

Inhaltsverzeichnis

	Kurzfassung	I
	Inhaltsverzeichnis	III
1	Einleitung	1
1.1	Zielsetzung des Vorhabens	1
1.2	Arbeitsprogramm	4
2	Projektmanagement und –controlling (AP 1)	7
2.1	Aufgabenstellung	7
2.2	Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse	7
3	Informationsaustausch und Programmkoordination (AP 2)	11
3.1	Aufgabenstellung	11
3.2	Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse	12
4	Baulinienspezifische Arbeiten und GRS-Baulinien-Handbücher (AP 3)	15
4.1	Zielsetzung	15
4.2	Verfolgung und Auswertung von Informationen zu den Reaktorbaulinien WWER-1000, WWER-440 und RBMK.....	15
4.2.1	Ereignisse im Betrieb der Anlagen.....	16
4.2.2	Arbeitstreffen mit ukrainischen und russischen Experten zur Auswertung der Betriebserfahrungen der Kernkraftwerke.....	19
4.2.3	Fachdossiers zu aktuellen sicherheitstechnischen Fragestellungen	21
4.2.4	Teilnahme und Auswertung von Konferenzen zur Sicherheit der WWER-Reaktoren	26
4.2.5	Workshop Anlagentechnik russische Reaktoren	31
4.2.6	Einsatz von softwarebasierter digitaler Leittechnik in WWER	32
4.3	Pflege und Weiterentwicklung der GRS-Baulinien-Handbücher.....	37

5	Verfolgung und Aufarbeitung von Entwicklungen neuer Reaktorkonzepte (AP 4)	42
5.1	Zielsetzung	42
5.2	Weiterentwicklung der Informationssysteme der GRS zu ausländischen Reaktorkonzepten	43
5.2.1	Aufbau der Wissensbasis „Nukleare Sicherheit im Ausland“	43
5.2.2	Weiterentwicklung der Wissensbasis zu neuen Reaktoren	45
5.2.3	Weiterentwicklung der Wissensbasis zu neuen russischen Reaktoren	48
5.2.4	Standortdossier zu den Neubauprojekten mit russischen Reaktoren	51
5.3	Forschungsprogramme zur Entwicklung zukünftiger Reaktorkonzepte	55
5.4	Herausforderungen bei der Realisierung von kleinen, modularen Reaktoren (SMR).....	59
5.5	Konzeptbeschreibung ASTRID	66
5.6	Übersichtsberichte zu neuen russischen Reaktorkonzepten	70
6	Nukleare Sicherheit und Strahlenschutz beim Umgang mit Kernbrennstoffen und radioaktiven Abfällen sowie bei der Stilllegung von Kernkraftwerken (AP 5)	81
6.1	Zielsetzung/Einleitung.....	81
6.2	Nukleare Sicherheit und Strahlenschutz bei Transport und Lagerung von abgebrannten BE	81
6.3	Radioaktive Abfälle und Stilllegung kerntechnischer Anlagen	84
6.3.1	Erfahrungsaustausch zu internationalen Empfehlungen und nationalen Strategien sowie zur Praxis und Sicherheitsbewertung beim Umgang mit radioaktiven Materialien und Kernbrennstoffen	84
6.3.2	Vorgehensweise bei der Sicherheitsbewertung und Identifizierung von Risiken bei der Stilllegung von KKW.....	86
6.3.3	Umsetzung von internationalen Empfehlungen zum Umgang mit radioaktiven Materialien und Kernbrennstoffen in ausgewählten Ländern, insbesondere Russland (EU-Richtlinien).....	86
7	Modellentwicklung und Störfallanalysen für russische Reaktorkonzepte (AP 6)	89
7.1	Zielsetzung	89

7.2	Validierung von ATHLET und weitere Verifizierung des ATHLET-Basisdatensatzes für WWER-1000/W-320.....	90
7.2.1	Einleitung.....	90
7.2.2	Der Versuchsstand PSB-WWER	91
7.2.3	Der ATHLET-Datensatz für den TACIS PSB-WWER Test 5.....	94
7.2.4	Vergleich der Experimentellen Ergebnisse des Versuchs 5 mit den Nachrechnungen	95
7.2.5	Zusammenfassung	99
7.3	Entwicklung und Test von ATHLET-Anlagenmodellen für die neuen russischen WWER-Reaktoren der Baulinie AES-2006.....	100
7.3.1	Einleitung.....	100
7.3.2	Beschreibung des Datensatzes für WWER-1200/W-491	101
7.3.3	Die Plugin-Bibliothek BOP-491	107
7.3.4	Zusammenfassung und zukünftige Arbeiten	109
7.4	Simulationsprogramme für Sicherheitsanalysen von schnellen, flüssigmetallgekühlten Kernreaktoren	111
7.4.1	Zielsetzung	111
7.4.2	Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse	111
8	Analyse von schweren Störfällen für WWER-Reaktoren (AP 7).....	121
8.1	Zielsetzung	121
8.2	Untersuchungen zu Kernschmelzunfällen in WWER-1000-Reaktoren mit ATHLET-CD und COCOSYS	122
8.2.1	Betrachtetes Szenario	122
8.2.2	Modellierung des WWER-1000/W-320-Reaktorkühlkreislaufs mit ATHLET-CD	124
8.2.3	Ergebnisse der Rechnungen mit ATHLET-CD (Pilotrechnung 1)	127
8.2.4	Gekoppelte Rechnung mit ATHLET-CD / COCOSYS (Pilotrechnung 2).....	138
8.3	Untersuchungen zu Kernschmelzunfällen in WWER-440/W-213-Reaktoren mit ATHLET-CD	160
8.3.1	Modellierung des Reaktorkerns	161

8.3.2	Pilotrechnung für einen 2F-Bruch im heißen Strang mit Ausfall der kompletten Wechselstromversorgung für WWER-440/W-213	163
8.4	Arbeiten zu schweren Störfällen mit ASTEC	166
8.5	Zusammenfassung	179
9	Untersuchungen zu Sicherheitsstrategien bei neuen Reaktorkonzepten (AP 8)	181
9.1	Zielsetzung	181
9.2	Methoden zur Zuverlässigkeitsbewertung passiver Systeme, Revision 1	181
9.3	Maßnahmen zur Rückhaltung und Kühlung einer Kernschmelze bei neuen Reaktoren, Revision 2	190
9.4	Ausgewählte länderspezifische Unterschiede der EPR-Versionen	194
10	Untersuchungen zur Grenztragfähigkeit von Containmentstrukturen bei äußeren Einwirkungen (AP 9)	199
10.1	Einleitung	199
10.2	Aufbau und Modellbildung der äußeren Containmentstruktur eines WWER-1000/466B Kernkraftwerks	200
10.3	Entwicklung und Validierung eines Stoßkörpermodells eines Passagierflugzeugs vom Typ Airbus A340-600	203
10.4	Numerische Studien anhand einer generischen Stahlbetonplatte	205
10.4.1	Vergleich von gekoppelter Simulation und vereinfachtem Verfahren	207
10.4.2	Analysen zur Wirksamkeit verschiedener Ausführungen der Bügelbewehrung	213
10.5	Simulation des Aufpralls eines Flugzeugs vom Typ Airbus A340-600 auf ein Reaktorgebäude des Typs WWER-1000/466B	217
10.6	Einfluss der Treibstoffmodellierung bei der Simulation des Aufpralls eines Flugzeugs vom Typ Airbus A320 auf ein Reaktorgebäude des Typs WWER-1000/466B	217
10.7	Zusammenfassung und Ausblick	219
11	Sicherheitsanalysen für das KKW Armenien (AP 10)	221
11.1	Zielsetzung	221

11.2	Durchgeführte Arbeiten.....	222
11.3	Review der PSA, Stufe 2, für das Kernkraftwerk Armenien (Medzamor-2).....	226
11.3.1	Ablauf des Review	226
11.3.2	Vorbemerkung zu Anlageneigenschaften aus Sicht der PSA Stufe 2.....	227
11.3.3	Bewertung des Positionspapiers zur Relevanz von Unfallphänomenen..	228
11.3.4	Bewertung des zusammenfassenden Berichtes zu Confinement- Versagensmechanismen	228
11.3.5	Schnittstelle von Stufe 1 zu Stufe 2	229
11.3.6	Strukturmechanische Aspekte	229
11.3.7	Auswahl der MELCOR-Analysen.....	230
11.3.8	Diskussion von MELCOR-Analysen.....	230
11.3.9	Ereignisbäume.....	231
11.3.10	Freisetzungskategorien.....	232
11.3.11	Sensitivitätsanalysen	232
11.3.12	Zusammenfassung	233
12	Sicherheitstechnische Untersuchungen für KKW mit RBMK- Reaktoren (AP 11).....	235
12.1	Weiterentwicklung der Modelle für Analysen des Störfalllokalisierungssystems von RBMK-Reaktoren.....	235
12.1.1	Zielsetzung	235
12.1.2	Analyse der thermohydraulischen Prozesse im Störfalllokalisierungssystems von RBMK-Reaktoren bei kleinen Lecks..	235
12.1.3	Anwendung des 3D-Modells CoPool für RBMK	240
12.2	Modellentwicklung zur Analyse von Reaktivitätstransienten in RBMK- Reaktoren.....	253
12.2.1	Zielsetzung	253
12.2.2	Erstellung eines eins-zu-eins "Open Core" Nodalisierungsschemas für ATHLET.....	254
12.2.3	Bereitstellung nuklearer Daten für neue Brennelementtypen	257
12.2.4	Ausfahren von zentralen und peripheren Steuerstäben für einen Reaktorkern mit reduziertem Graphitanteil im Kern.....	258

12.2.5	Ausfahren des zentralen Steuerelements in der Position 36-45.....	259
12.2.6	Ausfahren einer zentralen Steuerstabgruppe.....	262
12.2.7	Ausfahren eines peripheren Steuerstabs	265
12.2.8	Untersuchung des Voideffekts im CPS-Kühlkreislauf im Reaktor mit reduziertem Graphitanteil.....	268
13	Transientenanalysen und Datenbibliotheken für WWER-1000- Reaktoren (AP 12).....	271
13.1	Einleitung und Zielsetzung.....	271
13.2	Transientenrechnungen mit gekoppelten Reaktor- und Anlagencodes für WWER-1000-Anlagen (AP 12.1).....	273
13.2.1	Transiente „Xe-Schwingungen“	275
13.2.2	Transiente „Unkontrollierter Stabauswurf“	278
13.2.3	Schlussfolgerungen über Auswirkungen und Einhaltung von Kriterien für den sicheren Anlagenbetrieb	279
13.3	Weiterentwicklung des WWER-1000 Kernberechnungsbenchmarks (AP 12.2)	280
13.4	Unsicherheits- und Sensitivitätsanalysen für Transientenrechnungen mit den gekoppelten Programmen DYN3D/ATHLET für WWER-1000 (AP 12.3)	296
13.4.1	Unsicherheits- und Sensitivitätsanalyse des RIA-Modells für den Störfall “Steuerstabauswurf”	298
13.4.2	Unsicherheits- und Sensitivitätsanalyse des Modells für die Transiente „Aktivierung einer inaktiven Reaktorkühlkreislaufschleife“ mit den gekoppelten Programmen DYN3D/ATHLET	302
13.4.3	Unsicherheits- und Sensitivitätsanalyse für das Transientenmodell “Xe- Schwingungen” (Task 4, Subtask 4.2 des X2 Benchmarks).....	304
13.4.4	Unsicherheits- und Sensitivitätsanalyse des Modells für die Transiente “Abschaltung einer HKMP” (Task 4, Subtask 4.3 des X2 Benchmarks) .	305
13.5	Internationaler Informationsaustausch über aktuelle Fragen der Sicherheitsbewertung von WWER- und DWR-Anlagen sowie der Validierung und Verifizierung von reaktorphysikalischen Daten und Programmen (AP 12.4).....	307
13.6	Zusammenfassung und Schlussfolgerungen	307

14	Pilotanwendung, Weiterentwicklung und Optimierung von Wissensnetzen und Informationsplattformen (AP 13)	309
14.1	Aufgabenstellung	309
14.2	Konzeptionelle Arbeiten für organisationsinterne und –übergreifende Wissens-/Informationsplattformen.....	311
14.3	Betreuung und Weiterentwicklung des InfoServers.....	314
14.3.1	Anpassungen im Zusammenhang mit der Migration des InfoServers (Seitenanpassungen, Email-Funktionalität, etc.)	315
14.3.2	Weiterentwicklung des Portals für Nukleare Sicherheit (PNS).....	317
14.3.3	Weiterentwicklung des GRS Cooperation Portal (GCP).....	319
14.3.4	Weiterentwicklung des EUROSAFE ETSON Portals (EEP)	320
14.3.5	Weiterentwicklung des RISKAUDIT Portals (RAP).....	321
14.3.6	HelpCenter und Nutzersupport	323
14.4	Erprobung und Pilotanwendung des NEXTRA-InfoServers.....	325
14.4.1	Erprobung ausgewählter Werkzeuge zur Optimierung der SharePoint-Nutzung	326
14.4.2	Pilotprojekt zur automatischen Verschlagwortung des Dokumentenbestands der DokuINT	328
14.5	Pflege und Aktualisierung Doku-INT, CD/DVD-Sammlung und IntPro Weiterentwicklung und Überführung der DokuINT	333
14.5.1	Pflege und Weiterentwicklung der DokuINT.....	333
14.5.2	Nutzung und Weiterentwicklung des Projektkontrollsystem IntPro und weitere Datensammlungen	338
14.6	Aufbau einer zentralen Wissensbasis „Nukleare Sicherheit im Ausland“	339
14.7	Externe Unterstützung	342
14.8	Zusammenfassung	342
15	Kooperation mit europäischen Regulatoren und deren TSO (AP 4)	345
15.1	Zielsetzung	345
15.2	Koordinierung der bilateralen Zusammenarbeit und Informationsaustausch mit der Ukraine.....	345

15.3	Koordinierung der bilateralen Zusammenarbeit und Informationsaustausch mit Russland	347
15.4	Informationsaustausch mit Regulatoren und deren TSOs	348
15.5	Erfahrungsaustausch zum Aufbau eines Wissens- und Kooperationsplattformen von SSTC NRS	350
15.6	Wissensaufbereitung aus multilateralen Projekten (INSC u.a.)	351
15.7	Mitarbeit an Aktivitäten der ETSON Arbeitsgruppe für Wissensmanagement	352
15.8	Teilnahme und Auswertung ausgewählter Veranstaltungen und Tagungen	352
16	Tschernobyl-Aktivitäten (AP 15).....	355
16.1	Zielsetzung	355
16.2	Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse	356
16.3	Zusammenfassung und Ausblick	358
17	Weiterentwicklung von internationalen Netzwerken der nuklearen Sicherheit (AP 16).....	359
17.1	Zielsetzung	359
17.2	Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse	359
17.2.1	Entwicklung der Nationalen Nuklearen Regulatorischen Portale (NNRP).....	360
17.2.2	Weitere durchgeführte Aktivitäten im Rahmen dieses Arbeitspaketes....	365
18	Internationale Kooperation und Mitarbeit in multilateralen Aktivitäten (AP 17).....	367
18.1	Zielsetzung	367
18.2	Jahrestreffen des WWER Regulators Forum	367
18.3	Mitarbeit in den Arbeitsgruppen des WWER Regulators Forum.....	369
18.3.1	Working Group on Regulatory Use of PSA (PSAWG).....	369
18.3.2	Reactor Physics Working Group (RPWG).....	370
18.3.3	Working Group on Commissioning of new WWERs (CommWG)	372
18.3.4	Working Group on Ageing Management (AMWG)	372

18.4	Sachstandbericht „Internationale Initiativen bei der Anwendung der Kernenergie“	380
18.5	Teilnahme an einer technischen Mission der WANO im KKW Saporishshja	381
18.6	Teilnahme an Aktivitäten von armenischen Koordinationsgremien (NESC, IAEA Safety Coordination).....	382
18.7	Teilnahme und Auswertung ausgewählter thematischer Tagungen im internationalen Maßstab zur nuklearen Sicherheit im Ausland	383
19	Zusammenfassung	389
	Literaturverzeichnis.....	409
	Abbildungsverzeichnis.....	423
	Tabellenverzeichnis.....	435
	Abkürzungen.....	437