500 m³ feste radioaktive Abfälle.¹⁴⁵ Im Rahmen der endgültigen Stilllegung werden weitere Abfallmengen dazukommen.

Die IAEA unterstützt den Betreiber von 2009 bis 2013 im Rahmen eines technischen Kooperationsprojekts^f bei der Stilllegung des Atomkraftwerks sowie beim Umgang mit den radioaktiven Abfällen am Standort. Ein Schwerpunkt ist die Stilllegung des Kühlteichs.¹⁴⁶

Der **riesige, künstlich angelegte Kühlteich** des AKW Tschernobyl stellt ein großes Problem dar. Er hat eine Fläche von 22,9 km² und ein Volumen von 160 Millionen m³. Auf seinem Boden haben sich radioaktive Partikel mit einer geschätzten Gesamtaktivität von 0,2 PBq abgelagert. Seine Wasseroberfläche befindet sich sieben Meter oberhalb des Flusses Prypjat und ist nur durch einen Damm von diesem getrennt. Am 22. April 2013 müssen aufgrund des hohen Wasserstands Schutzmaßnahmen durchgeführt werden. Diese sollen verhindern, dass der Damm am Kühlteich bricht und kontaminiertes Wasser in den Fluss gelangt.¹⁴⁷ Seit Jahren wird mit internationaler Unterstützung an einem Konzept für die Stilllegung des Kühlteichs gearbeitet. Allerdings ist mit der Stilllegung die Gefahr einer unkontrollierten Verbreitung von radioaktiven Stoffen verbunden.¹⁴⁸ (s.u.)

3.1 Die 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 der Errichtung des Sarkophags gehen sie wieder in Betrieb, die Reaktorblöcke 1 und 2 bereits Ende 1986, Block 3 folgt Ende 1987.¹⁴⁹ Erst Jahre später werden für insgesamt 400 Millionen US-Dollar Sicherheitsverbesserungen an den drei Reaktoren durchgeführt.¹⁵⁰

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 nach einem Brand im Maschinenhaus bereits seit Oktober 1991 außer Betrieb ist. Block 3 wird am 6. Dezember 2000 aufgrund eines Lecks heruntergefahren. Am 15. Dezember 2000 wird Block 3 und damit das AKW Tschernobyl endgültig abgeschaltet.¹⁵¹

Allerdings wird in der Ukraine zwei Jahre später über eine Wiederinbetriebnahme von Block 3 diskutiert. Nach Meinung des Energieministeriums stellt der Block im Leistungsbetrieb eine geringere Gefahr 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.¹⁵²

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

Auch Jahre später wird aufgrund fehlender Finanzmittel des Betreibers erneut über eine Wiederinbetriebnahme von Block 3 diskutiert. Laut Energieministerium werden die Tschernobyl-Programme über Monate hinweg aus dem Staatshaushalt der Ukraine nur ungenügend finanziert. Im März 2005 belaufen sich die Schulden des AKW-Betreibers auf 6,8 Millionen US-Dollar.¹⁵³ Offenbar wird 2005 dann eine andere, ebenfalls fragwürdige, Einnahmequelle gefunden. Der Betreiber plant, Teile des abgeschalteten Atomkraftwerks (Pumpen und andere technische Geräte) zu verkaufen, um die nötige Finanzierung von Sicherheitsmaßnahmen am Sarkophag zu gewährleisten. Der Leiter des AKW versichert, dass die zu verkaufenden Teile nicht kontaminiert sind. Als Hauptkäufer wird Russland vermutet, da dort Reaktoren des gleichen Typs (RBMK) betrieben werden.¹⁵⁴

Stilllegung der Blöcke 1–3

Im Februar 2014 hat die ukrainische Aufsichtsbehörde das **Stilllegungsprojekt der Blöcke 1–3 genehmigt**.¹⁵⁵ Die drei Reaktorblöcke sollen in den Zustand des „sicheren Einschlusses“ überführt werden. Zwischen 2028 und 2046 sollen die am stärksten kontaminierten Anlagenteile ausgebaut und bis 2064 die Reaktoren selbst abgebaut werden. Am 9. April 2015 erhielt das AKW Tschernobyl die Genehmigung für die erste Phase der Stilllegung. Die Kosten werden 2015 auf 43 Millionen US-Dollar geschätzt.¹⁵⁶

Die Vorbereitung für den Abbau der Anlage ist im Gang, so wird im Rahmen eines internationalen technischen Unterstützungsprogramms ein Visualisierungszentrum errichtet. Es soll für den Stilllegungsprozess eine dreidimensionale Modellierung und Visualisierung ermöglichen. Das Projekt wird von der norwegischen Regierung finanziert; der Auftragnehmer ist das Institut für Energietechnik in Norwegen. Am 1. Dezember 2015 werden die Computer und die Software geliefert. Das Zentrum soll im Frühjahr 2016 den Pilotbetrieb aufnehmen.¹⁵⁷

Zudem wird eine moderne Anlage für die Freigabe von Materialien aus der behördlichen Kontrolle errichtet⁹ – finanziert von der Europäischen Kommission im Rahmen des INSC-Programms (Instrument for Nuclear Safety Cooperation).¹⁵⁸ Zeigen Materialien bei Messungen eine niedrige Kontamination auf, können sie aus der behördlichen Kontrolle entlassen und wieder verwendet werden. Zusätzliche Mengen radioaktiver Abfälle werden in der nächsten Zukunft aufgrund der Stilllegung des AKW Tschernobyl sowie aufgrund der Aktivitäten zur Sanierung von radioaktiv kontaminierten Böden erzeugt. Der AKW-Betreiber erklärt, dass die Freigabe von Materialien eine kostengünstigere Alternative für den Umgang mit radioaktiven Abfällen darstellt als die Entsorgung in ein technisches Endlager.¹⁵⁹ Die potenziellen Folgen von den zu erwartenden großen Mengen an freigemessenem Material kann hier nicht diskutiert werden. In Deutschland warnen viele Experten aus Strahlenschutzgründen vor der Freigabe von großen Mengen sehr schwach radioaktiver Materialien im Rahmen der Stilllegungsprojekte.

Entladung der abgebrannten Brennelemente in altes Nasslager

Vor der eigentlichen Stilllegung müssen die abgebrannten Brennelemente aus den Reaktoren und den Lagerbecken entladen werden. Solange noch Brennelemente in den Reaktoren sind, geht von diesen eine nukleare Gefahr aus. Doch die Entnahme der Brennelemente verzögert sich erheblich. 2005 befinden sich in den Reaktorkernen von Block 1 noch 812 und in denen von Block 3 noch 1563 Brennelemente. Zusätzlich sind in den Lagerbecken der Reaktoren noch mehr als 3000 Brennelemente vorhanden.¹⁶⁰

⁹ Der Vertrag umfasst die Montage der Ausrüstung, Abnahmetests, Zertifizierung und Zulassung sowie die Ausbildung des Personals.

Da die Errichtung des neuen Brennelemente-Zwischenlagers eine enorme Zeitverzögerung aufweist (s. u.), nimmt 2005 der Betreiber die Situation in die eigene Hand, statt auf internationale Hilfe zu warten. Das Fehlen des Zwischenlagers zur Aufrechterhaltung der Nachbetriebsphase der Reaktoren kostet die Ukraine rund 15 Millionen Euro jährlich.¹⁶¹

Ende 2005 beginnt die Entladung der Brennelemente aus Reaktor 3. 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.¹⁶² Während des Betriebs haben sich mehr als 21.000 abgebrannte Brennelemente angesammelt.¹⁶³

Im September 2010 sind alle Brennelemente aus Block 3 entladen und in das Nasslager transportiert.¹⁶⁴ Am 28. September 2013 wird die Entladung der letzten intakten Brennelemente abgeschlossen, jedoch steht die Entladung der beschädigten Brennelemente aus den Lagerbecken der Blöcke 1 und 2 noch aus.¹⁶⁵ Diese soll in 2015 erfolgen. Ob diese inzwischen vollständig erfolgt ist, ist nicht bekannt.

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.¹⁶⁶ Es wird als unwahrscheinlich angesehen, dass die Lizenz verlängert wird, wenn diese 2016 nach 30-jähriger Betriebszeit ausläuft.¹⁶⁷

Allerdings müssen die Brennelemente dort noch bis mindestens 2025 verbleiben. Das neue Zwischenlager hat eine Aufnahmekapazität von 2500 Brennelementen im Jahr (s. u.), sodass sich die Entladung der über 20.000 Brennelemente aus dem alten Nasslager mindestens über acht Jahre hinziehen wird. Währenddessen geht vom Nasslager eine erhebliche Gefahr aus, die sich im Laufe der Entladung der Brennelemente nach und nach reduziert.

Das neu angeschaffte Transportfahrzeug erfüllt alle modernen technischen Anforderungen und wird bereits beim Brennstofftransport im Zuge der bevorstehenden „heißen Tests“ des neuen Zwischenlagers anstelle des ehemaligen Waggons eingesetzt. Dieser ist technisch veraltet.¹⁶⁸

Im Rahmen des EU-Stresstests, der als Folge des Fukushima-Unfalls die Robustheit der Atomanlagen untersucht, wird auch das Nasslager ISF-1 betrachtet. Zwar kann die Robustheit nicht erhöht werden, jedoch werden Maßnahmen ergriffen, um nach einem Unfall handlungsfähig zu sein. Geräte zur Messung der Wasserstands und des Strahlenniveaus werden in den Lagerbecken nachgerüstet. Ein mobiler Dieselgenerator wird angeschafft. Notfallpläne werden entwickelt und das Personal trainiert.¹⁶⁹

3.2 Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente (ISF-2)

Im Jahr 1999 unterzeichnet Areva NP (ehemals Framatome) einen Vertrag für die Errichtung eines Zwischenlagers für die abgebrannten Brennelemente der Reaktoren 1–3. Die Fertigstellung des Lagers (Interim Spent Fuel Storage Facility 2 – ISF-2) ist für 2003 geplant.¹⁷⁰ Das Zwischenlager soll für einen Zeitraum von 100 Jahren ausgelegt sein. Mit einer Kapazität für mehr als 21.000 Brennelemente 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 aktiven Kühlung abhängig ist.

Es ist geplant, die Anlage nach dem Nuhoms-Konzept auszulegen.¹⁷¹ Dabei werden die Brennelemente in doppelwandige Stahlbehälter geladen, die dann horizontal in kubischen Betonmodu-

len untergebracht werden. Dieses für Brennelemente westlicher Bauart entwickelte Konzept wird für die RBMK-Brennelemente angepasst.¹⁷² Areva NP hat bei Vertragsabschluss kaum Erfahrung mit der Zwischenlagerung von abgebrannten Brennelementen; das Unternehmen hatte die Technologie aus den USA eingekauft.¹⁷³

Die Arbeiten beginnen im Frühjahr 2000. Im Jahr 2003 stellt Areva NP dann jedoch 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.¹⁷⁴

SSE ChNPP 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 des Betreibers sei, keine detaillierten Angaben zu den Brennelementen bereitzustellen.¹⁷⁵

Als Areva NP 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 dem schwedischen Kernbrennstoffunternehmen SKB übergeben.¹⁷⁶ Ergebnis der Prüfung ist, dass alle Beteiligten inkompetent handelten.¹⁷⁷ Areva hat aufgrund mangelnder Erfahrung die Wichtigkeit zur Trocknung der Brennelemente unterschätzt und trägt daher die Verantwortung.

Die ukrainische Behörde verweigert die Genehmigung für die vorgeschlagene Lösung zur Behandlung der beschädigten und undichten Brennelemente. Der Vertrag mit AREVA NP wird im April 2007 „freundschaftlich“ beendet.¹⁷⁸

Am 17. September 2007 schließen SSE ChNPP und der Firma Holtec International einen Vertrag über die Fertigstellung des zu errichtenden Zwischenlagers (ISF-2) ab. Der Vertrag schließt die Lieferung von doppelwandigen Lagerbehältern ein. Diese sollen in den von Areva NP gelieferten Nuhoms-Modulen aufbewahrt werden. Holtec wird ein Gastrocknungssystem einsetzen, welches sich das Unternehmen zur Trocknung der RBMK-Brennelemente patentieren ließ.¹⁷⁹ Das ursprüngliche Behälterkonzept wird der nach ukrainischem Regelwerk geforderten Doppelwandigkeit nicht in vollem Umfang gerecht und deshalb von den Genehmigungsbehörden abgelehnt. Daher überarbeitet Holtec International dieses.¹⁸⁰

Im Oktober 2010 genehmigt die Aufsichtsbehörde der Ukraine das von Holtec beantragte technische Konzept; auch der Nuclear Safety Account (NSA) als Geldgeber stimmt zu. Holtec sichert Anfang 2011 zu, die Arbeiten innerhalb von vier Jahren zu beenden.¹⁸¹ Der Vertrag für das ISF-2 hat einen Festpreis von 411 Millionen US-Dollar und muss nun im Jahr 2018 abgeschlossen werden.¹⁸² Am 17.07.2014 wird mit einer Ergänzung zum Vertrag die Erfüllungsfrist um 92 Wochen verlängert¹⁸³ – das ist auch eine Reaktion auf die militärischen Auseinandersetzungen.

Das Zwischenlager befindet sich etwa 2,5 km von der Reaktorruine entfernt. Es besteht aus zwei Teilen: einer langen Reihe von insgesamt 232 Betonblöcken und einem Gebäude, in dem die Vorbereitung zur Lagerung (Konditionierung) erfolgt. Die Brennelemente werden in Waggons vom Nasslager in die Konditionierungsanlage transportiert, dort zerschnitten, in die Behälter verbracht und getrocknet. Die abgedichteten Behälter werden anschließend zu den Betonblöcken verbracht und in diese eingebracht. Der Zeitplan sieht noch eine Inbetriebnahme Ende 2017 vor.¹⁸⁴

Erst Anfang Oktober 2014 beginnen – nach einer Unterbrechung von elf Jahren – die konkreten Arbeiten. Die ukrainischen Unternehmen „UTEM-Engineering“ und „Ukrtransbud“ übernehmen die Installationsarbeiten.¹⁸⁵

Insgesamt macht die Fertigstellung des Zwischenlagers im letzten Jahr erhebliche Fortschritte. Im September 2015 sind zum Beispiel 314 Personen verschiedener Unterauftragnehmer mit den

konkreten Arbeiten beschäftigt.¹⁸⁶ Der wesentliche Teil der Geräte der für die Zerschneidung erforderlichen „Heißen Zelle“ wurde vom 7. bis 17. Dezember 2015 in Deutschland getestet.¹⁸⁷

Die Genehmigung für die technische Spezifikation der Behälter wurde im Juli 2015 erteilt. Die ersten zehn Behälter der insgesamt 231 Behälter werden am 24. und 25. November 2015 angeliefert, fünf weitere erreichen Anfang 2016 den Standort. Die Lieferung der Behälter soll bis 2019 abgeschlossen sein.¹⁸⁸

Ende 2015 ist das Projekt zu 79 Prozent abgeschlossen, die Installations- und Bauarbeiten sind zu 64 Prozent fertiggestellt.¹⁸⁹

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.¹⁹⁰ Nach der Auflösung des Vertrags mit Areva NP wird 2007 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 Zwischenlager wird – wie auch die Anlage zur Behandlung flüssiger Abfälle (s. u.) – mit Mitteln des NSA finanziert, der ebenfalls von der EBRD verwaltet wird.^h Ende 2015 hat der NSA ungefähr 365 Millionen Euro erhalten. Mitglieder des NSA sind Belgien, Deutschland, Dänemark, die EU, Finnland, Frankreich, Großbritannien, Italien, Japan, Kanada, Niederlande, Norwegen, Russland, Schweden, Schweiz, Ukraine und die USA. Aserbaidschan hat ebenfalls einen Beitrag geleistet. Die EBRD steuert aus eigenen Mitteln insgesamt 175 Millionen Euro zum Bau der ISF-2 zu.¹⁹¹

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.¹⁹² Im Jahr 2006 werden die Kosten auf rund 110 Millionen Euro geschätzt.¹⁹³ Die Gesamtkosten werden in 2011 von der EBRD mit rund 300 Millionen Euro angegeben.¹⁹⁴ Aktuelle Kostenschätzungen liegen nicht vor. Der Vertrag mit Holtec International sieht rund 360 Millionen Euro vor. Das ist rund fünfmal so viel wie ursprünglich angenommen. Dazu kommen die bereits an Areva gezahlten Beträge.

Zeitplan: Bei Vertragsabschluss in 1999 ist die Fertigstellung für 2003 geplant¹⁹⁵, jetzt ist Ende 2017 anvisiert. Sollte die Fertigstellung ab jetzt ohne erhebliche Verzögerung gelingen, hätte sich der Zeitrahmen von ehemals vier auf rund 18 Jahre ausgedehnt – damit also fast verfünffacht.

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 m³ flüssiger Abfälle verarbeiten, die auf dem Gelände in mehreren Tanks lagern. Es handelt sich hierbei vor allem

^h 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.

um schwach- und mittelradioaktive Abfälle aus dem Betrieb der Reaktoren 1–3. Die geschätzte Gesamtaktivität beträgt 418×10^{12} Bq.¹⁹⁶

Die bei der Stilllegung der Blöcke 1–3 sowie die beim Betrieb 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.¹⁹⁷

Unzulänglichkeiten bei der Abfallcharakteristik und bei der Auslegung der Anlage führen dazu, dass sich das westliche Konsortium 2006 aus dem Auftrag zurückzieht. Jahrelang 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 fertigzustellen. Die Änderung des Konzepts erfordert zusätzliche Mittel vom NSA.¹⁹⁸

Eine Begutachtung der Sicherheitsberichte unter anderem durch die deutsche Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) ab 2000 zeigt sicherheitstechnische Mängel und fehlende Nachweise, zum Beispiel zur Gewährleistung der Annahmekriterien für die Abfallgebinde im Endlager (ENSDF). Es muss ein neuer Sicherheitsbericht vorgelegt werden.¹⁹⁹

Erst am 14. Juli 2014 beantragt SSE ChNPP die Betriebsgenehmigung, diese wird am 11. Dezember 2014 erteilt.²⁰⁰ Der Betrieb beginnt 2015. Im Februar 2016 ist das Projekt noch nicht vollständig abgeschlossen.²⁰¹

Im Jahr 2013 schlagen tschechische und slowakische Spezialisten eine neue Technologie für die Behandlung bestimmter Abfälle vor, die effizienter als das eingesetzte Verfahren ist. Auf Anfrage des AKW-Betreibers wird bezüglich der Probleme mit dem Umgang der flüssigen radioaktiven Abfälle eine „Technical Support Mission“ der „World Association of Nuclear Operators (WANO)“ durchgeführt (Ende 19. Juni 2015).²⁰²

Beteiligte Firmen: Errichtet werden soll die Anlage von einem Konsortium der Unternehmen Belgatom (Belgien), SGN (Frankreich) und Ansaldo (Italien).²⁰³ Der Vertrag wird allerdings am 15. September 2006 aufgelöst.²⁰⁴ Abschluss der Arbeiten durch den Betreiber des AKW Tschernobyl (SSE ChNPP).

Kosten und Finanzierung: Finanziert werden die Anlage wie auch das Zwischenlager (ISF-2) ebenfalls durch den Nuclear Safety Account (NSA), der von der EBRD verwaltet wird (s. o.). Bei Vertragsabschluss 1999 werden die Kosten auf 25 Millionen Euro geschätzt.²⁰⁵ Die tatsächlichen Kosten werden sicher um ein Vielfaches höher liegen, Angaben dazu liegen nicht vor.

Zeitplan: Bei Vertragsabschluss 1999 ist die Fertigstellung für 2001 geplant. Aber auch diese Anlage bleibt weit hinter dem Zeitplan zurück, jahrelang ruhen die Arbeiten. Die Inbetriebnahme erfolgt 2015.

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 radioaktive Abfälle (ICSRM = Industrial Complex for Solid Radioactive Waste Management).²⁰⁶ Im Abfallbehandlungszentrum werden feste Abfälle und feste Rückstände aus der Verarbeitung flüssiger Abfälle aus dem Kraftwerksbetrieb und der Stilllegung der Blöcke 1 bis 3 konditioniert. Das Abfallzentrum umfasst vier Teilanlagen (Lose):

- Los 0: Zwischenlager für hochradioaktive sowie langlebige schwach- und mittelradioaktive Abfälle.

- Los 1: Anlage zur Rückholung fester schwach-, mittel- und hochradioaktiver Abfälle (bis drei Kubikmeter täglich) aus bestehenden Zwischenlagern (Betonbunker).
- Los 2: Konditionierungsanlage zur Sortierung fester Abfälle aller Kategorien und zur Behandlung schwach- und mittelradioaktiver fester Abfälle (bis zu 20 m³ täglich).
- Los 3: Oberflächennahes Endlager (Engineered Near Surface Disposal Facility = ENSDF) für konditionierte schwach- und mittelradioaktive Abfälle mit kurzen und mittleren Halbwertszeiten.

Zunächst werden die in Bunkern auf dem Gelände des Kernkraftwerks Tschernobyl zwischengelagerten festen radioaktiven Abfälle entnommen (Los 1). Dann werden die aus den Bunkern stammenden Abfälle sowie die bei der Stilllegung der Blöcke 1–3 anfallenden festen radioaktiven Abfälle in eine für die Endlagerung im ENSDF (s. u.) geeignete Form verarbeitet („konditioniert“ – Los 2). Die volumenreduzierten Abfälle werden in 200-Liter-Stahlfässer verfüllt und mit Beton-Sand-Mörtel verfestigt.²⁰⁷

Am 13. Mai 2010 erhält der Betreiber die Genehmigung zum Probetrieb der Anlage. Deutsche (GRS), französische, italienische und belgische Gutachterorganisationen führten die sicherheitstechnische Bewertung von Genehmigungsunterlagen durch; fast alle aufgedeckten Mängel sind in 2011 beseitigt.²⁰⁸ Aber auch im April 2015 läuft die Anlage noch im Probetrieb; die Antragsunterlagen für die Dauerbetriebsgenehmigung werden erarbeitet.²⁰⁹ Noch im Juli 2015 arbeitet Nukem im Rahmen der Gewährleistung an der Beseitigung von Mängeln.²¹⁰

Hochradioaktive und langlebige schwach- und mittelradioaktive Festabfälle werden aussortiert und erst einmal zwischengelagert. Dazu wird das bestehende Zwischenlager (Los 0) nachgerüstet und im Juni 2008 dem Auftraggeber übergeben.²¹¹ Am 10. Dezember 2010 erhält es die Betriebsgenehmigung. Es soll die Lagerung von 13.000 Fässern für mindestens 30 Jahre gewährleisten. Was anschließend mit diesen Abfällen geschieht, ist noch ungeklärt.

Das oberflächennahe Endlager ENSDF für konditionierte schwach- und mittelradioaktive Abfälle mit kurzen und mittleren Halbwertszeiten wird Ende 2007 übergeben und ist für die Lagerung von 55.000 m³ Abfall ausgelegt (Los 3). Es liegt rund 17 km entfernt in der „Verbotenen Zone“ am Standort VEKTOR, einem Komplex zur Lagerung von radioaktiven Abfällen. Für einen Zeitraum von 30 Jahren soll dort eingelagert werden; die Überwachung der geschlossenen Anlage soll 300 Jahre lang erfolgen. Die Auslegung des Endlagers basiert auf der Auslegung des spanischen Lagers El Cabril. Betreiber ist das staatliche Unternehmen Technocentre.²¹² Im Endlager ENSDF werden zunächst (gemessen an westlichen Standards) erhebliche Defizite in der baulichen Konstruktion der Anlage festgestellt. Die Aufsichtsbehörde erteilte 2009 – entgegen der Empfehlung der Gutachterorganisationen – eine Genehmigung für die Inbetriebnahme des Endlagers. Diese ist allerdings zunächst nur eine befristete Teilgenehmigung. Die Betriebsgenehmigung soll erst nach einer erneuten Sicherheitsüberprüfung verlängert werden.²¹³ Die entsprechenden Arbeiten sind seit Februar 2010 beendet.²¹⁴

Beteiligte Firmen: Das deutsche Unternehmen Nukem Technologie GmbH, Alzenau, bis Mitte 2006 RWE Nukem, errichtet dieses Abfallzentrum unter Beteiligung einiger ukrainischer Firmen.²¹⁵ Nukem ist das erste – und bisher einzige – westliche Unternehmen, das am Standort Tschernobyl eine Anlage zur Abfallbehandlung fertiggestellt hat.²¹⁶ Seit Dezember 2009 ist die Nukem Technologies GmbH eine hundertprozentige Tochtergesellschaft des russischen Nuklear-Unternehmens AtomStroyExport.²¹⁷

Zeitplan: Der Vertrag über die schlüsselfertige Anlage (ICSRM) wird im Frühjahr 2001 abgeschlossen; am 11. November 2003 ist die Grundsteinlegung. Die Fertigstellung ist für Mitte 2005 vorgesehen²¹⁸, sie verschiebt sich auf April 2009.²¹⁹ Der benötigte Zeitraum verdoppelt sich von vier auf acht Jahre. Angesichts der Verzögerungen in den anderen Projekten am Standort erscheint dieser Verzug moderat. Andererseits erfolgt die Inbetriebnahme erst weitere sechs Jahre später (2015), und die vollständige Mängelbeseitigung ist noch nicht erfolgt.

Kosten und Finanzierung: Die Projektkosten belaufen sich auf 47,7 Millionen Euro. Finanziert wird das TACIS-Projektⁱ von der Europäischen Kommission mit 43,6 Millionen Euro. Die Ukraine beteiligt sich mit 3,4 Millionen Euro an den Kosten.²²⁰

3.5 Rolle der westlichen Firmen und Fazit

Die Projekte zur Behandlung und Lagerung der radioaktiven Abfälle am AKW Standort 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 unter anderem:²²¹

- 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 in ihrer finanziellen Planung zu berücksichtigen.
- Alle Beteiligten haben die Schwierigkeiten, die bei der Realisierung ihrer Projekte vor Ort auftreten können, stark unterschätzt.
- Um die für internationale Hilfsprojekte zugesagten Steuerbefreiungen zu erhalten, sind Bescheinigungen erforderlich, die der Auftraggeber mit einer Detailprüfung aller mit Unterauftragnehmern geschlossenen Verträge verbindet, wodurch er sich ein Mitspracherecht sichert.
- Es ist nach ukrainischen Normen und Vorschriften zu arbeiten, die dort Gesetzescharakter haben und bis ins kleinste Detail geregelt sind.
- 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 bei den Abfallanlagen aufgetretenen Schwierigkeiten weisen darauf hin, dass sich die westlichen Firmen die Durchführung der Projekte am AKW Tschernobyl offenbar deutlich einfacher vorgestellt haben. Sicher sind die Arbeiten aufgrund von hohen Strahlenwerten am Standort schwer kalkulierbar. Sicher ist es auch kompliziert, eine Anlage nach den Anforderungen eines anderen Regelwerks und bei unterschiedlicher Genehmigungspraxis zu errichten. Durch die aufgetretenen massiven Probleme wird allerdings der 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 von den westlichen Unternehmen errichteten Anlagen nicht den erforderlichen Sicherheitsstandards entsprechen. **Zudem wird deutlich, wie kompliziert und**

ⁱ Adressaten des TACIS-Programms (Technical Assistance to the Commonwealth of Independent States) 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.

langwierig der – ohnehin schwierige und teure – Umgang mit den radioaktiven Abfällen an einem Unfallstandort ist.

Inzwischen ist die Inbetriebnahme der Anlagen zur Behandlung der radioaktiven Abfälle erfolgt; auch das Zwischenlager ist in den nächsten Jahren betriebsbereit. Es erweckt den Anschein, als hätte sich die für die Bewältigung der Probleme erforderliche internationale Zusammenarbeit deutlich verbessert. Aber mit den militärischen Auseinandersetzungen zwischen der Ukraine und Russland ergeben sich neue Schwierigkeiten. Trotz des politischen Ausnahmezustands führt die ukrainische Aufsichtsbehörde (SNRIU) im Rahmen der Inbetriebnahme der beiden oben genannten Abfallanlagen (LRTP und ICSRM) vom 17. bis 20. März 2014 Kontrollen durch.²²²

Noch steht die Errichtung von Anlagen für die Behandlung und Lagerung der unfallbedingten radioaktiven Stoffe aus. Nach Angaben der ukrainischen Atomaufsichtsbehörde befinden sich im und am havarierten Reaktorblock etwa 400.000 bis 1.740.000 m³ radioaktive Abfälle, davon 440.000 m³ langlebige. Zusätzlich enthalten die Erdschichten um den Sarkophag etwa 15.000 m³ radioaktiven Abfall (kontaminierte Erde, Betonstücke usw.).²²³

4 Gefährdungen durch den havarierten Reaktorblock 4

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). Eine vollständige Überwachung der Anlage ist daher kompliziert. Dadurch sind keine zuverlässigen quantitativen Abschätzungen der verschiedenen Gefahren vorhanden.²²⁴

Trotz vieler Gegenmaßnahmen verschlechtert sich der bauliche Zustand des Sarkophags mit der Zeit. Die Gefahr steigt auch deswegen an, weil unter dem Einfluss von mikroklimatischen Bedingungen innerhalb des Sarkophags die brennstoffhaltigen Materialien zerstört werden. 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 nach Errichtung des NSC existieren wird, muss sich noch zeigen. Aber auch diese potenzielle Barriere bliebe dann nur für die nächsten 100 Jahre bestehen.

4.1 Komplexe Situation im Inneren der Ruine

Die Bestimmung der in den Trümmern verbliebenen radioaktiven Stoffe ist kompliziert, und die Menge kann nur abgeschätzt werden.

Zum Zeitpunkt des Reaktorunfalls enthielt der Reaktorkern 1659 Brennstäbe^j mit einer Masse von insgesamt ca. 190,2 t 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, Grafit und Betontrümmern. Das Volumen an radioaktivem Material hat sich dadurch drastisch vergrößert, und die Menge des verbliebenen Brennstoffs lässt sich nicht einfach bestimmen.²²⁵

Heutzutage wird davon ausgegangen, dass im Sarkophag etwa 95 Prozent des Kernbrennstoffs (180 t) in der Ruine verblieben sind. Der Wert kann um zwei Prozent nach oben oder unten variieren.²²⁶ Die brennstoffhaltigen Materialien liegen in vier Modifikationen vor²²⁷:

1. Bruchstücke von Brennelementen,
2. erstarrte brennstoffhaltige Lava,
3. radioaktiver Staub und
4. in 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.^k Welcher Anteil des radioaktiven Inventars in den Reaktortrümmern liegt, kann durch Messungen und durch Bohrungen nur näherungsweise ermittelt werden. Dazu wird in den ca. 1000 Räumen des Sarkophags die Ortsdosisleistung (ODL) gemessen. Die Strahlungssituation im Inneren variiert stark. In den meisten Räumen der unteren Ebenen beträgt die ODL weniger als 10 mSv/h. In den Räumen des Nasskondensationsbeckens, in die die lavaartigen, brennstoffhaltigen Materialien eindringen, werden ODL von bis zu einigen Zehntausend mSv/h

^j Der mittlere Abbrand beträgt etwa 11 MWd/kg Uran.

^k 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 in einer Datenbank bereitzustellen.

gemessen. Ähnlich hohe Werte werden auch im zerstörten „Zentralen Saal“ über Bruchstücken von Brennelementen gemessen, die unter Gebäudetrümmern und Abschirmmaterialien liegen. In 162 Räumen ist die ODL erhöht, und zwar mit Spitzenwerten von bis zu ca. 21 Sv/h. Die ODL auf dem Dach des Sarkophags erreicht Werte von bis zu 60 mSv/h. Zum Vergleich: ODL-Werte von mehr als 3 mSv/h sind in deutschen Atomkraftwerken als Sperrbereich zu kennzeichnen.²²⁸

Schwer oder nicht zugängliche Räume werden zusätzlich durch 133 Bohrkanäle erkundet. Der Datenerhebung zufolge befinden sich nachweislich mindestens noch 150 t des ursprünglich im Reaktor vorhandenen Kernbrennstoffs innerhalb des Sarkophags. Weitere etwa 30 t Kernbrennstoff in unterschiedlichen Modifikationen werden in bestimmten Räumen vermutet. Ein Vordringen dorthin ist jedoch aufgrund von Verschüttungen und extrem hoher Strahlenpegel nicht möglich.²²⁹ Bei den Mengenangaben des Gebäudes bestehen Unsicherheiten, die meist mit rund 30 Prozent beziffert werden.²³⁰

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.²³¹

Auch wenn zum jetzigen Zeitpunkt noch nicht ganz genau bekannt ist, wie hoch die Menge an radioaktiven Stoffe im Inneren der Ruine genau ist: Tatsache bleibt, dass es noch riesige Mengen 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.

Überwachungssystem

Am alten Sarkophag wird Ende 2010 ein integriertes automatisches Kontrollsystem (Integrated Automated Monitoring System – IAMS) installiert. Damit werden der Zustand der brennstoffhaltigen Materialien, der Zustand der Gebäudestruktur, die Strahlung innerhalb und außerhalb des Sarkophags und die seismischen Bedingungen überwacht.²³²

4.2 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 Einsturz des Sarkophags beträgt vor Durchführung der Stabilisierungsmaßnahmen rund 0,1 pro Jahr. Die Maßnahmen, die innerhalb des SIP durchgeführt werden, sollen die Einsturzwahrscheinlichkeit auf 0,001 pro Jahr verringern.²³³ Es zeigt sich allerdings, dass die Überreste des Reaktors an einigen Stellen instabiler sind, als erwartet wurde. Daher ist anzuzweifeln, dass dieses Ziel erreicht ist. Aber selbst wenn eine Reduzierung der Einsturzwahrscheinlichkeit gelang, ist die nun nicht so gering, dass die Gefahr eines Einsturzes ausgeschlossen werden kann.

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

Die Standsicherheit wird vor allem durch horizontale Lasteinwirkungen gefährdet, die zum Beispiel bei Stürmen auftreten, die in der Region nicht selten sind.²³⁴ Da die Wahrscheinlichkeit für das Auftreten extremer Wetterereignisse (zum Beispiel von Unwettern 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.²³⁵ Tschernobyl liegt zwar auf der „Russischen Platte“, die sich durch wenig seismische Aktivität auszeichnet, jedoch ist in den rund 700 km entfernten Karpaten mit stärkeren Beben mit Magnituden über 7 auf der Richterskala zu rechnen. Im Jahre 1990 ist die Baukonstruktion bereits einem mittlerem Beben (Epizentrum in den Karpaten, Magnitude 6,8 auf der Richterskala) ausgesetzt. Dieses führt zu Rissen in der Gebäudestruktur.²³⁶ Auch andere Naturereignisse wie ein Tornado²³⁷, ein Brand im Inneren des Sarkophags oder ein Flugzeugabsturz könnten einen Einsturz auslösen.

Ermittlung der radiologischen Folgen

Aufgrund der bestehenden Gefahr werden mehrfach die radiologischen Folgen eines Einsturzes ermittelt. In der Ruine befinden sich riesige Mengen an radioaktivem Staub. Die typische Partikelgröße der radioaktiven Aerosole liegt zwischen einem bis zehn Mikrometer.²³⁸ Sie sind daher lungengängig, und ihre Inhalation kann zu hohen Strahlenbelastungen führen. Bei einem Einsturz des Sarkophagdachs käme es zu einer Aufwirbelung und Freisetzung des Staubes.

Mithilfe des Staubunterdrückungssystems, das seit 1990 arbeitet, wird versucht, den Staub durch Besprühen mit Polymerlösungen zu binden.²³⁹ 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 übergeht, kontinuierlich neuer Staub.

Die Gesamtmenge des aufwirbelbaren radioaktiven Staubs im Sarkophag wird 2005 auf rund eine Tonne, seine Aktivität auf etwa $4,3 \times 10^{15}$ Bq 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.²⁴⁰

Laut Bericht der Nuclear Energy Agency (NEA) aus 2002 kann ein Einsturz eine Freisetzung mit einer Aktivität in der Größenordnung von 1×10^{14} Bq verursachen.²⁴¹ Die GRS nimmt 2004 an, dass bei einem Zusammenbruch etwa fünf Prozent des radioaktiven Staubs (etwa 50 Kilogramm) mit einer Aktivität von rund $1,8 \times 10^{14}$ Bq freigesetzt werden.²⁴²

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 einen deutlichen Faktor kleinerer Wert ($1,6 \times 10^{13}$ Bq) als von der NEA und GRS angegeben.²⁴³ Dieser bezieht sich offenbar auf die Untergrenze der oben genannten Freisetzungsmenge. Dies ist ein Beispiel dafür, wie im Bericht der IAEA verharmlost wird.¹ Die von der IAEA zitierte Analyse ergibt dennoch außerhalb der Tschernobyl-Zone (in 50 km Entfernung) eine zusätzliche Dosis von 2 mSv pro Jahr und ist damit oberhalb des Dosisgrenzwerts für die Bevölkerung in der Ukraine.²⁴⁴

In den offiziellen Berichten wird betont, dass sich nach einem Einsturz fast alle Radionuklide innerhalb der Tschernobyl-Zone niederschlagen.²⁴⁵ Weiterhin wird darauf verwiesen, dass die neuen Kontaminationen nur einen Bruchteil der schon jetzt vorhandenen Kontaminationen betragen.²⁴⁶ 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 km), absolut gesehen, gravierend sein. Und für die dann Betroffenen wäre es unwichtig, dass (relativ

¹ Im Bericht der IAEA werden insbesondere die gesundheitlichen Folgen des Unfalls heruntergespielt.

zum Unfall im Jahr 1986) weniger radioaktive Stoffe freigesetzt werden. 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^m 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 m zwischen zwei und 4,5 Sievert. Bis in Entfernungen von 300 bis 700 m werden Strahlendosen oberhalb von einem Sievert ermittelt.²⁴⁷ (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.

Noch vor zehn Jahren wird davon ausgegangen, dass die Gesamtmenge an ungebundenem Staub nahezu unverändert bleibt.²⁴⁸ Inzwischen ist bekannt, dass die Staubmenge zunimmt. Die Menge radioaktiven Staubs wird auf etwa 1,5 t geschätzt.²⁴⁹ Die Aktivität der für die Berechnung der Dosen relevanten Nuklideⁿ 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 genauso zutreffend sind.

Wenn das 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 zwischen sieben und 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 zwei geringer werden. Für die innerhalb der neuen Schutzhülle arbeitenden Personen würde die Dosis aufgrund des dichteren Einschlusses an Staub stark ansteigen.²⁵⁰

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.

Mit dem NSC sollen die Voraussetzungen dafür geschaffen werden, dass der Rückbau des alten Sarkophags beginnen kann. Unter der Bogenkonstruktion ist dazu eine große Krananlage angebracht, mit der die einsturzgefährdeten Teile des Sarkophags demontiert werden können.²⁵¹ Ob dieses gelingt, bleibt abzuwarten.

Ein Einsturz des Sarkophags würde vor allem das Leben der Beschäftigten am Standort massiv gefährden. Allein am NSC sind 2015 bis zu 1200 Menschen aus mehr als 27 Ländern beschäftigt.²⁵² Auf dem gesamten Kraftwerksgelände arbeiten mehrere Tausende Menschen.²⁵³

Aufgrund der bestehenden Gefahr fand am 7. Juli 2014 am Standort eine Notfallübung statt. Ziel war es, zu trainieren, wie in einer Unfallsituation Personen, die am Sarkophag und am Errichtungsbereich des NSC arbeiten, schnell evakuiert werden können.²⁵⁴

^m 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.

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

Die „Shelter Safety Status Database“ enthält detaillierte Informationen zum Sarkophag, zu dessen Sicherheitszustand und zu seiner unmittelbaren Umgebung. Weitere Daten müssen jedoch noch erhoben werden. Zudem wird seit Anfang 2014 ein von der NATO unterstütztes Forschungsvorhaben zur Modellierung der Ausbreitung von radioaktiven Freisetzungen im NSC, an dem auch die GRS teilnimmt, durchgeführt.²⁵⁵

Einsturz des Maschinenhauses

Grundsätzlich kann ein Einsturz des Sarkophags, der zu einer Freisetzung von radioaktiven Stoffen in die Umgebung des Standorts führen würde, nicht ausgeschlossen werden.²⁵⁶ Der unvorhergesehene Einsturz des Maschinenhauses und insbesondere die Ursachen dafür verdeutlichen, wie real die Einsturzgefahr des Sarkophags ist.

Am 12. Februar 2013 brechen – völlig unerwartet – Wand- und Dachstücke des an den Sarkophag angrenzenden Maschinenhauses zusammen. Eine ca. 600 m² große Öffnung entsteht. Dieser Teil des Maschinenhauses soll von dem NSC umschlossen werden.²⁵⁷

Durch den Einsturz des Maschinenhauses werden radioaktive Substanzen freigesetzt, die Dosisleistung bleibt jedoch unterhalb der Grenzwerte.²⁵⁸ Als Maßnahme gegen eine Freisetzung im Falle eines erneuten Einsturzes wird im Maschinenhaus ein Staubunterdrückungssystem installiert.²⁵⁹ Ein dreidimensionaler Block, der mit einem Schwerkran hochgehoben wird, soll die Öffnung verschließen.²⁶⁰ Im Juli 2014 werden die Arbeiten zum Verschluss der entstandenen Öffnungen am Maschinenhaus durchgeführt.²⁶¹

Anders als zunächst vermutet waren die heftigen Schneefälle und die damit verbundenen Schneelasten nicht alleinige Ursache dieses Ereignisses. Als Grund für den Einsturz wird eine Kombination mehrerer Ursachen ermittelt: Durch die Explosion 1986 wurde der Baukörper stark beschädigt. Die nach dem Unfall durchgeführten Arbeiten am Gebäude konnten aufgrund der Strahlungssituation nicht wie geplant abgeschlossen werden. Der Zustand des Bauwerks hat sich durch Alterung und Korrosion weiter verschlechtert. Aufgrund der Unzugänglichkeiten wurden durch den Unfall vorgeschädigte Tragwerksteile (z. B. Risse) erst jetzt entdeckt. Die Überwachungsmaßnahmen für die Bauwerke sind nicht ausreichend.²⁶²

Die IAEA kam nach umfangreicher Bewertung der Ursachen des Einsturzes zu dem Ergebnis, dass aufgrund der Verzögerung bei der Umsetzung des SIP und der Konstruktion des NSC das ursprüngliche Konzept – rechtzeitiger Abbau der instabilen Baukörperteile unter dem NSC – gefährdet ist. Weitere Einstürze während der Realisierung des Projekts, die wiederum zu weiteren Verzögerungen der Fertigstellung des neuen Einschlusses führen, sind möglich.²⁶³

4.3 „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 von Block 3 erfolgt eine „kontrollierte“ Freisetzung. Zusätzlich werden aus den Öffnungen im Gebäude (etwa 100 m²) unkontrolliert radioaktive Stoffe freigesetzt. Das seit 1989 installierte Staubunterdrückungssystem reduziert seit seiner Modernisierung in 2003 die Freisetzung um den Faktor 10. Die Freisetzungen betragen in den letzten Jahren etwa 1,1 Prozent des zulässigen Grenzwerts.²⁶⁴ Aber die über einen langen Zeitraum gemittelten Werte relativieren die Gefahren. Die Freisetzungsmengen schwanken bereits im Monatsmittel erheblich, zum Beispiel in den Jahren 1990 und 1994 um einen Faktor 20.²⁶⁵ Zudem ist eine Unterschreitung der Grenzwerte nicht mit einer Unschädlichkeit der Strahlung gleichzusetzen.

Die zweimal im Monat gemessenen Konzentrationen an radioaktiven Stoffen in der Luft weisen starke Schwankungen auf. So liegt zum Beispiel die Cäsium-137-Konzentration zwischen 1998 und 2009 meist unter 0,01 Bq/m³. Immer wieder treten aber auch deutlich höhere Werte auf –

der höchste Wert (ca. 0,06 Bq/m³) im Herbst 2009. Zum Vergleich: 2009 liegt die Durchschnittskonzentration für Cäsium-137 in der Luft – gemessen in Berlin – bei 0,0000006 Bq/m³.²⁶⁶

Die Aktivitätskonzentration in der Luft (und damit auch die Inhalationsdosis am Standort) 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. So stieg sie zum Beispiel während der Aushebungsarbeiten im Rahmen der vorbereitenden Arbeiten für die Errichtung des NSC an.²⁶⁷

Die Überwachung der Volumenaktivität von Cäsium-137 in Luft erfolgt durch das stationäre Strahlungsüberwachungssystem – eine Komponente des integrierten automatisierten Kontrollsystems (IAMS). Erst seit dem 27. April 2015 misst das Personal des Strahlungsüberwachungslabors des AKW Tschernobyl zusätzlich aktuelle Werte mit einem portablen Gerät. Die Messungen bestätigen bisher die Ergebnisse aufgrund der Daten des IAMS.²⁶⁸

Um die Ausbreitung der radioaktiven Stoffe zu mindern, werden täglich auf den Außenwänden des Sarkophags, des umgebenden Bereichs und der Arbeitsbereiche Dekontaminationen und Maßnahmen zur Staubunterdrückung unternommen.²⁶⁹

4.4 Gefährdung durch kontaminiertes Wasser

Wasser und Feuchtigkeit stellen eine große Bedrohung für den Sarkophag dar. Auch nach den Stabilisierungsarbeiten dringen weiterhin ca. 2200 m³ Niederschlag pro Jahr durch die großen Öffnungen (insgesamt etwa 100 m²) ein. Dazu kommen jährlich ca. 1650 m³ durch Kondensation und 270 m³ durch das Staubunterdrückungssystem.²⁷⁰

Da Wasser in chemische Wechselwirkung mit Verfüllungsmaterialien und mit der Baukonstruktion tritt, wird der Verfall der Gebäudestruktur stark beschleunigt. Rund 21.100 m³ Beton wurden in den Räumen zur Stabilisierung des Sarkophags und zur Abschottung der brennstoffhaltigen Materialien verfüllt.²⁷¹

Weiterhin ist zu befürchten, dass stark radioaktive Flüssigkeiten nach außen gelangen: Wasser zerstört die glasartige Oberfläche der brennstoffhaltigen Materialien. (In den ersten Jahren nach dem Unfall wurde diese Oberfläche als wasserunlöslich angesehen.) Als Ergebnis dieser Prozesse hat sich eine hochradioaktive Flüssigkeit gebildet, in der auch Plutonium- und Uransalze vorhanden sind. In den unteren Räumen des Sarkophags befinden sich 2005 ca. 3000 m³ kontaminiertes Wasser.²⁷² 1996 lagen die maximalen Konzentrationen bei 2×10^8 Bq/l für Cäsium-137 und bei 6×10^6 Bq/l für Strontium-90.²⁷³ Im IAEA-Bericht 2006 wird verharmlosend nur jeweils die durchschnittliche Konzentration angegeben, sie beträgt $1,6 \times 10^7$ Bq/l für Cäsium-137 und 2×10^6 Bq/l für Strontium-90.²⁷⁴

Untersuchungen aus den Jahren 2002 bis 2003 zufolge steigt die Konzentration der Radionuklide (außer von Cäsium-137) im Wasser des Sarkophags aufgrund der Zerstörungsprozesse der lavaähnlichen brennstoffhaltigen Materialien an. Das führt zu einer steigenden Radionuklidausbreitung innerhalb der Ruine. Laut AKW-Betreiber besteht eine große Gefahr eines unkontrollierten Auslaufens in die Räume des angrenzenden Blocks 3 bzw. generell aus dem Sarkophag.²⁷⁵

Es wird 2006 angenommen, dass von den radioaktiven Flüssigkeiten im Inneren der Ruine ca. 2100 m³ pro Jahr verdunsten und 1300 m³ pro Jahr in den Boden unterhalb der Ruine einsickern. Es wird erwartet, dass nach Errichtung des NSC die eindringende bzw. entstehende Wassermenge geringer als die Verdunstungsrate ist, sodass bereits nach zwei Jahren die radioaktiven Flüssigkeiten verdunstet sind.²⁷⁶ 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 beendet. Es ist zu bedenken, dass die radioaktiven Stoffe dann jedoch nicht „weg“ sind, sondern als trockene Reste (Staub) in der Ruine zurückbleiben.

In den unteren Räumen des Sarkophags befinden sich Tausende Kubikmeter kontaminiertes Wasser. Studien wiesen inzwischen nach, dass ein Teil dieses Wassers in den Boden unterhalb der Ruine einsickert.²⁷⁷

Bisher wird weder Uran noch Plutonium im Grundwasser nachgewiesen, obwohl diese Elemente in größeren Mengen im Sarkophagwasser vorhanden sind.²⁷⁸ Auch laut GRS gibt es bisher trotz gezielter Untersuchungen keine Hinweise dafür, dass radioaktive Flüssigkeiten aus dem Sarkophag in das Grundwasser gelangen.²⁷⁹

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.²⁸⁰

Auf dem Standortgelände um den Sarkophag befinden sich 34 Messbrunnen zur Überwachung des Grundwassers. Die durchschnittliche jährliche Grundwasserbelastung mit den relevanten Nukliden Strontium-90 und Cäsium-137 bleibt ab 1997 im Mittel unter den Grenzwerten für Trinkwasser (96 Bq/l für Cäsium-137, 45 Bq/l für Strontium-90). Jedoch treten innerhalb eines Jahres große Schwankungen auf; die festgelegten Grenzwerte werden jahreszeitlich bedingt überschritten.²⁸¹ Für das in Richtung des Flusses Prypjat abfließende Grundwasser wird in 2000 eine mittlere Jahresbelastung von 12 Bq/l für Strontium-90 und von 15 Bq/l für Cäsium-137 angegeben.²⁸² Um den Fluss Prypjat zu schützen, wurde ein unterirdischer Wall aus Lehm von etwa 13 km Länge errichtet, dessen Nutzen aber nicht wirklich erwiesen ist.

4.5 Gefahr einer nuklearen Kettenreaktion

Grundsätzlich besteht die Gefahr, dass in die Ruine eindringendes Wasser zu einem Wiederaufklackern 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 erneute 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.²⁸³ 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.²⁸⁴ 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.²⁸⁵ Ähnliche Vorfälle ereignen sich 1995 und 1996.²⁸⁶ Ein Alarm aufgrund einer gestiegenen Neutronenstrahlung in 2003 entpuppt sich im Nachhinein als Fehlalarm.²⁸⁷ Dieser Fehler ist ein Indiz für den desolaten Zustand des vorhandenen Überwachungssystems. Erst seit Ende 2010 ist ein neues System installiert.²⁸⁸ Die auf diesen Messungen beruhenden Befürchtungen, dass durch eintretendes Regenwasser lokal möglicherweise ein kritischer Zustand erreicht werden könnte, sind laut GRS mittlerweile aufgrund der genaueren Messergebnisse und Berechnungen unbegründet.²⁸⁹

Auslöser einer erneuten Kettenreaktion könnte jedoch der Einsturz des Sarkophags in Folge eines Erdbebens kombiniert mit einer Überflutung sein. Die Analysen eines derartigen „Worst-Case“-Szenarios (mit Aufklackern einer Kettenreaktion) ermitteln Freisetzungen in Höhe von

4×10^{14} Bq.²⁹⁰ Dieser potenzielle Quellterm ist – verglichen mit dem ermittelten Quellterm für ein Einsturzscenario ohne nukleare Kettenreaktion – etwa dreimal höher.

4.6 Gefährdung durch Brand und sonstige Einwirkungen

Durch einen Brand in der Ruine drohen erhebliche Freisetzen. Im Inneren befinden sich erhebliche Brandlasten – etwa 2000 t entflammbare Materialien (Grafit, Kabel, Kunststoffe und Holzstrukturen)²⁹¹. Im Falle eines Brands wäre ein Einsturz von Baukörperteilen mit erheblichen Freisetzen zu befürchten. Durch die Hitzeentwicklung sind – auch ohne Einsturz – hohe Freisetzen der staubförmigen Partikel zu befürchten. Es besteht die Gefahr, dass ein Brand, zum Beispiel ein Waldbrand, auf die Ruine übergreift. Diese Gefahr ist sehr real, wie die Studie, aber auch die Ereignisse im letzten Jahr zeigen (s. u.).

Die militärischen Auseinandersetzungen im Osten der Ukraine bedrohen – zwar nicht unmittelbar – ebenfalls die rund 100 km nördlich von Kiew gelegene Ruine. Eine am 5. Dezember 2014 anonym gemeldete Minenwarnung stellte sich aber als falsch heraus.²⁹² Die Einfahrt in die innere Sperrzone und die Eingänge zu den Baustellen werden verstärkt gesichert.²⁹³

4.7 Ungelöste Frage nach Bergung der radioaktiven Stoffe

Langfristig möchte die Ukraine den gesamten noch im Reaktor befindlichen Brennstoff bergen und ihn fachgerecht entsorgen. Der AKW-Betreiber erklärt, dass die Rückholung der brennstoffhaltigen Materialien zwingend notwendig ist, da die ukrainische Gesetzgebung für die Entsorgung von langlebigen und hochradioaktiven Abfällen (wie den brennstoffhaltigen Materialien im Sarkophag = Fuel-Containing Materials, FCM) nur ein Lagern in geeigneten geologischen Tiefenlagern zulässt. Deshalb kann der Sarkophag nicht in ein derartiges Lager umgewandelt werden. Der Bau des NSC ohne die Absicht einer Rückholung der brennstoffhaltigen Materialien ist daher nicht die Lösung des Problems, sondern dessen Verschiebung auf nachfolgende Generationen.²⁹⁴

Die Ukraine verabschiedete am 12. März 2001 (auf Empfehlung internationaler Experten) den Plan, den havarierten Reaktor in drei Phasen in ein ökologisch sicheres System zu überführen.

Die **erste Phase** (1998–1999, 2004–2008), die Stabilisierung der existierenden Baukörperteile, ist abgeschlossen²⁹⁵ – jedoch mit sehr begrenztem Erfolg, wie sich inzwischen zeigt.

Zurzeit läuft die **zweite Phase**. Sie umfasst die Errichtung der neuen Schutzhülle sowie die Entwicklung von Techniken zur Bergung der brennstoffhaltigen Materialien und die Errichtung der erforderlichen Anlagen zur Behandlung und Lagerung der radioaktiven Abfälle.²⁹⁶

Im Rahmen des SIP ist nur geplant, die FCM zu charakterisieren, also ihre Lage, Menge und Eigenschaften zu bestimmen, eine Technik für die kontinuierliche Überwachung und eine mögliche Strategie für ihre Entnahme zu entwickeln sowie diese beispielhaft zu erproben.²⁹⁷ Die Arbeiten am Prototyp sind inzwischen wieder eingestellt (s. u.).

Erst in der **dritten Phase** ist es geplant, die brennstoffhaltigen Materialien zu bergen, entsprechend den gesetzlichen Anforderungen nach ihrem Aktivitätsinventar zu sortieren, zu konditionieren und zu entsorgen. Das Vorgehen soll auf Basis ökologischer Anforderungen, der gesammelten Erfahrungen aus den Phasen 1 und 2, zusätzlicher Untersuchungen des Zustands des Sarkophags und technischer Möglichkeiten entwickelt werden. Die Art und Weise der Überführung wird durch die verfügbaren technischen und finanziellen Mittel bestimmt, erklärt der AKW-Betreiber.²⁹⁸

Die eigentliche Überführung des Sarkophags in ein ökologisch sicheres System (Phase 3) findet nicht im Rahmen des SIP statt. Aber selbst die Vorbereitung darauf, Phase 2, erfolgt nur zum

Teil im Rahmen des SIP. Die Konzepte für die Anlagen zur Behandlung und Lagerung der radioaktiven Materialien 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. 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 erahnen.

Wann die dritte Phase beginnt und wie lange sie dauern soll, ist nicht angegeben. Die Bergung der brennstoffhaltigen Materialien wird zeitlich und finanziell sehr aufwendig sein. Sie wird größtenteils ferngesteuert erfolgen müssen, da aufgrund des hohen Anteils von langlebigen radioaktiven Stoffen die Dosisleistung im Sarkophag in den nächsten Jahrzehnten kaum abnehmen wird.

Im Rahmen des 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 Plans keine finanziellen Mittel vorgesehen sind.

Zwar wird oft betont, wesentliches Element des SIP sei es, die Bergung der brennstoffhaltigen Materialien zu ermöglichen. Es wird jedoch nicht direkt gesagt, dass dies erst zu einem späteren noch nicht bestimmten Zeitpunkt durchgeführt werden soll.

Die Entnahme der kontaminierten Materialien aus dem Sarkophag kann erst nach Fertigstellung des NSC und dem Rückbau des Sarkophags in Angriff genommen werden. Genaue Zeitpläne existieren noch nicht, erklärt die Bundesregierung.²⁹⁹

Die bisher nicht vorgesehene Bergung der brennstoffhaltigen Materialien steht im Widerspruch zu der Tatsache, dass die Gefährdungen gerade von diesen hochradioaktiven Stoffen 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 NSC ein Kransystem installiert. Damit sollen dann kurz nach Inbetriebnahme der neuen Schutzhülle große Elemente des alten Sarkophags demontiert werden. Der Abbau der restlichen Baukörper Teile ist erst innerhalb der nächsten Jahrzehnte vorgesehen. 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 2023.³⁰⁰ Falls der Sarkophag zusammenbricht oder extrem instabil ist, würde die Bergung der FCM zusätzlich erschwert werden.

Während und nach den Explosionen des Reaktors entstehen aus dem Kernbrennstoff (aufgrund physikalischer und thermochemischer Prozesse) verschiedene Modifikationen, die mit anderen Materialien (zum Beispiel Bautrümmern) verschmelzen oder sich mit diesen vermischen. Das Volumen an radioaktiven Materialien im Sarkophag hat sich dementsprechend drastisch vergrößert. Das zu entsorgende Volumen wird auf mehrere 100.000 m³ geschätzt.³⁰¹

Um die letzte Stufe der Strategie zu erreichen, muss ein geologisches Endlager für die brennstoffhaltigen Materialien errichtet werden. Geeignete Standorte müssen ausgewählt werden. Im Jahr 2005 war für die Inbetriebnahme eines Endlagers für 2045 anvisiert.³⁰² Inwieweit sich dieser Zeitplan geändert hat, ist nicht bekannt.

Nicht nur ein geeignetes Endlager muss zur Verfügung stehen, vor Beginn der Bergung ist noch ein erheblicher Forschungsaufwand erforderlich. Untersuchungen zeigen zum Beispiel, dass chemische Umwandlungsprozesse der Lava stattgefunden haben. Während des Unfalls 1986 traten Temperaturen von mehr als 2600 °C auf, sodass es zu Wechselwirkungen zwischen Brennstoff und Hüllrohrmaterial kam. Sehr wahrscheinlich laufen diese chemischen Prozesse weiterhin ab. Voraussetzung der Bergung ist aber laut IAEA eine gute Kenntnis der dann aktuel-

len Eigenschaften der brennstoffhaltigen Materialien.³⁰³ Es ist im Rahmen des SIP geplant, präventive Maßnahmen, die ungünstige Änderungen des FCM-Zustands verhindern sollen, zu entwickeln. Die praktische Umsetzung dieser Maßnahmen erfolgt aber nicht im Rahmen des SIP.

Die vorläufige Strategie zum FCM-Management schlägt vor, die Bergung der FCM zu verschieben, bis ein geologisches Endlager vorhanden ist, also um mehrere Jahrzehnte, und während dieser Zeitspanne den FCM-Zustand kontinuierlich zu überwachen. Unter Berücksichtigung dieser Zeitdauer wird die Weiterentwicklung des Prototyps der FCM-Bergungstechnik als ungeeignet angesehen. Denn in einigen Jahrzehnten könnte die Technologie des Prototyps veraltet sein. Daher hat das internationale Expertenteam empfohlen, diese Arbeiten nicht fortzusetzen, erklärt der Betreiber des AKW Tschernobyl.³⁰⁴

Selbst wenn die Entwicklung einer Bergungsstrategie gelingt, bleibt die Finanzierung dieses neuen Projekts ein Riesenproblem. Denn das internationale Projekt der SIP endet 2017 mit der technischen Abnahme des NSC. Danach ist nicht mehr die EBRD, sondern die Ukraine für die weiteren Arbeiten finanziell verantwortlich.³⁰⁵

Zurzeit existiert keine zuverlässige Schätzung der Kosten der Überführung des havarierten Reaktors in ein ökologisch sicheres System. Der Betreiber des AKW Tschernobyl (SSE ChNPP) nennt auf einer IAEA-Tagung als dafür erforderliche Summe einen Betrag von **mehreren zehn Milliarden US-Dollar.**³⁰⁶

Aus heutiger Sicht ist nach wie vor nicht absehbar und auch nicht vorstellbar, dass der explodierte Reaktor jemals in ein ökologisch sicheres System überführt wird, sodass keine Gefahr mehr von ihm ausgeht.

5 Situation in der „Verbotenen Zone“

In der Ukraine sind die kontaminierten Gebiete um den Reaktor in drei Zonen eingeteilt. Die innerste ist die sogenannte Chernobyl Exclusion Zone (CEZ, auch „Verbotene Zone“), mit einer Fläche von etwa 2200 km². Daran schließt die Zone 2 an (Fläche: 2230 km²). Hier lebten 1991 rund 50.000 Personen. 35.500 Personen wurden erst 1992 umgesiedelt. Zone 3 umfasst 841 Städte und Gemeinden, in denen Anfang 2012 etwa 619.500 Personen leben.³⁰⁷

Nach dem Unfall wird eine 30-km-Zone um den explodierten Reaktor herum aufgrund der hohen Kontaminationen vollständig evakuiert und zur „Verbotenen Zone“ erklärt. Diese Zone ist aber alles andere als vollständig menschenleer:

Im Jahr 2011 halten sich dort etwa 16.500 Personen zum Arbeiten auf, davon 3500 am Standort des AKW Tschernobyl. Weitere ca. 13.000 Personen arbeiten zum Beispiel als Wachpersonal, Waldarbeiter, bei der Feuerwehr oder in wissenschaftlichen Projekten. Die meisten dieser Beschäftigten wohnen in der 45 km entfernten Stadt Slavutich.³⁰⁸ Diese Stadt (ca. 26.000 Einwohner) wurde für das Personal des Atomkraftwerks nach dem Unfall außerhalb der „Verbotenen Zone“ neu gebaut.³⁰⁹ Die Anzahl der Beschäftigten am AKW-Standort hat sich 2012 mit dem Beginn der Errichtung der neuen Schutzhülle noch deutlich erhöht.

Trotz hoher Kontaminationen leben in der „Verbotenen Zone“ zurzeit 172, 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. Bereits 1987 begannen die Menschen zurückzukehren. Die Bevölkerung erreicht mit 1200 Personen in 1987/88 das Maximum und sank seitdem kontinuierlich. Das Durchschnittsalter liegt bei 63 Jahren.³¹⁰

Zudem gibt es vermutlich noch immer Plünderer und Wilderer, die illegal in die Zone eindringen und verlassene Siedlungen plündern oder Wild jagen. Der Zaun, der die Zone abgrenzt, weist 2011 an zahlreichen Stellen Durchlässe auf.³¹¹ Diese Situation hat sich vermutlich nicht verändert.

Das ukrainische beziehungsweise weißrussische Militär überwacht die Grenzen der „Verbotenen Zone“. Für den Zutritt wird eine Genehmigung benötigt. Diese ist am einfachsten von Reiseveranstaltern in Kiew zu erhalten: Zurzeit besuchen täglich zahlreiche Touristen die „Verbotenen Zone“ (s. u.).

5.1 Komplexe Auswirkungen auf die Umwelt

Abfalldeponien und Lager

In der „Verbotenen Zone“ liegen neben dem AKW-Standort 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 usw. 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 die Baugruben für die beiden geplanten Blöcke 5 und 6 des AKW Tschernobyls werden Trümmer mit hoher Dosisleistung gekippt. Es fehlt an Zeit und an Personal, alles zu dokumentieren.³¹²

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 1×10^{16} Bq sind dort provisorisch deponiert. Für die Behandlung (Sortierung, Konditionierung) und Lagerung von radioaktiven Abfällen wurde der Komplex VEKTOR errichtet. Dieser soll auch die kurzlebigen mittel- und schwachradioaktiven Abfälle aus Betrieb und Rückbau des AKW Tschernobyl (Blöcke 1–3) aufnehmen.

Die schwach- und mittlerradioaktiven Abfälle, die nach dem Reaktorunfall in Tschernobyl rasch zusammengesammelt wurden, werden derzeit unkonditioniert am Standort **Burjakowka** gelagert. Dieses 90 Hektar große oberflächennahe Endlager befindet sich etwa 13 km vom Standort des AKW Tschernobyl entfernt. Bis heute wurden mehr als 886.000 m³ Abfälle mit einer Aktivität von rund 2,51 PBq in 30 oberflächennahe Gruben gefüllt und mit Erdboden bedeckt. Die Kapazität sollen erweitert werden, um dort schwach-radioaktive Abfälle aus dem Betrieb des AKW Tschernobyl einzulagern.³¹³

In der Ukraine werden Konzepte für eine risikoärmere Lagerung der unfallbedingten radioaktiven Abfälle in der „Verbotenen Zone“ erarbeitet. Priorität hat die Bergung der Abfälle, die permanent oder saisonal Verbindungen zum Grundwasser haben oder in der Nähe von Oberflächengewässern liegen.³¹⁴ Wann diese umgesetzt und wie diese finanziert werden, ist nicht nur angesichts der aktuellen Entwicklungen in der Ukraine fraglich. Eine umfangreiche Planungsphase ist erforderlich. Ein deutsches Konsortium^o hat 2016 von der Ukraine einen Auftrag erhalten, der auch die Bewertung und Sanierung von Lagern in der „Verbotenen Zone“ umfasst. Rund 50 Deponien für radioaktive Abfälle sollen bewertet werden. Für ein potenzielles Pilotprojekt soll ein vollständiges Sanierungskonzept erstellt werden. Aus diesem Pilotprojekt sollen Empfehlungen für die Bearbeitung anderer Standorte abgeleitet werden. Die Arbeiten erfolgen laut DMT in enger Zusammenarbeit mit ukrainischen Partnern, den Standortverantwortlichen und den zuständigen Behörden.³¹⁵

Auch für die deutsche Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gehört zu den derzeitigen Schwerpunkten der Arbeiten in Tschernobyl die Sicherung der Abfallgräber.³¹⁶

Insgesamt scheint eine Sanierung der vorhandenen Abfalllager mit dem Ziel, einen angemessenen Zustand zu erreichen, ein noch sehr langwieriges und fast unmögliches Unterfangen zu sein.

Heute (und noch für viele Jahrhunderte) gibt es in der „Verbotenen Zone“ viele offene „Quellen“ für die Ausbreitung von Radionukliden. 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.

Stark kontaminierte Gewässer

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. 2011 beträgt die Bodenkontamination

^o Das Konsortium aus der Brenk Systemplanung GmbH, der DMT GmbH & Co. KG, der TÜV NORD En-Sys Hannover GmbH & Co. KG und der Pleades GmbH – Independent Experts wurde im Rahmen des EU-Förderprogramms „Instrument zur Zusammenarbeit im Bereich nukleare Sicherheit“ (INSC) mit der Ausführung eines Projekts beauftragt.

26.000 kBq/m² für Strontium-90 und ca. 5600 kBq/m² für Cäsium-137. 1997 lag die spezifische Volumenaktivität von Strontium-90 bei durchschnittlich 100 Bq/l. 2009 blieb sie annähernd gleich hoch (ca. 98 Bq/l). Zulässig ist eine spezifische Volumenaktivität im Wasser von 2 Bq/l für Strontium-90. Das Wasser im See ist als radioaktiver Abfall zu bezeichnen. 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. Zum Vergleich: Die Grenzwerte für Fisch sind 150 Bq/kg für Cäsium-137 und 35 Bq/kg für Strontium-90.³¹⁷

Hohe radioaktive Belastungen verursachen beträchtliche Störungen in den Biosystemen, wie zum Beispiel den Verlust der Widerstandsfähigkeit gegen Parasiten, Schädlinge und Infektionen. So wird im Jahr 2000 erstmalig in der Ukraine in den Gewässern der „Verbotenen Zone“ das Schilf von 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.³¹⁸

Kontaminierter riesiger Kühlteich

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 km² und ein Volumen von 160 Millionen m³ hat. Auf seinem Boden haben sich radioaktive Partikel mit einer geschätzten Gesamtaktivität von $1,3 \times 10^{15}$ Bq abgelagert. Seine Wasseroberfläche befindet sich sieben Meter oberhalb des Prypjat und ist nur durch einen Damm von diesem getrennt.³¹⁹

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.³²⁰

2009 bis 2011 werden im Rahmen eines IAEA-Projekts fünf internationale Expertentreffen durchgeführt, um eine Machbarkeitsstudie für die Stilllegung des Kühlteichs vorzubereiten.³²¹ 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.³²² Um auch in den nächsten Jahrzehnten über ausreichend Wasser für die Kühlung der Brennelemente und für eine potenzielle Brandbekämpfung zu verfügen, muss ein neuer Kühlteich mit Pumpstation angelegt werden.³²³

Zu den Schwerpunkten der Arbeiten der deutschen Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) gehört auch die geplante Stilllegung des Kühlteichs.³²⁴

Eine problematische Auswirkung des riesigen Kühlteichs ist zudem, dass der Grundwasserspiegel in der Gegend gestiegen ist. Das hat einen negativen Einfluss auf den Baugrund des Zwischenlagers und des NSC, außerdem dringt Wasser in untere Bereiche verschiedener Gebäude am AKW-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 dabei ist die Verlängerung der Zeitdauer, bis die radioaktiven Stoffe aus den provisorischen Abfalllagern den Prypjat erreichen.³²⁵

Mögliche Freisetzung durch Waldbrände

Es besteht die Gefahr, dass ein Brand, zum Beispiel ein Waldbrand, auf die Ruine übergreift. Im Inneren befinden sich, wie oben erwähnt, erhebliche Brandlasten. Vor allem aber gelangen durch einen Brand die Radionuklide Cäsium-137 und Strontium-90, die sich infolge des Tschernobyl-Unfalls in der Vegetation befinden, in die Luft. Einer Untersuchung zufolge wird 2010

durch die heftigen Brände ein geringer Anstieg der Radioaktivität gemessen.³²⁶ Die Strahlenschutzbehörden in Finnland, Norwegen und Schweden berichten jeweils, dass sich das durch die Brände freigesetzte Cäsium-137 zwar bis in die skandinavischen Länder ausgebreitet hat, die kleinen Mengen jedoch kein gesundheitliches Risiko darstellen.³²⁷ Durch die erhebliche Zunahme von Tourismus in der „Verbotenen Zone“ steigt das Risiko, dass ein Brand durch Unachtsamkeit oder durch einen Unfall ausgelöst wird.

Während des Unfalls 1986 werden rund 100 PBq Cäsium in die Atmosphäre freigesetzt. Forscher sind der Auffassung, dass noch 2 bis 8 PBq Cäsium im Boden und in den Wäldern in der Umgebung des Standorts liegen. Eine Studie von 2015 bestätigt die Befürchtung, dass durch Waldbrände die radioaktiven Stoffe erneut in die Atmosphäre gelangen könnten. Modellrechnungen anhand der vorhandenen Cäsium-Kontamination zeigen, dass Waldbrände radioaktive Stoffe durch Osteuropa, insbesondere durch die Ukraine, Russland und Weißrussland, transportieren könnten; Spuren von Cäsium könnten, je nach Windrichtung, bis in die Türkei oder nach Italien bzw. Skandinavien gelangen. Der Klimawandel erhöht die Gefahr von Waldbränden. Die Forscher wollen mit der Studie keine Panik verbreiten, sondern darauf aufmerksam machen, wie langsam die Kontamination abnimmt. Lange nach der unfallbedingten Freisetzung können sich radioaktive Stoffe auf neuen Wegen in der Umwelt verbreiten. Auch in Fukushima ist ein großer Teil des kontaminierten Gebiets Wald.³²⁸

Jedes Jahr treten in der „Verbotenen Zone“ zehn bis 15 Brände auf. Die Größe der Brände in 2015 sorgt für großes Medieninteresse. Der größte Brand ereignet sich Ende April 2015. Er dauerte vom 29. April bis zum 2. Mai 2015. Eine Fläche von 350 ha, etwa 14 km süd-westlich vom AKW Tschernobyl gelegen, ist betroffen. Das zweitgrößte Feuer beginnt am 29. Juni 2015 südöstlich vom AKW und ist 16 km entfernt (betroffene Fläche: 130 ha). Konsequenzen für Kiew treten laut Simulationsrechnungen der Strahlenschutzbehörde nicht auf. Messtrupps mit mobilen Messgeräten finden in der Nähe eines evakuierten Dorfes eine um den Faktor zehn über dem gültigen Referenzlevel liegende Luftkonzentration von Cäsium-137.³²⁹

Anmerkung: Die Kontamination der Wälder mit Strontium-90 ist nicht nur hinsichtlich möglicher Waldbrände ein Problem: Kontaminiertes Holz aus Wäldern wird verstärkt in privaten Haushalten als Brennstoff verwendet³³⁰ – so gelangen radioaktive Stoffe verstärkt in die Atemluft und werden zudem auf bewohnte Gebiete verteilt.

Sehr langfristige Auswirkungen auf das Ökosystem

Die Isotope Strontium-90 (Halbwertszeit: 28,6 Jahre) und Cäsium-137 (Halbwertszeit: 30,2 Jahre) werden noch über viele Jahrzehnte eine Gefahr darstellen. Die im näheren Umkreis um das AKW Tschernobyl deponierten Partikel verwittern. Das führt zu einer anhaltenden Freisetzung unter anderem von Strontium-90 über die nächsten zehn bis 20 Jahre. Noch länger wird zum Beispiel Plutonium eine Rolle spielen. Die Isotope sind über Tausende von Jahren vorhanden. Durch Beta-Zerfall von Plutonium-241 entsteht Americium-241; das Maximum dieser Aktivität ist erst Mitte dieses Jahrhunderts zu erwarten. Untersuchungen zeigen, wie komplex das Verhalten der Nuklide in der Umwelt ist.³³¹

In offenem Gelände wie Feldern und Wiesen führen Dekontaminationsmaßnahmen und weitere Prozesse dazu, dass sich Radionuklide verlagern und immer weniger in Pflanzen und die Nahrungskette gelangen. Dadurch sinken – zumindest in den meisten Gebieten – die Cäsium-137-Kontaminationen von Milch, Fleisch und Gemüse unter die zulässigen Grenzwerte. Anders ist es bei in Wäldern geernteten Pilzen und Beeren sowie beim Fleisch der Wildtiere. Diese sind nach wie vor hoch kontaminiert, da es praktisch unmöglich ist, Waldgebiete zu dekontaminieren. Eine Abnahme ist nur durch radioaktiven Zerfall und langsame Migration zu erwarten.³³²

Es gibt verschiedene Möglichkeiten, die Aufnahme von Cäsium-137 in die Nahrungskette zu unterbinden. Wird zum Beispiel durch Düngung die Menge von Kalium im Boden erhöht, nehmen die Pflanzen weniger Cäsium-137 auf. Der Übergang in die Milch verringert sich, wenn das

Tierfutter mit Cäsium-Bindemittel behandelt wird. Während es nach dem Unfall gelingt, durch Maßnahmen die Belastung in Lebensmitteln drastisch zu reduzieren, ist dieser positive Trend seit Mitte der 1990er-Jahre – auch wegen ökonomischer Probleme – rückläufig.³³³ Zudem sind die Dünger teuer, und die meisten der privaten Haushalte in den betroffenen Gebieten können diese Dünger nicht bezahlen und konsumieren weiterhin kontaminierte Nahrungsmittel.³³⁴ Greenpeace führte im Herbst 2015 eine Untersuchung der lokal erzeugten Lebensmittel in mehreren stärker kontaminierten Gebieten durch. In allen 50 Milchproben aus drei Dörfern in der Region Riwne, etwa 200 km von Tschernobyl entfernt, waren die Werte für Cäsium-137 deutlich oberhalb des Grenzwerts für Nahrungsmittel für Kinder.³³⁵

Langzeitschäden der Ökosysteme

Die negative Auswirkung der Strahlung auf die Flora und Fauna ist eines der wichtigsten – aber bisher noch ungenügend untersuchten – Probleme der „Verbotenen Zone“.³³⁶ Zur Überwachung der Ökosysteme werden nur der Gehalt und das Verhalten von Radionukliden bestimmt. Aufgrund der Komplexität natürlicher Lebensräume müsste die Überwachung aber auch die Wechselbeziehungen unter Berücksichtigung der saisonalen Veränderungen einschließen, fordern Wissenschaftler.³³⁷

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 und somit Erkenntnisse über die langfristige Wirkung von Strahlung auf komplexe Ökosysteme zu gewinnen.³³⁸

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. Tatsächlich leben dort wieder viele Wildtiere. 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. Der Effekt ist besonders deutlich bei Vögeln, die sich von Insekten ernähren, die in der am stärksten kontaminierten oberen Bodenschicht leben. Die Autoren kommen zu der Einschätzung, dass die ökologischen Folgen der Tschernobyl-Katastrophe beträchtlich größer sind als bisher angenommen.³³⁹

Im März 2009 veröffentlichen die Forscher (Anders Møller, National Center for Scientific Research in France, und Timothy Mousseau, University of South Carolina, Columbia) 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.³⁴⁰ 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 sich verschlechternden Lebensbedingungen sind. 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.³⁴¹

Anmerkung: *An der Universität von South Carolina hat sich eine Tschernobyl-Forschungsinitiative und seit 2011 auch eine Fukushima-Forschungsinitiative gegründet.³⁴² Die Darstellung der umfangreichen Forschungsergebnisse ist im Rahmen dieser Studie nicht möglich.*

Anfang 2011 berichtet 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 zeigt sich bereits für Menschen und andere Organismen, allerdings lediglich in stärker kontaminierten Gebieten.³⁴³

Im Oktober 2015 sorgt dann eine andere Studie für Schlagzeilen: In der „Verbotenen Zone“ breitet sich zunehmend eine Wildnis aus, in der zahlreiche Tiere leben – darunter auch bedrohte Arten in hoher Dichte. Jim Smith (University of Portsmouth, Großbritannien) hat gemeinsam mit Kollegen Daten zum Vorkommen von Elchen, Rehen, Rotwild, Wildschweinen und Wölfen ausgewertet. Diese wurden bei Helikopterflügen oder anhand von Tierspuren im Polesie State Radioecological Reserve (PSRER) in Weißrussland erfasst. Das fast 2200 km² große Gebiet umfasst die am stärksten vom radioaktiven Niederschlag betroffenen Regionen Weißrusslands. Es grenzt direkt an die Tschernobyl-Sperrzone in der Ukraine. Mehrjährige Datenreihen belegen nach einer Studie, dass die Population von Rot-, Reh- und Schwarzwild in der Region seit dem Unglück stark zugenommen hat. Ihre Zahl liegt mittlerweile genauso hoch wie in vier vergleichbaren, aber unbelasteten Naturschutzgebieten der Region. Zudem leben rund um Tschernobyl siebenmal mehr Wölfe als in den anderen Reservaten der Studie. Auch Bären und Luchse haben sich dort wieder angesiedelt. Andere Arten wie Wisente oder Przewalski-Wildpferde wurden in dem Reservat gezielt angesiedelt, um die Artenvielfalt zu erhöhen.

Dieser Studie zufolge ist die Säugetierdichte in der Region an dem Katastrophenreaktor heute wieder ähnlich groß wie in den vier Naturreservaten Weißrusslands, die nicht radioaktiv verseucht sind. Jedoch können sie keine Aussagen zum Gesundheitszustand der Tiere in dem Reservat treffen, erklären die Wissenschaftler. Die Ergebnisse bedeuten nicht, dass Strahlung gut für die Tiere ist, sondern vielmehr, dass die sonst übliche Landnutzung – Landwirtschaft, Jagd und Forstwirtschaft – den Arten mehr schadet als die Radioaktivität. Die Datenreihen zeigen zum Beispiel auch, dass Wildschweine nach einem anfangs starken Bestandswachstum vor rund 20 Jahren einen drastischen Einbruch erlitten, doch ließ sich dieser primär auf die Ausbreitung von Wölfen sowie auf eine Seuche zurückführen. Unklar ist, ob der Krankheitsausbruch mit einem durch die Kontamination geschwächten Immunsystems zusammenhing; seitdem hat sich die Population allerdings wieder deutlich vergrößert.³⁴⁴

Anmerkung: Die gesundheitlichen Folgen des Tschernobyl-Unfalls für Menschen können im Rahmen dieser Studie nicht diskutiert werden.

Exkurs: Wildschweine in Deutschland

Auch in Deutschland sind die Folgen des Unfalls in Tschernobyl noch zu spüren. So sind zum Beispiel Wildschweine in Bayern immer noch belastet. Sie wühlen in stark kontaminiertem Waldboden und fressen bevorzugt hochbelastete Hirschtrüffel. 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. Die vom Bund gezahlten Entschädigungszahlungen summieren sich bis Ende Juni 2010 auf 238 Millionen Euro.³⁴⁵ Auch 2015 sind in Bayern Wildschweine noch immer radioaktiv belastet. Der zulässige Grenzwert wird teilweise um mehr als das Zehnfache überschritten. Im Landkreis Augsburg liegt im Jahr 2013 mehr als die Hälfte der 612 genommenen Proben über dem Grenzwert.³⁴⁶

5.2 Umgang mit der kontaminierten Umwelt

In der „Verbotenen Zone“ sind immer noch hohe Kontaminationen in Boden und Wasser vorhanden, die sich auch auf die Ökosysteme ausgewirkt haben. Große Anstrengungen müssen unternommen werden, damit eine weitere Ausbreitung der Radionuklide (zum Beispiel aus den Abfalldeponien) verhindert wird.

Andererseits ist geplant, weitere radioaktive Abfälle in die „Verbotene Zone“ zu transportieren und dort zu lagern. Etwa zehn Kilometer vom explodierten Reaktor entfernt wird ein zentrales Zwischenlager (Centralized Spent Fuel Storage Facility, CSFSF) für insgesamt 16.529 abgebrannte Brennelemente der in der Ukraine betriebenen Reaktoren entstehen. Am 9. Februar 2012 verabschiedet die ukrainische Regierung ein entsprechendes Gesetz.³⁴⁷ Das Zwischenlager wird, wie am AKW Tschernobyl, von Holtec International errichtet. Der Bau soll im Frühjahr 2016 beginnen. Die Errichtung soll in mehreren Phasen erfolgen, sodass die ersten Behälter 2017 gelagert werden können. Die Fertigstellung der kompletten Anlage ist für Januar 2021 geplant.³⁴⁸

Tschernobyl als Touristenattraktion

Die „Verbotene Zone“ wird 2012 – anlässlich der Fußball-Europameisterschaft – für den Massentourismus geöffnet und der Sarkophag zu einem attraktiven Ziel deklariert. Schon vorher veranstalten einige Touristikunternehmen, zunächst illegal, Touren in die gesperrten Gebiete. Jährlich lockt der Sarkophag einige Tausend Besucher an. Im Februar 2011 erlaubt das für Tschernobyl zuständige ukrainische Katastrophenschutzministerium diese Touren. Das Katastrophenschutzministerium gründet zu diesem Zweck ein Touristikunternehmen. Dieses soll geführte Ausflüge in die „Verbotene Zone“ aggressiv bewerben. 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“ zunächst. Dann werden die Touren mit einigen Auflagen wieder zulässig. Nur spezielle Reisebüros – von der Regierung kontrollierte Unternehmen – dürfen die Fahrten organisieren.³⁴⁹

Ein US-Magazin (Forbes) bezeichnete 2010 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.³⁵⁰ 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.³⁵¹

Nicht die erwartenden Millionen Besucher pro Jahr, aber zig Tausende, darunter insbesondere junge Leute, reisen aus touristischen Gründen zum havarierten Reaktor. Die Preise schwanken je nach Versorgung und zum Beispiel Zusatzversicherung zwischen 200 und 400 Euro. Generell werden alle geführten Reisen von Kiew aus angeboten, das nur circa 90 km südlich der Sperrzone liegt. Auch zurzeit werden Touren zum havarierten Reaktor durchgeführt.³⁵² Diese Reisen bergen sowohl Risiken für die Touristen (Strahlenbelastungen) als auch für die „Verbotene Zone“ (Brandgefahr).

Entwicklungsplan und Biosphärenreservat in der „Verbotenen Zone“

Im August 2012 verabschiedete die ukrainische Regierung zudem einen Entwicklungsplan für die Zone. Zielsetzung ist die Verringerung der ökologischen Gefahren, aber auch ihre wirtschaftliche Nutzung.³⁵³

Eine Wiederbesiedlung oder landwirtschaftliche Nutzung der „Verbotenen Zone“ ist zurzeit nicht geplant. Das Ministerium für Ökologie und natürliche Ressourcen der Ukraine erarbeitet aber

seit 2013 Pläne dafür, in der „Verbotenen Zone“ ein Biosphärenreservat einzurichten. Zunächst soll in Zusammenarbeit mit Weißrussland ein transnationales Reservat entstehen.³⁵⁴

Premierminister Arsenij Jazenjuk betont während eines Besuches am AKW Tschernobyl am 9. Juli 2015: Das Management der „Verbotenen Zone“ sei sehr ineffizient und benötigt eine komplette Neuorganisation. Deshalb sind ein Biosphärenreservat und ein Zwischenlager für abgebrannte Brennelemente und radioaktive Abfälle innerhalb der „Verbotenen Zone“ geplant. So könnte die Zone wirtschaftlich unabhängig und ein für Investitionen attraktives Gebiet werden.³⁵⁵

Die Einrichtung des Biosphärenreservats soll helfen, die natürlichen Bedingungen des Ökosystems der Region Polesien zu bewahren und gleichzeitig die Barrierefunktion der „Verbotenen Zone“ zu erhalten. Innerhalb des Reservats soll die Umweltüberwachung verbessert werden. Gleichzeitig sollen dort nationale und internationale Forschungsvorhaben durchgeführt werden. Etwa 750 km² des Reservats bilden die sogenannte „Conservation Area“. Hier sollen Forschungsvorhaben stattfinden. Zudem können dort Vorrichtungen zum Schutz vor Waldbränden installiert werden. Eine wirtschaftliche Nutzung ist dort untersagt. Diesen Bereich soll eine Pufferzone mit einer Fläche von 700 km² umgeben. Darüber hinaus umfasst das Reservat Flächen für wirtschaftliche Aktivitäten, in denen Land-, Forst- und Wasserwirtschaft möglich sind. In Zukunft soll die Wiederbesiedlung der Gebiete ermöglicht werden. Zunächst soll aber gemeinsam mit Weißrussland unter Einbeziehung der dortigen kontaminierten Gebiete ein transnationales, eine Fläche von insgesamt 5000 km² umfassendes Biosphärenreservat entstehen. Das Reservat Polesien soll Teil des UNECSO-Programms „Man and Biosphere“ sein, das zum Ziel hat, das Verhältnis von Menschen zu ihrer Umwelt zu verbessern.³⁵⁶

Eine mögliche wirtschaftliche Nutzung ist der Anbau von Raps: Seit 2007 gibt es in der Zone 2 ein Pilotprojekt „Raps für die Wiederbelebung des Distrikts Narodytschi“. Der Rapsanbau verfolgt zwei Ziele. Einerseits wird durch die Aufnahme von Cäsium-137 in die Pflanze der Boden um einige Prozent dekontaminiert. Andererseits dient der Raps dazu, Biodiesel und Biogas herzustellen. Der Strahlenschutz der Beschäftigten und die Überwachung der Produkte, die erforderlich ist, um unzulässige Kontaminationen zu verhindern, können allerdings ein Problem sein.

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 auf die menschliche Gesundheit. Insofern könnte das geplante Biosphärenreservat derartigen Forschungsvorhaben eine große Chance bieten. Allerdings geht es der Ukraine eher um eine wirtschaftliche als um eine wissenschaftliche Nutzung der „Verbotenen Zone“.

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

6 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 weiterbetreiben wolle. Die Ukraine beklagt, dass westliche Firmen mit der Katastrophe lediglich Geld verdienen wollen, mit den eigentlichen Folgen werde 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 sich der Zustand des maroden Sarkophags zusehends verschlechtert, muss dringend gehandelt werden.

Vorteil des 1997 vereinbarten 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, scheint 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 vervierfacht und werden vermutlich weiter steigen, da das größte Projekt (NSC) noch nicht abgeschlossen ist. Die Umsetzung ist zwölf Jahre hinter dem Zeitplan zurück – und das bei einem ursprünglichen Gesamtzeitrahmen von acht bis neun Jahren.

Es wird gehofft, dass das NSC die Ruine und die darin enthaltenen radioaktiven Stoffe hermetisch verschließen wird. Ob dies gelingt, ist noch fraglich. Obwohl die imposante neue Schutzhülle annähernd fertiggestellt ist, stehen die schwierigsten Maßnahmen noch aus: das Verschieben der gigantischen Konstruktion und das Anpassen an den alten Sarkophag.

Das größte Manko des SIP ist jedoch, dass die Bergung der brennstoffhaltigen Materialien aus dem Projekt genommen worden ist, 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 NSC nicht erreicht. Vor allem aus diesem Grund war – und ist – die neue Schutzhülle Gegenstand kontroverser Diskussionen.

Rückblickend (bzw. hinsichtlich Fukushima in die Zukunft blickend) macht es insgesamt wenig Sinn, mit einem derart hohen finanziellen Aufwand (2,15 Milliarden Euro, davon 1,5 Milliarden Euro direkt für das NSC) 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.

Selbst das Pilotprojekt für einen Test zur Bergung der radioaktiven Materialien wurde eingestellt. Bevor mit der Bergung begonnen werden kann, müssen Anlagen zur Behandlung und Lagerung der brennstoffhaltigen Materialien errichtet werden. Die bisher am AKW-Standort Tschernobyl aufgetretenen Probleme, zum Beispiel 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 Materialien; hierfür müssen nach Schätzungen mehrere zehnte Milliarden US-Dollar aufgebracht werden.

Bisher sind noch nicht einmal die Anlagen zur Behandlung und Lagerung der radioaktiven Abfälle der Reaktoren 1–3 vollständig fertiggestellt bzw. in Betrieb. Die Entwicklung und Errichtung von Anlagen zur Behandlung der brennstoffhaltigen Materialien aus dem explodierten Reaktor wird noch deutlich länger dauern und wesentlich höhere Summen erfordern.

Die Ukraine versucht, aus dem Unfall Gewinne zu erzielen, indem sie die „Verbotene Zone“ touristisch erschließt. Dieses Projekt ist aus Gründen des Strahlenschutzes (Vermeidung jeder unnötigen Strahlenbelastung) abzulehnen. Dasselbe gilt für die eher groteske Idee eines Biosphä-

renreservats. Es ist zwar ein im Prinzip guter Ansatz, die „Verbotene Zone“ für die Forschung zu nutzen, um die Strahlenwirkung auf einzelne Tier- und Pflanzenarten, aber vor allem auf das gesamte Ökosystem, besser zu verstehen. Der von der Ukraine verfolgte Ansatz hat aber eher das Ziel einer wirtschaftlichen Nutzung der „Verbotenen Zone“.

Nach wie vor sind die Kontaminationen in der „Verbotenen Zone“ hoch. Untersuchungen zeigen, wie komplex die Verteilung und Auswirkungen der Radionuklide in das Ökosystem sind. Laut einem aktuellen Forschungsbericht 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.

Zunehmend zeigt sich die Diskrepanz zwischen den Forschungsergebnissen und den Auswirkungen der Strahlenbelastungen auf die Pflanzen, Tiere und Menschen einerseits und dem sorglosen Umgang damit andererseits.

Zusammenfassend lässt sich feststellen, dass auch 30 Jahre nach dem Super-GAU von dem havarierten Reaktor eine Gefahr ausgeht. Durch die zunehmende Zerstörung der lavaartigen Materialien 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 zwei Jahren erreicht. Eine langfristige Lösung der Situation ist nach wie vor nicht in Sicht. **Von einer Überführung in ein ökologisch sicheres System ist der havarierte Reaktor nach wie vor weit entfernt.**

Der Tschernobyl-Unfall verdeutlicht jetzt 30 Jahre später auch Folgendes: Ein wesentliches grundsätzliches Problem eines Atomkraftwerks ist die Produktion von radioaktiven Abfällen, mit denen noch viele folgende Generationen belastet sein werden. Dieses ohnehin schon gigantische Problem wird nach einem nuklearen Unfall noch größer.

¹ **GPI 2016:** Greenpeace International: The Lasting Legacies of Chernobyl and Fukushima Published; März 2016

² **GRS 1996:** Gesellschaft für Anlagen und Reaktorsicherheit (GRS): Tschernobyl – 10 Jahre danach; GRS 121; Februar 1996; www.grs.de/sites/default/files/pdf/GRS-121_Deut.pdf; eingesehen März 2016

³ **IKE 2005:** Informationskreis Kernenergie: Der Reaktorunfall in Tschernobyl; Februar 2005

⁴ World Nuclear News: Restored RBMK back on line; 02.12.2013; <http://www.world-nuclear-news.org/RS-Restored-RBMK-back-on-line-0212137.html>; eingesehen März 2016

PRIS – Power Reactor Information System, IAEA, Country Report, Russian Federation; <https://www.iaea.org/PRIS/CountryStatistics/CountryDetails.aspx?current=RU>; eingesehen März 2016

⁵ Belona: Emergency shut-off at Leningrad nuclear power plant picks cab on environmental concern; 16.06.2014; <http://bellona.org/news/nuclear-issues/nuclear-russia/2014-06-emergency-shut-leningrad-nuclear-plant-picks-scabs-environmental-concern>; eingesehen März 2016

⁶ Greenpeace: Russische Atom-Roulette in Osteuropa; <https://www.greenpeace.de/themen/energie/energiewende/russisches-atom-roulette-osteuropa#2.1.%20RBMK-Reaktoren%20%28%22Tschernobyl%22-Typ%29,%20zum%20Beispiel%20Ignalina%20%28LIT%29%20oder%20Sosnowi%20Bor%20%28RUS%29>; eingesehen März 2016

⁷ World Nuclear Power in Lithuania; updated January 2016; <http://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-g-n/lithuania.aspx>; eingesehen März 2016

⁸ World Nuclear Power in Russia; updated March 2016; <http://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-o-s/russia-nuclear-power.aspx>; eingesehen März 2016

⁹ **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.

¹⁰ IKE 2005, s. o.

¹¹ **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

-
- ¹² **DAF 2011:** Deutsches Atomforum e. V.: Der Reaktorunfall in Tschernobyl; April 2011, IKE 2005, s. o.
- ¹³ BMU 1986, s. o.
- ¹⁴ **Kerner 2011:** Kerner, A; Stück, R.; Weiß, F.-P.: Der Unfall von Tschernobyl 1986, atw, 56. Jg. (2011), Heft 2, S. 80–87
- ¹⁵ IKE 2005, s. o.
- ¹⁶ Kerner 2011, s. o.
- ¹⁷ Krüger 1996, s. o.
- ¹⁸ Kerner 2011, s. o.
- ¹⁹ Producing Power; The Pre-Chernobyl History of the Soviet Nuclear Industry; Sonja D. Schmid; Februar 2015; siehe <https://mitpress.mit.edu/index.php?q=books/producing-power>; eingesehen März 2016
- ²⁰ Krüger 1996, s. o.
- ²¹ IKE 2005, s. o.
- ²² Krüger 1996, s. o.
- ²³ Krüger 1996, s. o.
- ²⁴ Krüger 1996, s. o.
- ²⁵ Krüger 1996, s. o.
- ²⁶ Krüger 1996, s. o.
- ²⁷ DAF 2011, s. o.
- ²⁸ Krüger 1996, s. o.
- ²⁹ Krüger 1996, s. o.
- ³⁰ Krüger 1996, s. o.
- ³¹ Kerner 2011, s. o.
- ³² Kerner 2011, s. o.
- ³³ IKE 2005, s. o.
- ³⁴ Pflugbeil, S.: Tschernobyl – Der zweite Sarkophag – Die Geldmaschine, Strahlentelex Nr. 362–363, 2002; www.strahlentelex.homepage.t-online.de/Stx_02_362_S02-03.pdf; eingesehen März 2016
- ³⁵ **WNA 2015:** World Nuclear Association (WNA): Chernobyl Accident; <http://world-nuclear.org/information-library/safety-and-security/safety-of-plants/chernobyl-accident.aspx>, updated November 2015; eingesehen März 2016
- ³⁶ **Walter 2016:** Tschernobyl – 30 Jahre danach; Clemens Walther, Peter Brozynski, Sergiy Dubchak; Physik Journal 15 (2016) Nr. 3
- ³⁷ Fairlie, I.; Torch-2016, An independent scientific evaluation of the health-related effects of the Chernobyl nuclear disaster; Bericht im Auftrag der Wiener Umweltanwaltschaft; Friends of Earth Austria; Global 2000; März 2016
- ³⁸ Fairlie, I.; Sumner, D.: Torch (The Other Report Chernobyl); Bericht im Auftrag von Rebecca Harms, MEP, Greens/EFA in the European Parliament; April 2006
- ³⁹ **Borovoy 1996:** Borovoy, A.: 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
- ⁴⁰ GRS 1996, s. o.
- ⁴¹ **Arcadis 2000:** Die Umsetzung des „Memorandum of Understanding“ zur Schließung des Standortes Tschernobyl, Arcadis Trischler & Partner GmbH, 2000
- ⁴² GRS 1996, s. o.
- ⁴³ IKE 2005, s. o.; WISE News Communiqué 547: Chernobyl the Shelter Implementation Plan; 27.04.2001
- ⁴⁴ Borovoy 1996, s. o.
- ⁴⁵ Borovoy 1996, s. o.
- ⁴⁶ **Pretzsch 2011:** Gunter Pretzsch, Hartmuth Teske (Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS) mbH): Entwicklung des nuklearen Sicherheitsregimes und Unterstützungsprogramme für Tschernobyl; atw, 56. Jg. (2011) Heft 2; http://www.grs.de/sites/default/files/sonderdr_grs_atw_20110413.pdf; eingesehen März 2016
- ⁴⁷ Arcadis 2000, s. o.
- ⁴⁸ Pretzsch 2011, s. o.
- ⁴⁹ Arcadis 2000, s. o.

-
- ⁵⁰ **EBRD 2011**: European Bank for Reconstruction and Development: Chernobyl 25 years on: New Safe Confinement and Spent Fuel Storage Facility; Januar 2011; www.ebrd.com/downloads/research/factsheets/chernobyl25.pdf; eingesehen März 2016
- ⁵¹ Arcadis 2000, s. o.
- ⁵² Arcadis 2000, s. o.; Pretzsch 2011, s. o.
- ⁵³ Nucleonics Week; 03.02.2011
- ⁵⁴ Nucleonics Week; 03.02.2011
- ⁵⁵ EBRD 2011, s. o.; Pretzsch 2011, s. o.
- ⁵⁶ Nucleonics Week; 28.08.2003
- ⁵⁷ Nucleonics Week; 18.03.2004
- ⁵⁸ Nucleonics Week; 28.04.2005
- ⁵⁹ Zeitschrift für Atomwirtschaft (ATW); Oktober 2007, S. 676
- ⁶⁰ Nuclear Engineering International; März 2008, S. 5
- ⁶¹ Nuklearforum Schweiz: Tschernobyl: Meilenstein beim Schutzhüllenbau erreicht; 30.11.2012; <http://www.nuklearforum.ch/de/aktuell/e-bulletin/Tschernobyl-meilenstein-beim-schutzhuellenbau-erreicht>; eingesehen März 2016
- ⁶² **WNN 2015**: World Nuclear News: Chernobyl Confinement reaches final stage, but funds need boost; 17.03.2015; <http://www.world-nuclear-news.org/WR-Chernobyl-Confinement-reaches-final-stage-but-funds-need-boost-17031502.html>; eingesehen März 2016
- ⁶³ Nucleonics Week; 03.02.2011
- ⁶⁴ EBRD 2011, s. o.
- ⁶⁵ Pretzsch 2011, s. o.
- ⁶⁶ Spiegelonline: Moskaus teure Sünden; 20.12.2010; www.spiegel.de/spiegel/print/d-75803487.html; eingesehen März 2016
- ⁶⁷ Spiegelonline: Geberkonferenz in Kiew, 550 Millionen Euro für Tschernobyl-Sarkophag; 19.04.2011; www.spiegel.de/wissenschaft/technik/0,1518,758042,00.html; eingesehen März 2016
- ⁶⁸ Spiegelonline: Bauarbeiten für Sarkophag sollen im Herbst beginnen; 13.07.2011; <http://www.spiegel.de/wissenschaft/technik/0,1518,774163,00.html>; eingesehen März 2016;
- ⁶⁹ Nuclear Engineering International: Chernobyl confinement project still EUR 200 million short; 26.04.2011; www.neimagazine.com/news/newschernobyl-confinement-project-still-eur-200-million-short; eingesehen März 2016
- ⁷⁰ Nuklearforum Schweiz: Russland spricht Mittel für Tschernobyl-Schutzhülle; 01.05.2015; <http://www.nuklearforum.ch/de/aktuell/e-bulletin/russland-spricht-mittel-fuer-Tschernobyl-schutzhuelle>; eingesehen März 2016
- ⁷¹ Nuklearforum Schweiz: Weitere Gelder für Tschernobyl-Schutzhülle; 30.04.2015; <http://www.nuklearforum.ch/de/aktuell/e-bulletin/weitere-gelder-fuer-Tschernobyl-schutzhuelle>; eingesehen März 2016
- ⁷² EBRD: Chernobyl Shelter Fund; <http://www.ebrd.com/what-we-do/sectors/nuclear-safety/chernobyl-shelter-fund.html>; eingesehen März 2016
- ⁷³ Nucleonics Week; 20.06.2002
- ⁷⁴ Nucleonics Week; 22.05.2003
- ⁷⁵ Nucleonics Week; 25.11.2004
- ⁷⁶ Nucleonics Week; 06.10.2005
- ⁷⁷ Nucleonics Week; 25.11.2004
- ⁷⁸ Nucleonics Week; 25.11.2004
- ⁷⁹ Nucleonics Week; 25.11.2004
- ⁸⁰ Nucleonics Week; 14.07.2005
- ⁸¹ Nucleonics Week; 14.07.2005
- ⁸² Nucleonics Week; 22.01.2009
- ⁸³ Arcadis 2000, s. o.
- ⁸⁴ IKE 2005, s. o.
- ⁸⁵ EBRD 2011, s. o.
- ⁸⁶ Nucleonics Week; 20.06.2002

-
- ⁸⁷ Nucleonics Week; 19.01.2006
- ⁸⁸ Nucleonics Week; 07.02.2008
- ⁸⁹ Nucleonics Week; 03.02.2011
- ⁹⁰ 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; eingesehen März 2016
- ⁹¹ Nuklearforum Schweiz: Tschernobyl: baldiger Baubeginn für Schutzhülle; 12.03.2012; <http://www.nuklearforum.ch/de/aktuell/e-bulletin/Tschernobyl-baldiger-baubeginn-fuer-schutzhuelle>; eingesehen März 2016
- ⁹² **EBRD 2015:** European Bank for Reconstruction and Development: Transforming Chernobyl; März 2015; <http://www.ebrd.com/documents/comms-and-bis/transforming-chernobyl.pdf>; eingesehen März 2016
- ⁹³ WISE News Communiqué 547: Chernobyl the Shelter Implementation Plan; 27.04.2001
- ⁹⁴ Nucleonics Week; 19.01.2006
- ⁹⁵ Nucleonics Week; 28.04.2005
- ⁹⁶ Nucleonics Week; 17.11.2005
- ⁹⁷ Nucleonics Week; 28.07.2005
- ⁹⁸ Nucleonics Week; 28.07.2005
- ⁹⁹ Nucleonics Week; 28.07.2005; Nucleonics Week; 16.12.2004
- ¹⁰⁰ Nucleonics Week; 07.02.2008
- ¹⁰¹ EBRD 2011, s. o.
- ¹⁰² Nucleonics Week; 19.01.2006
- ¹⁰³ Nucleonics Week; 25.11.2004
- ¹⁰⁴ Nucleonics Week; 04.12.2003
- ¹⁰⁵ Nucleonics Week; 25.11.2004
- ¹⁰⁶ Nucleonics Week; 06.10.2005
- ¹⁰⁷ Nuclear Monitor: Chernobyl officials nearing decision on shelter bid, WISE; 15.12.2006; <http://www.nirs.org/mononline/nm650.pdf>; eingesehen März 2016
- ¹⁰⁸ EBRD 2011, s. o.
- ¹⁰⁹ **GRS 2015:** Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit (GRS): 29 Jahre nach dem Unfall: Was passiert heute am Standort Tschernobyl?; 17.04.2015; <http://www.grs.de/29-Jahre-Unfall-Tschernobyl>; eingesehen März 2016
- ¹¹⁰ Pretzsch 2011, s. o.
- ¹¹¹ **EBRD 2016:** European Bank for Reconstruction and Development: New Safe Confinement; <http://www.ebrd.com/documents/nuclear-safety/pdf-new-safe-confinement-technical-presentation.pdf>; eingesehen März 2016
- ¹¹² **ChNPP 2015b:** Chernobyl NPP: A Landmark Event of the NSC Projekt; 09.10.2015; <http://chnpp.gov.ua/en/news/2638-znakova-podiya-proektu-nbk-en>; eingesehen März 2016
- ¹¹³ ChNPP 2015b, s. o.
- ¹¹⁴ EBRD 2016, s. o.
- ¹¹⁵ EBRD 2011, s. o.
- ¹¹⁶ **SSE ChNPP:** A Radiation Protection Institute laboratory is established at the Chernobyl NPP; 10.10.2014; <http://chnpp.gov.ua/en/news/1659-na-chornobilskij-aes-vidkrilasya-laboratoriya-ndi-radiatsijnogo-en>; eingesehen März 2016
- ¹¹⁷ World Nuclear News: New Chernobyl cover takes shape; 29.11.2012; <http://www.world-nuclear-news.org/WR-New-Chernobyl-cover-takes-shape-2911124.htm>; eingesehen März 2016
- ¹¹⁸ **DLF 2015:** Deutschlandfunk: Tschernobyl – Neue Hülle für den Sarkophag von Block 4; 21.03.2015; http://www.deutschlandfunk.de/Tschernobyl-neue-huelle-fuer-den-sarkophag-von-block-4.1773.de.html?dram:article_id=314899; eingesehen März 2016
- ¹¹⁹ EBRD 2011, s. o.
- ¹²⁰ EBRD 2016, s.o
- ¹²¹ World Nuclear News: Chernobyl ventilation stack removed; 10.01.2014; <http://www.world-nuclear-news.org/WR-Chernobyl-ventilation-stack-removed-1001144.html>; eingesehen März 2016

-
- ¹²² ChNPP: The first metal for Arch is available!; 16.03.2012; <http://chnpp.gov.ua/en/news/37-union/187-the-first-metal-for-arch-is-available188>; eingesehen März 2016
- ¹²³ Nuklearforum Schweiz: Erste Teilkonstruktion der Tschernobyl-Sicherheitshülle zusammengebaut; 08.04.2014; <http://www.nuklearforum.ch/de/aktuell/e-bulletin/erste-teilkonstruktion-der-Tschernobyl-sicherheitshuelle-zusammengebaut>; eingesehen März 2016
- ¹²⁴ DLF 2015, s. o.
- ¹²⁵ GRS 2015, s. o.
- ¹²⁶ European Bank for Reconstruction and Development: Chernobyl's New Safe Confinement passes key milestone; 31.07.2015; <http://www.ebrd.com/news/2015/chernobyls-new-safe-confinement-passes-key-milestone.html>; eingesehen März 2016
- ¹²⁷ **CHNPP 2016a**: Chernobyl NPP: Designing and construction of a New Safe confinement; last updated on 29 January 2016; http://chnpp.gov.ua/en/?option=com_content&view=article&id=177&Itemid=89&lang=en; eingesehen März 2016
- ¹²⁸ ChNPP 2015b, s. o.
- ¹²⁹ ChNPP 2015b, s. o.
- ¹³⁰ **CHNPP 2016b**: Chernobyl NPP: NSC Construction Progress as of March10, 2016; <http://chnpp.gov.ua/en/component/content/article/139-2011-11-16-11-58-26/budivnitstvo-nbk/3550-nsc-construction-progress-as-of-march-10-2016>; eingesehen März 2016
- ¹³¹ GRS 2015, s. o.
- ¹³² SSE ChNPP: Work has begun on the west bridge jacking of the NSC main cranes systems; 27.11.2015; <http://chnpp.gov.ua/en/news/2968-rozpochato-robotu-z-piddomkrachuvannya-zakhidnogo-mosta-sistemi-osnovnikh-kraniv-sok-nbk-en>; eingesehen März 2016
- ¹³³ CHNPP 2016a, s. o.
- ¹³⁴ Nuclear Engineering International: Work on Chernobyl cover continues despite funding concerns – updated; 02.04.2014; <http://www.neimagazine.com/news/newwork-on-chernobyl-cover-continues-despite-funding-concerns-4204932>; eingesehen März 2016
- ¹³⁵ **NZZ 2015**, Neue Züricher Zeitung: Dauerhafte Abschottung einer Atomruine; 01.04.2015; <http://www.nzz.ch/wissenschaft/technik/dauerhafte-abschottung-einer-atomruine-1.18514028>; eingesehen März 2016
- ¹³⁶ GRS 2015, s. o.
- ¹³⁷ CHNPP 2016b, s. o.
- ¹³⁸ ChNPP 2015b, s. o.
- ¹³⁹ CHNPP 2016b, s. o.
- ¹⁴⁰ ChNPP 2015b, s. o.
- ¹⁴¹ CHNPP 2016b, s. o.
- ¹⁴² EBRD 2016, s. o.
- ¹⁴³ GRS 2015, s. o.
- ¹⁴⁴ SSE ChNPP: Shelter's walk-round check by ChNPP management; 02.11.2015; <http://chnpp.gov.ua/en/news/2673-shelter-s-walk-round-check-by-chnpp-management>; eingesehen März 2016
- ¹⁴⁵ **SNRIU 2012**: State Nuclear Regulatory Inspectorate of Ukraine: Chernobyl accident Radioactive Waste management from Past to Future; Tetiana Kilochytsk; IAEA Consultant Meeting on large amount of waste management after the accident; October 1–3, 2012; Vienna, Austria
- ¹⁴⁶ **ChNPP 2012b**: Chernobyl NPP: IAEA highly appreciated the results of technical assistance project implementation at ChNPP; <http://chnpp.gov.ua/en/component/content/article/37-news/union/518-2012-01-24-14-08-03518>; eingesehen März 2016
- ¹⁴⁷ SSE ChNPP: Flood-Protection Activities introduced at Chernobyl NPP, News; 22.04.2013; <http://chnpp.gov.ua/en/news/28-nssreports/747-2013-04-19-06-38-06747>; eingesehen März 2016
- ¹⁴⁸ SSE ChNPP: Cooling Pond Workshop, News; 02.10.2013; <http://chnpp.gov.ua/en/news/29-mission/1094-tekhnichnij-seminar-z-pitan-vivedennya-z-eksploatatsiji-vodojmishcha-okholodzhuvacha-chaes-en>; eingesehen März 2016
- ¹⁴⁹ GRS 1996, s. o.
- ¹⁵⁰ WNA 2015, s. o.
- ¹⁵¹ IKE 2005, s. o.

-
- ¹⁵² Nuclear Engineering International: Chernobyl 3 restart proposed, December 2002
- ¹⁵³ Nucleonics Week; 28.04.2005
- ¹⁵⁴ Nucleonics Week; 10.03.2005
- ¹⁵⁵ World Nuclear News: Decommissioning of Chernobyl units approaches; 19.02.2014; <http://www.world-nuclear-news.org/WR-Decommissioning-of-Chernobyl-units-approches-1902144.html>; eingesehen März 2016
- ¹⁵⁶ World Nuclear News: Chernobyl 1-3 enter Decommissioning phase; 13.04.2015; <http://www.world-nuclear-news.org/RS-Chernobyl-1-3-enter-decommissioning-phase-13041501.html>; eingesehen März 2016
- ¹⁵⁷ SSE ChNPP: ChNPP received computer hardware and software as part of international technical assistance project; 01.12.2015; <http://chnpp.gov.ua/en/news/2986-v-ramkakh-proektu-mizhnarodnoji-tehnicnoji-dopomogi-chaes-otrimala-komp-yuterne-obladnannya-ta-programne-zabezpechennya-en>; eingesehen März 2016
- ¹⁵⁸ SSE ChNPP: Contract on creation of a facility for release of materials from regulatory control at ChNPP is concluded; 14.01.2016; <http://chnpp.gov.ua/en/news/3036-contract-on-creation-of-a-facility-for-release-of-materials-from-regulatory-control-at-chnpp-is-concluded>; eingesehen März 2016
- ¹⁵⁹ SSE ChNPP: King-off Meeting under contract "Creation of a facility for release of materials from regulatory control at ChNPP"; 04.02.2016; <http://chnpp.gov.ua/en/news/3067-kick-off-meeting-under-contract-creation-of-facility-for-release-of-materials-from-regulatory-control-at-chnpp>; eingesehen März 2016
- ¹⁶⁰ Nucleonics Week; 15.09.2005
- ¹⁶¹ Nucleonics Week; 15.09.2005
- ¹⁶² Nucleonics Week; 22.12.2005
- ¹⁶³ Pretzsch 2011, s. o.
- ¹⁶⁴ SSE ChNPP: Current Status of Chernobyl NPP power units; www.chnpp.gov.ua/index.php?option=com_content&view=article&id=91&Itemid=83&lang=en; eingesehen März 2016
- ¹⁶⁵ Nuklearforum Schweiz: Tschernobyl-Reaktoren entladen; 28.10.2013; <http://www.nuklearforum.ch/de/aktuell/e-bulletin/Tschernobyl-reaktoren-entladen>; eingesehen März 2016
- ¹⁶⁶ Pretzsch 2011, s. o.
- ¹⁶⁷ EBRD 2011, s. o.
- ¹⁶⁸ Working visit of Skoda JSa.s. representatives to ChNPP; 02.02.2016; <http://chnpp.gov.ua/en/news/3063-working-visit-of-skoda-js-a-s-representatives-to-chnpp>; eingesehen März 2016
- ¹⁶⁹ State Nuclear Regulatory Inspectorate of Ukraine: Updated National Action Plan Kyiv, 2015; <http://www.ensreg.eu/node/3805>; eingesehen März 2016
- ¹⁷⁰ **NEA 2002: CHERNOBYL Assessment of Radiological and Health Impacts, 2002 Update of Chernobyl: Ten Years On**, Nuclear Energy Agency (NEA); 2002
- ¹⁷¹ Nucleonics Week; 15.09.2005
- ¹⁷² Pretzsch 2011, s. o.
- ¹⁷³ Nucleonics Week; 15.09.2005
- ¹⁷⁴ Nucleonics Week; 22.12.2005
- ¹⁷⁵ Nucleonics Week; 15.09.2005
- ¹⁷⁶ Nucleonics Week; 22.12.2005
- ¹⁷⁷ FAZ.net: Tschernobyl – Bekommen wir mehr, bekommen Sie mehr, 25.10.2006; <http://www.faz.net/aktuell/politik/ausland/Tschernobyl-bekommen-wir-mehr-bekommen-sie-mehr-1381366.html>; eingesehen Februar 2016
- ¹⁷⁸ Nuclear Fuel; 01.11.2010
- ¹⁷⁹ Nuclear Fuel; 01.11.2010
- ¹⁸⁰ Pretzsch 2011, s. o.
- ¹⁸¹ Nucleonics Week; 24.02.2011
- ¹⁸² WNA 2016: World Nuclear Association: Nuclear Power in Ukraine; updated 16 March 2016; <http://world-nuclear.org/information-library/country-profiles/countries-t-z/ukraine.aspx>; eingesehen März 2016
- ¹⁸³ SSE ChNPP: Interim Spent Nuclear Fuel Dry Storage Facility (ISF-2); <http://chnpp.gov.ua/en/decommissioning-projects/98-2013-05-22-13-32-06/434-2434>; last updated on 14 March 2016; eingesehen März 2016
- ¹⁸⁴ Chernobyl Interim Spent Fuel Storage Facility; EBRD, Holtec International; 2016; <http://www.ebrd.com/documents/nuclear-safety/pdf-interim-spent-fuel-storage-technical-presentation.pdf>; eingesehen März 2016

-
- ¹⁸⁵ SSE ChNPP: Construction and assembly works are restarted at ISF-2 construction site, News; 0910.2014; <http://chnpp.gov.ua/en/news/1653-construction-and-assembly-works-are-restarted-at-isf-2-construction-site>; eingesehen März 2016
- ¹⁸⁶ SSE ChNPP: Active works on the project on constructing a dry type storage facility for spent nuclear fuel (ISF-2) are underway at Chernobyl NPP site; 15.09.2015; <http://chnpp.gov.ua/en/news/2594-active-works-on-the-project-on-constructing-a-dry-type-storage-facility-for-spent-nuclear-fuel-isf-2-are-underway-at-chernobyl-npp-site>; eingesehen März 2016
- ¹⁸⁷ SSE ChNPP: Factory acceptance test of ISF-2 important to safety equipment; 22.12.2015; <http://chnpp.gov.ua/en/news/3018-factory-acceptance-test-of-isf-2-important-to-safety-equipment>; eingesehen März 2016
- ¹⁸⁸ WNN World Nuclear News: Holtec deliver first dry storage canister to Chernobyl site; 27.11.2015; <http://www.world-nuclear-news.org/WR-Holtec-delivers-first-dry-storage-canisters-to-Chernobyl-site-27111501.html>; eingesehen März 2016
- ¹⁸⁹ SSE ChNPP: Interim Spent Nuclear Fuel Dry Storage Facility (ISF-2); <http://chnpp.gov.ua/en/decommissioning-projects/98-2013-05-22-13-32-06/434-2434>; last updated on 14 March 2016; eingesehen März 2016
- ¹⁹⁰ Wikipedia, http://de.wikipedia.org/wiki/Areva_NP; eingesehen März 2016
- ¹⁹¹ EBRD: Nuclear Safety Account; <http://www.ebrd.com/what-we-do/sectors/nuclear-safety/chernobyl-nuclear-safety-account.html>; eingesehen März 2016
- ¹⁹² Nucleonics Week; January 8, 2004; Nucleonics Week; 22.12.2005
- ¹⁹³ **ATW 2006:** Tschernobyl – 20 Jahre danach, atw, 51. Jg. (2006), Heft 4, S. 251–253
- ¹⁹⁴ EBRD 2011, s. o.
- ¹⁹⁵ Nucleonics Week; February 3, 2011
- ¹⁹⁶ Pretzsch 2011, s. o.
- ¹⁹⁷ Pretzsch 2011, s. o.
- ¹⁹⁸ Pretzsch 2011, s. o.
- ¹⁹⁹ Pretzsch 2011, s. o.
- ²⁰⁰ Nuklearforum Schweiz: Tschernobyl: Betriebsbewilligung für LWSF; 10.02.2015; <http://www.nuklearforum.ch/de/aktuell/e-bulletin/Tschernobyl-betriebsbewilligung-fuer-lwsf>; eingesehen März 2016
- ²⁰¹ SSE ChNPP: Liquid Radioactive Waste Treatment Plant (LRWTP); last updated on 1 February 2016; <http://chnpp.gov.ua/en/decommissioning-projects/ongoing-projects/28-2010-09-13-07-21-32436>; eingesehen März 2016
- ²⁰² SSE ChNPP: WANO Technical Support Mission completed ist work at ChNPP; 19.06.2015; <http://chnpp.gov.ua/en/news/1969-na-chaes-zavershila-robotu-misiya-tekhnichnoji-pidtrimki-vao-aes-en>; eingesehen März 2016
- ²⁰³ ATW 2006, s. o.
- ²⁰⁴ Nuclear Engineering International (NEI): EBRD – Liquid Radwaste Treatment Plant Completion general procurement notice; Ukraine, 24.11.2009; <http://www.neimagazine.com/news/newsebrd-liquid-radwaste-treatment-plant-completion-general-procurement-notice-ukraine-deadline-18-november-2010>; eingesehen März 2016
- ²⁰⁵ **Wehner 2004:** Maßnahmen zu Verbesserung der ökologischen Situation in Tschernobyl – Das RWE Nukem Projekt ICSRM, Informationskreis KernEnergie, 2004
- ²⁰⁶ Nucleonics Week; 30.04.2009
- ²⁰⁷ Pretzsch 2011, s. o.
- ²⁰⁸ Pretzsch 2011, s. o.
- ²⁰⁹ **DBT 2015:** Deutscher Bundestag: Antwort der Bundesregierung auf die Kleine Anfrage der Abgeordneten Sylvia Kotting-Uhl, Annalena Baerbock, Matthias Gastel, weiterer Abgeordneter und der Fraktion BÜNDNIS 90/DIE GRÜNEN: 29 Jahre Tschernobyl – Aktuelle Situation in der Ukraine; Drucksache 18/4576; 18. Wahlperiode; 09.04.2015
- ²¹⁰ **ChNPP 2015a:** Chernobyl NPP: Industrial Complex for Solid Radioactive Waste Management (ICSRM); last updated on 29 July 2015; <http://chnpp.gov.ua/en/decommissioning-projects/98-2013-05-22-13-32-06/438-2010-09-13-07-24-49438>; eingesehen März 2016
- ²¹¹ Eichhorn, H.: Industrial Complex for Solid Radwaste Management (ICSRM) at Chernobyl nuclear power plant functionality of the facilities – Factors of success, atw, 56. Jg. (2011) Heft 2, S. 105–107
- ²¹² Pretzsch 2011, s. o.

-
- ²¹³ Pretzsch 2011, s. o.
- ²¹⁴ ChNPP 2015a, s. o.
- ²¹⁵ Wehner 2004, s. o.
- ²¹⁶ Nucleonics Week; 30.04.2009
- ²¹⁷ RiaNovosti: Russischer AKW-Bauer übernimmt deutsche Atomfirma NUKEM Technologies; 14.12.2009; <http://de.rian.ru/business/20091214/124366804.html>; eingesehen März 2016
- ²¹⁸ Wehner 2004, s. o.
- ²¹⁹ Nucleonics Week; 30.04.2009
- ²²⁰ Nucleonics Week; 30.04.2009
- ²²¹ ATW 2006, s. o.
- ²²² SSE ChNPP: State Nuclear Regulation Inspectorate of Ukraine conducts inspection at SSE ChNPP; News; 18.03.2014; <http://chnpp.gov.ua/en/news/1384-derzhatomregulyuvannya-ukrajini-provodit-inspektsijne-en>; eingesehen März 2016
- ²²³ SNRIU 2012, s. o.
- ²²⁴ **CHNPP 2016c**: Chernobyl NPP: Current Status of the Shelter Object; <http://chnpp.gov.ua/en/current-status/shelter-current-status>; eingesehen März 2016
- ²²⁵ IKE 2005, s. o.
- ²²⁶ **GRS 2016a**: Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit: Häufig gestellte Fragen zum Kernkraftwerk Tschernobyl; <http://www.grs.de/faq-Tschernobyl/>; eingesehen März 2016
- ²²⁷ CHNPP 2016c, s. o.
- ²²⁸ **GRS 2005**: Gesellschaft für Anlagen- und Reaktorsicherheit: Sicherheitszustand des Sarkophags, French-German Initiative for Chernobyl (DFI) GRS / IRSN – 3; November 2005; <http://www.grs.de/content/grs-irsn-3-sicherheitszustand-des-sarkophags>; eingesehen März 2016
- ²²⁹ GRS 2005, s. o.
- ²³⁰ GRS 2016a, s. o.
- ²³¹ IKE 2005, s. o.
- ²³² SSE ChNPP: Radiation protection, Safety and Monitoring Systems; <http://chnpp.gov.ua/en/shelter-object-transformation/project-implementation-phase-2/474-2011-05-11-13-24-35474>; eingesehen März 2016; EBRD 2011, s. o.
- ²³³ Kondratyev, S.: Status of the SIP Design and their Technical Evaluation; Eurosafe 2003, Paris; 25.–26.11.2003; http://www.eurosafe-forum.org/sites/default/files/poster6_6.pdf; eingesehen März 2016
- ²³⁴ GRS 1996, s. o.
- ²³⁵ CHNPP 2016c, s. o.
- ²³⁶ GRS 1996, s. o.
- ²³⁷ CHNPP 2016c, s. o.
- ²³⁸ **IAEA 2006**: Environmental Consequences of the Chernobyl Accident and Their Remediation: Twenty Years of Experience. Report of the UN Chernobyl Forum Expert Group “Environment” (EGE) August 2005; http://www-pub.iaea.org/mtcd/publications/pdf/pub1239_web.pdf; eingesehen März 2016
- ²³⁹ IAEA 2006, s. o.
- ²⁴⁰ GRS 2005, s. o.
- ²⁴¹ NEA 2002, s. o.
- ²⁴² **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; 08.–12.04.1996, IAEA-TECDOC-964, S. 591–597, Vienna, Sept. 1997;
Pretzsch 2004: Pretzsch, G.: Radiological Hazards at the Chernobyl Shelter Site; 11th International Congress of the International Radiation Protection Association, Madrid; 23.–28.05.2004
- ²⁴³ IAEA 2006, s. o.
- ²⁴⁴ IAEA 2006, s. o.
- ²⁴⁵ IAEA 2006 s. o.; IKE 2005, s. o.;
- ²⁴⁶ IAEA 2006, s. o.
- ²⁴⁷ Pretzsch 1996, s. o.

- ²⁴⁸ GRS 2005, s. o.
- ²⁴⁹ CHNPP 2016c, s. o.
- ²⁵⁰ IAEA 2006, s. o.
- ²⁵¹ GRS 2015, s. o.
- ²⁵² DLF 2015, s. o.
- ²⁵³ Süddeutsche Zeitung: Atomruine von Tschernobyl – Die Ukraine könnte mit der Atomruine überfordert sein; 27.03.2015; <http://www.sueddeutsche.de/wissen/atomruine-von-Tschernobyl-ein-kaefig-fuer-die-bestie-1.2413900-2>; eingesehen März 2016
- ²⁵⁴ SSE ChNPP: An emergency response Training took place at Chernobyl NPP, News; 08.07.2014; <http://chnpp.gov.ua/en/news/1552-na-chaes-emex-en>; eingesehen März 2016
- ²⁵⁵ GRS 2015, s. o.
- ²⁵⁶ **BMU 2013:** Bundesministerium für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit: Bericht zu Neuschäden im KKW Tschernobyl, 28.03.2013
- ²⁵⁷ BMU 2013, s. o.
- ²⁵⁸ **IAEA 2013:** International Atomic Energy Agency: IAEA MISSION ON PARTIAL COLLAPSE OF TURBINE HALL ROOF OF UNIT 4, Chernobyl NPP, Ukraine, 03–07 June 2013 Mission Report; 13.06.2013
- ²⁵⁹ SSE ChNPP: Dust-Suppression Installation Testing Commenced, News; 03.07.2013; <http://chnpp.gov.ua/en/news/32-safety/991-rozpochato-viprobuvannya-ustanovki-dlya-piloprignichennya-en>; eingesehen März 2016
- ²⁶⁰ SSE ChNPP: Works on Pre-Assembling of Heavy Lift Crane commenced within the Shelter Object Zone; News; 27.02.2014; <http://chnpp.gov.ua/en/news/1365-v-lokalnij-zoni-ob-ekta-ukrittja-rozpochalisya-roboti-z-ukrupnyuvalnoji-zbirki-krana-velikoji-vantazhopidjomnosti-en>; eingesehen März 2016
- ²⁶¹ SSE ChNPP: Works on closing the abnormal opening of Unit 4 Turbine Hall were performed at Chernobyl industrial site on July 24–27; News; 25.07.2014; <http://chnpp.gov.ua/en/news/1575-24-27-iyulya-na-promyshlennoj-ploshchadke-chernobylskoj-aes-byli-provedeny-raboty-po-zakrytiju-avarijnogo-proema-mashzala-4-bloka-en>; eingesehen März 2016
- ²⁶² BMU 2013, s. o.
- ²⁶³ IAEA 2013, s. o.
- ²⁶⁴ CHNPP 2016c, s. o.
- ²⁶⁵ Borovoy 1996, s. o.
- ²⁶⁶ Bundesamt für Strahlenschutz (BfS): Umweltradioaktivität und Strahlenbelastung, Jahresbericht 2009, Dezember 2010; https://doris.bfs.de/jspui/bitstream/urn:nbn:de:0221-201103025410/3/JB_Umweltradioaktivitaet_2009.pdf; eingesehen März 2016
- ²⁶⁷ CHNPP 2016c, s. o.
- ²⁶⁸ SSE ChNPP: Informationen on radiation state of aerial environment at Chernobyl site; 29.04.2015; <http://chnpp.gov.ua/en/news/1913-information-on-radiation-state-of-aerial-environment-at-chernobyl-npp-site>; eingesehen März 2016
- ²⁶⁹ CHNPP 2016c, s. o.
- ²⁷⁰ CHNPP 2016c, s. o.
- ²⁷¹ GRS 2005, s. o.
- ²⁷² GRS 2005, s. o.
- ²⁷³ Borovoy 1996, s. o.
- ²⁷⁴ IAEA 2006, s. o.
- ²⁷⁵ CHNPP 2016c, s. o.
- ²⁷⁶ IAEA 2006, s. o.
- ²⁷⁷ **IAEA 2014:** International Atomic Energy Agency: Experiences and Lessons learned worldwide in the cleanup and decommissioning of nuclear facilities in the aftermath of accidents, IAEA No. NW-T-2.7; VIENNA, 2014; http://www-pub.iaea.org/MTCD/Publications/PDF/Pub1644_web.pdf; eingesehen März 2016
- ²⁷⁸ CHNPP 2016c, s. o.
- ²⁷⁹ GRS 2016a, s. o.
- ²⁸⁰ Arcadis 2000, s. o.
- ²⁸¹ GRS 2005, s. o.

-
- ²⁸² Pretzsch 2004, s. o.
- ²⁸³ GRS 2016a, s. o.
- ²⁸⁴ IKE 2005, s. o.
- ²⁸⁵ A. Borovoy: Safety Aspects of the Object Shelter of the Chernobyl Nuclear Power Plant Unit 4; Kurchatov Institute Working Materials, IAEA, Vienna, 1995
- ²⁸⁶ Strahlentelex Nr. 234–235, 1996, Strahlentelex Nr. 244–245, 1997; WISE News Communiqué; 27.04.2001
- ²⁸⁷ Nucleonics Week; 17.07.2003
- ²⁸⁸ EBRD 2011, s. o.
- ²⁸⁹ GRS 2016a, s. o.
- ²⁹⁰ NEA 2002, s. o.
- ²⁹¹ CHNPP 2016c, s. o.
- ²⁹² SSE ChNPP: On ChNPP physical protection; News; 08.12.2014; <http://chnpp.gov.ua/en/news/1718-pro-okhoronu-chornobilskoji-aes-en>; eingesehen März 2016
- ²⁹³ DLF 2015, s. o.
- ²⁹⁴ **ChNPP 2016d**: Chernobyl NPP: Chernobyl Nuclear Power Plant: Development of strategy for fuel-containing materials (FCM) retrieval and waste management; <http://chnpp.gov.ua/en/shelter-object-transformation/project-implementation-phase-2/78-2011-05-11-13-33-39477>; eingesehen März 2016
- ²⁹⁵ **ChNPP 2016e**: Chernobyl NPP: 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; eingesehen März 2016
- ²⁹⁶ ChNPP 2016e, s. o.
- ²⁹⁷ ChNPP 2016d, s. o.
- ²⁹⁸ ChNPP 2016e, s. o.
- ²⁹⁹ DBT 2015, s. o.
- ³⁰⁰ Nucleonics Week; 28.04.2005
- ³⁰¹ IKE 2005, s. o.
- ³⁰² Review of state policy in sphere of for radioactive waste management of Ukraine; Mykola PROSKURA – Ukraine, Ministry of Emergencies; The State Agency for the Exclusion Zone Management
- ³⁰³ IAEA 2014, s. o.
- ³⁰⁴ ChNPP 2016e, s. o.
- ³⁰⁵ NZZ 2015, s. o.
- ³⁰⁶ Remediation of Chernobyl NPP Site, Vladimir Kholosha, Valeriy Seyda, Ukraine, Vienna; 28.–31.01.2013, IAEA
- ³⁰⁷ Walther 2016, s. o.
- ³⁰⁸ **Kraemer 2011**: Tschernobyl und die 30-km-Zone; Jürgen Kraemer, Dietmar Zappe; atw, 56. Jg. (2011), Heft 2
- ³⁰⁹ Arcadis 2000, s. o.
- ³¹⁰ Walter 2016, s. o., Kraemer 2011, s. o.
- ³¹¹ Kraemer 2011, s. o.
- ³¹² Kraemer 2011 s. o.
- ³¹³ Kraemer 2011, s. o.
- ³¹⁴ Kraemer 2011, s. o.
- ³¹⁵ Nuklearforum Schweiz: Deutsches Konsortium erhält EU-Auftrag in der Ukraine; 07.03.2016; <http://www.nuklearforum.ch/de/aktuell/e-bulletin/deutsches-konsortium-erhaelt-eu-auftrag-der-ukraine>; eingesehen März 2016
- ³¹⁶ GRS 2015, s. o.
- ³¹⁷ Ukraine Nachrichten 2011: „Angereicherte“ Gewässer; 25.04.2011; http://ukraine-nachrichten.de/angereicherte-gew%C3%A4sser_3091_meinungen-analysen; eingesehen März 2012; eingesehen März 2016
- ³¹⁸ Ukraine Nachrichten 2011, s. o.
- ³¹⁹ Kraemer 2011, s. o.

- ³²⁰ Ukraine Nachrichten 2011, s. o.; **Nature 2011:** Chernobyl's Legacy; Mark Peblow, Nature 471; 31.03.2011, S. 562–565
- ³²¹ **ChNPP 2016f:** Chernobyl NPP: 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; eingesehen März 2016
- ³²² Nature 2011 s. o.
- ³²³ ChNPP 2012b, s. o.
- ³²⁴ GRS 2015, s. o.
- ³²⁵ ChNPP 2012b, s. o.; Nature 2011, s. o.
- ³²⁶ Nuclear Engineering International: Fires in Chernobyl region pose no additional health concerns; 13.08.2010
- ³²⁷ Nucleonics Week; 1208.2010
- ³²⁸ UPI: Wildfires in Ukraine could revive Chernobyl's radiation; 09.02.2015; http://www.upi.com/Science_News/2015/02/09/Wildfires-in-Ukraine-could-revive-Chernobyls-radiation/9311423493119/; eingesehen März 2016
- ³²⁹ Radiation consequences of the fire in the Chernobyl exclusion zone, V. Bogorad, T. Lytvynska, I. Shevchenko, O. Dybach, O. Slepchenko State Scientific and Technical Center for Nuclear and Radiation Safety, Kiev, Ukraine; Eurosafe 2015
- ³³⁰ GPI 2016, s. o.
- ³³¹ Walther 2016, s. o.
- ³³² Walther 2016, s. o.
- ³³³ Walther 2016, s. o.
- ³³⁴ NEI 2016: Belarus to spend \$47m on Chernobyl zone rehabilitation; 24.02.2016; <http://www.neimagazine.com/news/newsbelarus-to-spend-47m-on-chernobyl-zone-rehabilitation-4820428/>; eingesehen März 2016
- ³³⁵ GPI 2016, s. o.
- ³³⁶ Gudkov, D. I. et al: Radioecological Problems of Aquatic Ecosystems of the Chernobyl Exclusion Zone; Radiobiology and Radioecology; Vol. 55 (2010), No. 2, S. 332–339
- ³³⁷ Ukraine Nachrichten 2011, s. o.
- ³³⁸ Hamburger Abendblatt 2012: Wissenschaftler vermuten längere Auswirkungen; 16.03.2012; www.abendblatt.de/region/lueneburg/article2218163/Wissenschaftler-vermuten-laengere-Auswirkungen.html; eingesehen März 2016
- ³³⁹ Strahlentelex 2007: Artenvielfalt und Populationsdichte von Vögeln nehmen mit höherer Strahlung ab, Nr. 498–499; 04.10.2007; www.strahlentelex.de/Stx_07_498_S05.pdf; eingesehen März 2016
- ³⁴⁰ Strahlentelex 2009, 23 Jahre nach Tschernobyl, Weniger und missgebildete Insekten und Vögel, Strahlentelex Nr. 534–535; 02.04.2009; www.strahlentelex.homepage.t-online.de/Stx_09_534_S01-02.pdf; eingesehen März 2016
- ³⁴¹ Nuclear Monitor 2009: Animals more affected by chernobyl radiation than thought; 02.04.2009; www.nirs.org/mononline/nm686.pdf; eingesehen März 2016
- ³⁴² University auf South Carolina; Chernobyl Research Initiative; Fukushima Research Initiative; http://cricket.biol.sc.edu/chernobyl/Chernobyl_Research_Initiative/Introduction.html; eingesehen März 2016
- ³⁴³ Nuclear Engineering International: Chernobyl radiation affects bird brain size; 14.02.2011
- ³⁴⁴ Tschernobyl wird zum Paradies für Wildtiere; 06.10.2015; <http://www.n-tv.de/wissen/Tschernobyl-wird-zum-Paradies-fuer-Wildtiere-article16084041.html>; eingesehen März 2016
- ³⁴⁵ BR-online: Pilze und Wildschweine immer noch belastet; 26.04.2013; http://www.br.de/themen/ratgeber/bayern_pilze_wildschweine100.html; eingesehen März 2016
Tagesschau: 424.650 Euro im Jahr für verstrahltes Wildbret; 29.07.2010; <https://tsarchive.wordpress.com/2010/07/29/Tschernobyl110/>; eingesehen März 2016
- ³⁴⁶ Tschernobyl wird zum Paradies für Wildtiere; 06.10.2015; <http://www.n-tv.de/wissen/Tschernobyl-wird-zum-Paradies-fuer-Wildtiere-article16084041.html>; eingesehen März 2016
- ³⁴⁷ 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; eingesehen März 2016

³⁴⁸ Nuclear Fuel; 09.11.2015

³⁴⁹ Spiegelonline: Ukraine stoppt Tschernobyl-Tourismus; 27.06.2011;
www.spiegel.de/reise/aktuell/0,1518,770697,00.html; eingesehen März 2016

³⁵⁰ Spiegelonline: Katastrophentourismus, Ukraine will Tschernobyl für Besucher öffnen; 14.12.2010;
www.spiegel.de/reise/europa/0,1518,734521,00.html; eingesehen März 2016

³⁵¹ Kraemer 2011, s. o.

³⁵² Chernobyl Tours; <https://www.chernobyl-tour.com/english/130-current-situation-in-ukraine.html>; eingesehen März 2016

³⁵³ SSE ChNPP: The Government of Ukraine approves the development concept of activity within the Chernobyl Zone; News; 10.08.2012; <http://chnpp.gov.ua/en/component/content/article?id=214:the-government-of-ukraine-approves-the-development-concept-of-activity-within-the-chernobyl-zone215>; eingesehen März 2016

³⁵⁴ Walther 2016, s. o.

³⁵⁵ SSE ChNPP: The First Prime Minister of Ukraine, who visited ChNPP after its shutdown; 09.07.2015;
<http://chnpp.gov.ua/en/news/1985-the-first-prime-minister-of-ukraine-who-visited-chnpp-after-its-shutdown>;
eingesehen März 2016

³⁵⁶ Walther 2016, s. o.