

# **Betrieb und Sanierung von Talsperren**

**Sicherheit, Bewirtschaftung und Wirtschaftlichkeit,  
Überwachung, Reparatur-Modernisierung-Rückbau**

BAUHAUS  
UNIVERSITÄTSVERLAG

Impressum:

Betrieb und Sanierung von Talsperren

Herausgeber  
Weiterbildendes Studium Wasser und Umwelt  
Bauhaus-Universität Weimar  
Coudraystraße 7  
99421 Weimar  
Internet: <http://www.uni-weimar.de/Bauing/wbbau/>

in fachlicher Kooperation mit der  
DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.  
Theodor-Heuss-Allee 17  
53773 Hennef

April 2009

Bezugsmöglichkeiten:

Verlag der Bauhaus-Universität Weimar  
Fax: 03643/581156  
E-Mail: [verlag@uni-weimar.de](mailto:verlag@uni-weimar.de)

DWA  
Tel: 02242/872333  
Fax: 02242/872100  
E-Mail: [kundenzentrum@dwa.de](mailto:kundenzentrum@dwa.de)  
Internet: <http://www.dwa.de>

Redaktion: Weiterbildendes Studium Wasser und Umwelt  
Satz und Layout: Satzservice S. Matthies · <http://www.doctype-satz.de>

Druck: docupoint GmbH Magdeburg

ISBN: 978-3-86068-384-2

## Vorwort

Die Arbeitsgruppe Weiterbildendes Studium „Wasser und Umwelt“ bietet ein Fernstudium mit den Schwerpunkten Wasserbau und Hydraulik, Siedlungswasserwirtschaft und Abfallwirtschaft an. Das vorliegende Buch enthält in Schriftform den Lehrinhalt eines Kurses aus diesem Studium, es ist als erste Auflage somit ein weiterer neuer Band aus der aktuellen Reihe der Fernstudienkurse. Nun gibt es wirklich genug veröffentlichte Studienskripte. Was war unser Beweggrund, hier noch eine weitere Neuerscheinung vorzustellen?

Dazu möchten wir unser Studium „Wasser und Umwelt“ in Weimar vorstellen, welches aus einer engen Zusammenarbeit mit der Leibniz-Universität Hannover und den Verbänden DVGW und DWA entstand. Es bot zunächst Fernstudiengänge im Zertifikatstudium an, wurde aber dann im Jahre 2000 mit einem Masterstudiengang weiterentwickelt, der inzwischen auch akkreditiert wurde. Die Studieninhalte werden in Kursform angeboten, wobei insgesamt mehr als 25 Kurse zur Auswahl stehen. Einer dieser Kurse umfasst das nachfolgend behandelte Thema „Betrieb und Sanierung von Talsperren“.

Dieses Buch wie auch das Studium richten sich an Hochschulabsolventen/innen, die im Bereich Wasser und Umwelt als Fachkräfte bei Behörden, Unternehmen, Verbänden, Ingenieurbüros, Instituten und anderen Einrichtungen tätig sind oder zukünftig tätig werden. Die Teilnehmer am Fernstudium erhalten über die Schriftform hinaus, welche in etwa dem Inhalt dieses Buches entspricht, eine fortlaufende Betreuung. Studienbegleitend sind auch Aufgaben durch die Studierenden zu lösen, eine Präsenzphase zum Semesterende ist der abschließende Teil eines jeden Kurses.

Die heutigen und zukünftig absehbaren Herausforderungen beim Schutz der Umwelt und bei der nachhaltigen Nutzung der Ressource Wasser sind so groß, dass die Lehrinhalte ständig angepasst werden müssen. Hier sehen wir die Chance, mit einer solchen Veröffentlichung diese neuen Inhalte auch als Diskussionspunkte in die Öffentlichkeit zu stellen und einem erweiterten Kreis zugänglich zu machen.

Das vorliegende Buch basiert auf einer vollkommenen Überarbeitung und teilweisen Neufassung des ursprünglichen Lehrskriptes „Talsperren und Dichtungselemente im Wasserbau“, das ab 1997 mit einer vorwiegend konstruktiven Orientierung und dem Fokussieren auf die Planungs- und Bauphasen von Talsperren und Speicherkraftwerken erstellt und seither für das Studium genutzt wurde.

Nunmehr konnte unter Mitwirkung der Autoren

- Dipl.-Ing. J. Peters
- Dipl.-Ing. K. Hövel
- Dr.-Ing. H.-U. Sieber
- Dipl.-Ing. H. Rosenkranz

- Prof. Dr.-Ing. habil. J. Kranawetterreiser
- Dr.-Ing. D. Linse
- Prof. Dr.-Ing. T. Strobl
- Dipl.-Biol. H. Willmitzer
- Dipl.-Ing. E. Ayboga

eine vollständige Überarbeitung und Ergänzung dieses Skriptes vorgenommen und die heutigen und künftigen Schwerpunkte des Betriebs und der Sanierung bestehender Talsperren zum Inhalt der Abhandlungen gemacht werden. Hierzu sind aus dem ursprünglichen Skript auch jene Teile übernommen worden, die für eine fachlich abrundende Darstellung notwendig waren – insbesondere jene Teile, die in der Autorenschaft der Herren

- Prof. Dr.-Ing. U. Hahn
- Prof. Dr.-Ing. E. Häusler und
- Prof. Dr.-Ing. J. Knauss

zu den Betriebseinrichtungen entstanden waren.

Mit diesem Buch werden darüber hinaus sowohl die Qualität als auch der Umfang der Zusammenarbeit mit der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V. (DWA) vertieft. So wie seit Jahren bereits mit dem DVGW realisiert, ist nunmehr auch mit der DWA eine gemeinsam entwickelte Reihe von Druckerzeugnissen erhältlich. Dieses Buch ist hierbei der zweite Teil im Fachgebiet Wasserbau, nachdem im Jahr 2007 bereits ein Fachbuch „Flussbau“ aufgelegt wurde.

Wir danken recht herzlich allen, die an der Bearbeitung und Herausgabe mitgewirkt haben, insbesondere hierbei Herrn Dr.-Ing. H.-W. Frenzel und den anderen Mitarbeitern der Arbeitsgruppe „Wasser und Umwelt“, speziell den Herren Dipl.-Ing. R. Holzhey und Dipl.-Ing. M. Friedrich. Ein Dankeschön gilt auch Herrn Dipl.-Ing. S. Matthies – verantwortlich für den Satz und die Gestaltung, sowie unseren Kursteilnehmern für ihr Interesse und ihre vielfältigen Rückmeldungen.

Einen speziellen Dank richten wir an das Thüringer Kultusministerium, das im Rahmen einer mehrjährigen Projektförderung die Bearbeitung und Herausgabe dieser ersten Auflage erst ermöglichte.

Möge die Fortsetzung dieser Reihe im Wissensgebiet „Wasser und Umwelt“ in der Fachwelt eine freundliche Aufnahme finden und der Aufgabe dienen, unsere Umwelt und die Ressource Wasser einer fachgerechten und nachhaltigen Nutzung zuzuführen.

Weimar, im April 2009

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Hans-Peter Hack  
Leiter der Professur Wasserbau  
Bauhaus-Universität Weimar

BAUHAUS  
UNIVERSITÄTSVERLAG

## Autorenverzeichnis

### **Kapitel 1 – Einführung und ökologische Einpassung von Talsperren**

Prof. Dr.-Ing. H.-P. Hack

### **Kapitel 2 – Wirtschaftlichkeit und Bewirtschaftung von Talsperren**

Dipl.-Ing. J. Peters, Dipl.-Ing. (FH) K. Hövel

### **Kapitel 3 – Sicherheit von Talsperren**

Dr.-Ing. H.-U. Sieber

### **Kapitel 4 – Überwachung von Talsperren**

Dipl.-Ing. H. Rosenkranz

### **Kapitel 5 – Betrieb und Sanierung von Betriebsanlagen**

Prof. Dr.-Ing. H.-P. Hack, Prof. Dr.-Ing. U. Hahn, Prof. Dr.-Ing. E. Häusler, Prof. Dr.-Ing. J. Knauss,  
Prof. Dr.-Ing. J. Kranawetter

### **Kapitel 6 – Sanierung von Massivsperrern**

Dr.-Ing. D. Linse

### **Kapitel 7 – Sanierung von Dämmen und Dichtungselementen**

Prof. Dr.-Ing. T. Strobl

### **Kapitel 8 – Wassergüte**

Dipl.-Biol. H. Willmitzer

### **Kapitel 9 – Rückbau von Talsperren**

Dipl.-Ing. E. Ayboga

entwickelt im Zuge des  
Weiterbildenden Studiums Wasser und Umwelt der  
Bauhaus-Universität Weimar

in fachlicher Kooperation mit  
DWA – Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e.V.



BAUHAUS  
UNIVERSITÄTSVERLAG

# Inhaltsverzeichnis

	<b>Vorwort</b> .....	I
	<b>Autorenverzeichnis</b> .....	III
<b>1</b>	<b>Einführung zum Betrieb und der Sanierung von Talsperren unter Berücksichtigung aktueller Randbedingungen</b> .....	1
1.1	Einführung in die Problematik .....	1
1.1.1	Veränderte Gewichtung des Lehrgebietes .....	1
1.1.2	Abgrenzung des Lehrgebietes .....	2
1.2	Betrieb und Sanierung in Anbetracht aktueller Entwicklungen .....	2
1.2.1	Rechtliche Vorgaben im Umweltsektor .....	2
1.2.2	Technische Neuerungen .....	2
1.2.3	Soziale Randbedingungen .....	5
1.2.4	Ökologisches Umfeld .....	5
1.3	Anpassungsmöglichkeiten .....	6
1.3.1	Die Verhältnisse in Deutschland .....	6
1.3.2	Ökologische Anpassung von Talsperren und deren Umfeld .....	6
1.3.2.1	Abfluss unterstrom von Talsperren .....	7
1.3.2.2	Gewässerdurchgängigkeit .....	8
1.3.2.3	Stauraum .....	11
1.3.2.4	Stauraumsohle .....	12
1.3.2.5	Eintrag von organischen Feststoffen .....	15
1.4	Ausblick .....	16
<b>2</b>	<b>Wirtschaftlichkeit und Bewirtschaftung von Talsperren</b> .....	17
2.1	Einführung .....	17
2.2	Die Wirtschaftlichkeit von Talsperren .....	17
2.2.1	Grundsätze .....	17
2.2.2	Umweltauswirkungen und Wirtschaftlichkeit von Talsperren .....	18
2.2.3	Wirtschaftlichkeit von Talsperren vor dem Hintergrund sich wandelnder Rahmenbedingungen .....	19
2.2.4	Generalinstandsetzung oder Rückbau einer Talsperre (Fallbeispiel eines wirtschaftlichen Vergleichs) .....	20
2.2.4.1	Grundlagen zur Bewertung der Wirtschaftlichkeit und Wirksamkeit öffentlicher Maßnahmen .....	20
2.2.4.2	Methodenauswahl für den Variantenvergleich .....	21
2.2.4.3	Grundsätzliche Vorgehensweise bei der Nutzwertanalyse .....	22
2.2.4.4	Durchführung des Variantenvergleiches .....	23
2.2.4.5	Darstellung der Varianten und Analyse hinsichtlich ihrer Zielerträge .....	24
2.2.4.6	Sensitivitätsanalyse .....	26
2.3	Bewirtschaftung von Talsperren .....	26
2.3.1	Rechtliche Rahmenbedingungen .....	26
2.3.1.1	Umweltrecht .....	26
2.3.1.2	Allgemein anerkannte Regeln der Technik .....	28
2.3.2	Lokale Bewirtschaftungsbedingungen .....	30
2.3.2.1	Standort .....	30
2.3.2.2	Hydrologie .....	31
2.3.2.3	Wassernutzungen als Anforderungen der Gesellschaft .....	33
2.3.3	Integrale Bewirtschaftung .....	35
2.3.3.1	Begriffe und Einführung .....	35
2.3.3.2	Mengenbewirtschaftung .....	40
2.3.3.3	Gütebewirtschaftung .....	45
2.3.4	Wasserwirtschaftsplan und Betriebspläne .....	48
2.3.4.1	Allgemeine Hinweise .....	48
2.3.4.2	Umsetzung an einer Trinkwassertalsperre .....	49
2.3.4.3	Umsetzung an einem Hochwasserrückhaltebecken .....	54
2.3.4.4	Umsetzung an einer Brauchwassertalsperre .....	55
2.3.4.5	Umsetzung zur Energiegewinnung .....	55

<b>3</b>	<b>Sicherheit von Talsperren</b> .....	<b>57</b>
3.1	Allgemeine Anforderungen an die Talsperrensicherheit .....	57
3.1.1	Historische Rückschau .....	57
3.1.2	Gefährdungspotential von Talsperren .....	58
3.1.3	Sicherheitsansprüche der Öffentlichkeit .....	59
3.1.4	Grundsätze für die Gewährleistung einer angemessenen Talsperrensicherheit .....	59
3.2	Gesetzliche und technische Regelungen mit Bezug zur Talsperrensicherheit .....	61
3.2.1	National .....	61
3.2.2	International .....	63
3.3	Konzepte für den Nachweis der Zuverlässigkeit von Talsperren .....	63
3.3.1	Talsperrenklassifizierung .....	63
3.3.2	Deterministische Konzepte .....	65
3.3.3	Risikobasierte Verfahren .....	67
3.4	Nachweis der Tragsicherheit, der Gebrauchstauglichkeit und der Dauerhaftigkeit .....	67
3.4.1	Absperrbauwerke .....	67
3.4.1.1	Generelle Forderungen .....	67
3.4.1.2	Staudämme .....	70
3.4.1.3	Staumauern .....	71
3.4.2	Sonstige Bauwerke und Bestandteile von Talsperren .....	72
3.5	Überflutungssicherheit von Talsperren .....	72
3.5.1	Grundsätzliches .....	72
3.5.2	Nachweiskonzept .....	73
3.6	Besondere Hinweise zu Nachweis, Bewertung und Anpassung der Sicherheit bestehender Talsperren .....	75
3.7	Restrisikobetrachtungen .....	76
3.7.1	Risikovermindernde Maßnahmen .....	76
3.7.2	Notfallplanungen .....	76
<b>4</b>	<b>Überwachung von Talsperren</b> .....	<b>79</b>
4.1	Aufgabenstellung der Talsperrenüberwachung .....	79
4.2	Grundsätze der Talsperrenüberwachung .....	80
4.2.1	Bautechnische Aufgabenstellung für die Überwachung .....	80
4.2.2	Anforderungen .....	80
4.2.2.1	Allgemeine Anforderungen .....	80
4.2.2.2	Anforderungen an die Messeinrichtungen .....	80
4.2.2.3	Messunsicherheit und Messbereich .....	81
4.2.2.4	Anforderungen an die Messungsdurchführung und das Personal .....	81
4.2.2.5	Grundsätze zur Messwerterfassung, -aufbereitung, -archivierung .....	82
4.2.3	Mess- und Kontrollprogramm .....	83
4.2.4	Beispiel für ein Mess- und Kontrollprogramm bei einem Talsperrenneubau .....	83
4.2.4.1	Messprogramm „Bauvorbereitungsphase“ .....	83
4.2.4.2	Messprogramm „Bau- und Ruhezeit“ .....	83
4.2.4.3	Probestauprogramm .....	83
4.2.4.4	Messprogramm „Betriebsphase“ .....	84
4.2.5	Klassifizierung und Ursache für Deformationen .....	84
4.2.6	Bautechnische Bewertung der Messergebnisse und Beobachtungen .....	84
4.2.6.1	Ziele der bautechnischen Bewertung .....	84
4.2.6.2	Abfolge der Bewertung der Messergebnisse .....	85
4.2.6.3	Verfahren der Ergebnisanalyse .....	85
4.3	Häufig verwendete Messverfahren .....	87
4.3.1	Messverfahren zur Bestimmung der Wirkgrößen .....	87
4.3.1.1	Erfassung der Stauhöhe bzw. des Unterwasserstandes .....	88
4.3.1.2	Erfassung von Zu- und Abflüssen .....	88
4.3.1.3	Erfassung meteorologischer Größen und der Wassertemperatur .....	89
4.3.1.4	Erdbeben, Erschütterungen, Schwingungen .....	90
4.3.2	Messung absoluter Horizontalverschiebungen .....	91
4.3.2.1	Geodätische Lagebestimmung .....	91
4.3.2.2	Geometrisches und trigonometrisches Alinement .....	92
4.3.2.3	Lagemessung mittels satellitengestützter Verfahren .....	94
4.3.2.4	Schwimmlotmessung .....	95
4.3.2.5	Inklinometermessung .....	96



4.3.3	Messung relativer Horizontalverschiebungen .....	97
4.3.3.1	Pendellotmessung in Staumauern .....	97
4.3.3.2	Extensometermessung .....	97
4.3.3.3	elektromagnetische Streckenmessung .....	98
4.3.4	Messung von Vertikalverschiebungen .....	98
4.3.4.1	Geometrisches und trigonometrisches Nivellement .....	98
4.3.4.2	Hydrostatisches Nivellement mit Präzisions Schlauchwaage .....	99
4.3.4.3	Hydrostatisches Nivellement mit Überlaufschlauchwaage .....	100
4.3.4.4	Elektromagnetischer Setzungspegel .....	101
4.3.5	Erfassung weiterer geometrischer Größen .....	102
4.3.5.1	Neigungsmessung .....	102
4.3.5.2	Fugenspaltmessung .....	102
4.3.5.3	Erddruck- und Spannungsmessung .....	102
4.3.6	Erfassung hydrometrischer Größen .....	104
4.3.6.1	Sickerwasserabflussmessung .....	104
4.3.6.2	Messung des Sohlenwasserdrucks und Potentialabbaus an Staumauern .....	104
4.3.6.3	Messung des Sohlenwasserdrucks und Potentialabbaus an Staudämmen .....	105
4.3.6.4	Messung des Verlaufs der Sickerlinie an Staudämmen .....	106
4.3.6.5	Erfassung des luftseitigen Kluft- und Grundwasserstands .....	107
4.4	Einsatz von Sensoren, Automatisierung von Messverfahren und Datenfernübertragung .....	107
4.4.1	Allgemeines zur Automatisierung .....	107
4.4.2	Häufig eingesetzte Gebertypen .....	107
4.4.2.1	Schwingsaitengeber .....	108
4.4.2.2	Ventilgeber .....	109
4.4.3	Automatisierte Monitoringsysteme .....	109
<b>5</b>	<b>Planung und Sanierung von Betriebseinrichtungen .....</b>	<b>111</b>
5.1	Einleitung .....	111
5.1.1	Begriffe .....	111
5.1.2	Auszug aus DIN 19700-11:2004-07, Seiten 43 und 44 .....	111
5.2	Planung von Hochwasserentlastungsanlagen .....	112
5.2.1	Hochwasserentlastung an Staumauern .....	113
5.2.1.1	Freie Überläufe (Feste Schwelle – automatische Entlastung), typische Anordnung und Formgebung, Hydraulik, Dimensionierung .....	113
5.2.1.2	Gesteuerte Überläufe (Verschlüsse), typische Anordnung, Verschlussarten .....	115
5.2.1.3	Druckauslässe (Verschlüsse) .....	115
5.2.1.4	Ausgeführte Beispiele .....	116
5.2.2	Hochwasserentlastung an Staudämmen .....	117
5.2.2.1	Systeme, Regelfälle .....	117
5.2.2.2	Überlaufbauwerke (Kopfbauwerke) .....	118
5.2.2.3	Schachtüberfälle (Fallschächte) .....	119
5.2.2.4	Ausgeführte Beispiele .....	121
5.2.3	Transportgerinne (Schussrinne) .....	122
5.2.3.1	Problematik .....	122
5.2.3.2	Schießender Abfluss in der geraden Rinne konstanter Breite .....	122
5.2.3.3	Schießender Abfluss in der einfach gekrümmten Rinne mit konstanter Breite .....	124
5.2.3.4	Konstruktive Konsequenzen .....	124
5.2.4	Energieumwandlungsanlagen .....	125
5.2.4.1	Die Funktion der Einrichtung .....	125
5.2.4.2	Wechselsprunganlage (Tosbecken) .....	125
5.2.4.3	Sprungschanze .....	128
5.2.4.4	Tauchstrahl (Energieumwandlung in einem Wasserpolster) .....	129
5.2.5	Überströmbare Dämme, Vorsperren, Notüberläufe .....	132
5.3	Sanierung von Hochwasserentlastungsanlagen .....	133
5.3.1	Überprüfung .....	133
5.3.1.1	Bemessungsabfluss .....	133
5.3.1.2	Freibord .....	134
5.3.1.3	Retentionsvermögen .....	134
5.3.1.4	Stahlwasserbau und übrige Bausubstanz .....	134
5.3.2	Beispiele zur Sanierung .....	134
5.3.2.1	Erhöhung des Absperrbauwerkes .....	134
5.3.2.2	Vergrößerung der Abflussleistung, Vorabsenkung .....	135
5.3.2.3	Stahlwasserbau .....	135

5.3.3	Treibzeug .....	136
5.4	Entnahmeanlagen .....	136
5.4.1	Allgemeines und Begriffe .....	136
5.4.2	Einbeziehung von Entnahmeanlagen zur Hochwasserentlastung .....	139
5.4.3	Ausgeführte Beispiele .....	140
5.4.3.1	Grundablässe in Gewichtsstau Mauern .....	140
5.4.3.2	Grundablässe in Bogenstau Mauern .....	141
5.4.3.3	Grundablass in Umleitungsstollen .....	141
5.4.3.4	Entnahmeanlagen an Talsperrendämmen .....	142
5.4.4	Verschlüsse (Hochdruckverschlüsse) .....	143
5.4.5	Beispiel zur Sanierung eines Grundablasses .....	146
5.5	Hydraulik und Konstruktion .....	147
5.5.1	Zur Formgebung von Einläufen .....	147
5.5.2	Abflussberechnung, Rechenverluste .....	147
5.5.3	Abflussregelung .....	149
5.5.4	Zur Belüftung von Verschlüssen .....	150
5.5.5	Ausgeführtes Beispiel (Brombachtalsperre) .....	151
5.5.6	Wechselsprung, Lufteintrag und schwallförmiger Abfluss in Grundablässen und anderen eingestauten Leitungen .....	154
5.5.6.1	Der Vorgang .....	154
5.5.6.2	Auswirkung auf Baukörper und Installationen .....	154
5.5.6.3	Betroffene Bauwerke .....	155
5.5.6.4	Vermeidung von schwallförmigen Abflüssen .....	155
5.5.6.5	Konstruktive Maßnahmen zur Luftableitung (Vorschlag eines Prinzips) .....	156
5.5.7	Zusammenwirken der Energieumwandlungsanlagen von Entnahme- und Entlastungsanlagen (Grundablass und Überfall) .....	158
<b>6</b>	<b>Sanierung von Massivsperrern .....</b>	<b>161</b>
6.1	Einführung .....	161
6.2	Grundlegendes .....	161
6.3	Sanierung von Intze-Mauern und ähnlichen Gewichtsstau Mauern .....	162
6.3.1	Intze-Mauern .....	162
6.3.2	Probleme der Intze-Mauern .....	162
6.3.3	Sanierung von Intze-Mauern .....	163
6.3.3.1	Sanierung einer Intze-Mauer: Beton-Vorsatzschale im Verbund .....	163
6.3.3.2	Sanierung einer Intze-Mauer: Beton-Vorsatzschale gleitend .....	165
6.3.3.3	Sanierung einer Intze-Mauer: Abdichtungsbahnen (Geomembran) an der Wasserseite .....	166
6.3.3.4	Andere Abdichtungen der Mauerwasserseite .....	167
6.3.3.5	Sanierung durch Injektionen und Dränagen: Oestertalsperre .....	167
6.3.3.6	Erhöhung der Mauerauflast durch ein Zusatzgewicht oder Vorspannung .....	170
6.4	Risse im Beton .....	172
6.4.1	Rissbildungen in Beton- und Stahlbetonbauteilen .....	172
6.4.1.1	Allgemein .....	172
6.4.1.2	Unbewehrter Beton .....	172
6.4.1.3	Bewehrter Beton .....	172
6.4.2	Risssanierung .....	173
6.4.3	Rissbildungen in filigranen Stau Mauern .....	173
6.5	Sanierung der Luft- und Wasserseiten .....	175
6.5.1	Mauerwerk .....	175
6.5.2	Mauerkrone, Überlauf .....	176
6.5.3	Betonkorrosion .....	177
6.5.4	Korrosionsschäden bei Stahlbetonbauteilen .....	179
6.6	Betonzerstörung durch Alkali-Kieselsäure-Reaktion .....	180
6.7	Sanierung einer Bogenstau mauer .....	181
6.8	Weitere Sanierungs- und Ertüchtigungsarbeiten .....	182
6.8.1	Sanierung Betriebseinrichtungen .....	182
6.8.2	Veränderung bzw. Vergrößerung der Hochwasserentlastungsanlage .....	182
6.8.3	Mess- und Kontrollsystem .....	182
6.8.4	Dränagen .....	182
6.9	Massivsperrern – Grundlagen der Konstruktion, des Baus und der Berechnung .....	183
6.9.1	Stau mauerarten .....	183
6.9.1.1	Gewichtsstau Mauern .....	183
6.9.1.2	Bogenstau Mauern .....	184
6.9.1.3	Sonderformen .....	187

6.9.2	Bau von Staumauern .....	189
6.9.2.1	Standortuntersuchungen .....	189
6.9.2.2	Baubetrieb .....	190
6.9.3	Standortsicherheitsnachweise .....	190
6.9.3.1	Gewichtsstaumauern .....	190
6.9.3.2	Bogenstaumauern .....	192
6.9.3.3	Pfeilerstaumauern .....	194
6.9.3.4	Dynamische Nachweise (Erdbeben) .....	195
<b>7</b>	<b>Sanierung von Dämmen und Dichtungselementen .....</b>	<b>197</b>
7.1	Einführung .....	197
7.2	Staudämme .....	201
7.2.1	Einteilung der Staudämme .....	201
7.3	Dammbaustoffe .....	204
7.4	Abdichtung von Dämmen .....	208
7.4.1	Innen liegende Dichtung aus natürlichem Material .....	208
7.4.2	Innen liegende Dichtung aus Asphaltbeton .....	209
7.4.3	Außen liegende Dichtung aus Asphaltbeton .....	209
7.4.4	Pumpspeicherbecken .....	209
7.4.5	Concrete Faced Rockfill Dams (CFRD) .....	210
7.4.6	Untergrundabdichtung .....	211
7.4.6.1	Bestimmung der Durchlässigkeit von Lockerböden .....	212
7.4.6.2	Bestimmung der Wasserdurchlässigkeit bei Fels .....	212
7.4.7	Abdichtung von Fels .....	213
7.4.7.1	Zementinjektion .....	213
7.4.7.2	Hochdruckinjektion und gefräste Schlitzwand .....	214
7.4.8	Abdichtung von Lockerböden .....	215
7.4.8.1	Schmalwand .....	215
7.4.8.2	Schlitzwand .....	217
7.4.8.3	Richtpreise für Dichtungswände .....	217
7.5	Sanierung und Modernisierung .....	218
7.5.1	Aufgaben von Sanierung und Modernisierung .....	218
7.5.1.1	Erhebung von Schwachstellen .....	218
7.5.1.2	Wahl der Sanierungs- und Modernisierungsmaßnahmen .....	219
7.5.2	Betoninstandsetzung .....	219
7.5.2.1	Betonsanierung bei Kavitationsschäden .....	220
7.5.3	Anpassung an geänderte Bemessungsgrößen .....	223
7.5.3.1	Ertüchtigung von Wehrfeldern .....	223
7.5.3.2	Ertüchtigung von Tosbecken .....	224
7.5.4	Kanalauskleidung .....	224
7.5.4.1	Zogno, Italien .....	225
7.5.4.2	Senhora do Porto, Portugal .....	225
7.5.4.3	Isarkanal, Deutschland .....	226
7.5.4.4	Alzkanal, Deutschland .....	227
7.5.5	Faseroptische Temperaturmessung mittels Glasfaserkabel .....	227
7.6	Sanierung und Ertüchtigung von Talsperren .....	228
7.6.1	Grundsätzliche Möglichkeiten der Erhöhung von Talsperren .....	229
7.6.1.1	Beispiel Oscherniksee .....	229
7.6.1.2	Beispiel Sylvensteinspeicher .....	229
<b>8</b>	<b>Wassergüte .....</b>	<b>231</b>
8.1	Einführung und Anforderungen an die Wasserqualität .....	231
8.2	Limnologische Grundlagen .....	232
8.2.1	Begriff Limnologie .....	232
8.2.2	Limnophysik .....	232
8.2.2.1	Strahlung .....	232
8.2.2.2	Schichtungsverhältnisse .....	233
8.2.2.3	Naturräumliche Gegebenheiten .....	234
8.2.3	Limnochemie/Hydrobiologie .....	235
8.2.3.1	Chemismus/Ionenhaushalt .....	235
8.2.3.2	Leistungen von Organismen im aquatischen Ökosystem .....	237
8.2.3.3	Auswirkungen biologischer Aktivität auf die Wasserqualität .....	244
8.2.4	Schadstoffe .....	248
8.2.5	Krankheitserreger .....	249

8.3	Wassergütebewirtschaftung	249
8.3.1	Unterschiede zwischen Talsperren und Seen	250
8.3.2	Kurzfristige Steuerung und Routinebetrieb	251
8.3.3	Mittelfristig wirkende Bewirtschaftungs- und Eingriffsmöglichkeiten	253
8.3.3.1	Steuerung des Stauinhaltes	253
8.3.3.2	Vorsperren	256
8.3.4	Einsatz technischer Verfahren im Wasserkörper von Talsperren zur Verbesserung der Wasserqualität	256
8.3.5	Nahrungsnetzsteuerung und fischereiliche Bewirtschaftung als langfristige Bewirtschaftungsstrategie zur Verbesserung der Wasserqualität	260
8.3.5.1	Grundlagen und Konzept der Nahrungsnetzbewirtschaftung (Biomaniplulation)	260
8.3.5.2	Datengrundlagen	261
8.3.5.3	Erfolgsaussichten der Nahrungsnetzbewirtschaftung	261
8.3.5.4	Allgemeine Grundsätze der fischereilichen Bewirtschaftung von Talsperren	262
8.3.5.5	Wirkungen	263
8.3.5.6	Regelungen und Vereinbarungen	264
8.3.6	Gefährdungspotentiale und Schutz von Einzugsgebieten	264
8.3.6.1	Generelle Schutzmaßnahmen	264
8.3.6.2	Typische Gefährdungen und Schutzmaßnahmen	265
8.4	Wasseruntersuchungen	266
8.4.1	Umweltüberwachung zur Charakterisierung von Talsperren und Zuflüssen	266
8.4.2	Trinkwassertalsperren	266
8.4.3	Untersuchungsmethoden	267
8.5	Bewirtschaftung und Überwachung von Trinkwassertalsperren im Fall schnell eintretender Qualitätsverschlechterungen	268
8.5.1	Problemstellung	268
8.5.2	Gefährdungspotentiale und Eintragsquellen im Einzugsgebiet	269
8.5.2.1	Schadstoffe	269
8.5.2.2	Krankheitserreger	269
8.5.2.3	Nährstoffe	269
8.5.3	Verhalten und Wirkungen im Gewässer	270
8.5.3.1	Schadstoffe	270
8.5.3.2	Krankheitserreger	270
8.5.3.3	Nährstoffe	271
8.5.4	Typische Fallbeispiele, Verhalten im Schadensfall	271
8.5.4.1	Hochwasser	271
8.5.4.2	Kommunales Abwasser	271
8.5.4.3	Schadstoffe	272
8.5.4.4	Algenblüten	272
8.5.4.5	Sauerstoffmangel	273
8.5.4.6	Weitere Gefährdungen	273
8.6	Ökologische Auswirkungen des Talsperrenbetriebes	273
8.7	Klimawandel – mögliche Auswirkungen und Minimierungsmöglichkeiten	275
8.7.1	Maßgebende Klimafaktoren und mögliche Einflüsse	275
8.7.1.1	Temperatur	275
8.7.1.2	Trockenheit und Extremniederschläge	276
8.7.2	Konsequenzen und praktische Maßnahmen	277
8.8	Strategien zur Verbesserung der Wasserbeschaffenheit	278
<b>9</b>	<b>Rückbau von Talsperren</b>	<b>279</b>
9.1	Grundlagen	279
9.1.1	Einleitung	279
9.1.1.1	Überblick zu Rückbauprojekten	280
9.1.2	Gründe für den Rückbau	281
9.1.2.1	Sicherheitsaspekte	281
9.1.2.2	Wirtschaftlichkeit	282
9.1.2.3	Sozial-Kulturelle Werte	282
9.1.2.4	Freizeit und Erholung	282
9.1.2.5	Umwelt- und Naturschutz	283
9.1.3	Gesetzliche Rahmenbedingungen	283
9.2	Konzepte des Rückbaus	284
9.2.1	Möglichkeiten des Rückbaus	284
9.2.2	Technik und Konzepte	285

---

9.2.3	Sedimentbewirtschaftung .....	285
9.2.3.1	Möglichkeiten der Sedimentbewirtschaftung beim Rückbau .....	285
9.2.3.2	Untersuchung der Sedimente im Stauraum .....	286
9.2.4	Entfernung des Absperrbauwerks .....	287
9.2.5	Zeitpunkt des Rückbaus .....	288
9.3	Auswirkungen des Rückbaus .....	288
9.3.1	Abiotische Auswirkungen .....	288
9.3.2	Biotische Auswirkungen .....	290
9.3.3	Soziale Auswirkungen .....	292
9.4	Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen .....	292
9.4.1	Kosten-Nutzen Analyse .....	292
9.4.2	Nutzwertanalyse .....	293
9.5	Beispielprojekte für den Rückbau .....	293
9.5.1	Talsperrenrückbauprojekt Krebsbach .....	293
9.5.2	Marmot Talsperre .....	295
9.6	Ausblick .....	296
<b>Literaturverzeichnis .....</b>		<b>297</b>
<b>Glossar .....</b>		<b>313</b>
<b>Stichwortverzeichnis .....</b>		<b>331</b>