



U. Hauptmanns · M. Hertrich · W. Werner

# Technische Risiken

Ermittlung und Beurteilung

Im Auftrag des Bundesministeriums für Umwelt,  
Naturschutz und Reaktorsicherheit

Mit einem Geleitwort von  
Bundesminister Klaus Töpfer

Mit 45 Abbildungen

Springer-Verlag  
Berlin Heidelberg GmbH 1987

Dr.-Ing. U. Hauptmanns,  
Dr. rer. nat. W. Werner,  
Gesellschaft für Reaktorsicherheit (GRS),  
Köln

Dr. rer. nat. M. Hertrich  
Bundesministerium für Umwelt,  
Naturschutz und Reaktorsicherheit,  
Bonn

Die Studie wurde im Auftrag des BMI bzw. BMU erstellt. Für den Inhalt tragen die Autoren allein die Verantwortung.

ISBN 978-3-662-10263-3

CIP-Kurztitelaufnahme der Deutschen Bibliothek.

**Hauptmanns, Ulrich:**

Technische Risiken : Ermittlung u. Beurteilung / U. Hauptmanns ; M. Hertrich ; W. Werner. Im Auftr. d. Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz u. Reaktorsicherheit. Mit e. Geleitw. von Klaus Töpfer.

ISBN 978-3-662-10263-3 ISBN 978-3-662-10262-6 (eBook)

DOI 10.1007/978-3-662-10262-6

NE: Hertrich, Michael.; Werner, Wolfgang

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdruckes, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der Fassung vom 24. Juni 1985 zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

© Springer-Verlag Berlin Heidelberg 1987

Ursprünglich erschienen bei Springer-Verlag Berlin Heidelberg New York 1987

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z. B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, daß solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Satz  
2160/3020-543210

# Geleitwort

Die Erweiterung der menschlichen Möglichkeiten durch die Nutzung technischer Hilfsmittel stand am Anfang menschlicher Zivilisation. Technik muß ein Hilfsmittel zur Verbesserung der menschlichen Lebensbedingungen bleiben. Sie muß kalkulierbar und beherrschbar sein, damit nicht Kräfte entfesselt werden, die auch das Ende menschlicher Zivilisation bewirken können. Bereits die griechische Mythologie lehrt uns, daß Segen und Fluch eng beieinander liegen, wenn der Mensch über seine natürlichen Kräfte hinausstrebt. Prometheus strafte die Götter, weil er den Menschen das Feuer brachte, ihr Leben erleichterte, ihnen jedoch damit zugleich göttergleiche Kräfte verlieh. Die uralte Botschaft ist aktueller denn je. Es gilt, die gewaltigen Möglichkeiten des technischen Fortschritts zum Wohle des Menschen zu nutzen, ohne zugleich zum Frevler an der göttlichen Schöpfungsordnung zu werden.

Zum technischen Fortschritt gibt es keine Alternative. Nur mit Hilfe der Technik können wir den Wohlstand in den Industrieländern erhalten, die Lebensbedingungen der Menschen in der Dritten Welt verbessern und auch die Umweltprobleme bewältigen.

Wir wissen aber heute, daß mit der Erweiterung der technischen Möglichkeiten auch die Risiken anwachsen. Moderne Technologien wirken sich tiefgreifender und langfristiger denn je auf unsere menschliche Gesellschaft und auf die natürliche Umwelt aus. Viele befürchten eine nicht mehr kontrollierbare Eigendynamik. Unreflektiertes Wachstumsdenken und blinde Fortschrittsgläubigkeit sind deshalb nicht mehr verantwortbar. Technischer Fortschritt muß vielmehr immer wieder auf unangemessene Risiken und zweifelhaften Nutzen geprüft werden.

Die Risikovorsorge ist eine zentrale Aufgabe der Umweltpolitik. Wir müssen uns dabei der Tatsache bewußt sein, daß absolute Sicherheit und ein Leben ohne einen Rest an Risiko grundsätzlich nicht erreichbar sein werden. Jedes menschliche Handeln – aber auch das Nichthandeln – ist mit Risiken behaftet. Weil dies so ist und weil das Risiko des Einsatzes potentiell gefährlicher Technologie von der Gesellschaft insgesamt zu tragen ist, kann die Entscheidung über die Nutzung risikobehafteter Technologien nicht technischen Spezialisten allein überlassen bleiben, sie muß vielmehr auch politisch verantwortbar werden.

Risikovorsorge erfordert eine möglichst umfassende Risikoanalyse als Basis der Entscheidungsvorbereitung. Sie setzt die Anwendung höchstmöglicher Sicherheitsstandards voraus und verlangt die Offenlegung denkbarer Risiken, damit ein breiter gesellschaftlicher Konsens über die Techniknutzung erzielt werden kann.

Die richtig verstandene Risikovorsorge geht über die bessere Beherrschung eingegangener technischer Risiken hinaus. Erhöhte Risikofaktoren sollen durch weiterentwickelte, risikoärmere und insgesamt bessere Technologien überwunden werden.

Dies bedeutet, natürliche Lebensgrundlagen noch besser zu schützen und Freiräume für die Entwicklung zukünftiger Generationen zu erhalten. Die praktische Anwendung dieses weiten Vorsorgebegriffs setzt systematische, auf Vollständigkeit und Vorausschau abzielende Analyse- und Entscheidungshilfsmittel voraus, wie sie z. B. Risikoanalysen darstellen.

Es ist das Ziel der Umweltpolitik, eine systematische Risikoanalyse und Risikominimierung nicht allein auf den Bereich der Kernreaktorsicherheit zu beschränken. Auch die Risiken anderer Großtechnologien – vor allem die aus der chemischen Produktion – müssen stärker als bisher umfassend analysiert, es müssen Gefahrenpotentiale entdeckt und beseitigt werden.

Dies kann als weitestgehende Vorsorgemaßnahme Produktionsverbote notwendig machen. Es erfordert vor allem aber eine Integration des Ziels der Risikominimierung in die Unternehmensplanung. Mit der Einführung einer obligatorischen Umwelthaftpflichtversicherung soll diese Integration gefördert werden, indem das ökonomische Interesse der Betreiber an einer vorausschauenden Risikominimierung geweckt wird. Als ein weiteres Instrument der Risikovorsorge ist die Umweltverträglichkeitsprüfung anzusehen, die im staatlichen und im privaten Bereich zu einem selbstverständlichen Element vorausschauender Planung werden muß.

Risikoanalyse und technische Minimierung von Risiken müssen ergänzt werden um das Bemühen einer höchstmöglichen Risikoakzeptanz. Dies erfordert die Offenlegung denkbarer Risiken und das Transparentmachen von Chancen und Gefahren, damit die notwendige Abwägung sich auf einen breiten demokratischen Konsens stützen kann.

In diesem Sinne erhoffe ich mir, daß aus dieser Veröffentlichung nicht nur die Fachwelt Nutzen zieht, sondern daß sie auch den notwendigen Dialog zwischen Spezialisten und Laien über Umfang und Zumutbarkeit von Risiken fördert. Unsere Welt braucht den technischen Fortschritt. Sie muß deshalb auch akzeptieren, mit bestimmten Risiken zu leben. Neben der Risikominimierung ist die Hauptaufgabe unserer Zeit, zurückzufinden zu einem Konsens über die Art und Weise, wie wir mit Risiken leben können.

Bonn, August 1987

Prof. Dr. Klaus Töpfer  
Bundesminister für Umwelt,  
Naturschutz und Reaktorsicherheit

# Vorwort

Mit zunehmender Technisierung wächst die Notwendigkeit, sich mit den dadurch entstehenden Risiken zu befassen. Ein Instrumentarium, mit dem eine vorausschauende Beurteilung von technischen Risiken ermöglicht wird, ist die Methode der probabilistischen Sicherheits- und Risikoanalyse. Bei deren Entwicklung und Anwendung hat die Kerntechnik eine Vorreiterrolle eingenommen. Mit der Sicherheitsstudie zu amerikanischen Kernkraftwerken wurde 1975 erstmals das Risiko einer Technologie systematisch untersucht und quantifiziert. In der Folgezeit wurden die Methoden ständig verbessert und auf eine Reihe von Kernkraftwerken angewandt. Auch in anderen Industriezweigen, wie beispielsweise der chemischen Industrie, gibt es inzwischen Risikoabschätzungen. Es ist zu erwarten, daß Risikountersuchungen für Entscheidungen bei Einsatz und Weiterentwicklung von Technologien mit großen Gefahrenpotentialen zunehmend herangezogen werden.

Im vorliegenden Buch wird das Vorgehen bei der Erstellung von Risikostudien dargestellt, wobei Untersuchungen auf dem Gebiet der Kerntechnik den Schwerpunkt bilden. Außerdem werden Studien zu Chemieanlagen und Vergleiche der Risiken verschiedener Technologien zur Energieerzeugung behandelt. Dabei wird deutlich, daß bei der Durchführung einer Risikostudie Erkenntnisse aus sehr vielen verschiedenen Fachgebieten herangezogen werden müssen. Ein entscheidender Vorteil solcher Studien ist es, daß die Einzelergebnisse aus diesen unterschiedlichen Gebieten zu einer Gesamtaussage zusammengefaßt werden können. Deutlich wird aber auch, daß trotz intensiver Forschungstätigkeit bislang nicht vollständig aufgeklärte Phänomene verbleiben und daß die Ergebnisse von Risikostudien stets mit Unsicherheiten behaftet sind.

Die Zusammenhänge werden verbal dargestellt, so daß die Lektüre des Buches kein mathematisches Rüstzeug voraussetzt. Ergebnisse zahlreicher Studien werden mitgeteilt. Das Verständnis der Zusammenhänge gestattet es, diese zu beurteilen und ihren Nutzen richtig einzuschätzen.

Das Buch fußt auf dem „Statusbericht Risiko“, der von der Gesellschaft für Reaktorsicherheit in Köln für den Bundesminister des Inneren im August 1984 fertiggestellt wurde. Er wurde überarbeitet und auf den neuesten Stand gebracht. Eine Ausnahme bildet dabei die Darstellung der probabilistischen Sicherheitsziele im Ausland, da diese häufig nicht verbindlich festgeschrieben sind und deshalb laufenden Veränderungen unterliegen.

Bei der Abfassung des Buches wurden die Autoren von zahlreichen Kollegen unterstützt. Der Dank dafür gilt insbesondere den Herren Hörtner (Common Mode-Ausfälle), Köberlein (Studien für Schnellen Brutreaktor- und Hochtemperaturreaktoren), Polke (Risiko im nuklearen Brennstoffkreislauf) und Reichart (menschliche

Fehlhandlungen). Gleichermaßen gilt ihr Dank dem Bundesminister für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit, der die Drucklegung ermöglichte, und dem Springer-Verlag für die gute Ausstattung des Buches.

Bonn, Garching, Köln  
im August 1987

Die Verfasser

# Inhaltsverzeichnis

<b>1 Einleitung</b>	1
1.1 Allgemeines	1
1.2 Definition des Begriffs Risiko	1
1.2.1 Das Element „Schaden“	2
1.2.2 Das Element „Ungewißheit“	3
1.2.3 Die Verknüpfung von Schadensumfang und Wahrscheinlichkeit zur Risikozahl	4
1.2.3.1 Individualrisiko	4
1.2.3.2 Kollektivrisiken bezogen auf eine Schadensart	5
1.2.4 Risikozahlen zu Ereignissen, die selten oder noch nie eingetreten sind	5
1.2.4.1 Wahrscheinlichkeitsschätzungen anhand von Beobachtungen des komplementären Ereignisses	5
1.2.4.2 Risikoschätzung anhand von Detailkenntnissen	6
1.2.4.3 Unsicherheiten in Risikoschätzungen anhand von Detailkenntnissen	9
1.2.4.4 Quantifizierung von Unsicherheiten in der Risikoschätzung	10
1.2.5 Formalisierte Darstellung des Risikobegriffs	10
1.2.6 Darstellung geschätzter Risikozahlen	11
1.2.7 Abgrenzungsfragen	13
1.3 Möglichkeiten probabilistischer Methoden bei der Sicherheits- und Risikobeurteilung	13
1.4 Überblick über die folgenden Kapitel	14
Literatur zu Kapitel 1	15
<b>2 Methoden der Risikoanalyse</b>	16
2.1 Anlagentechnische Untersuchungen	17
2.1.1 Ermittlung der Basisdaten	17
2.1.2 Erfassung auslösender Ereignisse	17
2.1.3 Ereignisablaufanalyse	18
2.1.4 Zuverlässigkeitsanalyse	20
2.1.4.1 Ermittlung von Nichtverfügbarkeiten und Ausfallwahrscheinlichkeiten von Komponenten	21
2.1.4.2 Fehlerbaumanalyse	23
2.1.4.3 Simulative (Monte Carlo) Verfahren	25



2.1.4.4	Analytische Verfahren . . . . .	26
2.1.4.5	Vergleich der Methoden . . . . .	26
2.1.4.6	Markov-Modelle . . . . .	27
2.1.4.7	Common-Mode-Ausfälle . . . . .	28
2.1.4.8	Menschliche Fehlhandlungen . . . . .	31
2.1.5	Ermittlung der Freisetzung von Schadstoffen und/oder Energie	34
2.2	Berechnung der Unfallfolgen . . . . .	35
2.2.1	Ausbreitung . . . . .	35
2.2.2	Ermittlung der Auswirkungen . . . . .	36
2.3	Darstellung der Ergebnisse . . . . .	37
2.3.1	Allgemeines . . . . .	37
2.3.2	Kollektivrisiken . . . . .	37
2.3.3	Individualrisiken . . . . .	38
2.4	Aussagesicherheit der Ergebnisse . . . . .	38
	Literatur zu Kapitel 2 . . . . .	40
<b>3</b>	<b>Studien auf dem Gebiet der Kerntechnik . . . . .</b>	<b>43</b>
3.1	Gegenstand und Methoden bei der Analyse von Kernkraftwerken . . . . .	43
3.1.1	Anlagentechnische Untersuchungen . . . . .	45
3.1.1.1	Einleitende Ereignisse der Kernzerstörung . . . . .	45
3.1.1.2	Ereignisablauf- und Zuverlässigkeitsanalyse des Schutz- und Sicherheitsystems . . . . .	45
3.1.1.3	Ereignisablaufanalyse für die Kernzerstörung, Belastung des Kernbehälters . . . . .	47
3.1.1.4	Ereignisablaufanalyse für den Sicherheitsbehälter . . . . .	50
3.1.2	Unfallfolgenberechnung . . . . .	54
3.1.2.1	Atmosphärische Ausbreitung und Ablagerung . . . . .	54
3.1.2.2	Ermittlung der Strahlendosis . . . . .	57
3.1.2.3	Ermittlung der Gesundheitsschäden durch Strahlung . . . . .	59
3.2	Studien für Leichtwasserreaktoren . . . . .	62
3.2.1	Die amerikanische Reaktorsicherheitsstudie . . . . .	62
3.2.2	Die Deutsche Risikostudie Kernkraftwerke . . . . .	64
3.2.2.1	Phase A . . . . .	64
3.2.2.2	Phase B . . . . .	71
3.2.3	Einzelne Studien in den Vereinigten Staaten . . . . .	73
3.2.4	Probabilistische Untersuchungen zu Sizewell B . . . . .	78
3.2.5	Vorläufer möglicher schwerer Kernschadensunfälle . . . . .	80
3.3	Studien für den Schnellen Brutreaktor und den Hochtemperaturreaktor	87
3.3.1	Risikostudie für den natriumgekühlten Schnellen Brutreaktor SNR-300 . . . . .	87
3.3.1.1	Vorbemerkung . . . . .	87
3.3.1.2	Vorgehensweise und Ergebnisse . . . . .	87
3.3.2	Risikountersuchungen zum Hochtemperaturreaktor (HTR) . . . . .	93
3.3.2.1	AIPA-Studie . . . . .	93
3.3.2.2	Sicherheitsstudie für Hochtemperaturreaktoren unter deutschen Standortbedingungen . . . . .	95

Inhaltsverzeichnis	XI
3.4 Risiko im nuklearen Brennstoffkreislauf . . . . .	98
3.4.1 Übersicht über den Brennstoffkreislauf . . . . .	98
3.4.2 Studien über den gesamten Brennstoffkreislauf . . . . .	99
3.4.3 Studien für einzelne Stationen des nuklearen Brennstoffkreislaufs . . . . .	103
3.4.3.1 Anlagen der Brennstoffversorgung . . . . .	103
3.4.3.2 Anlagen der Brennstoffentsorgung . . . . .	106
3.4.4 Transport . . . . .	114
3.4.5 Stilllegung kerntechnischer Anlagen . . . . .	115
3.4.6 Zusammenfassung und Ausblick . . . . .	116
3.5 Folgerungen aus Risikostudien für Kernreaktoren . . . . .	117
3.5.1 Allgemeines . . . . .	117
3.5.2 Einfluß auf Forschungsvorhaben . . . . .	118
3.5.3 Einfluß auf anlagentechnische Gestaltung und Betriebsweise .	120
Literatur zu Kapitel 3 . . . . .	120
<b>4 Risikostudien für Chemieanlagen . . . . .</b>	<b>124</b>
4.1 Allgemeines . . . . .	124
4.2 Canvey Island . . . . .	128
4.2.1 Auftraggeber und Zielsetzung . . . . .	128
4.2.2 Übersicht über den Industriekomplex und seine Gefahrenpotentiale . . . . .	128
4.2.3 Untersuchte Schadensarten . . . . .	128
4.2.3.1 Explosionen . . . . .	128
4.2.3.2 Freisetzungen giftiger Stoffe . . . . .	129
4.2.3.3 Brände . . . . .	129
4.2.4 Schadensverursachende Ereignisse und ihre Quantifizierung .	129
4.2.5 Schadensauswirkungen . . . . .	130
4.2.6 Ergebnisse und Schlußfolgerungen . . . . .	132
4.3 Rijnmond . . . . .	133
4.3.1 Auftraggeber und Zielsetzung . . . . .	133
4.3.2 Übersicht über den Industriekomplex und seine Gefahrenpotentiale . . . . .	134
4.3.3 Untersuchte Schadensarten . . . . .	136
4.3.4 Vorgehensweise . . . . .	137
4.3.4.1 Auslösende und unerwünschte Ereignisse . . . . .	137
4.3.4.2 Daten zur Quantifizierung unerwünschter Ereignisse . . . .	138
4.3.4.3 Fehlerbaumanalyse . . . . .	139
4.3.4.4 Ermittlung der Quellterme . . . . .	140
4.3.4.5 Ausbreitungsrechnungen . . . . .	140
4.3.5 Schadensauswirkungen und Gegenmaßnahmen . . . . .	141
4.3.5.1 Explosionen . . . . .	141
4.3.5.2 Brände . . . . .	142
4.3.5.3 Wirkungen giftiger Gase . . . . .	143
4.3.6 Ergebnisse und Schlußfolgerungen . . . . .	144
4.3.7 Unsicherheiten . . . . .	150

4.4 Vergleichende Bemerkungen . . . . .	150
4.4.1 Canvey Island – Rijnmond . . . . .	150
4.4.2 Rijnmond – DRS . . . . .	151
4.4.2.1 Vorbemerkung . . . . .	151
4.4.2.2 Zielsetzungen . . . . .	151
4.4.2.3 Gegenstand der Analysen . . . . .	151
4.4.2.4 Auslösende und unerwünschte Ereignisse . . . . .	152
4.4.2.5 Daten zur Quantifizierung unerwünschter Ereignisse . . . . .	152
4.4.2.6 Fehlerbaumanalyse . . . . .	153
4.4.2.7 Freisetzungsvorgänge . . . . .	153
4.4.2.8 Ausbreitungsrechnungen . . . . .	154
4.4.2.9 Schadensmodelle . . . . .	154
4.4.2.10 Zusammenfassung . . . . .	155
Literatur zu Kapitel 4 . . . . .	156
<b>5 Risikovergleiche nuklearer und konventioneller Energiewandlungssysteme . . . . .</b>	<b>158</b>
5.1 Einführung . . . . .	158
5.2 Technische Parameter und Daten zur Umweltbelastung für die betrachteten Energiewandlungssysteme . . . . .	161
5.2.1 Vorbemerkung . . . . .	161
5.2.2 Kohlekraftwerke . . . . .	166
5.2.3 Ölkraftwerke . . . . .	167
5.2.4 Erdgaskraftwerke . . . . .	167
5.2.5 Kernkraftwerke . . . . .	167
5.2.6 Regenerierbare Energiequellen . . . . .	168
5.3 Belastungen aus dem Brennstoffkreislauf . . . . .	169
5.3.1 Vorbemerkung . . . . .	169
5.3.2 Kohle . . . . .	169
5.3.3 Erdöl, Erdgas . . . . .	170
5.3.4 Kernenergie . . . . .	170
5.4 Risikovergleiche . . . . .	171
5.4.1 Vorbemerkung . . . . .	171
5.4.2 Berechnungsverfahren . . . . .	172
5.4.3 Ergebnisse der Risikovergleiche . . . . .	175
5.5 Zusammenfassende Wertung und Empfehlungen für weiterführende Arbeiten . . . . .	181
Literatur zu Kapitel 5 . . . . .	182
<b>6 Anwendung probabilistischer Methoden und Kriterien für die Sicherheitsbeurteilung von Kernkraftwerken . . . . .</b>	<b>185</b>
6.1 Allgemeines . . . . .	185
6.2 Grundlagen und Vorgehensweisen der technischen Sicherheitsbeurteilung . . . . .	185
6.3 Rechtliche Grundlagen für die Sicherheitsbeurteilung von Kernkraftwerken . . . . .	187

6.4 Sicherheitsbeurteilung von Kernkraftwerken . . . . .	192
6.4.1 Vorbemerkungen . . . . .	192
6.4.2 Sicherheitsbeurteilung von Kernkraftwerken in der ersten Entwicklungsphase . . . . .	193
6.4.2.1 Das deterministische Konzept der Sicherheitsbeurteilung . . .	194
6.4.3 Sicherheitsbeurteilung von Kernkraftwerken in der zweiten Entwicklungsphase . . . . .	198
6.4.3.1 Grundsätzliche Überlegungen . . . . .	198
6.4.3.2 Bisherige Anwendung probabilistischer Analysen in Genehmigungs- und Aufsichtsverfahren . . . . .	200
6.5 Probabilistische Beschreibung des erreichten Stands der Sicherheit von Kernkraftwerken . . . . .	201
6.5.1 Schutz der Rechte Dritter . . . . .	201
6.5.2 Risikovorsorge . . . . .	202
6.6 Weiterentwicklung der Sicherheit . . . . .	204
6.6.1 Erwartungen und Entwicklungstendenzen . . . . .	204
6.6.2 Aufgaben und Beurteilungskriterien . . . . .	204
6.7 Möglichkeiten für den gemeinsamen Einsatz deterministischer und probabilistischer Methoden zur Sicherheitsbeurteilung . . . . .	206
6.8 Kenngrößen für die Sicherheitsbeurteilung von Kernkraftwerken aufgrund probabilistischer Analysen . . . . .	208
6.8.1 Allgemeines . . . . .	208
6.8.2 Systemverfügbarkeit und -zuverlässigkeit . . . . .	209
6.8.3 Gefahrenzustände in der Anlage (Kernschmelzen) . . . . .	210
6.8.4 Ziele bezüglich der Freisetzung radioaktiver Stoffe in die Atmosphäre . . . . .	210
6.8.5 Sicherheitsziele bezüglich der Strahlenbelastung . . . . .	212
6.8.6 Gesundheitsrisiken für Einzelpersonen und Bevölkerungsgruppen . . . . .	217
6.8.7 Probabilistische Auslegungsziele zu äußeren Einwirkungen und Bränden . . . . .	218
6.8.8 Probabilistische Sicherheits- und Auslegungsziele in der Bundesrepublik Deutschland . . . . .	220
Literatur zu Kapitel 6 . . . . .	224
<b>Anhang A: Risikowerte . . . . .</b>	<b>225</b>
<b>Sachverzeichnis . . . . .</b>	<b>251</b>