

## Inhaltsübersicht

# 1

	<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	IX
	<b>Anschriften</b> .....	XIX
	<b>Beiträge früherer Jahrgänge</b> .....	XXI
<b>I</b>	<b>Energie, Kraftwerksbau</b> .....	1
	Johann-Dietrich Wörner, Bernhard Milow	
<b>II</b>	<b>Windenergieanlagen in Stahlbeton- und Spannbetonbauweise</b> .....	19
	Jürgen Grünberg, Joachim Göhlmann	
<b>III</b>	<b>Geothermie</b> .....	169
	Rolf Katzenbach, Frithjof Clauß, Thomas Waberseck, Isabel M. Wagner	
<b>IV</b>	<b>Staumauern aus Beton und Mauerwerk</b> .....	221
	Diethelm Linse	
<b>V</b>	<b>Planung und Bau von Kleinwasserkraftwerken</b> .....	275
	Bernhard Pelikan	
<b>VI</b>	<b>Konzepte der Tragwerksplanung im Kraftwerksbau</b> .....	311
	Peter Osterrieder, Dieter Werner, Marc Simon	
<b>VII</b>	<b>Bautechnik im Kernkraftwerksbau</b> .....	343
	Rüdiger Meiswinkel, Julian Meyer, Jürgen Schnell	
<b>VIII</b>	<b>Beton im Kraftwerksbau</b> .....	433
	Ludger Lohaus, Lasse Petersen, Robert Griese, Steffen Anders	
	<b>Stichwortverzeichnis</b> .....	517

## Inhaltsübersicht

# 2

	<b>Inhaltsverzeichnis</b> .....	V
	<b>Anschriften</b> .....	XVII
<b>IX</b>	<b>Faserbeton</b> .....	1
	Horst Falkner, Jens-Peter Grunert	
<b>X</b>	<b>Grundlagen des Faserbetons</b> .....	19
	Klaus Holschemacher, Frank Dehn, Yvette Klug	
<b>XI</b>	<b>Baukonstruktionen aus Faserbeton</b> .....	89
	Martin Empelmann, Manfred Teutsch, Marco Wichers	
<b>XII</b>	<b>Erläuterungen zur DAfStb-Richtlinie Stahlfaserbeton</b> .....	141
	Manfred Teutsch, Udo Wiens, Christoph Alfes	
<b>XIII</b>	<b>Betonstahl und Spannstahl</b> .....	177
	Jörg Moersch, Jörg Haßhoff	
<b>XIV</b>	<b>Lebensdauerbemessung</b> .....	229
	Christoph Gehlen, Till Felix Mayer, Stefanie von Greve-Dierfeld	
<b>XV</b>	<b>Instandsetzung und Erhaltung von Betonbauwerken</b> .....	279
	Bernd Hillemeier, Claus Flohrer, Jürgen Krell, Gabriele Marquardt, Jeanette Orlowsky, Michael Raupach, Karsten Schubert, Stephanie Schuler	
<b>XVI</b>	<b>Normen und Regelwerke</b> .....	411
	Frank Fingerloos	
	<b>Stichwortverzeichnis</b> .....	801

# Inhaltsverzeichnis

## 1

<b>I</b>	<b>Energie, Kraftwerksbau</b> .....	1			
	Johann-Dietrich Wörner, Bernhard Milow				
<b>1</b>	<b>Allgemeines</b> .....	3	<b>6</b>	<b>Besondere Aspekte verschiedener Kraftwerkstypen</b> .....	9
<b>2</b>	<b>Energiepolitik</b> .....	3	<b>7</b>	<b>Bauwerke und Konstruktionen</b> .....	10
<b>3</b>	<b>Heutige Energieversorgung</b> .....	4	<b>8</b>	<b>Einwirkungen</b> .....	17
<b>4</b>	<b>Zukünftige Energieversorgung</b> .....	7	<b>9</b>	<b>Literatur</b> .....	17
<b>5</b>	<b>Kraftwerkstypen/Energiewandlung</b> .....	8			
<b>II</b>	<b>Windenergieanlagen in Stahlbeton- und Spannbetonbauweise</b> .....	19			
	Jürgen Grünberg, Joachim Göhlmann				
<b>1</b>	<b>Allgemeines</b> .....	21	2.6.4	Integralgleichungsmethode (Singularitätenmethode) .....	62
<b>2</b>	<b>Einwirkungen auf Windenergieanlagen</b> .....	23	2.6.5	Vertikale Zylinder ( <i>Mac Camy</i> und <i>Fuchs</i> ) .....	66
2.1	Ständige Einwirkungen .....	23	2.6.6	Potenzialtheorie höherer Ordnung .....	68
2.2	Anlagenbetrieb (Rotor und Gondel) .....	23	2.6.7	Wellenlasten auf großvolumige Offshore-Strukturen .....	70
2.3	Windlasten .....	23	2.7	Temperatureinwirkungen .....	74
2.3.1	Windlasten für landseitige Windenergieanlagen (LWEA) .....	23	2.8	See-Eis .....	74
2.3.2	Windlasten für Offshore-Windenergieanlagen (OWEA) .....	34	2.9	Vereisung von Bauteilen .....	77
2.4	Höhe des Seewasserstands .....	41	<b>3</b>	<b>Nichtlineares Werkstoffverhalten</b> .....	77
2.5	Hydrodynamische Umweltbedingungen .....	42	3.1	Einführung .....	77
2.5.1	Seeströmungen .....	42	3.2	Stoffgesetze für Stahlbeton und Spannbeton .....	78
2.5.2	Natürlicher Seegang .....	43	3.3	Biegemoment-Verkrümmungs-Beziehungen .....	82
2.5.3	Harmonische Elementarwelle .....	43	3.3.1	Stahlbetonquerschnitte allgemein .....	82
2.5.4	Wellen finiter Steilheit .....	45	3.3.2	Spannbetonquerschnitte allgemein .....	83
2.5.5	Statistische Beschreibung des Seegangs .....	47	3.3.3	Stahlbeton-Kreisringquerschnitte .....	84
2.5.6	Kurzzeit-Statistik des Seegangs .....	47	3.4	Verformungen und Biegemomente nach Theorie 2. Ordnung .....	87
2.5.7	Langzeitstatistik des Seegangs .....	52	3.5	Querschnittsbemessung im Grenz-zustand der Tragfähigkeit .....	87
2.5.8	Extremwerte des Seegangs .....	54	3.6	Räumliche mechanische Modelle für Beton .....	89
2.5.9	Brechende Wellen .....	56	3.6.1	Spannungszustände und Bruchbedingungen .....	89
2.6	Hydrodynamische Analyse .....	56	3.6.2	Versagensmodelle für Beton .....	89
2.6.1	Allgemeines .....	56	3.6.3	Konstitutive Modelle .....	92
2.6.2	Morison-Formel .....	57			
2.6.3	Potenzialtheoretische Verfahren – lineares Bewegungsverhalten .....	61			

*Beton-Kalender 2011: Kraftwerke, Faserbeton*

Herausgegeben von Konrad Bergmeister, Frank Fingerloos und Johann-Dietrich Wörner

Copyright © 2011 Ernst & Sohn, Berlin

ISBN: 978-3-433-02954-1

<b>4</b>	<b>Tragkonstruktionen und Bemessung</b> . . . 92	4.9.2.1	Vereinfachte Nachweise für Beton . . . . . 130
4.1	Berechnungsgrundlagen . . . . . 92	4.9.2.2	Direkter Nachweis nach DIBt-Richtlinie . . . . . 131
4.2	Strukturmodell für den Turmschaft . . 93	4.9.3	Mehrstufige Ermüdungsbeanspruchungen . . . . . 133
4.3	Schwingungsuntersuchung . . . . . 95	4.9.4	Bruchschwingspielzahlen für mehraxiale Ermüdungsbeanspruchungen . . . . . 133
4.3.1	Ein- und Mehrmassenschwinger . . . . 95	4.9.4.1	Vorgehen . . . . . 133
4.3.2	Energiemethode . . . . . 96	4.9.4.2	Ableitung der Schädigungsvariablen $\kappa_c^{\text{fat}}$ und $\kappa_r^{\text{fat}}$ . . . . . 135
4.3.3	Eigenfrequenzuntersuchung der Tragkonstruktion . . . . . 99	4.9.4.3	Bruchumhüllende unter Ermüdungsbeanspruchung . . . . . 137
4.4	Vorspannung . . . . . 100	4.9.4.4	Versagenskurven unter zweiachialer Ermüdungsbeanspruchung . . . . . 138
4.5	Auslegung landseitiger Windenergieanlagen (LWEA) . . . . . 102	4.9.5	Bemessungsvorschlag bei mehraxialer Ermüdung . . . . . 141
4.5.1	Gesamtdynamische Berechnung . . . 102	4.9.5.1	Vorgehen bei der Bemessung auf Basis der linearen Akkumulationshypothese . . . . . 141
4.5.2	Vereinfachte Berechnung . . . . . 102	4.9.5.2	Herleitung von Modifikationsfaktoren $\lambda_{c3}(N, r)$ für Ermüdungsbeanspruchungen am Druckmeridian . . . . . 142
4.5.3	Einwirkungskombinationen nach DIBt-Richtlinie (onshore) . . . . . 103	4.9.5.3	Herleitung von Modifikationsfaktoren $\lambda_{c2}(N, \alpha)$ für zweiachiale Ermüdungsbeanspruchung . . . . . 143
4.5.4	Teilsicherheitsbeiwerte nach DIBt-Richtlinie . . . . . 106	4.10	Bemessung von Knotenpunkten . . . 146
4.6	Auslegung von Offshore-Windenergieanlagen (OWEA) . . . . . 106	4.11	Bemessung der Gründung . . . . . 151
4.6.1	Steuerungs- und Sicherheitssystem . 106	<b>5</b>	<b>Herstellung von Türmen aus Spannbeton</b> . . . . . 153
4.6.2	Bemessungssituationen und Lastfälle . . . . . 107	5.1	Einleitung . . . . . 153
4.6.3	Grundlegende Überlegungen zum Sicherheitskonzept . . . . . 107	5.2	Hybride Tragwerke aus Stahl und Spannbeton . . . . . 153
4.6.4	Einwirkungskombinationen nach GL-Guideline . . . . . 110	5.3	Spannbetontürme in Segmentbauweise . . . . . 154
4.6.5	Teilsicherheitsbeiwerte nach GL-Guideline . . . . . 116	5.3.1	Beispiele für Konstruktion und Ausführung . . . . . 154
4.7	Grenzzustand der Tragfähigkeit . . . 117	5.3.2	Weiterentwicklung der Segmentbauweise . . . . . 157
4.7.1	Verformungsberechnung nach Theorie 2. Ordnung . . . . . 117	5.4	Offshore-Gründungstragwerke aus Beton . . . . . 158
4.7.2	Lineare Berechnung der Schnittgrößen . . . . . 120	5.4.1	Kompakte Gründungsstrukturen mit Eiskonus . . . . . 159
4.7.3	Nachweis der Spannungen im Turmschaft . . . . . 121	5.4.2	Entwurf, Herstellung, Transport und Installation bei Gründungskonstruktionen aus Beton . . . . . 160
4.7.4	Besonderheiten bei der Segmentbauweise . . . . . 121	5.4.2.1	Besondere Entwurfskriterien . . . . 161
4.8	Nachweise im Grenzzustand der Gebrauchstauglichkeit . . . . . 126	5.4.2.2	Herstellung . . . . . 161
4.8.1	Beanspruchung des Turmschafts durch äußere Einwirkungen . . . . . 126	5.4.2.3	Transport und Installation . . . . . 162
4.8.2	Beanspruchung der Schaftwand durch Zwang . . . . . 126	5.4.2.4	Flach- und Tiefgründung . . . . . 163
4.8.3	Besonderheiten bei der Segmentbauweise . . . . . 127	5.4.2.5	Innovationen . . . . . 164
4.9	Grenzzustand der Ermüdung . . . . . 127	<b>6</b>	<b>Literatur</b> . . . . . 166
4.9.1	Ermüdungswirksame Einwirkungen auf Tragkonstruktionen für Windenergieanlagen . . . . . 128		
4.9.1.1	Einwirkungen aus Wind und Anlagenbetrieb . . . . . 128		
4.9.1.2	Einwirkungen aus Wellen und Seegang . . . . . 129		
4.9.2	Ermüdungsnachweise nach der DIBt-Richtlinie für Windenergieanlagen . . . . . 130		

<b>III</b>	<b>Geothermie</b> .....	169		
	Rolf Katzenbach, Frithjof Clauß, Thomas Waberseck, Isabel M. Wagner			
<b>1</b>	<b>Allgemeines</b> .....	171	4.2.2	Theoretische Grundlagen .....
1.1	Begriffsdefinition .....	171	4.2.3	Weiterentwicklungen des
1.2	Geothermische Energie .....	171		Geothermal Response Tests .....
1.3	Thermische Eigenschaften von		4.3	Laboruntersuchungen .....
	Böden .....	172	4.3.1	Experimentelle Bestimmung der
1.3.1	Wärmekapazität .....	172		Wärmeleitfähigkeit .....
1.3.2	Wärmeleitfähigkeit .....	174	4.3.2	Experimentelle Bestimmung der
1.3.3	Temperaturleitfähigkeit .....	178		Wärmekapazität .....
1.4	Wärmetransport im Boden .....	179	4.4	Dimensionierung .....
1.4.1	Allgemeines .....	179	4.4.1	Allgemeines .....
1.4.2	Wärmeleitung oder Konduktion .....	179	4.4.2	Geothermiesonden .....
1.4.3	Konvektion .....	179	4.4.3	Erdwärmekollektoren .....
1.4.4	Dispersion .....	181	4.4.4	Energiepfähle und andere
1.4.5	Wärmetransportgleichung .....	181	4.4.5	erdberührte Betonbauteile .....
<b>2</b>	<b>Technologien der oberflächennahen</b>			Grundwasserbrunnen .....
	<b>Geothermie</b> .....	182	<b>5</b>	<b>Herstellung und Konstruktive</b>
2.1	Einleitung .....	182		<b>Durchbildung</b> .....
2.2	Technische Baugrundausrüstung .....	182	5.1	Bohrverfahren .....
2.2.1	Geschlossene Systeme .....	182	5.1.1	Trockenbohrverfahren .....
2.2.2	Offene Systeme .....	185	5.1.2	Spülbohrverfahren .....
2.3	Technische Gebäudeausrüstung .....	185	5.1.3	Kernbohrverfahren .....
2.3.1	Allgemeines .....	185	5.2	Konstruktive Durchbildung von
2.3.2	Wärmepumpe .....	186		Wärmeaustauschern im Baugrund .....
2.4	Betriebsarten .....	187	5.2.1	Erdwärmekollektoren .....
2.5	Beispiele .....	188	5.2.2	Geothermiesonden .....
2.5.1	Energiepfehlanlage PalaisQuartier,		5.2.3	Energiepfähle und andere
	Frankfurt am Main .....	188		erdberührte Betonbauteile
2.5.2	Einsatz von Geothermie im			(Massivabsorber) .....
	Verkehrswegebau .....	190	5.3	Horizontale Anbindung .....
<b>3</b>	<b>Planung und Projektablauf</b> .....	191	5.4	Direkte Grundwassernutzung .....
3.1	Einleitung .....	191	<b>6</b>	<b>Qualitätssicherung</b> .....
3.2	Leistungsphasen und Planungsaufgaben .....	191	6.1	Einführung .....
3.2.1	Grundlagenermittlung .....	192	6.2	Qualitätssicherung in der
3.2.2	Vorplanung .....	193		Planungsphase .....
3.2.3	Entwurfsplanung .....	193	6.3	Qualitätssicherung in der
3.2.4	Genehmigungsplanung .....	193		Herstellungsphase .....
3.2.5	Ausführungsplanung .....	194	6.4	Qualitätssicherung in der
3.2.6	Vorbereitung der Vergabe .....	194		Betriebsphase .....
3.2.7	Mitwirkung bei der Vergabe .....	194	6.5	Dokumentation .....
3.2.8	Objektüberwachung		6.6	Messtechnische Überwachung .....
	(Bauüberwachung oder Bauober-		<b>7</b>	<b>Rechtliche Aspekte und</b>
	leitung) .....	194		<b>Genehmigung</b> .....
3.2.9	Objektbetreuung und		7.1	Allgemeines .....
	Dokumentation .....	194	7.2	Bergrecht .....
<b>4</b>	<b>Geothermische Erkundung und</b>		7.3	Wasserrecht .....
	<b>Dimensionierung</b> .....	195	7.4	Bodenschutzrecht .....
4.1	Einleitung .....	195	7.5	Sonstige rechtliche Vorgaben .....
4.2	Geothermal Response Test (GRT) .....	195	7.6	Technische und sonstige
4.2.1	Prinzip des Geothermal Response			Regelwerke und Empfehlungen .....
	Tests .....	195	<b>8</b>	<b>Literatur</b> .....
				216

<b>IV</b>	<b>Stauauern aus Beton und Mauerwerk</b> .....	221
	Diethelm Linse	
<b>1</b>	<b>Einführung</b> .....	223
<b>2</b>	<b>Konzeption und Gestaltung von Stauauern</b> .....	223
2.1	Grundsätze der Stauauertypen .....	223
2.2	Betriebseinrichtungen .....	224
<b>3</b>	<b>Gewichtsstauauern</b> .....	225
3.1	Gewichtsstauauern aus Massenbeton .....	226
3.1.1	Massenbeton .....	226
3.1.2	Blockweises Betonieren .....	227
3.1.3	Block- und Arbeitsfugen .....	228
3.1.4	Injektionen und Drainage .....	229
3.1.5	Schalung .....	229
3.2	Gewichtsstauauern aus RCC – Walzbeton .....	230
3.3	CSG-Mauern .....	231
3.4	Gewichtsstauauern aus Bruchsteinmauerwerk – Intze-Mauern .....	232
3.5	Aufgelöste Stauauern .....	234
3.5.1	Pfeilerstauauern .....	234
3.5.2	Gewölbereihenmauern .....	236
<b>4</b>	<b>Bogenstauauern</b> .....	238
4.1	Mauerformen .....	238
4.2	Konstruktion von Bogenstauauern .....	239
<b>5</b>	<b>Planung von Talsperren</b> .....	240
5.1	Grundlagenermittlung .....	240
5.2	Genehmigungs- und Ausführungsplanung .....	241
<b>6</b>	<b>Sicherheitsnachweise</b> .....	241
6.1	Tragsicherheit .....	241
6.1.1	Allgemeines .....	241
6.1.2	Einwirkungen .....	242
6.1.3	Tragwiderstände .....	243
6.1.4	Bemessungssituationen .....	244
6.1.5	Restrisiko .....	244
6.2	Gebrauchstauglichkeit .....	245
6.3	Nachweisführung .....	245
6.3.1	Gewichtsstauauern .....	245
6.3.2	Bogenstauauern .....	247
6.3.3	Andere Mauerformen .....	248
<b>7</b>	<b>Bauwerksüberwachung</b> .....	248
7.1	Mess- und Kontrolleinrichtungen .....	249
7.1.1	Allgemeines .....	249
7.1.2	Wirkgrößen (Messgrößen) und Messmethoden .....	249
7.2	Berichte .....	250
7.2.1	Der jährliche Sicherheitsbericht .....	250
7.2.2	Die vertiefte Überprüfung .....	251
7.2.3	Probestau .....	251
7.2.4	Talsperrenbuch .....	252
<b>8</b>	<b>Beispiele</b> .....	252
8.1	Gewichtsstauauer Leibis-Lichte .....	252
8.1.1	Kurzbeschreibung .....	252
8.1.2	Gründung .....	253
8.1.3	Beton .....	253
8.1.4	Maßnahmen zur Reduzierung der Beanspruchungen aus Temperatur .....	254
8.1.5	Kontrollgänge .....	256
8.1.6	Mess- und Kontrolleinrichtungen .....	256
8.1.7	Betriebseinrichtungen .....	257
8.2	RCC-Mauer .....	257
8.3	Bogenstauauer .....	258
8.3.1	Bogenstauauer Punt dal Gall .....	258
8.3.2	Bogenstauauer Tsankov Kamak .....	258
<b>9</b>	<b>Sanierung von Massivsperrern</b> .....	259
9.1	Einführung .....	259
9.2	Sanierung von Intze-Mauern und ähnlichen Gewichtsstauauern .....	260
9.2.1	Notwendigkeit der Sanierungen von Intze-Mauern .....	260
9.2.2	Sanierung von Intze-Mauern .....	261
9.2.2.1	Beton-Vorsatzschale im Verbund .....	261
9.2.2.2	Beton-Vorsatzschale gleitend .....	261
9.2.2.3	Abdichtungsbahnen (Geomembran) an der Wasserseite .....	263
9.2.2.4	Andere Abdichtungen der Mauerwasserseite .....	263
9.2.2.5	Sanierung durch Injektionen und Drainagen .....	263
9.2.2.6	Erhöhung der Mauerauflast durch ein Zusatzgewicht oder Vorspannung .....	266
9.3	Risse im Beton .....	266
9.3.1	Rissanierung .....	266
9.3.2	Rissbildungen in filigranen Stauauern .....	267
9.4	Sanierung der Luft- und Wasserseiten .....	269
9.4.1	Mauerwerk .....	269
9.4.2	Mauerkrone, Überlauf .....	270
9.4.3	Betonkorrosion .....	271
9.4.4	Korrosionsschäden an Stahlbetonbauteilen .....	272
9.5	Betonzerstörung durch Alkali-Kieselsäure-Reaktion .....	273
<b>10</b>	<b>Literatur</b> .....	273

<b>V</b>	<b>Planung und Bau von Kleinwasserkraftwerken</b> .....	275
	Bernhard Pelikan	
<b>1</b>	<b>Kleinwasserkraft in Europa – Potenziale, Bestand und Randbedingungen</b> .....	277
1.1	Einleitung .....	277
1.2	Definition .....	277
1.3	Potenziale .....	277
1.4	Europa .....	278
1.5	Welt .....	279
<b>2</b>	<b>Physikalische und energie-wirtschaftliche Grundlagen</b> .....	281
2.1	Fallhöhe .....	281
2.2	Ausbaudurchfluss .....	281
2.3	Leistung .....	281
2.4	Arbeit .....	282
2.5	Wirkungsgrade .....	282
<b>3</b>	<b>Datenerhebung, Datensammlung</b> .....	283
3.1	Grundbesitzverhältnisse .....	283
3.2	Wasserrechte .....	283
3.3	Hydrologische Daten .....	284
3.4	Fischereirechte .....	284
3.5	Topografie – Höhenverhältnisse .....	284
3.6	Flächenwidmung – Raumplanung – Raumordnung .....	284
3.7	Ökologierelevante Daten .....	284
3.7.1	Fischökologie .....	284
3.7.2	Makrozoobenthos .....	285
3.7.3	Phytobenthos .....	285
3.7.4	Vegetationskunde .....	285
3.8	Terrestrische Fauna .....	285
<b>4</b>	<b>Hydrologische Grundlagen</b> .....	285
4.1	Einzugsgebiet .....	285
4.2	Mittelwasserabfluss .....	285
4.3	Abflussganglinie – Abflussdauerlinie .....	286
4.4	Extremwerte .....	286
<b>5</b>	<b>Grundlagen der angewandten Hydrodynamik</b> .....	287
5.1	Kontinuitätsbedingung .....	287
5.2	Energiehöhengleichung nach <i>Bernoulli</i> .....	287
5.3	Abflusszustände im offenen Gerinne .....	288
5.4	Impulssatz .....	289
5.5	Rohrströmung .....	289
5.5.1	Örtliche Verluste .....	289
5.5.2	Kontinuierliche Verluste .....	289
5.6	Gerinneströmung .....	290
5.7	Überfallströmung .....	290
5.8	Abfluss unter Schützen .....	290
5.9	Schwall und Sunk (Instationärer Fließvorgang) .....	291
5.10	Schleppspannung, Geschiebebewegung .....	291
5.11	Schwebstoffe .....	291
<b>6</b>	<b>Klassifizierung und Bauteile</b> .....	291
<b>7</b>	<b>Wehranlagen</b> .....	292
7.1	Feste Wehre .....	292
7.2	Bewegliche Wehre .....	293
7.2.1	Schütze .....	293
7.2.2	Segmente .....	294
7.2.3	Klappen .....	294
7.2.4	Schläuche .....	294
<b>8</b>	<b>Wasserfassung und Abwehr von Wasserinhaltsstoffen, Spülung</b> .....	294
8.1	Positionierung im Flusslauf .....	295
8.2	Grobbrechen .....	295
8.3	Tauchwand .....	295
8.4	Spülschütz .....	295
8.5	Einlaufschwelle – Kragschwelle .....	295
8.6	Entkiesung, Entsandung .....	295
8.7	Spülung .....	295
8.8	Feinrechen und Rechenreinigung .....	296
<b>9</b>	<b>Offene Triebwasserwege</b> .....	296
9.1	Dichtheit .....	296
9.2	Hydromechanik .....	297
9.3	Querschnittsformen und -änderungen .....	297
9.4	Bauweise – Baumaterialien .....	297
9.5	Linienführung .....	297
9.6	Gestaltung und Bepflanzung .....	297
<b>10</b>	<b>Geschlossene Triebwasserwege – Rohrleitungen</b> .....	298
10.1	Rohrmaterial, Querschnitte, Druckstufen .....	298
10.2	Verlegung .....	298
10.3	Druckstoß .....	298
<b>11</b>	<b>Verschluss- und Regelorgane bei Rohrleitungen</b> .....	298
11.1	Absperrorgane .....	299
11.1.1	Keilschieber .....	299
11.1.2	Drosselklappen .....	299
11.1.3	Kugelschieber (auch Kugelhahn) .....	299
11.2	Regelorgane .....	299
11.2.1	Ringschieber .....	299
11.2.2	Kegelstrahlschieber .....	299
<b>12</b>	<b>Turbinen</b> .....	300
12.1	Einteilung in Abhängigkeit von Q und H .....	300
12.2	Einteilung nach der Wasserzuführung .....	301
12.3	Einteilung nach der Regelungsart .....	301
12.4	Turbinenwirkungsgrad .....	301
12.5	Durchgangsdrehzahl .....	302
12.6	Hydraulische Umgebung von Überdruckturbinen .....	302
12.7	Kaplan-Turbine .....	302

12.8	Francis-Turbine . . . . .	303	14.3.3	Einflüsse, resultierend aus der Fallhöhe . . . . .	306
12.9	Pelton-Turbine . . . . .	303	14.3.4	Raumgestaltung . . . . .	307
12.10	Durchströmturbine . . . . .	303	14.4	Betriebsart . . . . .	307
12.11	Wasserkraftschnecke . . . . .	303	14.4.1	Wasserspiegel . . . . .	307
<b>13</b>	<b>Elektrotechnische Ausrüstung</b> . . . . .	<b>304</b>	14.4.2	Abfluss . . . . .	307
13.1	Allgemeines . . . . .	304	14.5	Emissionen . . . . .	307
13.2	Elektrische Maschinen . . . . .	304	14.6	Rechengut . . . . .	307
13.2.1	Generatoren . . . . .	304	14.7	Infrastruktur . . . . .	307
13.2.2	Transformatoren . . . . .	305	14.8	Fischwanderhilfen . . . . .	308
13.3	Schutz- und Regeleinrichtungen . . . . .	305	14.9	Pflichtwasserabgabe . . . . .	308
13.3.1	Generatorschutz- und -regeleinrichtungen . . . . .	305	14.9.1	Allgemeines . . . . .	308
13.3.2	Messeinrichtungen . . . . .	305	14.9.2	Pflichtwasserfestlegung als Projekthinhalte . . . . .	309
<b>14</b>	<b>Umweltauswirkungen</b> . . . . .	<b>305</b>	14.9.3	Der geeignete Berechnungsansatz . . . . .	309
14.1	Allgemeines . . . . .	305	14.9.4	Gestaffelte und dynamische Abgabe . . . . .	309
14.2	Auslegungsdaten . . . . .	306	14.9.5	Die Pflichtwasserturbine . . . . .	309
14.2.1	Ausbaudurchfluss . . . . .	306	14.9.6	Flussbauliche Gestaltung der Entnahmestrecke . . . . .	309
14.2.2	Fallhöhe . . . . .	306	<b>15</b>	<b>Literatur</b> . . . . .	<b>309</b>
14.3	Anlagen . . . . .	306			
14.3.1	Kraftwerkstyp . . . . .	306			
14.3.2	Bauweise . . . . .	306			

## VI Konzepte der Tragwerksplanung im Kraftwerksbau . . . . . 311

Peter Osterrieder, Dieter Werner, Marc Simon

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> . . . . .	<b>313</b>	<b>2</b>	<b>Tragwerksplanung</b> . . . . .	<b>323</b>
1.1	Kraftwerkstechnik . . . . .	315	2.1	Abgrenzung zum üblichen Industrie- und Hochbau . . . . .	323
1.1.1	Kraftwerksprozess und Komponenten eines Dampfkraftwerks . . . . .	315	2.2	Sicherheitskonzept . . . . .	324
1.1.2	Kraftwerkskennzeichnungssystem KKS . . . . .	316	2.3	Einwirkungen . . . . .	324
1.2	Projektablauf . . . . .	316	2.4	Tragwerke . . . . .	328
1.2.1	Grundsätzliches . . . . .	316	2.4.1	Grundsätze . . . . .	328
1.2.2	Leistungsumfang und Verantwortung der Tragwerks- planung . . . . .	317	2.4.2	Gründungen . . . . .	329
1.2.3	Vergabearten . . . . .	317	2.4.3	Treppentürme . . . . .	331
1.2.4	Planungsphasen . . . . .	317	2.4.4	Maschinenhaus . . . . .	332
1.2.4.1	Konzept- und Vergabeplanung . . . . .	317	2.4.5	Kesselhaus . . . . .	333
1.2.4.2	Genehmigungsplanung . . . . .	320	2.4.6	Kohlelager . . . . .	335
1.2.4.3	Vorgezogene Ausführungsplanung . . . . .	320	2.4.7	Silos für Flugasche . . . . .	336
1.2.4.4	Abschließende Ausführungs- planung . . . . .	321	2.4.8	Hauptkühlwassersystem . . . . .	338
1.2.5	As-Build-Dokumentation . . . . .	321	2.4.9	Kühlturm . . . . .	338
1.3	Gestaltungsgrundsätze . . . . .	322	2.4.10	Hauptkühlwasserleitung . . . . .	339
			2.4.11	Kühlwasserpumpenhaus . . . . .	340
			<b>3</b>	<b>Zusammenfassung</b> . . . . .	<b>341</b>
			<b>4</b>	<b>Literatur</b> . . . . .	<b>341</b>

## VII Bautechnik im Kernkraftwerksbau . . . . . 343

Rüdiger Meiswinkel, Julian Meyer, Jürgen Schnell

<b>Vorbemerkung</b> . . . . .	345	1.3	Bedeutung der Kernenergie . . . . .	346	
<b>1</b>	<b>Einführung</b> . . . . .	<b>345</b>	<b>2</b>	<b>Kernenergie</b> . . . . .	<b>348</b>
1.1	Energiebedarf . . . . .	345	2.1	Stromerzeugung durch Kernkraftwerke . . . . .	348
1.2	Stromerzeugung . . . . .	346			

2.2	Kernspaltung	348	4.5	Rückbau	385
2.3	Radioaktivität	349	4.5.1	Gesetzliche Grundlagen und Regelwerke	386
2.4	Reaktorkonzepte	352	4.5.2	Stilllegungsstrategien	386
2.4.1	Übersicht	352	4.5.3	Rückbauphasen	387
2.4.2	Leichtwasserreaktoren	352	4.5.4	Einzelne baubezogene Maßnahmen beim Rückbau	388
2.5	Sicherheitsphilosophie	357	4.5.5	Technologien für den Rückbau des Bauteils	388
<b>3</b>	<b>Genehmigungsaspekte</b>	<b>360</b>	<b>5</b>	<b>Außergewöhnliche Einwirkungen für die Auslegung kerntechnischer Anlagen</b>	<b>390</b>
3.1	Atomrecht und Baurecht	361	5.1	Übersicht	390
3.2	Schnittstelle Anlagentechnik/Bautechnik	362	5.2	Einwirkungen von innen (EVI)	390
3.3	Periodische Sicherheitsüberprüfungen	362	5.2.1	Lecks und Brüche von Rohrleitungen	390
3.4	Planungs- und Auslegungsanforderungen	362	5.2.2	Sonstige anlageninterne Ereignisse	391
3.4.1	Internationale Vorgaben der IAEA	362	5.3	Einwirkungen von außen (EVA)	392
3.4.2	Europäischer Anforderungskatalog	363	5.3.1	Erdbeben	392
3.4.3	Regelwerk des Kerntechnischen Ausschusses	363	5.3.1.1	Allgemeines	392
3.4.4	Normen des Deutschen Instituts für Normung	364	5.3.1.2	Festlegungen der Erdbebenwirkung	392
<b>4</b>	<b>Bauwerke für kerntechnische Anlagen</b>	<b>364</b>	5.3.1.3	Tragwerksanalysen	395
4.1	Allgemeines	364	5.3.2	Hochwasser	397
4.2	Kernkraftwerke	364	5.3.2.1	Allgemeines	397
4.2.1	Bauwerksübersicht	364	5.3.2.2	Binnenstandorte	397
4.2.2	Werkstoffe	368	5.3.2.3	Küstenstandorte	397
4.2.2.1	Allgemeines	368	5.3.3	Flugzeugabsturz	398
4.2.2.2	Beton	368	5.3.3.1	Allgemeines	398
4.2.2.3	Betonstahl	369	5.3.3.2	Last-Zeit-Funktionen	399
4.2.2.4	Spannstahl	369	5.3.4	Explosionsdruckwelle (chemische Explosion)	400
4.2.3	Reaktorgebäude	369	<b>6</b>	<b>Sicherheitskonzept und Bemessung</b>	<b>401</b>
4.2.4	Maschinenhaus	371	6.1	Normengrundlagen	401
4.2.5	Kühlwasserversorgung	372	6.2	Teilsicherheitskonzept	401
4.2.6	Hochwasser-Schutzbauwerke	372	6.2.1	Allgemeines	401
4.2.7	Gründungen	373	6.2.2	Teilsicherheits- und Kombinationsbeiwerte für Einwirkungen	402
4.2.7.1	Flachgründungen	373	6.2.3	Teilsicherheitsbeiwerte für den Tragwiderstand	402
4.2.7.2	Pfahlgründungen	373	6.3	Bemessungshinweise für Bauteile aus Beton, Stahl- und Spannbeton	404
4.2.8	Objektschutzanforderungen an Bauwerke	373	6.3.1	Festigkeitskennwerte	404
4.3	Bauliche Anlagen für die Entsorgung	374	6.3.2	Querkraft	404
4.3.1	Entsorgungsbedarf	374	6.3.3	Durchstanzen	404
4.3.2	Zwischenlager	374	6.4	Bemessungshinweise für Bauteile aus Stahl	406
4.3.2.1	Sicherheitsstechnische Anforderungen	376	6.5	Besonderheiten bei der Auslegung von Containments	406
4.3.2.2	Anforderungen an die Konstruktion	376	6.5.1	Anforderungen an Containments	406
4.3.2.3	Bauliche Auslegung	377	6.5.2	Reaktorsicherheitsbehälter aus Stahl	407
4.3.3	Endlager	378	6.5.3	Spannbeton-Containment mit Stahl liner	407
4.4	Bauausführung	379	6.5.4	Stahlbeton-Containment mit Stahl liner	408
4.4.1	Baustelleneinrichtung	379			
4.4.2	Projektorganisation	380			
4.4.3	Qualitätssicherung	381			
4.4.4	Schalung und Rüstung	382			
4.4.5	Weitere Besonderheiten der Bauausführung	383			
4.4.5.1	Reaktorgebäude – Containment	384			
4.4.5.2	Einbauteile	385			

<b>7</b>	<b>Befestigungstechnik</b> . . . . .	408	<b>8.2</b>	Anforderungen an die Bauwerks-	
7.1	Arten der Befestigung . . . . .	408		abdichtung . . . . .	420
7.1.1	Einbetonierte Befestigungsmittel . . . . .	408	<b>8.3</b>	Schwarze Wanne . . . . .	420
7.1.2	Nachträglich montierte		8.3.1	Abdichtungsverfahren und -stoffe . . . . .	420
	Befestigungsmittel . . . . .	409	8.3.2	Bemessung der	
7.1.3	Tragfähigkeit . . . . .	409		Bauwerksabdichtung . . . . .	422
7.2	Befestigung mit Kopfbolzen . . . . .	409	8.3.3	Konstruktion des Tragwerks . . . . .	422
7.2.1	Historie . . . . .	409	8.3.4	Planung der Bauwerksabdichtung . . . . .	422
7.2.2	Anwendung und Eigenschaften . . . . .	410	8.3.5	Ausführung der	
7.2.3	Tragverhalten von Kopfbolzen . . . . .	411		Bauwerksabdichtung . . . . .	423
7.2.4	Normen und Zulassungen . . . . .	412	8.3.6	Qualitätssicherung . . . . .	423
7.2.5	Planung und Bemessung . . . . .	412	8.4	Weißer Wanne . . . . .	423
7.2.5.1	Grundlagen . . . . .	412	8.4.1	Systembeschreibung . . . . .	423
7.2.5.2	Nachweis der Tragfähigkeit und		8.4.1.1	Allgemeine Anforderungen . . . . .	423
	Gebrauchstauglichkeit . . . . .	413	8.4.1.2	Konstruktionsprinzipien . . . . .	424
7.2.6	Qualitätssicherung/Werkstoffgüte . . . . .	414	8.4.2	Besondere Anforderungen . . . . .	425
7.2.7	Herstellung und Montage . . . . .	415	8.4.3	Berechnung und Bemessung . . . . .	425
7.2.7.1	Herstellung von Ankerplatten mit		8.4.4	Fugenkonstruktionen . . . . .	425
	Kopfbolzen . . . . .	415	8.4.5	Durchdringungen . . . . .	425
7.2.7.2	Montage der Ankerplatten auf der		8.4.6	Zuständigkeiten . . . . .	425
	Baustelle . . . . .	415	8.4.7	Qualitätssicherung . . . . .	425
7.3	Befestigungen mit Metalldübeln . . . . .	415	8.4.8	Instandsetzung . . . . .	425
7.3.1	Historie . . . . .	415	<b>8.5</b>	Abdichtungskonzept am Beispiel	
7.3.2	Übersicht der Dübeltypen . . . . .	416		Kernkraftwerk OL3 . . . . .	425
7.3.3	Sicherheitskonzept . . . . .	418	<b>9</b>	<b>Alterungs- und Lebensdauer-</b>	
7.3.3.1	Montagesicherheit . . . . .	418		<b>management</b> . . . . .	426
7.3.4	Zulassungen . . . . .	419	9.1	Übersicht . . . . .	426
7.3.4.1	Allgemeines . . . . .	419	9.2	Alterungsmanagement von	
7.3.4.2	Versuche nach DIBt-Leitfaden . . . . .	419		baulichen Anlagen . . . . .	427
7.3.5	Planung und Bemessung . . . . .	419	9.3	Alterungsmechanismen von	
7.4	Korrosionsschutz . . . . .	420		Baumaterialien . . . . .	428
7.5	Feuerwiderstand . . . . .	420	9.4	Durchführung und Dokumentation . . . . .	428
<b>8</b>	<b>Äußere Bauwerksabdichtung</b> . . . . .	420	<b>10</b>	<b>Literatur</b> . . . . .	429
8.1	Aufgaben der Bauwerksabdichtung . . . . .	420			

## VIII Beton im Kraftwerksbau . . . . . 433

Ludger Lohaus, Lasse Petersen, Robert Griese, Steffen Anders

<b>1</b>	<b>Einleitung</b> . . . . .	435	3.1.1.3	Anforderungen Tragwerksplanung . . . . .	450
<b>2</b>	<b>Grundlegende betontechnische</b>		3.1.2	Betontechnologie . . . . .	450
	<b>Anforderungen im Kraftwerksbau</b> . . . . .	438	3.1.2.1	Zement/Bindemittel . . . . .	450
2.1	Typische Randbedingungen und		3.1.2.2	Gesteinskörnung . . . . .	451
	Anforderungen im Kraftwerksbau . . . . .	438	3.1.2.3	Zusatzmittel . . . . .	451
2.2	Betontechnische Planungen im		3.1.2.4	Zusammensetzung . . . . .	452
	Kraftwerksbau . . . . .	440	3.1.3	Qualitätssicherung und	
2.3	Robuste Betone mit kleinem			Überwachung . . . . .	452
	Größtkorn . . . . .	442	3.2	Massenbeton und verzögerter	
2.4	Qualitätsmanagement . . . . .	446		Beton . . . . .	452
<b>3</b>	<b>Betone für typische Bauteile im</b>		3.2.1	Anforderungen Massenbeton . . . . .	453
	<b>Großkraftwerksbau</b> . . . . .	447	3.2.1.1	Tragwerksplanung . . . . .	453
3.1	Bohrpfahlbeton . . . . .	447	3.2.1.2	Anforderungen Dauerhaftigkeit . . . . .	454
3.1.1	Anforderungen an Bohrpfahlbeton . . . . .	448	3.2.1.3	Anforderungen Bauausführung . . . . .	455
3.1.1.1	Anforderungen an die		3.2.2	Betontechnologie . . . . .	456
	Dauerhaftigkeit . . . . .	448	3.2.2.1	Zement/Bindemittel . . . . .	456
3.1.1.2	Anforderungen an das		3.2.2.2	Gesteinskörnung . . . . .	456
	Herstellverfahren . . . . .	449	3.2.2.3	Zusatzmittel – verzögerter Beton . . . . .	456

3.2.2.4	Betonzusammensetzung und Betonentwurf . . . . .	457	3.5	Beton in chemisch stark und sehr stark angreifender Umgebung . . . . .	479
3.2.2.5	Massenbeton mit Zustimmung im Einzelfall oder allgemeiner bauaufsichtlicher Zulassung . . . . .	459	3.5.1	Chemische Beanspruchung der Betonoberfläche bei Kühltürmen mit Abgaseinleitung . . . . .	479
3.2.3	Bauausführung . . . . .	459	3.5.2	Betontechnologische Grundsätze für Betone mit hohem Säurewiderstand . . . . .	484
3.2.4	Qualitätssicherung und Überwachung . . . . .	462	3.5.3	Prüfung des Säurewiderstands von Beton . . . . .	485
3.2.5	Zusammenfassende Empfehlung . . . . .	463	3.5.4	Untersuchungen zum Säurewiderstand von Beton . . . . .	486
3.3	Beton für Gleitbauverfahren . . . . .	463	3.5.5	Erfahrungen bei ausgeführten Projekten . . . . .	488
3.3.1	Verfahren . . . . .	464	3.5.6	Weitere Bauteile im Kraftwerksbau in chemisch stark und sehr stark angreifender Umgebung . . . . .	491
3.3.2	Betontechnologie . . . . .	465	<b>4</b>	<b>Besondere Betone für Anlagen zur Stromerzeugung aus erneuerbaren Energien . . . . .</b>	492
3.3.3	Betonverarbeitung . . . . .	466	4.1	Wasserkraftwerke . . . . .	492
3.3.4	Qualitätssicherung . . . . .	467	4.2	Windenergieanlagen . . . . .	492
3.3.5	Schäden und Fehler beim Gleiten . . . . .	467	4.2.1	Allgemeines . . . . .	492
3.4	Beton für Bauteile im Kühlkreislauf . . . . .	468	4.2.2	Onshore-Windenergieanlagen . . . . .	493
3.4.1	Einleitung . . . . .	468	4.2.3	Offshore-Windenergieanlagen . . . . .	499
3.4.2	Naturzugkühltürme aus Stahlbeton . . . . .	469	4.3	Solarthermische Kraftwerke . . . . .	506
3.4.2.1	Dauerhaftigkeitsrelevante Einwirkungen aus Betriebs- und Umgebungsbedingungen . . . . .	470	<b>5</b>	<b>Literatur . . . . .</b>	509
3.4.2.2	Bewertung der Betonaggressivität des Kühlwassers . . . . .	472			
3.4.2.3	Betone für den Kühlturmbau . . . . .	473			
3.4.2.4	Nachbehandlung . . . . .	476			
3.4.2.5	Betondeckung . . . . .	476			
3.4.2.6	Oberflächenschutzmaßnahmen für Kühlturmschalen . . . . .	477			

<b>Stichwortverzeichnis . . . . .</b>	<b>517</b>
---------------------------------------	------------

