

Sicherheit von West- und Osteuropäischen Kernkraftwerken

Ing. Antonia Wenisch
Beitrag für das Anti-Atom-Symposium 1999
Aktualisierte Fassung Dezember 2001

Vorbemerkung

Das Ökologie-Institut lehnt die Nutzung der Atomenergie ab. Die Möglichkeit eines schweren Unfalls ist bei keinem Atomkraftwerk (AKW) völlig auszuschließen. Auch das „sicherste“ AKW kann unter ungünstigen Bedingungen große Mengen radioaktiver Stoffe in die Umwelt freisetzen, ganz egal wie ausgefeilt und kompliziert die Systeme sind, die dies verhindern sollen. Die Folgen eines Unfalls könnten große Gebiete (auch weit entfernte) betreffen. Dazu kommt, dass das Problem der Lagerung radioaktiver Abfälle weiterhin ungelöst ist.

Nicht nur aus diesen Gründen setzt sich das Ökologie-Institut seit Jahren für eine Energiewende ein, die den Ausstieg aus der Atomenergie bedingt. Das Ziel ist der Umstieg auf erneuerbare Energieträger sowie eine effizientere Nutzung. Jeder Euro, der statt in die Atomenergie in die Energiewende investiert wird, ist ein Schritt näher zum Erreichen der europäischen Klimaschutzziele.

Die hier vorliegende Zusammenfassung beruht auf mehreren Arbeiten des Ökologie-Instituts aus dem Jahr 1998/99 und stellt den Versuch dar, einen Vergleich zwischen verschiedenen europäischen Kernkraftwerken zu ermöglichen. Der Zweck der Arbeit war in erster Linie die Beantwortung der Frage, ob West-AKW sicherer sind als Ost-AKW. Aufgrund aktueller Anfragen in Zusammenhang mit dem AKW Temelin wurde die Arbeit im Dezember 2001 aktualisiert.

Methode

Es gibt unterschiedliche Methoden, die Sicherheit von Kernkraftwerken (AKWs) zu bewerten. Ich habe mich für eine qualitative Bewertung entschieden. Ein Vergleich zwischen AKWs verschiedenen Alters, verschiedener Hersteller, Bauarten und Reaktortypen erfordert einen hohen Abstraktionsgrad. Die Kriterien, die zugrundegelegt werden, können nicht all zu viele Details berücksichtigen. Deshalb sind spezifische sicherheitstechnische Probleme einzelner AKWs in einem solchen Vergleich nicht erfasst.

Kriterien

- Reaktortyp
- Alter
- Sicherheitssysteme und Auslegung
- physikalische Eigenschaften
- Standortfaktoren
- Wartung und finanzielle Aspekte

Von diesen Kriterien ausgehend wurde eine qualitative Reihung der AKWs mit Hinblick auf die Mängel erstellt. Diese werden in Tabelle 2 durch einen oder mehrere schwarze Punkte (■) dargestellt.

Reaktortyp

In Europa werden sehr unterschiedliche Typen verwendet: Druckwasserreaktoren, Siedewasserreaktoren, Druckröhrenreaktoren bzw. RBMK-Reaktoren und Gas-Grafit-Reaktoren.

Druckwasserreaktor

Am häufigsten wird in Europa der Druckwasserreaktor eingesetzt, bei dem der Reaktorkern in einem Druckkessel untergebracht ist. Reaktorkühlsystem und Dampfkreislauf sind als getrennte Kühlsysteme ausgeführt. Als Schnittstelle fungiert ein Wärmetauscher (Dampferzeuger). In den meisten neuen Druckwasserreaktoren ist der Primärkreis vollständig in einem Containment (Sicherheitseinschluss) eingeschlossen. Der Primärkreis ist in mehreren Schleifen ausgeführt, mit einer entsprechenden Anzahl von Dampferzeugern und Kühlpumpen. Die Anzahl dieser Kühlkreislaufschleifen ist unterschiedlich (kleinen Reaktoren wie Krsko haben zwei Schleifen; WWER 440 Reaktoren haben sechs Schleifen).

Das Containment schließt den Primärkreis bei einem Unfall vollständig von der Umwelt ab. Wegen der vielen Durchführungen durch die Containmentwände kann die vollständige Isolation jedoch beeinträchtigt werden, zum Beispiel durch Ventilversagen. Bei einem Unfall können Wasserstoffexplosionen und Druckaufbau zum Versagen des Sicherheitseinschlusses führen. Verschiedene zusätzliche Einrichtungen sollen dies verhindern (zum Beispiel Containment-Sprays, Druckentlastungsventile, Wasserstoffrekombinatoren).

Die meisten Druckwasserreaktoren haben ein Containment, die älteste Baulinie der WWER 440 Reaktoren jedoch nicht. Auch die zweite Generation dieser Reaktoren hat kein Volldruckcontainment, sondern ein Druckabbausystem, wie es viele Siedewasserreaktoren haben .

Siedewasserreaktor

Der wesentliche Unterschied zum Druckwasserreaktor besteht darin, dass im Siedewasserreaktor der Reaktorkühlkreis auch der Dampferzeugung dient. Durch den Dampfabscheider wird ein geringer Teil des Kühlmittels auf die Turbine geführt.

Siedewasserreaktoren sind bei Leckstörfällen auf Druckabbausysteme angewiesen, die den radioaktiven Dampf aus dem Reaktorkühlkreis in eine Wärmesenke (Wasserbecken) einleiten. Denn nur wenige Siedewasserreaktoren (zum Beispiel die schwedischen) haben ein Volldruckcontainment.

Druckröhrenreaktor oder RBMK-Reaktor

Solche Reaktoren werden heute nur noch in Russland und Litauen betrieben, zum Beispiel im AKW Tschernobyl. RBMK-Reaktoren sind Siedewasserreaktoren mit Grafitmoderator. Das gesamte Reaktorkühlsystem ist in zwei Schleifen ausgeführt. Der Austausch der Brennelemente erfolgt während des Betriebs.

Volldruckcontainment gibt es keines, der sichere Einschluss ist auf ein Druckabbausystem angewiesen. Ein gravierendes Problem des RBMK-Reaktors besteht darin, dass Kühlmittelverlust nicht automatisch auch ein Ende der Kettenreaktion bedeutet, da die Druckröhren vom Grafitmoderator umschlossen sind.

Gas-Grafit-Reaktoren

Auch bei diesen Reaktoren sind Kühlmittel und Moderator getrennt. Die Beladung des Reaktorkerns ist während des Betriebes möglich. Deshalb weisen diese Reaktoren ähnliche Probleme auf wie der Druckröhrenreaktor.

Sicherheitsmängel

Negativpunkte für Sicherheitsmängel wurden folgendermaßen zugeteilt:

kein Containment = ■ ■

kein Volldruckcontainment, aber Druckabbausystem = ■

keine ausreichenden Sicherheitssysteme = ■

kein ausreichender Brandschutz = ■

Materialprobleme (ungeeignetes Ausgangsmaterial, Versprödungsgefahr) = ■

Leistungsexkursion möglich (unkontrollierter plötzlicher Anstieg der Leistung) = ■

Standort

Dort wo es bekannt ist, wurde die Erdbebengefährdung der Standorte bewertet. Nicht berücksichtigt ist das Problem der Häufung mehrerer Anlagen an einem Standort. Darauf wurde verzichtet, weil die gegenseitige Beeinflussung bei einem Unfall schwer zu beurteilen wäre.

In Zeiten von Krieg und Terror stellt eine geographische Häufung bzw. Ansammlung radioaktiven Inventars eine zusätzliche Gefahr dar. Auch externe Ereignisse wie Erdbeben können mehrere Reaktorblöcke treffen, wenn sie sich in räumlicher Nähe befinden. Das historisch einzige Ereignis, bei dem eine solche Beeinflussung hätte eintreten können, war die Explosion des Reaktors von Tschernobyl. Trotz räumlicher Nähe blieb der Unfall auf einen einzigen Block beschränkt.

Alter

Da die Reaktorindustrie so wie jede andere Technologie aus Fehlern lernt, darf man davon ausgehen, dass in moderneren AKWs bereits erkannte Mängel vermieden wurden und sich die Technik weiterentwickelt.

Mit steigendem Alter nehmen Materialprobleme in Reaktoren in der Regel zu. Das gilt insbesondere dann, wenn das Ausgangsmaterial hohe Verunreinigung aufweist. Daher gibt es bei über 40 Jahre alten AKWs zwei schwarze Punkte (■ ■), bei über 20 Jahren alten AKWs einen schwarzen Punkt. Materialprobleme entstehen als Folge der Beanspruchung des Druckkessels durch hohe Temperatur und Druckunterschiede sowie durch die Neutronenstrahlung, die zur Versprödung führt.

Zum Teil kann Materialproblemen entgegengewirkt werden: durch den Austausch von Komponenten oder durch Nachbearbeitungen (zum Beispiel Ausglühen der Druckkessel). Es wird jedoch kaum möglich sein, einen alten Reaktor ständig aktuellen technischen Entwicklungen anzupassen. Ein 20 Jahre altes AKW kann also kaum dem letzten Stand der Technik entsprechen. Nicht zuletzt deshalb sind die IAEA-Sicherheitsziele für neue Reaktoren deutlich höher als für bereits in Betrieb befindliche.

Tabelle 1: Alter der AKWs in Europa (Stand 2001)

Anlage	Land	Anzahl/Reaktortyp/ Leistung/Bezeichnung	Alter in Jahren
Calder Hall	GB	4*GCR 50 Magnox	45
Chapelcross	GB	4*GCR 50 Magnox	42
Bradwell	GB	2*GCR 150 Magnox	39
Dungeness A	GB	2*GCR 270 Magnox	36
Sizewell A-1	GB	2*GCR 290 Magnox	35
Oldbury -1	GB	2*GCR 360 Magnox	34
Obrigheim	Germany	PWR 340	33
Zorita	Spain	PWR 150	33
Beznau	Switzerland	2*PWR 350	32
Wylfa	GB	2*GCR 590 Magnox	30
Nowo-Woronesh-3	Russia	WWER 380	30
St.Maria de Garona	Spain	BWR 440	30
Oskarshamn-1	Sweden	BWR440	30
Mühleberg	Switzerland	BWR 320	30
Stade	Germany	PWR 640	29
Nowo-Woronesh-4	Russia	WWER 440 V230	29
BN-350	Kazachstan	FBR 135	28
Borssele	Netherlands	PWR450	28
Kola	Russia	4*WWER 440 V230	28
Sosnowi Bor	Russia	4*RBMK 1000	28
Doel-1/2	Belgium	2*PWR 400	27
Kozloduy-1/4	Bulgaria	WWER 440 V230	27
Biblis-A	Germany	PWR 1200	27
Oskarshamn-2	Sweden	BWR600	27
Ringhals-1	Sweden	BWR 800	27
Ringhals-2	Sweden	PWR 900	27
Hinkley Point	GB	2*AGR 625	25
Hunterston	GB	2*AGR 625	25
Biblis-B	Germany	PWR 1300	25
Brunsbüttel	Germany	BWR 770	25
Neckar-1	Germany	PWR 800	25
Kursk-1	Russia	4*RBMK 1000	25
Loviisa	Finland	2*WWER 440	24
Fessenheim	France	2*PWR 900	24
Isar-1	Germany	BWR 870	24
Barsebeck-2	Sweden	BWR600	24
TVO	Finland	2*BWR 700	23
Bugey	France	4*PWR 900	23
Unterweser	Germany	PWR 1300	23
Bohunice V1	Slovakia	2*WWER 440 V230	23
Armenia	Armenia	WWER 440 V270	22
Phillipsburg-1	Germany	BWR 900	22
Gösgen	Switzerland	PWR 940	22
Dampierre	France	4*PWR 900	21
Gravelines	France	6*PWR 900	21
Tricastin	France	4*PWR 900	21
BN-600	Russia	FBR 560	21

Anlage	Land	Anzahl/Reaktortyp/ Leistung/Bezeichnung	Alter in Jahren
Nowo-Woronesh-5	Russia	WWER 1000	21
Forsmark-1	Sweden	2*BWR 970	21
Rowno-1/2	Ukraine	2*WWER 440 V213	21
St.Laurent -B	France	2*PWR 900	20
Grafenrheinfeld	Germany	PWR 1300	20
Krsko	Slovenia	PWR 630	20
Almaraz	Spain	2*PWR 900	20
Ringhals-3/4	Sweden	2*PWR 900	20
Tihange-2	Belgium	3*PWR 1000	19
Blayais	France	4*PWR 900	19
Chinon	France	4*PWR 900	19
Paks-1	Hungary	4*WWER 440 V213	19
Smolensk-1	Russia	3*RBMK 1000	19
South Ukraine-1	Ukraine	3*WWER 1000	19
Cruas	France	4*PWR 900	18
Dungeness -B	GB	2*AGR 625	18
Krümmel	Germany	BWR 1260	18
Ignalina	Lithuania	2*RBMK 1500	18
Asco-1	Spain	2*PWR 900	18
Paluel	France	4*PWR 1300	17
Hartlepool	GB	2*AGR 625	17
Heysham	GB	4*AGR 625	17
Grohnde	Germany	PWR 1300	17
Gundremmingen-B	Germany	BWR 1240	17
Gundremmingen-C	Germany	BWR1240	17
Phillipsburg-2	Germany	PWR 1300	17
Kalinin	Russia	2*WWER 1000	17
BohuniceV2	Slovakia	2*WWER 440 V213	17
Cofrentes	Spain	BWR 900	17
Leibstadt	Switzerland	BWR 1000	17
Zaporoshje	Ukraine	6*WWER 1000	17
Doel 3/4	Belgium	PWR 1000	16
Flamanville	France	2*PWR 1300	16
St.Alban	France	2*PWR 1300	16
Balachowo	Russia	4*WWER 1000	16
Forsmark-3	Sweden	BWR 1100	16
Oskarshamn-3	Sweden	BWR1200	16
Dukovany-2	Czech Republic	4*WWER 440 V213	15
Brokdorf	Germany	PWR 1300	15
Rowno-3	Ukraine	WWER 1000	15
Kozloduy-5/6	Bulgaria	2*WWER 1000	14
Bellevalle	France	PWR 1300	14
Cattenom	France	4*PWR 1300	14
Paks-4	Hungary	WWER 440V213	14
Vandellós-2	Spain	PWR 940	14
Chmelnitzki-1	Ukraine	WWER 1000	14
Nogent	France	2*PWR 1300	13
Torness Point-1	GB	2*AGR 645	13
Emsland	Germany	PWR 1300	13

Qualitative Bewertung des Risikos einzelner AKWs

Sizewell A	GB	2*GCR 325 Magnox	■■■■■■■■
Oldbury	GB	2*GCR 310 Magnox	■■■■■■■■
Kozloduy-5/6	Bulgaria	2*WWER 1000	■■■■■■■■
Rowno-1/2	Ukraine	2*WWER 440 V213	■■■■■■■■
Wylfa	GB	2*GCR 670 Magnox	■■■■■■■■
St.Maria de Garona	Spain	BWR 440	■■■■■■■■
Kola-3/4	Russia	2*WWER 440 V213	■■■■■■■■
Bohunice-3/4	Slovakia	2*WWER 440 V213	■■■■■■■■
Zaporoshje	Ukraine	6*WWER 1000	■■■■■■■■
Rowno-3	Ukraine	WWER 1000	■■■■■■■■
Brunsbüttel	Germany	BWR 770	■■■■■■■■
Zorita	Spain	PWR 150	■■■■■■■■
Obrigheim	Germany	PWR 340	■■■■■■■■
Nowo-Woronesh-5	Russia	WWER 1000	■■■■■■■■
Mühleberg	Switzerland	BWR 320	■■■■■■■■
Krsko	Slovenia	PWR 630	■■■■■■■■
Stade	Germany	PWR 640	■■■■■■■■
South Ukraine	Ukraine	4*WWER 1000	■■■■■■■■
Borssele	Netherlands	PWR 450	■■■■■■■■
Hunterston B	GB	2*AGR 660	■■■■■■■■
Hinkley Point B	GB	2*AGR 680	■■■■■■■■
Kalinin-1/2	Russia	2*WWER 1000	■■■■■■■■
Chmelnitzki-1	Ukraine	WWER 1000	■■■■■■■■
Beznau-1/2	Switzerland	2*PWR 350	■■■■■■■■
Balachowo	Russia	4*WWER 1000	■■■■■■■■
Oskarshamn-1	Sweden	BWR 440	■■■■■■■■
Krümmel	Germany	BWR 1260	■■■■■■■■
Dungeness -B	GB	2*AGR 660	■■■■■■■■
Ringhals-1	Sweden	BWR 800	■■■■■■■■
Oskarshamn-2	Sweden	BWR 600	■■■■■■■■
Hartlepool	GB	2*AGR 660	■■■■■■■■
Doel-1/2	Belgium	2*PWR 400	■■■■■■■■
Biblis-A	Germany	PWR 1200	■■■■■■■■
Barsebeck-1/2	Sweden	2*BWR 600	■■■■■■■■
Tihange	Belgium	3*PWR 900	■■■■■■■
Dukovany	Czech Republic	4*WWER 440 V213	■■■■■■■
Cernavoda-1	Romenia	PHWR 700	■■■■■■■
Paks	Hungary	4*WWER 440V213	■■■■■■■
Loviisa	Finland	2*WWER 440	■■■■■■■
Isar-1	Germany	BWR 870	■■■■■■■
Fessenheim-1/2	France	2*PWR 900	■■■■■■■
TVO-1/2	Finland	2*BWR 700	■■■■■■■
Torness Point	GB	2*AGR 680	■■■■■■■
Mochovce	Slovakia	2*WWER 440 V213	■■■■■■■
Heysham	GB	4*AGR 680	■■■■■■■
Phillipsburg-1	Germany	BWR 900	■■■■■■■
Bugey	France	4*PWR 900	■■■■■■■
Gravelines-1/2	France	2*PWR 900	■■■■■■■
Forsmark-1/2	Sweden	2*BWR 970	■■■■■■■
Tricastin	France	2*PWR 900	■■■■■■■

Qualitative Bewertung des Risikos einzelner AKWs

St.Laurent- B 1/2	France	2*PWR 900	■■■■■■
Ringhals 2-4	Sweden	3*PWR 900	■■■■■■
Dampierre	France	4*PWR 900	■■■■■■
Almaraz	Spain	2*PWR 900	■■■■■■
Doel-3/4	Belgium	2*PWR 900	■■■■■■
Blayais-3/4	France	4*PWR 900	■■■■■■
Asco	Spain	2*PWR 900	■■■■■■
Leibstadt	Switzerland	BWR 1000	■■■■■■
Gundremmingen	Germany	2*BWR 1240	■■■■■■
Gravelines	France	4*PWR 900	■■■■■■
Cruas	France	4*PWR 900	■■■■■■
Cofrentes	Spain	BWR 900	■■■■■■
Oskarshamn-3	Sweden	BWR 1200	■■■■■■
Forsmark-3	Sweden	BWR 1100	■■■■■■
Neckar-1	Germany	PWR 800	■■■■■
Biblis-B	Germany	PWR 1300	■■■■■
Chinon-B	France	4*PWR 900	■■■■■
Vandellos-2	Spain	PWR 940	■■■■■
Unterweser	Germany	PWR 1300	■■■■■
Trillo	Spain	PWR 1000	■■■■■
Temelin	Czech Republic	PWR 1000	■■■■■
Gösgen	Switzerland	PWR 940	■■■■■
Grafenrheinfeld	Germany	PWR 1300	■■■■■
Phillipsburg-2	Germany	PWR 1300	■■■■■
Grohnde	Germany	PWR 1300	■■■■■
St.Alban-1/2	France	2*PWR 1300	■■■■
Paluel	France	4*PWR 1300	■■■■
Flamanville-1/2	France	2*PWR 1300	■■■■
Brokdorf	Germany	PWR 1300	■■■■
Nogent-1/2	France	2*PWR 1300	■■■■
Belleville-1/2	France	2*PWR 1300	■■■■
Isar-2	Germany	PWR 1300	■■■■
Emsland	Germany	PWR 1300	■■■■
Neckar-2	Germany	PWR 1300	■■■■
Penley-1/2	France	2*PWR 1300	■■■■
Golfech	France	2*PWR 1300	■■■■
Cattenom-3/4	France	4*PWR 1300	■■■■
Sizewell-B	GB	PWR 1200	■■■
Chooz-B 1/2	France	2*PWR 1500	■■■
Civaux-1/2	France	2*PWR 1500	■■■

Kommentar zum Ranking

Die Tabelle zeigt eine Rangliste der Gefährdung durch AKWs in Europa unter Zugrundelegung der oben erläuterten Kriterien. Da einige AKWs in Asien bei einem Unfall Auswirkungen auf angrenzende europäische Länder haben könnten, sind auch ein armenisches und ein kasachisches AKW in der Tabelle angeführt.

Das gefährlichste europäische AKW ist Kozloduy (Bulgarien) mit 13 Schlechtpunkten. Die Gründe sind der schlechte Standort (Erdbebengefährdung), fehlendes Geld und zahlreiche sicherheitstechnische Mängel. Im Mittelfeld (6-8 Schlechtpunkte) rangieren sowohl ost- als auch westeuropäische AKWs, Krsko (Slowenien) genau so wie Krümmel und Gundremmingen (Deutschland). Das tschechische AKW Temelin kommt in dieser Bewertung auf 5 Schlechtpunkte. Nur drei Negativpunkte haben neue französische AKWs wie Civaux, wobei erwähnenswert ist, dass diese überaus große Anfangsschwierigkeiten hatten, insbesondere mit einem neuen Reaktor-Steuerungssystem. Die Mängel wurden aber vor Beginn des kommerziellen Betriebes beseitigt.

Anhang 1

Quantitative Sicherheitsanalysen

Das Risiko von Atomkraftwerken (AKW) quantitativ zu erfassen (und nicht qualitativ wie in der oben stehenden Arbeit), ist überaus schwierig. Ein AKW ist ein komplexes System und besteht aus einigen Millionen mehr oder weniger komplizierten Einzelteilen.

Im Rahmen von probabilistischen (wahrscheinlichkeitstheoretischen) Sicherheitsanalysen (PSA) werden mittels Bauteilprüfungen die Wahrscheinlichkeiten für den Ausfall einzelner Bauteile bzw. Bauteilgruppen ermittelt. Fehlerbaumanalysen liefern dann die Ausfallwahrscheinlichkeiten für Teilsysteme und für das Gesamtsystem bis zur Ermittlung der Wahrscheinlichkeit schwerer Unfälle. Eine Auswertung ist nur statistisch möglich, wobei das Ergebnis mit großen Unsicherheiten behaftet ist (mindestens Faktor 10). Dazu kommt, dass keinesfalls für alle AKWs Ergebnisse von PSAs vorliegen, und wenn sie vorliegen, sind sie nicht immer vergleichbar.

Das Ergebnisse von PSAs sind außerdem schwierig zu interpretieren. Sie werden nicht durchgeführt, um die Sicherheit oder Gefährlichkeit eines bestimmten AKWs nachzuweisen, sondern sind ein Hilfsmittel, um Schwachstellen zu analysieren und Investitionen in die Sicherheit möglichst effizient zu gestalten.

Ganz allgemein sind solche Wahrscheinlichkeitsberechnungen in Zusammenhang mit AKWs **für die Öffentlichkeit** wenig aufschlussreich. Sie sind geeignet, um das Risiko dort anzugeben, wo es tatsächlich um große Zahlen geht (z. B. Unfälle im Straßenverkehr) – bei weltweit 430 AKWs und gerade 40 Betriebsjahren sind statistische Werte nicht sehr aussagekräftig.

Die mit PSAs ermittelten Kernschmelzhäufigkeiten liegen zwischen 10^{-3} und 10^{-5} Vorkommnissen pro Jahr (Bandbreite zumindest ein Faktor 10).

Im folgenden führen wir einige Beispiele an, für die aus PSAs ermittelten Eintrittswahrscheinlichkeiten für schwere Unfälle in Kernkraftwerken:

- Für das AKW Dukovany wurde 1994 eine noch nicht umfassende PSA durchgeführt, die Kernschmelzhäufigkeit wurde dabei mit $3 \cdot 10^{-5}$ ermittelt. Die Ergebnisse der später ergänzten PSA ergaben $2 \cdot 10^{-4}$.
- Für das AKW Bohunice V1 wurde als Ziel der Rekonstruktion genannt, dass die Kernschmelzhäufigkeit 1999 unter 10^{-4} liegen solle.
- Für das finnische AKW Loviisa wurde die Wahrscheinlichkeit für den Eintritt schwerer Unfälle mit 10^{-4} ermittelt (1998).
- Für die schwedischen AKW Oskarshamn und Barsebaeck wurde 1998 die Wahrscheinlichkeit für den Eintritt schwerer Unfälle als größer $1 \cdot 10^{-4}$ ermittelt.

Die IAEA setzt probabilistische Sicherheitsziele für neue Reaktoren deutlich höher an als für bereits in Betrieb befindliche. Die Kernschmelzhäufigkeit für Altanlagen soll maximal 10^{-4} für neue maximal 10^{-5} betragen. Die Wahrscheinlichkeit für die Freisetzung großer Mengen radioaktiver Stoffe, soll noch um einen Faktor 10 darunter liegen – also für Altanlagen bei 10^{-5} und für neue bei 10^{-6} (IAEA INSAG 3).

Anhang 2

Methodik und Ergebnisse früherer Arbeiten des Ökologie-Institutes

Einen interessanten Ansatz für eine quantitative Bewertung des Risikos legt Y. Sinyak vom Institut für Systemanalyse in Laxenburg vor [SINYAK 1995]. Seine Einschätzung des Freisetzungsriskos gründet im wesentlichen auf der Wirksamkeit der Rückhalteeinrichtungen (Containment, Druckabbausysteme). Ausgehend von den Sicherheitszielen der IAEO vergleicht Sinyak die Wahrscheinlichkeit für schwere Unfälle mit Freisetzung radioaktiver Stoffe für verschiedene Reaktortypen und Baulinien. Analog wurden vom Ökologie-Institut für ältere westliche Reaktoren (Magnox, fortgeschrittene Gas-Grafitreaktoren, Siedewasserreaktoren) ebenfalls Containment-Faktoren eingesetzt:

Tabelle 3: Risikovergleich für verschiedene Reaktortypen

Reaktor	Containment-Faktor für erhöhtes Freisetzungsrisiko im Vergleich zu West-DWR (in Betrieb)	Wahrscheinlichkeit für Unfall mit großer Freisetzung radioaktiver Stoffe
DWR, SWR (westl. Bauart, mit Volldruckcontainment - in Betrieb)	1	1E-5
RBMK 1. Generation	10	1E-4
RBMK 2. Generation	5	5E-5
WWER 440 V230	10	1E-4
WWER 440 V213	5	5E-5
WWER 1000	2	2E-5
WWER 1000 (nach 2000)	1	1E-5
PWR nach 2000	1	1.0E-6
AGR	5	5E-5
Magnox	10	1.0E-4
SWR ohne Volldruckcontainment	5	5E-5

Wird dem Ranking nur das Kriterium Risiko für Freisetzung radioaktiver Stoffe nach obenstehender Tabelle zugrundegelegt, erhält man die Gruppe der gefährlichsten Reaktoren: Bohunice-1 /2, Nowo-Woronesh-3 / 4, Sosnowi Bor-1 / 2, Kola-1/ 2, Kursk 1 / 2, BN-600 (Byeloyarsk 3), Calder Hall, Chapelcross, Bradwell-1 / 2, Dungeness –A, Hinkley Point A, Sizewell A, Oldbury –1 / 2, Wylfa-1 / 2, Kozloduy 1-4

Neben der sicherheitstechnischen Auslegung ist das Alter der Anlage ein wesentlicher Faktor für die Sicherheit. Wir unterstellen dafür eine lineare Zunahme des Risikos, die v.a. durch Alterung der Komponenten bestimmt wird. Angenommen wurde eine Verdoppelung des Risikos nach 20 Betriebsjahren.

In einem ersten Bewertungsansatz wurde der Risikofaktor für Freisetzung und der Indikator für die Alterung miteinander verknüpft, das Ergebnis wurde in Beziehung gesetzt zum IAEO Zielwert von 1E-5 für in Betrieb befindliche Reaktoren. Dabei lassen sich deutlich 2 Gruppen ermitteln: AKWs die das Ziel nicht erreichen einerseits und andererseits jene Reaktoren, die dem Sicherheitsziel für neue Anlagen nahe kommen. Jene AKWs, die in nachfolgender Tabelle nicht aufscheinen, fallen ins breite Mittelfeld.

Tabelle 4: Risiko ermittelt aus Freisetzungsrisiko verknüpft mit dem Alter einzelner Anlagen im Vergleich zum IAEO Sicherheitsziel für in Betrieb befindliche AKWs („Altanlagen“):

AKW / Block	Reaktortyp	Baubeginn	Inbetriebnahme
Risiko größer als Sicherheitsziel der IAEO			
Calder Hall-1	GCR 50 Magnox	1953	1956
Calder Hall-2	GCR 50 Magnox	1953	1957
Calder Hall-3	GCR 50 Magnox	1955	1958
Calder Hall-4	GCR 50 Magnox	1955	1959
Chapelcross-1	GCR 50 Magnox	1955	1959
Chapelcross-2	GCR 50 Magnox	1955	1959
Chapelcross-3	GCR 50 Magnox	1955	1959
Chapelcross-4	GCR 50 Magnox	1955	1960
Bradwell-1	GCR 150 Magnox	1957	1962
Bradwell-2	GCR 150 Magnox	1957	1962
Dungeness -A1	GCR 270 Magnox	1960	1965
Dungeness -A2	GCR 270 Magnox	1960	1965
Hinkley Point A1	GCR 266 Magnox	1957	1965
Hinkley Point A2	GCR 266 Magnox	1957	1965
Sizewell A-1	GCR 290 Magnox	1961	1966
Sizewell A-2	GCR 290 Magnox	1961	1966
Oldbury -1	GCR 360 Magnox	1962	1967
Oldbury -2	GCR 360 Magnox	1962	1968
Wylfa-1	GCR 590 Magnox	1963	1971
Wylfa-2	GCR 590 Magnox	1963	1971
Nowo-Woronesh-3	WWER 380	1967	1971
Nowo-Woronesh-4	WWER 440 V230	1967	1972
Sosnowi Bor-1	RBMK 1000	1970	1973
Kola-1	WWER 440 V230	1970	1973
Kozloduy-1	WWER 440 V230	1970	1974
Sosnowi Bor-2	RBMK 1000	1970	1975
Kola-2	WWER 440 V230	1973	1975
Kozloduy-2	WWER 440 V230	1970	1975
Dounreay	FBR 250	1966	1975
Kursk-1	RBMK 1000	1972	1976
Bohunice-1	WWER 440 V230	1974	1978
Kursk-2	RBMK 1000	1973	1979
Armenia-2 (Metsamor)	WWER 440 V270	1975	1979
BN-600	FBR 560	1969	1980
Bohunice-2	WWER 440 V230	1974	1980
Kozloduy-3	WWER 440 V230	1973	1980
Kozloduy-4	WWER 440 V230	1973	1982
St.Maria de Garona	BWR 440	1966	1971
Mühleberg	BWR 320	1967	1971
Brunsbüttel	BWR 770	1970	1976
Hinkley Point B1	AGR 625	1967	1976
Hinkley Point B2	AGR 625	1967	1976
Hunterston-B1	AGR 625	1967	1976
Isar-1	BWR 870	1972	1977
Hunterston-B2	AGR 625	1967	1977
Sosnowi Bor-3	RBMK 1000	1973	1979
Phillipsburg-1	BWR 900	1970	1979
Rowno-1	WWER 440 V213	1976	1980

Sosnowi Bor-4	RBMK 1000	1975	1981
Rowno-2	WWER 440 V213	1977	1981
Kola-3	WWER 440 V213	1977	1981
Risiko geringer als Sicherheitsziel der IAEO für „Altanlagen“			
Biblis-B	PWR 1300	1972	1976
Unterweser	PWR 1300	1972	1978
Rostov-1	WWER 1000	1981	2001
Temelin-1	PWR WWER 1000	1984	2002
Temelin-2	PWR WWER 1000	1985	2002
Grafenrheinfeld	PWR 1300	1975	1981
Grohnde	PWR 1300	1976	1984
Phillipsburg-2	PWR 1300	1977	1984
Paluel-1	PWR 1300	1977	1984
Paluel-2	PWR 1300	1978	1984
Flamanville-1	PWR 1300	1979	1985
Paluel-3	PWR 1300	1979	1985
St.Alban-1	PWR 1300	1979	1985
Brokdorf	PWR 1300	1976	1986
Flamanville-2	PWR 1300	1980	1986
Paluel-4	PWR 1300	1980	1986
St.Alban-2	PWR 1300	1979	1986
Belleville-1	PWR 1300	1980	1987
Nogent-1	PWR 1300	1981	1987
Cattenom-1	PWR 1300	1979	1987
Emsland	PWR 1300	1982	1988
Isar-2	PWR 1300	1982	1988
Belleville-2	PWR 1300	1980	1988
Nogent-2	PWR 1300	1982	1988
Cattenom-2	PWR 1300	1980	1988
Neckar-2	PWR 1300	1982	1989
Golfesch-1	PWR 1300	1982	1990
Penley-1	PWR 1300	1982	1990
Cattenom-3	PWR 1300	1982	1990
Cattenom-4	PWR 1300	1983	1991
Penley-2	PWR 1300	1984	1992
Golfesch-2	PWR 1300	1984	1993
Sizewell-B	PWR 1200	1988	1995
Chooz-B1	PWR, 1500	1984	1996
Chooz-B2	PWR 1500	1985	1997
Civaux-1	PWR 1500	1988	2001

Anhang 3

Literatur

Das AAI-Atomhandbuch / Högelsberger, Heinz (Red.) - Wien: Anti Atom International - AAI, 2000.

GRS: Deutsche Risikostudie Phase B

IAEA Safety Series 75- INSAG-5: The Safety of Nuclear Power , Wien 1992

IAEA Safety Series 75-INSAG-3: Basic Safety Principles for Nuclear Power Plants, Wien 1988

International Nuclear Reactor Hazard Study, Greenpeace International und Gruppe Ökologie Hannover, Amsterdam 1986

Nuclear Engineering International, 1990 – 1998

Nucleonics Week, McGraw Hill, Washington 1990 – 2000

Scherhauser, Patrick: EU-Erweiterung und nukleare Sicherheit: Wien: Anti Atom International - AAI,1999

Sorce Book, Soviet Designed Nuclear Power Plants in Russia, Ukraine, Lithuania, the Czech Republic, The slovak Republic, Hungary and Bulgaria, NEI Washington 1995

The game of Hazard, Nuclear risk in the 1990, Greenpeace International und Gruppe Ökologie Hannover, Amsterdam 1993

Y. Sinyak: Nuclear Energy in Eastern Europe and the Former Soviet Union: How Safe and How Much? , IASSA, Laxenburg 1995

Das Ökologie-Institut

Kontakt:

Ing. Antonia Wenisch (Geschäftsführerin und Autorin dieser Arbeit)

Österreichisches Ökologie-Institut

Seideng. 13

A-1070 Wien

tel: 01/523 61 05

mail: wenisch@ecology.at

web: www.ecology.at

Das Österreichische Ökologie-Institut für angewandte Umweltforschung, ein privater wissenschaftlicher Verein, betreibt seit 15 Jahren Umweltforschung im Sinne der Nachhaltigkeit. Wir bauen auf Ihre Unterstützung, um auch weiterhin unsere Ergebnisse einem breiten Publikum zugänglich machen zu können. Ihre Spende ist von der Steuer absetzbar.

Kontonr: 75 44 545, PSK, BLZ 60000

Verwendungszweck: "AKW-Studie"