

Restrisiko

Zusammenfassung und Schlussfolgerungen¹



*Ereignisse in Atomkraftwerken
seit dem Tschernobyl Unfall 1986*

April 2007

Autoren

Georgui Kastchiev*, Wolfgang Kromp*, Stephan Kurth+,
David Lochbaum**, Ed Lyman**, Michael Sailer+, Mycle Schneider**,

*Institut für Risikoforschung, Universität Wien, Österreich; +Öko-Institut, Darmstadt, Deutschland;
**Union of Concerned Scientists, Washington, D.C., USA; **Mycle Schneider Consulting, Paris, France;

Projektleitung: Mycle Schneider

Im Auftrag von: Rebecca Harms, Mitglied des Europäischen Parlaments
Mit Unterstützung von: Altner-Combecher Stiftung für Ökologie und Frieden and Hatzfeldt Stiftung

¹ Der komplette Bericht kann gratis unter folgender Adresse heruntergeladen werden:
http://www.greens-efa.org/cms/topics/dokbin/181/181995.residual_risk@en.pdf



Die Grünen | Europäische Freie Allianz
im Europäischen Parlament

Vor 50 Jahren, am 25. März 1957, wurde der EURATOM-Vertrag unterzeichnet. In Artikel 1 heißt es: „Aufgabe der Atomgemeinschaft ist es, durch die Schaffung der für die schnelle Bildung und Entwicklung von Kernindustrien erforderlichen Voraussetzungen zur Hebung der Lebenshaltung in den Mitgliedstaaten und zur Entwicklung der Beziehungen mit den anderen Ländern beizutragen.“ Ein halbes Jahr später, am 10. Oktober 1957, wurden durch einen Brand in einem Reaktor im britischen Windscale große Mengen Radioaktivität freigesetzt. Zum ersten Mal in der Geschichte mussten in Europa erhebliche Mengen Milch und Gemüse auf Grund hoher Kontamination vernichtet werden.

Trotzdem hatte der Windscale Unfall überraschend wenig Auswirkung auf die öffentliche Meinung in Europa. In England machte die damals junge Atomindustrie mit der Konzeptentwicklung für die ersten MAGNOX Atomkraftwerke weiter, obwohl diese, wie der Windscale-Reaktor kein Containment (Dichthülle) hatten. Die britische Regierung hielt am militärischen Gebot der Plutoniumproduktion fest und ignorierte anscheinend das Risiko einer zweiten Freisetzung von Radioaktivität mit dem Weiterbetrieb des zweiten identischen Windscale Reaktors.

Gegen Mitte der Sechziger Jahre war die Atomkraft eine etablierte Größe in Europa und ihre Ausweitung ging zügig voran. Doch im März 1979, nach einer weltweit kumulierten Erfahrung von mehr als 1.000 Betriebsjahren, erlitt der Druckwasserreaktor in Three Mile Island (TMI) in den USA einen schweren Kernschmelzunfall mit dem Potential zur Freisetzung einer sehr großen Menge an Radioaktivität in die Umwelt. Die Auswirkung des TMI Unfalls war derart, dass trotz der erheblichen von der Atomindustrie in Reaktoren und Reaktordesigns umgesetzten Verbesserungsprogramme seither kein weiteres Atomkraftwerk in den USA bestellt wurde und weit über hundert Projekte aufgegeben wurden. In Europa wurden die meisten Atomkraftwerksprojekte, die zum Zeitpunkt des TMI Unfalls bereits bestellt oder im Bau waren, weitergeführt. Bis Ende 1985, in Anbetracht der Verzögerungen durch Auslegungsänderungen und verlängerte Bauzeiten, wuchs die Anzahl der in den Ländern der heutigen Europäischen Union installierten und in Betrieb befindlichen Kraftwerke auf insgesamt 155.

Gegen 1986 war die europäische Atomindustrie im Allgemeinen recht zuversichtlich, hatte sie doch die TMI-Krise ausgesessen, auch wenn dies um den Preis einiger erheblicher Nachrüstungen und teurer Sicherheitsmassnahmen geschah. Aber dann geschah Tschernobyl, der bis heute schwerwiegendste Atomkraftwerksunfall, der zu einer bis dahin unvorstellbaren Freisetzung von Radioaktivität und weit reichender Kontamination in Europa führte. Nahrungsmittelvernichtung und landwirtschaftliche Einschränkungen prägten das kollektive Bewusstsein der Öffentlichkeit.

Die unfassbare und extreme Natur der Tschernobylkatastrophe erforderte erhebliche, erneute Überprüfungen der Atomsicherheit. Öffentliche Erklärungen wurden von Industrie und Aufsicht gefordert. Tschernobyl stoppte praktisch den Bau neuer Atomkraftwerke. In den 27 Ländern der heutigen Europäischen Union wurde mit 177 Reaktoren innerhalb von zwei Jahren nach Tschernobyl der historische Höchststand erreicht. Danach, und obwohl einige bereits vor Tschernobyl in Bau gegangene Anlagen fertig gestellt und in Betrieb genommen wurden, überstieg die Anzahl der Stilllegungen die Inbetriebnahmen und führte zu einer stetigen Abnahme der Anzahl betriebener Reaktoren in der EU – heute sind es noch 145.

Die Lehren aus dem TMI Unfall haben nicht ausgereicht, Tschernobyl zu verhindern. Zunächst war die Antwort der weltweiten Atomindustrie auf das Tschernobyl-Desaster defensiv: es passierte, hieß es, wegen fehlerhafter Sowjettechnologie, demoralisiertem Betriebspersonal, dem Fehlen eines Containments, etc., so dass Tschernobyl nur so etwas wie ein kurioser „Sowjetunfall“ war – ‚der früher oder später geschehen musste‘ und ‚hier

unmöglich vorkommen kann'. Unbeachtet von der Öffentlichkeit aber haben die Aufsichtsbehörden in der EU und anderswo die Regelwerke geändert. Diese verlangten von den Betreibern die Einführung zahlreicher Verbesserungen. Dies betraf Aspekte des ‚Faktors Mensch‘ und des Managements im Kraftwerksbetrieb, verbesserte Ausbildungsprogramme und, wo praktikabel, die Durchführung von Nachrüstungen und Verbesserungen an bestehenden Anlagen.

Bedeutungsvoll für den Neubau von Atomanlagen war, dass die Aufsichtsphilosophie die Kraftwerksdesigner verstärkt dazu anhielt, der Rolle passiver Systeme, die eine Anlage in stabilem, sicherem Zustand halten sollen, erhöhte Bedeutung zuzumessen. Das Ergebnis von abnormalen Zwischenfällen wird nun stärker an die radiologischen Folgen und das individuelle Risiko an gesundheitlichen Schäden geknüpft. Zwischenfälle und veranschlagte, radioaktive Abgaben müssen jetzt quantifiziert werden, so dass eine möglichst effektive Notfallplanung über den Standort hinaus geplant werden kann. Und, vielleicht sogar als Wichtigstes, die Atomindustrie sollte ‚transparent‘ sein und zeigen, dass für den weiteren Betrieb ihrer Anlagen die ‚Risiken akzeptabel und die Konsequenzen tolerierbar‘ sind.

Heute, 21 Jahre nach Tschernobyl, mit weltweit kumulierten 8.000 Reaktorjahren Erfahrung ist diese Nach-Tschernobyl Phase ohne ernsthaften Unfall, breitflächige Kontamination und schwere radiologischen Konsequenzen verlaufen. Handelt es sich hier um eine Errungenschaft oder schlichtes Glück?

Um dieser Frage nachzugehen, haben wir die Sicherheitsbilanz der Atomkraftwerke in ausgewählten Ländern seit Tschernobyl untersucht und festgestellt, dass weiterhin eine große Anzahl abnormaler Ereignisse passieren. Wir haben eine Auswahl dieser Ereignisse analysiert, doch gibt es eine Reihe erheblicher Hindernisse für eine systematische und vergleichende Analyse, einschließlich der folgenden:

- Der Vergleich schwerwiegender Ereignisse in Atomkraftwerken verschiedenen Typs in der Welt ist schwierig, weil es erstens viele verschiedene Termini und Definitionen dafür gibt, was man als Zwischenfall in einer Atomanlage bezeichnen könnte, und zweitens weil es keine objektive, international anerkannte Definition gibt für besonders schwerwiegende Ereignisse, sowohl intern als auch extern, die das Potential schwerwiegender radiologischer Konsequenzen besitzen.
- Systeme, die derartige Zwischenfälle in Atomanlagen und ihre potentiellen Auswirkungen bewerten, sind nicht abgestimmt und variieren erheblich von einem Land zum anderen. Quantitative oder qualitative Kriterien liefern keine Grundlage für eine vergleichende Angabe von Sicherheitsniveaus oder Sicherheitserrungenschaften.
- Selbst im Falle der Internationalen Nuklearen Ereignisskala (International Nuclear Event Scale, INES) der Internationalen Atomorganisation (IAEO) handelt es sich um die Werte, die von den Betreibern der jeweiligen Anlagen oder der jeweiligen nationalen Aufsichtsbehörde gemeldet werden. Es gibt kein System unabhängiger Bewertung, um solche Vergleiche sinnvoll zu gestalten. Darüber hinaus mögen nationale Aufsichtsbehörden in einigen Ländern nicht gänzlich frei von politischer Beeinflussung sein.
- Die INES Definitionen schließen auch eine große Anzahl von Ereignissen von einer technisch sinnvollen Einstufung aus, weil sie keine unmittelbaren radiologischen Auswirkungen gehabt haben. Insgesamt scheint es eine Tendenz zur Unterbewertung der Bedeutung von Ereignissen zu geben. Obwohl die IAEO – auf der Basis der ehemaligen nationalen französischen Skala – INES entwickelt hat, sind es die nationalen Atomaufsichtsbehörden, die eine endgültige Einstufung eines Ereignispotentials vornehmen. Dies ist umso bemerkenswerter, als die

IAEO auch keine Entscheidungshilfe in Grenzfallsituationen bietet, wie diese unter INES zu bewerten sind.

- Es ist noch kein Meldesystem entwickelt worden, das zweifelsfrei eine eindeutige Klassifizierung (Einteilung) jener Ereignisse und Unfälle erlaubt, die in einer unüberschaubaren Fülle möglicher Ursachen wurzeln. Zum Beispiel, war das Loch im US Davis-Besse Reaktordruckbehälterdeckel (siehe 9.2.1.2 für eine detaillierte Beschreibung) a) ein Materialfehler; b) ein Managementfehler, der aus einer unzureichenden anlagenweiten Sicherheitskultur herrührte; c) eine Abfolge menschlichen Versagens in der Verknüpfung von Inspektion und Überwachung und/oder d) ein Fehler des Qualitätsprüfungsprogramms; oder gab es irgendeine andere Ursache?
- Im Allgemeinen wird ein vorsichtiger Ansatz gewählt, wenn die *mögliche* Entwicklung eines unterbrochenen Ereignisablaufs postuliert wird. Die Analyse basiert tendenziell auf den verbliebenen nachfolgenden Sicherheitssystemen und Gegenmaßnahmen, die prompt einspringen würden – recht gegenläufig zu der Tatsache, dass eine Anzahl vorangegangener Sicherheitssysteme bereits ausgefallen war. Dies verleitet zu einem optimistischen Bild eines Ereignisses, das durchaus hätte in einen erheblich ernsteren Zwischenfall ausarten können.
- Während Reaktorabschaltungen in der Regel öffentlich bekannt werden, so werden die Ereignisse, die dazu führen, nicht immer bekannt. Die von der IAEO geführte INES Datenbank ist vertraulich und nur ihren Mitgliedern zugänglich¹ und manche Länder tendieren dazu, Details von Ereignissen in ihren Anlagen als vertrauliche Information zu betrachten, die nicht Gegenstand öffentlicher Enthüllung ist. Außerdem werden seit dem 11. September 2001 erheblich mehr Informationen zum Anlagenverhalten in abnormalen Betriebsituationen zurückgehalten.

Die IAEO verlangt bei der Evaluierung und Meldung von Zwischenfällen nicht gerade viel Disziplin von den Unterzeichnerstaaten. In anderen Worten, da es keine klar etablierten, international vereinbarten Kriterien für die Beschreibung, die Einteilung und die Risikobewertung der Ereignisse gibt, ist es unklar, wie man zu brauchbaren Statistiken kommen könnte. Ein beliebiges Land, das eine große Anzahl Ereignisse meldet, könnte ein schwerwiegendes Sicherheitsproblem in diesem Land aufdecken oder, auf der anderen Seite, es könnte auch die ehrliche Charakteristik eines spezifischen Meldesystems mit ungewöhnlicher Offenheit in der Kommunikation von Ereignissen widerspiegeln.

Diese Möglichkeit für Absonderlichkeiten zeigt sich bereits im Vergleich von nur drei Ländern, Frankreich, Deutschland und die USA.

In den letzten Jahren hat der französische Atomkraftwerksbetreiber EDF jährlich zwischen 600 und 800 „*signifikante Zwischenfälle*“ (Tendenz steigend) an die Atomaufsichtsbehörde gemeldet. Von über 10.000 zwischen 1986 und 2006 gemeldeten Ereignissen wurden die meisten unterhalb oder auf Stufe 0 der INES eingestuft, während 1.615 Zwischenfälle INES Level 1 und 59 Level 2 eingestuft wurden. Nur ein Zwischenfall wurde Level 3 zugeordnet.² Im Vergleich hierzu, seit der Einführung von INES 1991 haben die deutschen Behörden 2.200 Ereignisse als Level 0 eingestuft, während 72 Ereignisse Level 1 oder höher eingeordnet wurden. Die amerikanische Aufsichtsbehörde NRC hat über denselben Zeitraum nur 22 Ereignisse an die IAEA INES Datenbank weitergeleitet, darunter 6 unterhalb der Skala, 7 Level 0, 5 Level 2 und 1 Level 3.

¹ Die IAEO hat auf wiederholte Anfragen des Projektkoordinators nicht geantwortet.

² Ein Zwischenfall im Reaktor Gravelines-3, datiert vom 16. August 1989

Diese offensichtliche Diskrepanz stammt daher, dass es einfach keine allgemeingültigen Kriterien gibt, um Frequenz und Schwere von Ereignissen in Atomanlagen in verschiedenen Ländern zu vergleichen. In diesem Sinne wäre es grob irreführend, sich für die Evaluierung eines internationalen Sicherheitsvergleichs auf die Basis der gegenwärtigen INES Ereignisstatistiken zu verlassen.

Die **erste Schlussfolgerung** dieser Studie ist, dass viele sicherheitsrelevante Ereignisse Jahr für Jahr, überall in der Welt, in allen Atomanlagentypen und in jedem Reaktordesign geschehen und dass es sehr ernste Ereignisse gibt, die entweder gänzlich an der breiten Öffentlichkeit vorbeigehen oder erheblich unterbewertet werden, wenn es um ihr Risikopotential geht (s.u. für 16 ausgewählte Beispiele).

Ein gemeinsamer IAEO/NEA (Nuclear Energy Agency der OECD) Bericht zu „Atomkraftwerk Betriebserfahrungen“ in den Jahren 2002 bis 2005 kam zu folgender Schlussfolgerung:

„Fast alle der [200] Ereignisse, die in diesem Zeitraum gemeldet wurden, sind in der einen oder anderen Form bereits früher passiert. Dies zeigt, dass trotz der sowohl auf nationaler wie auch auf internationaler Ebene existierenden Austauschmechanismen Abhilfemaßnahmen, die allgemein gut bekannt sind, möglicherweise nicht alle Endnutzer erreichen, oder nicht immer strikt und zeitgerecht umgesetzt werden.“

Der weit verbreitete Glaube, dass Atomsicherheit wirklich durch einen ‚Lektion gelernt Prozess‘ verstärkt wird, erweist sich als mangelhaftes Konzept. Es bleibt eine offene Frage, ob in der Realität des Atomkraftwerksbetriebs die Diskussionen innerhalb der Expertengemeinschaft wirklich zu einer Verbesserung der nuklearen Sicherheit führen können.

Abnormale Ereignisse werden durch eine Vielzahl von Gründen ausgelöst: Manche sind ein direktes Ergebnis von Auslegungsfehlern, manchmal grundsätzlicher Natur, manchmal anscheinend trivial; andere Ereignisse können zurückverfolgt werden zu latenten Konstruktions-, Herstellungs- oder Materialfehlern und/oder Mängeln, die in der Anlage verborgen blieben; es gibt unvorhergesehene externe Ereignisse, auf die man nicht vorbereitet ist, die unerwartet die Anlagen und ihre Sicherheitsauslegung fordern; und letztendlich gibt es die Dimension Mensch, einschließlich einfacher Missgeschicke, Versäumnisse und Missverständnisse, oder komplexere und tiefere liegende institutionelle Fehler und, von steigender Bedeutung seit dem 11. September 2001, die Möglichkeit organisierten kriminellen Vorgehens gegen Atomanlagen.

Einige dieser aufgetretenen Ereignisse und Zwischenfälle hätten in ernsthafte Unfälle ausarten können, wären die Defekte, Fehlfunktionen, etc. nicht rechtzeitig entdeckt worden (Beinahe-Unfälle); andere Zwischenfälle könnten als Frühwarnung oder Vorläufer für schwere Unfälle verstanden werden. Auch gibt es die so genannten wiederkehrenden Ereignisse (s.o.), wobei ein gewisses Muster an Fehlern immer wieder in verschiedenen Anlagen wiederholt. Manchmal entwickelt sich ein Element von Selbstzufriedenheit in der Atomindustrie, wenn ein Zwischenfall zu einem „erfolgreichen“ Ende gebracht wurde und dies dann zur Verdrängung der zahlreichen ernsthaften Bedenken führt, denen zufolge der Zwischenfall erst gar nicht hätte ausgelöst werden dürfen.

Nicht dass jene, die an der Spitze der weltweiten Atomindustrie stehen, selbstgefällig diesen Themen gegenüber ständen. Während der zweijährlichen Generalversammlung des Weltvereinigungen der Atomkraftwerksbetreiber (World Association of Nuclear Operators,

WANO) warnte der Vorsitzende Hajimu Maeda vor schleichender Lethargie, *die mit dem Motivationsverlust beginnt, voneinander zu lernen...Vermessenheit... [und] Nachlässigkeit im Kultivieren einer Sicherheitskultur auf Grund von starkem Druck, die Kosten zu reduzieren, als Folge der Deregulierung des Strommarktes*“. Diese Probleme, wenn sie ignoriert werden, „sind wie eine schreckliche Krankheit, die innerhalb der Organisation wurzelt“, und können, wenn sie nicht entdeckt werden, zu einem „bedeutenden Unfall“ führen, der „die ganze Organisation zerstört“.

Atomkraftwerke sind komplexe, risikoreiche Anlagen. Daraus folgert, dass eben jene Komplexität eine facettenreiche Anordnung von potentiellen Fehlermechanismen und Abläufen hervorbringt, in der Tat so zahlreich, dass es unmöglich erscheint, diese auch nur in irgendeine Art von Ordnung zu bringen.

Die **zweite Schlussfolgerung** ist, dass kein großes Vertrauen in die INES Skala der IAEO gesetzt werden sollte, weder für die Bestimmung des absoluten Schweregrades eines abnormalen Ereignisses im Verhältnis zu einem anderen, noch für die Bestimmung der absoluten Sicherheitserrungenschaften irgendeines bestimmten Landes. In einer Beziehung kann INES recht aufschlussreich wirken: Da drei Länder, die ziemlich ähnliche Atomkraftwerkstypen unter ziemlich ähnlichen Aufsichts- und Managementsystemen betreiben, nicht derart eklatante Unterschiede in ihren jeweiligen Errungenschaften der Atomsicherheit aufweisen sollten, stellen die oben zusammengefassten Daten lediglich einen Indikator ihrer jeweiligen Offenheit und/oder ihrer Meldepraxis innerhalb des INES Systems dar.

Die **dritte Schlussfolgerung** dieser Forschungsarbeit ist – da das INES Meldesystem wenig zweckdienlich ist – die Notwendigkeit seiner Überarbeitung und Veränderung – wenn überhaupt möglich – um ein umfassendes Meldesystem zu bieten, das nicht nur die Schwere und die potentielle Auswirkung abnormaler Zwischenfälle identifiziert – welches das aktuelle INES System kaum erreicht – sondern das auch vereinheitlichende Regeln für die nachträgliche Unfallursachenanalyse und Kategorisierung enthält, so dass bestehende Trends überwacht und aufkeimende Fehlerquellen identifiziert werden können. Ein solches überarbeitetes INES Meldesystem sollte die Möglichkeit beinhalten, menschliche Handlungen, einschließlich terroristischer Akte, zu analysieren und einzuordnen.

Eine Auswahl signifikanter Ereignisse, die bei der Erstellung eines Rahmens für ein neues INES Melde- und Analysesystems hilfreich sein könnte, folgt dieser Zusammenfassung. Diese Ereignisse zeigen beispielhaft die wesentlichen Kategorien der Fehlerursachen in Atomkraftwerken über die letzten 20 Jahre. Und doch, angesichts der Komplexität der technisierten Systeme und des menschlichen Erfindungsgeistes gibt es mit Sicherheit andere Unfallursachen, die es noch zu entdecken gilt.

Dieser Bericht sollte eine Vorläuferuntersuchung sein für eine Studie, die eine umfassende, längerfristig angelegte Untersuchung der Identifizierung, Meldung, systematischen Analyse und Evaluierung, Risikoabschätzung, Klassifizierung und Umsetzung von „Lektion-gelernt“ Aktionen für sicherheitsrelevante Ereignisse in *allen* Atomanlagen *aller* Länder darstellt.

Solange Atomkraftwerke und Anlagen betrieben werden, wird es ein Restrisiko geben. Vorläuferereignisse können nicht ausgeschaltet, die Möglichkeit eines zukünftigen schweren Unfalls kann nicht ausgeschlossen werden und es wäre nicht weise, die Möglichkeit

unerwünschter Zwischenfälle allein auf Grund geringer mathematischer Wahrscheinlichkeiten beiseite zu schieben. Und schließlich wäre es in der Tat verrückt anzunehmen, dass alle auslösenden Ereignisse ausreichend vorhergesehen werden könnten – wer hat schon die Art und Vorgehensweise der Angriffe des 11. September 2001 vorausgesehen?

Sechzehn ausgewählte signifikante Ereignisse in Atomkraftwerken in neun Ländern seit dem Tschernobyl Unfall 1986

Das Restrisiko Projektteam hat 16 Ereignisse aus neun Ländern ausgesucht, die zeigen, dass die Sicherheit von Atomkraftwerken weit von der Perfektion entfernt bleibt. Dies ist nicht die Rangfolge der signifikantesten Ereignisse sondern eher eine Auswahl bekannt gewordener signifikanter Ereignisse, die auch die spezifischen Kenntnisse und Erfahrungen der Mitglieder des Restrisiko Projektteams widerspiegelt. Die ausgesuchten Ereignisse werden detaillierter in Kapitel 9 dargestellt. Sie wurden in neun Kategorien eingeordnet (zur Orientierung sind die jeweiligen Kapitelnummern in Klammern angegeben).

Fortgeschrittener Materialverschleiß (vor Bruch) (siehe 9.2.1)

3. April 1991 Shearon Harris (USA) (siehe 9.2.1.1)

Am 3. April 1991 entdeckten Arbeiter am Shearon Harris Druckwasserreaktor in New Hill, North Carolina, beschädigte Rohrleitungen und Ventile innerhalb des Ersatz-Minimalwasserzufuhrsystems für die Pumpen des Kernnotkühlsystems. Die Schäden an Rohrleitungen und Ventilen waren schwerwiegend, so dass im Falle eines Unfalls, das Wasser anstatt den Reaktorkern zu kühlen, aus den Enden der gebrochenen Komponenten auf den Boden geflossen wäre. Die amerikanische Aufsichtsbehörde NRC hat das Kernschmelzrisiko dieses Ereignisses auf 6×10^{-3} oder 0.6% pro Reaktorbetriebsjahr berechnet. Das Ereignis wurde nicht auf der INES Skala eingestuft.

6. März 2002 Davis Besse (USA) (siehe 9.2.1.2)

Am 6. März 2002 entdeckten Arbeiter eine ananasgroßes Loch im Druckbehälterdeckel des Davis Besse Druckwasserreaktors in Oak Harbor, Ohio. Die Borsäure des Primärkühlmittels hatte sich komplett durch die 15 cm dicke Kohlenstoffstahlwand gefressen und hatte die 5 mm dünne rostfreie Stahlauskleidung freigelegt. Eine Regierungsstudie schätzte, dass das Loch sich in zwei bis elf Monaten bis zu dem Punkt erweitert hätte, dass die Stahlauskleidung geplatzt wäre. Da Davis-Besse 18 Monate lang zwischen den Brennstoffwechseln lief, ist es wahrscheinlich, dass es zu einem Kühlmittelverlustunfall gekommen wäre, hätte man den Schaden nicht während des Brennstoffwechsels 2002 entdeckt. Die NRC hat das Kernschmelzrisiko dieses Ereignisses auf 6×10^{-3} oder 0.6% pro Reaktorbetriebsjahr berechnet und stufte es auf INES Level 3 ein.

Signifikante Primärkühlmittellecks (siehe 9.2.2)

18. Juni 1988, Tihange-1 (Belgien) (siehe 9.2.2.1)

Am 18. Juni 1988, während der Druckwasserreaktor in Betrieb war, entstand plötzlich ein Leck in einem kurzen, nicht isolierbaren Stück Rohrleitung des Kernnotkühlsystems. Die Leckrate wurde auf etwa 1.300 Liter pro Stunde berechnet. Die Quelle des Lecks war ein Riss – 9 cm lang an der Innenseite der Rohrleitung und 4.5 cm lang an der Außenseite – der durch die Rohrwand ging. Das Risiko eines Rohrbruchs im Kernnotkühlsystem ist erheblich, wenn im Falle eines Kühlmittelverluststörfalles in einer bereits degradierten Sicherheitssituation das Notkühlsystem aktiviert wird, und große Mengen Kühlwassers eingespeist werden müssen.

12. Mai 1998, Civaux-1 (Frankreich) (siehe 9.2.2.2)

Der Civaux-1 Druckwasserreaktor war fünf Tage abgeschaltet, als, während Anfahrtests, ein Rohr des Nachzerfallswärmeabfuhrsystems mit 25 cm Durchmesser aufplatzte und ein großes Leck mit einer Leckage von 30.000 Litern pro Stunde im Primärkühlkreislauf entstand. Der Reaktorkern muss ständig gekühlt werden, auch wenn der Reaktor abgeschaltet ist, um die erheblichen Mengen an Nachzerfallswärme des Kerns abzuführen. Es dauerte neun Stunden, bis das Leck isoliert und die Situation stabilisiert werden konnte. Ein 18 cm langer Riss wurde an einer Schweißnaht identifiziert und 300 m³ Primärkühlwasser waren in das Reaktorgebäude geflossen. Der Reaktor war erst sechs Monate vor dem Ereignis in Betrieb gegangen und mit maximal 50 Prozent Leistung gefahren worden. Der Betreiber EDF schlug vor, das Ereignis auf Level 1 der INES Skala einzustufen, aber die Aufsichtsbehörde entschied sich für Level 2.

9. Februar 1991, Mihama-2 (Japan) (siehe 9.2.2.3)

Ein Bruch eines Dampferzeugerrohrs geschah im Mihama-2 Druckwasserreaktor. Es war das erste Ereignis dieser Art in Japan, bei dem die Kernnotkühlmitteleinspeisung aktiviert wurde. Der Betreiber untersuchte den Bruch und fand heraus, dass es sich um einen kompletten Rundumabriß handelte und dass der Bruch durch die Folge einer hochzyklischen Ermüdung war, verursacht durch Vibration. Nach Auslegung sollten alle Rohre in bestimmten Positionen im Dampferzeuger durch Anti-Vibrationsstangen gestützt sein. Doch das abgerissene Rohr war, wie berichtet wurde, wegen „inkorrekten Einbaus“ benachbarter Anti-Vibrationsstangen nicht angemessen gestützt.

Reaktivitätsrisiken (siehe 9.2.3)

12. August 2001, Philippsburg (Deutschland) (siehe 9.2.3.1)

Eine Abweichung von der spezifizierten Borkonzentration – Bor ist ein Neutronenabsorber, den man für die Verlangsamung oder das Abstellen der nuklearen Reaktion einsetzt – in drei von vier Flutbehältern seit dem vorangegangenen Wiederanfahren wurde den Behörden berichtet. Darüber hinaus war der in den Betriebsanweisungen erforderliche Füllstand während des Anfahrens in allen vier Flutbehältern nicht erreicht und nur mit Verzögerung korrigiert worden. Das Kernnotkühlssystem funktioniert nur effizient, wenn es nach den Auslegungsgrundsätzen betrieben wird. Nachfolgende Nachforschungen ergaben, dass erhebliche Abweichungen von vorgeschriebenen Anfahrbedingungen und die Verletzung zugehöriger Vorschriften wahrscheinlich über mehrere Jahre hinweg und in verschiedenen deutschen Atomkraftwerken gängige Praxis waren.

1. März 2005 Kozloduy-5 (Bulgarien) (siehe 9.2.3.2)

Während des Herunterfahrens des Druckwasserreaktors vom russischen Typ WWER stellte die Betriebsmannschaft fest, dass drei Steuerelemente in der oberen Position hängen geblieben waren. Nachfolgende Bewegungstests zeigten, dass 22 der 61 Steuerelemente nicht mit den Steuermechanismen bewegt werden konnten. Die genaue Anzahl der für eine Schnellabschaltung funktionsuntüchtigen (Einfallen nur durch Schwerkraft) Steuerelemente bleibt unbekannt, aber man geht davon aus, dass sie zwischen 22 und 55 lag. Das WWER-1000 Schnellabschaltssystem ist dafür ausgelegt, den Reaktor sicher herunterzufahren, wenn maximal ein Steuerelement in der oberen Position hängen bleibt. Der Betreiber hatte den Zwischenfall ursprünglich auf INES Level 0 eingeordnet, aber die Aufsichtsbehörde entschied letztendlich auf Level 2.

Brennstoffschaden (außerhalb des Druckbehälters) (siehe 9.2.4)

Paks (Ungarn) 2003 (siehe 9.2.4.1)

Die fehlerhafte Auslegung eines chemischen Systems zur Reinigung 30 teilbestrahlter Brennelemente von Korrosionsprodukten in einem speziellen Tank (außerhalb des Druckbehälters des Druckwasserreaktors) führte zu unzureichender Kühlung und zur schweren Beschädigung aller Brennelemente. Eine nachfolgende IAEA Untersuchung identifizierte acht separate Auslegungsfehler. Das System wurde von AREVA NP entwickelt, hergestellt und geliefert. Während des Unfalls wurden etwa das Vierfache an radioaktiven Edelgasen und fast das Zweihundertfache an Jod-131 und Aerosole frei, die im ganzen Jahr 2003 von allen 58 französischen Druckwasserreaktoren freigesetzt wurden. Das Ereignis wurde zunächst als INES Level 2 und schließlich als Level 3 eingestuft.

Feuer und Explosionen (siehe 9.2.5)

14. Dezember 2001, Brunsbüttel (Deutschland) (siehe 9.2.5.1)

Eine Wasserstoffexplosion führte zu starken Schäden an Rohrleitungen des Sprühsystems des Siedewasserreaktors. Die Deckelsprühleitung dient der Kühlung der inneren Oberfläche des Druckbehälterdeckels und des Flanschbereichs während des Stillstands. Die Leitung mit einem Durchmesser von 5,6 mm war an mehreren Stellen geplatzt. Ein 2,7 m langes Leitungsstück war aufgeplatzt und komplett zerstört. Einige Teile der Rohrleitung fehlten ganz. Bis zu diesem Ereignis wurde die Möglichkeit von schweren Explosionen durch Radiolysegas während des Normalbetriebes nahezu ausgeschlossen. Die Anlage lag über ein Jahr lang still und musste umfangreich nachgerüstet werden.

Totaler Stromausfall (siehe 9.2.6)

18. März 2001 Maanshan (Taiwan) (siehe 9.2.6.1)

Der Druckwasserreaktor wurde von einem totalen Verlust der externen und internen Stromversorgung betroffen. Die Stromversorgung ist essentiell, um die Nachzerfallswärme des Reaktorkerns abzuführen. Das Kraftwerk liegt am Meer. Salzablagerungen auf den Isolatoren der Hochspannungsleitung, durch nebliges Wetter hervorgerufen, führten zur Instabilität des Hochspannungsnetzes. Während einer Netzumschaltung löste ein Kurzschluss in einer Schaltanlage der Notstromversorgung einen Kabelbrand aus. Ein Leistungsschalter und Teile der Schaltanlage wurden durch das Feuer total zerstört und die Dieselgeneratoren konnten manuell zunächst wegen starker Verqualmung nicht gestartet werden. Es dauerte etwa zwei Stunden, bis die Stromversorgung wieder hergestellt werden konnte.

25. Juli 2006, Forsmark, Schweden (siehe 9.2.6.2)

Ein Kurzschluss in einer externen Umschaltstation des Hochspannungsnetzes nahe der beiden Forsmark Siedewasserreaktoren führte zur Schnellabschaltung von Block 1 und führte in einem komplexen Szenario zu einer Reihe nachfolgender Fehler in dem Kraftwerk. Auf Grund eines Auslegungsfehlers funktionierte die Umschaltung auf die Eigenstromversorgung – wobei das Kraftwerk seine eigene Stromerzeugung zur Versorgung wesentlicher Anlagenteile nutzt – nicht wie vorgesehen. Eine ungeeignete Stromrichtereinstellung führte zum Versagen des Versuchs, die sicherheitsrelevanten Anlagenteile an die Notstromversorgung anzuschließen. Der Start von zwei der vier Dieselgeneratoren schlug fehl, was sogar im Hauptkontrollraum zu einem teilweisen totalen Stromausfall führte. Auf Grund mangelnder Informationen über wichtige Parameter war der genaue Zustand des Kraftwerks und die Konsequenzen potentiell durchzuführender Handlungen für eine Weile völlig unklar. Die Betriebsmannschaft entschied sich trotzdem, den Versuch zu starten, das Kraftwerk wieder an das Netz anzuschließen, was erfolgreich durchgeführt werden konnte.

Generische Probleme – Sumpfsiebverstopfung (siehe 9.2.7)

28. Juli 1992, Barsebäck-2 (Schweden) (siehe 9.2.7.1)

Ein leckendes Steuerventil des Siedewasserreaktors Barsebäck-2 führte automatisch zum Auslösen verschiedener Sicherheitsfunktionen wie Schnellabschaltung, Hochdrucknoteinspeisung von Kühlwasser, Kern- und Containmentsprühsysteme. Der Hochdruckdampfstrahl, der aus einem offenen Sicherheitsventil der Frischdampfleitung entwich, traf Isolationsmaterial von umliegenden Anlagenteilen. Dieses Isoliermaterial wurde ausgewaschen, in das Druckabbaubecken gespült und beeinträchtigte das Kernnotkühlsystem, das im Falle eines Kühlmittelverlustes essentiell für die Wärmeabfuhr ist. Ähnliche Zwischenfälle gab es auch in mehreren anderen Ländern und es stellte sich heraus, dass das Problem viele, wenn nicht die meisten Leichtwasserreaktoren in der Welt betraf.

Naturereignisse (siehe 9.2.8)

27. Dezember 1999, Blayais-2 (Frankreich) (siehe 9.2.8.1)

Der Standort des Atomkraftwerkes Blayais an der Westküste Frankreichs wurde nach heftigen Stürmen von über 100.000 m³ Wasser überschwemmt mit dem Ergebnis, dass essentielle Sicherheitssysteme wie die Noteinspeisepumpen und die Containmentprühsysteme unter Wasser standen. Das elektrische System war auch betroffen. Die Stromversorgung war unterbrochen. Herumfliegende Objekte und Trümmer machten jede Intervention gefährlich. Alle vier Blöcke wurden abgeschaltet. Zum ersten Mal wurde in Frankreich die nationale Ebene des internen Notstandsplans aktiviert. Das Ereignis wurde INES Level 2 eingestuft.

Sicherheitsereignisse und vorsätzliche Handlungen (siehe 9.2.9)

7. Februar 1993, Three Mile Island (USA) (siehe 9.2.9.1)

Ein unautorisiertes Fahrzeug fuhr in die Eigentümer kontrollierte Zone (owner controlled area) des Atomkraftwerkes Three Mile Island (TMI) ein. Keine physische Barriere behinderte den Zugang. Das Fahrzeug fuhr weiter in die Schutzzone (protected area) der Anlage, zerstörte eines der Einfahrtore und krachte durch eine Metalltüre der Turbinenhalle des Blocks 1, der in vollem Leistungsbetrieb war. Das Fahrzeug stoppte erst 19 m innerhalb des Turbinengebäudes, nachdem es die Isolierung einer Hilfsdampfleitung gerammt und beschädigt hatte. Der Standort-Notstand (site emergency), die zweithöchste Alarmstufe, wurde ausgerufen. Dies war das zweite Mal, dass dies an diesem Kraftwerksstandort geschah (das erste Mal war der Kernschmelzunfall 1979). Der Eindringling wurde erst vier Stunden nachdem er auf den Standort vorgedrungen war gefasst.

Juli 2000, Farley (USA) (siehe 9.2.9.2)

Während einer Evaluierung der operationellen Sicherheitsmassnahmen (Operational Safeguards Response Evaluation) – eine Art Kriegsspielübung, um zu überprüfen, ob die Sicherheitskräfte eines Atomkraftwerkes sich effektiv gegen ein gegnerisches Team verteidigen könnten – konnten die Sicherheitskräfte des Farley Kraftwerks nicht verhindern, dass das gestellte gegnerische Team in zwei von vier Übungen ganze Zielsätze zerstörte (und

damit eine Kernschmelze simulierte) und in einer dritten Übung die Zerstörung „signifikanter Anlagenteile“ simulierte.

29. August 2002, 17 TEPCO Reaktoren (Japan) (siehe 9.2.9.3)

Die Tokyo Electric Power Company (TEPCO) betreibt 17 Siedewasserreaktoren und war eine der respektiertesten großen Firmen in Japan. Am 29. August 2002 schockierte die Japanische Aufsichtsbehörde NISA (Nuclear Industrial Safety Agency) die Nation mit der öffentlichen Enthüllung eines massiven Datenfälschungsskandals bei TEPCO. Zu diesem Zeitpunkt waren 29 Fälle von Manipulation bekannt geworden, einschließlich der Fälschung der vom Betreiber sich selbst auferlegten Inspektionsdaten aus seinen Atomkraftwerken über viele Jahre hinweg. In der Folge mussten alle 17 TEPCO Reaktoren für Inspektionen und Reparaturen abgeschaltet werden. Später stellte sich heraus, dass diese Praktiken mindestens bis zu 25 Jahre lang gang und gebe waren. Die Gesamtzahl der Ereignisse wird auf bisher knapp 200 beziffert. Doch Enthüllungen von Vertuschungen und Manipulationen haben sich auf alle großen Atomkraftwerksbetreiber in Japan ausgeweitet und reißen nicht ab. Im zuletzt im April 2007 bekannt gewordenen Fall, gab der Betreiber Hokuriku Electric zu, dass vor fast acht Jahren ein Kritikalitätszwischenfall in seinem Shika-1 Siedewasserreaktor stattgefunden hat.

Picture credit cover page : Oak Ridge National Laboratory