

Betrieb und Sanierung von Talsperren

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

Inhaltsverzeichnis

Vorwort	I
Autorenverzeichnis	III
1 Einführung zum Betrieb und der Sanierung von Talsperren unter Berücksichtigung aktueller Randbedingungen	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
2 Wirtschaftlichkeit und Bewirtschaftung von Talsperren	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

3	Sicherheit von Talsperren	57
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
4	Überwachung von Talsperren	79
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 Alignement	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 Präzisionsschlauchwaage	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
5	Planung und Sanierung von Betriebseinrichtungen	111
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 Gewichtsstaumauern	140
5.4.3.2	Grundablässe in Bogenstaumauern	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 schwalförmiger 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 schwalförmigen 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
6	Sanierung von Massivsperrern	161
6.1	Einführung	161
6.2	Grundlegendes	161
6.3	Sanierung von Intze-Mauern und ähnlichen Gewichtsstaumauern	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	Rissanierung	173
6.4.3	Rissbildungen in filigranen Staumauern	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 Bogenstaumauer	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	Staumauerarten	183
6.9.1.1	Gewichtsstaumauern	183
6.9.1.2	Bogenstaumauern	184
6.9.1.3	Sonderformen	187

6.9.2	Bau von Stau Mauern	189
6.9.2.1	Standortuntersuchungen	189
6.9.2.2	Baubetrieb	190
6.9.3	Standortsicherheitsnachweise	190
6.9.3.1	Gewichtsstau Mauern	190
6.9.3.2	Bogenstau Mauern	192
6.9.3.3	Pfeilerstau Mauern	194
6.9.3.4	Dynamische Nachweise (Erdbeben)	195
7	Sanierung von Dämmen und Dichtungselementen	197
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
8	Wassergüte	231
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 (Biomanipulation) ...	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
9	Rückbau von Talsperren	279
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
Literaturverzeichnis		297
Glossar		313
Stichwortverzeichnis		331