

---

# Inhalt

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> .....	1
1.1	Literatur und Quellen .....	10
1.2	Grundlegende Merkmale deutscher Leistungskernkraftwerke .....	13
1.2.1	Das Kernkraftwerk mit Druckwasserreaktor.....	13
1.2.2	Unterschiede bei Siedewasser- und Druckwasserreaktoren .....	18
<b>2</b>	<b>Die Anfänge der Kernspaltung</b> .....	25
2.1	Erste Erkenntnisse .....	25
2.1.1	Die grundlegende Entdeckung und ihre physikalische Deutung .....	25
2.1.2	Die Ursachen der Gefahren der Kernenergie .....	28
2.1.3	Erste Überlegungen zur Nutzung der Kernenergie .....	29
2.1.4	Wie nahe kam Deutschland an die Entwicklung atomarer Waffen? .....	31
2.2	Forschung und Erfahrungen in den USA .....	32
2.2.1	Der Anfang des amerikanischen Atombombenprojekts .....	32
2.2.2	Das Plutonium-Projekt.....	33
2.2.3	Die Strahlenschutz-Problematik .....	35
2.2.4	CP-1, der erste Kernreaktor der Welt.....	36
2.2.5	Forschung in den Laboratorien Argonne und Clinton/Oak Ridge .....	37
2.2.6	Die Hanford-Plutonium-Fabriken und ihre Spaltprodukte .....	40
<b>3</b>	<b>Die Anfänge der friedlichen Kernenergienutzung und ihre Sicherheitsprobleme</b> .....	43
3.1	Das amerikanische Atomgesetz von 1946 und seine Neufassung 1954.....	43
3.1.1	Das <i>Reactor Safeguards Committee</i> und die Reaktorsicherheits-Frage .....	44
3.1.2	Erste öffentliche Diskussionen über die Gefahren der friedlichen Atomenergie-Nutzung .....	46
3.1.3	Die frühe amerikanische Standortpolitik .....	48

3.2	UN-Konferenz zur friedlichen Nutzung der Kernenergie 1955 und ihre Wirkung in Deutschland .....	51
3.2.1	Hochstimmung für „Atome für den Frieden“ .....	51
3.2.2	Gefahrenpotenzial und Reaktorsicherheit .....	52
3.2.3	Öffentliche Berichterstattung und Rezeption.....	55
<b>4</b>	<b>Schadensereignisse, extreme Tests und Unfälle in Reaktoranlagen, ihre öffentliche Wahrnehmung und ihre Folgen .....</b>	<b>59</b>
4.1	Vereinigte Staaten.....	59
4.1.1	Erste amerikanische Resümees über Reaktorsicherheit .....	59
4.1.2	BORAX-1 1954 .....	59
4.1.3	EBR-1 1955 .....	61
4.1.4	SL-1 1961 .....	62
4.2	Kanada .....	64
4.3	Großbritannien.....	64
4.4	Sowjetunion .....	65
4.5	Erste öffentliche Risikodiskussionen in der Bundesrepublik ....	66
4.5.1	Wissenschaft und Politik zu Aspekten der Atomenergie.....	66
4.5.2	Die staatliche Organisation des wissenschaftlich- technischen Sachverständs.....	68
4.5.3	Das Kernforschungszentrum Karlsruhe .....	82
4.5.4	Die KfK-Debatte im Landtag von Baden- Württemberg.....	87
4.5.5	Anhaltender Widerstand in Linkenheim und Friedrichstal .....	88
4.5.6	Der Standort BASF/Ludwigshafen .....	91
4.5.7	Der Standort Breisach/Wyhl und der Freiburger Wyhl-Prozess .....	94
4.5.8	Der Grafenrheinfeld-Prozess vor dem VG Würzburg....	113
4.5.9	Das Kalkar-Urteil des Bundesverfassungsgerichts .....	116
4.5.10	Der Mannheimer Wyhl-Prozess .....	118
4.6	Der Canvey-Island-Report 1978.....	120
4.7	Der Unfall im Three Mile Island Block 2, 1979 .....	123
4.8	Die Reaktorkatastrophe in Tschernobyl, 1986 .....	136
4.8.1	Der Unglücksreaktor RBMK-1000, Block 4 .....	137
4.8.2	Ereignisablauf und Ursachen .....	142
4.8.3	Öffentliche Wahrnehmung und Schadensfolgen.....	148
4.8.4	Konsequenzen für die Reaktorsicherheit .....	158
4.9	Das Reaktorunglück in Fukushima-Daiichi 2011 .....	166
4.9.1	Das Containment Mark I.....	171
4.9.2	Der Ablauf der Ereignisse in Fukushima-Daiichi.....	176
4.9.3	Die radiologischen Folgen des Unfalls am Standort Fukushima-Daiichi .....	188

4.9.4	Die öffentliche Wahrnehmung der Ereignisse in Fukushima-Daiichi und die politischen Konsequenzen für die Kernenergienutzung .....	198
4.9.5	Die Überprüfung der deutschen Kernkraftwerke und erste Schlussfolgerungen .....	204
<b>5</b>	<b>Die Suche nach der richtigen Sicherheits-Konzeption .....</b>	<b>209</b>
<b>6</b>	<b>Die Deterministik bei Auslegung, Konstruktion und Herstellung .....</b>	<b>215</b>
6.1	Das Regelwerk zur Kodifizierung der sicherheitstechnischen Tatbestände und Anforderungen zur Schadensvorsorge .....	215
6.1.1	Die BMI-Sicherheitskriterien für Kernkraftwerke .....	217
6.1.2	BMI/BMU-Richtlinien .....	222
6.1.3	Die RSK-Leitlinien .....	225
6.1.4	Die Störfall-Leitlinien .....	232
6.1.5	Das KTA-Regelwerk .....	240
6.1.6	RSK/GPR-Sicherheitsanforderungen für Druckwasserreaktoren .....	243
6.1.7	ILK-Empfehlungen .....	247
6.2	Die Sicherheitsebenen, die Auslegungsprinzipien für Sicherheitseinrichtungen und die Klassifizierung der Stör- und Unfälle .....	249
6.3	Der „Größte Anzunehmende Unfall“ (GAU) .....	258
6.3.1	Das Konzept des „maximum credible accident“ (mca) in den USA .....	258
6.3.2	Internationale Kritik am mca-Konzept .....	262
6.3.3	Die Anwendung des mca/GAU-Konzeptes in der Bundesrepublik .....	262
6.3.4	Die Auseinandersetzung um das mca/GAU-Konzept und seine Weiterentwicklung .....	266
6.4	Standortwahl und Reaktorsicherheitstechnik .....	269
6.4.1	Die Standortkriterien der USAEC und deren Kritik .....	269
6.4.2	Die deutsche Position .....	273
6.5	Die Begrenzung potenzieller Unfallfolgen durch die Sicherheitshülle .....	275
6.5.1	Die Containment-Konzepte in den USA .....	275
6.5.2	Containments der Leistungskernkraftwerke in der Bundesrepublik mit Siedewasserreaktor .....	316
6.5.3	Containments der Leistungskernkraftwerke in der Bundesrepublik mit Druckwasserreaktor .....	339
6.5.4	Die weitere Entwicklung der DWR-Containments – Konstruktion und Werkstoffe .....	354
6.5.5	Der Schutz gegen Störmaßnahmen oder sonstige Einwirkungen Dritter – Erdbeben, Flugzeugabsturz, Explosionsdruckwellen, Sabotage ...	363

6.5.6	BMwF/BMBW/BMFT- und BMI-Forschungsvorhaben zur Untersuchung von Reaktorsicherheitsbehältern und -gebäuden.....	386
6.5.7	Nationale und internationale Forschungsvorhaben zum Schutz gegen Einwirkungen von außen (EVA) – unterirdische Bauweise, Explosionsdruckwellen, Erdbeben, Flugzeugabsturz.....	401
6.5.8	Weiterentwicklung der Containment-Konzepte.....	426
6.6	Das Konzept der Berstsicherheit von Druckwasserreaktoren (DWR).....	446
6.6.1	Das Sicherheitskriterium „Leck-vor-Bruch“.....	446
6.6.2	Die Forderungen des ACRS.....	464
6.6.3	Cottrell-Memorandum und Marshall-Bericht.....	465
6.6.4	Berstsicherung beim geplanten BASF-Kernkraftwerk.....	466
6.7	Die Kernnotkühlung.....	476
6.7.1	Die LOFT-Versuchsanlage der USAEC/USNRC und ihr technisch-wissenschaftliches Umfeld.....	477
6.7.2	Das BMFT-Projekt Kernnotkühlung.....	514
6.7.3	Notkühlsysteme mit „Heißeinspeisung“.....	529
6.7.4	Das LOFT-Programm 1976–1989.....	535
6.7.5	Die Versuchsanlage PKL von Siemens/KWU.....	542
6.7.6	Das LOBI-Projekt von EURATOM und BMFT.....	556
6.7.7	Das 2D/3D-Projekt von USNRC/JAERI/BMFT, UPTF im GKM.....	562
6.7.8	Das UPTF-TRAM-Forschungsvorhaben des BMFT/BMBF.....	589
6.8	Die Entwicklung der Leittechnik.....	603
6.8.1	Die Anfänge in den USA.....	604
6.8.2	Die Entwicklung der betrieblichen Leittechnik in der Bundesrepublik.....	617
6.8.3	Reaktorschutzfunktion und Reaktorschutzsystem in deutschen Kernkraftwerken.....	641
<b>7</b>	<b>Die Probabilistik und die Frage nach dem Restrisiko.....</b>	<b>651</b>
7.1	Die Einführung der probabilistischen Methode.....	651
7.2	Reaktorsicherheits-Studien in den USA 1957–1990.....	655
7.2.1	Der Brookhaven-Bericht WASH-740, 1957.....	655
7.2.2	Der Rasmussen-Report WASH-1400, 1975.....	658
7.2.3	Die Risiko-Studie NUREG-1150, 1990.....	669
7.3	Die Deutsche Risikostudie Phase A, B.....	674
<b>8</b>	<b>Mensch – Technik – Organisation – Umfeld.....</b>	<b>685</b>
8.1	Simulatorschulung.....	685
8.2	Die Sicherheitskultur.....	691
8.3	Die Nukleare Sicherheitsarchitektur (NSA).....	708

<b>9 Die Sicherheit des Reaktordruckbehälters (RDB)</b>	
<b>von Druckwasserreaktoren .....</b>	<b>715</b>
9.1 Die Regelwerke .....	715
9.1.1 Der konventionelle Kesselbau im 20. Jahrhundert .....	718
9.1.2 Der nukleare Kesselbau .....	722
9.1.3 Schwere Schadensfälle im nichtnuklearen Bereich und ihre Konsequenzen .....	723
9.1.4 Anforderungen an die RDB für Großkernkraftwerke...	738
9.2 Alternativen zu Vollwandbehältern aus Schmiedestücken ...	748
9.2.1 RDB aus Spannbeton .....	748
9.2.2 Mehrlagen-Stahlbehälter .....	753
9.2.3 Das Elektroschlacke-Umschmelzverfahren (MHKW) .....	764
9.2.4 Vorgespannte Guss-Druckbehälter (VGD) .....	769
9.2.5 Formgeschweißte Großbehälter .....	780
9.3 Das amerikanische RDB-Vorbild .....	786
9.3.1 Die ASTM-Reaktorwerkstoffe .....	786
9.3.2 Konstruktionsbeispiele Shippingport, Indian Point, Yankee Rowe, Trino, Haddam Neck .....	790
9.4 Reaktordruckbehälter deutscher Anlagen .....	798
9.4.1 Die Reaktorbaustähle .....	798
9.4.2 RDB-Beispiele MZFR, Atucha-2, NS Otto Hahn, KWO, KWB-A, KMK, KKP-2 .....	804
9.5 Reaktordruckbehälter russischer Bauart - WWER-440/1.000 .....	820
<b>10 Forschungen zur Qualitätssicherung und Quantifizierung des Sicherheitsabstands für druckführende Umschließungen .....</b>	<b>825</b>
10.1 Frühe internationale Vorhaben und Kooperationen .....	825
10.1.1 Das amerikanische HSST-Programm .....	825
10.1.2 Die EURATOM-Forschungsprogramme .....	832
10.2 Anfänge deutscher Forschungsvorhaben „Reaktordruckbehälter“ .....	835
10.2.1 Forschungsprojekte in den 1960er Jahren (national/international) .....	835
10.2.2 RSK-Ad-hoc-Ausschuss RDB .....	838
10.2.3 Der MPA-Statusbericht 1970/1971 und der IRS- Statusbericht 1973/1976 .....	841
10.2.4 Das Aktionskomitee Unterplattierungsrisse (AK UPR) 1971 .....	851
10.2.5 Das Sofortprogramm 22 NiMoCr 3 7, RS 84 .....	856
10.2.6 Das Dringlichkeitsprogramm 22 NiMoCr 3 7, RS 101 .....	864
10.2.7 Schadenphänomene/Fehleratlas .....	871
10.2.8 Die BMI-Krisensitzung 1975 .....	875
10.2.9 Das Sofortprogramm 20 MnMoNi 5 5 .....	877
10.3 Das Forschungsprogramm Reaktorsicherheit der Bundesregierung .....	880

10.4	Das BMFT-Projekt Qualitätssicherung.....	882
10.4.1	Die Anfänge der Ultraschall-Prüfung .....	883
10.4.2	Die Ultraschallprüfung der Druckführenden Umschließung .....	885
10.5	Das BMFT-Forschungsvorhaben Komponentensicherheit (FKS).....	888
10.5.1	Die FKS-Zielsetzung .....	890
10.5.2	Die FKS-Organisationsstruktur.....	894
10.5.3	Die Stellung der MPA Stuttgart.....	896
10.5.4	Durchführung und Ergebnisse des FKS Phase I und II.....	903
10.5.5	Das Gesamtkonzept Komponentensicherheit .....	911
10.5.6	Das Forschungsvorhaben Großbehälter (FV-GB)...	912
10.5.7	Das HDR-Sicherheitsprogramm.....	917
10.5.8	Phänomenologische Behälterberstversuche (BV)...	928
10.5.9	RDB-Notkühlsimulationen (NKS).....	935
10.5.10	Bestrahlung (BE).....	938
<b>11</b>	<b>Die Basissicherheit und das Basissicherheitskonzept für die druckführende Umschließung .....</b>	<b>943</b>
11.1	Die Basissicherheit und ihre Vorgeschichte .....	943
11.1.1	Die Bedingungen der „primären“ RDB-Berst- sicherheit .....	943
11.1.2	Das Thesenpapier .....	945
11.2	Die Übernahme der Basissicherheit in das Regelwerk .....	948
11.2.1	Die RSK-Leitlinien für DWR vom 24.1.1979 .....	948
11.2.2	Die Anwendung der Basissicherheit auf die „Äußeren Systeme“ .....	949
11.2.3	Die Rahmenspezifikation Basissicherheit.....	950
11.2.4	Die Basissicherheit im KTA-Regelwerk .....	953
11.3	Das Basissicherheitskonzept.....	953
11.3.1	Umrüstungen.....	957
11.3.2	Internationale Beachtung.....	961
<b>12</b>	<b>Neue fortschrittliche Ansätze für Leichtwasserreaktoren.....</b>	<b>965</b>
12.1	Entwicklungen in Deutschland .....	975
12.2	Das deutsch-französische Projekt EPR.....	977
<b>13</b>	<b>Zukunftsoption Kernenergie in Deutschland? .....</b>	<b>983</b>
<b>14</b>	<b>Schlussbetrachtung .....</b>	<b>991</b>
<b>Anhang</b> .....	<b>999</b>	
<b>Glossar</b> .....	<b>1053</b>	
<b>Literatur</b> .....	<b>1057</b>	
<b>Namenverzeichnis</b> .....	<b>1103</b>	
<b>Sachverzeichnis</b> .....	<b>1107</b>	