

8. FOLGEN VON STÖRFÄLLEN

Inhaltsverzeichnis

8. FOLGEN VON STÖRFÄLLEN	2
Methodische Überlegungen	3
Ergebnisse der Analysen	5
Unfallstrategien zur Minimierung der Auswirkungen	12

8. FOLGEN VON STÖRFÄLLEN

Eine Bewertung der Umweltauswirkung ist eine komplexe, von den Ausbreitungsbedingungen in der Umwelt stark abhängige Aufgabe. Unterkapitel 5.5. bot einen Überblick über die zu erwartenden Emissionen in einem Störfall nach Plan wie sie im Sicherheitsbericht in seiner Letztfassung, VBJ, untersucht werden sowie über die in der Sicherheitszone zu erwartenden – prognostizierten – Dosen. Es wurde hier auch darauf verwiesen, dass sich in der Zustandsüberprüfung der Systeme und Einrichtungen, bei den vorgesehenen Tauschmassnahmen und Wartungen sich keinerlei Veränderungen bezüglich der Häufigkeit von Störfällen ergeben darf, da die Häufigkeitswerte bei den Systemen bzw. Systemelementen bezüglich der Sicherheit auf jeden Fall gehalten werden müssen, die in den "Nuklearen Sicherheitsrichtlinien" (NBSZ) vorgegeben sind, und die die Beilage zur Regierungsverordnung 89/2005 (5.V.) bilden.

Der "Sicherheitsbericht in seiner Letztfassung" (VBJ) rechnet in folgenden Störfällen mit radioaktiven Emissionen in die Atmosphäre:

1. Bruch der Wasserklärleitungen Nummer 1, NÁ 73 mm in Schleife 5 bei einer Leistung von 108 Prozent, bei einem totalen Stromausfall,
2. Bruch der Verbindungsleitungen NÁ 90 mm zwischen TK und Sicherheitsventil bei einer Leistung von 108 Prozent und totalen Stromausfall,
3. Bruch der TK Einspritzleitungen 90 mm bei einer Leistung von 108 Prozent und totalen Stromausfall,
4. Bruch der Leitungen des Notkühlsystems ZÜHR NNY NÁ 111 mm in Schleife 5, bei einer Leistung von 108 Prozent und bei einem totalen Stromausfall,
5. Bruch der Leitungen des Notkühlsystems ZÜHR KNY, in Schleife 4, bei einer Leistung von 108 Prozent und totalen Stromausfall,
6. Totale Betriebsstörung und Bruch, Nummer NÁ 277
7. Bruch der Kaltwasserarmleitungen NÁ 492 in Schelife 4, bei einer Leistung von 108 Prozent und totalen Stromausfall unter Anwendung der maximalen Nostromkühlssystemkonfiguration,
8. Bruch der Leitungen des Kaltwasserarms NÁ 492 mm in der Schleife 4, bei einer Leistung von 108 Prozent, unter der Annahme eines totalen Stromausfalls, die Ventile des hermetischen Belüftungssystems TN und UH schließen mit einer Verspätung von fünf Sekunden,
9. Bruch der Leitungen des Warmwasserastes NÁ 492 in der Schleife 4, bei einer Leistung von 108 Prozent, mit der Funktion von zwei Sprinklersystemen,
10. ATWS nach einem unbeabsichtigten Entfernen des Steuerstabes,
11. Bruch von drei Rohren des Dampfentwicklers, totaler Stromausfall, Sicherheitsventil des Dampfentwicklers bleibt geöffnet,
12. Aufspringen des Kollektors des Dampfentwicklers, Sicherheitsventil des Dampfentwicklers bleibt geöffnet.

Gemeinsames Merkmal dieser Störfälle ist die Emission eines Teils der Aktivitätsvorrats im Primärkreis und die im Betriebsstoff gelagerte Aktivität in die Hauptgebäude des Betriebes, danach in die Atmosphäre. Das Spektrum der freigesetzten und in die Atmosphäre gelangenden Emissionen zeigt Tabelle 5.5.15. und 5.5.16.

Die Fälle 1 bis 4 sind als Brüche von Rohren kleinen Durchmessers, die von 5 bis 6 als welche mittleren Durchmessers zu betrachten, die Fälle von 7 bis 9 stehen für die sog. "großen Rohrbrüche", die in den sowjetischen Plänen des Kraftwerks als maximaler Störfall nach Plan galten (acht Fälle).

Zur Untersuchung von Umweltfolgen wurden nach Vergleich der für die Sicherheitszone berechneten und prognostizierten effektiven Dosisangaben vier Fälle ausgewählt: Von den Brüchen von Rohren mit geringem Durchmesser wurde Fall 3, bei den Brüchen von Rohren mit einem großen Durchmesser wurden die Fälle 8 und 9 als maßgebend gesehen, da diese in der gegebenen Kategorie zu den größten Emissionen führen würden. Die Untersuchung des Bruches mit kleinen Durchmesser ist durch den abweichenden Charakter der Emission angebracht, weil hier im Vergleich zu den anderen Fällen mit einer langen, über acht Stunden dauernden Sickerung ins

Containment zu rechnen ist. Bezüglich der Grenze der Sicherheitszone waren hier auch die zweithöchsten Maximalwerte bezüglich der berechneten Dosiswerte zu finden. Ein Aufspringen, eine Öffnung des Kollektordeckels des Dampfentwicklers galt bereits in den Originalplänen des Kraftwerks als ein so schwerwiegender – den Planungszustand überschreitender – Störfall, dass bei einem solchen unbedingt der "Umfassende Störfallaktions- und -maßnahmenplan" anzuwenden war, wobei aber nach den Kriterien des Systems der "Sicherheitsmassnahmen in ihrer Letztfassung" (VBJ) dieser Fall (12 Ereignisse) noch immer als ein Störfall nach Plan zu erachten ist. Nach den bis jetzt durchgeführten Massnahmen zur Steigerung der Sicherheit sind die Folgen dieser Vorfälle inzwischen minimiert.

Die in gegenständlichem Kapitel behandelten vier Fälle können mit den in den Tabellen 5.5.15. und 5.5.16. dargestellten Werten für die Fälle 3, 8, 9 und 12 charakterisiert werden (für den Fall 12 figurieren hier noch weitere – konservativere – Werte). Vom Standpunkt der Ausbreitung in die Umwelt sind die Fälle 8, 9 und 12 als momentane (eine halbe Stunde nicht überschreitende) Emissionen, Fall 3 als eine laufende Emission mit Quellcharakter zu erachten. Unabhängig davon wurde Fall 3 unter dem Gesichtspunkt einer momentanen Emission analysiert, da dies konservativere Ergebnisse zur Folge hat und auch die "VBJ" diese Annahme zur Grundlage hat. In den Fällen 3, 8 und 9 gerät die Aktivität (Emission im Störfall) während des Ablaufs des Ereignisses über die Belüftungssysteme des Hauptgebäudes oder undichte Stellen in die Umwelt, im Fall 12 wird am Dach der Turbinenhalle in einer Höhe von vierzig Meter emittiert.

Methodische Überlegungen

Die Ausbreitung der Aktivität wird von den gerade wirksamen meteorologischen Zuständen (Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Niederschlag, die Streuungsparameter der turbulenten atmosphärischen Diffusion) bestimmt werden. Die Emissionen im Störfall zeigen deshalb nicht in der ganzen Umgebung des Kraftwerks ihre Auswirkungen, sondern vielmehr in einem Sektor mit dem Winkel 5 bis 25°, der von der Windrichtung bestimmt wird. Größere Windgeschwindigkeiten haben ein rascheres Ausbreiten und eine schnellere Verdünnung zur Folge, während die Streuungsparameter (die mit der atmosphärischen Stabilität korrelieren) den Öffnungswinkel bestimmen. Die entstehenden Konzentrationen und die Mensch und Umwelt betreffenden Dosen halten höhere Windgeschwindigkeiten und instabilere atmosphärische Schichtungen auf einen niedrigeren Wert als mit geringeren Windgeschwindigkeiten einhergehende stabilere/stärkere Zustände (in Paks selbst sind die neutralen und leicht instabilen Zustände am häufigsten).

Die Analysen wurden mithilfe des COSYMA Programms durchgeführt. Die Kommission der Europäischen Gemeinschaften hat im Rahmen des Projekts MARIA ("Methods for Assessing the Radiological Impact of Accident") sich mit der Realisierung der Ausarbeitung eines neuen Programmsystems zum Ziel gesetzt, die Sicherheitsbeurteilung von Kraftwerken in Europa – was die Umweltsicherheit betrifft – nach gleichen Maßstäben erfolgen zu lassen. Dieser Maßstab, diese Methode ist das COSYMA-Programmsystem ("Code System for Maria"), dessen letzte Version (PC COSYMA Version 2.1) die Brüsseler Kommission im Jahr 1996 herausgebracht hat. (1)

Das COSYMA-Programmsystem kann sowohl deterministische als auch Wahrscheinlichkeitsanalysen durchführen. Die erste Option eignet sich hervorragend für die Schätzung von Umweltfolgen, die im Rahmen von Sicherheitsanalysen und Umweltverträglichkeitsprüfungen eine Rolle spielen. Die zweite Option des Programms wird in der Regel für die Berechnung von radiologischen, gesundheitlichen und wirtschaftlichen Folgen von Wahrscheinlichkeitsanalysen ("PSA-Level 3") verwendet. Die benutzerfreundliche Programmsystem enthält im Kern drei Module, in denen die Durchführung folgender Operationen geschieht:

- Einstellung der einkommenden Parameter,
- Durchführung der Berechnungen,
- Ansicht der Ergebnisse.

Das Programm benutzt im Zuge der Berechnung der atmosphärischen Ausbreitung das Gaussche Kurvensystem. Die Schätzung bezüglich Luft- und Bodenverschmutzung erfolgt für verschiedene Entfernungen (in einem Umkreis)

vom Emissionspunkt und für verschiedene Winkel der Schweifachse (den sog. Sektoren) abhängig von den Wetterverhältnissen mit folgenden Parametern:

- Stabilitätskategorien (Pasquill A-F), Windrichtung, Windgeschwindigkeit, Niederschlag,
- Boden
- trockene und feuchte Auswaschungsfaktoren

Unter Verwendung der Verschmutzungsdaten wird die Dosis nun an den Rezeptorpunkten unter Berücksichtigung der folgenden Belastungsrouten festgelegt:

- Wolkendosis (gesamter Zeitraum des Verlaufes des Schweifes),
- Bodendosis (ab Eintreten des Störfalles bis zu einem festgelegten Zeitpunkt),
- Inhalationsdosis (während des Übergangs des Schweifes, der Wolke + Resuspension)
- Ernährungsdosis (unter Anwendung der Modelle ECOSYS bzw. FARMLAND)

In Kenntnis der Dosen erfolgt die Berechnung der gesundheitlichen Folgen auf folgende Auswirkungen:

- deterministischer Schaden,
- stochastische Erkrankung (nach Organ)

Das Programmsystem ermöglicht es auch die Ergreifung sog. Schutzmaßnahmen (Absperrungen, Evakuierung, Jodprophylaxe usw.) zu simulieren sowie normale Lebensverhältnisse vorauszusetzen.

Bei den Fällen 3, 8 und 9 müssen konservativ Pasquill D und leichter Regen (1 mm/h) angenommen werden, da bei diesen die Emission über die Schornsteine bestimmend ist. Fall 12 ("PRISE") ist – wegen seiner Emission in vierzig Meter Höhe – bei Pasquill F konservativ (bei einer Windgeschwindigkeit von 1 m/s), weshalb er hier auch benutzt wird. Im "Sicherheitsbericht in seiner Letztfassung" (VBJ) wird bei der Untersuchung der Umweltdosen im Fall 12 ebenfalls ein durchschnittlicher meteorologischer Zustand für den Raum Paks angenommen (Pasquill D – 5 m/s), weshalb auch hier dieser Wert angebracht erscheint.

Bei der Ernährung wurde angenommen, dass die im Umkreis produzierten Güter auch im Umkreis konsumiert werden. Letztlich ist auch dies eine pessimistische Annahme, da wir den Konsum von von außen gebrachten Gütern nicht annehmen. Es wurde angenommen, dass es zu keinerlei Schutzmassnahmen kommt. Bei der Schätzung der Ernährungsrouten wurde von den beiden Möglichkeiten, die COSYMA zur Verfügung stellt, das Modell ECOSYS ausgewählt, weil dieses am ehesten den ungarischen Ernährungsgewohnheiten entspricht. Es wurde angenommen, dass der Unfall im Sommer, zur Erntezeit geschieht. Bei der Frühdosis wurden folgende Belastungen auf Basis sieben Tage gerechnet: Komponenten die auf der Wolke, dem Boden und der Inhalation basieren. Bei der Spätdosis wurde auf Basis fünfzig Jahre die Belastungen basierend auf Wolke, Boden, Inhalation und Ernährung berechnet.

In den Abend- und Morgenstunden werden die bodenoberflächennahen Schichten von der Inversionsdecke begrenzt (dieser bewegt sich abhängig von der Sonneneinstrahlung und den Charakteristika in der höheren Atmosphäre zwischen 800-1.000 und 2.000-2.500 Metern), die die Emissionen ohne größere Energiereserven nicht durchstoßen können. Bei der Präsenz einer oberflächennahen Inversionsschicht kann eine Verdünnung in vertikaler Richtung nicht erfolgen, sobald der Schweif, die Wolke an die Inversionsschicht stößt. Im COSYMA-Programm ist im Fall der Kategorie F die Höhe der Inversionsschicht mit zweihundert Meter angesetzt, im Falle Kategorie D mit 560 Meter. Es ist aber anzumerken, dass die atmosphärischen Stabilitätskategorien E und F im Raum des Betriebsstandortes Paks nur zwischen fünf und zwölf Prozent liegen.

Ergebnisse der Analysen

Die Ergebnisse der durchgeführten Analysen unter den vorher skizzierten Randbedingungen und Annahmen können wie folgt zusammengefasst werden:

Fall 3: Bruch von Rohren kleinen Durchmessers

Im Fall von Brüchen mit kleinem Durchmesser mit einer momentanen Emission werden die Erfordernisse bezüglich der Wirkungsqualifizierung mit Reserven erfüllt. Die kurzfristigen Dosisfolgen geben Tabelle 8.1. und 8.2. an:

Tabelle 8.1.: Individuelle Siebentage-Durchschnittsdosis für den Fall kleiner Rohrbrüche (3)

Entfernung Km	Effektive Dosis, Sv	Schilddrüse, Sv	Augenlinse Sv	Gonade, Sv	Haut, Sv	Lunge, Sv	Knochenmar k, Sv	Magen- Darm-Trakt, Sv
1	1,07E-06	3,77E-06	9,45E-07	7,99E-07	1,63E-05	1,35E-06	8,46E-07	1,07E-06
2	6,27E-07	2,82E-06	4,88E-07	4,15E-07	1,36E-05	8,44E-07	4,41E-07	6,49E-07
3	4,04E-07	1,76E-06	3,21E-07	2,72E-07	8,34E-06	5,39E-07	2,89E-07	4,16E-07
4	2,88E-07	1,18E-06	2,36E-07	2,00E-07	5,46E-06	3,77E-07	2,12E-07	2,94E-07
5	2,20E-07	8,44E-07	1,86E-07	1,57E-07	3,82E-06	2,83E-07	1,67E-07	2,22E-07
10	9,37E-08	2,85E-07	8,68E-08	7,33E-08	1,15E-06	1,14E-07	7,74E-08	9,19E-08
20	4,30E-08	1,27E-07	4,03E-08	3,40E-08	5,02E-07	5,22E-08	3,59E-08	4,21E-08
30	2,66E-08	7,82E-08	2,49E-08	2,10E-08	3,10E-07	3,24E-08	2,22E-08	2,61E-08
50,5	1,35E-08	3,95E-08	1,27E-08	1,07E-08	1,57E-07	1,65E-08	1,13E-08	1,33E-08

Tabelle 8.2.: Individuelle Siebentage-Maximaldosis für den Fall kleiner Rohrbrüche (3)

Entfernung, km	Effektive Dosis, Sv
1	2,04E-05
2	1,33E-05
3	9,11E-06
4	6,79E-06
5	5,37E-06
10	2,56E-06
20	1,31E-06
30	8,68E-07
50,5	4,80E-07

Sowohl die kurz- als auch die langfristigen – auf Tabelle 8.3. angeführten – Auswirkungen sinken bereits an der Grenze der Sicherheitszone auf ein Niveau, das eine Einstufung als neutral erlaubt. Die Voraussetzung einer Einstufung als neutral ist bei Kilometer 2,3 gegeben, innerhalb dieser Zone ist die Wirkung erträglich.

Tabelle 8.3.: Fünfzig Jahre effektive, individuelle Dosis im Fall kleiner Rohrbrüche (3)

Entfernung, km	Effektive Dosis, Sv
1	2,27E-04
2	1,18E-04
3	7,75E-05
4	5,70E-05
5	4,48E-05
10	2,10E-05
20	9,73E-06
30	6,04E-06
50,5	3,07E-06

Fall 8: Großer Rohrbruch im Kaltwasserarm

Im Fall von großen Rohrbrüchen mit einer momentanen Emission werden die Erfordernisse bezüglich der Wirkungsqualifizierung mit Reserven erfüllt. Die kurzfristigen Dosisfolgen geben Tabelle 8.4. und 8.5. an:

Tabelle 8.4. Sieben Tage individuelle Durchschnittsdosis nach einem großen Rohrbruch im Kaltwasserast (8)

Entfernung km	Effektive Dosis, Sv	Schilddrüse, Sv	Augenlinse Sv	Gonade, Sv	Haut, Sv	Leder, Sv	Knochenmar- k, Sv	Magen- Darm-Trakt, Sv
1	2,50E-06	9,20E-06	2,19E-06	1,85E-06	3,86E-05	3,04E-06	1,96E-06	2,42E-06
2	1,47E-06	6,93E-06	1,13E-06	9,63E-07	3,20E-05	1,89E-06	1,02E-06	1,46E-06
3	9,43E-07	4,31E-06	7,43E-07	6,31E-07	1,97E-05	1,21E-06	6,71E-07	9,35E-07
4	6,70E-07	2,88E-06	5,46E-07	4,63E-07	1,29E-05	8,45E-07	4,92E-07	6,60E-07
5	5,11E-07	2,06E-06	4,29E-07	3,63E-07	9,01E-06	6,35E-07	3,85E-07	5,00E-07
10	2,16E-07	6,90E-07	1,99E-07	1,68E-07	2,70E-06	2,57E-07	1,78E-07	2,07E-07
20	9,91E-08	3,06E-07	9,22E-08	7,78E-08	1,18E-06	1,17E-07	8,21E-08	9,48E-08
30	6,12E-08	1,89E-07	5,69E-08	4,80E-08	7,27E-07	7,25E-08	5,07E-08	5,86E-08
50,5	3,10E-08	9,49E-08	2,89E-08	2,43E-08	3,66E-07	3,68E-08	2,57E-08	2,98E-08

Tabelle 8.5.: Individuelle Siebentagedurchschnittsdosis nach einem großen Rohrbruch im Kaltwasserast (8)

Entfernung, km	Effektive Dosis, Sv
1,00	4,737E-05
2,00	3,094E-05
3,00	2,123E-05
4,00	1,581E-05
5,00	1,249E-05
10,00	5,911E-06
20,00	3,026E-06
30,00	1,993E-06
50,50	1,098E-06

Die aufgrund konservativer Annahmen gesetzten maximalen individuell-effektiven Dosen sinken bereits in einer Entfernung von 5,3 Kilometer vom Kraftwerk entfernt auf einen Wert von $90 \mu\text{Sv}/\text{Jahr}$, wobei wir darunter unter Stabilitätskategorie D das Gebiet verstehen müssen, das von einem Schweiß mit Winkel $12,5^\circ$ betroffen ist. In der Sicherheitszone und ihrer Umgebung bis zu einer Entfernung von 5,3 Kilometer wird die Auswirkung erträglich. Die effektiven Dosiswerte auf fünfzig Jahrebasis enthält Tabelle 8.6.

Tabelle 8.6.: Individuelle Siebentagedosis nach einem großen Rohrbruch im Kaltwasserast (8)

Entfernung, km	Effektive Dosis, Sv
1	4,71E-04
2	2,45E-04
3	1,61E-04
4	1,18E-04
5	9,29E-05
10	4,35E-05
20	2,02E-05
30	1,25E-05
50,5	6,37E-06

Fall 9: Großer Rohrbruch im Warmwasserast

Im Fall von Brüchen mit großem Durchmesser mit einer momentanen Emission werden die Erfordernisse bezüglich der Wirkungsqualifizierung mit Reserven erfüllt. Die kurzfristigen Dosisfolgen geben Tabelle 8.7. und 8.8. an:

Tabelle 8.7.: Individuelle Siebentage-Durchschnittsdosis im Fall eines großen Rohrbruchs im Warmwasserarm (9)

Entfernung km	Effektive Dosis, Sv	Schilddrüse, Sv	Augenlinse Sv	Gonade, Sv	Haut, Sv	Lunge, Sv	Knochenmar- k, Sv	Magen- Darm-Trakt, Sv
1	3,16E-06	1,15E-05	2,77E-06	2,34E-06	4,88E-05	3,89E-06	2,48E-06	3,09E-06
2	1,85E-06	8,67E-06	1,43E-06	1,22E-06	4,05E-05	2,42E-06	1,29E-06	1,87E-06
3	1,19E-06	5,39E-06	9,39E-07	7,97E-07	2,49E-05	1,55E-06	8,48E-07	1,20E-06
4	8,48E-07	3,61E-06	6,91E-07	5,86E-07	1,63E-05	1,08E-06	6,22E-07	8,45E-07
5	6,46E-07	2,58E-06	5,43E-07	4,60E-07	1,14E-05	8,13E-07	4,87E-07	6,39E-07
10	2,74E-07	8,67E-07	2,53E-07	2,14E-07	3,42E-06	3,29E-07	2,26E-07	2,65E-07
20	1,26E-07	3,85E-07	1,17E-07	9,88E-08	1,50E-06	1,50E-07	1,04E-07	1,21E-07
30	7,78E-08	2,37E-07	7,24E-08	6,11E-08	9,23E-07	9,30E-08	6,45E-08	7,51E-08
50,5	3,95E-08	1,20E-07	3,68E-08	3,10E-08	4,65E-07	4,73E-08	3,28E-08	3,82E-08

Tabelle 8.8.: Individuelle Siebentage-Maximaldosis im Fall eines großen Rohrbruchs im Warmwasserarm (9)

Entfernung, km	Effektive Dosis, Sv
1	5,99E-05
2	3,91E-05
3	2,68E-05
4	2,00E-05
5	1,58E-05
10	7,50E-06
20	3,84E-06
30	2,53E-06
50,5	1,40E-06

Die aufgrund konservativer Annahmen gesetzten maximalen individuell-effektiven Dosen sinken bereits in einer Entfernung von 6,3 Kilometer vom Kraftwerk entfernt auf einen Wert von $90 \mu\text{Sv}/\text{Jahr}$, wobei wir darunter unter Stabilitätskategorie D das Gebiet verstehen müssen, das von einem Schweif mit Winkel $12,5^\circ$ betroffen ist. In der Sicherheitszone und ihrer Umgebung bis zu einer Entfernung von 6,3 Kilometer wird die Auswirkung erträglich. Die effektiven Dosiswerte auf fünfzig Jahrebasis enthält Tabelle 8.9.

Tabelle 8.9.: Fünfzig Jahre effektive individuelle Dosen für den Fall eines großen Rohrbruchs (9) im Warmwasserast

Entfernung, km	Effektive Dosis, Sv

1	6,23E-04
2	3,23E-04
3	2,12E-04
4	1,56E-04
5	1,23E-04
10	5,74E-05
20	2,67E-05
30	1,65E-05
50,5	8,42E-06

Fall 12: Aufspringen/Öffnung des Kollektordeckels des Dampfentwicklers

Im Fall des Aufspringens/Öffnen des Kollektordeckels des Dampfentwicklers mit einer momentanen Emission werden die Erfordernisse bezüglich der Wirkungsqualifizierung mit Reserven erfüllt. Die kurzfristigen Dosisfolgen geben bezogen auf durchschnittliche atmosphärische Bedingungen geben Tabelle 8.10., 8.11., 8.12. und 8.13. an:

Tabelle 8.10.: Individuelle Siebentage-Durchschnittsdosen für den Fall des Öffnens der Abdeckung des Dampfentwicklers (12) unter ungünstigen atmosphärischen Ausbreitungsbedingungen

Entfernung km	Effektive Dosis, Sv	Schilddrüse, Sv	Augenlinse Sv	Gonade, Sv	Haut, Sv	Lunge, Sv	Knochenmar- k, Sv	Magen- Darm-Trakt, Sv
1	2,46E-05	3,43E-04	8,12E-06	7,06E-06	1,55E-03	8,41E-06	7,49E-06	7,01E-06
2	9,08E-06	1,22E-04	3,28E-06	2,83E-06	5,50E-04	3,35E-06	3,01E-06	2,80E-06
3	4,88E-06	6,36E-05	1,89E-06	1,62E-06	2,86E-04	1,92E-06	1,73E-06	1,61E-06
4	3,10E-06	3,93E-05	1,27E-06	1,09E-06	1,76E-04	1,28E-06	1,16E-06	1,07E-06
5	2,17E-06	2,68E-05	9,28E-07	7,95E-07	1,20E-04	9,32E-07	8,45E-07	7,84E-07
10	6,91E-07	7,72E-06	3,46E-07	2,94E-07	3,42E-05	3,42E-07	3,13E-07	2,89E-07
20	2,11E-07	2,10E-06	1,22E-07	1,03E-07	9,16E-06	1,19E-07	1,10E-07	1,01E-07
30	1,15E-07	1,14E-06	6,62E-08	5,61E-08	5,01E-06	6,47E-08	5,96E-08	5,49E-08

Tabelle 8.11.: Individuelle Siebentage-Durchschnittsdosen für den Fall des Öffnens der Abdeckung des Dampfentwicklers (12) unter durchschnittlichen atmosphärischen Ausbreitungsbedingungen

Entfernung km	Effektive Dosis, Sv	Schilddrüse, Sv	Augenlinse Sv	Gonade, Sv	Haut, Sv	Lunge, Sv	Knochenmar- k, Sv	Magen- Darm-Trakt, Sv
1	9,92E-06	1,13E-04	4,81E-06	4,11E-06	5,01E-04	4,77E-06	4,36E-06	4,03E-06
2	3,27E-06	3,08E-05	1,98E-06	1,68E-06	1,33E-04	1,92E-06	1,78E-06	1,63E-06
3	1,76E-06	1,44E-05	1,20E-06	1,01E-06	6,08E-05	1,16E-06	1,07E-06	9,82E-07

4	1,14E-06	8,35E-06	8,42E-07	7,11E-07	3,46E-05	8,09E-07	7,54E-07	6,89E-07
5	8,26E-07	5,48E-06	6,42E-07	5,42E-07	2,23E-05	6,15E-07	5,75E-07	5,24E-07
10	3,60E-07	2,26E-06	2,87E-07	2,42E-07	9,10E-06	2,74E-07	2,57E-07	2,34E-07
20	1,47E-07	9,25E-07	1,17E-07	9,85E-08	3,72E-06	1,12E-07	1,05E-07	9,53E-08
30	8,19E-08	5,19E-07	6,51E-08	5,49E-08	2,10E-06	6,22E-08	5,82E-08	5,31E-08

Tabelle 8.12.: Individuelle Siebentage-Maximaldosis für den Fall des Öffnens der Abdeckung des Dampfentwicklers (12) unter ungünstigen atmosphärischen Ausbreitungsbedingungen

Entfernung, km	Effektive Dosis, Sv
1	2,84E-04
2	1,40E-04
3	8,70E-05
4	6,07E-05
5	4,55E-05
10	1,78E-05
20	6,71E-06
30	4,07E-06

Tabelle 8.13.: Individuelle Siebentage-Maximaldosis für den Fall des Öffnens der Abdeckung des Dampfentwicklers (12) unter durchschnittlichen atmosphärischen Ausbreitungsbedingungen

Entfernung, km	Effektive Dosis, Sv
1	1,35E-04
2	6,01E-05
3	3,68E-05
4	2,60E-05
5	1,99E-05
10	1,02E-05
20	4,90E-06
30	2,97E-06

Die aufgrund konservativer Annahmen gesetzten maximalen individuell-effektiven Dosen sinken bereits in einer Entfernung von 24 Kilometer vom Kraftwerk entfernt auf einen Wert von 90 $\mu\text{Sv}/\text{Jahr}$, wobei wir darunter unter Stabilitätskategorie f das Gebiet verstehen müssen, das von einem Schweif mit Winkel $2,5^0$ betroffen ist. In der Sicherheitszone und ihrer Umgebung bis zu einer Entfernung zwischen 4,5 und 24 Kilometer wird die Auswirkung erträglich. Unter der Annahme von durchschnittlichen atmosphärischen Ausbreitungsbedingungen wurden kleinere

Abweichungen im Zuge des Modellierens festgestellt. Grund dafür ist bei der Strahlenbelastung die Lebensmittelproduktion und der Konsum eine entscheidende Rolle spielen, der bzw. die in einem derartigen Störfall wahrscheinlich beschränkt werden muss. Dies als auch die dosismindernde Auswirkung der Beschränkungsmassnahmen dürfen aber in der Umweltverträglichkeitsprüfung nicht berücksichtigt werden. Die effektiven Dosiswerte auf fünfzig Jahrebasis enthalten die Tabellen 8.14. und 8.15.

Tabelle 8.14.: Effektive individuelle 50-Jahrdosis für den Fall des Öffnens der Abdeckung des Dampfentwicklers (12) unter ungünstigen atmosphärischen Ausbreitungsbedingungen

Entfernung, km	Effektive Dosis, Sv
1	5,55E-03
2	2,42E-03
3	1,47E-03
4	1,04E-03
5	7,87E-04
10	3,30E-04
20	1,29E-04
30	7,31E-05
50,5	3,01E-05

Tabelle 8.15.: Effektive individuelle 50-Jahrdosis für den Fall des Öffnens der Abdeckung des Dampfentwicklers (12) unter durchschnittlichen atmosphärischen Ausbreitungsbedingungen

Entfernung, km	Effektive Dosis, Sv
1	4,12E-03
2	1,86E-03
3	1,18E-03
4	8,56E-04
5	6,66E-04
10	3,05E-04
20	1,27E-04
30	7,30E-05
50,5	3,08E-05

Mit den ungünstigsten Umweltauswirkungen ist also zur Zeit bei einem Aufspringen/Öffnen des Kollektordeckels des Dampfentwicklers zu rechnen, da in diesem Fall die Schutzwirkung des hermetischen Raumes nicht zur Geltung kommen kann.

Seitens der AKW Paks AG ist es schon vor Jahren zu einer Entscheidung bezüglich des Umbaus gekommen, der in den PRISE-Fällen (siehe Fall 12) eine "Rückleitung" der Emissionen in den hermetischen Raum ermöglichen würde. Das Wesen dieser Umbauarbeiten: Im Falle eines Überflusses vom Primär- in den Sekundärkreis wird der gebrochene Dampferwickler – unter Ausnutzung der gegenwärtigen Entschlammungsleitungen des Dampferwicklers – wasserseitig automatisch in den hermetischen Raum "abgeblasen", womit die Auffüllung des defekten Dampferwicklers und die Öffnung der Sicherheitsventile verhindert wird (was bis jetzt zu einer unmittelbaren Emission in die Umwelt geführt hat.)

Das "Institut für Nuklearsicherheit" beim "Landesamt für Atomenergie" (OAH NBI) hat in seinem Beschluss Nummer RE-4026 die AKW Paks AG zur Anfertigung der Pläne eines diesbezüglichen Umbaus des Dampferwicklers verpflichtet, bzw. zur Genehmigung eines diesbezüglichen Planes und zur Vorlegung eines Realisierungsphasenplanes. Dem hat die AKW Paks AG mit seinem Schreiben Nummer 1914-H3019/2005 vom 20. Dezember 2005 Genüge geleistet, das das OAH NBI in seinem Schreiben Nummer AL-00694/2006 angenommen hat. Die Planungen bezüglich des Umbaus befinden sich im Lauf, dem gegenwärtigen Phasenplan gemäß wird dieser 2008 verwirklicht werden. Nach dem Umbau werden die berechneten Emissionswerte um eine Größenordnung geringer ausfallen als alle weiter oben aufgezählten Emissionswerte aller anderen Rohrbrüche.

Zusammenfassung der Ergebnisse

Bei der Feststellung der Wirkungszone eines Störfalles wurden unter Zugrundelegung von konservativen Methoden und Ausgangsdaten Ergebnisse erzielt, die annehmen lassen, dass bei Störfällen nach Plan den Originalplänen entsprechend, erträgliche Auswirkungen über die Sicherheitszone hinaus ab Emissionspunkt zwischen 5,2 und 6,3 Kilometer wahrscheinlich sind, darüberhinaus sind nur neutrale Werte anzunehmen.

Da der Umbau, der die Folgen solcher PRISE-Fälle reduziert, bis zur Zulassung der Betriebszeitverlängerung verwirklicht sein wird, werden die vom Standpunkt der radiologischen Wirkungszone die oben erwähnten Störfälle nach Plan maßgeblich sein. Das heisst im Falle einer Betriebszeitverlängerung wird eine in der Tabelle 8.1. beschriebene Wirkungszone mit einem Umkreis von 6,3 Kilometer maßgebend sein. An den Landesgrenzen (einerlei in welche Richtung) ist damit überall bereits eine neutrale Wirkung zu prognostizieren. Die flüssigen Emissionen im Falle eines Störfalles sind um vier bis fünf Größenordnungen niedriger als jene der atmosphärischen, ihre Ausweisbarkeit wird in Kapitel 10 behandelt.

Die traditionellen Vorfälle und Schätzungen bezüglich deren Wirkungszone werden in Tabelle 5.5.17. im Kapitel 5 zusammengefasst. Die Wirkungszone traditioneller Vorfälle bezüglich der Wasserverschmutzung werden in Landkartenform auf Abbildung 7.3. in Kapitel 7 illustriert, bezüglich der atmosphärischen Emissionen ist die Wirkungszone die Schutzzone des Kraftwerkes selbst.

Unfallstrategien zur Minimierung der Auswirkungen

In seinem Beschluss Nummer RE-2537, der die "Kontrollen zur Überprüfung der Sicherheit" abschloss, hat das OAH NBI vorgeschrieben, dass bis zum 31. Dezember 2003 eine Sicherheitswahrscheinlichkeitsanalyse der zweiten Stufe vorliegen muss, die befähigt, Maßnahmen zur Minimierung der Auswirkungen von Unfällen zu evaluieren.

Bereits vorher hatten die Sicherheitsrichtlinien (NBSZ) vorgeschrieben, dass für die Minimierung von Folgen von Vorfällen, die Störfälle überschreiten bzw. von Unfällen "spezifische Ergänzungssysteme" ausgebaut werden müssen. Das in jüngster Zeit herausgegebene NBSZ enthält zahlreiche weitere Vorschriften bezüglich der Umsetzung von Richtlinien bei einem Unfall.

Aufgrund der oben beschriebenen behördlichen Erwartungen hat die AKW Paks AG in Zusammenarbeit mit ihrem Oberkonsulenten ein Konzept für ein Massnahmenpaket im Unfallfall ausgearbeitet. In diesem Zusammenhang wurden Massnahmen für einen Störfall (Vorgangsweisen und für deren Realisierung eventuell notwendige Umbauten) bewertet, deren Durchführung nach einer Beschädigung der aktiven Zone (Schmelzen), zur Minimierung der Folgen zum Einsatz kämen. Die Vorschläge dieser Konzeption enthalten auch Elemente, bei denen einsichtig

war, dass deren Anwendung auf jeden Fall der Reduzierung der Folgen eines Unfallprozesses dienen bzw. war man bemüht jenen Massnahmen den Vorrang zu erteilen, bei denen die Effizienz hinsichtlich einer Minimierung der Risiken auf jeden Fall als bedeutender einzuschätzen ist.

Es ist offensichtlich, dass auch im Falle dieser Unfallmassnahmen die Möglichkeit grösserer radioaktiver Emissionen nicht ausgeschaltet wird, aber die Häufigkeit dieser Fälle und/oder deren Folgen sind dennoch reduzierbar. Das ausgearbeitete Konzept wurde angenommen, und man begann, die Massnahmen gemäß diesem Konzept im Einklang mit der Betriebszeitverlängerung auch umzusetzen.

Das Konzept teilt die Aufgaben in zwei Prioritätsgruppen ein:

- Das erste Prioritätspaket muss im Lauf der Vorbereitungs- und Zulassungsphase der Betriebszeitverlängerung umgesetzt werden – dessen Voraussetzung die Einleitung der Planung, Zulassung und Durchführung der notwendigen technischen Veränderungen ist, die Anfertigung der neuen Richtlinien bezüglich des Umgangs mit Unfällen (eventuell mit fehlenden oder provisorischen Elementen) und die Umsetzung der entsprechend nötigen organisatorischen Veränderungen.
- Zum zweiten Prioritätspaket gehören jene technischen Veränderungen und andere Massnahmen, deren Einführung nach Abschluss der internationalen Projekte in diesem Bereich zur Einführung gelangen werden.

Die zur Einführung der neuen Richtlinien für den Unfallfall in der ersten Prioritätskategorie notwendigen Massnahmen sind:

Bedienungsanleitungen, Modifizierung der MÜSZ ("Technischen Betriebsanleitung"):

1. Ausweitung der "Richtlinien zur zustandsorientierten Bedienungsanleitung" auf den abgeschalteten Betriebszustand und die Ruhebecken,
2. Anfertigung der Weisungen zur Massnahmen bei Unfällen,
3. Erstellung eines Massnahmenplanes bezüglich der Tätigkeiten für die anderen – nicht beschädigten – Blöcke,
4. Modifizierung der MÜSZ im Zusammenhang mit den speziellen Schaltungen des Systems für reine Kondensate und der dazugehörigen Bereitstellung für alle Betriebsmodi – sowie Ausarbeitung einer Bedienungsanleitung und deren Einführung,
5. Einführung einer neuen Teststrategie für das Notkühlsystem, das auch einen langfristigen Betrieb umfasst,

Technologische Veränderungen:

6. Einbau einer autonomen Stromversorgung für das Sicherheitsventil des Volumenkompensators zur zuverlässigen Sicherung des Druckabbaus im Primärkreis,
7. Installation von dreißig Stück Rekombinatoren per Block für die Realisierung der Wasserstoffbehandlung
8. Ausbau der Routen zur Flutung des Reaktors.
9. Verstärkung der Ausschlussventile des Kühlkreises im Ruhebecken und der Rohrabschnitte zwischen den Wänden, Austausch der Ventile mit schnell funktionierenden Armaturen und deren Inbetriebsetzung.
10. Detaillierte Überprüfung der ganzen notwendigen Technik bezüglich der Massnahmen bei einem Unfall sowie die Installierung der neuen Messgeräte für den Unfallfall.

Organisatorische Massnahmen:

11. Ausarbeitung entsprechender organisatorischer Veränderungen und deren Einführung, Schaffung einer unterstützenden technischen Zentrale.

Abbildung 1: Wirkungszone bei vorgesehenen Störfällen nach Plan

Wirkungszone des Störfalles nach Plan bleibt im Falle eines Windrichtungswechsels innerhalb der Kurve

Wirkungszone eines Störfalles nach Plan
kontrollierte Zone

LITERATURVERZEICHNIS

- [1] PC Cosyma (Version 2): An accident consequence assessment package for use on a PC EUR 16239 EN (Final Report, ISBN 92-827-5779-X, 1996)