

Technische Universität Graz
Dekanat für Bauingenieurwissenschaften
Institut für Wasserbau und Wasserwirtschaft

Sicherheit und Versagensmechanismen von Talsperren

Masterarbeit

von

Wolfgang LAMMERER

Vorgelegt zur Erlangung des
akademischen Grades eines Masters
der Studienrichtung Bauingenieurwesen

Graz, im März 2014

Betreuer der Masterarbeit:
Univ.-Prof. Dipl.-Ing. Dr.techn. Gerald ZENZ

.....

EIDESSTÄTTLICHE ERKLÄRUNG

Ich erkläre an Eides statt, dass ich die vorliegende Arbeit selbstständig verfasst, andere als die angegebenen Quellen/Hilfsmittel nicht benutzt, und die den benutzten Quellen wörtlich und inhaltlich entnommenen Stellen als solche kenntlich gemacht habe.

Graz, am

.....

(Unterschrift)

Danksagung

Ich bedanke mich bei meinen Eltern für ihren Rückhalt und die großzügige Unterstützung, die sie mir zukommen ließen. Speziell meiner Mutter möchte ich danken, dass sie immer an mich und die Erreichung meiner Ziele geglaubt hat.

Besonderer Dank gilt auch meiner lieben Frau, die mir immer zur Seite gestanden ist, mich in meiner Arbeit bestärkt und nie den Glauben an mich verloren hat. Danke Anja!

Danke auch an die Familie und Freunde, die mich um meiner selbst willen mochten, und wie ich hoffe, dies auch weiterhin tut.

Ich möchte auch die vielen Bekannten und Kollegen nicht unerwähnt lassen, die mich mit ihren stetigen Wortmeldungen dazu überzeugen wollten, diese Arbeit abzuschließen.

Kurzfassung

Ziel der Arbeit war es, Zusammenhänge zwischen Schadensfällen und Fehlern bei Überwachung, Bemessung, Material und Bedienung zu finden. In der derzeit vorliegenden Datenbank von Sperren und Dämmen der ICOLD sind keine Informationen bezüglich Schadensfälle enthalten. Daher wurden diese Datensätze mit entsprechenden Informationen aus Publikationen der ICOLD und anderen Quellen erweitert. Die Ergebnisse einer auf diesen neuen Daten basierende Analyse wurden entsprechend dem Standort, den spezifischen Sperrenparametern und den Schadensereignissen kategorisiert und graphisch dargestellt.

Aus der Analyse geht klar hervor, dass von schlecht überwachten Erddämmen das größte Schadensrisiko ausgeht. Grundsätzlich ist aber ein klarer Rückgang von Schadensfällen in den letzten Jahrzehnten in Europa und den USA erkennbar. Eindeutig ist auch, dass die meisten Schadens- und Bruchereignisse immer noch durch Überströmen und Piping ausgelöst werden.

Weiters wurde im Rahmen der Arbeit maßgebende Sicherheitsbegriffe erläutert und, der aktuelle Stand der Technik bei den Überwachungssystemen beschrieben. Abschließend erfolgt ein kurzer Überblick über die rechtliche Situation der Talsperrensicherheit in Österreich und vergleichsweise dazu in den Nachbarländern.

Abstract

The aim of this work is to constitute relationships between damage events, the applied monitoring system, the design and construction. In its current version the ICOLD database does not consider any kind of damage events, therefore additional information of known articles published by the ICOLD was integrated. An analysis on the base of the extended database has to be done. The results were categorized and diagrammed by different specific parameters of the dams.

Poorly monitored dams constitute in fact the highest failure potential. In general the amount of damaged events decreased within the last decade in North America and Europe, and the most frequent failure mechanism are the overflow and piping of dams.

Within the work the proper terms of security were discussed and the state of the art of monitoring systems described. Conclusive an overview of the juridical settings of the dam safety in Austria and neighbouring countries took place.

Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Talsperren im Lauf der Geschichte	1
1.2	Nutzungsart	2
1.2.1	Hauptnutzung	2
1.2.2	Nebennutzung	3
1.2.2.1	Verkehrsverbindungen	3
1.2.2.2	Leitungstrassen (Gas, Öl, Wasser, Telekommunikation, Strom)	4
1.2.2.3	Auflager für andere Bauten (z.B. Masten)	4
1.2.2.4	Fischaufstiegshilfen	4
1.2.2.5	Freizeitnutzung	5
1.3	Nutzungsdauer	5
1.4	Ziel der Arbeit	6
2	Versagensfälle	7
2.1	Sperrenklassifizierung	7
2.1.1	Bauart der Talsperre	7
2.1.2	Speichervolumen	8
2.1.3	Errichtungsjahr und Alter der Talsperre	8
2.2	Versagensgründe und Schadensbilder	9
2.2.1	Hauptursachen	10
2.2.2	Aussergewöhnliche Ursachen	10
2.2.3	Projektbedingte Ursachen	11
2.2.4	Ursachen- und Schadensklassifizierung	11
2.2.5	Schadenstypklassifizierung	12
2.3	Beispielhafte Auflistung großer Versagensfälle	13
2.3.1	Malpasset	14
2.3.2	Vajont	15
2.3.3	Taum Sauk	16
2.4	Datengrundlage	16

2.5	Auswertung	17
2.6	Gewonnene Erkenntnisse	36
3	Sicherheit	37
3.1	Begriffsdefinitionen	37
3.1.1	Definition von Sicherheit	37
3.1.2	Definition von Risiko	38
3.2	Struktursicherheit	39
3.2.1	Geologie und Geotechnik	40
3.2.2	Hydrologie	41
3.2.2.1	Meteorologische und hydrologische Verhältnisse	41
3.2.2.2	Lawinen und Gletscherabbrüche	41
3.2.3	Planung und Berechnung	42
3.2.3.1	Hochwasser	43
3.2.3.2	Verklausung	46
3.2.3.3	Erdbeben	48
3.2.4	Baustoffe	53
3.3	Betriebssicherheit	53
3.3.1	Begriffe der Betriebssicherheit	53
3.3.1.1	„Fail-Safe“	54
3.3.1.2	Überlastbare / nicht überlastbare Hochwasserentlastung	54
3.3.1.3	„n-1“-Bedingung	55
3.3.2	Betriebsführung	56
3.3.3	Notfallmaßnahmen	56
4	Überwachung	57
4.1	Visuelle Beurteilung	57
4.2	Relevante Messwerte und deren Erfassung	58
4.2.1	Wasserspiegel	59
4.2.1.1	Lattenpegel (Limnimeter)	59
4.2.1.2	Schwimmpegel	60
4.2.1.3	Manometer	60
4.2.1.4	Pneumatischer Pegel	61
4.2.1.5	Echolot mit Radar oder Ultraschall	62
4.2.1.6	Druckmesssonde	63
4.2.1.7	Lichtlot und Brunnenpfeife	64
4.2.1.8	Druckwaage	65
4.2.2	Neigung	65

4.2.2.1	Inklinometer	65
4.2.2.2	Klinometer	67
4.2.3	Längsverformung	68
4.2.3.1	Messgeräte für Längsverformungen	68
4.2.3.2	Bohrlochextensometer	72
4.2.3.3	Stangenextensometer im Lockergestein	72
4.2.3.4	Faseroptische Extensometer	73
4.2.3.5	Magnetostriktive Extensometer	75
4.2.3.6	Schwingsaitenextensometer	75
4.2.3.7	Distometer und Distinvar	75
4.2.3.8	Bohrloch- oder Gleitmikrometer (mit oder ohne Inklinometer)	76
4.2.4	Verformungen	77
4.2.4.1	Setzpegel (Magnetsetzungslot)	77
4.2.4.2	Lote	77
4.2.4.3	Polygonzug	80
4.2.4.4	Draht-Alignment	80
4.2.4.5	Optisches Alignment	81
4.2.4.6	Einfache Winkelmessung und elektrooptische Distanzmessung	82
4.2.4.7	Nivellement	82
4.2.5	Räumliche Verschiebung	84
4.2.5.1	Photogrammetrie	84
4.2.5.2	Laserscanning	85
4.2.5.3	Triangulation	87
4.2.5.4	Satellitengestützte Messungen	88
4.2.6	Bewegungen von Rissen	90
4.2.7	Sickerwassermenge	92
4.2.7.1	Volumetrische Messung mit Behälter und Stoppuhr	92
4.2.7.2	Messüberfall und Messkanal	93
4.2.7.3	Messung in vollen Rohren	93
4.2.7.4	Messung in teilgefüllten Rohren	95
4.2.8	Druck	96
4.2.9	Spannung	96
4.2.10	Temperatur	96
4.2.10.1	Normalthermometer	96
4.2.10.2	Elektrisches Thermometer	97
4.2.10.3	Thermograph	98

4.2.10.4	Faseroptischer Temperaturegeber (Distributed Temperature Sensing, DTS)	99
4.2.11	Niederschlag	100
4.2.12	Beschleunigung	101
4.2.13	Sedimentniveau	102
4.2.14	Betoneigenschaften	103
4.2.14.1	Betonprüfhammer	103
4.2.14.2	Kernbohrung und Laborversuche	103
4.2.15	Wartung	103
4.2.16	Auswahl der Systemkomponenten	104
4.3	Sensorik	105
4.3.1	Planung	105
4.3.2	Anforderungen	106
4.3.3	Begriffsbestimmungen	106
4.3.3.1	Messmethoden	106
4.3.3.2	Abtastung und Analog/Digital-Umsetzung	107
4.3.3.3	Wichtige Kennfunktionen und Kennwerte	107
5	Länderbezogener Richtlinienvergleich	110
5.1	Österreich	110
5.1.1	Rechtliche Grundlagen	110
5.1.2	Sperrenklassifizierung in Österreich	111
5.1.2.1	Gefährdungspotential	112
5.1.3	Verantwortlichkeiten	112
5.1.4	Talsperrensicherheit während des Betriebs	113
5.2	Schweiz	116
5.3	Deutschland	116
5.3.1	DIN 19700-10 - Gemeinsame Festlegung	117
5.3.2	DIN 19700-11 - Talsperren	117
5.3.3	DIN 19700-12 - Hochwasserrückhaltebecken	117
5.3.3.1	DIN 19700-13 - Staustufen	117
5.3.3.2	DIN 19700-14 - Pumpspeicherbecken	118
5.3.3.3	DIN 19700-13 - Sedimentationsbecken	118
5.4	Internationaler Vergleich	118
5.4.1	Sperrenklassifizierung	119
5.4.2	Hochwassersicherheit	120
5.4.3	Erdbebensicherheit	123

6 Zusammenfassung und Ausblick	124
A Anhang	126

Abkürzungsverzeichnis

<i>BHQ</i>	Bemessungshochwasserdurchfluss gem. [Öst09a]
<i>BHQ</i> ₁	Bemessungshochwasserdurchfluss gem. [DIN86], Jährlichkeit abhängig von der Staustufenklasse, siehe Tab. 5.4 und 5.5
<i>BHQ</i> ₂	Bemessungshochwasserdurchfluss gem. [DIN86], Jährlichkeit abhängig von der Staustufenklasse, siehe Tab. 5.4 und 5.5
<i>m</i> _B	body wave magnitude, Kurzperiodische Raumwellen-Magnituden-Skala
<i>M</i> _L	local magnitude, Lokalbebenmagnitude
<i>M</i> _S	surface wave magnitude, Oberflächenwellen-Magnituden-Skala
<i>M</i> _W	moment magnitude, Momenten-Magnituden-Skala
<i>MQ</i>	Mittelwasserdurchfluss gem. [DIN86]
ALS	Airborne Laserscanning
BWG	Bundesamt für Wasser und Geologie (CH)
DBE	Design Basis Earthquake, Basisentwurferebeben
DMS	Dehnungsmessstreifen
DTS	Distributed Temperature Sensing
EAP	Emergency Action Plan, Notfallmaßnahmenplan
FAH	Fischaufstiegshilfe
FBG	Faser-Bragg-Gitter
FOS	Faseroptische Sensoren
FPI	Fabry-Pérot Interferometer
GLONASS .	Global Navigation Satellite System
GNSS	Global Navigation Satellite System
GPS	Global Positioning System
GZÜV	Gewässerzustandsüberwachungsverordnung
HWE	Hochwasserentlastung
ICOLD	International Commission on Large Dams

k-TLS	.....	kinematic Terrestrial Laserscanning
LVDT	.....	Linear-Variable-Differential-Transformer
MCE	.....	Maximum Credible Earthquake, Maximal Denkbare Erdbeben
MDE	.....	Maximum Design Earthquake, Maximale Entwurferdbeben
MID	.....	Magnetisch-induktive Durchflussmesser
MZI	.....	Mach-Zehnder Interferometer
OBE	.....	Operating Basis Earthquake, Betriebserdbeben
PGA	.....	Peak Ground Acceleration, Bodenbeschleunigung
PMF	.....	Probable Maximum Flood, vermutlich größtes Hochwasser
PMP	.....	Probable Maximum Precipitation, vermutlich größter Niederschlag
PRA	.....	Probabilistic Risk Assessment, Probabilistische Risikoanalyse
PSA	.....	Probabilistic Safety Analysis, Probabilistische Sicherheitsanalyse
PSKW	.....	Pumpspeicherkraftwerk
RCC	.....	Roller Compacted Concrete
RHHQ	.....	Rechnerisch höchster Hochwasserdurchfluss
RIS	.....	Reservoir-Induced Seismicity, Speicherinduzierte Beben
RTS	.....	Reservoir Triggered Seismicity, Speicherausgelöste Beben
SE	.....	Safety Earthquake, Sicherheitserdbeben
SEE	.....	Safety Evaluation Earthquake, Sicherheitseinschätzungserdbeben
SHQ	.....	Sicherheitshochwasserdurchfluss gem. [Öst09a]
StAV	.....	Stauanlagenverordnung
STK	.....	Schweizer Talsperrenkomitee
STV	.....	Stauanlagenverantwortlicher
TLS	.....	Terrestrial Laserscanning
WRG	.....	Wasserrechtsgesetz
WRRL	.....	Wasserrahmenrichtlinie

Diagrammverzeichnis

2.1	Verteilung der Schadensursachen bei Erd- und Steinschüttdämmen	20
2.2	Verteilung der Schadensursachen bei Gewichtsmauern	20
2.3	Verteilung der Schadensursachen bei Gewölbemauern	21
2.4	Verteilung der Schadensursachen bei Pfeiler- und Pfeilergewölbemauern	21
2.5	Verteilung der Schadensursachen bei allen Mauern (Gewichts-, Gewölbe-, Pfeiler- und Pfeilergewölbemauern)	22
2.6	Verteilung der Schadensursachen bei allen Sperrentypen	22
2.7	Verteilung der Bruchursachen bei Erd- und Steinschüttdämmen	23
2.8	Verteilung der Bruchursachen bei Gewichtsmauern	23
2.9	Verteilung der Bruchursachen bei Gewölbemauern	24
2.10	Verteilung der Bruchursachen bei Pfeiler- und Pfeilergewölbemauern	24
2.11	Verteilung der Bruchursachen bei allen Mauern (Gewichts-, Gewölbe-, Pfeiler- und Pfeilergewölbemauern)	25
2.12	Verteilung der Bruchursachen bei allen Sperrentypen	25
2.13	Verhältnis zwischen Herstellungsjahr und Schadensursache bei Erd- und Stein- schüttdämmen	26
2.14	Verhältnis zwischen Herstellungsjahr und Schadensursache bei Gewichtsmauern	26
2.15	Verhältnis zwischen Herstellungsjahr und Schadensursache bei Gewölbemauern	27
2.16	Verhältnis zwischen Herstellungsjahr und Schadensursache bei allen Mauern (Gewichts-, Gewölbe-, Pfeiler- und Pfeilergewölbemauern)	27
2.17	Verhältnis zwischen Herstellungsjahr und Schadensursache bei allen Sperrentypen	28
2.18	Verhältnis zwischen Herstellungsjahr und Bruchursache bei Erd- und Stein- schüttdämmen	28
2.19	Verhältnis zwischen Herstellungsjahr und Bruchursache bei Gewichtsmauern .	29
2.20	Verhältnis zwischen Herstellungsjahr und Bruchursache bei Gewölbemauern . .	29
2.21	Verhältnis zwischen Herstellungsjahr und Bruchursache bei allen Mauertypen (Gewichts-, Gewölbe-, Pfeiler- und Pfeilergewölbemauern)	30
2.22	Verhältnis zwischen Herstellungsjahr und Bruchursache bei allen Sperrentypen	30

2.23	Verhältnis zwischen Bauwerkshöhe und Schadensursache bei Erd- und Stein- schüttdämmen	31
2.24	Verhältnis zwischen Bauwerkshöhe und Schadensursache bei Gewichtsmauern .	31
2.25	Verhältnis zwischen Bauwerkshöhe und Schadensursache bei Gewölbemauern .	32
2.26	Verhältnis zwischen Bauwerkshöhe und Schadensursache bei allen Sperrentypen	32
2.27	Verhältnis zwischen Herstellungsjahr und Schadensursache bei allen Sperrenty- pen bezogen auf die Gesamtheit der Sperren in allen Ländern	33
2.28	Verhältnis zwischen Bauwerkshöhe und Schadensursache bei allen Sperrentypen bezogen auf die Gesamtheit der Sperren in allen Ländern	33
2.29	Verhältnis zwischen Herstellungsjahr und Schadensursache bei allen Sperrenty- pen bezogen auf die Gesamtheit der Sperren in den USA	34
2.30	Verhältnis zwischen Herstellungsjahr und Schadensursache bei allen Sperrenty- pen bezogen auf die Gesamtheit der Sperren in Südafrika	34
2.31	Verhältnis zwischen Bauwerkshöhe und Schadensursache bei allen Sperrentypen bezogen auf die Gesamtheit der Sperren in den USA	35
2.32	Verhältnis zwischen Bauwerkshöhe und Schadensursache bei allen Sperrentypen bezogen auf die Gesamtheit der Sperren in Südafrika	35

Tabellenverzeichnis

5.1	Überwachung von Talsperren in Österreich	114
5.2	Einteilungskriterien für die Überprüfung der Erdbebensicherheit in der Schweiz	116
5.3	Wiederkehrperiode des Nachweisbebens für die unterschiedlichen Sperrenklassen in der Schweiz	117
5.4	Klassifizierung von Staustufen bei Mittelwasserabfluss (MQ) gem. [DIN86] . .	118
5.5	Jährliche Überschreitungswahrscheinlichkeiten für BHQ_1 und BHQ_2 gem. [DIN86]	118
5.6	Beispiel für eine Sperrenklassifizierung gemäß Canadian Dam Association . . .	119
5.7	Beispiel für eine Sperrenklassifizierung gemäß spanischem Recht	120
5.8	Einteilung der Talsperren nach Gefährdungsklassen zur Hochwasserbemessung am Beispiel Großbritannien	120
5.9	Konzepte zum Nachweis der Sicherheit von Talsperren im internationalen Vergleich - Teil 1	121
5.10	Konzepte zum Nachweis der Sicherheit von Talsperren im internationalen Vergleich - Teil 2	122
5.11	Vergleich ausgewählter europäischer Erdbebenvorschriften	123
A.1	Ländercodes nach ISO 3166-1	127
A.2	Verwendete Schadensfälle - Teil 1	128
A.3	Verwendete Schadensfälle - Teil 2	129
A.4	Verwendete Schadensfälle - Teil 3	130
A.5	Verwendete Schadensfälle - Teil 4	131
A.6	Verwendete Schadensfälle - Teil 5	132
A.7	Verwendete Schadensfälle - Teil 6	133
A.8	Verwendete Schadensfälle - Teil 7	134
A.9	Verwendete Schadensfälle - Teil 8	135
A.10	Verwendete Schadensfälle - Teil 9	136
A.11	Verwendete Schadensfälle - Teil 10	137
A.12	Verwendete Schadensfälle - Teil 11	138
A.13	Verwendete Schadensfälle - Teil 12	139
A.14	Verwendete Schadensfälle - Teil 13	140

A.15 Stammdatenblatt für das Österreichische Talsperrenverzeichnis	141
A.16 Ausfüllhilfe zum Stammdatenblatt	142

Abbildungsverzeichnis

2.1	Malpasset vor dem Unglück	14
2.2	Malpasset vor dem Unglück, Grundablass und Tosbecken sind gut erkennbar	14
2.3	Überblick der zerstörten Sperre mit Skizze der Untergrundverhältnisse	14
2.4	Ausschnitt der zerstörten Staumauer	15
2.5	Durch die Flutwelle zerstörte Häuser in Fréjus	15
2.6	Vajont vor dem Unglück	15
2.7	Speicherraum nach dem Hangrutsch	15
2.8	Querschnitt des Dammaufbaus	16
2.9	Dammquerschnitt nach der Zerstörung	16
2.10	Ansicht des gebrochenen Damms	17
2.11	Übersicht nach dem Unglück aus der Vogelperspektive	17
3.1	Definitionsskizze Staumauer	44
3.2	Definitionsskizze Staudamm mit Dichtungselement	44
3.3	Definitionsskizze Staudamm mit Brüstungsmauer und Oberflächendichtung	45
3.4	Aufstellung der Nachweise für das Bemessungshochwasser	45
3.5	Zuordnung der Nachweisgrößen zu den Lastfällen BHQ und SHQ	46
3.6	Aufstellung der Nachweise für das Sicherheitshochwasser	47
3.7	Begriffe zum örtlichen Zusammenhang bei Auftreten eines Erdbebens	50
3.8	Österreich-Karte als Grundlage für die Berechnung eines OBE	52
3.9	Österreich-Karte als Grundlage für die Berechnung eines MCE	52
4.1	Gesamtkonzept der Organisation der Überwachung und des Unterhalts	58
4.2	Lattenpegel mit Meterteilung auf einem Pfeiler	59
4.3	Lattenpegel mit 2 [cm]- und 1 [cm]-Teilung	59
4.4	Schwimmerpegel in einem Schacht (Skizze)	60
4.5	Schwimmerpegel mit Auswertelektronik, Schwimmer und Gegengewicht	60
4.6	Präzisionsmanometer in handlicher Ausführung	61
4.7	Präzisionsmanometer für Fixaufstellung mit Wechselstromversorgung	61
4.8	Druckluftpegel (Systemskizze)	62

4.9	Druckluftpegel (Darstellung der Komponenten)	62
4.10	Radarpegel mit Halterung zur waagrechten Ausrichtung	63
4.11	Ultraschallsensor auf Schallschutz- und Beruhigungsrohr	63
4.12	Drucksondenpegel (Systemskizze)	64
4.13	Drucksonde mit Stromversorgung und Fernübertragung	64
4.14	Kabellichtlot auf Dreiecksgestell	65
4.15	Brunnenpfeife mit Maßband	65
4.16	Inklinometersonde mit Führungsrollen auf Datenkabeltrommel	66
4.17	Inklinometermessrohr mit Führungsnuten	66
4.18	Klinometer	68
4.19	Neigungssensor auf Klinometer	68
4.20	Kugelsetzbolzen mit aufgesetztem Klinometer	68
4.21	Analoge Messuhr	70
4.22	Digitale kapazitive Messuhr	70
4.23	Weggeber (Funktionsprinzipien)	70
4.24	Induktiver Wegaufnehmer (Aufbau und Wirkungsweise)	71
4.25	Induktiver Wegaufnehmer in typischer Bauform	71
4.26	Bohrlochstangenextensometer mit Vermörtelung (Systemskizze)	72
4.27	Bohrlochextensometerkopf	72
4.28	Stangenextensometer (Schemaskizze)	73
4.29	Stangenextensometer mit Winkeln als Ankerplatten	73
4.30	Mach-Zehnder Interferometer (Systemskizze)	74
4.31	Faseroptischer Extensometer (Verlegung im Erdreich)	74
4.32	Sondenkopf und -ende eines Bohrlochmikrometers	76
4.33	Bohrlochmikrometerkopf in Teleskopkupplung fixiert	76
4.34	Setzpegel (Systemskizze)	77
4.35	Setzpegelsonde an Kabeltrommel und Magnet	77
4.36	Gewichtslot (Systemskizze)	79
4.37	Systemskizze Schwimmloch	79
4.38	Koordinatenskop	79
4.39	Telelot	79
4.40	Draht-Alignment mit Fixpunkt und Ableseeinrichtung (unten)	81
4.41	Draht-Alignment mit Spannungsgewicht	81
4.42	Optisches Alignment: Ablesegerät (Kollimator)	82
4.43	Optisches Alignment: Zielmarken	82
4.44	Nivellement (Systemskizze)	83
4.45	Nivellier	83

4.46	Präzisionsschlauchwaage (Systemskizze)	84
4.47	Präzisionsschlauchwaage, automatisch	84
4.48	Schematische Darstellung einer Befliegung mit Überlappung	86
4.49	Schematische Darstellung der Positionsbestimmung bei einer Befliegung	86
4.50	Laserscanner für große Reichweiten mit eingebauter Kamera für richtige Farb- information des Modells	87
4.51	terrestrischer Laserscan am Beispiel des Mount Rushmore (von der Punktwolke bis zum Modell)	87
4.52	Multistation inklusive Laserscannereinheit	88
4.53	Präzisionsreflektor (Tripleprisma)	88
4.54	GPS-Empfänger auf Lotstange mit Bedienungseinheit	89
4.55	Differentielles GPS (Systemskizze)	89
4.56	Jointmeter für drei Messuhren zur 3D-Vermessung	91
4.57	Jointmeter mit Bohrungen für drei LVDT's zur 3D-Vermessung	91
4.58	Dehnungsmessstreifen (Systemaufbau)	91
4.59	Einfacher Foliendehnungsmessstreifen	91
4.60	Deformeter	92
4.61	Durchflussmessung: Messwehr mit Saitenschwingsensor	93
4.62	Durchflussmessung mit Venturi-Kanal	93
4.63	Durchflussmessung mit Venturi-Kanal (Systemskizze)	94
4.64	Durchflussmessung mit Venturi-Kanal, Anwendungsbeispiel	94
4.65	Durchflussmessung, magnetisch-induktiv (Systemskizze)	95
4.66	Durchflussmessung, magnetisch-induktiv mit Auswerteeinheit und Anzeige	95
4.67	Durchflussmessung mittels Ultraschall (Systemskizze)	95
4.68	Durchflussmessung mittels Ultraschall, „Clap-On“-Lösung	95
4.69	Glasthermometer	97
4.70	Wasserschöpfthermometer	97
4.71	Widerstandsthermometer (Beispiel für einen möglichen Schaltplan)	98
4.72	Widerstandsthermometer (fertig aufgebautes Pt100)	98
4.73	Thermoelement (Beispiel für einen möglichen Schaltplan)	98
4.74	Thermoelement in Gehäuse für den Einbau in Beton	98
4.75	Thermograph (Systemskizze)	99
4.76	Thermograph	99
4.77	Faseroptische Temperaturmessung (Systemskizze)	100
4.78	Leckageortung mittels DTS bei der Sperre Nam Ngum 2	100
4.79	Pluviograph (Systemskizze)	101
4.80	Pluviograph	101

4.81	Sedimentniveaubestimmung (Systemskizze)	103
4.82	Sedimentniveaubestimmung mittels Fächer-Echolot und GPS-Positionierung .	103
4.83	Schmidt-Hammer (Systemskizze)	104
4.84	Schmidt-Hammer mit digitaler Auswertung und Aufzeichnung	104
4.85	Analoges Signal digitalisiert mit 4 [Bit] bei 26 [Hz]	107
4.86	Darstellung der Unterschiede zwischen Präzision und Richtigkeit	109
5.1	Mehrebenenprinzip der Zuständigkeiten bei der Talsperrenüberwachung	114

1 Einleitung

Wasser ist einer der zentralen Bausteine des Lebens auf der Erde und damit auch des Menschen. Der Mensch hat sich immer entlang von Bächen und Flüssen angesiedelt, da dieser Lebensraum fruchtbar war, die Wasserenergie genutzt werden konnte und die Wasserwege auch für Transportzwecke oft gut geeignet waren.

Wasser ist aber auch eine der Naturgewalten, die formgebend in die Landschaft eingreift. Dies kann von Jahrzehnten bis zu Jahrtausenden dauern, oder durch ein Hochwasser in Minuten geschehen. Der, abhängig von Niederschlag oder Schneeschmelze, zeitlich schwankenden Anfall des Wassers stellt die Menschheit somit seit Jahrtausenden vor die Herausforderung, diesen unkontrolliert auftretenden Zufluss regulieren zu wollen.

Daher wurde nach Lösungen gesucht, welche es ermöglichen sollten, das Wasser über einen längeren Zeitraum zu speichern, es zum Hochwasserschutz temporär zurückzuhalten und seine Energie zu nutzen. Mit dem Bau von Talsperren und Rückhaltebecken können diese Bestrebungen erfüllt werden.

1.1 Talsperren im Lauf der Geschichte

Dass der Talsperrenbau bereits seit Jahrtausenden praktiziert wird, zeigt der erste dokumentierte Schadensfall, der auf das Jahr 2500 v. Chr. datiert ist.

Während vor 1900 nicht einmal 1.000 Sperren registriert waren, kamen in den Jahren von 1900 bis 1949 jährlich durchschnittlich 1.000 neue Sperren hinzu.¹ Bis zum Jahr 1950 wurden von der ICOLD weltweit 5.268 Talsperren² erfasst.

In den Jahren von 1950 bis 1999 kam es zu einem starken Anstieg der Bautätigkeit auf diesem Sektor. Dies zeigt sich in durchschnittlich 3.000 - in den Jahren von 1960 bis 1989 im Mittel sogar 6.000 - neu gebauten und von der ICOLD registrierten hohen Talsperren.³ Gründe dafür

¹[wrd03, S. 10]

²[Now97, S. 1]

³[wrd03, S. 10]

waren der wirtschaftliche Aufschwung und die weiter stark voranschreitende Industrialisierung. Bis 1986 wurden von der ICOLD rund 36.000⁴, 2005 bereits mehr als 40.000 Sperren verzeichnet. Geschätzte 19.000 davon befinden sich in China.⁵ Die Geschichte des Talsperrenbaus ist seit jeher aber auch verknüpft mit Schadens- und Bruchereignissen mit teilweise katastrophalen Auswirkungen.

Ein Grund dafür mag in der Vielseitigkeit der hier ineinander greifenden Fachgebiete des Ingenieurbaus und dem dafür notwendigen Spezialwissen begründet sein. Die zur Anwendung kommenden Disziplinen umfassen dabei Hydrologie und Hydraulik, Geologie und Boden- bzw. Felsmechanik, Baustofftechnologie, Kennwertermittlung durch Versuchstechnik im Labor und in situ, Berechnungen und Simulationen sowie die Messtechnik. Auf all diesen Gebieten fand im Laufe der Zeit eine kontinuierliche Weiterentwicklung statt.

1.2 Nutzungsart⁶

Wenn man von Talsperren spricht, denkt man dabei meist zuerst an die Speicherung von Wasser für die Stromproduktion, für Trink- oder Brauchwasser. Es kann aber noch andere Gründe für den Bau von Talsperren geben.

Diese sind unterteilt in Haupt- und Nebennutzung nachfolgend angeführt.

1.2.1 Hauptnutzung

Diese sind ausschlaggebend für die Hauptnutzung und werden hier exemplarisch aufgelistet.

- Speicherung von Wasser
 - Stromproduktion
 - Wasserversorgung
 - Bewässerung
 - Beschneigung
 - Fischzucht
 - Löschwasserreserve
 - Schifffahrt

⁴[RiB99, S. 5]

⁵[SPFN09, S. 161]

⁶[Bun02b, S. 6ff]

- Schutzbauten
 - Hochwasserrückhaltebecken
 - Hochwasserschutzdamm
 - Geschiebesperre
 - Wildbachsperre
 - Lawinenauffangdamm
 - Seeregulierung
- Andere Nutzungen
 - Biotop
 - Freizeitnutzung, Tourismus
 - Rest einer alten Anlage (Relikt, manchmal ohne Nutzung)

Eine Talsperre kann mehrere Hauptnutzungsarten aufweisen. Darauf sind die konstruktive Gestaltung der Sperre, die damit verbundenen Betriebseinrichtungen und die Betriebsweise vorwiegend auszulegen.

1.2.2 Nebennutzung

Zusätzlich zu den Hauptnutzungen können sich auch weitere Möglichkeiten der Nutzung ergeben bzw. diese auch erwünscht sein. Dabei ist zu beachten, dass diese sogenannten Nebennutzungen ebenfalls Einfluss auf die Geometrie haben oder zusätzliche Einbauten für Sicherungsmaßnahmen erforderlich machen können.

1.2.2.1 Verkehrsverbindungen

Um zwei Talflanken verkehrstechnisch miteinander zu verbinden, kann die Sperre als Tragkonstruktion für eine Brücke oder einen Steg dienen. Es ist aber auch möglich, dass die Sperrenkronen selbst als Straße benützt wird.

Die Normen für Aufbau und Sicherheitseinrichtungen sind anzuwenden. Gleichzeitig ist die normgemäße Belastung, welche aus der Art und Häufigkeit des Verkehrs resultiert, auf die Sperre anzusetzen.

1.2.2.2 Leitungstrassen (Gas, Öl, Wasser, Telekommunikation, Strom)

Ähnlich wie bei den Verkehrsverbindungen kann die Sperre auch dazu benützt werden, Leitungen aufzunehmen bzw. als Traggerüst für diese zu fungieren. Eine Verlegung ist oberflächlich oder im Inneren der Sperre möglich.

Dabei sind Gefahren und Belastungen, welche durch ein Bersten der Leitungen für die Talsperre entstehen, zu berücksichtigen. Speziell eine Explosion einer Gas- oder Ölleitung kann zu enormen Einwirkungen auf die Sperre führen, welche noch dazu innerhalb einer sehr kurzen Zeitspanne auftreten.

Bei der Verlegung von Leitungen durch Dämme ist darauf zu achten, dass sich durch die Leitungsführung keine Wasserwegigkeiten ergeben, welche zu Sicker- und in späterer Folge zu Erosionserscheinungen führen könnten.

1.2.2.3 Auflager für andere Bauten (z.B. Masten)

Bei der Anordnung von Auflagern und Fundamenten auf Dämmen ist zu beachten, dass es durch die aufgebrachte Belastung weder zu Überschreitungen der Tragfähigkeit, noch zu einer Beschädigung der Abdichtungsmaßnahmen oder Drainageleitungen kommt.

Außerdem ist bei der Anordnung darauf zu achten, dass sich durch Masten auch im Hochwasserfall keine Verminderung des Abflussquerschnitts ergibt. Dies kann vor allem durch Verklauung (Kap. 3.2.3.2, S. 46) entstehen.

1.2.2.4 Fischaufstiegshilfen

Talsperren verursachen am häufigsten anthropogen bedingte hydromorphologische Belastungen an Fließgewässern in Österreich⁷, welche entsprechend der Wasserrahmenrichtlinie (WRRL)⁸ durch Verbesserungen oder Sanierungen möglichst zu minimieren sind. Fischtrepfen oder Fischaufstiegshilfen (FAH)⁹ zählen hierbei zu den besten Maßnahmen zur Optimierung der Biozönose. Sie werden meist bei Wehranlagen an Flüssen angeordnet.

⁷[Bun10, S. 7]

⁸[Das00, Art. 4]

⁹[Zit11]

1.2.2.5 Freizeitnutzung

Unter den Begriff der Freizeitnutzung fallen Aktivitäten, welche erst durch das Aufstauen und somit durch den Bau von Talsperren ermöglicht werden. Zu diesen können zählen:

- Fischerei
- Baden
- Tauchen
- Wandern
- Bungee Jumping
- Klettern
- Vergnügungsschiffahrt
- Langlauf

Hierbei ist zu beachten, dass mit der Schaffung von Möglichkeiten zur Nutzung des umliegenden Bereichs einer Talsperre und dem Stausee durch Betriebsfremde ein zusätzlicher Schutz dieser Personen durch entsprechende Maßnahmen erforderlich sein kann. Diese können von der hinweisenden Sicherheit (z.B. Warntafeln) bis zur mittelbaren Sicherheit, zu der konstruktive Schutzmechanismen (z.B. Absperrungen, Abschränkungen, Verlegung von Wegen rund um den Stausee in eine hochwassersichere Höhenlage) zählen, reichen.

1.3 Nutzungsdauer

Die Nutzungsdauer entspricht der Lebensdauer des Sperrbauwerks und ist größer als die Amortisationsdauer der Anlage.

Das Erreichen der Nutzungsdauer bedeutet aber nicht, dass die Anlage unbrauchbar oder gar zerstört ist, sondern nur, dass wahrscheinlich ein erheblicher Aufwand an finanziellen Mitteln für den Umbau bzw. die Erneuerung zur Verfügung gestellt werden muss, um den weiteren Betrieb sicherzustellen.

Da die Nutzungsdauer allerdings nur geschätzt ist, kann diese von der Prognose abweichen. Dies gilt insbesondere, wenn durch Wartung und geeigneten Unterhalt eine Verlängerung erzielt werden kann.

Außerdem unterscheiden sich die Nutzungsdauern von

- Struktur von Sperre bzw. Damm
- Verkleidung
- mechanische Ausrüstung
- Stahlwasserbau
- Überwachungsanlage

1.4 Ziel der Arbeit

Das Bauingenieurwesen ist eine positivistische Wissenschaft. Haben sich neue technische Umsetzungen bewährt, lässt sich dies am Sperrenverhalten in Betriebs- und Ausnahmesituationen ablesen. Daraufhin kann man diese Erkenntnisse durch Rückkopplung wiederum in neue Bauvorhaben einfließen lassen. Der sich daraus ergebende Kreislauf führt in Summe zu immer ausgereifteren Lösungen.

Durch dieses Handlungsweise konnte die Sicherheit von Talsperren im Lauf der Zeit immer mehr erhöht werden. Dies gelang durch Verbesserungen im Bereich der Baugrunderkundung und deren Auswertung sowie bei der Berechnung und Simulation geplanter Sperren. Außerdem wurden Vorschriften, Bau- und Betriebsüberwachung an den neuen Kenntnisstand angepasst, wodurch eine weitere Steigerung der Sicherheitsaspekte erzielt werden konnte.

Das Bestreben dieser Arbeit ist daher, mögliche Schwachpunkte und daraus folgernd Optimierungspotential bei der Talsperrensicherheit aufzuzeigen. Ziel sollte eine möglichst robuste Auslegung der einzelnen Projektphasen sein, welche sich von der Planung, über die Ausführung und den Betrieb bis hin zum Krisenmanagement ziehen.

Um auch in Zukunft eine möglichst hohe Sicherheit bei gleichzeitig guter Wirtschaftlichkeit zu erhalten, ist es sinnvoll, Versagensfälle zu untersuchen und zu analysieren, um daraus neue Erkenntnisse generieren zu können. Dabei sind im Idealfall auch die unterschiedlichen Herangehensweisen der verschiedenen Staaten an eine spezielle Problemstellung zu berücksichtigen und miteinander zu vergleichen.

2 Versagensfälle

Im folgenden Kapitel werden die Schadensereignisse näher beleuchtet. Diese werden dabei grundsätzlich in Schaden- und Bruchereignisse unterteilt.

Thematisch werden dabei Sperrenklassifizierung, Versagensgründe und Schadensbilder, beispielhafte große Versagensfälle, Datengrundlage sowie die Auswertung der gesammelten Daten und eine abschließende Zusammenfassung der Erkenntnisse behandelt.

2.1 Sperrenklassifizierung

Die Einteilung der Sperren der gesammelten erfassten Schadensdaten erfolgt über Bauart und Speichervolumen. Weiters erfolgt eine Gliederung bezüglich des Herstellungsjahrs und daraus folgernd des Alters der Bauwerke.

2.1.1 Bauart der Talsperre

Die Einteilung der Sperren erfolgt anhand des Baumaterials und der Bauform in:¹⁰

TE	Erddamm
ER	Steinschüttdamm
PG	Gewichtsmauer
CB	Pfeilerstaumauer
MV	Pfeilergewölbesperre
VA	Gewölbemauer
M	Sonderform
TIM	Holzsperrre

¹⁰[Now97, S. 3]

Nachfolgend werden Bauwerke, welche als Erd- oder Steinschüttdamm ausgeführt sind, unter dem Überbegriff „Damm“ zusammengefasst, während Bauwerke aus Beton als „Sperre“ bezeichnet werden.

2.1.2 Speichervolumen

Berücksichtigt werden hauptsächlich sogenannte „Große Talsperren“. Von diesen ist gemäß ICOLD^{11,12} dann die Rede wenn Folgendes zutrifft:

1. Höhe über 15 [m]
2. Höhe zwischen 10 [m] und 15 [m] ist und zumindest einer der folgenden Punkte wahr ist:
 - Kronenlänge über 500 [m]
 - Staubeckeninhalt über 1 [Mio. m³]
 - Hochwasserentlastungsanlage größer 2.000 [m³/s]
 - Auftreten tiefgreifender Gründungsprobleme beim Bau
 - Sperrentyp keinem der herkömmlichen Bauprinzipien zuordenbar

Es gibt seitens der ICOLD aber Bestrebungen, zusätzlich auch Sperren zu erfassen, welche den nachfolgenden Bedingungen¹³ genügen:

1. Höhe zwischen 5 [m] und 15 [m] und
2. Staubeckeninhalt über 3 [Mio. m³]

Die Definition des Terminus „Große Talsperre“ hat jedoch keinen unmittelbaren Einfluss auf die länderspezifischen Richtlinien bzw. Normen. Siehe dazu die Beispiele Österreich (S. 111), Schweiz (S. 116) und Deutschland (S. 116f).

2.1.3 Errichtungsjahr und Alter der Talsperre

Als Errichtungsjahr wird jenes Jahr festgelegt, in dem der Herstellungszeitraum endete, oder in welchem es vor der Fertigstellung des Bauwerkes zu einem Schaden bzw. Bruch kam. Für den zweiten Fall ist dann das Errichtungsjahr identisch mit dem Zeitpunkt des Eintritts des Schadens bzw. Bruchs.

¹¹[wrd84]

¹²[RiB99, S. 5]

¹³[wrd03, S. 15]

2.2 Versagensgründe und Schadensbilder

Kritische Zustände, die zur Verminderung der Anlagensicherheit oder gar zum Bruch führen können, müssen ermittelt und besonders beachtet werden. Hierbei gibt es allgemeingültige Gefährdungspotentiale und solche, die vom verwendeten Baustoff und der damit einhergehenden Sperrenkonstruktion abhängen. Daher muss auch zwischen Bauwerken aus Beton und Mauerwerk (Staumauern, Wehren) und solchen aus Schüttmaterial (Dämmen) unterschieden werden¹⁴.

Gemeinsame Gefahren:

- Überströmen der Krone
- Durchsickerung von Bauwerk und Fundament
- Funktionsstörung der Ablassorgane (z.B. blockieren, verstopfen...)
- Schäden am Damm- / Mauerkörper
- Kolkbildung am luftseitigen Sperrenfuss

Spezifische Gefahren bei Beton- und Mauerwerksbauten:

- Setzung oder Verschiebung der Widerlager
- Verschiebung der Blöcke gegeneinander
- Abgleiten
- innere Erosion im Untergrund

Spezifische Gefahren bei Bauten aus Schüttmaterial:

- Setzung von Damm oder Foundation
- interne Erosion (piping)
- Erosion durch Tierbauten und Pflanzenwurzeln
- Instabilität von Böschungen

¹⁴[Bun02a, S. 29]

2.2.1 Hauptursachen

Natürliche Ereignisse

- Hochwasser
- Erdbeben
- Lawinen, Gletscherabbruch
- Steinschlag, Erdrutsch, Bergsturz
- Murgang
- Sedimentablagerung

Ausgelöste Ereignisse (Folgen von menschlichen Einwirkungen)

- Untertagebauten
- Sabotage, Vandalismus
- Explosion
- Bombardierung
- Flugzeugabsturz, Satellitenabsturz

Andere Effekte

- Kolkbildung

2.2.2 Aussergewöhnliche Ursachen

- Ausfall der Stromversorgung
- Ausfall der mechanischen Anlagen
- Ausfall der Telekommunikation

2.2.3 Projektbedingte Ursachen

Mangelhaftes Projekt

- Unterdimensionierung
- Falsche Annahmen
- Ausführungsfehler
- Materialfehler

Sperrenzustand

- Schlechte Materialqualität
- Gravierende Rissbildung
- Alterung, Abnutzung (Stahlwasserbau)
- Alkali Aggregat Reaktion
- Auswaschung des Injektionsschirms

2.2.4 Ursachen- und Schadensklassifizierung^{15,16}

Selten wird ein Bruch bzw. Schadensereignis nur von einem Faktor beeinflusst. Häufiger setzt sich jedoch der Auslöser für ein Versagen aus mehreren Faktoren zusammen. Ziel ist immer, die Hauptursache für ein Schadensereignis zu ermitteln. Weitere Faktoren werden zwar angeführt, um ein möglichst ganzheitliches Bild des Ereignishergangs zu erhalten, aber nicht weiter analysiert. Die unten angeführten Kategorien können Ursachen und/oder Schäden darstellen.

Zusammenfassung und Klassifizierung möglicher Ursachen eines Schadensfalls:

OV Überströmen der Sperre

Vogel¹⁷ unterscheidet weiters die Gründe in:

OV1 unterdimensionierte Hochwasserentlastung oder während des Baus

OV2 wegen nicht funktionstüchtiger Verschlüsse

OV3 wegen verkleister oder schlecht gewarteter Verschlüsse

OV4 die Ursachen sind nicht genau bekannt

OV5 Ursachenkombinationen von OV1 bis OV3

GV Gründungsversagen und -fehler

¹⁵[Now97, S. 44f]

¹⁶[Vog82, S. 5f]

UD	mangelhafte Dichtung des Untergrundes im Sperrbereich
UB	undichtes Speicherbecken
DS	Sickerung durch Betonsperre
EA	äußere Erosion
EI	innere Erosion
RV	Risse im Sperrkörper
V	Verformungen und Setzungen der Sperre
MV	Veränderungen der Materialeigenschaften
AF	Ausführungsfehler während der Bauzeit
MF	Materialfehler oder -versagen, sofern nicht durch Alterung oder Ausführung bedingt
DR	Dammkörpererrutschung
HR	Hangrutschung
RS	Hangrutschung im Stauraum
FE	Bruch einer Betriebseinrichtung
VF	nicht funktionierende Betriebseinrichtung
BF	Betriebsfehler
ME	äußere mechanische Einwirkungen
KE	Kriegseinwirkung
BO	Bruch einer oberhalb liegenden Sperre
GE	Gasexplosion
FB	fehlerhafte Berechnung
KF	Konstruktionsfehler
VS	verhinderter Schaden
NA	Projekt nicht ausgeführt

Im Unterschied zu Nowotny wurde hier die Durchsickerung (DS) anders definiert, und zwar derart, dass dieses ein Durchsickern durch eine Betonsperre darstellt. Vorgänge der inneren Erosion durch den Dammkörper oder im Untergrund werden hier unter der Inneren Erosion (EI) zusammengefasst.

2.2.5 Schadenstypklassifizierung^{18,19}

Die Einteilung erfolgt anhand der Schadensklassifizierung der ICOLD in:

F1 Bruch führt zur völligen Zerstörung der Sperre oder Projektaufgabe

¹⁸[les74, S. 14]

¹⁹[Now97, S. 3f]

- F2 Bruch mit der Möglichkeit von Sanierung und Weiterbetrieb
- A1 Schäden während des Betriebs, bei denen durch Sofortmaßnahmen ein Versagen verhindert wird
- A2 Schäden während des Erstbaus, bei denen durch Sofortmaßnahmen ein Versagen verhindert wird
- A3 Schäden während des Baus, bei denen durch Maßnahmen die Inbetriebnahme nicht beeinträchtigt wird
- A4 Schäden während des Betriebs, die kein Standsicherheitsproblem darstellen, aber behoben werden müssen
- PA Projektaufgabe vor Schadenseintritt wegen zu großer technischer Schwierigkeiten
- RS Hangrutschung im bzw. in das Speicherbecken
- FE Bruch einer Betriebseinrichtung ohne Folgeschäden

2.3 Beispielhafte Auflistung großer Versagensfälle

Auf den nächsten Seiten werden einige Beispiele bekannter Versagensfälle erwähnt, um einen kleinen Eindruck über die verschiedenen Gründe zu vermitteln, die einen Schaden oder gar einen Bruch auslösen können.

2.3.1 Malpasset^{20,21}

Bei der Barrage de Malpasset in Frankreich oberhalb der Ortschaft Fréjus handelte es sich um eine Gewölbemauer. Die Mauer war ca. 66 [m] hoch, hatte eine Kronenlänge von rund 225 [m] und bildete ein Speichervolumen von ca. 50 [Mio. m³]. Sie wurde im Jahr 1954 fertiggestellt.

Die Sperre versagte am 02.12.1959 nach starken Regenfällen. Als Schadensursache konnte nach dem Unglück eine vorher nicht erkannte Kluft ermittelt werden. In dieser war durch die Regenfälle und den hohen Wasserspiegel der Kluftwasserdruck derart angestiegen, dass es zu einer Verschiebung des Widerlagers und daraus folgend zum Bruch der Sperre kam. Weiters wurden nachträglich mehrere Scherflächen festgestellt.

Bei dem Unglück verloren ca. 400 Menschen ihr Leben.



Abbildung 2.1: Malpasset vor dem Unglück²²



Abbildung 2.2: Malpasset vor dem Unglück, Grundablass und Tosbecken sind gut erkennbar²³



Abbildung 2.3: Überblick der zerstörten Sperre mit Skizze der Untergrundverhältnisse²⁴

²⁰cite[S. 190]strobl

²¹cite[S. 33ff]lessons

²¹Bild: <http://pluiesextremes.meteo.fr/1959-12-02/catastrophe-du-barrage-de-malpasset-.html>

²²Bild: <http://tourdehalfrance.blogspot.co.at/2013/05/histoire-du-jour-1-st-raphael.html>

²³Bild: <https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/1/17/PM.Malpasset.jpg>



Abbildung 2.4: Ausschnitt der zerstörten Stau- mauer²⁵



Abbildung 2.5: Durch die Flutwelle zerstörte Häuser in Fréjus²⁶

2.3.2 Vajont^{27,28}

Bei der Sperre von Vajont in Italien handelt es sich um eine Gewölbemauer. Die Mauer ist 265 [m] hoch und hat eine Kronenlänge von ca. 190 [m]. Sie bildete ein Speichervolumen von 150 [Mio. m³] und wurde 1960 fertiggestellt.

Bereits seit der Erstfüllung im Jahr 1960 waren Kriechvorgänge am Hang des benachbarten Monte Toc beobachtet worden, welche immer wieder mit unterschiedlichen Geschwindigkeiten auftraten, wobei das Maximum bei 4 [cm/d] lag. Als der Hang am 09.10.1963 endgültig in den Stausee rutschte, geschah dies mit einer Geschwindigkeit von 2,5 [m/s]. Dabei wurde Gestein mit einem Volumen von ca. 250 [Mio. m³] bewegt, was zum Überströmen der Sperre führte.

Bei der Katastrophe kamen 3.000 Menschen ums Leben, während die Sperre nahezu schadlos blieb.



Abbildung 2.6: Vajont vor dem Unglück²⁹



Abbildung 2.7: Speicherraum nach dem Hangrutsch³⁰

²⁷cite[S. 190]strobl

²⁸cite[S. 75ff]lessons

²⁴Bild: <http://structurae.de/structures/data/index.cfm?id=s0000335>

²⁵Bild: http://www.varmatin.com/frejus/catastrophe-de-malpasset-arte-avance-la-these-de-lattentat-du-fln.1107356.html?fb_action_

ids=441565352583036



Abbildung 2.10: Ansicht des gebrochenen Damms³⁴



Abbildung 2.11: Übersicht nach dem Unglück aus der Vogelperspektive³⁵

Bulletin 99³⁸ basierte. Weiters wurden Angaben von Veröffentlichungen der ICOLD aus den Jahren 1984³⁹ (Gesamtverzeichnis) und 1988⁴⁰, 1998⁴¹ und 2003⁴² (Ergänzungen) verwendet.

Zusätzlich benutzte Quellen waren Association of State Dam Safety Officials (ASDSO), World Information Service on Energy (wise), Geotechnical Extreme Events Reconnaissance (GEER), Structurae sowie diverse Publikationen.

Insgesamt werden 616 Schadensfälle erfasst. Dabei wird mehr Wert auf gesicherte und möglichst vollständige Datensätze gelegt, als auf eine möglichst umfangreiche Sammlung von Schadensereignissen.

Als Referenz für alle hergestellten bzw. sich in Bau befindlichen Sperren diente ein Auszug der ICOLD-Datenbank vom 15.03.2014.

Die im Weiteren verwendeten Länderkürzel erfolgen gemäß ISO 3166-1 und sind im Anhang in der Tab. A.1 S. 127 ersichtlich.

2.5 Auswertung

Die Auswertung der im Abschnitt Datengrundlage (siehe S. 16f) erwähnten Schadensereignisse werden gemäß den vorab erläuterten Kategorien (siehe Versagensgründe und Schadensbilder, S. 9) aufbereitet und die Ergebnisse hier präsentiert.

³⁸[?]

³⁹[wrd84]

⁴⁰[wrd88]

⁴¹[wrd98]

⁴²[wrd03]

Eingangs wird darauf hingewiesen, dass es bei der Auswertung immer wieder vorkommt, dass Daten in einer derart kleinen Zahl auftreten, wodurch keine statistisch relevanten Aussagen getroffen werden können, die Darstellung aber unübersichtlicher wäre. Aus diesem Grund werden diese unter dem Punkt „Sonstige“ zusammengefasst, wobei die Darstellungsgrenze für jeden Fall einzeln angepasst wird.

Zunächst erfolgt eine generelle Untersuchung der Auslöser für Schadensereignisse. Dabei wurden die einzelnen Bauwerkstypen getrennt aufbereitet und in den Diagrammen für Erd- und Steinschüttdämme (S. 20), Gewichtsmauern (S. 20), Gewölbemauern (S. 21) sowie Pfeiler- und Pfeilergewölbemauern (S. 21) dargestellt. Danach folgen zwei weitere Zusammenstellungen für alle Betonbauwerke (S. 22) sowie alle Schadensfälle unabhängig von der Bauart (S. 22).

Die gleiche Aufstellung folgt anschließend zum Vergleich für Bruchereignisse (siehe S. 20 bis 22).

Dabei zeigt sich, dass die meisten Schadensereignisse bei den Erd- und Steinschüttdämmen durch Überströmen, innere Erosion, Dammkörperrutschungen sowie Sperrenrisse verursacht wurden. Bei diesen Bauformen lassen sich aber auch die meisten Brüche auf diese Ursachen zurückführen.

Bei den Gewichtsmauern treten mehr schlechte Untergrunddichtung und Gründungsversagen hervor, als bei den zuvor genannten Dämmen. Weiteres nimmt bei den Gewölbemauern im Vergleich einen noch größeren Stellenwert ein und gleichzeitig geht daraus der höhere technische Anspruch speziell an Materialien in Bezug auf eine gleichbleibende Qualität hervor.

Bis dato wurden hier Schadens- und Bruchverteilung nur auf den Bauwerkstyp oder auf die Gesamtheit der Daten bezogen. Auf den kommenden Seiten erfolgt zusätzlich eine Gegenüberstellung zum Herstellungsjahr und zur Bauwerkshöhe.

Aus den Diagrammen das Herstellungsjahr betreffend ist ersichtlich, dass es zu einer kontinuierlichen Abnahme sowohl bei den Schäden als auch bei den Brüchen kam.

So geht z.B. aus den Diagrammen für Gewichts- (siehe S. 26), Gewölbe- (siehe S. 27) und der Zusammenfassung aller Mauertypen (siehe S. 27) hervor, dass es bei den Gewichts- und Pfeilermauern noch einige Schäden gab, während es bei den Gewölbemauern keinen einzigen mehr gab, wenn diese nach 1990 gebaut wurden.

Die Abnahme von innerer Erosion und Sperrenrisse ist zwar auch bei den Erddämmen (siehe S. 26) zu beobachten, allerdings nicht in dem Umfang wie bei den Sperren. Außerdem sind Risse im Dammkörper und Gründungsversagen thematisch immer noch von Relevanz.

Anschließend erfolgt die selbe Betrachtung ausschließlich hinsichtlich der Bruchereignisse.

In den Diagrammen auf S. 31 bis S. 32 wurde das Herstellungsjahr durch die Bauwerkshöhe als Variable im Zusammenhang mit den Schadensursachen ersetzt. Dabei zeigt sich, dass höhere Bauwerke eher zu Schäden neigen, wobei die Dammkörperrutschung im Verhältnis zum Überströmen und der inneren Erosion stark ausgeprägt ist. Lediglich bei Gewölbemauern ist eine gleichmäßige Verteilung ersichtlich.

Danach werden die Schadensereignisse in Bezug auf das Herstellungsjahr noch der Gesamtzahl der registrierten Sperren in diesem Jahr gegenübergestellt (siehe S. 33). Dies erfolgt unter Einschränkung auf das jeweilige Land der betreffenden Sperre. Dasselbe wird dann noch für die Bauwerkshöhe durchgeführt (siehe S. 33).

Schlussendlich werden die beiden obigen Auswertungen zu Vergleichszwecken nicht für alle Länder, sondern getrennt für die USA (siehe S. 34 und S. 34) und Südafrika (siehe S. 35 und S. 35) dargestellt.

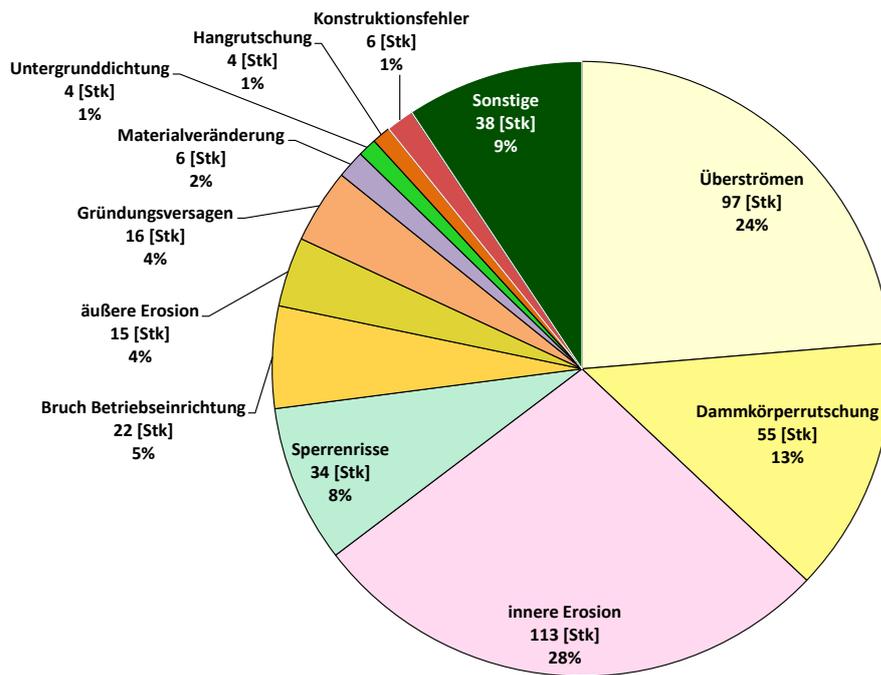
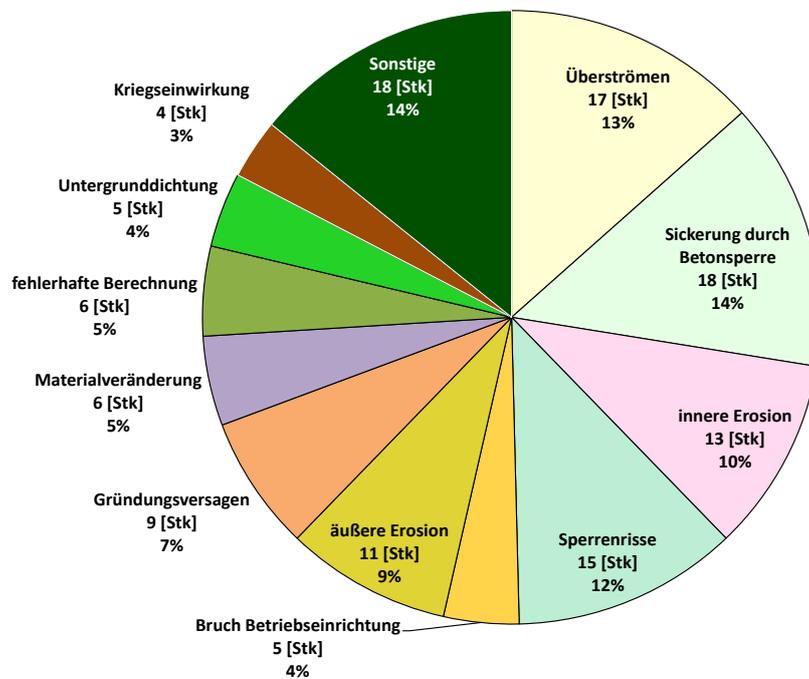
Diagramm 2.1: Verteilung der Schadensursachen bei Erd- und Steinschüttdämmen**Diagramm 2.2:** Verteilung der Schadensursachen bei Gewichtsmauern

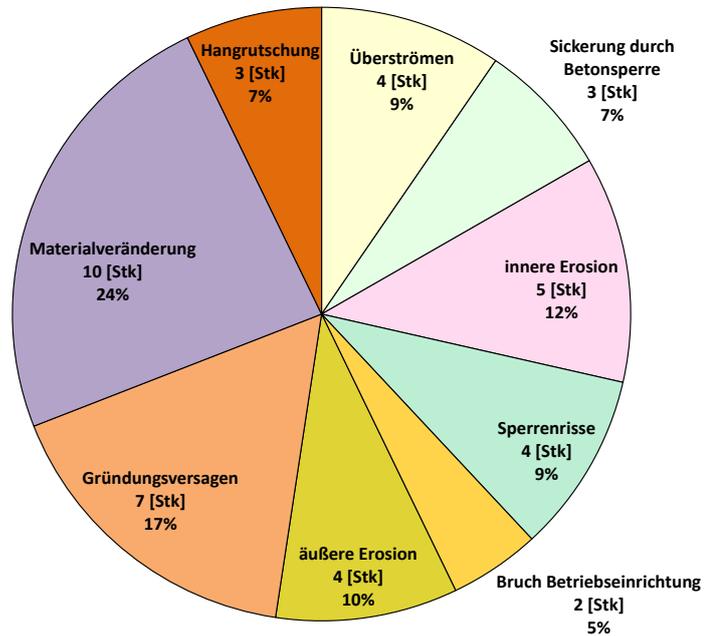
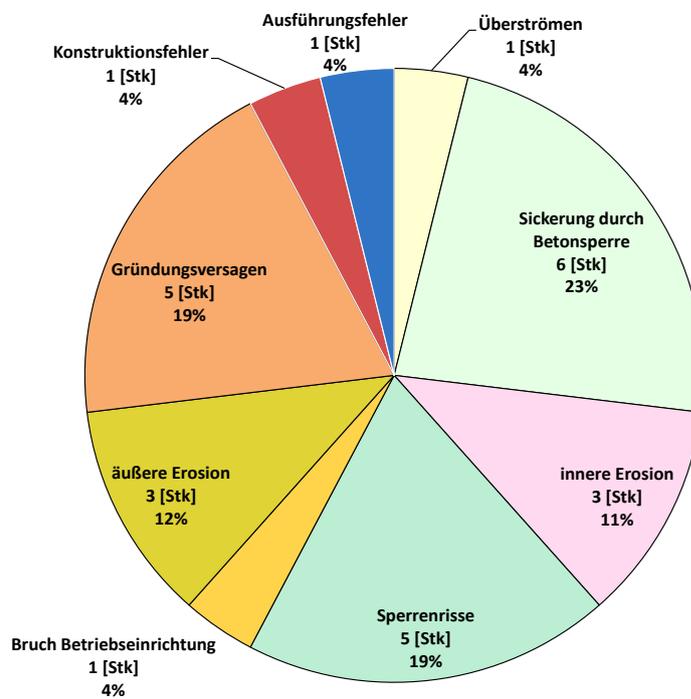
Diagramm 2.3: Verteilung der Schadensursachen bei Gewölbemauern**Diagramm 2.4:** Verteilung der Schadensursachen bei Pfeiler- und Pfeilergewölbemauern

Diagramm 2.5: Verteilung der Schadensursachen bei allen Mauern (Gewichts-, Gewölbe-, Pfeiler- und Pfeilergewölbemauern)

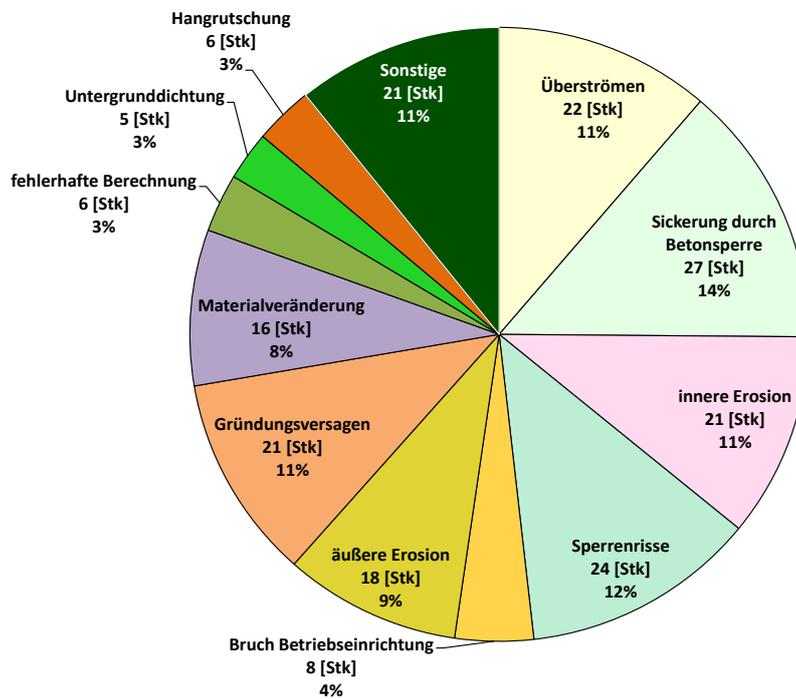


Diagramm 2.6: Verteilung der Schadensursachen bei allen Sperrentypen

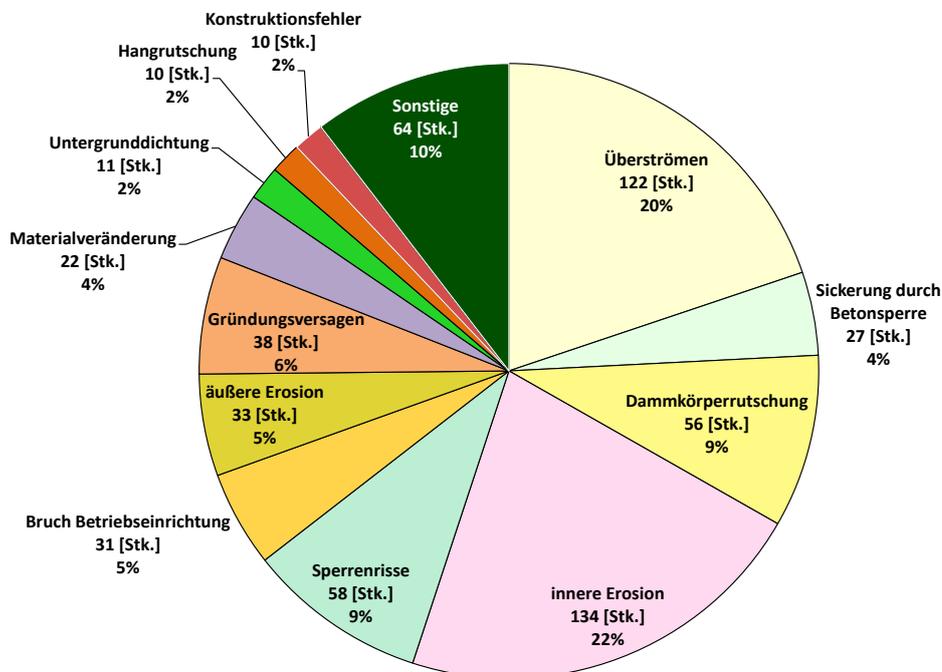


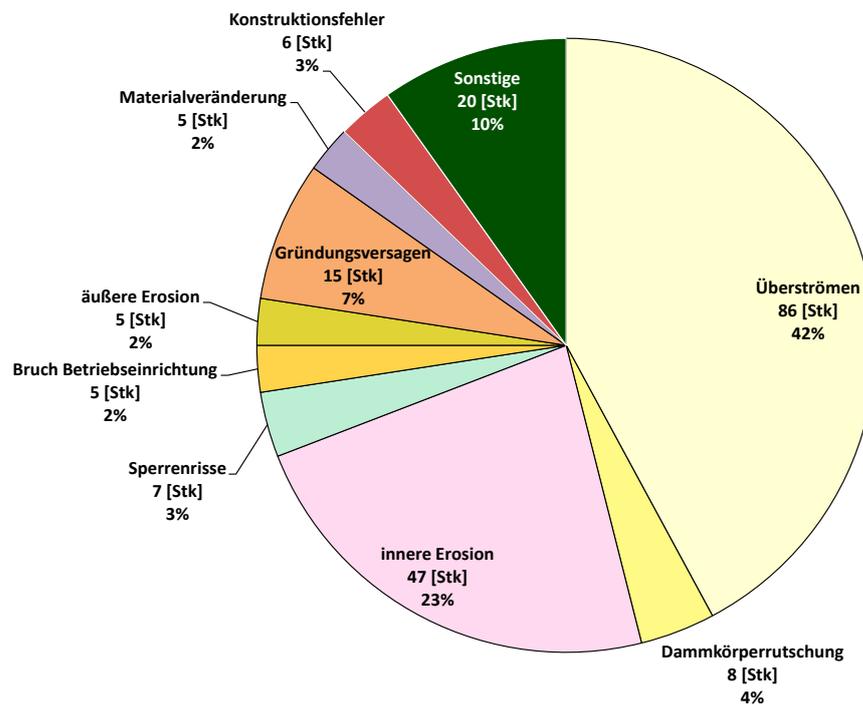
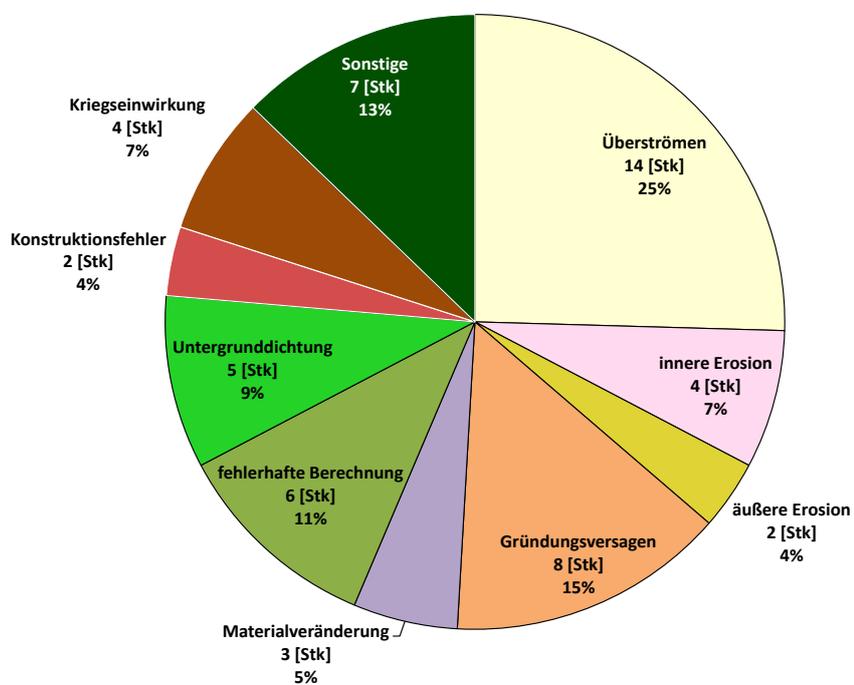
Diagramm 2.7: Verteilung der Bruchursachen bei Erd- und Steinschüttdämmen**Diagramm 2.8:** Verteilung der Bruchursachen bei Gewichtsmauern

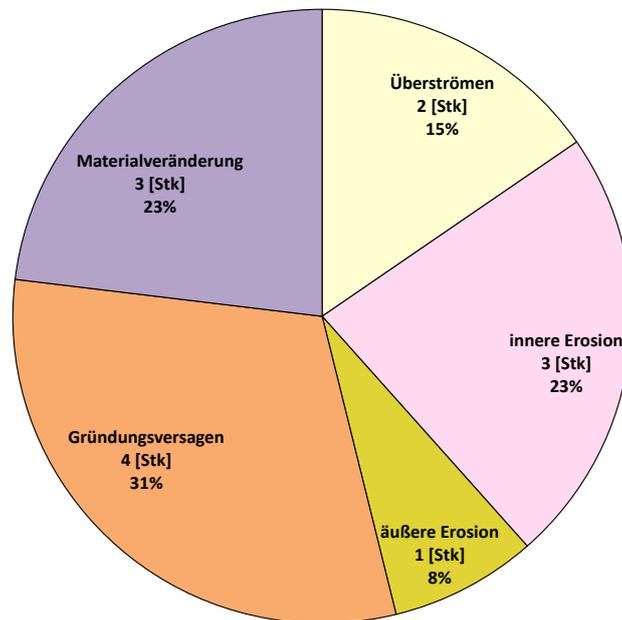
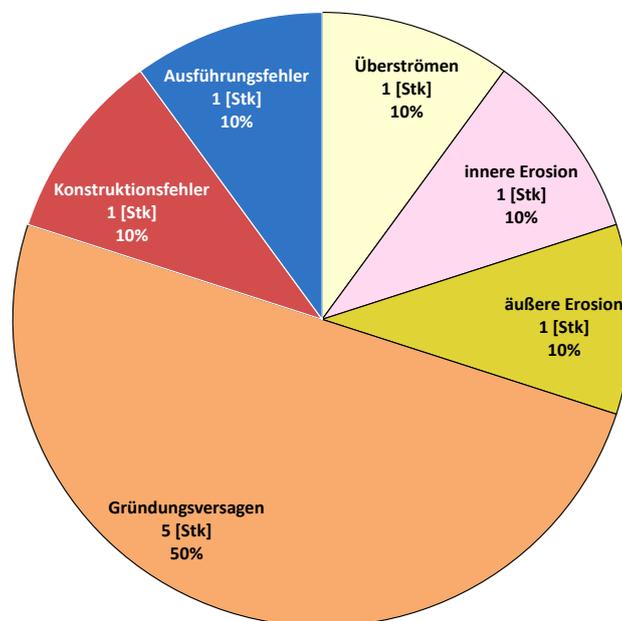
Diagramm 2.9: Verteilung der Bruchursachen bei Gewölbemauern**Diagramm 2.10:** Verteilung der Bruchursachen bei Pfeiler- und Pfeilergewölbemauern

Diagramm 2.11: Verteilung der Bruchursachen bei allen Mauern (Gewichts-, Gewölbe-, Pfeiler- und Pfeilergewölbemauern)

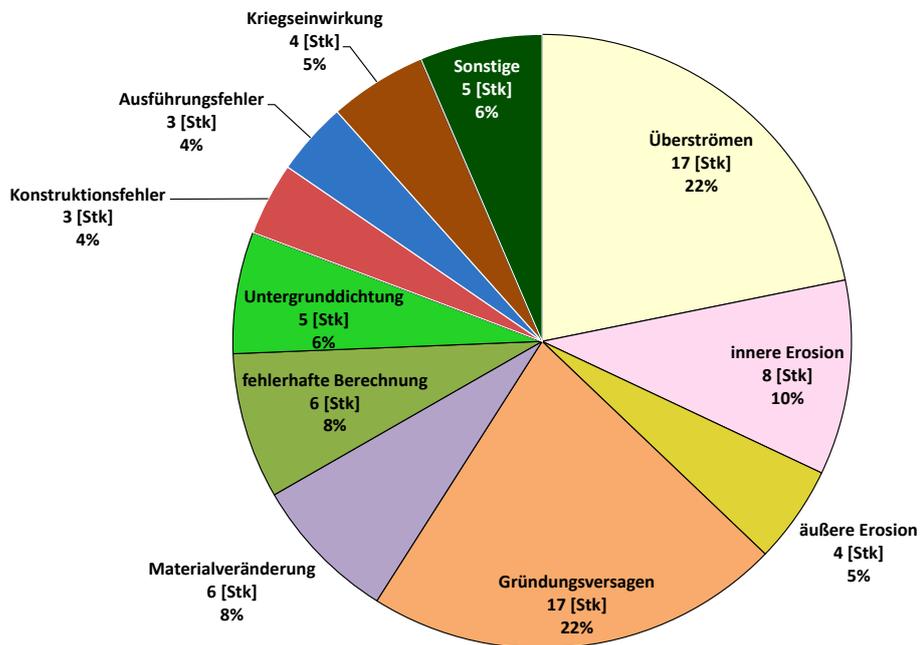


Diagramm 2.12: Verteilung der Bruchursachen bei allen Sperrentypen

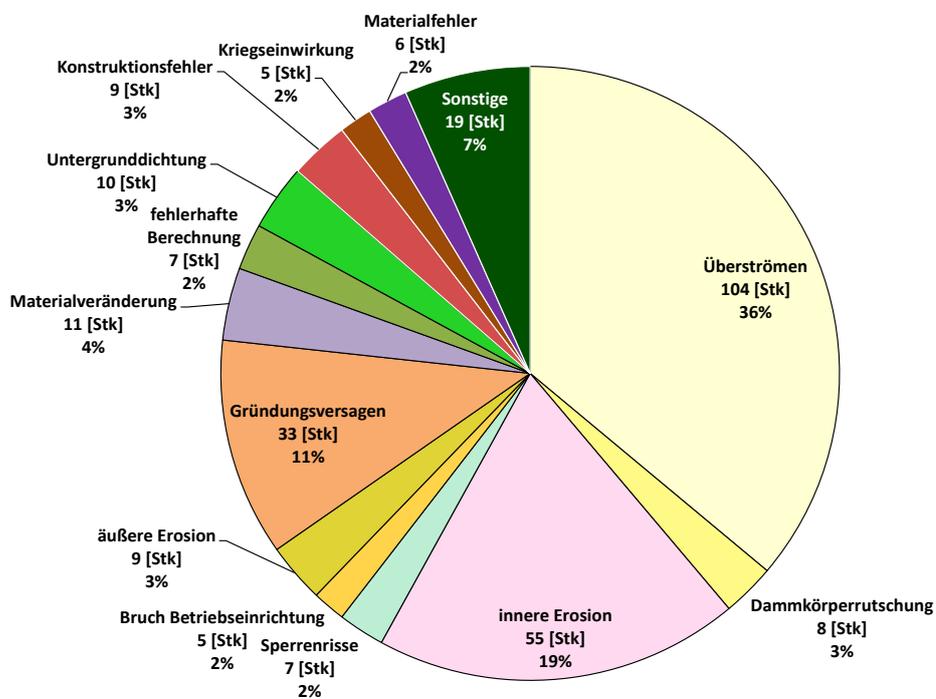


Diagramm 2.13: Verhältnis zwischen Herstellungsjahr und Schadensursache bei Erd- und Stein-schüttdämmen

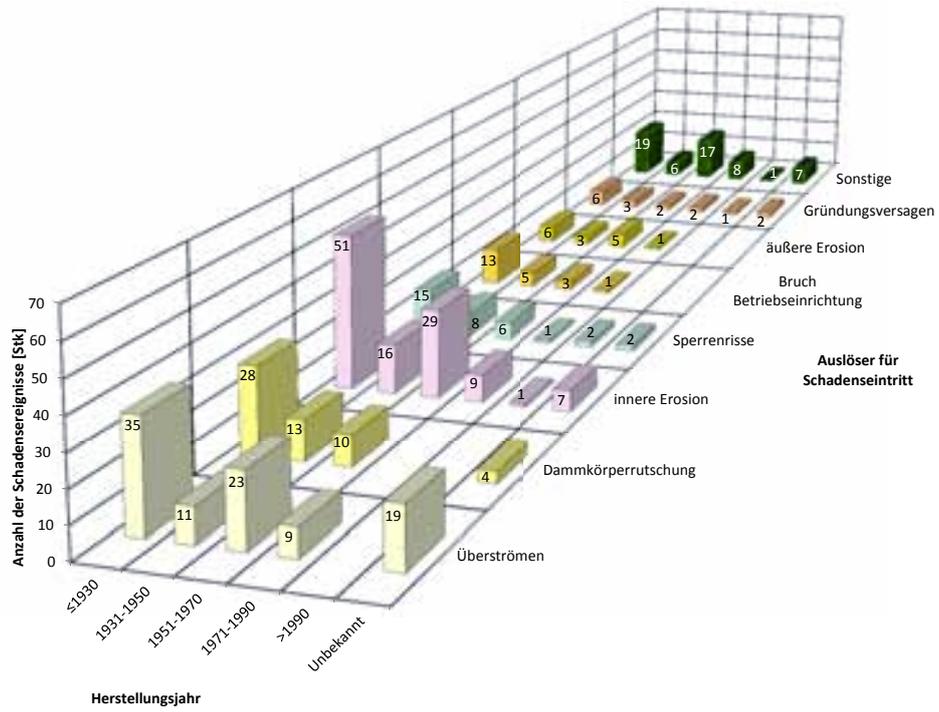


Diagramm 2.14: Verhältnis zwischen Herstellungsjahr und Schadensursache bei Gewichtsmauern

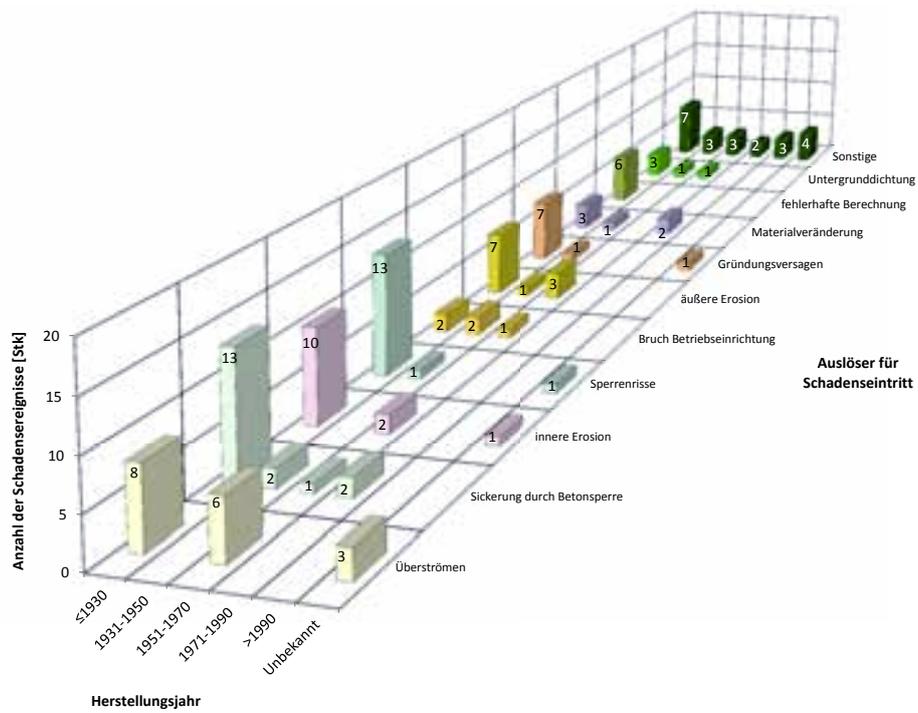


Diagramm 2.15: Verhältnis zwischen Herstellungsjahr und Schadensursache bei Gewölbemauern

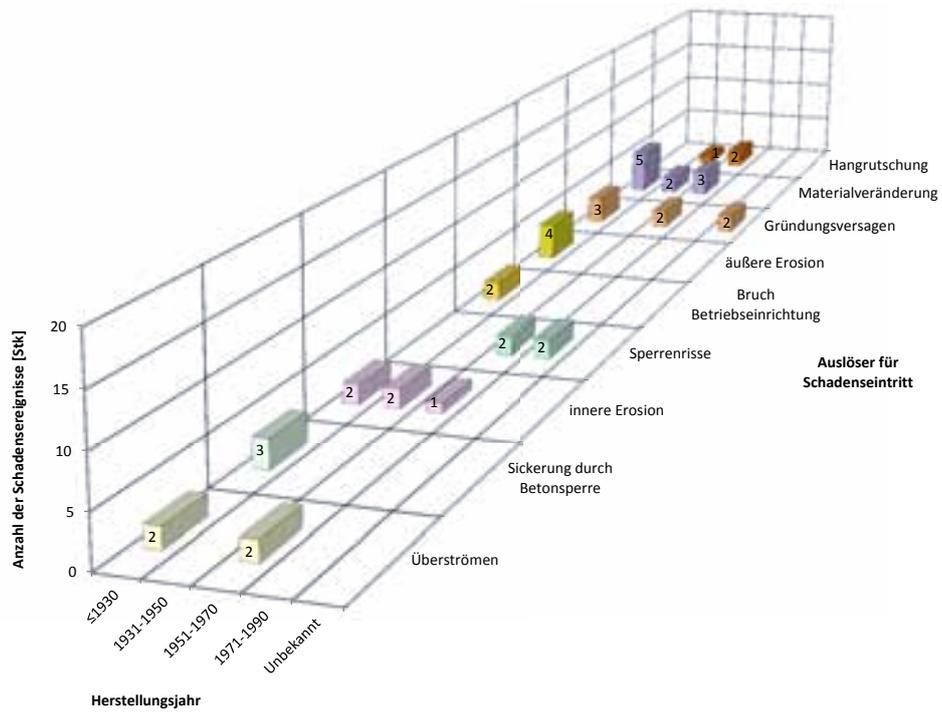


Diagramm 2.16: Verhältnis zwischen Herstellungsjahr und Schadensursache bei allen Mauern (Gewichts-, Gewölbe-, Pfeiler- und Pfeilergewölbemauern)

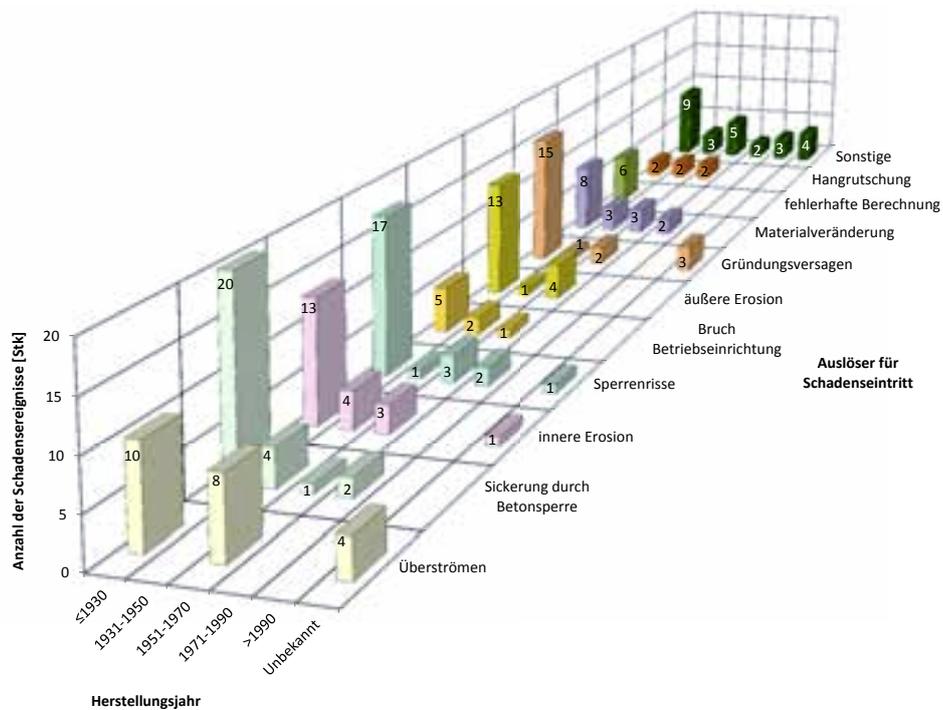


Diagramm 2.17: Verhältnis zwischen Herstellungsjahr und Schadensursache bei allen Sperrrentypen

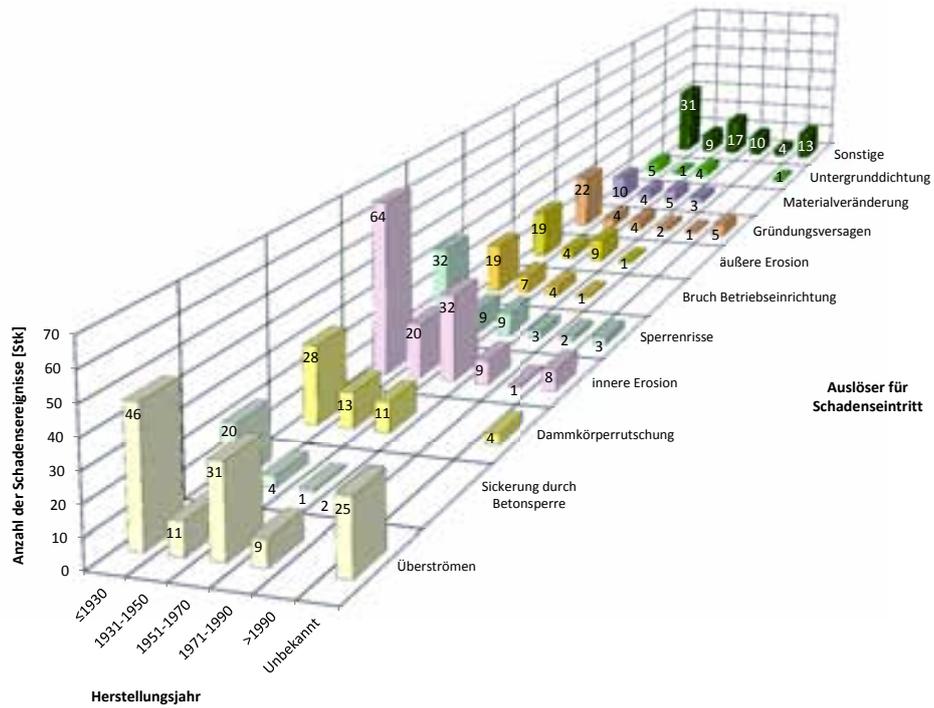


Diagramm 2.18: Verhältnis zwischen Herstellungsjahr und Bruchursache bei Erd- und Steinschüttdämmen

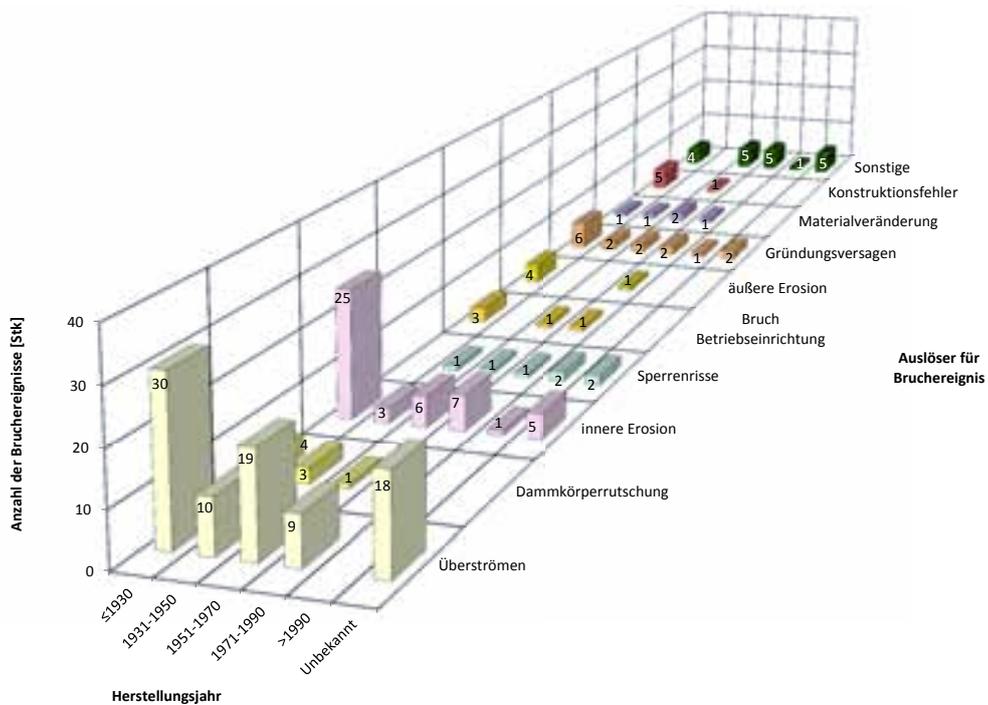


Diagramm 2.19: Verhältnis zwischen Herstellungsjahr und Bruchursache bei Gewichtsmauern

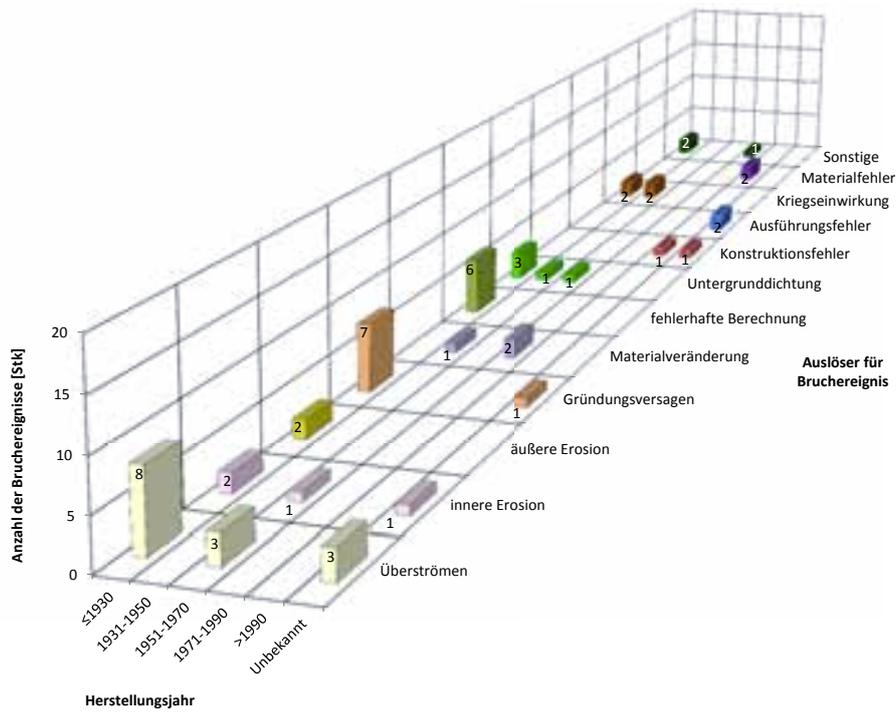


Diagramm 2.20: Verhältnis zwischen Herstellungsjahr und Bruchursache bei Gewölbemauern

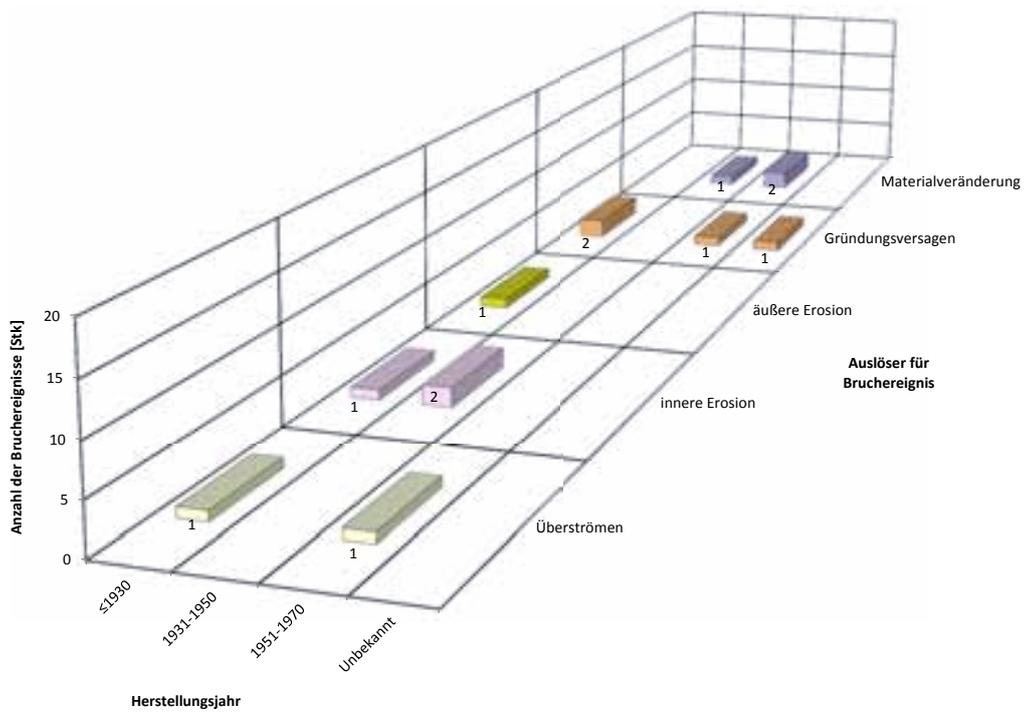


Diagramm 2.21: Verhältnis zwischen Herstellungsjahr und Bruchursache bei allen Mauertypen (Gewichts-, Gewölbe-, Pfeiler- und Pfeilergewölbemauern)

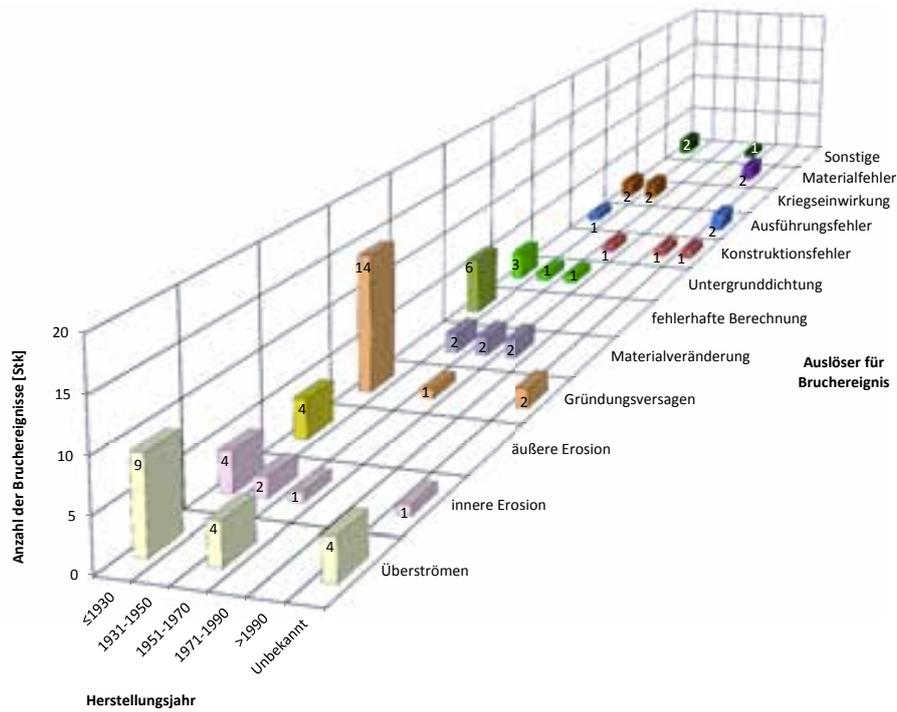


Diagramm 2.22: Verhältnis zwischen Herstellungsjahr und Bruchursache bei allen Sperrentypen

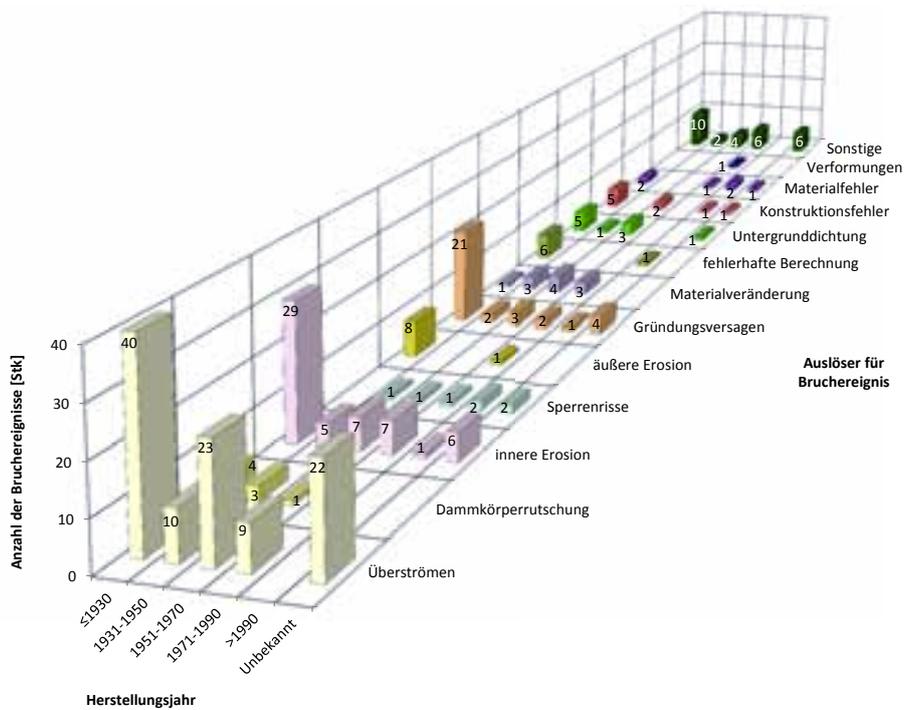


Diagramm 2.23: Verhältnis zwischen Bauwerkshöhe und Schadensursache bei Erd- und Steinschüttdämmen

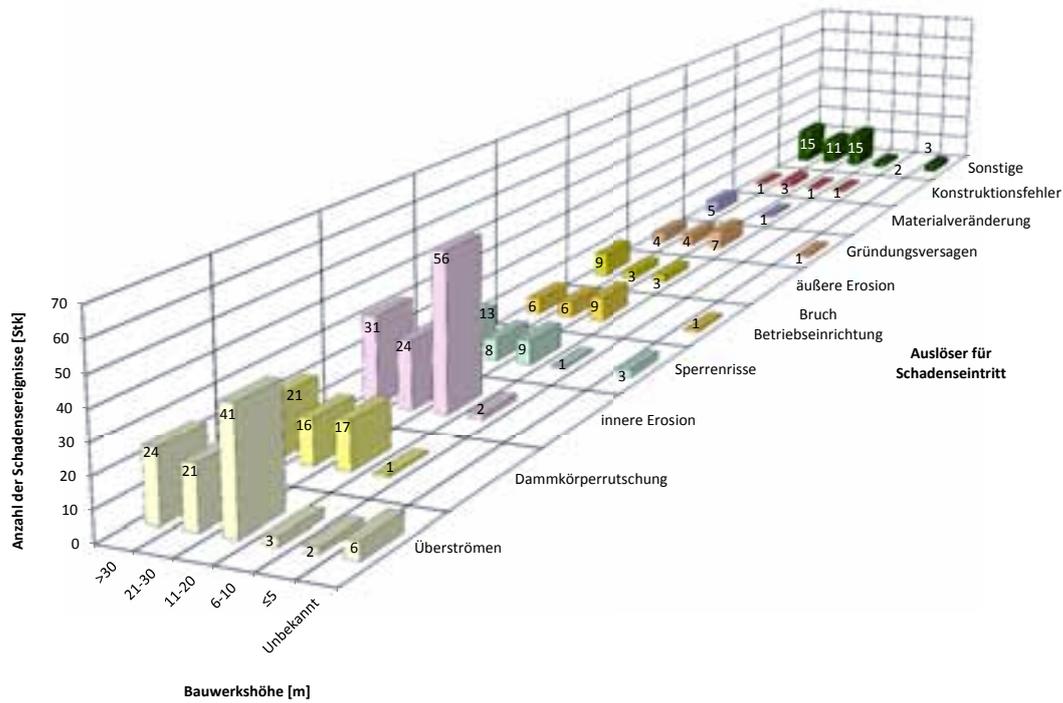


Diagramm 2.24: Verhältnis zwischen Bauwerkshöhe und Schadensursache bei Gewichtsmauern

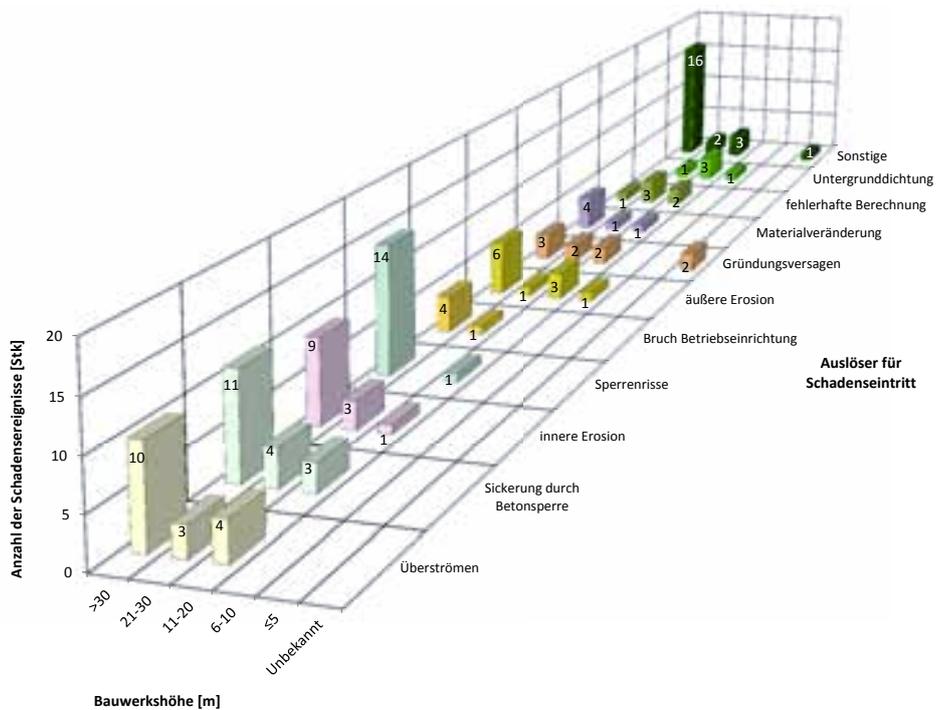


Diagramm 2.25: Verhältnis zwischen Bauwerkshöhe und Schadensursache bei Gewölbemauern

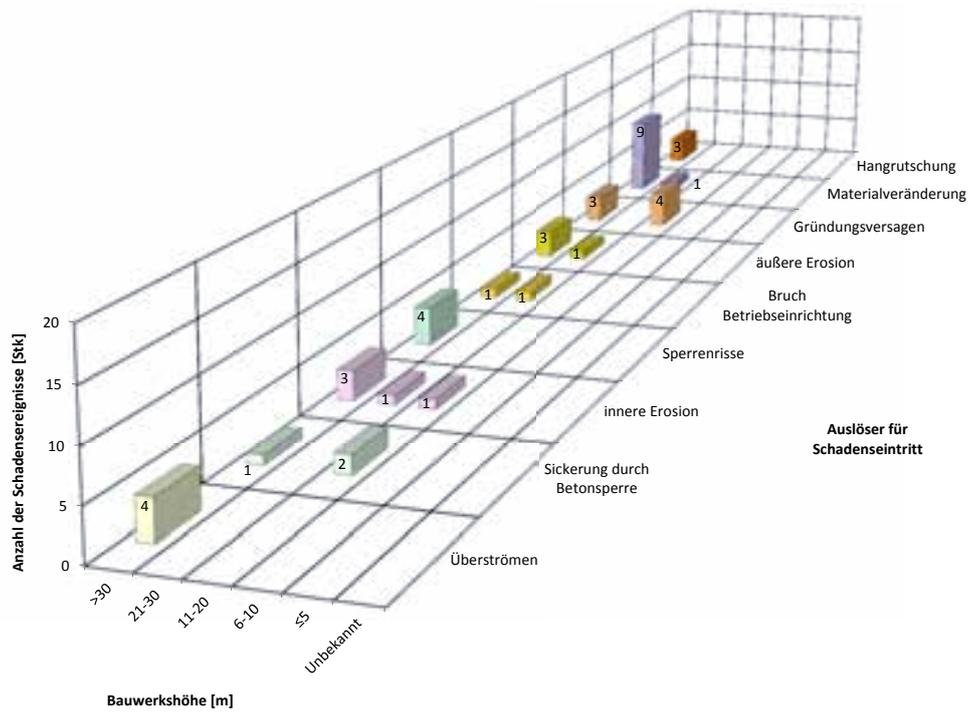


Diagramm 2.26: Verhältnis zwischen Bauwerkshöhe und Schadensursache bei allen Sperrentypen

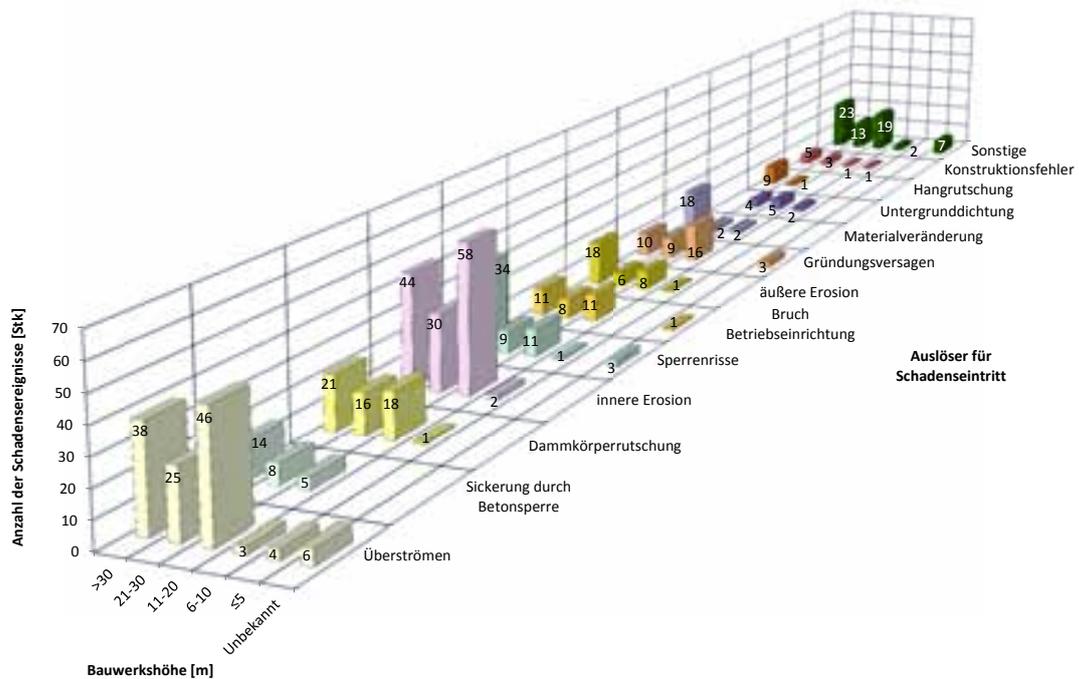


Diagramm 2.27: Verhältnis zwischen Herstellungsjahr und Schadensursache bei allen Sperrentypen bezogen auf die Gesamtheit der Sperren in allen Ländern

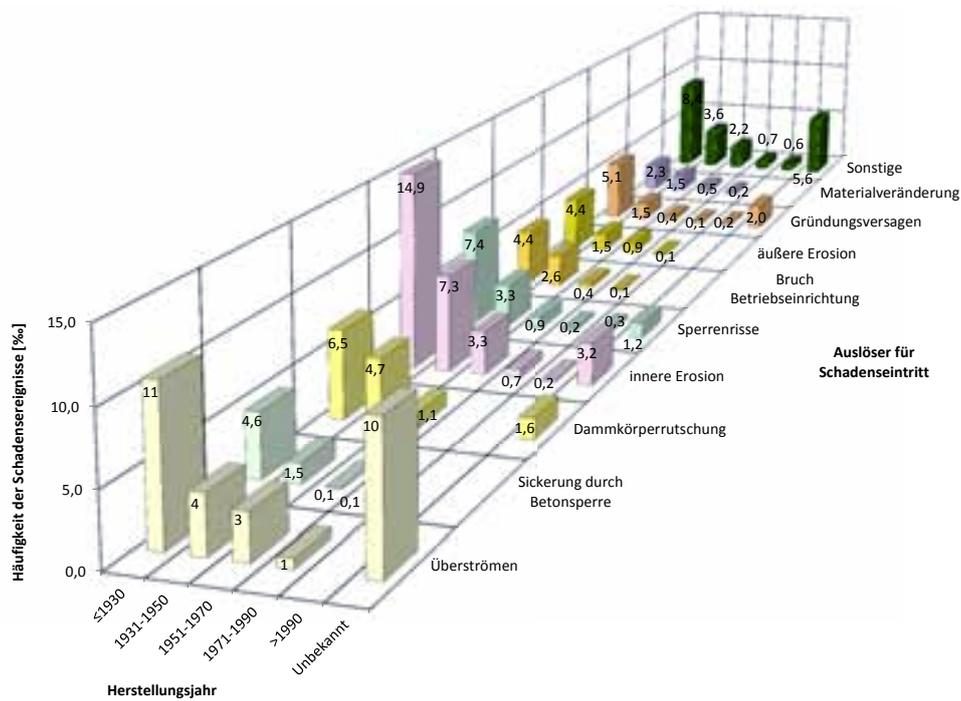


Diagramm 2.28: Verhältnis zwischen Bauwerkshöhe und Schadensursache bei allen Sperrentypen bezogen auf die Gesamtheit der Sperren in allen Ländern

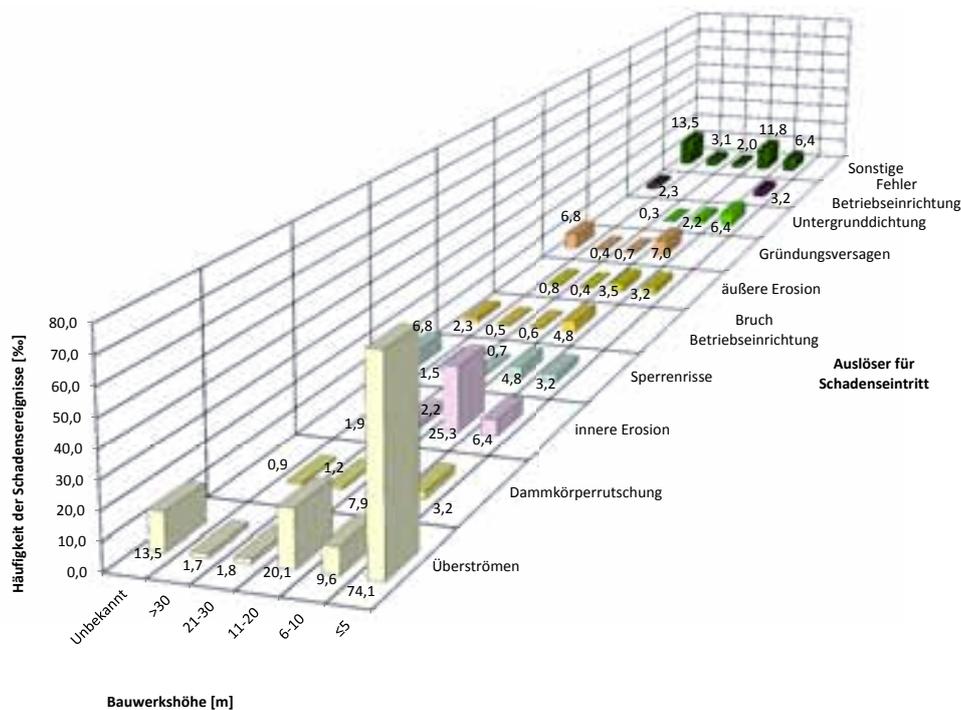


Diagramm 2.29: Verhältnis zwischen Herstellungsjahr und Schadensursache bei allen Sperrentypen bezogen auf die Gesamtheit der Sperren in den USA

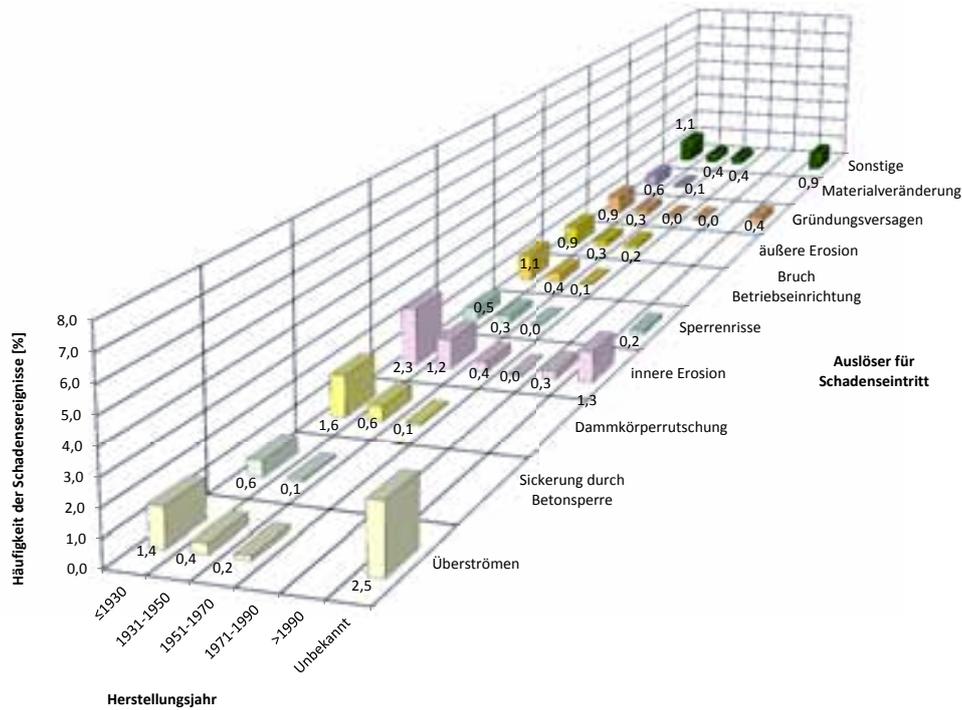


Diagramm 2.30: Verhältnis zwischen Herstellungsjahr und Schadensursache bei allen Sperrentypen bezogen auf die Gesamtheit der Sperren in Südafrika

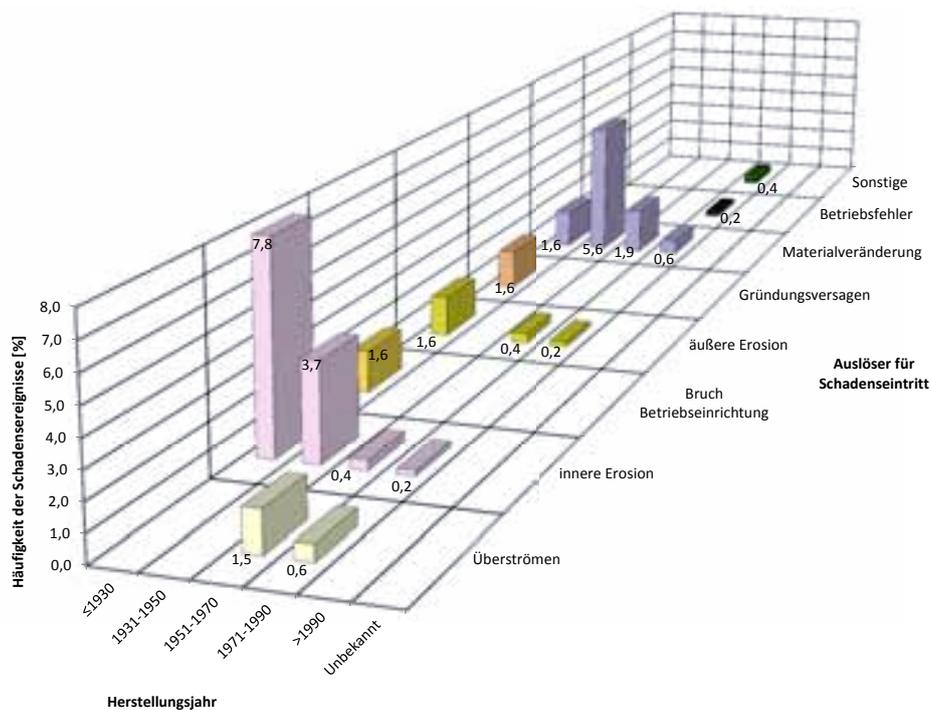


Diagramm 2.31: Verhältnis zwischen Bauwerkshöhe und Schadensursache bei allen Sperrentypen bezogen auf die Gesamtheit der Sperren in den USA

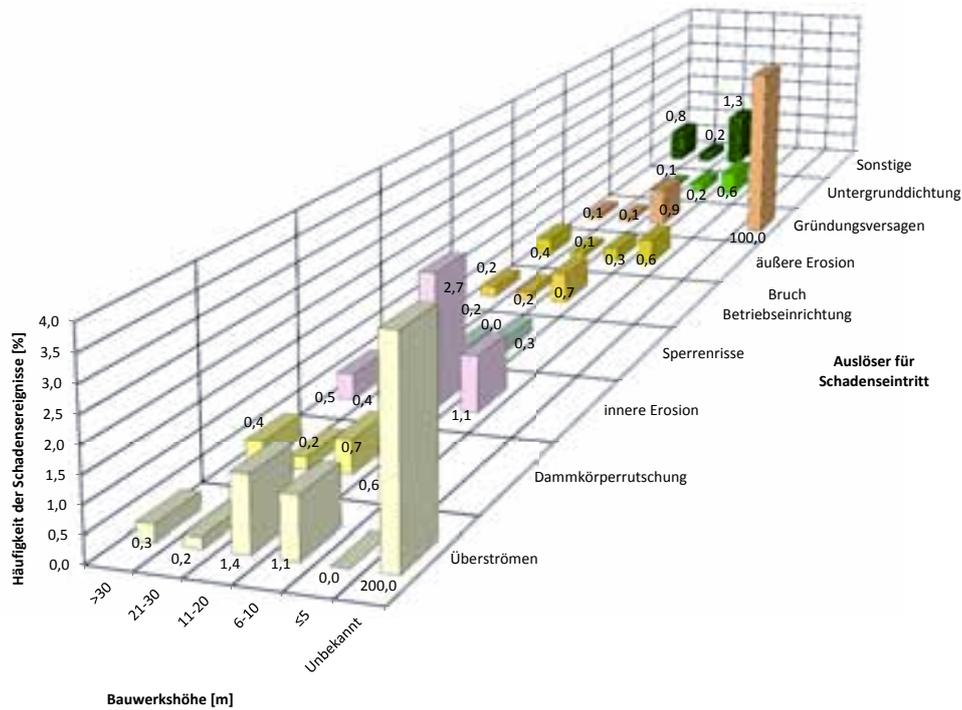
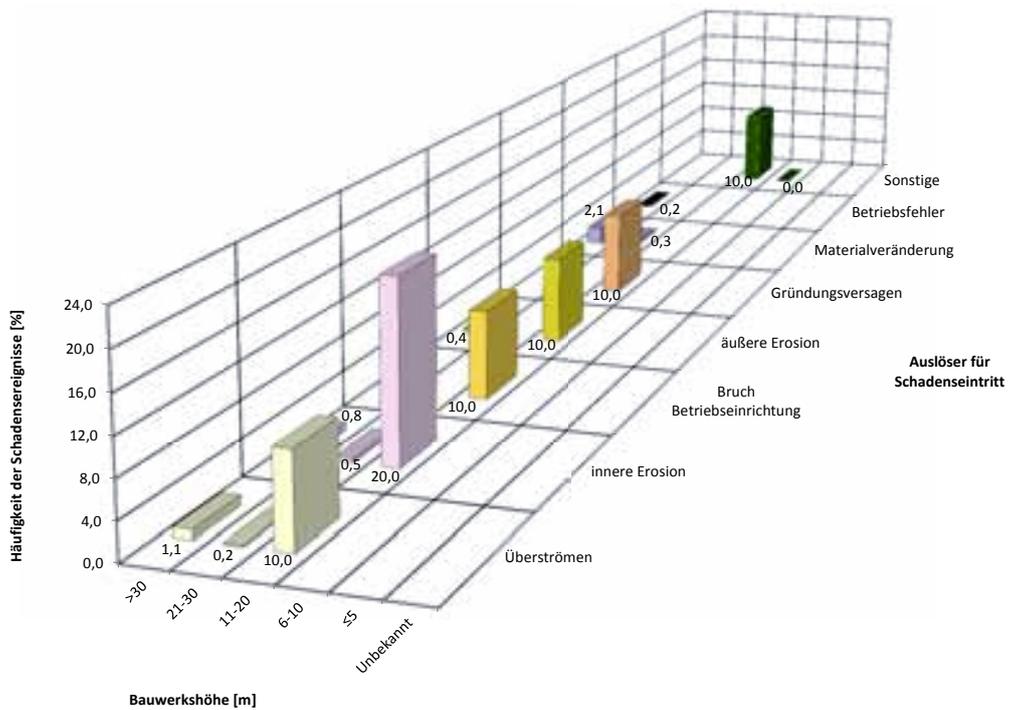


Diagramm 2.32: Verhältnis zwischen Bauwerkshöhe und Schadensursache bei allen Sperrentypen bezogen auf die Gesamtheit der Sperren in Südafrika



2.6 Gewonnene Erkenntnisse

Aus den Auswertungen der ermittelten Schadensfälle geht klar hervor, dass die Zahlen von Beschädigungen oder Zerstörungen von hohen Sperrenbauwerken zurückgehen. Gleichzeitig zeigt sich, dass es immer noch viele Schäden und auch Brüche bei Dämmen gibt. Weiters zeigt sich, dass bei Dämmen das Überströmen immer noch die Hauptursache für ein auftretendes Versagen ist.

Ferner ist es sowohl bei Sperren als auch bei Dämmen am häufigsten der Grund für einen Bruch des Bauwerks.

Anhand des Beispiels von Südafrika zeigt der Vergleich zu den USA, dass es weiterhin nationale Unterschiede bei der Schadensverteilung gibt.

Aus dieser Information kann geschlossen werden, dass folgende zwei Punkte als hauptverantwortlich für entstandene Bauwerksversagen sind:

- zu gering dimensionierte Hochwasserentlastungsanlage
- schlechte Überwachung

Durch fehlende oder nicht funktionierende Überwachungseinrichtungen werden Schäden, die sich ankündigen, solange nicht erkannt, bis es zum Bruch kommt.

Durch mangelhaft oder gar nicht durchgeführte Kontrollen und unterlassene Wartung kann es zu Schwächungen der Bauwerksstruktur oder Anlagenteilen kommen, bei welchen es im Fall einer außergewöhnlichen Belastung zu einem Versagen kommen kann.

3 Sicherheit

Talsperren und zugehörige Bauwerke können durch direkte und indirekte Auswirkungen Schäden nehmen. Zu den direkten Auswirkungen gehören Risse, Verschiebungen, Setzungen, eventuell sogar inklusive Freibordverlust, usw.. Bei den indirekten Auswirkungen wäre z.B. ein Überströmen, verursacht durch einen Schwall zufolge einer Rutschung oder eines Felssturzes, zu nennen.

Der Schaden, welcher durch ein Ereignis ausgelöst wird, kann auch zeitlich versetzt auftreten.

Hieraus wird ersichtlich, dass bei der Sicherheitsanalyse möglichst alle Einwirkungen, sowohl auf die Talsperre selbst als auch auf das Entlastungsbauwerk oder ein gegebenenfalls vorhandenes Krafthaus, in Betracht gezogen und eine ausreichende Sicherheit nachgewiesen werden sollten.⁴³

Im folgenden Kapitel werden zuerst Begriffe der Sicherheit angeführt, daraufhin eine Unterteilung in Struktursicherheit und Betriebssicherheit vorgenommen und näher beschrieben.

3.1 Begriffsdefinitionen

Immer wenn von Sicherheit die Rede ist, fallen die Begriffe Sicherheit und Risiko, welche untenstehend durch Definitionen und Erläuterungen näher behandelt werden.

3.1.1 Definition von Sicherheit

Als Sicherheit wird jener Zustand bezeichnet, der frei von unvertretbaren Risiken der Beeinträchtigung ist oder die höchstmögliche Gefährdungs- bzw. Schadensfreiheit bietet. Diese Definition von Sicherheit ist sowohl auf Lebewesen als auch auf unbelebte Objekte anwendbar. In Bezug auf technische Konstruktionen wie Talsperren bezeichnet Sicherheit den Zustand der voraussichtlich störungsfreien und gefahrlosen Funktion.

⁴³[Öst01, S. 4]

In komplexen Systemen mit einer großen Anzahl an Einflussvariablen, die noch dazu schwer abzuschätzen sind, können Risiken nie völlig ausgeschlossen werden. Das vertretbare Risiko ist für jeden Menschen individuell und hängt von vielen Faktoren ab und wird eventuell auch kulturell unterschiedlich gewertet.

Sicherheit kann jedoch nur als relativer Zustand gesehen werden, der nur für bestimmte Bedingungen sowie örtlich und zeitlich begrenzt gegeben ist. Sämtliche Sicherheitsvorkehrungen sind wirkungslos, sobald unvorhersehbare oder vorab als unrealistisch bewertete Ereignisse oder Ereigniskombinationen eintreten. Daher bedeutet Sicherheit nicht, dass ein Eintreten solcher Ereignisse vollständig ausgeschlossen werden kann, sondern nur, dass es hinreichend unwahrscheinlich ist.

Je höher der Wunsch nach Sicherheit ist, desto höher sind die Planungs-, Bau- und Betriebskosten anzusetzen. Es hat daher immer eine Abwägung zwischen „machbarer Sicherheit“ und Wirtschaftlichkeit (Stand der Technik) zu erfolgen. Allgemein kann davon ausgegangen werden, dass mit steigendem Nutzen für die Allgemeinheit auch höhere Eintrittswahrscheinlichkeiten für Beeinträchtigungen oder Schäden eher als tolerierbar angesehen werden.

3.1.2 Definition von Risiko

Immer wenn von Sicherheit die Rede ist, kommt auch der Begriff Risiko bzw. Restrisiko vor. In der Technik ist folgender mathematischer Zusammenhang für das Risiko verbreitet:

Risiko = Eintrittshäufigkeit bzw. Eintrittswahrscheinlichkeit multipliziert mit der Ereignis-schwere bzw. dem Schadensausmaß.

Ein Werkzeug zur Risikobewertung ist die Probabilistische Sicherheitsanalyse (PSA), auch Probabilistische Risikoanalyse (PRA) genannt. Sie untersucht die Risiken von Industrieanlagen wie z.B. Kernkraftwerken und Talsperren mittels probabilistischer Methoden.

Die drei Kernfragen der Analyse sind:

- Was kann versagen?
- Wie wahrscheinlich ist es?
- Was sind die Auswirkungen?

Im Sperrbau wird die Eintrittshäufigkeit derzeit meist auf einen Betrachtungszeitraum von 100 Jahren bezogen.

In der Sicherheitstechnik unterscheidet man zwischen:

- unmittelbare Sicherheit

Darunter werden alle Maßnahmen verstanden, bei denen Schäden durch Planung und Ausführung verhindert werden. Dazu zählt auch der so genannte „Fail-safe“-Ansatz. Er wird im Kap. 3.3, S. 54 näher erläutert. Eine Steigerung stellt der „Safe-life“-Ansatz dar, der im Flugzeugbau zum Einsatz kommt.

- mittelbare Sicherheit

Hierzu zählen Vorkehrungen, bei denen Schutzeinrichtungen eine mögliche Gefährdung verhindern. Das Spektrum reicht dabei von Schutzgittern und Zäunen bei Maschinenteilen bis zur Sensorüberwachung, die eine sichere Betriebsführung (siehe Kap. 3.3, S. 54) gewährleisten.

- hinweisende Sicherheit

Sie stellt die schwächste und rechtlich geringste Form von Sicherheitsmaßnahmen dar. Es wird dabei lediglich auf die Gefahren hingewiesen (Gefahrenhinweis).

Bei der Sperrensicherheit lässt sich eine grobe Unterteilung in⁴⁴

- Talsperre und Untergrund
- Speicher und Vorland
- Bauwerke
- Ausrüstung

durchführen.

3.2 Struktursicherheit

Unter der Struktursicherheit werden äußere Einflüsse auf die Sperre und als Resultat die konstruktive Umsetzung verstanden, welche für die Sicherheit des Bauwerks maßgebend sind. Sie umfasst die Komponenten Geologie und Geotechnik, Hydrologie, Planung und Berechnung sowie die verwendeten Baustoffe.

⁴⁴[Zen, S. 1]

3.2.1 Geologie und Geotechnik⁴⁵

Geologie und topographische Gegebenheiten spielen bei der Situierung der Sperre eine zentrale Rolle.

Auf der Grundlage einer ersten Beurteilung wird die Sondierkampagne festgelegt. In dieser werden Lage und Anzahl der Bohrungen sowie Art und Anzahl der Versuche zur Bestimmung der gewünschten Parameter (z.B. Gesteinsfestigkeit, Reibungswinkel...) des Fels-/Lockergesteins fixiert.

Außerdem ist durch Geologen ein Bericht zu verfassen, in dem eine Beschreibung der anstehenden Gesteins- und Deckschichten, der Klüfte, Trennflächen und Verwerfungen sowie Angaben zur Hydrogeologie (z.B. Grundwasserspiegel, Durchlässigkeit...) enthalten sind. Weiters sind hier Informationen über die Detailgeologie an der Stelle der zu errichtenden Sperre und über das Staubecken (Dichtigkeit der Talflanken, Zonen potentieller Hangrutschungen und Felssturzgebiete der umschließenden Hänge) festzuhalten.

Kurzer Überblick über die geologischen Aufnahmen:⁴⁶

- Geologie im näheren und weiteren Bereich
- Fundationsverhältnisse
 - Aufstandsfläche
 - Widerlager
- Geologie des Beckenbereiches
 - Beckendichtigkeit
 - Hangstabilität (Rutschungen, Massenstürze)
- Materialvorkommen (mögliche Eignung als Schüttmaterial oder Betonzuschlagstoff)
- Erdbebenaktivität

Eine reine Dokumentation der gewonnenen Erkenntnisse ist dabei nicht ausreichend. Es ist vielmehr erforderlich, alle Eingangsparameter zusammenzuführen und die Gesamtheit der Daten zu beurteilen.

⁴⁵[Bun02b, S. 10]

⁴⁶[Bun02b, S. 10]

3.2.2 Hydrologie

Dabei handelt es sich um die wohl wichtigsten Daten für die Projektierung, Planung und Bemessung eines Sperrbauwerks im Allgemeinen und die Hochwasserentlastungsanlage im Speziellen (siehe Hochwasser, S. 43).

Darunter fallen die in unregelmäßigen Abständen aber häufig auftretenden meteorologischen und hydrologischen Erscheinungen wie Niederschläge und Hochwässer, sowie spontane Feststoffeinträge durch Lawinenabgänge oder Gletscherabbrüche.

3.2.2.1 Meteorologische und hydrologische Verhältnisse

In Österreich werden diese Daten durch den Hydrographischen Dienst gesammelt und in Form von Jahrbüchern⁴⁷ oder dem Internetportal eHYD zur Verfügung gestellt.

Dabei sind vor allem

- Niederschläge
- Abflussregime
- Hochwasser
- Feststofftransporte

zu berücksichtigen.

3.2.2.2 Lawinen und Gletscherabbrüche

In Hochgebirgsregionen sind zur Abklärung, ob eine Gefährdung durch Lawinen oder Gletscherabbrüche gegeben sein kann, Spezialisten hinzuzuziehen.

Sollte ein Gefahrenpotential bestehen, ist ein Überschwappen der Sperre zu verhindern. Dies gilt für ein Auffangen des gesamten ermittelten Schnee- oder Eisvolumens inklusive des dadurch entstehenden Schwall.

Dies kann durch eine Vergrößerung des Freibords oder eine zeitliche Begrenzung des maximalen Stauspiegels erreicht werden.

⁴⁷ http://www.lebensministerium.at/wasser/wasser-oesterreich/wasserkreislauf/hydrographische__daten/jahrbuecher.html

3.2.3 Planung und Berechnung

Entwurf, Bemessung und Errichtung der Anlage haben dem Stand der Technik zu entsprechen. Dementsprechend sind Normen und Richtlinien einzuhalten. Diese werden wiederum laufend an neue Erkenntnisse angepasst.

Bei der Planung gibt es mehrere Stufen während der Projektumsetzung. Diese sind:⁴⁸

- Vorstudie
- Machbarkeitsuntersuchung
- Einreichplanung
- Ausschreibungsplanung
- Ausführungsplanung
- Bestandsplanung

Zur Bemessung eines Damms oder einer Sperre sind neben den Randbedingungen aus Geologie, Geotechnik und Hydrologie vor allem die direkten Belastungen auf das Bauwerk zu ermitteln und einzurechnen.

Bei Sperren sind unter anderem folgende ständige und veränderliche Belastungen anzusetzen:⁴⁹

- Wasserlast
- Eigengewicht
- Temperatur
- Sohl- und Kluftwasserdrücke
- Sedimentdruck

Bei Dämmen sind unter anderem folgende ständige und veränderliche Belastungen anzusetzen:⁵⁰

- Wasserlast
- Eigengewicht
- Porenwasserdrücke bzw. Sickerströmungsverhältnisse

⁴⁸[Zen]

⁴⁹[Öst96b, S. 5]

⁵⁰[Öst96b, S. 5]

- Kluftwasserdrücke

Zusätzlich sind außergewöhnliche Belastungen wie Hochwasser, Verklausungen und Erdbeben zu berücksichtigen, welche nachfolgend näher erläutert werden.

3.2.3.1 Hochwasser^{51,52}

Allgemeines zur Hochwassersicherheit Die Hochwassersicherheit einer Talsperre ist einerseits von der Größe und der Eintrittswahrscheinlichkeit eines möglichen Hochwasserereignisses und andererseits von der Talsperre (Typ und Material) und dem Funktionsprinzip der Hochwasserentlastung (HWE) abhängig. Aufgabe der Hochwasserentlastung ist es, zu verhindern, dass es zu Wasserspiegelanstiegen über einen definierten Maximalstau kommt.

Die konstruktiven Eigenschaften von Sperre und HWE bestimmen die Beständigkeit der Anlage und die Abfälligkeit gegenüber Unsicherheiten bei der Abschätzung des Bemessungshochwassers (BHQ) und des Sicherheitshochwassers (SHQ), die der Bemessung unter Berücksichtigung der Speicherretention zugrunde liegen.

Definition von Speicher- und Sperrenkoten

- Stauziel

Ist die im Regelbetrieb maximal zulässige Wasserspiegelhöhe.

- Überstau

Ist die für eine begrenzte Zeitspanne maximal zulässige Wasserspiegelhöhe, welche zur Abführung des Bemessungshochwassers bzw. Sicherheitshochwassers über die Hochwasserentlastungsanlage erforderlich ist.

- Sicherheitsfreibord

Ist als vertikaler Abstand zwischen Überstau und Sicherheitskote definiert. Der Sicherheitsfreibord deckt alle zusätzlich mit einem Hochwasser in Kombination auftretenden Gefahren ab.

Er setzt sich für das Bemessungshochwasser aus

- Wellenfreibord

Er beinhaltet den Wellenauflauf und den Windstau. Als Jährlichkeit für die Windstärke sollten 25 Jahre angenommen werden.

⁵¹[Öst09a, S. II-3ff]

⁵²[PG11, S. 171ff]

- Sicherheitsfreibordreserve

Dies ist der vertikale Abstand zwischen der Sicherheitskote und der um den Wellenfreibord erhöhten Überstau beim BHQ.

- Zuschläge zum Sicherheitsfreibord aufgrund identifizierter Risiken

Die Zuschläge erfolgen bei jenen Anlagen, bei welchen mit zusätzlichen Risiken wie z.B. Hangrutschungen, Lawinen usw. zu rechnen ist.

zusammen.

Beim Sicherheitshochwasser darf auf eine Berücksichtigung der Sicherheitsfreibordreserve verzichtet werden.

- Sicherheitskote

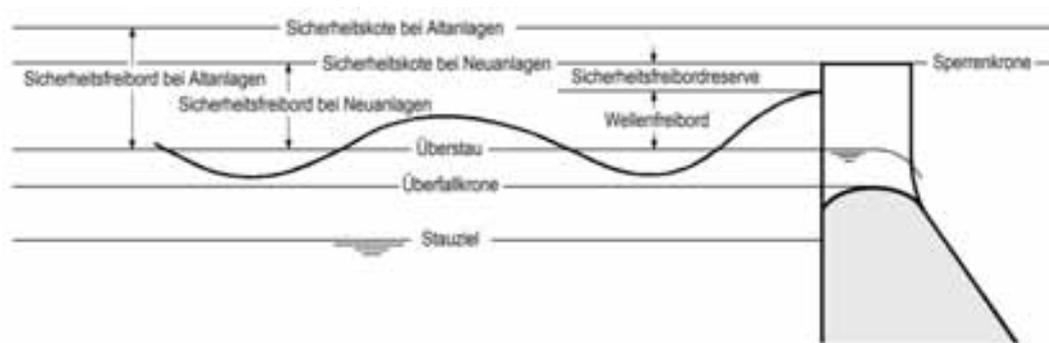


Abbildung 3.1: Definitionsskizze Staumauer⁵³

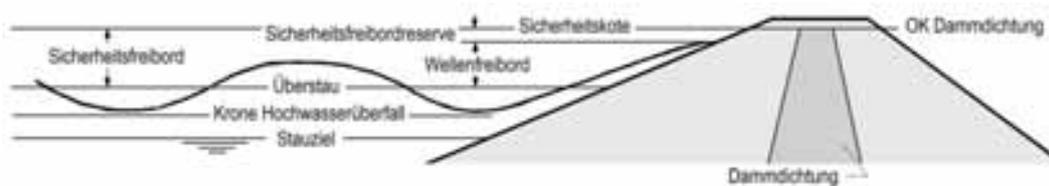


Abbildung 3.2: Definitionsskizze Staudamm mit Dichtungselement⁵⁴

Bemessungshochwasser (BHQ) Für die Bemessung Hochwasserentlastung inklusive Energieumwandlung und sonstiger Bauteile wird das Bemessungshochwasser (BHQ) herangezogen. Für dieses ist eine Überschreitungswahrscheinlichkeit von $P_{\dot{U}}(BHQ) = 2 \cdot 10^{-4}$ definiert, was einer Jährlichkeit von 5.000 Jahren ($HQ_{5.000}$) entspricht. Dabei ist nicht nur der Scheitelwert des Hochwasserabflusses, sondern auch die Form der Ganglinie zu bestimmen.

⁵³ Bild: [Öst09a, S. II-9]

⁵⁴ Bild: [Öst09a, S. II-9]

⁵⁵ Bild: [Öst09a, S. II-9]

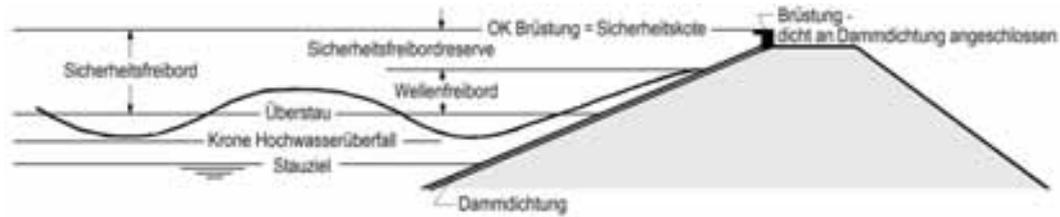


Abbildung 3.3: Definitionsskizze Staudamm mit Brüstungsmauer und Oberflächendichtung⁵⁵

Für diesen Lastfall muss die Stand- und Betriebssicherheit jederzeit gegeben sein und es dürfen keinerlei Schäden an der Sperre oder der HWE entstehen.

Anlage	Sperre	Hochwasser	max. Stau	Sicherheitsfreibord	verschlussgest. Hochwasserentlastungsanlagen	Einsatz von Betriebseinrichtungen
Altanlagen und Neuanlagen mit geringem Gefährdungspotential	Mauern	BHQ* aus abgekürztem Verfahren	Sicherheitskote über Sperrenkrone minus Sicherheitsfreibord	Wellenfreibord	n-1 Regel, wenn das Öffnen des Verschlusses nicht mit Sicherheit nachgewiesen werden kann. Der größte Verschluss ist dabei als blockiert zu betrachten	nein
	Dämme	BHQ aus detailliertem Verfahren falls mit BHQ* die Nachweise nicht gelingen	OK Dammdichtung minus Sicherheitsfreibord Dicht angeschlossene Brüstung: OK Brüstung minus Sicherheitsfreibord reicht mindestens bis zur Dammkrone			
Neuanlagen	Mauern	BHQ aus detailliertem Verfahren	Sperrenkrone minus Sicherheitsfreibord	Wellenfreibord plus Sicherheitsfreibordreserve		
	Dämme		OK Dammdichtung minus Sicherheitsfreibord Dicht angeschlossene Brüstung: OK Brüstung minus Sicherheitsfreibord reicht mindestens bis zur Dammkrone			

Abbildung 3.4: Aufstellung der Nachweise für das Bemessungshochwasser⁵⁶

⁵⁶[Öst09a, S. II-12]

Sicherheitshochwasser (SHQ) Die Bemessung auf das Sicherheitshochwasser dient der Sicherheitsüberprüfung der Anlage durch Überschreiten des Bemessungshochwasserdurchflusses. Es entspricht dem Extremfall und ist dem „Probable Maximum Flood“ (PMF) gleichzusetzen. Weiters ersetzt es das aus früheren Regelwerken bekannte „Rechnerisch höchstes Hochwasser“ (RHHQ). Anders als beim BHQ werden beim SHQ begrenzte Schäden an der Sperre und den Entlastungsanlagen toleriert, die Standsicherheit der Sperre und die Funktion der Betriebseinrichtungen müssen allerdings erhalten bleiben.

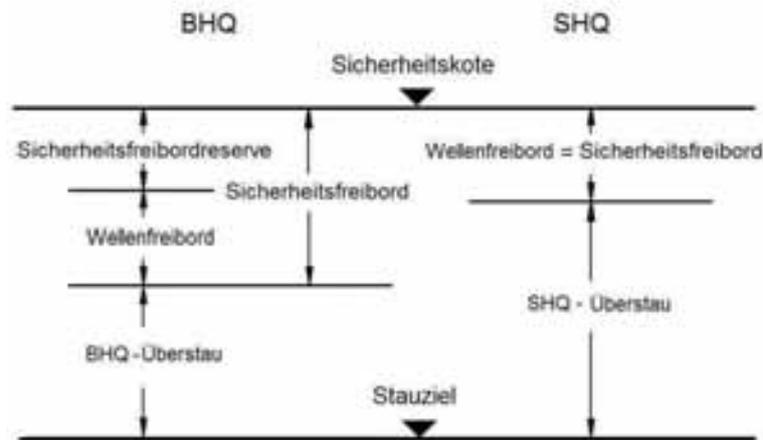


Abbildung 3.5: Zuordnung der Nachweisgrößen zu den Lastfällen BHQ und SHQ⁵⁷

Dimensionierung der Hochwasserentlastung In vielen Ländern sind Aufzeichnungen zu Regenereignissen vorhanden, bei denen zwar die Regenmenge pro Zeiteinheit festgehalten wurde, es fehlen jedoch die Abflusswerte über einen langjährigen Betrachtungszeitraum. Für die Planung von Talsperren in diesen Gebieten versucht man daher dieses Manko dadurch wettzumachen, indem man mit Hilfe von Niederschlags-Abflussmodellen die Wasserstände bei Hochwasserereignissen extrapoliert.⁵⁹

3.2.3.2 Verklausung^{60,61}

Unter Verklausung wird der teilweise oder vollständige Verschluss eines Fließquerschnitts infolge von angeschwemmtem Treibgut oder Totholz, welches an einem Hindernis hängen bleibt und sich anschließend ineinander verkeilt, verstanden. Tritt dies bei der Hochwasserentlastung auf, kann deren gesicherte Funktion eventuell nicht mehr gewährleistet werden, wodurch es zu

⁵⁷ Bild: [Öst09a, S. II-10]

⁵⁹ [SZ06, S. 460]

⁶⁰ [Öst09a, S. II-4f]

⁶¹ [Öst09a, S. 425f, 589]

Anlage	Sperre	Hochwasser	max. Stau	Sicherheitsfrei- bord	verschlussgest. Hochwasserent- lastungsanlagen	Einsatz von Betriebsein- richtungen
Altanlagen und Neuanlagen mit geringem Gefährdungs- potential	Mauern	SHQ* aus abgekürztem Verfahren	Sicherheitskote über Sperrenkronen	Wellenfreibord	n-1 Regel, wenn das Öffnen des Verschlusses nicht mit Sicherheit nachgewiesen werden kann. Der größte Verschluss ist dabei als blockiert zu betrachten	ja bzw. n-1 Regel
	Dämme	SHQ aus detailliertem Verfahren falls mit SHQ* die Nachweise nicht gelingen	OK Dammdichtung minus Sicherheits- freibord Dicht angeschlossene Brüstung: OK Brüstung minus Sicherheitsfreibord reicht mindestens bis zur Dammkronen.			
Neuanlagen	Mauern	SHQ aus detailliertem Verfahren	Sperrenkronen	Wellenfreibord		
	Dämme		OK Dammdichtung minus Sicherheits- freibord Dicht angeschlossene Brüstung: OK Brüstung minus Sicherheitsfreibord reicht mindestens bis zur Dammkronen			

Abbildung 3.6: Aufstellung der Nachweise für das Sicherheitshochwasser⁵⁸

einem unzulässigen Aufstau und in weiterer Folge zu einer Über- oder Umströmung der Sperre kommen kann.

Befindet sich eine Talsperre unterhalb der Waldgrenze, ist grundsätzlich die Gefahr von Verkläuerungen gegeben. Faktoren bei der Untersuchung ob und in welcher Form ein Verkläuerungs-schutz vorzusehen ist, sind Wehrbreiten oder Überlaufängen und Überlaufhöhen.

Tragen Wildbäche zum Hochwasserzfluss der zu untersuchenden Sperre bei, ist dieser Um-stand als weiteres erschwerendes Indiz zu sehen, da sie teilweise große Mengen an Totholz transportieren.

⁵⁸[Öst09a, S. II-13]

Geeignete Maßnahmen zur Verhinderung von Verklausungen können Rechen, Schwimmketten, Seilnetzsperrern oder Ähnliches sein. Die Abwehr von Treibgut aus dem Einzugsgebiet sollte generell so weit als möglich von der Sperre entfernt erfolgen. Es ist bei der Planung einer solchen Maßnahme auch auf eine gute Zugänglichkeit zu achten, um nach einem Hochwasserereignis das zurückgehaltene Totholz leicht mit Maschinen entfernen zu können.

3.2.3.3 Erdbeben

Für die Planung von neuen Bauwerken ist es erforderlich zu wissen, mit welchen Belastungen durch Erdbeben im Projektgebiet zu rechnen ist. Dafür muss man die in der Vergangenheit aufgetretenen Beben miteinander vergleichen und anhand ihrer Stärke zusammenfassen. So erhält man die Auftretenswahrscheinlichkeit eines Erdbebens mit einer bestimmten Stärke. Da eine direkte Messung der freiwerdenden Energie nicht möglich ist, wurden verschiedene Erdbebenskalen entwickelt.

Intensität Da es Ende des 18. bis Anfang des 19. Jahrhunderts keine präzisen Messinstrumente gab, Erdbeben quantitativ zu erfassen, beschränkte man sich darauf, die Auswirkungen eines Bebens auf Menschen, Tiere, Gebäude und die Erdoberfläche zu beschreiben. Die bekannteste und eine der frühesten Intensitätsskalen war die ursprünglich zehnstufige Mercalli-Skala. Diese wurde 1902 vom italienischen Geophysiker Adolfo Cancani auf zwölf Stufen erweitert und später vom deutschen Geophysiker August Heinrich Sieberg in Mercalli-Cancani-Sieberg-Skala (MCS-Skala) umbenannt. Die Medwedew-Sponheuer-Karnik-Skala (MSK) basiert auf der MM-Skala und wurde zur Europäischen Makroseismischen Skala (EMS), auch bekannt als Mercalli-Sieberg-Skala weiterentwickelt. Auch heute sind noch Skalen zur Angabe der Intensität in Verwendung.

Magnitude Ab der Mitte des 19. Jahrhunderts wurde es durch die Entwicklung und stetige Weiterentwicklung von Seismographen möglich, dass man objektive, auf physikalischen Größen basierende Messungen durchführen konnte. Magnituden werden überwiegend aus den Amplituden, welche weltweit an Erdbebenmessstationen mit Seismographen aufgezeichnet werden, ermittelt. Sie sind ein Maß für die Stärke von Erdbeben.

Der in Abb. 3.7, S. 50 dargestellte Zusammenhang zeigt, dass sowohl die Magnitude als auch die Intensität vom betrachteten Ort abhängen. Je größer Herdtiefe und Epizentralentfernung werden, desto geringer werden ortsbezogene Magnitude und Intensität. Umgekehrt lässt sich aus der freigesetzten seismischen Energie im Hypozentrum sowohl auf die Magnitude in diesem als auch auf die Intensität und die Magnitude an der Erdoberfläche rückschließen.

Die älteste und bekannteste Magnitudenskala ist die nach Charles Francis Richter benannte Richterskala, die in den 1930er Jahren entwickelt wurde. Richter hatte erkannt, dass ein Zusammenhang zwischen dem Maximalausschlag im Seismogramm und der Entfernung vom Epizentrum besteht. Mittels der gefundenen logarithmischen Beziehung konnte man nun aus dem Abklingverhalten der Amplitude auf die Stärke des Erdbebens zurückschließen. Die Grundlage dieser Magnitudenskala basiert allerdings auf seismischen Wellen, die größtenteils durch die Erdkruste verlaufen. Wegen ihrer Beschränkung auf Abstände vom Epizentrum von 600 bis 1.000 [km] wird sie auch als Lokalbebenmagnitude (M_L) bezeichnet.

1945 wurde von Beno Gutenberg die sogenannte Oberflächenwellenmagnitude (M_S) eingeführt, um auch weiter entfernte Beben miteinander vergleichen zu können. Im gleichen Jahr präsentierte er auch die Raumwellenmagnitude (m_B), welche auf den Raumwellen aufbaut, die sich nur durch das Erdinnere ausbreiten und so nur von der Hypozentralentfernung abhängen. Um Einschränkungen, verursacht durch die Herdvorgänge bei einem Erdbeben oder durch die technische Machbarkeit, zu umgehen, wurden weitere Magnitudenskalen entwickelt.

Fast alle Magnitudenskalen haben ein Problem bei besonders starken Erdbeben, da sich die Maximalamplitude nicht signifikant erhöht und sich somit der durch das Erdbeben freiwerdende Energiezuwachs nur schwer ermitteln lässt (Sättigungsproblem). Durch die Einführung von digitalen Seismographen wurde auch die Entwicklung der heute gebräuchlichen Momenten-Magnituden-Skala (M_W) möglich. Sie wurde von Hiroo Kanamori und Tom Hanks 1977 entwickelt und hat den Vorteil, das entfernungsunabhängige seismische Moment M_0 für die Magnitudenermittlung zu verwenden und keine Sättigung zu erreichen.

Nachfolgende Formel stellt einen empirisch entwickelten Zusammenhang zwischen der Oberflächenmagnitude M_s und der im Hypozentrum freiwerdenden seismischen Energie E_s in [J] her:

$$\log(E_s) \simeq 1,5 * M_s + 4,8 \quad (3.1)$$

Grundlagen zur Berechnung von Erdbeben Das größte Risiko durch Naturereignisse geht laut einer Schweizer Studie nicht von Hochwasser, Lawinen oder Meteoren aus, sondern von Erdbeben. Dies wurde aus Eintrittswahrscheinlichkeit und Schadenspotential ermittelt.⁶² Für Österreich dürfte sich diese Situation ähnlich darstellen. In beiden Ländern treten Erdbeben meist im Zusammenhang mit der Bildung der Alpen auf.⁶³

Sowohl der Zeitpunkt des Eintreffens eines Erdbebens als auch dessen Intensität lässt sich nicht vorhersagen. Da die Einwirkung außerdem derart schnell abläuft, dass Rückmeldungen aus

⁶²[Öst01, S. 3]

⁶³[Öst96a, S. 7]

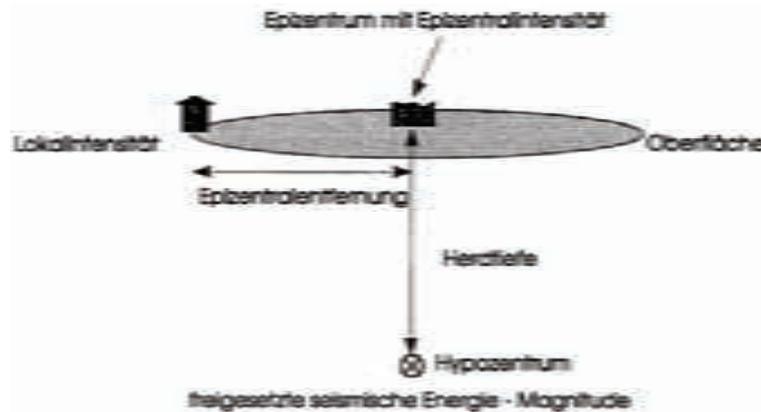


Abbildung 3.7: Begriffe zum örtlichen Zusammenhang bei Auftreten eines Erdbebens

der Bauwerksüberwachung und daraus abzuleitende Maßnahmen zu spät kommen würden, bleibt nur der Schluss, dass zur Verhinderung von Schäden, ein Erdbeben - trotz der geringen Eintrittswahrscheinlichkeit - bereits in der Planung zu berücksichtigen ist. Daher müssen Stauanlagen so bemessen, errichtet und instand gehalten werden, dass sie Erdbebenbelastungen ohne kritische Schäden überstehen.⁶⁴

Zufolge der ICOLD-Richtlinie⁶⁵ sind Stauanlagen für zwei Erdbebenlastfälle auszulegen:

- Betriebserdbeben (Operating Basis Earthquake, OBE) und das
- Maximal Denkbare Erdbeben (Maximum Credible Earthquake, MCE)

Weitere Begriffe in diesem Zusammenhang sind das Maximale Entwurferdbeben (Maximum Design Earthquake, MDE), das Basisentwurferdbeben (Design Basis Earthquake, DBE) und das Sicherheitseinschätzungserdbeben (Safety Evaluation Earthquake, SEE). Das MDE wird jedoch in vielen Ländern nicht angewendet. Das SEE ist dem MDE gleichzusetzen. Beim DBE handelt es sich um eine veraltete⁶⁶ Festlegung. Nähere Erläuterungen dazu sind in [Öst96a, S. 4] zu finden.

OBE Die OBE-Werte basieren auf einer statistischen Auswertung der Schäden der beobachteten Erdbeben. Die angegebenen Werte entsprechen einer Jährlichkeit von 200 und wurden dem OBE gleichgesetzt.⁶⁷ Dieses Ereignis wird mit einer Wahrscheinlichkeit von ca. 60 [%] in 100 Jahren nicht überschritten. In [ICO89b, S. 27] ist das OBE als jenes Erdbeben definiert, welches in 100 Jahren mit einer Wahrscheinlichkeit von 50 [%] nicht überschritten wird, was einer Jährlichkeit von 143 entspricht. Für ein 100-jährliches Erdbeben bedeutet dies, dass es

⁶⁴[Öst96a, S. 7]

⁶⁵[ICO89b, S. 23]

⁶⁶[ICO83, S. 15]

⁶⁷[Öst01, S. 10]

nur mit einer Wahrscheinlichkeit von 37 [%] in 100 Jahren nicht überschritten wird. Die Darstellung der OBE-Karte basiert auf Isolinien, welche die maximalen horizontalen Beschleunigungen (Peak Ground Acceleration, PGA) zeigen. Zwischenwerte dürfen linear interpoliert werden, als Mindestwert ist $0,6 \text{ [m/s}^2\text{]}$ anzusetzen.⁶⁸

MCE Die MCE-Karte mit ihrer Einteilung in verschiedene Zonen wurde anhand von Resultaten der Extremwertstatistik, historischer Erdbebenereignisse und geologischen Informationen festgelegt. Für das MCE ist keine Jährlichkeit vorgesehen, da es als einmaliges Ereignis definiert ist. Die MCE-Karte ist lediglich als Anhalt zu betrachten. Es ist für jedes Projekt immer ein geologisches bzw. seismologisches Gutachten zu erstellen, bei dem die Erdbebenaktivität (Kap. 3.2.1, S. 40) behandelt wird.⁶⁹

Für speicherinduzierte Beben (welche in [ICO11a] behandelt werden), hervorgerufen durch den Staubetrieb, gibt es in Österreich derzeit keine Anzeichen. Trotzdem sind neue Projekte dahingehend zu überprüfen. Falls eine Abschätzung ergibt, dass es zu einem Auftreten von induzierten Beben kommen kann, ist die Entscheidung, ob sie dem OBE oder MCE zuzuordnen sind, von der Eintrittswahrscheinlichkeit abhängig zu machen.

Für Beschleunigungen in vertikaler Richtung sind sowohl für das MCE als auch das OBE $2/3$ der jeweiligen horizontalen Maximalbeschleunigung anzusetzen.

Als Beispiel sind nachfolgend Erdbebenkarten für Österreich als Grundlage zur Berechnung des OBE (Abb. 3.8, S. 52) und MCE (Abb. 3.9, S. 52) angeführt.

Für Talsperren, Sperrenbauwerke für Speicherbecken und Flusstauwerke inklusive ihrer Staudämme sind der OBE- und der MCE-Nachweis zu erbringen, falls eine Höhe von $\geq 15 \text{ [m]}$ oder ein Speicherbeckeninhalt von $\geq 500.000 \text{ [m}^3\text{]}$ vorhanden ist. Für kleinere Anlagen können trotzdem beide Nachweise erforderlich sein, sollte im seismologischen Gutachten ein erhöhtes Gefahrenpotential attestiert werden. Bei den übrigen Anlagen genügt der OBE-Nachweis.

Vom Sicherheitskonzept der Berechnung her ist das OBE als außergewöhnlicher Lastfall ("Lastfallklasse II") und das MCE als Katastrophenlastfall ("Lastfallklasse III") zu betrachten. OBE und MCE sind jeweils mit den ungünstigsten Betriebslastfällen ("Lastfallklasse I") zu überlagern.⁷²

Für den Fall eines OBE ist nachzuweisen, dass die Betriebssicherheit der Anlage (z.B. Funktionsfähigkeit von Klappen, Schiebern und Verschlüssen der Hochwasserentlastungsanlage)

⁶⁸[Öst01, S. 5]

⁶⁹[Öst01, S. 11]

⁷²[Öst96b, S. 5]

Isolinien der maximalen horizontalen Beschleunigungen [m/s^2] für das OBE

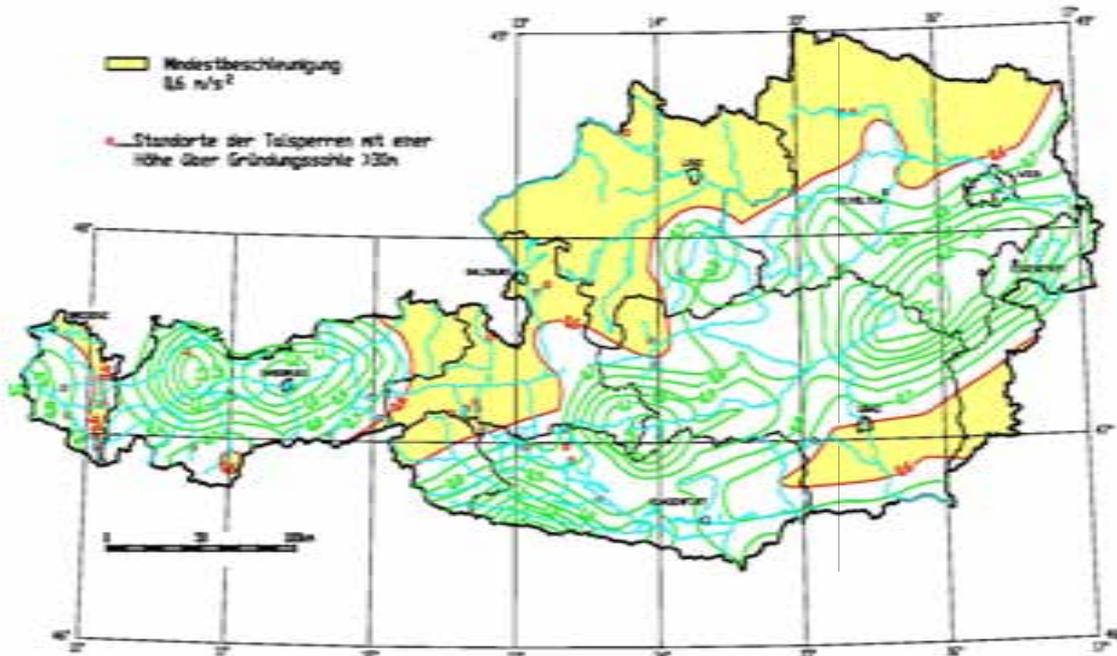


Abbildung 3.8: Österreich-Karte als Grundlage für die Berechnung eines OBE⁷⁰

Zoneneinteilung für das MCE

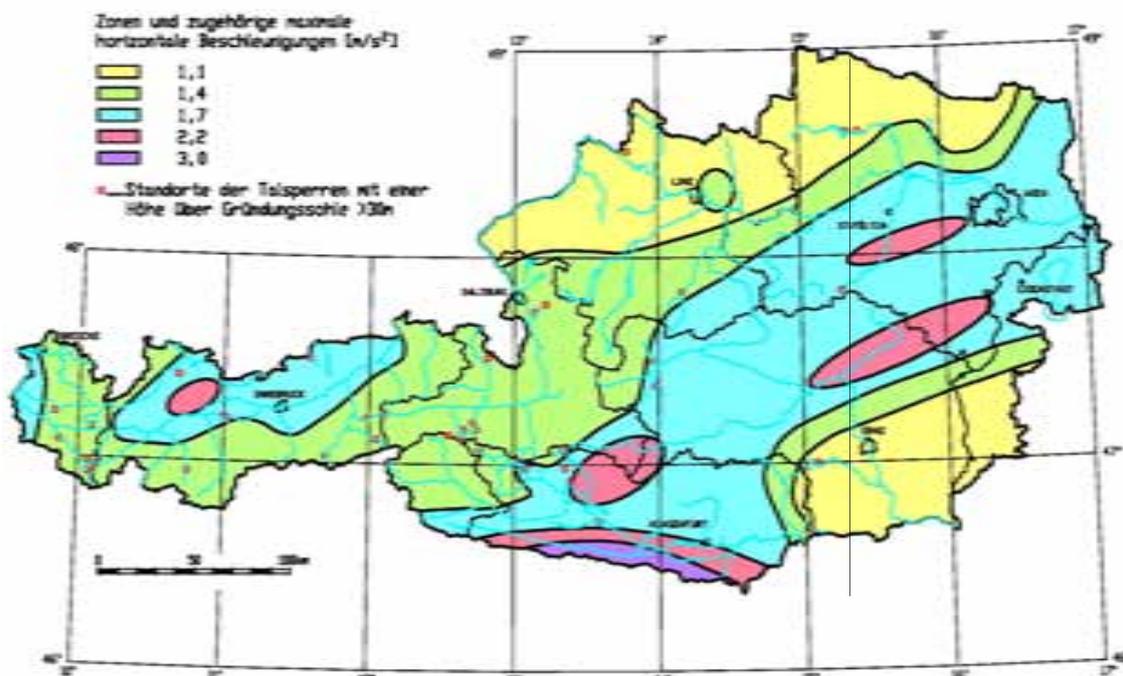


Abbildung 3.9: Österreich-Karte als Grundlage für die Berechnung eines MCE⁷¹

gewährleistet bleibt und keine nennenswerten Schäden auftreten. Für den Nachweis des MCE darf kein Versagen der Anlage mit der Folge eines unkontrollierten Wasserabflusses auftreten, begrenzte Schäden werden allerdings toleriert.⁷³

3.2.4 Baustoffe

Die Baustoffe spielen im Talsperrenbau eine zentrale Rolle. Die Kontrolle der geforderten Qualität in Bezug auf die Festigkeit beim Beton und die Verdichtung bei Dämmen ist während der Herstellung der Sperre essentiell.

Aber auch nach der Fertigstellung ist der Beton auf Risse zu untersuchen und die Betonqualität zu überprüfen, um Schwächungen der Struktur festzustellen. Dies gilt analog auch bei Dämmen, wobei diese vor allem auf Risse zu untersuchen sind.

Außerdem ist bei allen Sperrentypen die Durchsickerung sowohl im Auflagerbereich wie auch der Sperre selbst zu achten.

Für Näheres siehe dazu Kap. Überwachung ab S. 57.

Zusätzlich ist auf die Alterung von Baustoffen und Betriebseinrichtungen zu achten. Dazu zählen unter anderem, dass Stahlteilen korrodieren oder spröde werden. Gummidichtungen oder Bitumenbahnen können ebenfalls spröde werden. Bei Folien und Vliesen besteht die Gefahr der Zerstörung bereits beim Einbau. Außerdem kann es bei der Auswahl des falschen Kunststoffes unter UV-Einstrahlung oder unter dem Einfluss von Säuren, Laugen oder anderen Lösungsmitteln zur Zersetzung kommen.

3.3 Betriebssicherheit

Zur Betriebssicherheit zählen Einrichtungen und konstruktive oder organisatorische Maßnahmen, welche zu einer Verbesserung der Sicherheit während des Betriebs beitragen.

3.3.1 Begriffe der Betriebssicherheit⁷⁴

Die im Folgenden aufgezählten Begriffe reichen vom allgemein anwendbaren „Fail-Safe“-Konstruktionsprinzip über die im Talsperrenbau üblichen Begriffe der überlastbaren bzw. nicht überlastbaren Hochwasserentlastung und die „n-1“-Bedingung.

⁷³[Öst96b, S. 12]

⁷⁴[Ri899, S. 175]

3.3.1.1 „Fail-Safe“

Konstruktionen nach dem „Fail-safe“-Prinzip zeichnen sich dadurch aus, dass es im Falle eines Fehlers nur zu möglichst geringen Schäden kommt. Es werden daher prinzipiell systematische Fehler unterstellt und danach versucht, die daraus resultierenden Auswirkungen so gering wie möglich zu halten. Dies wird unter anderem auch dadurch erreicht, dass bei einem beschränkten Versagen noch eine gefahrlose Außerbetriebnahme möglich ist. Vereinfacht lassen sie sich als robuste Konstruktionen beschreiben.

Beispiele für das „Fail-safe“-Prinzip im Sperrenbau können sein:

- Anordnung eines Überfalls

Ein Überfall als Hochwasserentlastung hat den Vorteil ohne bewegliche Teile auszukommen und Wassermassen innerhalb der dafür ausgelegten Menge ohne Zutun kontrolliert abzuführen. Dabei sollte ein Verklausungsschutz (siehe Verklausung, S. 46f) vorgesehen werden, um die Funktionsfähigkeit auch bei starkem Andrang von Totholz sicherstellen zu können.

- Redundanz

Dies bedeutet, dass wichtige Teile immer doppelt vorhanden sind. Dabei kann es sich sowohl um mechanische Bauteile (z.B. Schieber und Klappen) als auch elektronische Bauteile (z.B. Messwerterfassung und -übertragung, PC-Systeme, Betriebsfunk bei Ausfall der Telefonverbindung usw.) handeln.

- Notstromversorgung oder stromlose Notabschaltung

Bei einem Stromausfall werden wichtige Anlagenteile mittels Notstromaggregat versorgt oder Klappen öffnen/schließen durch Schwerkraft oder Wasserdruck selbstständig. Dies kann auch durch Auftreten von zu großen Geschwindigkeits- oder Druckdifferenzen (z.B. Rohrbruchsicherung), welche rein physikalisch ermittelt werden, ausgelöst werden.

3.3.1.2 Überlastbare / nicht überlastbare Hochwasserentlastung^{75,76}

Entlastungsanlagen lassen sich anhand ihrer hydraulischen Funktion in zwei Bautypen unterscheiden.

⁷⁵[Öst09a, S. II-5]

⁷⁶[PG11, S. 171f]

Überlastbare Hochwasserentlastung Hierbei erhöht sich das Abfuhrvermögen mit Zunahme der Stauhöhe deutlich, da es weder hydraulische noch konstruktive Begrenzungen gibt. Beispiele für überlastbare Anlagen sind Überfallbauwerke mit anschließendem Freispiegelgerinne wie das feste Wehr oder das bewegliche Wehr mit Klappe.

Nicht überlastbare Hochwasserentlastung Dabei steigt bei mindestens einem Bauteil der Entlastungsanlage das Schluckvermögen ab einer bestimmten Stauhöhe nicht mehr nennenswert an. Zu ihnen zählen Entlastungsanlagen, die in ein geschlossenes Leitungssystem übergehen, wie bei einem Heberwehr oder einem Einlauftrichter. Es kann aber auch zum Zuschlagen bei einem Überfall kommen, wenn eine darüber liegende Wehrbrücke eingestaut wird.

Aufgrund der oben ausgeführten Vorteile der überlastbaren HWE ist diese wenn möglich zu bevorzugen.

3.3.1.3 „n-1“-Bedingung ^{77,78}

Die „n-1“-Bedingung besagt prinzipiell, dass beim Vorhandensein von mehreren beweglichen Wehrverschlüssen, eine schadlose Ableitung des Bemessungshochwasserzuflusses BHQ_1 unter Einhaltung des festgelegten Wasserspiegels auch bei Ausfall eines Wehrfeldes gewährleistet sein muss. Haben die einzelnen Wehrfelder unterschiedliche Abflussvermögen, so ist jenes Wehrfeld mit dem größten Durchfluss als geschlossen anzunehmen. Dies gilt auch bei der Verwendung von Schiffsschleusen zur Hochwasserableitung, wenn deren Antriebe und Verriegelungen dafür ausgelegt sind. Bei Talsperren mit Wasserkraftanlagen dürfen die Turbinendurchflüsse nicht berücksichtigt werden.

Erfolgt eine Hochwasserableitung kombiniert über feste und bewegliche Wehre, so ist die „n-1“-Regel auch nur auf den Abflussanteil der beweglichen Verschlüsse anzuwenden. Bei der Tosbeckenbemessung ist nachzuweisen, dass selbst unter Einhaltung der „n-1“-Bedingung die Energieumwandlung bei allen Betriebsfällen immer im Tosbecken stattfindet.

Eine Ausnahme besteht nur für Anlagen mit einem Wehrfeld, wenn nachgewiesen werden kann, dass es trotz des blockierten Wehrfeldes zu keinerlei negativen Auswirkungen auf die Anlage selbst oder durch den angestiegenen Oberwasserspiegel kommt. Für den Bemessungshochwasserzufluss BHQ_2 ist die „n-1“-Regel nicht anzuwenden. Es dürfen also alle Wehrfelder sowie eventuell vorhandenen Turbinendurchflüsse und Schiffsschleusen abflusswirksam berücksichtigt werden.

⁷⁷[DIN86, S. 8]

⁷⁸[SZ06, S. 142f]

3.3.2 Betriebsführung

Zentraler Punkt einer hohen Betriebssicherheit ist eine definierte und sichere Betriebsführung. Hierzu zählen die Überwachung der Anlage sowie Definition und Überwachung von sicheren Betriebszuständen. Dazu kann gehören, bei einem Pumpspeicherkraftwerk (PSKW) im Pumpbetrieb zu verhindern, dass gegen einen geschlossenen Schieber angefahren wird oder der Wechsel zwischen Turbinen- und Pumpbetrieb bei einer Francis-Turbine zu schnell stattfindet. Weiters ist zu verhindern, dass es im Pumpbetrieb zu einer Überschreitung des Stauziels kommt, wie dies z.B. beim PSKW Taum Sauk in den USA geschah (siehe Taum Sauk, S. 16).

3.3.3 Notfallmaßnahmen

Damit Notfallmaßnahmen schnell und effizient umgesetzt werden können, sind Melde- und Alarmpläne bzw. Notfallpläne mit einem Maßnahmenkatalog zu erstellen und laufend zu aktualisieren.⁷⁹

Den Notfallmaßnahmen lassen sich folgende Punkte zuordnen:⁸⁰

- Hochwasserentlastung
- Absenken
- Speicherentleerung
- Evakuierung

Sie sollen dazu dienen, bei Auftreten eines Notfalls Schäden an Personen und Objekten im Umfeld der Talsperre möglichst gering zu halten.

⁷⁹[Öst09b, S. 6]

⁸⁰[Zen, S. 1]

4 Überwachung

Der bauliche Zustand und das Verhalten der Bauwerke einer Sperrenanlage muss laufend überwacht werden, um bei Bedarf zeitgerecht Maßnahmen zur Nachrüstung oder Instandhaltung ergreifen zu können.

Außerdem sollen auftretende Verhaltensanomalien durch die Überwachung rasch und präzise festgestellt werden. Dadurch können rechtzeitig die erforderlichen Schritte laut Notfallplan unternommen werden, die von der Kontrolle vor Ort bis zur Warnung und Evakuierung der in den betroffenen Gebieten lebenden Bevölkerung bei gleichzeitiger Notentleerung gehen können. Als Beispiel ist auf Seite 58 ein solches Ablaufschema angeführt.

Ein weiterer wichtiger Teil ist der Unterhalt und die Wartung. So kann man Betriebsmängeln vorgebeugen und festgestellte Schäden durch Instandhaltungs- und Erneuerungsarbeiten beheben.

4.1 Visuelle Beurteilung

Trotz aller heute verfügbaren Möglichkeiten zur elektronischen Überwachung darf die Wichtigkeit der visuellen Beurteilung nicht verkannt werden. So können eventuell auftretende kleine Risse mit minimalem Wasseraustritt vielleicht noch nicht mess-, aber bereits sichtbar sein. Außerdem ist eine visuelle Feststellung zur Kontrolle der elektronisch erfassten Werte erforderlich. Man darf sich daher nicht von Sensorergebnissen täuschen lassen bzw. sich in falscher Sicherheit wiegen, nur weil kein Messsystem auf eine Gefahr hindeutet.

Diese visuelle Beurteilung ist laufend erforderlich. Nach Extremereignissen wie z.B. Erdbeben hat sie aber unmittelbar und mit besonderer Sorgfalt zu erfolgen. Dabei sind nicht nur die Sperre selbst, sondern auch Gründung, Betriebseinrichtungen, Vorland und Stauraum zu inspizieren.⁸²

⁸¹[Bun02b, S. 8]

⁸²[Öst01, S. 6]

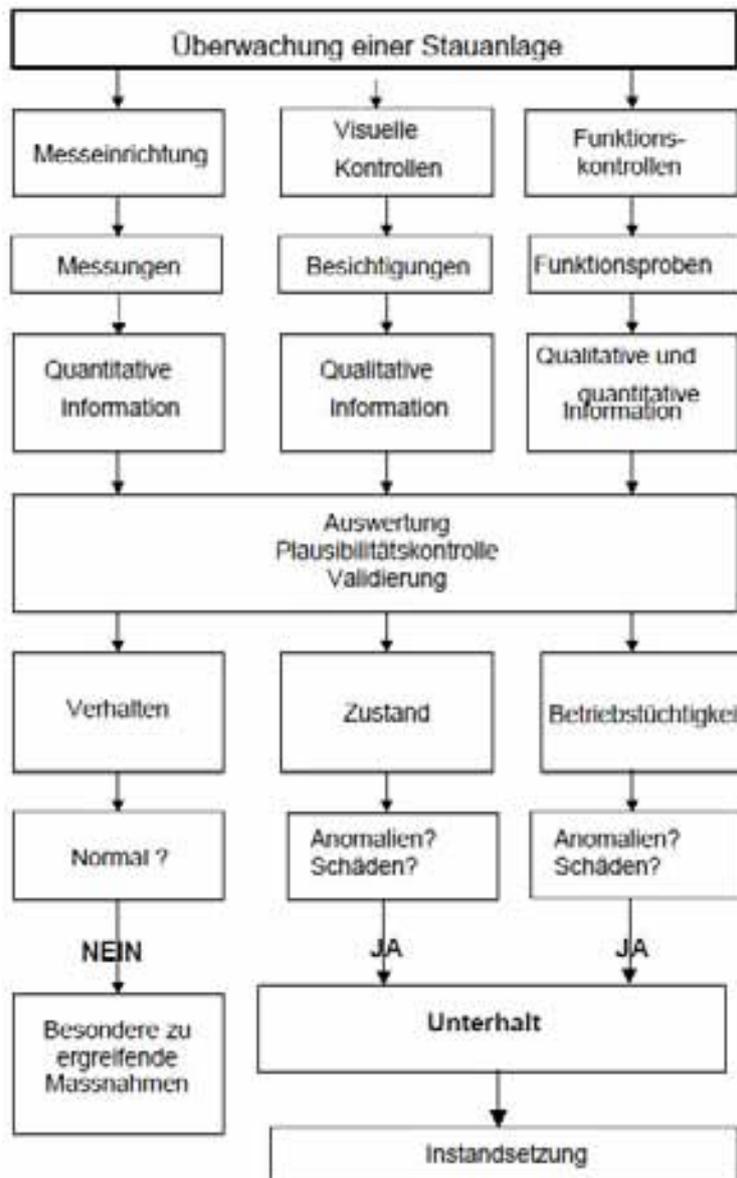


Abbildung 4.1: Gesamtkonzept der Organisation der Überwachung und des Unterhalts⁸¹

4.2 Relevante Messwerte und deren Erfassung

Nachfolgend sind die häufigsten Datentypen angeführt, die bei den meisten der neu gebauten Talsperren erfasst werden. Allerdings ist die Gewichtung der einzelnen Messwerte auch vom Sperrentyp abhängig und kann manchmal vernachlässigt werden. So ist z.B. die Messung der Auftriebskräfte bei einem Gewichtsdammb gegenüber einer Bogenmauer von untergeordneter Priorität bzw. sogar vernachlässigbar.

Die Sensoren bzw. Überwachungsgeräte sind dabei in die Kennwertgruppen Wasserspiegel, Neigung, Längs- und sonstige Verformung, räumliche Verschiebung, Bewegung von Rissen, Sickerwassermenge, Druck, Temperatur, Niederschlag, Beschleunigung, Sedimentniveau und

Betoneigenschaften zusammengefasst.

Abschließend wird auf die Wartung und die Auswahl der Systemkomponenten eingegangen.

4.2.1 Wasserspiegel

4.2.1.1 Lattenpegel (Limnimeter)

Sie sind die einfachste und älteste Form, den Wasserstand zu messen. Es handelt sich dabei um Latten aus Holz oder Metall mit einer geeichten Zenti- und Dezimetereinteilung. Pegellatten können vertikal aufgestellt oder schräg an die Böschungsflanke montiert werden, wobei dann die Maßteilung entsprechend der Neigung gestreckt werden muss. Moderne Pegelanlagen können auch mit einer Schreibregistrierung ausgestattet sein. Sie können aber auf jeden Fall visuell abgelesen werden und dienen zur Eichung und sind zur Kontrolle von registrierenden Pegeln erforderlich. Die Ablesegenauigkeit ist gering und kann zusätzlich durch Wellengang und Treibgut beeinträchtigt werden. Die Pegellatte soll so platziert werden, dass es unabhängig von der Pegelhöhe zu keiner Sichtbehinderung kommen kann. Zusätzlich kann der Lattenpegel eine Meterteilung aufweisen um eine gesicherte Ablesung auch aus größerer Entfernung zu gewährleisten.

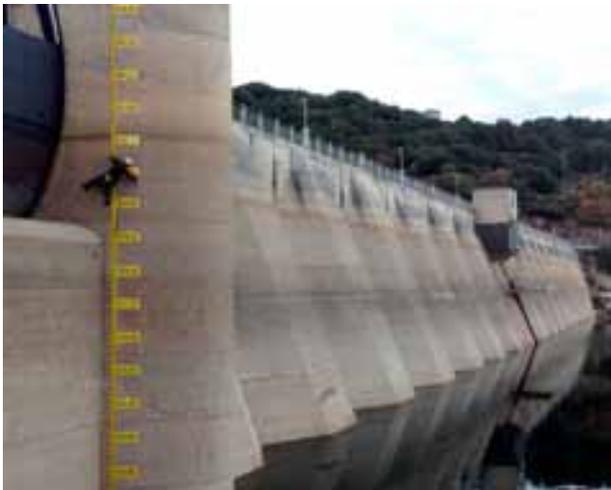


Abbildung 4.2: Lattenpegel mit Meterteilung auf einem Pfeiler⁸³



Abbildung 4.3: Lattenpegel mit 2 [cm]- und 1 [cm]-Teilung⁸⁴

⁸³ Bild: <http://www.poseidonvertical.com/proyectos/>

⁸⁴ Bild: http://ott.com/web/ott_de.nsf/id/pa_lattenp_og_d.html

4.2.1.2 Schwimmpegel

Mit einem Schwimmpegel ist es möglich, den Wasserspiegel in einem beschränkten Bereich genauer als mit einem Lattenpegel zu messen und auch elektronisch zu erfassen. Der Wartungsaufwand ist gegenüber dem Lattenpegel allerdings höher, da der Schwimmer durch Eis und Geschwemmsel beeinflusst oder gar beschädigt werden kann. Um dies zu verhindern ist im Einflussbereich gegen Eisstau eine Heizung sowie bei der Installation in einem Messschacht eine Spülmöglichkeit vorzusehen, um Ablagerungen entfernen zu können. Durch die Anordnung des Schwimmerpegels in einem Messschacht können Spiegelschwankungen zufolge Wellengang minimiert (gedämpft) werden. Ansonsten sind dafür spezielle Einrichtungen erforderlich.

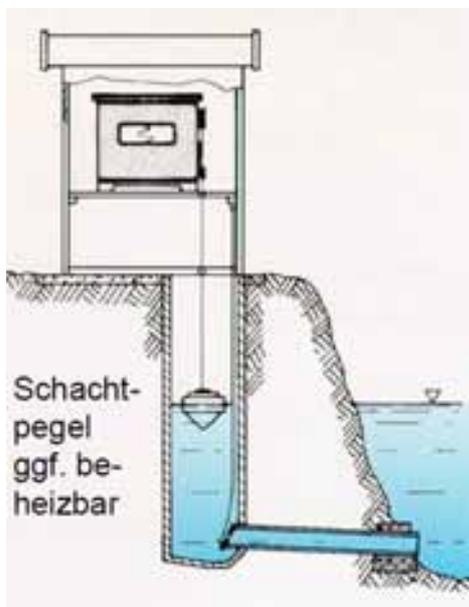


Abbildung 4.4: Skizze eines Schwimmpegels in einem Schacht⁸⁵



Abbildung 4.5: Schwimmpegel mit Auswertelektronik, Schwimmer und Gegengewicht⁸⁶

4.2.1.3 Manometer

Sie dienen der einfachen Ablesung von Wasserdrücken im Staubecken durch eine Verbindungsleitung bis zum Ableseort. Dies geschieht allerdings systembedingt mit einer geringen Genauigkeit. Die Verbindungsleitung darf nicht im Strömungsbereich von Ein- oder Ausläufen situiert werden, da dies zu Druckschwankungen und somit falschen Messdaten führen würde. Sollen die Messwerte auch digital erfasst werden, sind Druckmesszellen erforderlich. Die Verbindungsleitung ist frostsicher anzuordnen und regelmäßig zu spülen. Zur einfachen Kontrolle der Funktionsfähigkeit des Manometers kann ein Ersatzmanometer vorgehalten und in

⁸⁵ Bild: http://www.hollow-cubes.de/Rep_Hydrologie/hydr0106.pdf

⁸⁶ Bild: [http://www.ott.com/web/ott_prospekte.nsf/gfx/7E4D72C2D4A3DF8EC125773100375188/\\$file/Thalimedes_de.pdf](http://www.ott.com/web/ott_prospekte.nsf/gfx/7E4D72C2D4A3DF8EC125773100375188/$file/Thalimedes_de.pdf)

regelmäßigen Abständen angeschlossen werden. Durch eine Skalierung des Manometers auf Meereshöhe können fehleranfällige Umrechnungen entfallen.



Abbildung 4.6: Präzisionsmanometer in handlicher Ausführung⁸⁷



Abbildung 4.7: Präzisionsmanometer für Fixaufstellung mit Wechselstromversorgung⁸⁸

4.2.1.4 Pneumatischer Pegel

Wie beim Manometer wird auch hier eine Druckmessung zur Erfassung des Wasserspiegels verwendet. Allerdings wird dieser Druck nicht direkt, sondern indirekt, über die Messung des aufgebrachtten Gasdrucks, der dem hydrostatischen Wasserdruck entgegenwirkt, erfasst. Dazu wird eine Tauchleitung installiert, welche tiefer als der niedrigste zu messende Wasserspiegel liegt und nur nach unten hin offen ist. Durch diese Leitung wird Druckluft oder Stickstoff eingblasen, bis dieser ausperlt und sich dadurch ein Druckgleichgewicht mit dem Wasserdruck einstellt. Dieser Druck wird in einer Messzelle registriert, digitalisiert und kann dann aufgezeichnet oder weitergeleitet werden. Der Installationsaufwand und der Platzbedarf sind relativ groß, da entweder ein Kompressor für die Druckluftherzeugung oder Stickstoffflaschen untergebracht werden müssen und auch die Zugänglichkeit gegeben sein muss. Das Messsystem ist aber flexibel einsetzbar und die Messleitung selbst benötigt nur wenig Platz. Die Messzelle kommt mit dem Wasser nicht in Berührung, die Messleitung ist allerdings in regelmäßigen Abständen zu spülen. Kommt es zu einem Druckverlust durch leere Stickstoffflaschen oder einen Ausfall der Energieversorgung des Kompressors, führt dies zu einer Unterbrechung der Messung.

⁸⁷ Bild: <http://www.fluke.com/fluke/atde/Kalibriergerate-fur-die-Prozessindustrie/Druckkalibratoren/Fluke-700G.htm?PID=73941>

⁸⁸ Bild: http://www.ics-schneider.de/produkte/digitale_druckmessgeraete//090005081.html

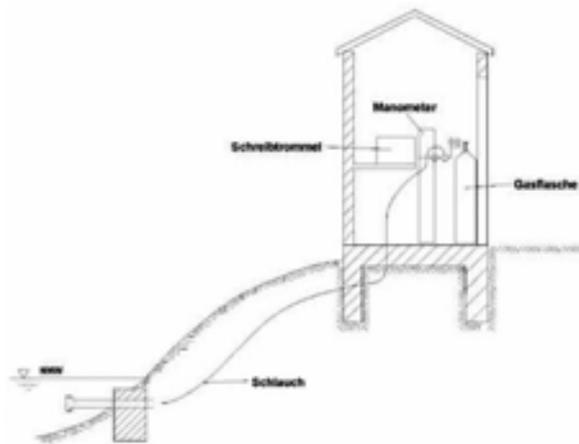


Abbildung 4.8: Druckluftpegel (Systemskizze)⁸⁹

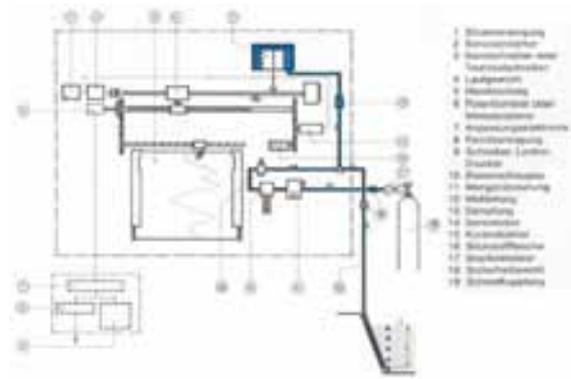


Abbildung 4.9: Druckluftpegel (Darstellung der Komponenten)⁹⁰

4.2.1.5 Echolot mit Radar oder Ultraschall

Bei der Wasserspiegelmessung mittels Radar wird die Laufzeit zwischen Aussenden des Impulses und dem Empfang des reflektierten Radar- oder Schallsignals gemessen. Durch Kenntnis der Geschwindigkeit der jeweiligen Welle (elektromagnetische oder Ultraschall) in der Luft kann damit die Entfernung ermittelt werden. Die Installation ist einfach, solange man auf einige grundlegende Punkte achtet. Dazu gehören die vertikale Ausrichtung der Sonde, was bei der Montage und auch später regelmäßig kontrolliert werden sollte. Ein Aufheizen der Sonde durch direkte Sonneneinstrahlung ist zu vermeiden, da dies zu Messfehlern führen kann. In den Messkegel dürfen keine festen Gegenstände ragen, da dies ebenfalls zu Messfehlern führen kann. Auf diesen Umstand ist auch durch einen ausreichenden Abstand von der Staumauer bei der Situierung der Sonde Rücksicht zu nehmen. Weiters kann die Messung durch Wellengang, Krümmungen der Wasseroberfläche z.B. im Bereich eines Überfalls oder Schnee auf einer Eisdecke verfälscht werden.

⁸⁹ Bild: http://iwhw.boku.ac.at/gewaesserkunde_alt/html/img/Kapitel9/Abb.9.12.jpg

⁹⁰ Bild: http://www.wsv.de/wsa-ko/wasserstrassen/anlagen_und_bauwerke/pegelanlagen/pegeltechnik/index.html



Abbildung 4.10: Radarpegel mit Halterung zur waagrecht Ausrichtung⁹¹



Abbildung 4.11: Ultraschallsensor auf Schallschutz- und Beruhigungsrohr⁹²

4.2.1.6 Druckmesssonde

Bei der Druckmesssonde handelt es sich um ein elektronisches Bauteil, bei welchem der hydrostatische Wasserdruck über eine Membran in ein elektrisches Signal umgewandelt wird. Zum Ausgleich von atmosphärischen Druckschwankungen ist die Sonde mit einer Druckausgleichskapillare ausgerüstet, welche in das Signalkabel eingearbeitet ist. Die Übertragung des Wasserdrucks erfolgt über eine Verbindungsleitung zum Staubecken um die Sonde gegebenenfalls leicht austauschen zu können. Es ist aber auch eine Situierung auf der wasserseitigen Oberfläche der Staumauer, in Schwimmerschächten, an Böschungen oder Ufermauern möglich. Bei der Anordnung der Sonden ist darauf zu achten, dass sie sich nicht im Einflussbereich von Grundablass oder Druckstollen befinden. Die Membran ist anfällig gegenüber Verschmutzungen, Kalkbildung und mechanischen Beschädigungen. Hochwertige Druckmesssonden sind mit einem Blitz- bzw. Überspannungsschutz ausgerüstet, da sie sonst durch ein solches Ereignis leicht zerstört werden. Die Sonden können zu Drift neigen, was einer zunehmenden systematischen Abweichung der Messwerte entspricht.

Siehe dazu 4.2.8 auf S. 96.

⁹¹ Bild: http://www.ott.com/web/ott_de.nsf/id/pa_rls_d.html

⁹² Bild: <http://ugt-online.de/produkte/hydrologie/pegel/pegelmesseinrichtung-mit-ultraschallabtastung.html>

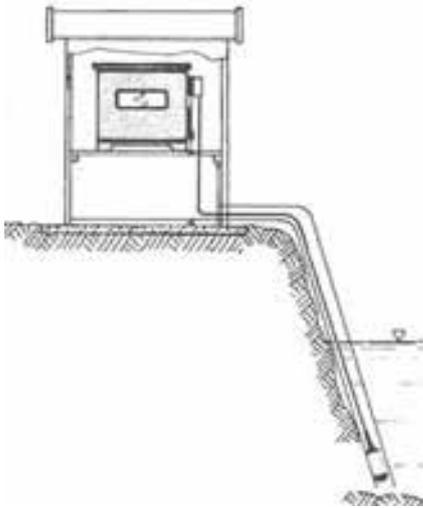


Abbildung 4.12: Drucksondenpegel (Systemskizze)⁹³



Abbildung 4.13: Drucksonde mit Stromversorgung und Fernübertragung⁹⁴

4.2.1.7 Lichtlot und Brunnenpfeife

Über ein Standrohr, welches als kommunizierendes Gefäß mit dem Staubecken verbunden ist, kann der Wasserspiegel ausgelotet werden. Dabei werden Sonden verwendet, welche an einem Maßband hängend bei Kontakt mit der Wasseroberfläche durch Luftverdrängung einen Pfeifton (Brunnenpfeife) oder durch Schließen eines elektrischen Kontakts in leitendem Wasser ein Lichtsignal, oft mit zusätzlichem Summton (Lichtlot), abgeben. Bei der Brunnenpfeife handelt es sich um einen Metallzylinder, der an der Unterseite offen ist und am oberen Ende eine kleine Öffnung - das so genannte Pfeifloch - aufweist. Die gemessene Tiefe ergibt sich aus der Summe der Maßbandablesung und der Anzahl der nicht wasserbenetzten Kerben der Brunnenpfeife. Durch die Einführung des Kabellichtlots ist die Messung mittels Brunnenpfeife fast vollständig verschwunden. Dies liegt zum einen an der Messgenauigkeit und zum anderen daran, dass das Verfahren nur bis zu einer Tiefe von ca. 30 [m] geeignet ist, da bei größeren Tiefen der Pfeifton nur noch schwer hörbar ist. Sowohl die Zuleitung als auch das Standrohr selbst müssen regelmäßig gespült werden, um Verstopfungen zu vermeiden. Durch eine frostsichere Anordnung können falsche Ergebnisse durch Vereisung vermieden werden. Auch bei diesem Messsystem ist darauf zu achten, dass sich die Zuleitung nicht im Einflussbereich von Ein- oder Ausläufen befindet, da hier der Wasserspiegel durch Strömungserscheinungen beeinflusst sein kann.

⁹³ Bild: http://iwhw.boku.ac.at/gewaesserkunde_alt/html/img/Kapitel9/Abb.9.14.jpg

⁹⁴ Bild: http://www.ott.com/web/ott_de.nsf/id/pa_pls_systeme_smartgprs_d.html



Abbildung 4.14: Kabellichtlot auf Dreiecksgestell⁹⁵



Abbildung 4.15: Brunnenpfeife mit Maßband⁹⁶

4.2.1.8 Druckwaage

Moderne Druckwaagen verfügen über Quarzsensoren und bieten sowohl eine sehr hohe Genauigkeit als auch eine hohe Auflösung der Messwerte. Durch die elektronische Messwerterfassung ist auch die Fernübertragung kein Problem. Verschmutzungen, Ablagerung von Sedimenten und Schwebstoffe können zu Störungen und Messfehlern führen. Auch bei der Druckwaage ist bei der Anordnung der Druckmessstelle darauf zu achten, dass sich diese außerhalb von Strömungseinflüssen befindet.

4.2.2 Neigung

Zusätzlich gibt es die Möglichkeit, Neigungsänderungen gegenüber der Vertikalen innerhalb der Sperre durch Lote (siehe S. 77) mit einer hohen Genauigkeit indirekt über erfasste Horizontalverschiebungen zu bestimmen.

4.2.2.1 Inklinometer

Grundsätzlich werden damit Neigungsänderungen gegenüber der Vertikalen ermittelt. Der Messaufbau besteht aus Kunststoff- oder Aluminiumrohren mit vier Längsnuten zur Sensorführung, die durch Muffen verbunden werden. Der Einbau kann fortlaufend mit der Schüttung bis zur Dammoberfläche oder nachträglich in eine extra dafür hergestellte Bohrung erfolgen.

⁹⁵ Bild: http://www.geotechnik-gmbh.at/Produkte/Hydrometrie/kl_gestell.htm

⁹⁶ Bild: <http://www.geotechnik-gmbh.at/Produkte/Hydrometrie/pfeife.htm>

Bei der zweiten Variante ist darauf zu achten, dass der Spalt zwischen Bohrung und Verrohrung injiziert wird um einen Verbund zu gewährleisten. Es ist jedoch ein Auge darauf zu haben, dass der Injektionsdruck nicht so groß wird, dass dadurch die Rohre verformt werden. Es sind jeweils zwei Nuten gegenüberliegend angeordnet, wobei die Verbindungslinien durch den Rohrmittelpunkt verlaufen und orthogonal zueinander liegen. Eine dieser Linien sollte parallel zur prognostizierten Hauptverformungsrichtung orientiert sein.

Als Sensoren kommen meistens Servovinklinometer zum Einsatz, welche auf der Grundlage des Pendelsystems arbeiten. Wird der Sensor aus der Vertikalen ausgelenkt, bewegt sich auch die durch die Gravitationskraft bewegte Masse am Ende des Pendels aus der Ruheposition in die jeweilige Richtung. Anhand von Sensoren wird die Auslenkung bestimmt und durch einen Servo in die Ursprungsposition zurückbewegt. Die dafür benötigte Energie ist ein Maß für die Neigung und wird durch die Auswerteelektronik in ein proportionales Messsignal umgewandelt. Auflösungen von 4 ["] bei einem Messbereich von ± 90 [°] sind möglich. Es gibt eigene Sonden für vorwiegend horizontal oder vertikal ausgeführte Bohrungen. Vertikalsonden sind meist biaxial aufgebaut, indem zwei Sensoren um 90 [°] verdreht hintereinander angeordnet werden.

Die Messung kann bereits während des Baus erfolgen, es ist aber zumindest direkt nach Bauende eine Referenzmessung durchzuführen. Alle darauf folgenden Messungen können dann mit dieser Erstmessung verglichen werden. Die ermittelten Lotabweichungen werden nach gleichmäßigen Abständen in immer den selben Tiefen ermittelt. Aus der Neigungsänderung lassen sich die Horizontalverschiebungen berechnen und ein Neigungsprofil bzw. die Deformationslinie erstellen. Durch Einbinden des sichtbaren Rohrendes in ein geodätisches Netz kann eine Aussage über die absolute räumliche Verschiebung gegeben werden, unabhängig davon, ob der Rohrfusspunkt als unverschieblich angesehen werden kann oder nicht.

Sowohl Genauigkeit als auch Empfindlichkeit sind geringer als jene beim Bohrloch- oder Gleitmikrometer (mit oder ohne Inklinometer) (siehe S. 76), welches meist in Fels oder Beton verwendet wird.



Abbildung 4.16: Inclinometersonde mit Führungsrollen auf Datenkabeltrommel⁹⁷



Abbildung 4.17: Inclinometermessrohr mit Führungsnuten⁹⁸

4.2.2.2 Klinometer

Klinometer und Tiltmeter sind Neigungsmesser, die sich in zwei Gruppen unterteilen lassen:

- Flüssigkeitssysteme

- Flüssigkeitslibelle

Das Funktionsprinzip ist das selbe wie bei handelsüblichen Wasserwaagen. Dabei wird in eine schwach gebogene Kunststoff- oder Glasröhre eine Flüssigkeit gefüllt, in der sich durch die Herstellung eine Luft- oder Gasblase befindet. Auftriebsbedingt schwimmt diese Blase immer an die höchste Stelle auf. Bei einem horizontalen Untergrund liegt die Blase dann zwischen zwei am Rohr angebrachten Markierungen. Bei Messlibellen gibt es zusätzliche Markierungen, welche es erlauben, die Neigung direkt abzulesen.

- Elektrolytische Flüssigkeitslibelle

Bei dieser Form, wird eine leitende Flüssigkeit verwendet und es werden drei Elektroden in das Röhrchen miteingeschmolzen. Durch die Neigungsänderung wird die Luftblase verschoben, wodurch sich der Widerstand der beiden mit mehr oder weniger Flüssigkeit gefüllten Libellenhälften unterscheidet, was, basierend auf dem Prinzip der Wheatstone-Brücke, gemessen werden kann. Zweiachsige Messungen sind mittels einer Dosenlibelle und fünf eingebauten Elektroden möglich.

- Flüssigkeitsoberfläche mit optischer Neigungsmessung

Abhängig von der Neigung ergibt sich ein Winkel zwischen Lichtsensor und der Bezugsebene, welche als Flüssigkeitshorizont ausgebildet ist. Dadurch wird der auf eine Photodiode reflektierte Lichtpunkt verschoben, was sich durch unterschiedliche Spannungen messen lässt. Zweiachsige Messungen sind möglich.

- Pendelsysteme

Als Messprinzip kommt hier das Pendelpotentiometer zum Einsatz. Es sind auch zweiachsige Messungen möglich.

Da die Basislängen der Geräte nur zwischen 10 und 150 [cm] betragen, kann die Aneinanderreihung von mehreren Messstellen zu einer Messkette sinnvoll sein, um höhere Zuverlässigkeiten der Ergebnisse zu erzielen, da die Wahrscheinlichkeit für räumliche Beeinflussungen so geringer ist. Verunreinigungen der Messbolzen können zu Messfehlern führen und sind daher zu

⁹⁷ Bild: <http://de.itmsoil.com/pages/digitales+vertikales+inklinometer+messsystem>

⁹⁸ Bild: http://www.solexperts.com/index.php?option=com_content&view=article&id=183&Itemid=209&lang=de

vermeiden. Bei automatisierten Anlagen ist ein Blitzschutz vorzusehen, um Beschädigungen zu verhindern.



Abbildung 4.18: Klinometer⁹⁹



Abbildung 4.19: Neigungssensor auf Klinometer¹⁰⁰



Abbildung 4.20: Kugelsetbolzen mit aufgesetztem Klinometer¹⁰¹

4.2.3 Längsverformung

4.2.3.1 Messgeräte für Längsverformungen

Nachfolgend werden einige wichtige Messinstrumente zur Ermittlung von Längenänderungen und ihre Funktionsweise erläutert. Diese kommen in den untenstehenden Abschnitten immer

⁹⁹ <http://www.huggenberger.com/de/messgeraete-fuer/neigungsaenderung-und-verschiebung/klinometer-ecs1000h-bl.html>

¹⁰⁰ Bild: <http://www.huggenberger.com/de/messgeraete-fuer/neigungsaenderung-und-verschiebung/klinometer-ecs1000h-bl.html>

¹⁰¹ Bild: <http://www.huggenberger.com/de/messgeraete-fuer/neigungsaenderung-und-verschiebung/klinometer-ecs1000h-bl.html>

wieder zum Einsatz und werden daher hier vorab einmalig abgehandelt.

Ein wichtiges Kriterium für die Auswahl des passenden Gerätetyps ist die Größe der zu erwartenden Bewegungen, denn davon ist die erforderliche Basislänge abhängig, die, je nach Instrument und Hersteller, von einigen [cm] bis zu 1,5 [m] reichen kann.

Häufig eingesetzte Messinstrumente sind:

Mikrometer Sie werden auch als Messschrauben bezeichnet. Dies gibt bereits den Hinweis, dass es sich hierbei ausschließlich um rein mechanische Längenmessgeräte handelt. Am weitesten verbreitet sind die sogenannten Bügelmessschrauben. Mikrometer sind auch als digitale Messschrauben erhältlich, wobei hier nur die Anzeige digital ist, das Messprinzip aber weiterhin mechanisch ist. Eine automatisierte Messung und Messwertübermittlung ist damit aber nicht möglich. Auflösungen bis 1 [μm] sind möglich.

Messuhr mit analoger Anzeige Hierbei wird die Längsbewegung des Messtasters mittels Zahnstange und Zahnrad auf die Zeiger übertragen. Messuhren können einen im Vergleich zur Auflösung relativ großen Messbereich haben. Um eine korrekte Ablesung zu ermöglichen, wird der Messbereich auf zwei Skalen mit den zugehörigen Zeigern aufgeteilt. Der große Zeiger kann dabei mehrere Umdrehungen zurücklegen, bis das Ende des Messbereichs erreicht ist. Seine Skala ist dabei derart geteilt, dass die mögliche Auflösung der Messuhr dargestellt und abgelesen werden kann. Jeder Teilstrich der Skala für den kleinen Zeiger stellt jenen Wert dar, den eine volle Umdrehung des großen Zeigers repräsentiert. Der Messwert ergibt sich somit durch Summation der beiden Skalenwerte.

Gegenüber Messuhren mit digitaler Anzeige haben sie den Nachteil, dass es leichter zu Falschablesungen kommen kann.

Messuhren im Allgemeinen werden manchmal auch als Satzdeflektometer bezeichnet.

Beim sogenannten Feinzeiger ist der Messbereich zwar nur bei 50 – 100 [μm], dafür ist die Auflösung meist bei 1 [μm].

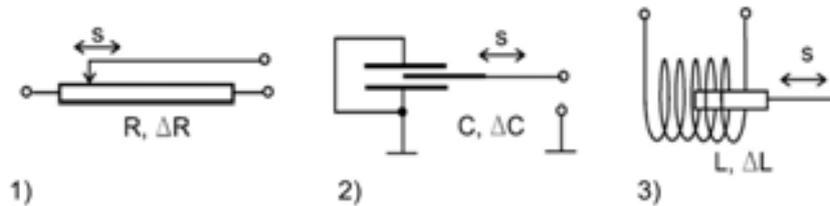
Weggeber und Messuhren mit Digitalanzeige Sie lassen sich anhand ihrer Messmethode in die folgenden drei Klassen (siehe Abb. 4.23) unterteilen:

¹⁰² Bild: http://www.praezisionsmesstechnik.de/mwgpt/messuhr/ska0001/Messuhr_KA10167.html

¹⁰³ Bild: <http://www.pruefmittel24.com/produkt52888.html>

¹⁰⁴ Bild: http://tu-dresden.de/die_tu_dresden/fakultaeten/fakultaet_elektrotechnik_und_informationstechnik/iee/pmp/studium/lehre/

mt/dl/vorlesung/MT_Nr11.pdf

Abbildung 4.21: Analoge Messuhr ¹⁰²Abbildung 4.22: Digitale kapazitive Messuhr ¹⁰³Abbildung 4.23: Funktionsprinzipien von elektrischen Sensoren wie Messuhren und Weggebern: 1) Widerstand 2) Kapazität 3) Induktion ¹⁰⁴

Widerstandssensoren (resistive Längenmessgeräte oder Linearpotentiometer) Bei ihnen wird ein Abnehmer (Schleifer) über einen Widerstand geführt. Dieser kann als Spule oder in einen Kolben eingearbeitet ausgeführt sein. Je nach Stellung des Schleifers ändert sich somit der gemessene Widerstand und damit auch die elektrische Spannung, wodurch sich der zurückgelegte Weg ermitteln lässt. Das Verfahren benötigt eine gewisse Verstellenergie (Kraft) und ist außerdem durch den Schleifer zusätzlichem mechanischem Verschleiß unterworfen.

Kapazitive Sensoren¹⁰⁵ Bei diesem Verfahren wird die Kapazitätsänderung zwischen zwei elektrischen Leitern erfasst. Für sehr kleine Abstände nähern sich zwei Platten einander an und dies führt zu einer Kapazitätsänderung. Für die Messung großer Abstände bzw. Längen ist dieser Aufbau allerdings nicht geeignet. Daher werden die Platten nicht angenähert, sondern parallel zueinander geführt. Auch dies liefert je nach überlagerter Plattenfläche eine gewisse Kapazität, welche sich messen und daraus der zu messende Weg ermitteln lässt. Diese Wegsensoren bestehen daher vom Prinzip her aus einer Röhre, welche die Funktion einer Elektrode übernimmt, während der bewegliche Fühler, welcher mehr oder weniger weit in das Rohr eintaucht, die zweite Elektrode darstellt.

¹⁰⁵[HBG05, S. 304]

Induktive Sensoren¹⁰⁶ Sie beruhen auf dem Prinzip, dass die Änderung des magnetischen Flusses eine Spannung induziert. Wird daher ein Kern mit hoher magnetischer Permeabilität (z.B. Eisen) in einer Spule bewegt, so ändert sich die Spannung proportional zum Weg des Kerns.

Die meisten heute gebräuchlichen Geräte verfügen über eine Primär- und zwei Sekundärspulen. Wird an die Primärspule eine Wechselspannung angelegt, so induziert diese in den beiden Sekundärspulen eine unterschiedliche Polarität. Gemessen wird so die Differenzspannung, welche genau dann Null ist, wenn sich der Kern in der Mitte der Spule befindet. Diese Geräte werden daher auch nach dem sogenannten Linear-Variable-Differential-Transformer-Prinzip als LVDT bezeichnet.

Das Funktionsprinzip wird aber auch für Messuhren angewandt.

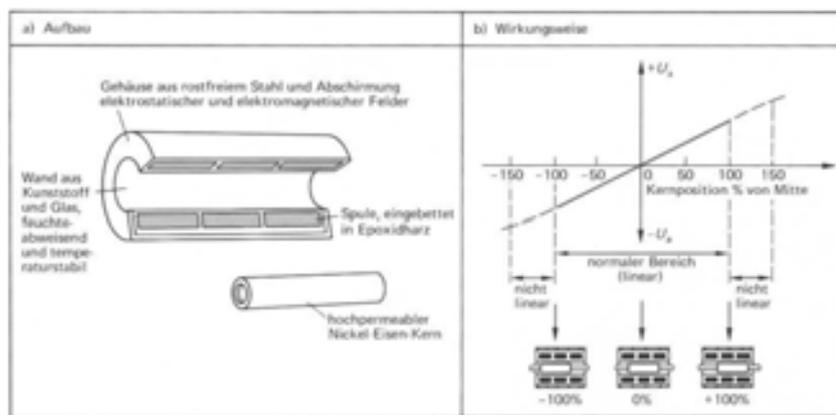


Abbildung 4.24: Induktiver Wegaufnehmer (Aufbau und Wirkungsweise)¹⁰⁷



Abbildung 4.25: LVDT in typischer Bauform¹⁰⁸

Schwingsaitensensoren Eine gespannte Saite wird mittels Magnet angeregt und in Schwingung versetzt. Durch Messung der Schwingungsfrequenz kann auf die Längenänderung geschlossen werden. Dazu muss man Saitenlänge und Zugspannung vor der Längenänderung, sowie Dichte, Elastizitätsmodul und die Ordnungszahl der Saitenschwingung kennen. Schwingsaitensensoren zeichnen sich durch ihre geschlossene und robuste Ausführung und ihre Langzeitstabilität aus.

Faseroptische Längenmessgeräte Sie basieren auf der gleichen Messmethode wie die unter Faseroptische Extensometer (siehe 4.2.3.4, S. 73) erläuterten Sensoren. Ihre Bauweise ähnelt jedoch jener der LVDT's¹⁰⁹.

¹⁰⁶[HBG05, S. 304]

¹⁰⁹<http://www.roctest-group.com/sites/default/files/datasheets/products/FOD-E50169-W.pdf>

4.2.3.2 Bohrlochextensometer

Extensometer erlauben die relative Längenänderung zwischen dem Messkopf am Bohrlochein-
gang und einem im Bohrloch befindlichen Verankerungspunkt.

Es sind unzählige Varianten von Extensometern im Einsatz, welche sich aber grundsätzlich unterscheiden lassen durch:

- Art und Weise der Verankerung (Packer oder Vermörtelung)
- Art des Längenelements (Draht oder Gestänge)
- Art und Weise der Messung der Längenänderung (Messuhr oder Weggeber)

Abgestufte Extensometer mit mehreren unterschiedlichen Längenelementen je Bohrloch erlau-
ben Rückschlüsse darauf, in welchem Bereich sich die Verformungen ergeben haben.

Die eigentliche Messwertablesung erfolgt mittels Weggeber und Messuhren mit Digitalanzeige
(siehe S. 69).

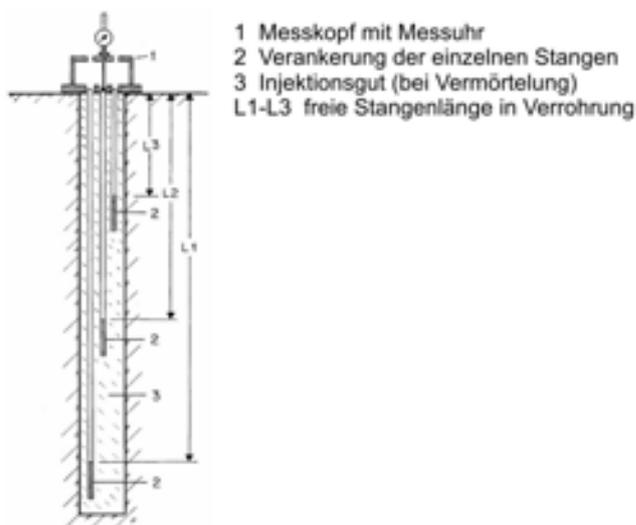


Abbildung 4.26: Bohrlochstangenextensometer mit Vermörtelung (Systemskizze)¹¹⁰



Abbildung 4.27: Bohrlochextensometerkopf¹¹¹

4.2.3.3 Stangenextensometer im Lockergestein¹¹²

Ein Sensorelement besteht aus dem Messkopf und einer Verbindungsstange mit einer Länge von 3 – 6 [m]. An den beiden Enden befinden sich Ankerplatten, welche für die Verankerung

¹⁰⁷ Bild: <http://www.kurcz.at/dehnung.php>

¹⁰⁸ Bild: <http://www.me-systeme.de/dehnungsmessstreifen/>

¹¹⁰ Bild: [Sch05c, S. 2.14]

¹¹¹ Bild: <http://www.mgs-europe.de/data/images/220/large.jpg>

¹¹² [Bru09]

im Untergrund sorgen. Ihre Form kann je nach Anbieter variieren. Meist erfolgt eine Aneinanderreihung mehrerer Sensoren zu einer Messkette. Messwerte werden mittels Schwingsaitensensoren oder Widerstandssensoren (resistive Längenmessgeräte oder Linearpotentiometer) ermittelt. Der Messbereich kann bis zu 300 [mm] betragen.

Die häufigsten Probleme treten durch einen Totalausfall des Sensors durch Überschreitung des Messbereichs auf, da dieses im Vorfeld schwer einzuschätzen ist und daher oft unterschätzt wird. Auch Kabelbrüche infolge Überbeanspruchung sind nicht selten. Daher sollte darauf bereits beim Einbau durch die Anordnung von Kabelschutzrohren und eine wellenförmige Verlegung Bedacht genommen werden.

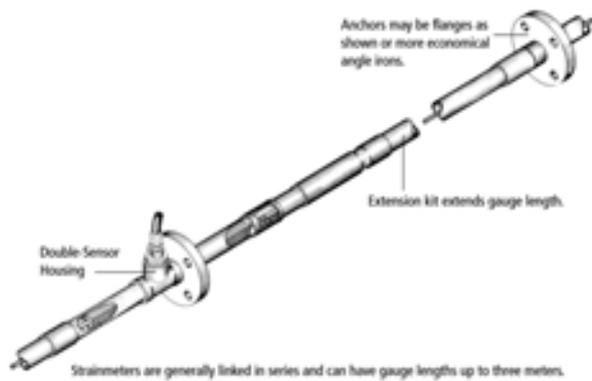


Abbildung 4.28: Stangenextensometer (Schemaskizze)¹¹³



Abbildung 4.29: Stangenextensometer mit Winkeln als Ankerplatten¹¹⁴

4.2.3.4 Faseroptische Extensometer¹¹⁵

Es sind verschiedene Systeme auf dem Markt erhältlich, welche sich durch ihre Funktionsweisen und ihren Sensoraufbau unterscheiden in:

- interferometrische Sensoren mit langer Messbasis (Mach-Zehnder Interferometer, MZI)¹¹⁶

Dieses - auch unter dem Namen *SOFO*[®] bekannte - System setzt auf die Verwendung von zwei Fasern. Davon ist eine mit der Bauwerksstruktur verbunden, die andere ist beweglich verlegt und dient als Referenzfaser zur automatischen Temperaturkompensation. Wegen seiner relativ einfachen Bauweise und der langen Sensorlänge (0,2 – 10 [m]) ist es besonders gut für die Verwendung in Talsperren geeignet.

¹¹⁵[Bru09]

¹¹⁶[BW08]

¹¹³ Bild: <http://www.slopeindicator.com/pdf/soil%20strainmeter%20datasheet.pdf>

¹¹⁴ Bild: <http://www.geokon.com/soil-extensometers/>

¹¹⁷ Bild: http://www.ovg.at/uploads/media/17_Woschitz_.pdf

¹¹⁸ Bild: http://www.ovg.at/uploads/media/17_Woschitz_.pdf

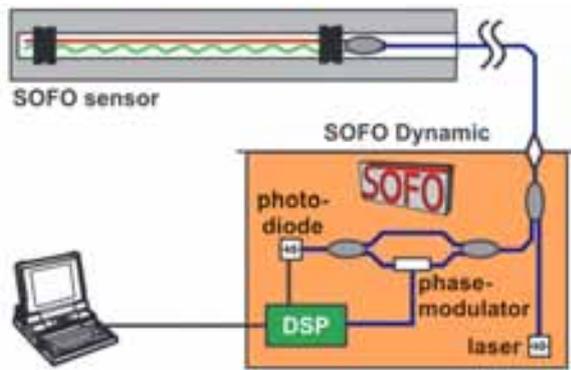


Abbildung 4.30: Mach-Zehnder Interferometer (Systemskizze)¹¹⁷



Abbildung 4.31: Verlegung eines Faseroptischen Extensometers im Erdreich¹¹⁸

- interferometrische Sensoren mit kurzer Messbasis (Fabry-Pérot Interferometer, FPI)

Der Sensor ist nur wenige [mm] lang und besteht aus zwei Glasfasern, welche in eine Kapillare hintereinander mit einem Abstand von nur einigen [μm] eingelegt sind. Auftretende Änderungen dieses Abstandes sind interferometrisch sehr präzise messbar. Die Zuleitung zum Sensor besteht nur aus einer Glasfaser, sodass sich Abstandsänderungen anteilmäßig nicht einer temperatur- oder kraftabhängigen Einwirkung zuordnen lassen.

- Faser-Bragg-Gitter-Sensoren, FBG

Für dieses Verfahren wird in die Glasfaser eine regelmäßige Struktur eingebrannt, die als optischer Interferenzfilter fungiert. Der so erzeugte Sensor ist meist nur wenige Millimeter lang, es lassen sich aber viele Sensoren mit unterschiedlichen Abständen der Strukturen zu einem längeren Stück vereinen. Die Auswertung kann abhängig vom Strukturabstand (und somit für jeden Sensor getrennt) erfolgen. Thermische und mechanische Veränderungen können nicht getrennt erfasst werden.

Da die Lichtwellenleiter temperaturabhängige Messwerte (siehe Faseroptischer Temperaturgeber (Distributed Temperature Sensing, DTS), S. 99) liefern, ist auch bei Systemen, welche nur eine Faser zur Ermittlung der Längenänderung benötigen, eine zweite unbelastete Faser vorzusehen, um den Temperatureinfluss zu eliminieren.

Sensoren können einfach mit einbetoniert oder vorab an den Bewehrungsstahl fixiert werden. Auch die nachträgliche Montage in ein Bohrloch, welches anschließend verpresst wird, oder eine Befestigung an Bolzen ist möglich.

Faseroptische Extensometer sind sehr stabil, nicht korrosiv und benötigen keinen Überspannungsschutz, da sie Strom nicht leiten. Sie sind allerdings anfällig gegen Knicken und die Längenänderung des Sensors sollte 1 – 2 [%] nicht übersteigen, da es sonst zu einem Faserriss

kommen kann. Daher sollten die Glasfasern z.B. durch Rohrleitungen geschützt oder in Rinnen verlegt werden.

Übertragungslängen von bis zu 10 [km] sind möglich.

4.2.3.5 Magnetostruktive Extensometer

Wie beim Setzpegel (Magnetsetzungslot) basiert hier die Längenmessung auf dem magnetostruktiven Messprinzip. Es gibt Varianten mit beweglichen Teilen (Sonde)¹¹⁹ aber auch solche ohne bewegliche Teile¹²⁰.

4.2.3.6 Schwingsaitenextensometer¹²¹

Sie verfügen über fertig konfektionierte Sensorelemente mit definierter Länge von 0,5–3,0 [m], welche kombinierbar als Sensorkette in das Bohrloch eingebracht und verankert werden.

4.2.3.7 Distometer und Distinvar

Mit ihnen sind präzise Längenänderungen mittels Invar- oder Stahldrähten möglich, welche jedoch nur relative Messungen darstellen. Für eine Absolutmessung müssten Messgerät und Draht kalibriert werden.

Bei Distometer dienen in den Beton versetzte Messbolzen mit einem definierten Abstand als Start- und Endpunkt. Dazwischen wird das Messgerät und ein Draht mit passender Länge eingehängt. Das Messgerät funktioniert rein mechanisch und verfügt über eine eingebaute Feder, welche immer einen konstanten Zug auf den Draht ausübt. Mittels Messuhr kann der Abstand zwischen Drahtende und Messgerät abgelesen werden. Der Messbereich beträgt bis zu 100 [mm] bei einer Genauigkeit von $\pm 10^{-6}$ der Drahtlänge.

Im Gegensatz zum Distometer reichen beim Distinvar nicht nur Bolzen zur Verankerung, sondern es sind massive Konsolen erforderlich. Auf ihnen befinden sich Zentrierflansche, auf welche wiederum das Distinvar und sein Gegenstück, das Pivot, montiert werden. Das Messgerät verfügt über eine Präzisionswaage mittels welcher der Draht elektromechanisch immer gleich gespannt wird. Über eine Digitalanzeige lässt sich dann der Abstand zwischen Gerät und Drahtende ablesen. Das Distinvar hat im Vergleich zum Distometer den Nachteil eines

¹¹⁹<http://www.itm-soil.com.au/content/magnetic-probe-extensometer-0>

¹²⁰http://www.solexperts.com/index.php?option=com_content&view=article&id=60&Itemid=84&lang=de

¹²¹<http://www.rstinstruments.com/Multi-Point%20Vibrating%20Wire%20Inline%20Extensometer.html>

etwas geringeren Messbereichs (50 [mm]) und die Begrenzung auf nahezu horizontale (max. 10 [%] geneigte) Messstrecken. Mit beiden Geräten lassen sich jedoch ähnliche Genauigkeiten erreichen.

4.2.3.8 Bohrloch- oder Gleitmikrometer (mit oder ohne Inklinometer)

Hierbei handelt es sich um ein mobiles Messgerät, welches in einem beliebig orientierten verrohrten Bohrloch differentielle Längenänderungen in regelmäßigen Abständen (z.B. 1 [m]) erfassen kann. Dies kann dazu dienen, zwischen zwei Messmarken neue Risse und Klüfte festzustellen oder die vorhandenen in Abhängigkeit des Stauspiegels zu quantifizieren. Die Messmarken sind in die Verrohrung integriert. Da zwischen Bohrung und Verrohrung ein Spalt besteht, wird dieser mit Injektionsgut verfüllt, um einen Verbund mit dem umgebendem Fels herzustellen. Das Messgerät kann durch Verdrehen an den Messmarken vorbeigeführt oder an diesen ausgerichtet werden. Außerdem ist es möglich, eine Kombination von Bohrlochmikrometer und Inklinometer zu verwenden, um zusätzlich die entsprechenden Neigungen an den jeweiligen Messmarken zu erfassen. Näheres zum Inklinometer siehe auf S. 65. Es lassen sich Tiefen bis zu 150 [m] mit einer Genauigkeit von $< 1/100$ [mm] realisieren, wobei die Genauigkeit des Mikrometers besser als jene des Inklinometers ist. Um die Messergebnisse nicht negativ zu beeinflussen, ist darauf zu achten, dass sowohl Messsonde als auch -rohr sauber gehalten werden.



Abbildung 4.32: Sondenkopf und -ende eines Bohrlochmikrometers¹²²



Abbildung 4.33: Bohrlochmikrometerkopf in Teleskopkupplung fixiert¹²³

¹²² Bild: http://www.solexperts.com/index.php?option=com_content&view=article&id=52&Itemid=79&lang=de

¹²³ Bild: http://www.solexperts.com/index.php?option=com_content&view=article&id=52&Itemid=79&lang=de



Abbildung 4.34: Setzpegel (Systemskizze)¹²⁴



Abbildung 4.35: Setzpegelsonde an Kabeltrommel und Magnet¹²⁵

4.2.4 Verformungen

4.2.4.1 Setzpegel (Magnetsetzungslot)

Hierbei wird ein Kunststoffrohr parallel zur fortschreitenden Schüttung vertikal eingebaut. In geeigneten Abständen werden Setzplatten (metallische Platten, Ringe oder Kreuze) über das Rohr geführt und in der Dammschüttung horizontal verlegt. Ihre Lage ist relativ zur fertig hergestellten Rohroberkante per Induktionsmesssonde bestimmbar, was durch einen Pfeifton oder ein optisches Signal angezeigt wird und die entsprechende Tiefe anschließend an einem Maßband abgelesen werden kann. Das Verfahren ähnelt damit dem Bohrloch- oder Gleitmikrometer (mit oder ohne Inklinometer) (siehe S. 76, verfügt aber systembedingt über eine geringere Genauigkeit).

Als stark vereinfachte Version kann auch eine Setzlatte zum Einsatz kommen. Dabei ist nur die Gesamtsetzung ablesbar, jedoch nicht die Zwischenwerte.

Schräge und horizontale Anordnung der Rohre sind umstritten. Für die Führung der Sonde bei horizontaler Ausrichtung ist die Verwendung eines Führungsgestänges oder einer Umlenkrolle am Pegelende erforderlich.

4.2.4.2 Lote

Sie erlauben die präzise Messung von horizontalen Verschiebungen an festgelegten Punkten in der Talsperre. Da der Lotdraht in einer verrohrten Bohrung installiert wird, ist diese Messanordnung idealerweise bereits in der Planung zu berücksichtigen und die Leerverrohrung im

¹²⁴ Bild: [Sch05c, S. 2.11] <http://www.huggenberger.com/de/messgeraete-fuer/neigungsaenderung-und-verschiebung/koordiskop-kk84.html>

¹²⁵ Bild: <http://www.itm-soil.com.au/content/magnetic-probe-extensometer-0>

Zuge des Sperrenbaus bereits mit einzubauen. Dabei ist auf die wahrscheinlich auftretenden maximalen Verformungen Rücksicht zu nehmen, um den Bohrloch-/Rohrdurchmesser ausreichend wählen zu können. Nur so kann verhindert werden, dass sich der Draht später an der Wandung anlegt und es dadurch zu falschen Messwerten kommt.

Mann kann grundsätzlich zwischen den zwei am häufigsten verwendeten Arten unterscheiden:

Pendellot (oder Gewichtslot) Es besteht wie ein Pendel im Wesentlichen aus einem Gewicht, das an einem Draht befestigt und an einem Fixpunkt zentrisch aufgehängt ist. Um eventuell auftretende Lotschwingungen zu dämpfen, hängt das Spanngewicht in einem Behälter, der mit Wasser oder Öl gefüllt ist.

Schwimmlot (auch Umkehrlot oder Schwimmpendel) Bei diesem wird der Lotdraht an der untersten Stelle fixiert und die Lotspannung durch den Auftrieb eines am oberen Ende befindlichen Schwimmkörpers erzeugt, der sich in einem öl- oder wassergefüllten Behälter frei bewegen kann.

Wird das Schwimmlot zusätzlich mit Zentriereinrichtungen am Fixpunkt und oben außerhalb des Bohrlochs versehen, kann eine Vermessung der Biegelinie der Schwimmlotbohrung erstellt werden. Dies ist durch Zentrierung des Lotdrahts mittels einer Zentriersonde an jeder beliebigen Stelle in der Bohrung und anschließender Ablesung der Auslenkung des Lotdrahts möglich.

Die Zugkraft liegt bei beiden Lotvarianten bei 200 – 2.000 [N]. Sollen größere Höhenunterschiede überwacht werden, können Pendel- und Schwimmlote miteinander kombiniert werden. Dadurch lässt sich ein einfacher vermessungstechnischer Anschluss des Pendellots an den Fixpunkt des Schwimmlots realisieren.

Um den Einfluss der Lotschwankung möglichst gering zu halten, sollten die Lotlängen 100 [m] nicht überschreiten. Unter guten Bedingungen sind Gesamtgenauigkeiten bis zu 1:200.000 zu erreichen.

Die Messwerterfassung kann in unterschiedlichen Höhenlagen mittels Telelot (elektronisch) oder Koordiskop (optisch) mit einer Genauigkeit der Lotabweichung bis zu 0,05 [mm] erfolgen. Dabei wird die Drahtlage in zwei orthogonalen Richtungen ermittelt.

¹²⁶ Bild: <http://www.huggenberger.com/de/messgeraete-fuer/neigungsaenderung-und-verschiebung/gewichtslot-gl.html>

¹²⁷ Bild: <http://www.huggenberger.com/de/messgeraete-fuer/neigungsaenderung-und-verschiebung/schwimmlot-sl.html>

¹²⁸ Bild: <http://www.huggenberger.com/de/messgeraete-fuer/neigungsaenderung-und-verschiebung/koordiskop-kk84.html>

¹²⁹ Bild: <http://www.huggenberger.com/de/messgeraete-fuer/neigungsaenderung-und-verschiebung/telelot-vdd2v4.html>

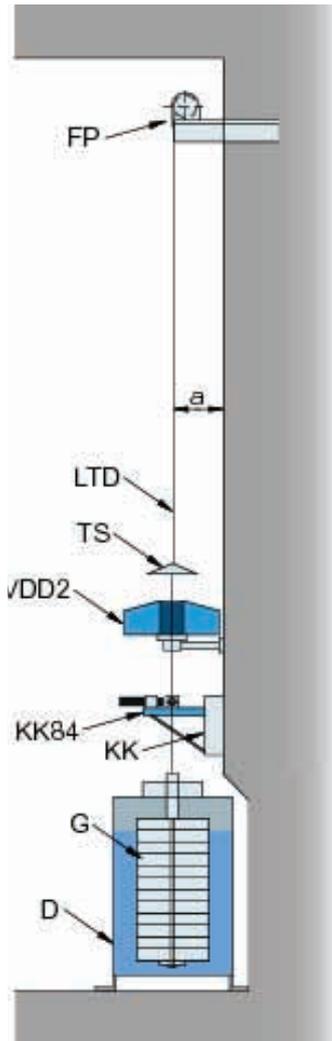


Abbildung 4.36: Gewichtslot (Systemzkizze)¹²⁶

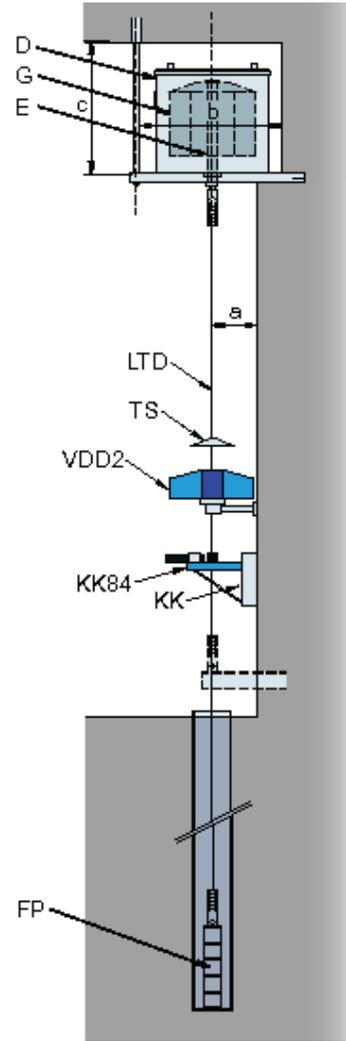


Abbildung 4.37: Systemzkizze Schwimmlot¹²⁷



Abbildung 4.38: Koordiskop¹²⁸



Abbildung 4.39: Telelot¹²⁹

Bei den Pendel- und Schwimmloten ist zu beachten, dass diese durch Fernbeben stark angeregt und durch Erreichen der Eigenfrequenz in Schwingung versetzt werden können. Dies geschieht, weil bei starken Erdbeben in großer Entfernung hauptsächlich niederfrequente langwellige Wellen erfasst werden. Diese stimmen eher mit der niedrigen Eigenfrequenz der Lote als mit

der hohen Eigenfrequenz der Sperren überein. Es kann daher zu Grenzwertüberschreitungen kommen, obwohl die Talsperre selbst nicht beansprucht wird.¹³⁰ Luftbewegungen im Bohrloch sowie starke Wasserzutritte und Bauwerksvibrationen (z.B. durch die Nähe zum Krafthaus) sind in diesem Zusammenhang ebenfalls zu vermeiden.

Es ist darauf zu achten, dass sich immer ausreichend Wasser bzw. Öl im Schwimmerbehälter befindet. Bei Schwimmlotanlagen, kann ein zu geringer Flüssigkeitsstand zum Verkanten des Schwimmkörpers führen. Bei Pendellotanlagen kommt es durch den verringerten Auftrieb zu einer Verlängerung des Lotdrahtes, was dann zur Folge haben kann, dass das Lotgewicht am Gefässboden aufsitzt. Weiters sind die Behälter eisfrei zu halten, um die Bewegungsfähigkeit der Schwimmkörper nicht zu beeinflussen. Außerdem ist sicherzustellen, dass der Draht sich frei bewegen kann und nicht behindert wird (z.B. durch Sinterungen an der Bohrwandung, Fremdkörper oder eingetretenes Injektionsgut).

4.2.4.3 Polygonzug

Bei einem Polygonzug handelt es sich um eine Aneinanderreihung von Vektoren. Es handelt sich dabei um eine vereinfachte Form der Triangulation (siehe S. 87), bei der ebenfalls Präzisionstheodolite verwendet werden. Um höchstmögliche relative Genauigkeiten zu erreichen, sind die Polygonpunkte entsprechend zu versichern, ein angeschlossener Polygonzug (Anfang und Ende sind bestimmte Festpunkte aus einem Triangulierungsnetz) zu bevorzugen und eine Kombination mit Loten sinnvoll. Die gute innere Redundanz kann durch zusätzliche unabhängige Hin- und Rückmessung sowie die Vermessung der Polygonseiten mittels unterschiedlicher Invardrähte gewährleistet werden.

4.2.4.4 Draht-Alignment

Es ähnelt dem Lotprinzip, allerdings spannt der Draht hier eine vertikale Ebene auf. Die Montage kann längs geradlinig verlaufenden Kontrollgängen oder Brüstungen erfolgen. Als Fixpunkte dienen vorzugsweise die beiden Talflanken. Die auftretenden Horizontalverschiebungen können mit Messschlitten oder an definierten Stellen mit fix montierten Ableseinstrumenten ermittelt werden. Um die vertikalen Abstände zwischen Messgerät und Draht nicht unnötig groß werden zu lassen, wird der Draht mit einer konstanten Zugkraft gespannt. Bei Spannweiten über 200 [m] kann der Draht zusätzlich mittels Schwimmern gestützt werden.

¹³⁰[Öst01, S. 17f]

¹³¹Bild: [Sch05c, S. 2.10]

¹³²Bild: [Sch05c, S. 2.10]



Abbildung 4.40: Draht-Alignment mit Fixpunkt (oben) und Ableseeinrichtung (unten)¹³¹



Abbildung 4.41: Draht-Alignment mit Spannungsgewicht¹³²

4.2.4.5 Optisches Alignment

Beim optischen Alignment wird als Bezugslinie nicht ein Draht wie beim Draht-Alignment, sondern eine Visur zum Zielpunkt verwendet. Diese spannt ebenfalls eine vertikale Ebene auf. Als Endpunkte dienen das Alignment-Instrument (Kollimator) oder ein Theodolit auf der einen Seite und eine Zielmarke auf der anderen Seite. Verformungen drücken sich als Änderungen des Abstands zur Bezugsebene aus. Alle Punkte sollten dabei auf einer horizontalen Ebene liegen.

Die folgenden Verfahren sind zur Abstandsermittlung gebräuchlich:

- verschiebbare Zielmarken an den Kontrollpunkten

Mit dem Alignment-Instrument wird der Zielpunkt anvisiert und der dazwischenliegende Kontrollpunkt solange verschoben, bis er in der Messebene zu liegen kommt. Der Abstand kann an einer Skala am Schlitten abgelesen werden.

- verschiebbares Zielinstrument

Das Zielinstrument wird solange verschoben, bis es eine Ebene durch den Ziel- und Kontrollpunkt aufspannt, welche fix am Bauwerk befestigt sind. Die Ablesung erfolgt mittels Skala am Schlitten des Zielinstruments.

- Winkelmessung zwischen Ziel- und Kontrollpunkt

Es werden sowohl Ziel- als auch Kontrollpunkt anvisiert und die Winkeldifferenz der beiden Visuren ermittelt. Die Verschiebung lässt sich nicht direkt ablesen, sondern muss mittels des Winkels und der Distanzen zwischen Zielinstrument und Ziel- sowie Kontrollpunkt berechnet werden. Diese Distanzen werden nach dem Setzen der Vermarkungen grob ermittelt und als konstant angenommen. Dieses Verfahren ist als am zweckmäßigsten zu bewerten, da es keine beweglichen Teile außer jenen am Zielinstrument selbst gibt

und die Kontrollpunkte variabler in Bezug auf den maximalen Abstand zur Bezugsebene gesetzt werden können.

Die Genauigkeit ist von den Refraktionsverhältnissen abhängig. Daher sind Visuren bei großen Temperaturschwankungen innerhalb einer Messung und solche knapp entlang von Oberflächen von Bauwerken, Gewässern oder Schneefeldern zu vermeiden.



Abbildung 4.42: Ablesegerät für optisches Alignment (Kollimator)¹³³



Abbildung 4.43: Zielmarken für optisches Alignment¹³⁴

4.2.4.6 Einfache Winkelmessung und elektrooptische Distanzmessung

Mit der einfachen Winkelmessung werden normalerweise eindimensionale horizontale Lageänderungen bestimmt. Damit ist sie bezogen auf die Genauigkeit der Ergebnisse zwischen dem optischen Alignment, bei dem die Kontrollpunkte in einer horizontalen Ebene liegen, und der Triangulation (siehe S. 87) angesiedelt. Die Distanzen zu den Zielpunkten werden nicht jedes Mal neu erfasst sondern als konstant angenommen und sind in periodischen Abständen durch Triangulation zu kontrollieren.

Bei der einfachen Distanzmessung werden nur die Abstände zu den Kontrollpunkten ermittelt. Änderungen zwischen Messungen ergeben daher nur Verschiebungen in der Visurlinie. Horizontale und vertikale Verschiebungen müssen daher explizit berechnet werden.

Für beide Verfahren gilt, dass die Messergebnisse von der Genauigkeit des Messgerätes abhängen. Außerdem sollten beide Methoden nur im Zuge einer Triangulation angewandt werden, um die Genauigkeit zu erhöhen.

4.2.4.7 Nivellement

Das Nivellement ist ein einfaches Verfahren zur Ermittlung von vertikalen Verformungen. Eine grobe Unterteilung kann erfolgen in:

¹³³ Bild: [Sch05c, S. 2.10]

¹³⁴ Bild: [Sch05c, S. 2.10]

- geometrisches Nivellement

Hier wird der Höhenunterschied zum horizontal aufgestellten Nivelliergerät und Messlatten, welche vertikal auf die Mess- oder Zwischenpunkte gestellt werden, ermittelt.

Messgeräte für ein geometrisches Nivellement sind:

- Libellen-Nivelliere
- Analoge Kompensator-Nivelliere
- Digitale Kompensator-Nivelliere

Die Genauigkeit des Nivelliers ist abhängig von der Genauigkeit der Libelle oder des Kompensators sowie der Messlatte und kann für Präzisionsnivelliere $\pm 0,3 - 1$ [mm/km] betragen. Die Messlatten können aus Holzlatten, Profilen aus Kunststoff oder Leichtmetall bestehen. Die Teilung wird bei einfachen Nivellierlatten direkt auf den Träger, bei Präzisionsnivellierlatten allerdings auf ein Invarband gedruckt, welches auf den Träger gespannt wird. Bei Zielweiten über 200 [m] sind die Erdkrümmung und die terrestrische Refraktion zu berücksichtigen. Zur Vermeidung von fehlerhaften Messungen sollten bei häufig wiederholten Messungen sowohl die Zielpunkte als auch die Stand- oder Umsetzpunkte mit Bolzen dauerhaft versichert werden.

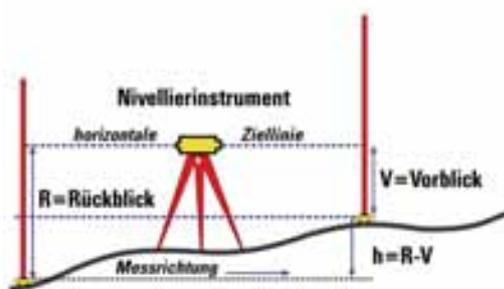


Abbildung 4.44: Nivellement (Systemskizze) ¹³⁵



Abbildung 4.45: Nivellier ¹³⁶

- trigonometrisches Nivellement

Höhenunterschiede können nicht direkt abgelesen werden, sondern werden aus Distanzmessungen und den zugehörigen Winkeln errechnet. Siehe dazu auch unter Triangulation ab S. 87.

¹³⁵ Bild: <http://www.vkz.de/de/heute/redaktion/archiv/lokal/maerz-2011/05/die-gesplittete-abwassergebuehr-kommt/>

¹³⁶ Bild: <http://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/stadtvermessung/geodaten/als/technologie.html>

- hydrostatisches Nivellement

Hierzu zählen die Schlauchwaagen (auch hydraulische „Setzpegel“ genannt), die auf dem physikalischen Prinzip der kommunizierenden Gefäße basieren. Sie haben den Vorteil, dass keine Sichtverbindung zwischen den Messpunkten bestehen muss. Bei digitalen Schlauchwaagen werden nicht die Wasserstände direkt abgelesen, sondern es wird über Druckdifferenzen auf die Höhenunterschiede zurückgerechnet. Dabei sind Höhenunterschiede bis zu 0,01 [mm] über eine Distanz von bis zu 250 [m] messbar. Entfernungen bis zu 20 [km] sind mit einem Gesamtfehler von unter 1 [mm] so zu bewerkstelligen. Dabei sind dann aber Einflüsse wie z.B. Temperaturunterschiede, Luftdruckunterschiede oder Schwereänderungen zu berücksichtigen.

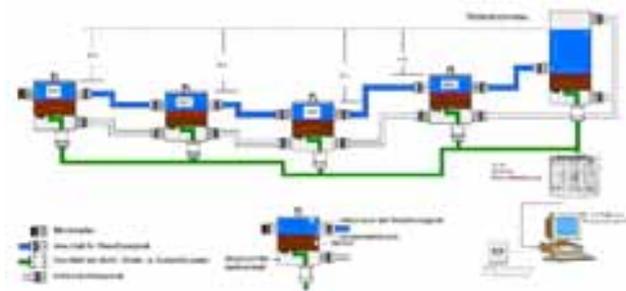


Abbildung 4.46: Präzisionsschlauchwaage (Systemskizze)¹³⁷



Abbildung 4.47: automatische Präzisionsschlauchwaage¹³⁸

4.2.5 Räumliche Verschiebung

Die Ermittlung räumlicher Verschiebungen erfolgt nicht nur an der Talsperre selbst, sondern sollte auch die Staubeckenflanken miteinbeziehen.

4.2.5.1 Photogrammetrie

Bei der Photogrammetrie werden im Unterschied zu anderen Vermessungsmethoden nicht die Objekte selbst vermessen, sondern deren Abbildung im Foto.

Die Erstellung der Aufnahmen erfolgt vom Flugzeug aus, und zwar dermaßen, dass jedes Objekt auf mindestens zwei einzelnen Fotos abgebildet ist. Die zur Erstellung dieser Fotos verwendeten hochqualitativen Apparate werden Messkammern oder Messbildkameras genannt.

¹³⁷ Bild: http://www.position-control.de/kompetenz_schlauchwaagenmesssysteme/

¹³⁸ Bild: <http://www.rolf-uwe-hochmuth.de/IBH-ASW.htm>

Heute werden keine analogen sondern nur noch digitale Messkammern hergestellt. Analoge Fotos können digitalisiert und dann wie neue digitale Aufnahmen weiter verarbeitet werden. Mittels rechnerischer Methoden und EDV-Software werden aus den Bilddaten photogrammetrische Modelle erstellt. Sind im erstellten Modell koordinativ bekannte Punkte sichtbar, kann das Modell maßstäblich dargestellt und ausgemessen werden.

Ursprünglich wurde die Photogrammetrie hauptsächlich für die großflächige Abbildung von Geländestrukturen in Form von Karten verwendet. Sie kann aber auch dazu benutzt werden, kleinere Gebiete wie Staubeckenflanken und Rutschhänge zu überwachen. Neue Entwicklungen erlauben es mit kalibrierten Digitalkameras auch relativ kostengünstig kleinräumige Modelle vom Boden aus zu erstellen, sofern diese einsehbar sind.¹³⁹ Bei der hochauflösenden Photogrammetrie sind auch kleine Nestsstellen durch Risse in der Betonmauer erkennbar. Die Risse selbst können lagemäßig gut erfasst werden, Angaben über die Risstiefe sind allerdings nicht möglich.¹⁴⁰

Die Auswertegenauigkeit ist eine Funktion der Flughöhe, wobei die Lagegenauigkeit 0,1 [%] und die Höhengenaugigkeit 0,15 [%] beträgt. Bei den üblicherweise verwendeten Messkammern entspricht dies einem Abbildungsmaßstab von 1:5.000, mittleren Lagefehlern von ± 10 [cm] und mittleren Höhenfehlern von ± 15 [cm]. Durch Verwendung entsprechend besserer Geräte und Techniken ist die Reduktion dieser mittleren Fehler auf die Hälfte möglich.

4.2.5.2 Laserscanning

Beim Laserscanning handelt es sich um eine reflektorlose Distanzmessung. Dabei wird ein Laserstrahl derart abgelenkt, dass es zu einer linien- (Vektorscanner) oder rasterartigen (Rasterscanner) Abtastung der Oberfläche bei gleichzeitiger Distanzmessung kommt. Aus den ermittelten Daten kann die entsprechende Software eine 3D-Punktwolke und dadurch ein 3D-Modell erzeugen.

Grundsätzlich lassen sich zwei Arten der Aufnahmesituation unterscheiden:

- Airborne Laserscanning (ALS)

Der Scan wird bei einer Befliegung mittels Flugzeug, Hubschrauber oder Ultraleichtflieger erstellt. Dabei ersetzt der Laserscanner die aus der Photogrammetrie bekannte Messkammer. Die Wahl des Fluggerätes ist auch abhängig von der gewünschten Auflösung des Modells, da Geschwindigkeit und Flughöhe hierfür - wie bei der Photogrammetrie - die entscheidenden Einflussfaktoren darstellen. So können bei einer Befliegung

¹³⁹[Gai98]

¹⁴⁰[Zwi12, S. 55ff]

mit dem Flugzeug Auflösungen bis ca. 4 [Laserpkt./m²], mit einem Hubschrauber jedoch bis zu ca. 15 [Laserpkt./m²] erreicht werden. Bei speziellen Anforderungen sind bis zu 50 [Laserpkt./m²] möglich. Zur Positionsbestimmung wird dabei meist eine Kombination aus mindestens einem GPS-Empfänger und inertialem Navigationssystem (INS) verwendet, wie dies in Abb. 4.49 dargestellt ist. Unter günstigen Bedingungen liegen die mittleren Lagefehler unter ± 20 [cm], die mittleren Höhenfehler unter ± 15 [cm].

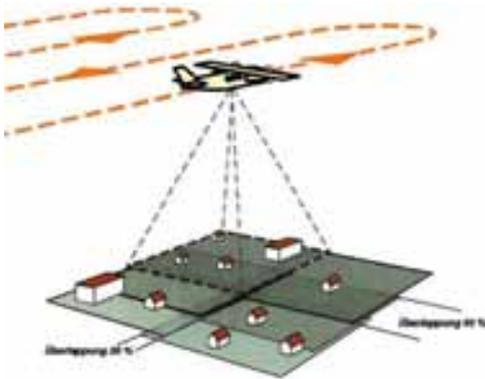


Abbildung 4.48: Schematische Darstellung einer Befliegung mit Überlappung ¹⁴¹

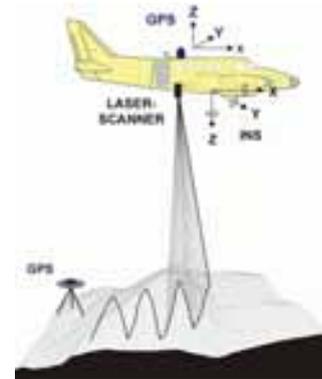


Abbildung 4.49: Schematische Darstellung der Positionsbestimmung bei einer Befliegung ¹⁴²

- Terrestrial Laserscanning (TLS)

Im Gegensatz zum ALS kann hier von einer statischen Aufnahmesituation ausgegangen werden. Es gibt aber auch Anwendungsszenarien, bei denen der Scanner auf ein Kfz, ein Schiff oder einen Zug montiert wird, um so linienförmige Strukturen (z.B. Lichtraumprofile einer Eisenbahnstrecke oder eines Tunnels) zu erfassen. Man spricht dann von kinematisch terrestrischem Laserscanning (k-TLS). Die relative Punktgenauigkeit liegt beim TSL unter 1 [cm] und hängt vor allem von der Distanz und der Reflexionsqualität der zu scannenden Oberfläche ab.

¹⁴¹ Bild: <http://www.vkz.de/de/heute/redaktion/archiv/lokal/maerz-2011/05/die-gesplittete-abwassergebuehr-kommt/>

¹⁴² Bild: <http://www.wien.gv.at/stadtentwicklung/stadtvermessung/geodaten/als/technologie.html>



Abbildung 4.50: Laserscanner für große Reichweiten mit eingebauter Kamera für richtige Farbinformation des Modells¹⁴³



Abbildung 4.51: terrestrischer Laserscan am Beispiel des Mount Rushmore (von der Punktwolke bis zum Modell)¹⁴⁴

Ist der Scanner in der Lage, zusätzlich zu den Entfernungen auch die Intensität des reflektierten Laserlichts zu erfassen, so spricht man von einem abbildenden Laserscanner. Dies erfolgt heutzutage in Graustufen mit einer Auflösung von 16 [bit]. Das Ergebnis ähnelt einem Schwarzweißfoto, welches aber auch über Tiefeninformationen verfügt. Die Kombination eines Laserscans und eines digitalen Farbfotos kann weitgehend die Photogrammetrie ersetzen.

4.2.5.3 Triangulation

Unter Triangulation versteht man die dreidimensionale Koordinatenbestimmung mittels in der Geodäsie verwendeten Messinstrumenten und Verfahren. Man spricht daher von einer „absoluten“ Verschiebungsmessung bezogen auf Bezugspunkte außerhalb des Einflussbereichs der Talsperre.

Dabei werden folgende grundsätzliche Methoden angewandt:

- Schnitt zweier Richtungen
- Schnitt zweier Distanzen (Bogenschnitt)

Die Genauigkeit ist bei der Messung von Winkeln höher, als bei jener von Strecken, speziell dann, wenn die Distanzen sehr groß werden. In der Praxis werden die beiden oben genannten Verfahren aber meist kombiniert.

In der Vergangenheit wurde unterschieden in:

- Präzisions- oder Sekundentheodolit

Mit ihnen ist es möglich Horizontal- und Vertikalwinkel zu messen

¹⁴³ Bild: <http://ngm.nationalgeographic.com/2013/12/laser-archaeology/rushmore-interactive>

¹⁴⁴ Bild: <http://www.grupoacre.com/topografia-alquiler-venta-servicio-tecnico/productos/ver/escaner-laser-leica-hds8810>

- Präzisionsdistanzmesser (Distanzer)

Sie dienen ausschließlich der Entfernungsmessung mit hoher Genauigkeit.

In heutigen Totalstationen ist die Funktion eines Präzisionstheodoliten und eines Laserscanners vereint.



Abbildung 4.52: Multistation inklusive Laser-scannereinheit¹⁴⁵



Abbildung 4.53: Präzisionsreflektor (Tripleprisma)¹⁴⁶

Großräumige und absolute Verschiebungen in vertikaler und horizontaler Richtung können ebenfalls mittels geodätischer Messungen erfolgen.

Zu den Nachteilen zählt, dass zwingend eine Sichtverbindung zwischen Beobachtungs- und Messpunkt bestehen muss. Außerdem sind die Messungen insofern wetterabhängig, als es durch atmosphärische Störungen wie Refraktionen oder Flimmern zu Beeinflussungen kommen kann. Die Genauigkeit der Messergebnisse ist generell zu einem sehr hohen Maß von der Entfernung abhängig.

4.2.5.4 Satellitengestützte Messungen

Das globale Navigationssatellitensystem (GNSS, Global Navigation Satellite System) besteht mittlerweile nicht nur aus dem bekanntesten und für viele zum Synonym gewordenen System der Vereinigten Staaten von Amerika (GPS, Global Positioning System), sondern umfasst auch jene Systeme der Russischen Föderation (GLONASS, Global Navigation Satellite System), der Europäischen Union (Galileo) und Chinas (Compass) sowie das sich noch in Planung befindliche System Indiens (IRNSS).

¹⁴⁵ Bild: http://www.leica-geosystems.com/de/Leica-Nova-MS50_103592.htm

¹⁴⁶ Bild: http://www.leica-geosystems.de/images/new/product_solution/GPH-1P-PIC-500x500.jpg

Vom Messprinzip her handelt es sich bei der satellitengestützten Messung um eine Triangulation bei der nur Distanzen gemessen werden. Es werden allerdings nicht Entfernungen zwischen Punkten auf der Erde gemessen, sondern zwischen einem Empfänger und speziellen Navigationssatelliten. Die Position des Empfängers ergibt sich aus dem Schnittpunkt dreier Kugeln mit den bekannten Satellitenpositionen als Kugelzentren und den gemessenen Entfernungen als Radien. Für eine eindeutige Lösung sind 4 sichtbare Satelliten erforderlich. Diese Anzahl ist deswegen nötig, weil drei Gleichungen für die Ortsbestimmung und eine weitere zur Bestimmung der exakten Zeit erforderlich sind. Aus diesem Umstand ergibt sich auch die Notwendigkeit von mindestens 24 Satelliten, um theoretisch auf jedem Punkt der Erde und zu jeder Zeit mindestens 4 Satelliten im Sichtfeld zu haben. Ansonsten bietet die satellitengestützte Messung gegenüber der konventionellen geodätischen Vermessung den Vorteil, weitgehend von meteorologischen Verhältnissen unabhängig zu sein. Außerdem ist keine direkte Sichtverbindung zwischen den einzelnen Stationspunkten erforderlich.

Ein Verfahren zur Erhöhung der Genauigkeit, wie dies bei der Talsperrenüberwachung nötig ist, nennt sich differentielles GPS/GNSS. Durch Verwendung eines zweiten GPS/GNSS-Empfängers können damit präzisere Positionsbestimmungen relativ zu einem bekannten Punkt vorgenommen werden. Aus der gleichzeitigen Beobachtung der sichtbaren Satelliten ergeben sich aus den unterschiedlichen Entfernungen zu den Satelliten auch unterschiedliche Positionen der einzelnen Empfänger. Durch geeignete Auswerteverfahren lassen sich die relativen Koordinatenunterschiede der beiden Standpunkte mit höherer Genauigkeit bestimmen. Trotzdem kann auf Grund vieler systembedingter Variablen und deren Unsicherheiten (z.B. bei den Bahndaten, den verwendeten Uhren, atmosphärischen Einflüssen usw.) noch nicht die Genauigkeit konventioneller geodätischer Messmethoden erreicht werden.



Abbildung 4.54: GNSS-Empfänger auf Lotstange mit Bedienungseinheit¹⁴⁷

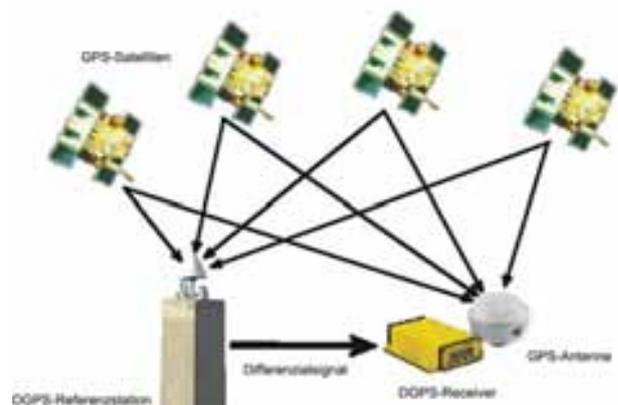


Abbildung 4.55: Differentielles GNSS (Systemskizze)¹⁴⁸

¹⁴⁷ Bild: <http://www.geooptic.ru/GNSS/GNSS-Net-Rover/LEICA-GS14-UHF-GSM-Viva/>

¹⁴⁸ Bild: http://www.ecogis.de/gps_de.html

4.2.6 Bewegungen von Rissen

Da das Bewegungsmuster einer Fuge dem eines Risses ähnlich ist, wird im Folgenden der Einfachheit halber nur noch von Rissen gesprochen, obwohl dies auch auf Fugen anwendbar ist.

Eine Unterscheidung ist anhand der Bewegungsrichtung in Bezug auf den Riss möglich in:

1. normal

Öffnen und Schließen des Risses.

2. parallel

Versatz der Rissufer in einer Ebene.

3. räumlich

Die Rissufer verschieben sich derart, dass die zugehörigen Flächen nicht mehr in einer Ebene liegen.

4. Kombinationen der Punkte 1 bis 3

Hier ist es erforderlich, drei orthogonal zueinander liegende Richtungen zu vermessen.

Im Allgemeinen lassen sich Risse sehr genau vermessen. Es gilt jedoch zu beachten, dass auf Grund des relativ kleinen Betrachtungsmaßstabes die Ergebnisse stark lokal beeinflusst sein können und daher eventuell nicht repräsentativ für das ganze Bauwerk sind.

Abhängig von der Anzahl der Verschiebungsvektoren gemäß den zuvor genannten Bewegungsarten und deren zu erwartender Größenordnung kommen die nachfolgenden Messverfahren zum Einsatz:

Messbolzen und andere zweiteilige Aufbauten Bei diesen Verfahren kommen Messbolzen, welche direkt in entsprechende Bohrungen eingeschraubt werden, oder andere Konstruktionen (sogenannte Jointmeter, Crackmeter oder Fissurometer) zum Einsatz.

Sie sind zweiteilig und werden in die beiden durch den Riss getrennten Betonoberflächen versetzt um deren Abstände zu ermittelt. Es gibt sie in unterschiedlichen Ausführungen, die entweder mit Dübeln und Schrauben (siehe Abb. 4.56) am Untergrund befestigt oder in Bohrungen eingesetzt und anschließend mit z.B. einer Zementsuspension kraftschlüssig verankert werden (siehe Abb. 4.57). Alle Konstruktionen verfügen über Halterungen oder Bohrungen für die Messwertaufnehmer und über plane, oft extra definierte, Gegenstücke.

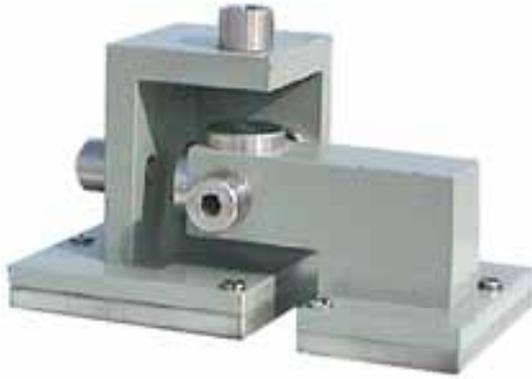


Abbildung 4.56: Auf Basis aufschraubbares Jointmeter mit Öffnungen für die Aufnahme von drei Messuhren zur 3D-Vermessung¹⁴⁹



Abbildung 4.57: Einfaches Jointmeter mit Bohrungen für die Aufnahme für drei LVDT's zur 3D-Vermessung¹⁵⁰

Dehnungsmessstreifen (DMS)¹⁵¹ Alle Arten von Dehnungsmessstreifen basieren auf dem Funktionsprinzip der Ohm'schen Längenmessung. Ihr Funktionsprinzip ähnelt damit jenen der Potentiometer, allerdings ergibt sich bei den DMS die Widerstandsänderung durch Längen- und Querschnittsänderung. Somit führt auch hier jede Verformung zu einer Veränderung des elektrischen Widerstands. Es gibt sie in verschiedenen Materialausführungen, welche von Draht- über Folien- bis zu Halbleiter- und Mehrfach-DMS reichen. Sie sind auch in unterschiedlichen Anordnungsformen wie z.B. Vollbrücken- oder Rosetten-DMS verfügbar. Dadurch sind Dehnungen in unterschiedliche Richtungen gleichzeitig messbar. DMS ermöglichen die Rissbreitenmessung in einem Bereich von 0,5 – 100 [mm] mit einer Genauigkeit von 0,1 – 1 [%] der Dehnungsänderung.

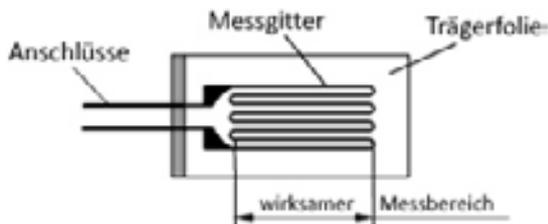


Abbildung 4.58: Dehnungsmessstreifen (Systemaufbau)¹⁵²



Abbildung 4.59: Einfacher Foliendehnungsmessstreifen¹⁵³

Deformeter Hier werden in einem definierten Abstand (Basislänge z.B. 500 [mm]) Bolzen gesetzt, welche dann mittels bis zu einem Messbereich von 5 [mm] mit einer Genauigkeit von $\pm 0,003$ [mm] vermessen werden können.

¹⁴⁹ Bild: <http://www.itm-soil.com.au/content/mechanical-triaxial-jointmeter>

¹⁵⁰ Bild: <http://www.tritech.com.sg/instrument/index.php/crackjoint-meter/triaxial-crackjoint-meter>

¹⁵¹ [HBG05, S. 305f]

¹⁵² Bild: <http://www.kurcz.at/dehnung.php>

¹⁵³ Bild: <http://www.me-systeme.de/dehnungsmessstreifen/>



Abbildung 4.60: Deformeter in Drauf- und Ansicht mit montierter digitaler Messuhr¹⁵⁴

Deflektometer Das Messgerät selbst besteht aus einem präzisen Drehgeber mit darauf befestigtem Messrad. Die Messanordnung sieht so aus, dass sich der Drehgeber auf dem einen Rissufer befindet, während auf dem anderen Rissufer ein Bolzen gesetzt wird. An diesem Bolzen wird ein Magnet angebracht, an dem ein Messdraht befestigt ist. Dieser Messdraht wird über das Messrad geführt und durch ein Gewicht gespannt.

Das Verfahren kann auch benützt werden, um die Verlängerung von Ankern beim Spannvorang aufzuzeichnen.

4.2.7 Sickerwassermenge

Es ist darauf zu achten, dass das austretende Wasser möglichst vollständig gesammelt wird. Sickerwasser ist soweit möglich von Wasser aus Drainageleitungen zu separieren, um getrennte Aussagen treffen zu können. Niederschlagswässer sind ebenfalls gesondert abzuführen.

4.2.7.1 Volumetrische Messung mit Behälter und Stoppuhr

Diese ist das einfachste und kostengünstigste Verfahren zur Bestimmung der Sickerwassermenge. Es wird lediglich ein kalibrierter Behälter und eine Stoppuhr benötigt, um das gefasste Wasser, welches aus Rissen oder Bohrungen austritt, aufzufangen und die Zeit zu stoppen, die für eine Füllung des Gefäßes erforderlich ist.

¹⁵⁴Bild: <http://www.huggenberger.com/de/messgeraete-fuer/dehnung-laengenaenderung-und-setzung/deformeter-duedu.html>

Je nach erwartetem Wasserzufluss ist auch die Größe des Messbehälters zu wählen. Ist sie nämlich zu klein, wird der Behälter zu schnell voll und es ist keine repräsentative Zeitnahme möglich. Es ist daher eine Zeitspanne bis zur Vollfüllung von mindestens 20 [sec] anzustreben.

4.2.7.2 Messüberfall und Messkanal

Dieses Verfahren eignet sich hervorragend für die automatisierte Überwachung, da es ab einem Mindestdurchfluss von ca. 0,05 [l/s] sehr genau und auch die elektronische Messdatenermittlung leicht möglich ist.

Zur Ermittlung der Durchflussmenge in einem Messkanal wird der Wasserstand an einem geeichten dreieckigen oder trapezförmigen Messwehr oder in einem Venturi-Kanal gemessen.

Die eigentliche Messung kann mittels der unter Wasserspiegel-Messung (siehe S. 59ff) angeführten Geräte wie z.B. Lattenpegel, Stechpegel, Echolot, Schwimmpegel, Druckmesssonde oder pneumatischem Pegel erfolgen.

Die Größe von Messkanal und Überfall sind an die größten zu erwartenden Wassermengen anzupassen und sollten auch noch eine Reserve aufweisen, denn ein unterwasserseitiger Aufstau würde zu falschen Messergebnissen führen.

Die Messung des Wasserstands soll vor Ort mittels Latten- oder Stechpegel leicht kontrolliert werden können. Messkanal und Überfall sind regelmäßig zu reinigen um Ablagerungen und somit falsche Messergebnisse zu vermeiden.



Abbildung 4.61: Durchflussmessung: Messwehr mit Saitenschwingsensor ¹⁵⁵



Abbildung 4.62: Durchflussmessung mit Venturi-Kanal ¹⁵⁶

4.2.7.3 Messung in vollen Rohren

¹⁵⁵ Bild: <http://de.itmsoil.com/pages/thomson+Wehr>

¹⁵⁶ Bild: http://axel-zangenberg.de/az_wiki/index.php?title=Datei:Wallmerod_Verbandsgemeinde_-_KA_Hundsangen_-_SW-_DN_250_-001_

§281&29.JPG

Grundsätzlich sollte bei allen nachfolgenden Systemen dafür gesorgt werden, dass die Rohre tatsächlich voll gefüllt sind, da es sonst zu Messfehlern kommen kann. Daher sollten technische Vorkehrungen getroffen werden, damit dies auch größtenteils eingehalten wird, z.B. durch Anordnung eines erhöhten Auslaufes, sodass die Messstelle auch dann vollkommen gefüllt bleibt, wenn kein neues Sickerwasser mehr Zutritt und die Geschwindigkeit auf Null abfällt.

Vom Messprinzip lassen sich die Messungen unterteilen in:

- Druckdifferenzverfahren

Es gibt unterschiedliche Sensoren, die je nach Aufbau als Venturi-Kanal, Pitot-Rohr, Prandtl-Sonde oder Messblende bekannt sind.

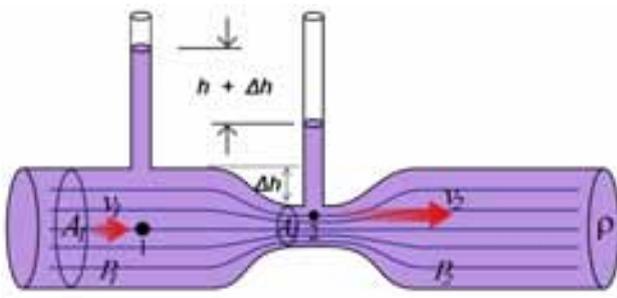


Abbildung 4.63: Durchflussmessung mit Venturi-Kanal (Systemskizze) ¹⁵⁷



Abbildung 4.64: Durchflussmessung mit Venturi-Kanal, Anwendungsbeispiel ¹⁵⁸

- Elektromagnetische Verfahren

Der gebräuchlichste Typ bei einer Vielzahl dieser Sensoren ist der magnetisch-induktive Durchflussmesser (MID). Dabei wirkt ein von außen aufgebrachtes Magnetfeld senkrecht zur Fließrichtung auf die leitende Flüssigkeit. Durch die Magnetisierung der Ionen in der Flüssigkeit kommt es zu einer Teilung der Ladungsträger je nach Polarisation. Durch diesen Trennungsvorgang entsteht eine Spannung, die proportional zur Fließgeschwindigkeit ist. Dieser Sensortyp kann Messungenauigkeiten bei sehr kleinen oder zeitweise versiegenden Abflüssen aufweisen.

- Ultraschallverfahren

Mit Ultraschallsensoren, welche dreiteilig sind und aus Sender, Empfänger und Auswerteeinheit bestehen, lässt sich die Geschwindigkeit der Flüssigkeit mithilfe der Ausbrei-

¹⁵⁷ Bild: https://en.wikipedia.org/wiki/Venturi_effect

¹⁵⁸ Bild: <http://www.itrc.org/facilities/facilitieswdf.htm>

¹⁵⁹ Bild: http://www.stebatec.ch/Products/Messen_Regeln/messen_regeln.php

¹⁶⁰ Bild: <http://www.directindustry.de/prod/endress-hauser/magnetisch-induktive-durchflussmesser-mid-wasser-abwasserindustrie-4726-1331133.html>



Abbildung 4.65: Durchflussmessung, magnetisch-induktiv (Systemskizze) ¹⁵⁹



Abbildung 4.66: Durchflussmessung, magnetisch-induktiv mit Auswerteeinheit und Anzeige ¹⁶⁰

tungsgeschwindigkeit von akustischen Wellen ermitteln. Als Sonderfall gibt es sogenannte „Clap-On“-Lösungen, die nachträglich und nichtinvasiv installiert werden können (siehe Abb. 4.68). Allerdings ist das Verfahren nicht für stark schwankende Abflüsse geeignet. Der Nenndurchmesser der Messeinrichtung sollte daher so gewählt werden, dass die Fließgeschwindigkeit 2 – 3 [m/s] beträgt.

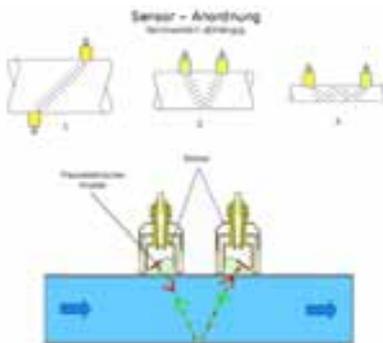


Abbildung 4.67: Durchflussmessung mittels Ultraschall (Systemskizze) ¹⁶¹



Abbildung 4.68: Durchflussmessung mittels Ultraschall, „Clap-On“-Lösung ¹⁶²

4.2.7.4 Messung in teilgefüllten Rohren

Im Gegensatz zu den Messverfahren für vollgefüllte Rohre, ist hier dafür zu sorgen, dass die Messstelle nie zuschlägt. Dies ist durch die Wahl eines entsprechend großen Nenndurchmessers leicht umzusetzen.

Auch bei der Messung in teilgefüllten Rohren können elektromagnetische oder Ultraschallverfahren zum Einsatz kommen. Allerdings wird die Fließgeschwindigkeit und der Füllstand

¹⁶¹ Bild: http://www.stebatec.ch/Products/Messen_Regeln/messen_regeln.php

¹⁶² Bild: <http://www.directindustry.de/prod/endress-hauser/magnetisch-induktive-durchflussmesser-mid-wasser-abwasserindustrie-4726-1331133.html>

getrennt erhoben, um daraus den Durchfluss zu berechnen. So kann z.B. mittels Ultraschall die Höhe des Wasserspiegels (Laufzeitmessung in der Luft) und die Fließgeschwindigkeit (Laufzeitmessung in der Flüssigkeit) ermittelt werden.

Es ist zu beachten, dass Kalk- und Sedimentablagerungen zu vermeiden sind, da sie zu Messungenauigkeiten führen. Dies gilt ebenso für sehr geringe bis teilweise versiegende Abflüsse bei Verwendung eines elektromagnetischen Messverfahrens. Zusätzlich sollten Wellen- und Wirbelbildung vor und nach der Messstelle durch Anordnung von Beruhigungsstrecken vermieden werden.

4.2.8 Druck

Die Erfassung erfolgt mittels Druckmessdosen. Hiermit ist es auch möglich, Porenwasserdrücke und Auftriebskräfte zu ermitteln. Es sind unterschiedliche technische Ausführungen verfügbar, welche sich in der Art der Messwertübertragung unterscheiden. Es kommen - abhängig von Hersteller und Übertragungslänge - elektrische, hydraulische und pneumatische Verfahren zur Anwendung. Hydraulische und pneumatische Systeme sind temperaturabhängig und verlangen auch einen höheren Wartungsaufwand, da sie jährlich gespült (mit Wasser oder Gas) werden müssen.

4.2.9 Spannung

Spannungen lassen sich indirekt über eine Erddruckmessdose (siehe Druck, S. 96) ermitteln.

4.2.10 Temperatur

Die Temperaturmessung spielt sowohl im Talsperrenbau als auch im Betrieb eine wichtige Rolle. Beim Bau ist sie vor allem zur Kontrolle der maximalen Abbinde-temperaturen des Betons wichtig. Dagegen kommt es während des Betriebs sowohl auf die Luft-, Wasser- und Beton- bzw. Sperrtemperaturen an, da diese im Zusammenspiel mit dem Stauspiegel einen großen Einfluss auf die Verformung vor allem schlanker Talsperren haben.

4.2.10.1 Normalthermometer

Um die Betontemperaturen im Inneren einer Talsperre zu messen, eignen sich Normalthermometer gut, da sie einfach zu bedienen und auszutauschen sind. Es handelt sich dabei um gewöhnliche Glasthermometer, die an einer Schnur oder einer Führungsstange in Bohrlöcher

bzw. einbetonierte Rohre auf die entsprechende Tiefe abgesenkt werden, um dort die Temperatur zu messen. Die Temperatur muss direkt am Thermometer abgelesen werden. Diese Methode eignet sich daher nicht für die Fernübertragung oder automatisierte Datenauswertung.

Glasthermometer eignen sich natürlich auch zur Bestimmung der Luft- und Wassertemperatur. Eine spezielle Lösung zur Bestimmung der Wassertemperatur ist das sogenannte Schöpfthermometer, welches auch in der Schifffahrt eingesetzt wird. Es handelt sich dabei um ein Gefäß, in welches ein Thermometer eingearbeitet wird. Durch das Füllen der Messkammer mit Wasser, kann das Thermometer die Wassertemperatur annehmen und halten (Stichwort Trägheit). So ist es möglich, die Temperatur auch dann zuverlässig zu messen, wenn der Wasserspiegel z.B. in einem Schacht tief ist und es länger dauert, das Thermometer zwecks Ablesung nach oben zu ziehen.



Abbildung 4.69: Glasthermometer¹⁶³



Abbildung 4.70: Wasserschöpfthermometer¹⁶⁴

4.2.10.2 Elektrisches Thermometer

Da die Temperaturen des Betons einen nicht unerheblichen Einfluss auf die Verformung der Talsperre haben, trachtet man danach, diese kontinuierlich zu erfassen. Dies gelingt mit den sogenannten elektrischen Thermometern, welche einbetoniert oder in ein Bohrloch eingebracht werden können.

Generell ist bei elektrischen Thermometern zu beachten, dass Nullpunktverschiebungen auftreten können. Verschleißerscheinungen des Sensors sind durch eine Drift des Messsignals erkennbar. Störungen treten vor allem durch fehlerhafte Kabelverbindungen, z.B. infolge Korrosion, auf. Weiters ist, wie bei anderen elektrischen Sensoren, auf einen Überspannungsschutz zu achten.

Bei der Wirkungsweise unterscheidet man zwischen:

¹⁶³ Bild: http://www.h-kronenberg.ch/eshop/components/com_virtuemart/shop_image/product/Glasthermometer_4ea12697dc12c.jpg

¹⁶⁴ Bild: <http://www.th-friedrichs.de/produkte/temperatur/temperaturfuehler/aussenbordthermometer-marinepuetz/>

- Widerstandsthermometer

Die durch eine Temperaturänderung hervorgerufene Widerstandsänderung eines elektrischen Leiters wird durch eine Messbrücke registriert.

Bekanntester Vertreter ist das Pt100, wobei dies für einen 100 [Ohm] Platinwiderstand steht. Für die gleiche zu messende Spannung braucht man bei Verwendung von höheren Widerständen einen kleineren Strom. Dies hat den Vorteil, dass die Eigenerwärmung geringer ist.

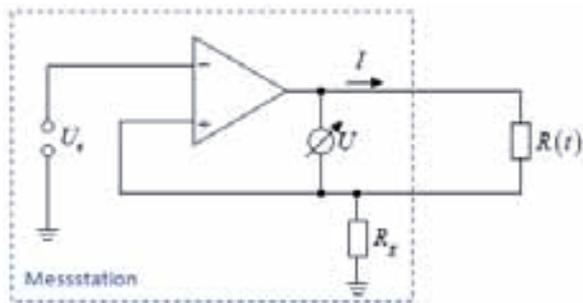


Abbildung 4.71: Widerstandsthermometer (Beispiel für einen möglichen Schaltplan) ¹⁶⁵



Abbildung 4.72: Widerstandsthermometer (fertig aufgebautes Pt100) ¹⁶⁶

- Thermoelement (Thermocouple)

Zwei unterschiedliche Metalle sind an einem Ende miteinander verbunden. Der sich aus einer Temperaturdifferenz (z.B. zwischen Beton und Luft) ergebende Wärmefluss erzeugt eine elektrische Spannung, die gemessen und aufgezeichnet werden kann.

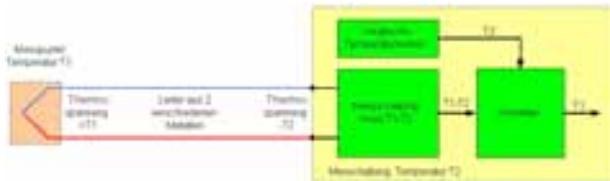


Abbildung 4.73: Thermoelement (Beispiel für einen möglichen Schaltplan) ¹⁶⁷



Abbildung 4.74: Thermoelement in Gehäuse für den Einbau in Beton ¹⁶⁸

4.2.10.3 Thermograph

Der Thermograph ist ein Messgerät zur kontinuierlichen Temperaturmessung und Aufzeichnung. Die Aufzeichnung kann analog über einen auf dem Schreibarm befestigten Schreibaufsatz

¹⁶⁵ Bild: <http://me-lrt.de/widerstandsthermometer>

¹⁶⁶ Bild: <http://www.directindustry.de/prod/wika-alexander-wiegand/kabel-widerstandsthermometer-6196-1020399.html>

¹⁶⁷ Bild: http://www.praezisionsmesstechnik.de/mwgp/messuhr/ska0001/Messuhr_KA10167.html

¹⁶⁸ Bild: <http://www.directindustry.de/prod/wika-alexander-wiegand/kabel-widerstandsthermometer-6196-1020399.html>

auf eine Papiertrommel erfolgen. Dabei ist die mögliche Aufzeichnungsdauer von der Rotationsgeschwindigkeit des Trommeluhrwerks abhängig und kann zwischen 7 und 31 Tagen betragen. Das Uhrwerk kann ja nach Ausführung mittels Handaufzug oder Batterie- bzw. Strombetrieb bewegt werden. Neuere Geräte sind mit einem elektrischen Thermometer ausgestattet, bei dem das Messsignal digital erfasst und aufgezeichnet werden kann. Für den Aufstellort beider Typen gilt, dass dieser repräsentativ für die Talsperre ist. Er sollte weiters vor direkter Sonneneinstrahlung und Luftzug geschützt sein, um die Messergebnisse nicht zu verfälschen. Daher sollte der Thermograph möglichst in einem Wetterhäuschen aufgestellt werden, was auch den Vorteil hat, dass dieser vor eindringendem Pulverschnee geschützt ist, welcher ebenfalls zu Ausfällen führen kann. Zur Kontrolle der vom Thermographen aufgezeichneten Messwerte sollten Minimum/Maximum-Thermometer herangezogen und die Ablesungen regelmäßig verglichen werden.

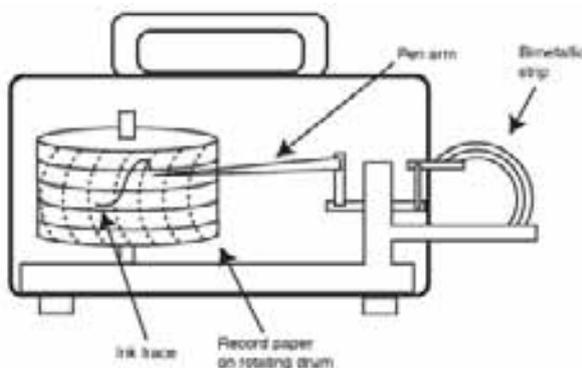


Abbildung 4.75: Thermograph (Systemskizze)¹⁶⁹



Abbildung 4.76: Thermograph¹⁷⁰

4.2.10.4 Faseroptischer Temperaturegeber (Distributed Temperature Sensing, DTS)

Die Messeinrichtung besteht aus einer Glasfaser, welche durch ein Kabel geschützt wird. Durch Aussenden von Lichtimpulsen kommt es zu Wechselwirkungen mit dem Silizium, was sich an den unterschiedlichen Stellen durch unterschiedliche Reflexionen und Ablenkungen äußert. Durch Messung der Intensität des reflektierten Lichts und der Phasenverschiebung der einzelnen Impulse lässt sich die Temperatur an den verschiedenen Orten bestimmen. Wird zusätzlich die Laufzeit zwischen dem Aussenden und dem Empfang des Impulses gemessen, lässt sich die Temperatur an allen Stellen des Kabels ermitteln. Das Messsystem wird dann als „verteilt“ bezeichnet. Messsysteme zur verteilten Temperaturmessung sind dort sinnvoll, wo eine große Anzahl an Messpunkten vorhanden ist. Vorteile sind die einfachere Installation des Lichtwellenleiters als bei einer größeren Anzahl von konventionellen einzelnen Temperatursonden,

¹⁶⁹ Bild: <http://www.infoplease.com/cig/weather/take-temperature.html>

¹⁷⁰ Bild: http://www.meteo.psu.edu/~j2n/3_29_Thermograph.gif

die Unempfindlichkeit des Kabels gegenüber elektromagnetischen Störungen und Korrosion. Außerdem ist das Verfahren auch für die Fernübertragung geeignet. Die Herstellung einer Redundanz ist durch Verwendung eines zweiten parallel verlegten Kabels oder durch weitere Lichtwellenleiter im Kabel umsetzbar. Dieses Verfahren zeichnet sich durch seine große Reichweite aus, die von 10 [km] (Typ Raman) bis 30 [km] (Typ Brillouin) reicht und die bei einer örtlichen Auflösung von ca. 1 [m] eine Temperaturgenauigkeit von 0,1 bis 1,0 [°C] ermöglicht.

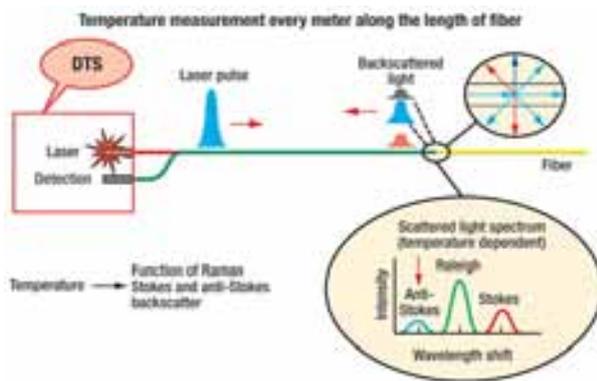


Abbildung 4.77: Faseroptische Temperaturmessung (Systemskizze)¹⁷¹



Abbildung 4.78: Leckageortung mittels DTS bei der Sperre Nam Ngum 2¹⁷²

Das Messsystem wird auch zur Erkennung von Leckagen verwendet, da es meist zu Temperaturdifferenzen zwischen durchsickerndem Wasser und der trockenen Sperre kommt, welche somit erfasst und örtlich zugeordnet werden können. Zur Verstärkung des Effektes kann in das Kabel auch ein elektrischer Leiter eingebaut werden, welcher durch die Beaufschlagung mit Strom als Heizung fungiert. Somit kommt es im Bereich einer Sickerströmung zu einem ausgeprägteren Temperaturabfall.

4.2.11 Niederschlag

Die Messung der Niederschlagsmenge erlaubt eine Interpretation hinsichtlich Größe und zeitlichem Versatz zu den ebenfalls gemessenen Sicker- und Drainagewassermengen sowie der Wasserdrücke im Fundament, da diese durch die Höhe des Grundwasserspiegels beeinflusst werden. Der Niederschlag kann mit einem Pluviometer, einem Totalisator oder einem Pluviograph erfasst werden. Niederschlagsmesser mit einer definierten Auffangfläche werden als Ombrometer bezeichnet. Wichtig ist bei allen Geräten, dass der Aufstellort so gewählt wird, dass er repräsentativ und gleichzeitig vor starker Windbeeinflussung geschützt ist.

¹⁷¹ Bild: <http://www.worldoil.com/Distributed-temperature-sensing-yields-lessons-for-acid-treatment.html>

¹⁷² Bild: <http://www.roctest-group.com/fr/node/486>

Pluviometer Dabei handelt es sich um die einfachste Art, die gefallene Regenmenge zu erfassen. Als Messgerät dient im Wesentlichen ein Zylinder, der als Auffanggefäß dient und über eine Grundfläche von $200 \text{ [cm}^2\text{]}$ verfügt. In Gebirgsregionen kommen auch Auffangbehälter mit einer Grundfläche von $500 \text{ [cm}^2\text{]}$ zum Einsatz. Die gefallene Niederschlagsmenge kann mittels Messglas abgelesen werden.

Totalisator Im Unterschied zum Pluviometer kann der Totalisator die Regenmenge eines halben bis ganzen Jahres aufnehmen. Die Konstruktion besteht aus einer ebenfalls $200 \text{ [cm}^2\text{]}$ großen Einfallöffnung und einem sich nach unten hin konisch erweiternden Sammelgefäß. Das Messintervall ist meist größer (etwa ein Monat).

Pluviograph Hierbei handelt es sich um Geräte, welche Niederschlagsmengen mechanisch oder elektronisch aufzeichnen. Dabei kommt meist eine Kippwaage zum Einsatz, die bei einem Gewicht von 1 [mm] Niederschlag kippt und einen Impuls auslöst. Die Summe der Impulse je Zeiteinheit wird registriert. Einfachere Varianten sind mit einem Schwimmer ausgestattet, welcher über einen Schreibarm die Niederschlagshöhe bis zu 10 [mm] aufzeichnet, bevor das Sammelgefäß automatisch entleert wird und eine neue Aufzeichnung beginnt.



Abbildung 4.79: Pluviograph (Systemskizze)¹⁷³



Abbildung 4.80: Pluviograph¹⁷⁴

Es sind auch Sonderlösungen verfügbar, die festen Niederschlag, wie Graupel, Schnee oder Hagel, mit einer Heizung schmelzen oder direkt das Gewicht messen.

Weiters gibt es die sogenannten Distrometer. Dabei handelt es sich um Speziallösungen, welche mittels Ultraschall, Laser oder über ein Membran die Tropfengröße und -anzahl ermitteln und damit die Niederschlagsmenge und -art berechnen können.

4.2.12 Beschleunigung

¹⁷³ Bild: http://www.reinhardt-testsystem.de/deutsch/klima_sensoren/presentation_klima_sensoren/praesw09.php

¹⁷⁴ Bild: https://www.reinhardt-testsystem.de/deutsch/klima_sensoren/einzel_und_kombisensoren/regensensor_ombrometer_pluviometer_

Für die Untersuchung von Schwingungen, die Beurteilung der Dynamik von Talsperren und die zeitgerechte Warnung im Falle eines Erdbebens, werden sogenannte Starkbebenaufnehmer eingesetzt. Hierbei handelt es sich um Beschleunigungsaufnehmer, welche auf dem Prinzip der piezoelektrischen Messtechnik basieren. Die Beschleunigungen können in drei zueinander orthogonalen Richtungen erfasst werden.

Es werden zumindest drei Messinstrumente empfohlen, welche am Fuß, an der Krone sowie im Nahbereich der Sperre angebracht werden müssen. Je präziser jedoch die Analyse der Schwingungen sein soll (dies ist vor allem bei Gewölbemauern wichtig), desto mehr Geräte sollten eingesetzt werden.

4.2.13 Sedimentniveau

Die Höhe der Ablagerungen erfolgt indirekt durch Messung der verbleibenden Wassertiefe. Diese wird mittels Abloten oder durch Verwendung eines Unterwasser-Echolots (gleiches Prinzip wie beim Echolot mit Radar oder Ultraschall, S. 62) von einem Boot aus ermittelt.

Dabei ist nicht nur die Ermittlung der Tiefe wichtig, sondern auch die Position des Bootes. Dies kann von einem am Ufer eingemessenen Standpunkt indirekt durch Triangulation (siehe S. 87) zum Boot oder direkt durch Satellitengestützte Messungen (siehe S. 88) mittels eines am Boot befestigten Empfängers erfolgen. Bei engen Tälern mit schlechtem GPS-Empfang kann es unumgänglich sein, auf eine Lösung mittels Winkel- und Entfernungsmessung durch Verwendung eines automatischen Theodolites zurückzugreifen. Bei beiden Lösungen kann der Personaleinsatz mit zwei Mann (Bootsführer und Operateur) sehr klein gehalten werden.

Mit dieser Ausrüstung ist es möglich, an einem Messtag ca. 100 Messprofile mit einer Länge von je ca. 300 - 400 [m] herzustellen. Positionsgenauigkeiten von unter 1 [dm] sind dabei problemlos erreichbar.

Die Echolot-Methode kann auch zur Kolktiefenbestimmung herangezogen werden.



Abbildung 4.81: Sedimentniveaubestimmung mittels Echolot von einem Boot aus (Systemskizze)¹⁷⁵



Abbildung 4.82: Sedimentniveaubestimmung mittels Fächer-Echolot und GPS-Positionierung¹⁷⁶

4.2.14 Betoneigenschaften

4.2.14.1 Betonprüfhammer

Das unter dem Namen Schmidt-Hammer bekannte Messsystem erlaubt Rückschlüsse auf die Betonqualität durch eine zerstörungsfreie Prüfung. Dabei wird ein Schlagbolzen senkrecht gegen die zu prüfende Oberfläche gedrückt, wodurch eine Masse freigegeben und durch Federkraft auf den Bolzen geschlagen wird. Aus dem Maß des Rückpralls kann auf die Betonfestigkeit geschlossen werden.

Wichtig ist, dass die Umrechnungstabellen, welche dem Gerät beiliegen, beachtet werden, da hier der Einfluss der Orientierung des Hammers während des Versuchs berücksichtigt wird. Bei Geräten mit elektronischer Aufzeichnung wird dies bereits durch einen Lagesensor eingerechnet.

4.2.14.2 Kernbohrung und Laborversuche

4.2.15 Wartung

Es ist in regelmäßigen Abständen zu kontrollieren, ob die Sensoren bzw. Messgeräte Beschädigungen aufweisen. Weiters ist bei beweglichen Teilen darauf zu achten, dass diese frei und leichtgängig sind.

¹⁷⁶ Bild: <http://meeresgeo.geoinf.fu-berlin.de/inhalt/sedimentecho.php?js=0&sg=12>

¹⁷⁷ Bild: Adolf Liebel, http://www.schwaebische.de/region/oberschwaben/bad-waldsee/stadtnachrichten-bad-waldsee_artikel,

-Forscher-gehen-Stadtsee-auf-den-Grund-_arid, 5548162.html

¹⁷⁸ Bild: [Sch05c]

¹⁷⁹ Bild: <http://www.proceq.com/de/produkte/betonpruefung/betonpruefhammer/digi-schmidt.html>

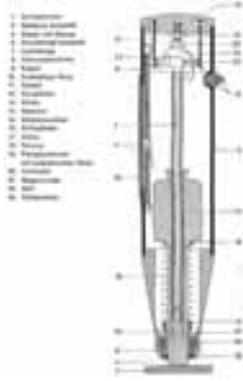


Abbildung 4.83: Schmidt-Hammer (Systemskizze) ¹⁷⁷



Abbildung 4.84: Schmidt-Hammer mit digitaler Auswertung und Aufzeichnung ¹⁷⁸

Falls eine Redundanz der Messsysteme besteht oder gleiche Messwerte durch unterschiedliche Systeme erfasst werden, sind diese in regelmäßigen Abständen zu vergleichen und bei Abweichungen erneut Kalibrierungen oder Eichungen durchzuführen. Wird dabei festgestellt, dass die Messwerte nicht mehr mit der geforderten Genauigkeit erfasst werden können, da das Messsystem beschädigt wurde, oder die Alterung derart fortgeschritten ist, so sind diese Sensoren bzw. Messgeber auszutauschen.

Ist dies nicht möglich, sind sie zumindest von einer weiteren Verwendung auszuschließen, um die Erfassung von falschen Messdaten zu verhindern.

4.2.16 Auswahl der Systemkomponenten

Die Auswahl erfolgt anhand der Festlegung von:

- Messbereich
- Genauigkeit
- Auflösung Sensor, Auflösung A/D-Wandler
- Abtastfrequenz (Intervall der Messwerte)
- Kosten

Es sollte immer gelten: „Nicht so genau wie möglich, sondern so genau wie nötig!“

4.3 Sensorik

Die automatisierte Überwachung von Talsperren ist ein zentraler Punkt der Betriebsführung. Gerade in diesem Bereich kam es in den letzten Jahrzehnten zu einem enormen Technologieschub.

Früher mussten z.B. Wasserstände, Sickerwassermengen und Lotabweichungen mühevoll von einer Person ermittelt bzw. abgelesen und notiert werden. Dies kann heute automatisiert und außerdem permanent erfolgen. Dadurch erhält man eine wesentlich größere Datenmenge mit einer hohen Datendichte und ist somit in der Lage, spezielle Ereignisse den entsprechenden Daten zuzuordnen. Somit lassen sich z.B. Auswirkungen von Temperatur und Stauhöhe auf eine Staumauer voneinander trennen und können gesondert ausgewertet werden. Je präziser dies geschieht, desto enger können Grenzwerte für die auftretenden Betriebsfälle gesetzt werden. So macht es einen Unterschied, ob eine Lotabweichung durch Vollstau und bei hohen Temperaturen im Sommer oder bei Erreichen des Absenkeziels im Winter zustande kommt. Im ersten Fall kann es sich um einen standardmäßigen Fall innerhalb der Grenzwerte handeln, während im zweiten Fall bereits ein Alarm ausgelöst werden könnte.

Generell gilt, dass die erfassten Messwerte periodisch - im Idealfall kontinuierlich - über das ganze Jahr hinweg erfasst werden, um ein Regelverhalten der Sperre aus den Messdaten interpretieren zu können. Nur bei Vorhandensein eines solchen Grundstocks an Daten können Anomalien zuverlässig erkannt und Messwerte auf Plausibilität überprüft werden. Bei großen Sperren mit einer Vielzahl an unterschiedlichen Messdaten und -werten wird die Definition des Normbereichs und deren Schwankungsbreite von einer Software durch statistische Algorithmen bestimmt und ausgewertet.

Bei Abweichungen vom Normalfall, die weder auf äußere Einwirkungen noch Schäden zurück zu führen sind, ist eine Kalibrierung des Messsystems durchzuführen. Führt diese nicht zum Erfolg, ist der entsprechende Sensor auszutauschen.

4.3.1 Planung

Ein wichtiger Schritt der Überwachung ist bereits die Planung der Instrumentierung. Es ist darauf zu achten, dass das Messsystem möglichst flexibel ausgelegt wird, um nachträgliche Anpassungen in Bezug auf Anzahl und Art der Messgeräte durchführen zu können. Dies kann sich durch Erfahrungen aus dem laufenden Betrieb oder durch neue Erkenntnisse oder neue Technologien als sinnvoll erweisen.

Generell ist bereits bei der Planung sicher zu stellen, dass die Messgeräte für den entsprechenden Einsatz geeignet sind.¹⁷⁹

Wichtige Gesichtspunkte bei der Planung und Leistungsfähigkeit des Messsystems sind:¹⁸⁰

- Personal
Hierbei ist zu beachten, dass möglichst erfahrene Personen sowohl mit der Planung als auch mit der Installation der Überwachungseinrichtungen betraut werden.
- Gefahr der Beschädigung während des Baus
- Harte Umgebungsbedingungen
- Äußere Einflüsse
- Beurteilung der Messdaten und der erforderlichen Genauigkeit

4.3.2 Anforderungen¹⁸¹

Dies können klimatische Bedingungen sein wie z.B. extreme Minustemperaturen oder andere äußere Einflüsse wie Feuchtigkeit oder hohe Drücke. Die technische Ausrüstung soll sowohl in der Bau- als auch in der Betriebsphase in der Lage sein, zuverlässig Messdaten zu liefern und möglichst langlebig und wartungsarm zu sein.

Die verwendeten Sensoren bzw. Systeme sollen folgenden Ansprüchen genügen:

- Robust, zuverlässig und beständig
- Einfache Konstruktion mit möglichst wenig beweglichen Teilen
- Einfach zu reparieren und instand zu setzen, falls zugänglich
- Geringer Aufwand, um Daten zu gewinnen

4.3.3 Begriffsbestimmungen

4.3.3.1 Messmethoden

- Ausschlagmethode

Messgröße wird direkt in Ausgangsgröße umgewandelt z.B. Federwaage, Flüssigkeitsausdehnungs-Thermometer

¹⁷⁹[ICO88a, S. 21]

¹⁸⁰[ICO88a, S. 23]

¹⁸¹[ICO88a, S. 25]

- Differenzenmethode

Messgröße wird einer äußeren Vergleichsgröße gegenüber gestellt

- Kompensationsmethode

Der Messgröße wird eine entgegengesetzt wirkende Größe gegenübergestellt. Anhand des Nullindikators wird festgestellt, ob beide Größen gleich sind. Ist dies der Fall, entspricht die Kompensationsgröße der Messgröße. Kompensationsgröße kann eine andere physikalische Größenart als die Messgröße haben z.B. Kraft -> elektrischer Strom.

4.3.3.2 Abtastung und Analog/Digital-Umsetzung

- Abtastrate (Samplingrate) [Hz]

Häufigkeit, mit der ein kontinuierliches Signal pro Sekunde abgetastet wird z.B. 26 [Hz]

- Abtasttiefe (digitale Auflösung) [Bit]

Feinheit, mit der ein kontinuierliches Signal abgetastet wird z.B. 4 [Bit] = $4^2 = 16$ Teile

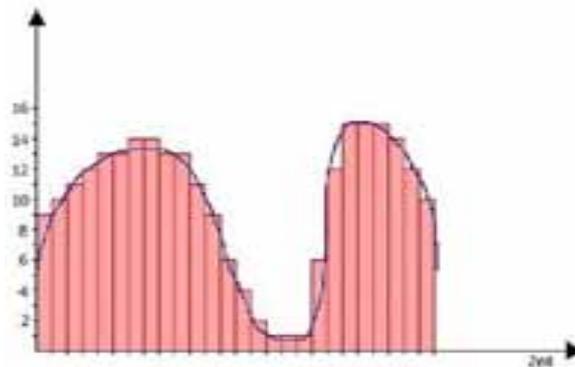


Abbildung 4.85: Analoges Signal digitalisiert mit 4 [Bit] bei 26 [Hz]

4.3.3.3 Wichtige Kennfunktionen und Kennwerte

- Messbereich

Änderungsbereich, innerhalb dessen Fehlergrenzen nicht überschritten werden.

- Anzeigebereich

Geht über den Messbereich hinaus. Keine Genauigkeitszusagen mehr.

- Messschwelle (Anlaufwert)

Kleinsten Wert der Messgröße, bei der eine Änderung der Ausgangsgröße erfolgt.

- Auflösung

Kleinste Änderung der Messgröße, die zu einer eindeutigen und reproduzierbaren Änderung der Ausgangsgröße führt.

- Präzision (precision)

Die Präzision ist ein Maß für die Übereinstimmung zwischen unabhängigen Messergebnissen unter festen Bedingungen und kann mathematisch der Standardabweichung gleichgesetzt werden. Je weniger die einzelnen Messwerte streuen, desto höher ist die Präzision.

$$\text{Präzision} = s = \sqrt{\frac{1}{(n-1)} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (4.1)$$

- Richtigkeit (trueness, accuracy of the mean)

Die Richtigkeit ist ein Maß für die Übereinstimmung zwischen dem aus einem großen Datensatz erhaltenen Mittelwert und dem anerkannten Referenzwert. Nur wenn der Mittelwert aus vielen Messungen gut mit dem wahren Wert übereinstimmt, ist auch die Richtigkeit hoch.

- Genauigkeit (accuracy) = Fehlergrenze

Die Genauigkeit ist ein Maß für die Übereinstimmung zwischen dem einzelnen Messergebnis und dem wahren Wert der Messgröße.

Die Genauigkeit ist also die Summe aus Präzision und Richtigkeit und ist so maßgebend für vereinbarte oder garantierte Höchstwerte bezüglich positiver oder negativer Abweichungen der Anzeige (Ausgabe) einer Messeinrichtung vom richtigen Wert.

Für eine hohe Genauigkeit ist sowohl eine hohe Präzision als auch eine hohe Richtigkeit erforderlich, wie dies ganz links in Abb. 4.86 ersichtlich ist.

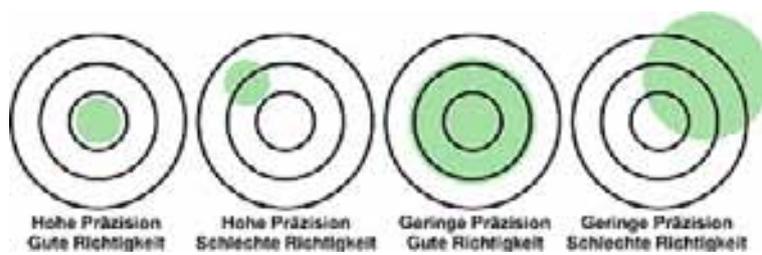


Abbildung 4.86: Unterschied zwischen Präzision und Richtigkeit¹⁸²

5 Länderbezogener Richtlinienvergleich

Um einen Überblick über die unterschiedlichen Ansätze der verschiedenen Länder in Bezug auf Hochwasserschutz und Erdbeben zu geben, werden nachfolgend einige Länder diesbezüglich verglichen.

Als Referenz dient die Situation in Österreich. Hier wird zusätzlich auf die rechtlichen Grundlagen und die Verantwortlichkeiten bei der Talsperrenüberwachung hingewiesen. Anschließend werden auch die Klassifizierungen der Stauanlagen in der Schweiz und Deutschland erläutert.

5.1 Österreich

5.1.1 Rechtliche Grundlagen

Als rechtliche Grundlagen dienen in Österreich vor allem:

- Wasserrechtsgesetz (WRG), 1959

Es regelt unter anderem in

- § 12: Stand der Technik
- § 21: Dauer der Bewilligung; Zweck der Wasserbenützung
- § 43: Vorsorge gegen wiederkehrende Überschwemmungen
- § 124: Wasserbuch

und speziell für Stauanlagen in

- § 18: Ausnützung der Wasserkräfte durch das Land
- § 23a: Talsperrenverantwortlicher
- § 24: Einhaltung der Stauhöhe
- § 98-100: Zuständigkeiten

- § 104: Vorläufige Überprüfung
und dabei speziell § 104 Abs. 3: Gutachten der Staubeckenkommission bei großen Talsperren
 - § 131: Zuständigkeit der Aufsicht
z.B. die fünfjährige Überprüfung durch die Staubeckenkommission
 - § 132: Anforderungen an Aufsichtsorgane
 - § 133: Durchführung der Aufsichtstätigkeit
 - § 134: Besondere Aufsichtsbestimmungen
darunter § 134 Abs. 7: auch bei kleinen Talsperren kann ein Talsperrenverantwortlicher und die Überprüfung durch die Staubeckenkommission angeordnet werden
 - § 136: Verwertung der Ergebnisse; Kosten
- Staubeckenkommissions-Verordnung 1985
 - Wasserrahmenrichtlinie, 2000/60/EG (siehe Fischaufstiegshilfen, S. 4)
 - Gewässerzustandsüberwachungsverordnung (GZÜV), BGBl. II Nr. 465/2010

Außerdem gibt es einige Novellen zum WRG und Grundsatzbeschlüsse der Staubeckenkommission, welche thematisch von der Sicherheit über die Überwachung bis hin zur Qualifikation und Ausbildung des Talsperrenpersonals reichen. Weiters sind Richtlinien, welche z.B. die Standsicherheit und Berücksichtigung von Erdbeben betreffen und Leitfäden zum Nachweis der Hochwassersicherheit zu beachten.

5.1.2 Sperrenklassifizierung in Österreich

In Österreich wird zwischen kleinen und großen Talsperren unterschieden. Hierbei liegt die Grenze für kleine Talsperren bei einer Höhe von 15 [m] oder bei einem Speichervolumen von 500.000 [m³]. Darüber spricht man von großen Talsperren.^{183,184} Für deren Bewilligung ist ein Gutachten der Staubeckenkommission einzuholen. Der Projektwerber kann dann eine grundsätzliche Beurteilung (verringertes Umfang der beizubringenden Unterlagen) beantragen, in welcher geklärt wird, ob gegen das Vorhaben grundsätzliche Bedenken bestehen.¹⁸⁵

¹⁸³[wrg, § 104 Abs. 3]

¹⁸⁴[Öst09b, S. 5]

¹⁸⁵[wrg, § 104 Abs. 4]

Wird eine Höhe der Sperre von 30 [m] über der Gründungssohle oder ein Speichervolumen von 5.000.000 [m³] überschritten, ist der Bundesminister für Land- u. Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft in erster Instanz zuständig.

Für - gemäß obiger Definition - große Talsperren gelten höhere Sicherheitsanforderungen wie das $HQ_{5.000}$ als Bemessungshochwasser (siehe Bemessungshochwasser (BHQ), S. 44) und die maximale Erdbebenbelastung (MCE) (siehe MCE, S. 51).

5.1.2.1 Gefährdungspotential

Generell hängt das Gefährdungspotential¹⁸⁶ ab von:

- Stauhöhe und Stauinhalt
- Neigung des Geländes im Abflussbereich
- Nähe zu Wohnobjekten oder Arbeitsstätten, Verkehrswegen, Versorgungs- und Sicherheitseinrichtungen

Um eine Speicheranlage einem Gefährdungspotential zuzuordnen, ist eine Flutwellenabschätzung erforderlich. Diese kann nach Fröhlich oder nach Broich erfolgen.¹⁸⁷

Zur Feststellung des Gefährdungspotentials kann bei kleinen Talsperren mit einer Höhe ≤ 15 [m], bei der die Flutwelle im Falle eines Sperrenbruchs im alten Gerinnebett abfließt, davon ausgegangen werden, dass ein geringes Gefährdungspotential vorliegt.¹⁸⁸

5.1.3 Verantwortlichkeiten

Sicherheit von Talsperren durch Überwachung in drei Ebenen:¹⁸⁹

Talsperrenverantwortliche des Wasserberechtigten (Talsperreneigentümer) Zu diesen zählen:¹⁹⁰

- Talsperrenwärter

Ihm fallen Aufgaben der laufenden Überwachung z.B. durch Begehung des Bauwerks, Kontrolle der Messwerte und stichprobenartige Überprüfung einzelner Messwerte durch

¹⁸⁶[Öst09b, S. 5ff]

¹⁸⁷[Öst09b, Anhang 1-4]

¹⁸⁸[Öst09a, S. II-3]

¹⁸⁹Grundsatzbeschluss Staubeckenkommission, 30.11.2000

¹⁹⁰Grundsatzbeschluss zur Eigenüberwachung, 12.1992

Handmessung zu. Bei besonderen Vorkommnissen ist eine zusätzliche Überprüfung durch den Stauanlagenverantwortlichen durchzuführen.

- Talsperrenverantwortlicher bzw. Stauanlagenverantwortlicher (STV)

Zur Wahrnehmung dieses Aufgabenbereichs hat dieser als Qualifikationsmindestanforderungen einen Universitätsabschluss im Baufach und eine mindestens 10-jährige Tätigkeit im Bereich Projektierung, Ausführung oder Überwachung von Talsperren vorzuweisen. Für die Bewerbung ist es außerdem erforderlich, bereits 3 Jahre mit Aufgaben der Überwachung oder Instandhaltung an der betreffenden Sperre betraut gewesen zu sein.

Alle STV's und ihre Stellvertreter, welche für eine Anlage mit erheblichem Gefährdungspotential zuständig sind, haben die angebotenen, einschlägigen Spezialkurse zu absolvieren.

Essentiell ist auch, dass die STV's einschlägiges Wissen in den folgenden Gebieten aufweisen:

- Geologie
- Bodenmechanik, Grund- und Felsbau
- Baustatik, Festigkeitslehre, Stahlbetonbau
- Hydraulik (Hydrostatik, Rohr- und Gerinnehydraulik)

Der Sperrenverantwortliche muss über entsprechende betriebsinterne Weisungsbefugnisse verfügen, um speziell im Fall eines außergewöhnlichen Ereignisses erforderliche Maßnahmen anordnen und umsetzen zu können.

Gewässeraufsicht (Land- oder Bezirkshauptmann)

Talsperrenüberwachung des Bundes mit Unterstützung der Staubeckenkommission

5.1.4 Talsperrensicherheit während des Betriebs

Weitere Bestandteile im Zuge der Dokumentation sind das Sperrenbuch bzw. Stauanlagenbuch, welches eine Sammlung aller die Anlage betreffenden Unterlagen darstellt. Dazu zählen unter anderem Pläne, Bescheide, Betriebsordnung, Überprüfungsergebnisse sowie die Dokumentation von durchgeführten Instandhaltungsmaßnahmen.

¹⁹² Bild: [Mel03, S. 11]

Mehrebenenprinzip

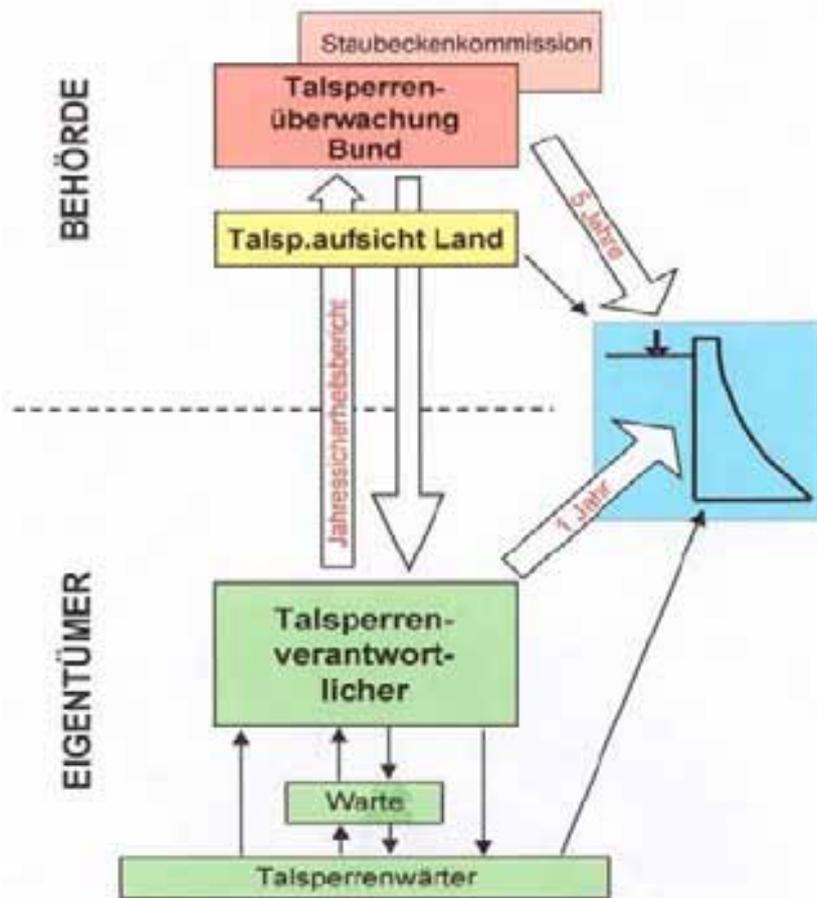


Abbildung 5.1: Mehrebenenprinzip der Zuständigkeiten bei der Talsperrenüberwachung¹⁹¹

Tabelle 5.1: Überwachung von Talsperren in Österreich

Kontrolle durch	Intervall	Art der Überprüfung / Ergebnis
automatisches System	laufend	Grenzwertprüfung
Sperrenwärter	laufend	Sicherheitschecks
STV	jährlich	institutionelle Beurteilung (Jahresbericht)
STV	fünffährlich	institutionelle Beurteilung (Überwachungsbericht)
Staubeckenkommission	stichprobenartig	Überprüfung vor Ort
Staubeckenkommission	fünffährlich	institutionelle Beurteilung (Fünffjahresbeurteilung)

Die jährliche Überprüfung durch den STV mündet im Jahresbericht, welcher an den Betreiber

und die Talsperrenbehörde, zusammengesetzt aus der Talsperrenaufsicht für Land und Bund, weitergeleitet wird und eine Beurteilung der Talsperrensicherheit darstellt. In den Bericht fließen Beobachtungen, Überprüfungen, Auswertungen der Messergebnisse und deren Interpretation sowie eine Sicherheitsüberprüfung ein. Weiters werden Berichte des Sperrenwärters über außergewöhnliche Ereignisse, durchgeführte Messungen und Besichtigungen der Sperre eingebunden. Zusätzlich erfolgt die Bewertung durch einen Geologen.

Beispielhaft für den Inhalt dieser Jahresberichte:¹⁹²

- Bericht über durchgeführte betriebseigene Vor-Ort-Überprüfungen, besondere Vorkommnisse und Wahrnehmungen im Berichtszeitraum (betreffend Störungen, Schäden, Witterung, Baumaßnahmen, usw.), Aufzählung der regelmäßig durchgeführten Begehungen und Erprobungen und deren Ergebnisse (Betriebseinrichtungen, Messeinrichtungen, Fernüberwachung), Weiterbildungsmaßnahmen von Betriebspersonal und Verantwortlichen
- Zusammenfassende Beurteilung des Stauanlagenverantwortlichen betreffend Sicherheit der gesamten Anlage und Angabe eventuell erforderlicher bzw. beabsichtigter Maßnahmen
- Darstellung der aufgezeichneten Messwerte in tabellarischer Form sowie als Grafik
- Lageplan und repräsentative Schnitte inklusive Darstellung der installierten Messeinrichtungen
- Daten aus dem Mess- und Überprüfungsprogramm

Die Fünfjahresbeurteilung wird in schriftlicher Form von einer unabhängigen Expertenkommission verfasst und an die Talsperrenbehörde übermittelt. Sie ist Grundlage für die weitere Betriebserlaubnis und enthält gegebenenfalls nötige Maßnahmen für deren Aufrechterhaltung. In die Bewertung fließen verschiedene Überprüfungen (z.B. Funktion des Grundablasses), durchgeführter Augenschein, Bewertung der Messergebnisse, Quervergleiche zu anderen Anlagen, Beurteilung des Langzeitverhaltens, erforderliche Schritte zur Herbeiführung des Standes der Technik und eine Sicherheitsbeurteilung mit ein.

¹⁹²[Öst09b, S. 14]

5.2 Schweiz

Der Anwendungsbereich der Stauanlagenverordnung (StAV) ist im Bundesgesetz vom 7.12.1998 (SR 721.102) festgelegt. Eine zusätzliche rechtliche Grundlage für die Sicherheit von Stauanlagen ist durch den Artikel 3 des Bundesgesetzes betreffend die Wasserpolizei (SR 721.10) gegeben. Gemäss diesem kommt die Verordnung für Stauanlagen zur Anwendung, bei denen die Stauhöhe über Niederwasser des Gewässers oder über Geländehöhe mindestens 10 [m] beträgt oder die ab einer Stauhöhe von mindestens 5 [m] einen Stauraum von mehr als 50.000 [m³] aufweisen. Die Verordnung gilt auch bei Sperren, welche diesen Kriterien nicht entsprechen, sofern sie eine besondere Gefahr für Personen oder Sachen darstellen. Zuständige Behörde ist in diesen Fällen das Bundesamt für Wasser und Geologie (BWG). Dieses ist in Zusammenarbeit mit den Aufsichtsbehörden der Kantone, Fachorganisationen sowie Vertretern der Wissenschaft und Wirtschaft dazu berechtigt, Richtlinien zu erlassen.¹⁹³

Die Verordnung gilt allerdings nicht für Stauanlagen, welche im Bruchfall keine besondere Gefahr für Personen und Sachen darstellen. Bei diesen geht die Verantwortung an die Kantone über.

Tabelle 5.2: Einteilungskriterien für die Überprüfung der Erdbebensicherheit in der Schweiz¹⁹⁴

KLASSE	BESCHREIBUNG	KRITERIEN
1	Stauanlagen, welche alle 5 Jahre einer Sicherheitsüberprüfung unterzogen werden	H > 40 m, oder H > 10 m und V > 1'000'000 m ³
2	Stauanlagen unter der Aufsicht durch den Bund aber ohne Fünfjahreskontrolle	H > 25 m, oder H > 15 m und V > 50'000 m ³ , oder H > 10 m und V > 100'000 m ³ , oder H > 5 m und V > 500'000 m ³
3	Alle übrigen Anlagen, welche nicht den Klassen 1 und 2 angehören, sowie die Rückhaltebecken	

5.3 Deutschland

Die Einteilung von Stauanlagen erfolgt in Deutschland gemäß der Norm DIN 19700 und ihren im Folgenden angeführten Teilen.

Das Bemessungskonzept ist dabei für die einzelnen Klassen unterschiedlich, das Sicherheitskonzept ist hingegen für alle Klassen gleich.

¹⁹³[Bun02b, S. 5]

¹⁹⁵[Bun02a, S. 13]

¹⁹⁶[Bun03, S. 14]

Tabelle 5.3: Wiederkehrperiode des Nachweisbebens für die unterschiedlichen Sperrenklassen in der Schweiz¹⁹⁵

Sperren- klasse	Betrachteter Zeitraum	Mittlere Überschreitungs- wahrscheinlichkeit	Mittlere Wiederkehrperiode
I	100 Jahre	1%	10'000 Jahre
II	100 Jahre	2%	5'000 Jahre
III	100 Jahre	10%	1000 Jahre

5.3.1 DIN 19700-10 - Gemeinsame Festlegung

Dieser Teil der Norm enthält allgemeine Vorgaben zu Planung, Bau, Betrieb und Überwachung von Stauanlagen mit den zugehörigen Bauwerken.

Eine grundsätzliche Klassifizierung erfolgt in zwei Klassen:

- Klasse 1: Höhe > 15 [m] oder Stauraum > 1 [Mio. m³]
- Klasse 2: alle anderen

5.3.2 DIN 19700-11 - Talsperren

In diesem Teil der Norm wird speziell auf die Talsperren und ihre Bemessung eingegangen.

5.3.3 DIN 19700-12 - Hochwasserrückhaltebecken

- Grosse Becken: Höhe > 15 [m] oder Stauraum > 1 [Mio. m³]
- Mittlere Becken: Höhe 6 – 15 [m] oder Stauraum 100.000 – 1 [Mio. m³]
- Kleine Becken: Höhe 4 – 6 [m] oder Stauraum 50.000 – 100.000 [m³]
- Sehr kleine Becken: Höhe < 4 [m] und Stauraum < 50.000 [m³]

5.3.3.1 DIN 19700-13 - Staustufen

Im Gegensatz zur [Öst09a] ist bei der [DIN86] *BHQ* von der Staustufenklasse abhängig, welche wiederum von der Fallhöhe bei *MQ* abhängt. Siehe dazu Tab. 5.4, S. 118 und 5.5, S. 118.

Tabelle 5.4: Klassifizierung von Staustufen bei Mittelwasserabfluss (MQ) gem. [DIN86]

Fallhöhe bei MQ [m]	Klasse der Staustufe
> 5	I
$> 3 \dots \leq 5$	II
≤ 3	III

Tabelle 5.5: Jährliche Überschreitungswahrscheinlichkeiten für BHQ_1 und BHQ_2 gem. [DIN86]

Klasse der Staustufe	Jährliche Überschreitungswahrscheinlichkeit	
	BHQ_1	BHQ_2
I	10^{-2} ($T = 100a$)	10^{-3} ($T = 1.000a$)
II	$2 \cdot 10^{-2}$ ($T = 50a$)	10^{-2} ($T = 100a$)
III	$5 \cdot 10^{-2}$ ($T = 20a$)	$2 \cdot 10^{-2}$ ($T = 50a$)

5.3.3.2 DIN 19700-14 - Pumpspeicherbecken

Die Klassifizierung erfolgt hier analog zu Teil 10.

5.3.3.3 DIN 19700-13 - Sedimentationsbecken

- Klasse 1: Höhe > 15 [m] oder Stauraum > 100.000 [m³]
- Klasse 2: alle anderen

5.4 Internationaler Vergleich

Die hier angeführten Tabellen sollen nur einen kleinen Vergleich in Bezug auf die Klassifizierung der Stauanlagen und die Berechnungsansätze für Hochwässer und Erdbeben sein.

Es wird hier explizit darauf hingewiesen, dass es sich um einen reinen Vergleich der Zahlenwerte handelt, der jedoch keine Rückschlüsse auf die tatsächlich erzielte Sicherheit der Anlage zulässt!

5.4.1 Sperrenklassifizierung

Tabelle 5.6: Beispiel für eine Sperrenklassifizierung gemäß Canadian Dam Association¹⁹⁶

Dam class	Population at ris	Incremental Losses		
		Loss of life	Environmental and cultural values	Infrastructure and economics
Low	None	0	Minimal short-term No long term loss	Low economic losses; area contains limited infrastructure or services
Significant	Temporary only	Unspecified	No significant loss or deterioration of fish or wildlife habitat Loss of marginal habitat only Restoration or compensation in kind highly possible	Losses to recreational facilities, seasonal workplaces, and infrequently used transportation routes
High	Permanent	10 or fewer	Significant loss or deterioration of <i>important</i> fish or wildlife habitat Restoration or compensation in kind is highly possible	High economic losses affecting infrastructure, public transportation, and commercial facilities
Very high	Permanent	100 or fewer	Significant loss or deterioration of <i>critical</i> fish or wildlife habitat Restoration or compensation in kind possible but impractical	Very high economic losses affecting important infrastructure or services (e.g., highway, industrial facility, storage facilities, for dangerous substances)
Extreme	Permanent	More than 100	Major loss of <i>critical</i> fish or wildlife habitat Restoration or compensation in kind impossible	Extreme losses affecting critical infrastructure or services, (e.g., hospital, major industrial complex, major storage facilities for dangerous substances)
See Table 1 in the CDA 2007 Guidelines for notes related to population at risk and implications of loss of life.				

¹⁹⁶[ICO13b, S. 49]

¹⁹⁷[ICO13b, S. 51]

Tabelle 5.7: Beispiel für eine Sperrenklassifizierung gemäß spanischem Rech¹⁹⁷

Class	Height (m)	Length (m)	Reservoir capacity (m ³)	Spillway capacity (m ³ /s)	Category	Damage	Lives and property affected
1	> 15	Any	Any	Any	A	serious	population centre or essential services
	10-15	> 500	> 106	> 2 000		very important	*risk elements
2	5-15	Not included in class 1			B	important any	*risk elements, housing
3	< 5				C	moderate	only incidentally to lives
4	étangs				D	small	*risk elements

* Risk elements = population, workers, buildings, civil engineering structures, economic activity, public services, environmental elements, etc.

5.4.2 Hochwassersicherheit

Tabelle 5.8: Einteilung der Talsperren nach Gefährungsklassen zur Hochwasserbemessung am Beispiel Großbritannien¹⁹⁸

Kategorie	Gefährungssituation	BHQ - Typ
A	hohe Gefährdung von einer Vielzahl von Leben	PMF
B	Gefährdung von Leben außerhalb einer Siedlung oder extensive Verwüstung durch Hochwasser	0,5.PMF oder HQ _{10.000}
C	vernachlässigbare Gefährdung von Leben und geringfügige Verwüstung	0,3.PMF oder HQ _{1.000}
D	keine Gefährdung von Leben und sehr geringfügige Verwüstung	0,2.PMF oder HQ ₁₅₀

¹⁹⁸[Öst09a, S. IV-8]

Tabelle 5.9: Konzepte zum Nachweis der Sicherheit von Talsperren im internationalen Vergleich - Teil 1¹⁹⁹

Land	Klassifizierung der Talsperren	Kategorien	BHQ - Typ	Extremhochwasser (Safety Check Flood)	Berechnung	Retention/Überstau	Freibord	Grundablass	Überströmen
Deutschland	nach Größe	Klasse 1 Klasse 2	(BHQ) HQ _{1.000} HQ ₅₀₀	(BHQ) HQ _{10.000} HQ _{5.000}	1. Hochwasserstatistik: lokal (repräsentative Pegel) oder regional 2. NA- Modelle (PMF abgemindert) 3. Probabilistische Bemessung: mehrere zufällige Einflussgrößen, wie z.B. Speicherfüllung, HQ-Schaltelzufluss, Anstiegszeit, HQ-Volumen, Wind etc. (in Entwicklung)	ja	Windfreibord Δf_{wi} (0,5 - 1,5m) plus Sicherheitsfreibord Δf_{fs} (0,25 - 0,5m). Inanspruchnahme des Δf_{wi} ist für BHQ ₂ zulässig.	(n-1) Regel für BHQ ₁ , für BHQ ₂ über alle Auslässe möglich	nein
Schweiz	Sperrentyp	Mauern (M) Dämme (D)	HQ _{1.000}	PMF oder 1,5 x HQ _{1.000}	1. Hochwasserstatistik (Gumbel, Log Pearson III und Log-Normal): HQ _{1.000} x Faktor δ (aus Norm.vert.) 2. NA-Modell 3. Regionale Analogie	ja, wenn Retentionswirkung zu erwarten → dreiecksförmige HQ-Linie	M: 0,5 - 1,0m D: 1,5 - 3,0m bei HQ > HQ _{1.000} Verringerung akzeptiert; windinduzierte Wellen vernachl.	für M bei SCF für alle Auslässe zulässig, sonst mit (n-1) Regel	bei bestehenden Mauern bei SCF zulässig
Frankreich	Sperrentyp	Mauern (M) Dämme (D)	HQ _{1.000} HQ _{10.000} (in bes. Fällen auch HQ ₅₀₀₀)	nein	keine generellen Vorgaben, aber Empfehlung des GRADEX-Verfahrens		D: 5% der Sperrenhöhe	nur in Ausnahmefällen	keine Angaben
Spanien	nach Größe und Gefährdungspotential	Kat.A Kat.B Kat.C	HQ _{1.000} HQ ₅₀₀ HQ ₁₀₀	HQ _{5.000-10.000} HQ _{1.000-5.000} HQ ₁₀₀₋₅₀₀	keine Info (siehe SPANCOLD – <i>Hydrological Safety Guideline no.4 "Design Flood"</i>)		D: > 3,0m	ja (n-1)	kurzfristiges Überströmen von Gewichtsmauern zulässig

¹⁹⁹[Öst09a, S. IV-6]

Tabelle 5.10: Konzepte zum Nachweis der Sicherheit von Talsperren im internationalen Vergleich - Teil 2²⁰⁰

Großbritannien	nach Gefährdungspotential	Cat.A Cat.B CatC Cat.D	PMF HQ _{10.000} HQ _{1.000} HQ ₁₅₀	nein	keine bestimmten Verfahren festgelegt, Richtlinie in <i>Flood Studies Report</i> : UH oder statistische Methode (HQ _{Tn} =a x HQ mit a...regional unterschiedlicher Faktor u. HQ...mittl. jährl. Hochwasser)	ja	Überstau durch Hochwasser plus Wellenschlag	keine Angaben	Überströmen auch von Erddämmen grundsätzlich nicht ausgeschlossen
Italien	Sperrentyp	Betonsperren Dämme	HQ _{1.000} HQ _{10.000}	1,4 x HQ _{1.000} 1,7 x HQ _{1.000} (in Diskussion)	keine Angaben	nein	M: > 1,0m D: 1,5 – 4,0m	keine Angaben	keine Angaben
Finnland	nach Größe und nach ständige und temporäre Sperren	P N O	HQ _{5.000-10.000} HQ _{500-1.000} HQ ₁₀₀₋₅₀₀	nein	Gumbel: HQ ₁₀₀ → HQ _{1.000} =1,3 x HQ ₁₀₀ → HQ _{10.000} =1,6 x HQ ₁₀₀	keine Info	keine Angaben	keine Angaben	keine Angaben
Schweden	nach Gefährdungspotential	hoch gefährliche	Vergleich mit beobachteten Ereignissen ergab ca. HQ _{10.000-100.000}	nein	deterministische Verfahren: PMF oder NA-Modell (HBV-Modell)		exakte Formeln: Windgeschwindigkeiten von 20m/s (Wald) - 25m/s (Freiland)	keine Angaben	keine Angaben
Norwegen	nach Gefährdungspotential	wenig gefährliche Klasse 3 (hoch) Klasse 2 (mittel) Klasse 1 (gering)	HQ _{1.000} HQ _{1.000} HQ ₅₀₀	PMF 1,5 x HQ _{1.000} HQ ₅₀₀	Frequenzanalysen NA-Modell mit PMP Frequenzanalysen u. NA-Modell Frequenzanalysen u. NA-Modell	ja	keine Info	keine Info	keine Info

²⁰⁰[Öst09a, S. IV-7]

5.4.3 Erdbebensicherheit

Tabelle 5.11: Vergleich ausgewählter europäischer Erdbebenvorschriften²⁰¹

Earthquake characteristic	Country				
	UNITED KINGDOM	AUSTRIA	ITALY	ROMANIA	SWITZERLAND
Type of document	Guide	Guide	Guide	Statutory	Statutory
Hazard definition by:	ICOLD Bulletin 72	Dam height, reservoir volume	ICOLD Bulletin 72	Not stated	Dam height, reservoir volume
Variation in seismicity expressed as:	1991: zone map 1998: contour map	Zone map and contour map	Zone map	Zone map	Contour map
Maximum PGA	1991: 0.375 g 1998: 0.32 g	MCE: 0.3 g OBE: 0.14 g	>0.6 g	0.32 g	0.08 to 0.16 g (for 475 years)
Return periods: Category IV Category III Category II Category I	10,000 yrs/MCE 10,000 yrs 3000 yrs 1000 yrs	} where applicable use MCE	<2500 yrs 2500 yrs 1000 yrs 500 yrs	Top category: MCE or 800 yrs	not applicable (I) 10,000 yrs (II) 5,000 (III) 1000 yrs
OBE	not stated		200 yrs	not stated, see text	100 yrs	not stated
Fraction of PGA to be used in pseudo-static analysis	0.67	not stated	0.5 to 0.67	not stated	not stated
Site specific study	no recommendations	recommended	mandatory for category IV	recommended	not stated
Regional seismicity	Low	Low	Moderate to high	High	Moderate

²⁰¹[Sch10, S. 9]

6 Zusammenfassung und Ausblick

Intention war es, möglichst viele Datensätze zu sammeln und zu analysieren, um daraus neue Erkenntnisse zur Talsperrensicherheit generieren zu können.

Derzeit sind viele verschiedene Datenbanken mit differierenden Interessens- und somit Datenswerpunkten bei unterschiedlichen Institutionen eingerichtet. Obwohl die Informationen auf viele Quellen verteilt waren, konnte ein Großteil der ICOLD zugeordnet werden. Zusätzlich boten Internetportale wie jenes der Association of State Dam Safety Officials (ASDSO), World Information Service on Energy (wise), Geotechnical Extreme Events Reconnaissance (GEER) und viele weitere Einzelquellen verwertbare Informationen an.

Für die Zukunft wäre eine Zusammenfassung der Daten an einer zentralen Stelle wünschenswert. Auch die gesammelten Informationen der ICOLD sind noch nicht aussagekräftig und flächendeckend genug. Es bestünde noch Optimierungspotential, indem der Detaillierungsgrad der einzelnen Datensätze erhöht wird. Dies kann leicht geschehen, wenn genauere Daten zu Leistungsfähigkeit der Hochwasserentlastung (nicht nur Angabe der für die Planung herangezogenen Durchflussmenge, sondern auch der zugehörigen Jährlichkeit) erfasst werden. Außerdem fehlen Daten zu aufgetretenen Schäden und installierten Überwachungseinrichtungen zur Gänze. Auch sollte danach getrachtet werden, die vorhandenen Datensätze zu komplettieren. Nur so ergibt sich ein Gesamtbild des Bestands, das sich auch auswerten lässt und aus dem statistisch verwertbare Resultate generiert werden können, die so als Grundlage für gezielte Verbesserungen in Form von angepassten Richtlinien oder verbesserten Konstruktionen und Instrumentierungen herangezogen werden können. Der so entstandene Wissenszuwachs kann dadurch auch wieder in die Richtung jener zurückfließen, welche die Daten ursprünglich geliefert haben.

Die Berechnung/Simulation der Interaktion zwischen Untergrund und Bauwerk kann nie exakt die Realität abbilden und wird somit immer eine fehlerbehaftete Näherung sein. Außerdem können jederzeit außergewöhnliche Ereignisse eintreten, die nicht prognostizierbar sind oder durch menschliche Fehler oder Materialversagen verursacht werden.

Meist kündigen sich Talsperrenkatastrophen durch neue bzw. größer werdende Risse, zunehmende Sickerwassermengen oder andere sich stark ändernde, durch installierte Messsysteme

erfassbare Messwerte, an. Daher kann Überwachung als Kombination aus visueller Kontrolle und automatisierter Datenerfassung die letzte Ebene sein, um menschliche Verluste beim bevorstehenden Schaden einer Talsperre zu verhindern und muss weiterhin ein zentraler Punkt beim Bau und Betrieb von Talsperren bleiben.

Ohne ständige Überwachung kann es keine Sicherheit bei dieser Art von Bauwerken geben. Dabei ist darauf zu achten, dass auch in regelmäßigen Abständen Kontrollen durch zumindest eine, vom Betreiber unabhängige Organisation, durchgeführt werden. Sollten dabei schwere Mängel festgestellt werden, ist der Betrieb einzustellen.

Was sich selbstverständlich anhört, wird leider nicht in allen Ländern auch so praktiziert.

A Anhang

Tabelle A.1: Ländercodes nach ISO 3166-1

Land (deutsch)	Code	Land (deutsch)	Code	Land (deutsch)	Code
Afghanistan	AF	Indonesien	ID	Panama	PA
Ägypten	EG	Irak	IQ	Papua-Neuguinea	PG
Albanien	AL	Iran	IR	Paraguay	PY
Algerien	DZ	Irland	IE	Peru	PE
Angola	AO	Island	IS	Philippinen	PH
Antigua and Barbuda	AG	Italien	IT	Polen	PL
Antigua und Barbuda	AG	Jamaika	JM	Portugal	PT
Argentinien	AR	Japan	JP	Rumänien	RO
Armenien	AM	Jemen	YE	Rußland	RU
Aserbaidschan	AZ	Jordanien	JO	Sambia	ZM
Äthiopien	ET	Kambodscha	KH	Saudi Arabien	SA
Australien	AU	Kamerun	CM	Schweden	SE
Bangladesh	BD	Kap Verde	CV	Schweiz	CH
Belgien	BE	Kasachstan	KZ	Senegal	SN
Belize	BZ	Kenia	KE	Serbien	RS
Benin	BJ	Kirgisistan	KG	Seychellen	SC
Bolivien	BO	Kroatien	HR	Sierra Leone	SL
Bosnien-Herzegovina	BA	Laos	LA	Simbabwe	ZW
Botswana	BW	Lesotho	LS	Singapur	SG
Brasilien	BR	Lettland	LV	Slovakia	SK
Brunei Darussalam	BN	Libanon	LB	Slowenien	SI
Bulgarien	BG	Liberia	LR	Somalia	SO
Burkina Faso	BF	Libyen	LY	Spanien	ES
Burundi	BI	Litauen	LT	Sri Lanka	LK
Canada	CA	Luxemburg	LU	St. Lucia	LC
Chile	CL	Madagascar	MG	Südafrika	ZA
China	CN	Malawi	MW	Sudan	SD
Columbien	CO	Malaysia	MY	Südkorea	KR
Congo	CG	Mali	ML	Suriname	SR
Congo (drc)	CG	Marokko	MA	Swasiland	SZ
Costa rica	CR	Mauritius	MU	Syrien	SY
Cuba	CU	Mazedonien	MK	Tadschikistan	TJ
Dänemark	DK	Mazedonien	MK	Tansania	TZ
Demokratische Rep. Kongo	CD	Mexico	MX	Thailand	TH
Deutschland	DE	Moldavien	MD	Togo	TG
Dominikanische Republik	DO	Mongolei	MN	Trinidad und Tobago	TT
Ecuador	EC	Montenegro	ME	Tschechoslowakei	CZ
El Salvador	SV	Mosambik	MZ	Tunesien	TN
Elfenbeinküste	CI	Myanmar	MM	Türkei	TR
Eritrea	ER	Namibia	NA	Uganda	UG
Fidschi	FJ	Nepal	NP	Ukraine	UA
Finnland	FI	Neuseeland	NZ	Ungarn	HU
Frankreich	FR	Nicaragua	NI	Uruguay	UY
Gabun	GA	Niederlande	NL	Usbekistan	UZ
Georgien	GE	Niger	NE	Venezuela	VE
Ghana	GH	Nigeria	NG	Vereinigte Arabische Emirate	AE
Griechenland	GR	Nordkorea	KP	Vereinigte Republik Tansania	TZ
Guatemala	GT	Norwegen	NO	Vereinigte Staaten	US

Tabelle A.2: Verwendete Schadensfälle - Teil 1

Nr	Sperrname	Land	Ländercode	BJ	SJ	Alter	Typ	H	S-Typ	S	U1	U2	U3	Anmerkungen
1	Saint Lucion	Algerien	DZ	1861	1862	2	TE	27	F2	F	EI			Durchsickerung Überströmt
2	Tabia	Algerien	DZ	1876	1876	1	TE	25	F2	F	OV			
3	Carrilauqua	Argentinien	AR	1764	1914	151	TE	180	F2	F	EI			
4	Pardo	Argentinien	AR	1940	1970	31	ER	15	F2	F	OV			Geschiebe verlegt 3 von 5 Einlauföffnungen der HW-Entlastung
5	Pressa Fras	Argentinien	AR	1938	1970	33	ER	18	A1	EI	MF			Oberflächenschutz an Übergangszonen
6	Beargamil	Australien	AU	1912	1945	34	TE	17	A1	DR				Rutschung an der Krone verursacht Erosion und Rutschung an der Luftseite
7	Breiss	Australien	AU	1934	1929	0	TE	27	F1	F	OV			von extremem HW überströmt und zerstört
8	Cascade Dam	Australien	AU	1926	1929	4	TE	19	F2	F	OV			HW-Entlastung unterdimensioniert
9	Cethana	Australien	AU	1971	1968	0	ER	110	F1	F	OV			von HQ4 im Bau überströmt und zerstört
10	EildonDam	Australien	AU	1927	1929	3	TE	40	A1	RV	KF			Wassereindring zw. Betondichtwand u. Leimdichtung, schnelles Absenken, Abrutschen des wasserseitigen Dammkörpers
11	Flagstaff	Australien	AU	1963	1963	1	TE	16	A2	EI	KF			Durchsickerungen nach Setzungen im Damm, verursacht durch Schwingungen der Entnahmeleitung unter der Aufstandsfläch.
12	Gold Creek	Australien	AU	1886	1904	19	TE	21	A4	RV				Risse im Sperrkörper
13	Hume	Australien	AU	1936	1939	4	TE	49	A1	DR				an der Wasserseite nach schnellem Absenken
14	Hyland	Australien	AU	1963	1963	1	TE	24	A2	FE	KF			Bruch der Schußinnenwand durch Wasserdruck von außen
15	Lake Cawndilla	Australien	AU	1961	1962	2	TE	13	A1	EI	V			schlechte Verdichtung, Setzungen, Sickerung entlang einer Entnahmeleitung
16	Morwell 2	Australien	AU	1968	1968	1	TE	nb	A1	EI	MF			Bildung von Sickerrohren, ungünstige Sieblinie des Schüttmaterials
17	Prospect Creek	Australien	AU	1888	1888	1	TE	26	A2	RV				Risse im Sperrkörper
18	Rowallan Dam	Australien	AU	1967	1968	2	TE	43	F1	F	EI			Wassereindring entlang der Betonflügel der HW-Entlastung führen zu Auswaschungen der Kermichtung u. zum Bruch (piping)
19	Gepatsch	Österreich	AT	1965	1964	0	ER	153	RS	HR				bis 1966 Hangrutschungen aber keine negativen Auswirkungen, stabilisiert
20	El Saito	Bolivien	BO	1976	1976	0	TE	15	F2	F	EI			
21	Boa Esperanca	Brasilien	BR	1976	1977	2	TE	17	F2	V				
22	Ema	Brasilien	BR	1932	1940	9	TE	19	F2	F	DR			
23	Eucídes Da Chunha	Brasilien	BR	1960	1977	18	TE	56	F2	F	OV			Mangel in Betriebsvorschriften für die Absenkung und nicht funktionstüchtige Methangas von abgestorbenen Pflanzen unter Druck aus Wasser gelöst
24	Furnas Main	Brasilien	BR	1962	1963	2	ER	127	F1	F	GE			verursacht Gasexplosion
25	Oros	Brasilien	BR	1960	1960	0	TE	54	F1	F	OV			während des Baues nach Starkregen überflutet und zerstört
26	Pampulha	Brasilien	BR	1958	1955	0	TE	17	F2	F	EI			schlechtes Schüttmaterial verursacht Sickerungen und innere Erosion
27	Salles De Oliveira	Brasilien	BR	1958	1977	20	TE	35	F2	OV	BO			von Flutwelle aus oberhalb liegendem Damm überströmt, Verschlüsse nicht funktionstüchtig
28	Santa Helena	Brasilien	BR	1979	1985	7	TE	17	A1	V	GV			Verformung und durch mangelhafte Gründung
29	Santo Amaro	Brasilien	BR	1907	1907	0	TE	19	A3	DR				Dammkörperentschung
30	Zgorigrad	Bulgarien	BG	1966	1966	0	TE	42	F2	OV	EI			Dammfuß unterspült - Überströmen
31	Battle Rivor	Canada	CA	1956	1956	1	TE	14	A2	EI	EI			Sickerung entlang einer Entnahmeleitung
32	Deep Brook	Canada	CA	1949	1949	1	TE	14	A4	RV				
33	Dunclair	Canada	CA	1942	1952	11	TE	20	A1	FE				
34	Fourth Lake	Canada	CA	1960	1961	2	TE	18	A2	RV	KF			Endschwelle des Tosbeckens aus anschließendem Kolk unterströmt und zerstört
35	Hinds Lake	Canada	CA	1980	1982	3	TE/ER	12	F2	F	EI			ungleiche Setzungen zw. Schüttung und Dichtung verursachen Risse im
36	Val Marie	Canada	CA	1939	1952	14	TE	??	A1	OV	FB			HW-Überfall zu klein dimensioniert
37	Embelse Aromos	Chile	CL	1979	1984	6	TE	43	F2	F	EI			
38	Embelse Lo Ovalle	Chile	CL	1932	1985	54	TE	13	A1	RV	V			
39	Litu Litu	Chile	CL	1934	1985	52	TE	20	A1	RV	V			
40	Mena	Chile	CL	1885	1888	4	TE	17	F2	F	EI			
41	Panguiao	China	CN	1956	1975	20	TE	25	F2	OV	FB			HW-Überfall zu klein dimensioniert
42	Simantan	China	CN	1956	1975	20	TE	25	F2	OV	FB			
43	Regadera	Columbien	CO	1938	1937	0	TE	37	F2	F	GV			
44	Hyogiri	Südkorea	KR	1961	1961	0	TE	16	A1	DR	MF			

Tabelle A.3: Verwendete Schadensfälle - Teil 2

Nr	Sperrname	Land	Ländercode	BJ	SJ	Alter	Typ	H	S-Typ	S	U1	U2	U3	Anmerkungen
45	Bila Desna	Tschechoslowakei	CZ	1915	1916	2	TE	17	F1	F	MF			
46	Jesenice	Tschechoslowakei	CZ	1961	1963	3	TE	23	A1	DR	KF			
47	Sorpe	Deutschland	DE	1935	1956	22	TE	69	A1	A	KE			
48	Söse	Deutschland	DE	1931	1959	29	ER	54	A1	FE	MF			
49	Odliel	Spanien	ES	1970	1970	1	ER	35	A3	OV				
50	Tous	Spanien	ES	1982		0	TE/PG	72	F2	F	OV			
51	El Kafara	Ägypten	EG	-2500		0	TE	15	F1	F	OV			
52	Lac Laurent	Frankreich	FR	1219	1219	29	TE	20	A4	F	OV			
53	Wassey	Frankreich	FR	1883	1883	0	TE	16	A1	DR				
54	Abberton	Vereinigtes Königreich	GB	1940	1937	0	TE	17	A3	DR	GV			
55	Alston 1	Vereinigtes Königreich	GB	1932	1927	0	TE	??	A3	FE	DR			
56	Bartley	Vereinigtes Königreich	GB	1931	1927	0	TE	??	A3	DR				
57	Bliberry	Vereinigtes Königreich	GB	1845	1852	8	TE	20	F2	F	EI			
58	Blackbrook 1	Vereinigtes Königreich	GB	1795	1801	7	TE	28	F1	F	EI			
59	Blaen-Y-Cwm	Vereinigtes Königreich	GB	1937	1936	0	TE	18	A2	EI	V			
60	Blithfield	Vereinigtes Königreich	GB	1934	1929	0	TE	31	A2	EI	KF			
61	Broomhead	Vereinigtes Königreich	GB	1924	1925	2	TE	11	F1	F	OV			
62	Coedy	Vereinigtes Königreich	GB	1858	1864	7	TE	29	F2	F	KF			
63	Daledyke	Vereinigtes Königreich	GB	1962	1962	1	TE	36	A3	DR	V			
64	Greenbooth	Vereinigtes Königreich	GB	1850	1851	2	TE	21	F2	F	AF			
65	Hollingworth	Vereinigtes Königreich	GB	1820	1836	17	TE	18	A1	OV	KF			
66	Killington	Vereinigtes Königreich	GB	1896	1969	74	TE	20	A4	EI				
67	Llest Wen	Vereinigtes Königreich	GB	1855	1852	0	TE	21	F2	F	n.b.			
68	Rhodesworth	Vereinigtes Königreich	GB	1867	1879	13	TE	24	A4	EI				
69	Swansea	Vereinigtes Königreich	GB	1962	1962	1	TE	31	A3	DR				
70	Tittesworth	Vereinigtes Königreich	GB	1855	1854	0	TE	31	F2	F	EA			
71	Torside	Vereinigtes Königreich	GB	1915	1915	1	TE	24	A2	EI	UD			
72	Walshaw Dean	Vereinigtes Königreich	GB	1796	1815	20	TE	12	F2	F	OV			
73	Whinhill	Vereinigtes Königreich	GB	1796	1835	40	TE	12	F2	F	OV			
74	Whinhill	Vereinigtes Königreich	GB	1876	1850	0	TE	29	F1	F	EI			
75	Woodhead Dam	Vereinigtes Königreich	GB	1954	1985	0	TE	20	F1	F	OV			
76	Lower Stava	Italien	IT			0	TE	26	F2	F	KF			
77	Ahraura	Indien	IN	1883	1883	0	ER	17	A1	DR				
78	Ashti	Indien	IN	1963	1963	1	TE	42	A2	RV	GV			
79	Badua	Indien	IN	1955	1962	8	TE	22	A1	DR	V			
80	Bendsura	Indien	IN	1965	1973	9	TE/PG	41	A1	EI	OV			
81	Bhojpur	Indien	IN	1975	1976	2	TE	21	A4	EI	OV			
82	Dantiwada	Indien	IN	1962	1962	1	TE	32	A2	EI	UD			
83	Dhanibara	Indien	IN	1893	1894	2	TE	274	F1	F	OV1			
84	Dudhava	Indien	IN	1957	1958	2	TE	41	F2	F	OV			
85	Ghona	Indien	IN	1955	1965	11	TE	26	F2	F	GV			
86	Kaddam	Indien	IN	1964	1964	1	TE	20	F2	F	OV			
87	Kaila	Indien	IN	1966	1961	0	TE	24	F2	F	OV1			
88	Kedar Nala	Indien	IN	1963	1983	21	TE/PG	36	F2	F	nb			
89	Kharagpur	Indien	IN	1955	1963	9	TE	38	A1	EI	MF			
90	Kohodiu (Setrunsi)	Indien	IN	1972	1979	8	TE	26	F1	F	OV			
91	Konar	Indien	IN	1976	1976	1	TE	18	F2	F	EI			
92	Machhu II	Indien	IN											
93	Manivali	Indien	IN											

Tabelle A.4: Verwendete Schadensfälle - Teil 3

Nr	Sperrname	Land	Ländercode	BJ	SJ	Alter	Typ	H	S-Typ	S	U1	U2	U3	Anmerkungen
94	Nanaksgar	Indien	IN	1962	1967	6	TE	16	F2	F	EI			
95	Pagara	Indien	IN	1927	1943	17	TE	30	F2	F	OV			
96	Panchet	Indien	IN	1961	1961	1	TE	49	F2	F	OV			
97	Sampna Tank	Indien	IN	1956	1961	6	TE	22	A1	DR	KF			
98	Sarda Sagsr	Indien	IN	1961	1963	3	TE	16	A2	EI	UD			
99	Vir	Indien	IN	1961	1962	2	TE	24	A1	RV				
100	Waghad	Indien	IN	1883	1883	1	TE	32	F2	OV				
101	Sempor	Indonesien	ID	1978	1967	0	ER	64	F2	F	OV1			
102	Dibbis	Irak	IQ	1965	1984	20	TE	20	F2	F	OV4			
103	Gotvand	Iran	IR	1977	1980	4	TE	22	F2	F	OV4			
104	Ashiazawa	Japan	JP	1912	1956	45	TE	15	F2	F	OV			
105	Haiwaik	Japan	JP	1949	1951	3	TE	20	F1	F	OV			
106	Irukaik	Japan	JP	1633	1868	236	TE	29	F2	F	OV			
107	Matsuda Tameile	Japan	JP	1907	1954	48	TE	20	A1	EI	FE			
108	Murayama Shimo	Japan	JP	1927	1923	0	TE	30	A3	RV	E			
109	Murayamakami	Japan	JP	1924	1923	0	TE	24	A1	RV	E			
110	Ogayarindo Tameike	Japan	JP	1944	1963	20	TE	19	F2	F	OV			
111	Ono	Japan	JP	1913	1923	11	TE	49	A1	RV	V			
112	Osarusawa	Japan	JP	1931	1936	6	TE	60	A4	EI				
113	Otaniike	Japan	JP	1920	1946	27	TE	27	A1	RV	E			
114	Mafeteng	Lesotho	LS	1988	1988	1	TE	23	F2	F	MF			
115	Ghattara 2	Libyen	LY	1975	1975	1	TE	39	F2	F	EI			
116	El Estribon	Mexico	MX	1946	1963	18	TE	21	A1	DR	MF			
117	La Calera	Mexico	MX	1963	1964	2	ER	28	A1	DR	V			
118	La Laguna	Mexico	MX	1912	1969	58	TE	17	F2	F	EI			
119	Marte Gomez	Mexico	MX	1946	1946	1	TE	49	A2	RV	KF			
120	Nexaca	Mexico	MX	1909	1909	1	TE	59	A3	DR	KF			
121	San Idefonso	Mexico	MX	1626	1626	0	TE	8	F2	OV				
122	Bagauda	Nigeria	NG	1970	1988	19	TE	20	F2	F	OV			
123	Ruahihi	Neuseeland	NZ	1981	1981	1	ER	32	F2	F	EI			
124	Bolan	Pakistan	PK	1960	1976	17	TE	134	A4	EI				
125	Nari Bolan	Pakistan	PK	1958	1976	19	TE	33	F1	F	OV			
126	Beici	Rumänien	RO	1962	1991	30	TE	19	F2	F	OV			
127	Noppikoski	Schweden	SE	1967	1985	19	TE	18	F2	F	OV			
128	Bon Accord	Südafrika	ZA	1925	1937	13	TE	18	F2	F	GV			
129	Bridle Drift	Südafrika	ZA	1968	1968	0	TE	52	F2	F	OV			
130	H. Strijdom	Südafrika	ZA	1977	1977	1	TE	17	F2	F	OV			
131	Kilbum Dam	Südafrika	ZA	1981	1981	1	TE	51	F2	F	EI			
132	Leeu Gamka	Südafrika	ZA	1920	1928	9	TE	15	F2	F	EI			
133	Loerie	Südafrika	ZA	1971	1977	7	TE	26	F2	F	OV			
134	Loma Dawn	Südafrika	ZA	1971	1980	10	TE	31	F2	F	MV			
135	Magoto	Südafrika	ZA	1924	1976	53	TE	36	F2	F	EI			
136	Marico Bosveld	Südafrika	ZA	1933	1936	4	TE	34	F2	F	MV			
137	Molteno	Südafrika	ZA	1881	1882	2	TE	15	F2	F	FE			
138	Ohrigstad	Südafrika	ZA	1955	1955	1	TE	52	F2	F	MV			
139	Prins River	Südafrika	ZA	1917	1962	46	TE	34	F2	F	MV			
140	Smartt Syndicate	Südafrika	ZA	1912	1961	50	TE	28	F2	F	EI			
141	Spitskop	Südafrika	ZA	1974	1988	15	TE	18	F2	F	nb			
142	Voelvllei	Südafrika	ZA	1971	1971	0	TE	10	F2	F	EI, EA			

Tabelle A.5: Verwendete Schadensfälle - Teil 4

Nr	Sperrname	Land	Ländercode	BJ	SJ	Alter	Typ	H	S-Typ	S	U1	U2	U3	Anmerkungen
143	Vygeboom	Südafrika	ZA	1971	1974	4	TE	48	F2	F	EA			
144	Waterdown	Südafrika	ZA	1958		0	TE	45	F2	F	MV			
145	Xonxa	Südafrika	ZA	1974	1972	0	TE	49	F2	F	OV			
146	Loerie	Somalia	SO	1971	1981	11	TE	26	F2	F	OV			
147	Kantele	Sri Lanka	LK	1896	1986	91	TE	27	F2	F	EI			
148	Äpa	Türkei	TR	1962	1962	1	TE	31	A2	DR	RV			
149	Demirkorpu	Türkei	TR	1960	1963	4	TE	77	A1	EI	UD			
150	May Dam	Türkei	TR	1960	1960	1	TE	28	A1	EI	UB			
151	Rincon DeBonete	Türkei	TR	1945	1959	15	TE	41	F2	F	OV			
152	Alamo Arroyo	Vereinigte Staaten	US	1960	1960	1	TE	21	A1	EI	UD			
153	Alexander	Vereinigte Staaten	US	1932	1930	0	TE	29	A3	DR	KF			
154	Altum Fork	Vereinigte Staaten	US	1936	1938	3	TE	35	A2	EI	UB			
155	American River	Vereinigte Staaten	US	1951	1950	0	TE	53	F2	F	OV			
156	Anaconda	Vereinigte Staaten	US	1938		0	TE	22	F	F	EI			
157	Apishapa	Vereinigte Staaten	US	1920	1923	4	TE	35	F1	F	EI			
158	ArmBroke Site	Vereinigte Staaten	US	1963	1964	2	TE	18	A1	EI	GF			
159	Avalon I	Vereinigte Staaten	US	1893	1893	1	TE/ER	18	F2	F	OV			
160	Avalonil	Vereinigte Staaten	US	1894	1903	10	TE	15	F2	F	EI			
161	Avalon II	Vereinigte Staaten	US	1894	1904	11	TE	15	F2	F	EI			
162	Baldwin Hills	Vereinigte Staaten	US	1951	1963	13	TE	50	F2	F	GV			
163	Balsam	Vereinigte Staaten	US	1927	1929	3	TE	18	F1	F	EA			
164	Bear Gulch	Vereinigte Staaten	US	1896	1914	19	TE	19	A1	DR				
165	Beaver Park	Vereinigte Staaten	US	1914	1914	1	ER	30	A1	EI	MF			
166	Belle Fourche	Vereinigte Staaten	US	1909	1912	4	TE	35	A2	RV				
167	Belle Fourche	Vereinigte Staaten	US	1909	1932	24	TE	35	A1	DR				
168	Black Beauty Res.	Vereinigte Staaten	US	1951	1951	1	TE	15	A2	RV	GV			
169	Black rock	Vereinigte Staaten	US	1907	1909	3	ER	21	F2	F	KF			
170	Booton Mauer	Vereinigte Staaten	US	1903		0	TE	35	A4	RV	KF			
171	Bowman	Vereinigte Staaten	US	1927	1928	2	ER	51	A1	EI	MF			
172	Braunig	Vereinigte Staaten	US	1962	1963	2	TE	27	A2	EA	KF			
173	Brush Hollow	Vereinigte Staaten	US	1910	1923	14	TE	30	FE					
174	Brush Hollow	Vereinigte Staaten	US	1910	1928	19	TE	30	A1	DR	FB			
175	Bully Creek	Vereinigte Staaten	US	1963	1925	0	ER	26	A1	EI	MF			
176	Calaveras	Vereinigte Staaten	US	1914	1918	5	TE	67	A3	DR	KF			
177	Calaveras	Vereinigte Staaten	US	1925	1938	14	TE	67	A1	FE	KF			
178	Castlewood	Vereinigte Staaten	US	1899	1933	35	ER	21	F2	F	GV			
179	Caulk Lake	Vereinigte Staaten	US	1950	1973	24	TE	20	A4	EI				
180	Chambers Lake I	Vereinigte Staaten	US	1885	1891	7	TE	15	A1	FE	MF			
181	Charles Lee Tilden Park	Vereinigte Staaten	US	1938	1964	27	TE	27	A1	EI	EI			
182	Clendening	Vereinigte Staaten	US	1937	1937	1	TE	20	A3	DR	MF			
183	Cobb Creek 1	Vereinigte Staaten	US	1959	1959	1	TE	23	A2					
184	Cobb Creek 2	Vereinigte Staaten	US	1959	1962	4	TE	23	A1					
185	Cogswell	Vereinigte Staaten	US	1934	1934	1	ER	85	A3	RV	V			
186	Cold Springs	Vereinigte Staaten	US	1908	1912	5	TE	15	A4	EI				
187	Colley Lake	Vereinigte Staaten	US	1960		0	TE	19	F1	F				
188	Coloradosprings Res.	Vereinigte Staaten	US	1912		0	TE	15	A1	EI	AF			
189	Corpus Christi	Vereinigte Staaten	US	1930	1930	1	TE	19	F2	F	UD			
190	Costilla	Vereinigte Staaten	US	1920	1924	5	TE	37	A1	DR				
191	Costilla	Vereinigte Staaten	US	1920	1941	22	TE	37	A1	EI				

Bruch des Auslaßstollens / Rutschung auf weicher, organischer Schicht in der

Tabelle A.6: Verwendete Schadensfälle - Teil 5

Nr	Sperrname	Land	Ländercode	BJ	SJ	Alter	Typ	H	S-Typ	S	U1	U2	U3	Anmerkungen
192	Cowans Ford	Vereinigte Staaten	US	1963	1965	3	TE	40	F1	EI	KF			
193	Crane Creek	Vereinigte Staaten	US	1910	1928	19	TE	19	A1	EI	FE			
194	Cuba Res.	Vereinigte Staaten	US	1851	1868	18	TE	16	A1	VS	KF			
195	Daggs Dam	Vereinigte Staaten	US	1919	1973	55	ER	19	A4	EI				
196	Davis	Vereinigte Staaten	US	1914	1914	1	TE	12	A4	EI				
197	De Sabla Forebay	Vereinigte Staaten	US	1903	1932	30	TE	16	A1	EI	KF			
198	Dickinson	Vereinigte Staaten	US	1950	1954	5	TE	19	A1	FE	GV			
199	Dykstra	Vereinigte Staaten	US	1926	1926	0	TE	15	F1	F	OV1			
200	East Branch	Vereinigte Staaten	US	1952	1957	6	TE	59	A1	EI	KF			
201	Emery	Vereinigte Staaten	US	1850	1966	117	TE	15	F2	F	EI			
202	Empire	Vereinigte Staaten	US	1906	1909	4	TE	12	A4	EI				
203	Englewood	Vereinigte Staaten	US	1921	1921	1	TE	34	F2	F	EI			
204	English	Vereinigte Staaten	US	1883	1883	0	ER	30	A1	EI	OV1			
205	English Water Supply	Vereinigte Staaten	US	1965	1965	1	TE	16	A2	EI	UD			
206	Fontenelle	Vereinigte Staaten	US	1964	1965	2	TE	42	A2	VS	GV			
207	Forsythe	Vereinigte Staaten	US	1920	1921	2	TE	20	A1	DR	UD			
208	Fort Peck	Vereinigte Staaten	US	1940	1938	0	TE	76	A3	DR	KF			
209	Fred Burr	Vereinigte Staaten	US	1947	1948	2	TE	16	F2	F	EI			
210	Fruit Growers	Vereinigte Staaten	US	1898	1937	40	TE	11	A1	DR				
211	Garzas	Vereinigte Staaten	US	1927	1926	0	TE	37	A3	VS	KF			
212	Gilbert Run 2 Res.	Vereinigte Staaten	US	1913	1913	1	TE	15	A2	EI	UD			
213	Gilbert Run 2 Res.	Vereinigte Staaten	US	1913	1942	30	TE	15	A1	FE	EI			
214	Gilbert Run 2 Res.	Vereinigte Staaten	US	1913	1963	51	TE	15	A2	FE	KF			
215	Golder	Vereinigte Staaten	US	1964	1964	1	TE	40	A2	EI	V			
216	Gooser Creek	Vereinigte Staaten	US	1900	1900	1	ER	64	F1	F	OV			
217	Gooser Creek	Vereinigte Staaten	US	1900	1916	17	TE	64	F1	F	OV			
218	Graham Lake	Vereinigte Staaten	US	1922	1923	2	TE	34	F1	F	KF			
219	Grandview	Vereinigte Staaten	US	1965	1960	0	TE	24	A3	F	UD			
220	Great Western	Vereinigte Staaten	US	1907	1958	52	TE	19	A1	VS	GV			
221	Greenlick (Scottdale)	Vereinigte Staaten	US	1901	1904	4	TE	19	F2	F	EI			
222	Gros Venture	Vereinigte Staaten	US	1925	1927	3	TE	55	A4	EI				
223	Halfmoon Bay	Vereinigte Staaten	US	1926	1926	0	TE	15	F1	F	OV1			
224	Harlan Country	Vereinigte Staaten	US	1952	1956	5	TE	31	A1	EA	KF			
225	Harlan Country	Vereinigte Staaten	US	1952	1957	6	TE	31	A1	EA	KF			
226	Harlan Country	Vereinigte Staaten	US	1952	1958	7	TE	31	A1	EA	KF			
227	Harlan Country	Vereinigte Staaten	US	1952	1963	12	TE	31	A1	EA	KF			
228	Hatchtown	Vereinigte Staaten	US	1908	1914	7	TE	18	A1	EI				
229	Hatfield	Vereinigte Staaten	US	1909	1911	3	TE	9	F2	F	OV1			
230	Hebgen	Vereinigte Staaten	US	1915	1959	45	TE	37	A1	RV	OV			
231	Hebron	Vereinigte Staaten	US	1913	1914	2	TE	17	F2	F	EI			
232	Hebron	Vereinigte Staaten	US	1913	1942	30	TE	17	F2	OV	FB			
233	Holmes Creek	Vereinigte Staaten	US	1903	1924	22	TE	20	A1	DR	KF			
234	Horse Creek	Vereinigte Staaten	US	1914	1914	1	TE	17	F2	F	EI			
235	Horse Creek 2	Vereinigte Staaten	US	1935	1935	1	TE	12	F2	F	OV1			
236	Ira Price Dam	Vereinigte Staaten	US	1965	1964	0	TE	12	A2	FDS	UB			
237	Jackson Bluff	Vereinigte Staaten	US	1930	1957	28	TE	9	F2	F	DR			
238	Jannings Creek Watershed 13	Vereinigte Staaten	US	1960	1962	3	TE	22	A1	EI	MF			
239	Jannings Creek Watershed 16	Vereinigte Staaten	US	1960	1964	5	TE	17	F1	F	UD			
240	Jannings Creek Watershed 5	Vereinigte Staaten	US	1957	1962	6	TE	20	A1	EI	UD			

Tabelle A.7: Verwendete Schadensfälle - Teil 6

Nr	Sperrname	Land	Ländercode	BJ	SJ	Alter	Typ	H	S-Typ	S	U1	U2	U3	Anmerkungen
241	Jannings Creek Watershed 3	Vereinigte Staaten	US	1962	1963	2	TE	21	F2	F	UD			
242	Jemez Canyon	Vereinigte Staaten	US	1953	1958	6	TE	42	A1	HR				
243	Johnstown	Vereinigte Staaten	US	1842		0	TE	22	F2	F	OV			
244	Julesburg	Vereinigte Staaten	US	1905	1905	1	TE	18	A2	EI	UD			
245	Jumbo	Vereinigte Staaten	US	1905	1910	6	TE	18	F2	F	EI			
246	Kanopolis	Vereinigte Staaten	US	1948	1950	3	TE	34	A1	EI	MF			
247	Kanopolis	Vereinigte Staaten	US	1948	1951	4	TE	34	A1	EI	MF			
248	Kenray	Vereinigte Staaten	US	1962	1962	1	TE	17	A1	DR	MF			
249	Kinsley	Vereinigte Staaten	US	1940	1942	3	TE	52	A1	EA	KF			
250	Kinsley	Vereinigte Staaten	US	1940	1948	9	TE	52	FE	EA	KF			
251	Lafayette	Vereinigte Staaten	US	1939	1928	0	TE	30	A3	V	GV			
252	Lake Cawndilla	Vereinigte Staaten	US	1893		0	ER	16	F1	F	OV4			
253	Lake Barcroft	Vereinigte Staaten	US	1913	1972	60	TE	21	F2	F	OV			
254	Lake Frances I	Vereinigte Staaten	US	1899	1899	1	TE	15	F1	F	EI			
255	Lake Frances II	Vereinigte Staaten	US	1901	1935	35	TE	24	F1	F	EI			
256	Lake Orinda	Vereinigte Staaten	US	1924	1962	39	TE	15	A4	MV	MF			
257	Lake Toxaway	Vereinigte Staaten	US	1902	1916	15	TE	19	F1	F	GV			
258	Lake Waco	Vereinigte Staaten	US	1930	1947	18	TE	21	F2	F	FE			
259	Laurel Run 2	Vereinigte Staaten	US	1918	1977	60	TE	13	F2	OV				
260	Little Deer Creek	Vereinigte Staaten	US	1962	1963	2	TE	26	F1	F	EI			
261	Little Field	Vereinigte Staaten	US	1929	1929	1	ER	37	F1	F	EI			
262	Lone Pine Dam	Vereinigte Staaten	US	1936	1936	1	TE	31	PA	UB				
263	Long Tom	Vereinigte Staaten	US	1915	1916	2	TE	18	A1	EI	EI			
264	Lookout Shoals	Vereinigte Staaten	US	1966	1964	0	ER	125	A3	OV1				
265	Lower Hell Hole	Vereinigte Staaten	US	1914	1976	63	TE	15	A1	OV1	BO			
266	Lower Idaho Falls	Vereinigte Staaten	US	1898	1916	19	TE	40	F2	F	GV			
267	Lower Otay	Vereinigte Staaten	US	1913	1915	3	TE	20	F2	F	GV			
268	Lyman	Vereinigte Staaten	US	1871	1876	6	TE	20	A4	EI	EI			
269	Lynde Brook	Vereinigte Staaten	US	1917	1911	0	TE	41	A2	DR	EI			
270	Magic	Vereinigte Staaten	US	1916	1917	2	TE	23	F1	F	OV1			
271	Mammoth Pool	Vereinigte Staaten	US	1938	1938	1	TE	17	A2	EI	UD			
272	Marion County	Vereinigte Staaten	US	1939	1937	0	TE	37	F2	GV				
273	Marshall Creek	Vereinigte Staaten	US	1860	1909	50	TE	26	A4	EI				
274	Marshall Lake	Vereinigte Staaten	US	1911	1925	15	TE	62	A1	RV				
275	Marston Lake	Vereinigte Staaten	US	1950	1951	2	ER	18	A1	EI	RV			
276	Masteron	Vereinigte Staaten	US	1908	1915	8	TE	17	A1	RV	MF			
277	Mc Millan	Vereinigte Staaten	US	1908	1937	30	TE	17	A1	RV	MF			
278	Mc Millan	Vereinigte Staaten	US	1924	1926	3	TE	17	F2	OV				
279	Mc Mahon Gulch	Vereinigte Staaten	US	1939	1940	2	TE	44	A2	EI	UD			
280	Mill Creek	Vereinigte Staaten	US	1874		0	TE	13	F1	F	GV			
281	Mill River	Vereinigte Staaten	US	1915	1920	6	ER	19	A1	DR				
282	Minataro	Vereinigte Staaten	US	1926		0	TE	17	F1	F	OV4			
283	Mohamon Gulch	Vereinigte Staaten	US	1910	1928	19	TE	23	A1	DR				
284	Mount Pisgah	Vereinigte Staaten	US	1908	1925	18	TE	29	F2	F	DR			
285	Narraguinnep	Vereinigte Staaten	US	1908	1951	44	TE	29	A1	EI	UD			
286	Narraguinnep	Vereinigte Staaten	US	1905	1907	3	TE	25	A1	DR				
287	Naorth Dike	Vereinigte Staaten	US	1935	1923	0	TE	17	F1	F	OV1			
288	Oklahoma City	Vereinigte Staaten	US	1962	1963	2	TE	34	RS	HR				
289	Olive Hills	Vereinigte Staaten	US											Rutschung im Becken nach Entleerung für Reinigung

Tabelle A.8: Verwendete Schadensfälle - Teil 7

Nr	Sperrname	Land	Ländercode	BJ	SJ	Alter	Typ	H	S-Typ	S	U1	U2	U3	Anmerkungen
290	Otter Brook	Vereinigte Staaten	US	1958	1958	1	TE	42	A3	V	KF			
291	Owen Res.	Vereinigte Staaten	US	1915	1914	0	TE	14	F2	F	FE			
292	Paris	Vereinigte Staaten	US	1940	1939	0	ER	17	F2	F	OV1			
293	Park Res.	Vereinigte Staaten	US	1940	1914	0	ER	5	F1	F	OV1			
294	Penn Forest	Vereinigte Staaten	US	1959	1960	2	TE	52	A2	EI	V			
295	Piedmont 1	Vereinigte Staaten	US	1903	1904	2	TE	29	A3	FE	V			
296	Pleasant Valley	Vereinigte Staaten	US	1927	1928	2	TE	24	A2	EI	RV			
297	Point of Rocks	Vereinigte Staaten	US	1915	1927	13	TE	26	A1	EA	KF			
298	Point of Rocks	Vereinigte Staaten	US	1915	1915	1	TE	26	A3	FE	KF			
299	Priest Rapids	Vereinigte Staaten	US	1959	1964	6	TE	56	A2	EI	KF? AF?			
300	Puddingstone	Vereinigte Staaten	US	1928	1926	0	TE	55	A3	F	OV1			
301	Quail Creek	Vereinigte Staaten	US	1984	1988	5	TE	24	F2	GV	EI			
302	Rector Creek	Vereinigte Staaten	US	1946	1947	2	TE	52	A1	RV	V			
303	Red Mountain Res.	Vereinigte Staaten	US	1949	1950	2	TE	18	A2	DR	EI			
304	Red Rock	Vereinigte Staaten	US	1910	1910	1	TE	32	A3	OV	BF			
305	Sallisaw Creek 29	Vereinigte Staaten	US	1964	1964	1	TE	19	A2	EI				
306	Saluda (lake Murray)	Vereinigte Staaten	US	1930	1930	1	TE	63	A3	DR	KF			
307	San Pablo	Vereinigte Staaten	US	1920	1921	2	TE	67	A1	EA	KF			
308	San Pablo	Vereinigte Staaten	US	1920	1936	17	TE	68	A2	FE				
309	Santee	Vereinigte Staaten	US	1941	1948	8	TE	18	A1	EA	ME			
310	Schaeffer	Vereinigte Staaten	US	1911	1921	11	TE	30	F1	F	OV4			
311	Scottdale	Vereinigte Staaten	US	1901	1904	4	TE	18	A4	EI				
312	Seefeld	Vereinigte Staaten	US		1925	0	TE	40	F1	F	OV4			
313	Senaca	Vereinigte Staaten	US		1975	0	TE	19	A3	OV1				
314	Sepulveda Canyon	Vereinigte Staaten	US	1914	1914	1	TE	20	F1	F	GV			
315	Sequoyah	Vereinigte Staaten	US	1956	1956	1	TE	19	A3	OV1				
316	Sheep Creek	Vereinigte Staaten	US	1969	1970	2	TE	18	A1	FE	V			
317	Shell Oil Co.	Vereinigte Staaten	US	1946	1947	2	TE	24	A1	RV	V			
318	Sidlie Hollow	Vereinigte Staaten	US	1965	1965	1	TE	16	A2	EI	UD			
319	Sinker Creek	Vereinigte Staaten	US	1919	1943	25	TE	21	F1	F	DR			
320	Snake Ravine	Vereinigte Staaten	US	1893	1893	1	TE	20	A1	AF				
321	Snake Ravine	Vereinigte Staaten	US	1893	1898	6	TE	20	A1	AF				
322	South Fork	Vereinigte Staaten	US	1852	1889	38	TE	22	A1	FE				
323	South Fork	Vereinigte Staaten	US	1852	1889	38	TE	22	F1	F	OV			
324	Standley Lake	Vereinigte Staaten	US	1911	1914	4	TE	34	A1	DR				
325	Stanley	Vereinigte Staaten	US	1912	1912	1	TE	34	A1	DR	KF			
326	Stanley	Vereinigte Staaten	US	1912	1914	3	TE	34	A1	DR	KF			
327	Stanley	Vereinigte Staaten	US	1912	1916	5	TE	34	A1	DR	KF			
328	Stockton Creek	Vereinigte Staaten	US	1949	1950	2	TE	29	F2	F	EI			
329	Sublett	Vereinigte Staaten	US	1915	1915	1	TE	16	A1	FE, DS				
330	Summer Lake	Vereinigte Staaten	US	1925	1925	1	TE	18	A2	EI	UD			
331	Surry Mountain	Vereinigte Staaten	US	1942	1943	2	TE	28	A1	FE	HR			
332	Swift	Vereinigte Staaten	US	1914	1964	51	TE	57	F1	F	EA			
333	Table Rock Cove	Vereinigte Staaten	US	1927	1928	2	TE	43	A1	DR	EI			
334	Tappan	Vereinigte Staaten	US	1936	1934	0	TE	18	A3	GV				
335	Terrace Res.	Vereinigte Staaten	US	1912	1957	46	TE	48	A1	DR	KF			
336	Teton	Vereinigte Staaten	US	1975	1976	2	TE	93	A1	EI	UD			
337	Toreson	Vereinigte Staaten	US	1898	1953	56	TE	15	A1	FE	MF			
338	Utica	Vereinigte Staaten	US	1873	1902	30	TE	21	A1	DR	AF			

Tabelle A.9: Verwendete Schadensfälle - Teil 8

Nr	Sperrname	Land	Ländercode	BJ	SJ	Alter	Typ	H	S-Typ	S	U1	U2	U3	Anmerkungen
339	Van Norman lake	Vereinigte Staaten	US	1921	1971	51	ER	43	F2	F	DR			
340	Virgin River	Vereinigte Staaten	US	1929		0	TE	20	PA	AF				
341	Waco	Vereinigte Staaten	US	1965	1961	0	TE	43	A3	DR	GV			
342	Wagner	Vereinigte Staaten	US	1918	1938	21	TE	15	F1	F	OV2			
343	Wahiawa	Vereinigte Staaten	US	1906	1921	16	ER	41	A1	FE	UD			
344	Walnut Grove	Vereinigte Staaten	US	1890	1890	0	ER	34	F2	F	MF			
345	Walter Bouldin	Vereinigte Staaten	US	1967	1975	9	TE	50	F2	F	DR			
346	Washuett North Dike	Vereinigte Staaten	US	1908	1907	0	TE	25	A1	DR	MF			
347	Wesley E. Seale	Vereinigte Staaten	US	1958	1965	8	TE	35	F2	F	FE			
348	Whitewater Brook	Vereinigte Staaten	US	1943	1972	30	TE	19	A1	MF	OV			
349	Wisconsin Dells	Vereinigte Staaten	US	1909	1911	3	ER	18	F1	F	EA			
350	Wister	Vereinigte Staaten	US	1949	1949	1	TE	27	A2	EI	MF			
351	Woodrat Knob	Vereinigte Staaten	US	1945	1961	17	TE	26	A1	DR	KF			
352	Wyandotte Country	Vereinigte Staaten	US	1941	1937	0	TE	28	F2	F	DR			
353	Yorba	Vereinigte Staaten	US	1907	1930	24	TE	15	A1	DR	DR			
354	Zuni	Rußland	RU	1907	1909	3	ER	21	A4	EI				
355	Karachunovskaya	Rußland	RU	1950	1934	0	ER	22	A3	EA	KF			
356	Nizhne Svirskaya	Rußland	RU	1935	1935	1	TE	18	F2	F	DR			
357	Nizhne Tulomskaya	Rußland	RU	1938	1938	1	ER	29	A3	DR	MF			
358	Sargozanskaya	Rußland	RU	1980	1987	8	TE	23	F2	OV	HR			
359	N/A	Venezuela	VE	1965	1965	1	TE	33	A2	RV	AF			
360	Oxcar Banja od. Ocar Banja od. Oxcar Banja	Serbien	RS	1952	1965	14	TE	27	F2	F	OV2			
361	Fergoug I	Algerien	DZ	1871	1881	11	PG	43	F1	F	OV			
362	Fergoug II	Algerien	DZ	1885	1927	43	PG	43	F1	F	OV			
363	Grand Cheurfas	Algerien	DZ	1885	1880	0	PG	30	F1	F	HR			
364	Habra	Algerien	DZ	1871	1872	2	PG	30	F2	F	FB			
365	Habra	Algerien	DZ	1873	1881	9	PG	30	F2	F	FB			
366	Habra	Algerien	DZ	1887	1927	41	PG	30	F2	F	FB			
367	St. Denis du Sig	Algerien	DZ	1846	1885	40	PG	18	F1	F	FB			
368	Zardezaz	Algerien	DZ	1938	1932	0	PG	64	A3	HR	GV			
369	Chichester	Australien	AU	1923		0	PG	41	A1	RV	GV			
370	Yallum Weir	Australien	AU	1924	1934	11	PG	12	F2	F	OV			
371	Spullersee	Österreich	AT	1924		0	PG	44	A4	RV				
372	Warche	Belgien	BE	1930		0	PG	56	A1	DS	MF			
373	Scott Falls	Canada	CA	1921	1923	3	PG	15	F1	F	EA			
374	Barberine	Schweiz	CH	1924		0	PG	85	A4	RV	MF			
375	Grimsel	Schweiz	CH	1924		0	PG	114	A4	RV	KF			
376	Rempen	Schweiz	CH	1924		0	PG	32	A4	RV	DS			
377	Schräh	Schweiz	CH	1926		0	PG	110	A4	RV	DS			
378	Souzier	Schweiz	CH	1888	1888	1	PG	nb	F1	F	FB			
379	Breitenhain	Deutschland	DE	1917		0	PG	44	A4	RV	KF			
380	Eder	Deutschland	DE	1913	1943	31	PG	47	F2	F	KE			
381	Lingese	Deutschland	DE	1899		0	PG	25	A1	UB	UD			
382	Meschede	Deutschland	DE	1905		0	PG	38	A1	EI				
383	Möhne	Deutschland	DE	1913	1943	31	PG	40	F2	F	KE			
384	Tambacher Sperr	Deutschland	DE	1905		0	PG	25	A1	DS				
385	Bleiloch	Deutschland	DE	1932		0	PG	65	A4	RV	KF			
386	Camarasa	Spanien	ES	1920		0	PG	nb	A4	EI	UD			

Tabelle A.10: Verwendete Schadensfälle - Teil 9

Nr	Sperrname	Land	Ländercode	BJ	SJ	Alter	Typ	H	S-Typ	S	U1	U2	U3	Anmerkungen
387	Gasco	Spanien	ES		1799	0	PG	54	F1	F	AF			
388	Guadarrama	Spanien	ES		1788	0	PG	93	F1	F	KF			
389	Mequinenza	Spanien	ES	1964	1964	1	PG	79	A3	BV	GV			
390	Puentes (alt)	Spanien	ES	1791	1802	12	PG	52	F1	F	EI			
391	S. Maria de Belsue	Spanien	ES	1918		0	PG	52	A1	EI	UD			
392	Val de Infierno	Spanien	ES		1792	0	PG	nb	PA	UB				nicht fertiggestellt, da durchlässige Bank 35,5m ober Sohle entdeckt wurde
393	Villagarcía	Spanien	ES	1961	1961	1	PG	15	A2	DS				
394	Xuriguera	Spanien	ES	1902	1944	43	PG	42	F2	F	GV			
395	Ban de Champagney	Frankreich	FR	1906		0	PG	36	A4	DS				
396	Bouillouse	Frankreich	FR	1947		0	PG	25	A4	DS				
397	Bouzey	Frankreich	FR	1882	1895	14	PG	30	F2	F	UD			
398	Grosbois	Frankreich	FR	1838		0	PG	22	F2	F	GV			
399	Ondenon	Frankreich	FR	1904		0	PG	33	A4	DS				
400	St. Marc Mauer	Frankreich	FR	1930		0	PG	45	A3	RV	KF			
401	Blackbrook II	Frankreich	FR	1906	1957	52	PG	30	A1	DS	RV			
402	Egijau	Vereinigtes Königreich	GB	1911	1925	15	PG	6	F2	F	UD			
403	Laing	Vereinigtes Königreich	GB	1957	1956	0	PG	20	A3	DR				
404	Lago Verde	Italien	IT	1909		0	PG	30	A1	EI	UD			
405	Rutte	Italien	IT	1952	1965	14	PG	15	F1	F	UD			
406	Scandarella	Italien	IT	1924		0	PG	56	A1	EI	UD			
407	Sella Zerbino	Italien	IT	1924	1935	12	PG	16	F1	F	OV			
408	Subiaco	Italien	IT		1305	0	PG	60	F2	F	OV1			
409	Bhakra	Indien	IN	1963	1959	0	PG	226	A2	FE	KF			
410	Chikkahole	Indien	IN	1967	1972	6	PG	36	F2	F	OV			
411	Donkarayi Dam	Indien	IN	1982		0	PG	71	A3	DS				
412	Hemavathy Dam	Indien	IN	1978		0	PG	50	A1	DS	AF			
413	Khadakwasla	Indien	IN	1870	1961	92	PG	33	F1	F	OV			
414	Kundli	Indien	IN	1924	1925	2	PG	45	F1	F	OV			
415	Lower Khajuri	Indien	IN	1949	1949	1	PG	16	F2	F	UD			
416	Mulshi	Indien	IN	1927	1955	29	PG	51	A1	DS	FB			
417	Mutha	Indien	IN	1868		0	PG	32	A1	RV	FB			
418	Periyar Dam	Indien	IN	1895		0	PG	nb	A4	EI	UD			
419	Shrawata	Indien	IN	1920	1920	1	PG	39	A1	DS	KF			
420	Talakalale Dam	Indien	IN	1963		0	PG	62	A4	EI	UD			
421	Thokarwadi	Indien	IN	1922	1925	4	PG	59	A1	RV	GV			
422	Walwan	Indien	IN	1916	1932	17	PG	26	A1	DS	FB			
423	Saveh	Iran	IR	1280	1380	101	PG	40	F2	F	GV			
424	Wachi	Japan	JP		1967	0	PG	25	F2	F	OV1			
425	Brekke	Norwegen	NO	1924		0	PG	38	A4	RV				
426	Grimosen	Norwegen	NO	1917		0	PG	16	A4	RV	MF			
427	Ringedal Mauer	Norwegen	NO	1916		0	PG	33	A4	DS	RV			
428	Solbergfoss	Norwegen	NO	1924		0	PG	44	A4	RV				
429	Storefossen	Norwegen	NO	1948		0	PG	19	A4	DS				
430	Vamma	Norwegen	NO	1915		0	PG	38	A4	RV				
431	Bloemhof	Südafrika	ZA	1970		0	PG	35	A1	EA	KF			
432	Blyde River	Südafrika	ZA	1924	1922	0	PG	18	A3	EA	OV			
433	Churchill	Südafrika	ZA	1943		0	PG	40	F2	F	MV			
434	Elandsdrift	Südafrika	ZA	1973	1973	1	PG	28	F2	F	MV			
435	Florisraal	Südafrika	ZA	1957	1981	25	PG	32	F2	F	OV			

Tabelle A.11: Verwendete Schadensfälle - Teil 10

Nr	Sperrname	Land	Ländercode	BJ	SJ	Alter	Typ	H	S-Typ	S	U1	U2	U3	Anmerkungen
436	Jan Wassenaar	Südafrika	ZA	1960	1968	9	PG	22	F2	F	EI			
437	Nahoon	Südafrika	ZA	1966	1970	5	PG	44	F2	F	OV			
438	Spioenkop	Südafrika	ZA	1973		0	PG	55	F2	F	MV			
439	Vemon Hooper	Südafrika	ZA	1927	1959	33	PG	35	F2	F	EI			
440	Blyde River	Somalia	SO	1924	1923	0	PG	18	A3	EA	OV			
441	Emali 1	Türkei	TR	1893	1916	24	PG	18	F2	F	OV			
442	Angel's	Vereinigte Staaten	US		1895	0	PG	16	F1	F	EI			
443	Austin (Te)	Vereinigte Staaten	US		1900	0	PG	21	F1	F	OV1			
444	Austin I	Vereinigte Staaten	US	1893	1893	1	PG	18	F2	F	GV			
445	Barke Meadow	Vereinigte Staaten	US	1910	1910	1	PG	53	A4	EA	MF			
446	Bayless (erster)	Vereinigte Staaten	US	1899	1899	1	PG	6	F1	F	EA			
447	Bayless (zweiter)	Vereinigte Staaten	US	1909	1909	1	PG	15	F2	F	UD			
448	Bayless (weiter)	Vereinigte Staaten	US	1909	1911	3	PG	16	F2	F	GV			
449	Black Canyon	Vereinigte Staaten	US	1924	1952	29	PG	56	A1	EA	KF			
450	Blanchard	Vereinigte Staaten	US	1925	1939	15	PG	19	A4	EMV	MF			
451	Bonneville	Vereinigte Staaten	US	1938	1945	8	PG	60	A1	FE	KF			
452	Bonneville	Vereinigte Staaten	US	1938	1955	18	PG	60	A1	FE	KF			
453	Buck Power House	Vereinigte Staaten	US	1912	1928	17	PG	15	A1	MV	MF			
454	Cedar Falls Dam	Vereinigte Staaten	US	1914	1918	5	PG	66	(RS)	HR	UB			
455	Chief Joseph	Vereinigte Staaten	US	1958	1957	0	PG	75	A1	EA	MF			
456	Cross River Mauer	Vereinigte Staaten	US	1908		0	PG	52	A4	DS	RV			
457	Folsom	Vereinigte Staaten	US	1955	1953	0	PG	114	A3	OV1	AF			
458	Dond Du Lac Hydroel St.	Vereinigte Staaten	US	1925	1928	4	PG	29	A4	EA	MF			
459	Grand Coulee	Vereinigte Staaten	US	1942	1943	2	PG	168	A4	EA	KF			
460	Great Falls	Vereinigte Staaten	US	1916	1925	10	PG	28	A1	EI	UD			
461	Green Peter	Vereinigte Staaten	US	1964	1965	2	PG	109	A3	F	OV1			
462	Hales Bar	Vereinigte Staaten	US	1913	1913	1	PG	34	A1	EI	UD			
463	Hauser Lake II	Vereinigte Staaten	US	1911	1969	59	PG	40	F2	F	nb			
464	Lower Monumental	Vereinigte Staaten	US	1966	1965	0	PG	52	A3	F	KF			
465	Lynx Creek	Vereinigte Staaten	US		1891	0	PG	15	F1	F	AF			
466	Mulholland Sperr	Vereinigte Staaten	US	1925		0	PG	62	A4	DS	RV			
467	New Croton	Vereinigte Staaten	US	1905	1955	51	PG	91	A1	FE	KF			
468	Nimbus	Vereinigte Staaten	US	1955	1953	0	PG	23	A3	OV1				
469	Rocky Reach	Vereinigte Staaten	US	1962	1961	0	PG	59	A1	EA	MF			
470	Roxbury	Vereinigte Staaten	US	1870	1903	34	PG			F	GV			
471	Seneca	Vereinigte Staaten	US	1897		0	PG	15	F1	F	FB			
472	Shaver Lake	Vereinigte Staaten	US	1927	1941	15	PG	60	A4	DS	MV			
473	St. Croix River	Vereinigte Staaten	US	1905		0	PG	17	A1	DS	MV			
474	St. Francis	Vereinigte Staaten	US	1926	1928	3	PG	56	F1	F	GV			
475	Stevenson	Vereinigte Staaten	US	1919	1939	21	PG	44	A4	MV	MF			
476	Tugalo	Vereinigte Staaten	US	1923	1943	21	PG	42	A4	MV	MF			
477	Wheeler Lock	Vereinigte Staaten	US	1936	1961	26	PG	22	A1	GV				
478	Wilbur	Vereinigte Staaten	US	1912	1940	29	PG	21	A1	FE	OV1			
479	Dnjeprostroj	Ukraine	UA	1931	1941	11	PG	43	F2	F	KE			
480	Dnjeprostroj	Ukraine	UA	1931	1943	13	PG	43	F2	F	KE			
481	Muzuma	Sambia	ZM		1969	0	PG			F2	F			
482	Redbank Creek	Australien	AU	1899	1899	1	VA	16	A4	DS				
483	Umberberka	Australien	AU	1915	1955	41	VA	41	A1	EA	OV			
484	Dobra	Österreich	AT	1952	1954	3	VA	52	A1	HR				

Erdbeben in benachbartem Tal zur Sickerung aus dem Becken

Tabelle A.12: Verwendete Schadensfälle - Teil 11

Nr	Sperrname	Land	Ländercode	BJ	SJ	Alter	Typ	H	S-Typ	S	U1	U2	U3	Anmerkungen
485	Gerlös	Österreich	AT	1945	1963	19	VA	39	A1	HR	UD			
486	Kölnbrein	Österreich	AT	1977	1977	1	VA	200	A1	RV	MF			mehrfache Mängel
487	Canelles	Spanien	ES	1960	1960	1	VA	150	A2	GV				
488	Malpasset	Frankreich	FR	1954	1959	6	VA	66	F1	F	GV			
489	Tolla	Frankreich	FR	1961	1961	1	VA	90	A2	RV	FB			
490	Muro Lucano	Italien	IT	1917	1917	0	VA	51	A1	EI	UB			
491	Vajont	Italien	IT	1960	1963	4	VA	265	RS	OV	RS			Hang rutscht in Staumum - Flutwelle über die Mauer
492	Frayle Arch Dam	Peru	PE	1959	1961	3	VA	74	A1	RV	E			
493	Kariba Cofferdam	Simbabwe	ZW	1958	1958	1	VA	40	A1	EI	UD			
494	Ceres	Südafrika	ZA	1953	1969	17	VA	24	F2	F	MV			
495	Groendal	Südafrika	ZA	1932	1971	40	VA	45	F2	F	MV			
496	Hluhluwe	Südafrika	ZA	1967	1966	0	VA	37	F2	F	OV			
497	Njejele	Südafrika	ZA	1948	1968	21	VA	47	F2	F	EI			
498	Poortjie	Südafrika	ZA	1926	1974	49	VA	16	F2	F	EI			
499	Roode Elsberg	Südafrika	ZA	1968	1974	7	VA	72	F2	F	MV			
500	Shiya-lo-Ngubu	Südafrika	ZA	1939	1939	0	VA	24	F2	F	EI			
501	Swart River	Südafrika	ZA	1955	1955	1	VA	34	A2	MV	KF			
502	Big Santa Anita	Vereinigte Staaten	US	1927	1926	0	VA	72	A3	OV	FB			
503	Bowman (südl. Gewölbe)	Vereinigte Staaten	US	1927	1927	1	VA	41	A4	MV	MF			
504	Caldenwood	Vereinigte Staaten	US	1930	1930	1	VA	71	A2	EA	OV			
505	Cushman 1	Vereinigte Staaten	US	1926	1926	0	VA	84	A1	EA	KF			
506	Cushman 2	Vereinigte Staaten	US	1930	1930	1	VA	72	A1	FE	GV			
507	Gallinas	Vereinigte Staaten	US	1910	1957	48	VA	29	F1	F	EA			
508	Huntington Lake Nr. 1	Vereinigte Staaten	US	1917	1917	1	VA	52	A4	MV	MF			
509	Huntington Lake Nr. 2	Vereinigte Staaten	US	1917	1917	1	VA	37	A4	MV	MF			
510	Huntington Lake Nr. 3	Vereinigte Staaten	US	1917	1917	1	VA	46	A4	MV	MF			
511	Lake Hemet	Vereinigte Staaten	US	1923	1927	5	VA	45	F2	F	OV1			
512	Lake Lanier Dam	Vereinigte Staaten	US	1925	1926	2	VA	19	F2	F	GV			
513	Lake Spaulding	Vereinigte Staaten	US	1913	1936	24	VA	84	A4	MV	MF			
514	Manitou	Vereinigte Staaten	US	1914	1924	11	VA	19	A1	GV	MF			
515	Matilija	Vereinigte Staaten	US	1947	1964	18	VA	50	A1	MV	MF			
516	Mayfield	Vereinigte Staaten	US	1963	1960	0	VA	76	A3	HR	KF			
517	Minnewawa	Vereinigte Staaten	US	1924	1952	29	VA	18	A4	DS	MF			
518	Moyie Dam	Vereinigte Staaten	US	1926	1926	0	VA	16	F1	F	GV			
519	Stewart Mountain	Vereinigte Staaten	US	1930	1953	24	VA	63	A4	DS	MF			
520	Sweetwater	Vereinigte Staaten	US	1911	1916	6	VA	28	A1	FE	OV			
521	Vaughn Creek	Vereinigte Staaten	US	1926	1926	1	VA	19	F1	F	GV			
522	Idbar	Bosnien-Herzegovina	BA	1959	1959	0	VA	39	PA	GV	AF			umfangreiche Injektionen nicht fertig ausgeführt, Untergrund zu schlecht, Projekt aufgegeben
523	Olef	Deutschland	DE	1959	1958	0	CB	54	A3	RV	KF			
524	Leguasaca (Fonsagrada)	Spanien	ES	1958	1987	30	MV	20	A1	EA	MV			
525	Vega de Tera	Spanien	ES	1956	1959	4	CB	34	F1	F	KF			
526	Gleno	Italien	IT	1923	1923	1	CB	29	F1	F	GV			
527	Tigra	Indien	IN	1917	1917	1	CB	24	F1	F	GV			
528	Honenike	Japan	JP	1930	1946	17	CB	30	A1	RV	E			
529	Komoro	Japan	JP	1927	1928	2	CB	16	F1	F	GV			
530	Mosvanth	Norwegen	NO	1942	1942	0	CB	23	A4	DS	MF			
531	Skarfos	Norwegen	NO	1909	1909	0	CB	12	A4	RV	MF			
532	Ljusne	Schweden	SE	1950	1949	0	CB	30	A2	EI	UD			

Tabelle A.13: Verwendete Schadensfälle - Teil 12

Nr	Sperrname	Land	Ländercode	BJ	SJ	Alter	Typ	H	S-Typ	S	U1	U2	U3	Anmerkungen
533	Selsfors	Schweden	SE	1944	1943	0	CB	21	A2	EI	UD			
534	Ashley	Vereinigte Staaten	US	1908	1909	2	CB	18	F2	F	GV			
535	Austin II	Vereinigte Staaten	US	1915	1915	1	CB	21	F2	F	GV			
536	Ayers Island	Vereinigte Staaten	US	1932	1960	29	CB	23	A1	DS	MV			
537	Bear Valley	Vereinigte Staaten	US	1912	1931	20	CB	29	A4	EA	MF			
538	Elwha	Vereinigte Staaten	US	1911	1912	2	CB	34	F2	F	EI			
539	Florence Lake	Vereinigte Staaten	US	1926	1941	16	MV	47	A4	DS	KF			
540	Gem Lake	Vereinigte Staaten	US	1916	1925	10	MV	34	A4	DS	MF			
541	Lake Hodges	Vereinigte Staaten	US	1918	1936	19	MV	41	A1	RV	FB			
542	Los Verjels	Vereinigte Staaten	US	1915	1965	51	CB	18	A1	FE	KF			
543	Mountain Dell	Vereinigte Staaten	US	1924	1919	0	CB	30	A1	DS	MV			
544	Mountain Dell	Vereinigte Staaten	US	1924	1926	3	CB	30	A1	DS	MV			
545	Overholser	Vereinigte Staaten	US	1920	1923	4	CB	17	F2	F	EA			
546	Stony River	Vereinigte Staaten	US	1913	1914	2	CB	16	F2	F	AF			
547	Waddell	Vereinigte Staaten	US	1927	1928	2	CB	78	A1	RV	FB			
548	Log Falls	Canada	CA	1921	1923	3		11	F1	F	GV			
549	Del Monte	Columbien	CO	1975	1976	2			F2	F	nb			
550	Catadero	Vereinigte Staaten	US	1906	1965	60	holz/Steil	21	F1	F	OV1			von hydrostat. DRuck überbeansprucht, Aufschwimmen der Holzoberfläche
551	Chambers Lake II	Vereinigte Staaten	US	1892	1907	16		17	F2	F	MF			Materialfehler bei HW-Entlastung
552	Hausenlake I	Vereinigte Staaten	US	1906	1908	3	Stahl	21	F1	F	UD			hydr. Grundbruch durch Unterspülung
553	Lake Vera	Vereinigte Staaten	US	1905	1905	0	Crhb Dam	15	F1	F	OV			
554	Mill Creek	Vereinigte Staaten	US	1899	1957	59	Holz	20	A2	FE	V			Bruch eines Rohres im Dammkörper
555	El Atazar	Spanien	ES	1972	1977	6	VA	134	A1	RV	V			Verformung, dann Risse
556	Marib	Jemen	YE	-400	572	973	TE	20	F1	F	OV			Hochwasser, ev wegen Vernachlässigung
557	Bruna	Italien	IT	1475	1492	18	PG	18	F1	F	OV			Überströmen
558	Unterer Schalker Teich	Deutschland	DE	1733	1733	1	TE	11	F1	F	KF			Konstruktionsfehler
559	Flitzteich	Deutschland	DE	1485	1783	299	TE	6	F1	F	KF			Konstruktionsfehler / Materialversagen
560	Blackbrook-Staudamm	Vereinigtes Königreich	GB	1797	1799	3	TE	28	F1	F	OV			Hochwasser
561	Laanecoorie-Dam	Australien	AU	1892	1909	18	ER		F1	F	OV			Überströmung
562	Spaulding Pond (Mohegan Park)	Vereinigte Staaten	US	1963	1963	0	TE	6	F1	F	EI			piping
563	Beici (Belei)	Rumänien	RO	1962	1972	11	TE	19	F2	F	OV			Überströmen
564	Buffalo Creek Coal Waste	Vereinigte Staaten	US	1972	1972	0	ER	14	F1	F	RV			Risse/Dammrutsch
565	Bear Wallow	Vereinigte Staaten	US	1976	1976	0	TE	11	F1	F	OV			Überströmen
566	Kelly-Barnes-Staudamm	Vereinigte Staaten	US	1937	1977	41	ER	12	F1	F	EI			Rutschung und Erosionen durch Piping, dann örtliches Einbrechen der Dammkrone, und fortschreitende Erosion bei Wassersättigung der luftseitigen
567	Eastover Mining	Vereinigte Staaten	US	1981	1981	0	ER		F1	F	OV			
568	Lawn Lake Dam	Vereinigte Staaten	US	1903	1982	80	TE	7	F1	F	EI			Materialfehler, anschl. Piping
569	Alberto Lleras	Columbien	CO	1989	1983	0	ER	243	RS	F	HR			Erdrutsch während der Bauarbeiten, keine Flutwelle
570	Jinduicheng	China	CN	1988	1988	0	ER		F1	F	VF			Entlastung des Überlaufs blockiert
571	Bagauda	Nigeria	NG	1970	1988	19	TE	20	F1	F	OV			Überströmen/bauliche Fehler/Risse/Verformung
572	Wujiangou-Talsperre	China	CN	1983	1989	7	PG	165		F	V			
573	Evans	Vereinigte Staaten	US	1989	1989	0		5		F	OV			Überströmen
574	Lockwood	Vereinigte Staaten	US	1989	1989	0		4		F	OV			Überströmen
575	Kendall Lake	Vereinigte Staaten	US	1990	1990	0	TE	5	F2	F	OV			Überströmen
576	Isia Verdes	Philippinen	PH	1991	1991	0				F	OV			
577	Kiselejowsk (Kiselevo)	Rußland	RU	1978	1993	16	TE		F1	F	FE			Unglücksursache war ein Bruch der Verschlussorgane der Entlastungseinrichtungen. Dadurch kam es zum Überströmen des
578	Gouhou	China	CN	1988	1993	6	ER	71	F1	F	RV			Risse im Sperrkörper/Erosion durch Dichtungstleck) ev Erdbeben als Initialauslöser

Tabelle A.14: Verwendete Schadensfälle - Teil 13

Nr	Sperrname	Land	Ländercode	BJ	SJ	Alter	Typ	H	S-Typ	S	U1	U2	U3	Anmerkungen
579	Artik-Staudamm	Armenien	AM	1989	1994	6	TE	18	F1	F	EI			Durchsickerung
580	Merriespruit Dam (Harmony No. 4)	Südafrika	ZA	1978	1994	17	ER	31	F1	F	BF	OV		Betriebsfehler, Überströmen
581	Lake Blackshear	Vereinigte Staaten	US	1929	1994	66	TE	15	F1	F	OV			Überströmen
582	Tirijan-Staudamm	Rußland	RU	1917	1994	78	TE	10		F	VF			Überströmen wegen nicht funktionierender Verschlüsse
583	Timberlake dam	Vereinigte Staaten	US	1926	1995	70	TE	10		F	OV			Überströmen
584	Placer	Philippinen	PH		1995	0				F				Piping
585	Meadow Pond	Vereinigte Staaten	US		1996	0	TE	11	F1	F	EI			Piping
586	Bergeron Pond = Meadow Pond	Vereinigte Staaten	US		1996	0	TE	11	F1	F	EI			Piping
587	Marcooper	Philippinen	PH		1996	0	ER		F1	F	GV			HWE zu klein oder funktionsunfähig/Überströmung
588	Opuha Dam	Neuseeland	NZ	1997	1997	1	ER	47	F1	F	FB	OV		Grundbruch
589	Los Frailes	Spanien	ES	1987	1998	12	ER	27	F1	F	GV			Grundbruch
590	Baia Mare	Rumänien	RO	1999	2000	2	ER	20	F2	F	GV			Mangelhafte Dichtung
591	Mike Olson	Vereinigte Staaten	US	1996	2002	7	TE	32	F1	F	RV	OV		Risse/Überflutung
592	Zeyzoun	Syrien	SY	2002	2004	3	PG	50	F1	F	KF			Konstruktionsfehler
593	Camara	Brasilien	BR	2002	2004	0	TE	25	F1	F	OV			Überströmung
594	Shadi Kor	Pakistan	PK	2005	2005	0	ER		F1	F	OV			Überströmung
595	Gaggio	Pakistan	PK	2005	2005	0	ER		F1	F	OV			Überströmung
596	Aakra Kaur	Pakistan	PK	2005	2005	0	ER		F1	F	OV			Überströmung
597	Band-e-Sultan-Talsperre	Afghanistan	AF	1100	2005	906	ER		F1	F	OV			Überströmung
598	Simplon LG 1	Vereinigte Staaten	US	1992	2005	14	ER	14	F1	F	EI	BF		Erosion/Überfüllung
599	Blackman Creek dam	Australien	AU	2005	2005	0	ER		A	F				starke regenfälle
600	Valigonda	Indien	IN	2005	2005	0	TE		F1	F				technisches Gebrechen, dann Überpumpung mit Überströmung
601	Taum Sauk	Vereinigte Staaten	US	1963	2005	43	ER	30	F1	F	BF	OV		Überströmen
602	Kaloko (Ka Loko)	Vereinigte Staaten	US	1926	2006	81	TE	12	F1	F	OV			Risse/Überflutung
603	Situ Gintung Dam	Indonesien	ID	1933	2009	77	TE	10	F1	F	RV	OV		starke Regenfälle, 50m Bresche, im Monat davor bereits Schäden (Risse und
604	Algodoes	Brasilien	BR	2005	2009	5	TE	22	F1	F	RV	OV		Kontrolle zwei Jahre zuvor fest, dass 85 Prozent der Ausrüstung dringend
605	Sayano-Shushenskaya (Sajano Schuschenskaja)	Rußland	RU	1988	2009	22	PG	242	F1	F	BF	MF		modernisiert werden müssten/Rohrbruch
606	Delhi Dam	Vereinigte Staaten	US	1929	2010	82	ER	18	F1	F	EI	OV		innere Erosion und Oberströmen
607	Niedów-Stausee (Witka-Stausee)	Polen	PL	1962	2010	49	TE	18	F1	F	OV			Überströmen
608	Laanecoorie-Dam	Australien	AU	1892	2010	119	ER		A1	RV	V	RV		Deformation und Risse wurde festgestellt
609	Kolontár	Ungarn	HU		2010	0	TE		F1	F	RV	BF		menschliches Versagen die Schlammlut verursacht habe und nicht die schon
610	Laanecoorie-Dam	Australien	AU	1892	2011	120	ER		A1	RV	V	RV		zuvor in der Region herrschenden Überschwemmungen, Bereits im Juni 2010
611	Fujinuma	Japan	JP	1949	2011	63	ER	18	F1	F	OV			sollen bei Luftaufnahmen Risse und Schwachstellen im Damm des
612	Boobe Hole Dam	Vereinigte Staaten	US	2011	2011	0	TE		F1	F	OV			Deformation und Risse wurde festgestellt
613	Iwanowo	Bulgarien	BG	1962	2012	51	ER	19	F1	F	RV	OV		Erdbeben/Überströmen
614	Oaky River Dam	Australien	AU	1956	2012	57	ER	18	F1	F	OV			Der Damm soll in einem schlechten Zustand gewesen sein und seit längerem
615	Köprü Dam	Türkei	TR	2012	2012	1	PG	109	F1	F	MF			Risse gehabt haben./Überströmung
616	Stung Atay	Kambodscha	KH	2012	2012	1	PG		F1	F	MF			Überströmung
														brach nach heftigen Regenfällen der Tunnelstellen eines Auslassbauwerks der

Tabelle A.15: Stammdatenblatt für das Österreichische Talsperrenverzeichnis²⁰²

STAMMDATENBLATT FÜR DAS ÖSTERREICHISCHE TALSPERRENVERZEICHNIS

	Master Data Sheet Number:		Purpose/Buts:	
1	A Continent:	EUROPE	Bottom Outlet Cap. (m³/s):	
2	B Responsible/Responsable:	H-HEINDL	Catchment nat. / div. (km²):	
3	C Country Name:	Austria	Z Spillway Cap./E (m³/s):	
4	D Nom du pays:	Autriche	30 AD Type Sp/Typ Ewa:	
5	Austrian Dam Commission:		31 Reservoir top operating level (mUA):	
6	Type of Dam/Reservoir:		32 Minimum operating level (mUA):	
7	E Dam/Barrage:		33 Start/End of Construction (Year):	
8	F Second dam/Barrage secondaire:		34 AB Owner/Propriétaire:	
9	G Main dam/bar prin:		35 AC Consultant/Bureaux d'études:	
10	H Reservoir Name/Nom du réservoir:		36 AD Contractor/Entreprise:	
11	I Year/Année:		37 AE Com n '0:	
12	J Particular:		38 AF Com n '1:	
13	K International:		39 AG Com n '2:	
14	L River/Rivière:		40 AH Com n '3:	
15	M City/Ville:		41 AI P (MW):	
16	N St/EL/Pr/Dpt:		42 AJ E (GW/year):	
17	O Type:		43 AK Irrigation (km²):	
18	P Sealing/Etanchéité:		44 AL Floodstock (hm³):	
19	Q Foundation/Fondation:		45 AM Resettlement/Personnes déplacées:	
20	R Height/Hauteur en (m):		46 AN Detailed Type/détails du barrage:	
21	S Length/longueur (m):		47 AO Other Name/Autre nom:	
22	T Volume (10³ m³):		48 AP Altitude (m):	
23	U Capacity (10³ m³):		49 AO Latitude (°dec):	
24	V Area/Surface (10³ m²):		50 AP Longitude (°dec):	
25	W Length/longueur (km):			
Date (DD MM YYYY) / Person Responsible:			Internal Notes:	

zu senden an:
herbert.leindl@lebensministerium.at

⁵⁶<http://www.lebensministerium.at/wasser/nutzung-wasser/stauanlagen.html>

Tabelle A.16: Ausfüllhilfe zum Stammdatenblatt²⁰³

BMLFUW, Staubeckenkommission

Anleitung zum Ausfüllen des Datenblattes

INSTRUKTIONEN ZUM AUSFÜLLEN DES STAMMDATENBLATTES
FÜR DAS ÖSTERREICHISCHE TALSPERRENVERZEICHNIS

lebensministerium.at

1. Das Leerformular des Stammdatenblattes und die gegenständlichen Instruktionen sind beziehbar unter: (E-Mail-Adresse)
2. Schrifttype und Schriftgröße: Arial - Größe 10
3. Nur die gelb hinterlegten Felder ausfüllen
4. Einige Datenlinien laufen über zwei Zeilen. Die Anzahl der Zeichen je Zeile sind in Klammern angeführt.
5. Keine Umlaute, kein "ß" verwenden (z. B. Goesskar)

Zeile	Spalte	Bezeichnung	Zahl der Zeichen	Format	Anmerkung
1		Kontinent			nicht ausfüllen
2		Name des Ausfüllenden	25	nur Großbuchstaben	Vorname mit einem Großbuchstaben und Punkt abgekürzt, Nachname direkt angesetzt (z.B. A.MAYR)
3	A	Land			nicht ausfüllen
4	B	Land			nicht ausfüllen
5	C	Name der Talsperre	20	nur Großbuchstaben	z. B. ZILLERGRUENDL
6	D	Sekundärdamm	1	Großbuchstabe	mit S auszufüllen, wenn der Name der Talsperre in Zeile vorher nicht die Hauptsperre ist
7	E	Name der Hauptsperre	20	Erster Buchstabe Großbuchstabe	zusätzliche Informationen in Zeile 31 möglich
8	F	Name des Speichers	20	Erster Buchstabe Großbuchstabe	nur, wenn sich der Name vom Talsperrennamen unterscheidet
9	G	Jahr der Inbetriebnahme	4	Arabische Zahlen	
10	H	Spezialinformationen	1	Großbuchstabencode	Code: A = aufgelassen; H = erhöht; L = erniedrigt; U = unverändert; R = wiedererrichtet; C = in Bau
11	I	International	1	Großbuchstabencode	mit I auszufüllen, wenn die Talsperrenwiderlager in verschiedenen Staaten liegen.
12	J	Fluss	24 (12)	Anfangsbuchstabe Großbuchstabe	für unbenannte Nebenflüsse Name des Hauptflusses gefolgt bei/T (z. B. Drau/T)
13	K	Nächste Stadt	24 (12)	Anfangsbuchstabe Großbuchstabe	
14	L	Bundesland	24 (12)	Anfangsbuchstabe Großbuchstabe	Abkürzungen können verwendet werden
15	M	Art der Talsperre	8 (5)	Großbuchstabencode mit Trennstrich	bis zu 3 Artencodes können verwendet werden: CB = Pfeilermauer; BM = Wehranlage (Laufkraftwerk); ER = Steinschütt-damm; MV = Gewölbeneihrestaumauer; PG = Gewichtsmauer; TE = Erdschüttdamm; VA = Gewölbemauer; XX = Sonderform (z. B.: T/PG)
16	N	Lage und Art der Dichtung	2	Kleinbuchstabencode	Position: f = oberwasserseitig oberflächlich; h = Homogendamm; i = Kerndichtung; x = Sonderform Art: a = Asphaltbeton; c = Beton; e = mineralisch; m = Metall; p = Kunststoff; x = Sonderform (z. B.: fc)
17	O	Gründung	3	Großbuchstabencode mit Trennstrich	R = Fels; R/S = Fels/Boden; S = Boden; X = Sonderform
18	P	Talsperrenhöhe	3	Arabische Zahlen	Höhe in Meter (m) über tiefster Gründungssohle
19	Q	Kronenlänge	5	Arabische Zahlen	Länge in Meter (m) gemessen in der Achse der Sperrkronen
20	R	Sperrervolumen	6	Arabische Zahlen	ausgedrückt in 1000 m ³ (10 ³ m ³)
21	S	Gesamtstaurauminhalt	11	Arabische Zahlen	ausgedrückt in 1000 m ³ (10 ³ m ³)
22	T	Speicherfläche	10	Arabische Zahlen	ausgedrückt in 1000 m ² (10 ³ m ²)
23	U	Stauräumlänge	3	Arabische Zahlen	ausgedrückt in Kilometer (km) an der längsten Stelle
24	V	Zweck des Speicherbeckens	6	Großbuchstabencode keine Trennungen oder Zwischenräume	Bis zu 6 Zweckbestimmungen in fallender Reihenfolge ihrer Bedeutung: C = Hochwasserschutz; I = Bewässerung; H = Wasserkraft; F = Fischereiwirtschaft; N = Schifffahrt; R = Erholung; S = Wasserversorgung; X = andere oder Sonderformen (z. B.: HIS)
25	W	Einzugsgebiet	9	Arabische Zahlen	ausgedrückt in Quadratkilometer (km ²)
26	X	Leistungsfähigkeit Hochwasserentlastung	6	Arabische Zahlen	ausgedrückt in Kubikmeter pro Sekunde (m ³ /s)
27	Y	Art der Hochwasserentlastung	3	Großbuchstabencode mit Trennung	L = freier Überfall; LV = geregelter/freier Überfall; V = geregelter Überfall; X = Sonderform
28	Z	Eigentümer/Betreiber	40 (20)	Anfangsbuchstabe Großbuchstabe	
29	AA	Planung/Beratung	40 (20)	Anfangsbuchstabe Großbuchstabe	
30	AB	Ausführende Firma	40 (20)	Anfangsbuchstabe Großbuchstabe	
31	AC	Anmerkungen	75	Groß- und Kleinschreibung	Spezielle Informationen, insbesondere für Sonderformen, oder wie frühere Eigentümer etc.
32	AD	Geografische Länge	9	Arabische Zahlen mit Trennung	Angabe in Grad, Minuten, Sekunden getrennt durch Schrägstrich (z. B.: 15/11/25) für den Schnittpunkt der Kronenachse über dem tiefsten Punkt des Tales (Hauptschnitt)
33	AE	Geografische Breite	9	Arabische Zahlen mit Trennung	Angabe in Grad, Minuten, Sekunden getrennt durch Schrägstrich (z. B.: 47/38/12) für den Schnittpunkt der Kronenachse über dem tiefsten Punkt des Tales (Hauptschnitt)
34	AF	Stauziel	4	Arabische Zahlen	Angabe in Meter über Adria (m ü.A.), gerundet auf ganze Meter
35	AG	Installierte elektrische Leistung	5	Arabische Zahlen	installierte elektrische Leistung für Erzeugung, ausgedrückt in MW
36	AH	Mittleres Jahresarbeitsvermögen	6	Arabische Zahlen	ausgedrückt in Gigawattstunden pro Jahr (GWh/a)
37	AI	Bewässerte Flächen	8	Arabische Zahlen	ausgedrückt in Quadratkilometer (km ²) künstlich bewässerte Fläche
38	AJ	Hochwasserrückhaltevolumen	8	Arabische Zahlen	ausgedrückt in Millionen Kubikmeter (hm ³)
39	AK	Absiedlung	8	Arabische Zahlen	Anzahl der von der Absiedlung betroffenen Personen
40-46	AL-AR	Kommentare	7x80 = 560	Arabische Zahlen oder Buchstaben	7 Hinweise mit nicht mehr als 80 Zeichen

⁵⁶<http://www.lebensministerium.at/wasser/nutzung-wasser/stauanlagen.html>

Literaturverzeichnis

- [Ata02] ATALLAH, Tony A. ; VIRGINIA POLYTECHNIC INSTITUTE AND STATE UNIVERSITY BLACKSBURG, VA (Hrsg.): *A review on dams and breach parameters estimation*. Virginia Polytechnic Institute and State University Blacksburg, VA, 01 2002
- [Bru09] BRUNNER, Fritz K. ; TU GRAZ (Hrsg.): *Faseroptische Sensorik: Ein Thema für die Ingenieurgeodäsie?* TU Graz, 2009
- [Bun02a] BUNDESAMT FÜR WASSER UND GEOLOGIE (Hrsg.): *Sicherheit der Stauanlagen - Basisdokument zur konstruktivern Sicherheit*. Bundesamt für Wasser und Geologie, 2002. http://www.bfe.admin.ch/themen/00490/00491/00494/?lang=de&dossier_id=00788
- [Bun02b] BUNDESAMT FÜR WASSER UND GEOLOGIE (Hrsg.): *Sicherheit der Stauanlagen - Basisdokumentation zu Überwachung und Unterhalt*. Bundesamt für Wasser und Geologie, 2002. http://www.bfe.admin.ch/themen/00490/00491/00494/?lang=de&dossier_id=00788
- [Bun03] BUNDESAMT FÜR WASSER UND GEOLOGIE (Hrsg.): *Sicherheit der Stauanlagen - Basisdokument zum Nachweis der Erdbebensicherheit*. Bundesamt für Wasser und Geologie, 2003. http://www.bfe.admin.ch/themen/00490/00491/00494/?lang=de&dossier_id=00788
- [Bun10] BUNDESAMT FÜR WASSERWIRTSCHAFT (Hrsg.): *Leitfaden zur Erhebung der biologischen Qualitätselemente - Teil A1 - Fische*. Bundesamt für Wasserwirtschaft, 02 2010. http://wisa.lebensministerium.at/fachinformation/gewaesserbewirtschaftungsplan/hintergrunddokumente/methodik/biologische_ge.html
- [BW08] BRUNNER, Fritz K. ; WOSCHITZ, Helmut ; TU GRAZ (Hrsg.): *Eingebetteter faseroptischer Verformungssensor: Statische und dynamische Messungen*. TU GRAZ, 2008

- [CTW11] CHARLES, Andrew J. ; TEDD, Paul ; WARREN, Alan: *Lessons from historical dam incidents*. Environment Agency, 2011 <http://a0768b4a8a31e106d8b0-50dc802554eb38a24458b98ff72d550b.r19.cf3.rackcdn.com/scho0811buba-e-e.pdf>
- [Das00] DAS EUROPÄISCHE PARLAMENT UND DER RAT DER EUROPÄISCHEN UNION (Hrsg.): *Wasserrahmenrichtlinie (2000/60/EG) - Richtlinie zur Schaffung eines Ordnungsrahmens für Maßnahmen der Gemeinschaft im Bereich der Wasserpolitik*. Das Europäische Parlament und der Rat der Europäischen Union, 10 2000
- [DIN86] DIN ; NORMENAUSSCHUSS WASSERWESEN (Hrsg.): *DIN 19700-13 - Stauanlagen - Teil 13: Staustufen*. Normenausschuss Wasserwesen, 1986
- [DIN04] DIN ; NORMENAUSSCHUSS WASSERWESEN (Hrsg.): *DIN 19700-11 - Stauanlagen - Teil 11: Talsperren*. Normenausschuss Wasserwesen, 2004
- [DIN07] DIN ; NORMENAUSSCHUSS WASSERWESEN (Hrsg.): *DIN 19700-10 - Stauanlagen - Teil 10: Gemeinsame Festlegungen*. Normenausschuss Wasserwesen, 2007
- [fem05] *Federal Guidelines for Dam Safety*. 05 2005
- [Flö11] FLÖGL, W.: *The History of the World Register of Dams*. http://www.icold-cigb.org/userfiles/files/cigb/history_of_the_wrd.pdf. Version: 2011
- [Gai98] *System zur Erzeugung hochauflösender Stereobilder für die Nahbereichs-Objektrekonstruktion*. Bd. 4/98. 1998 (Vermessung und Geoinformation)
- [GM09] GIESECKE, Jürgen ; MOSONYI, Emil: *Wasserkraftanlagen Planung, Bau und Betrieb*. Springer, 2009. – 892 S. – ISBN 978-3-540-88988-5
- [HBG05] HERING, Ekbert ; BRESSLER, Klaus ; GUTEKUNST, Jürgen: *Elektronik Für Ingenieure und Naturwissenschaftler*. 5. Springer, 2005. – 675 S. – ISBN 978-3540243090
- [Hom08] HOMELAND SECURITY (Hrsg.): *Dams Sector Crisis Management Handbook - A guide for Owners and Operators*. Homeland Security, 2008. <http://www.dhs.gov/dams-sector-publications-training-and-resources>
- [Hom11] HOMELAND SECURITY (Hrsg.): *Dams Sector - Estimating Loss of Life for Dam Failure Scenarios*. Homeland Security, 9 2011. <http://www.damsafety.org/media/Documents/Security/DamsSectorConsequenceEstimation-LossofLife.pdf>
- [ICO83] ICOLD (Hrsg.): *Bulletin 046 - Seismicity and Dam Design*. ICOLD, 1983

- [ICO87] ICOLD (Hrsg.): *Bulletin 059 - Dam Safety - Guidelines*. ICOLD, 1987
- [ICO88a] ICOLD (Hrsg.): *Bulletin 060 - Dam Monitoring - General considerations*. ICOLD, 1988
- [ICO88b] ICOLD (Hrsg.): *Bulletin 065 - Dams and Environment - Case histories*. ICOLD, 1988
- [ICO89a] ICOLD (Hrsg.): *Bulletin 068 - Monitoring of Dams and their Foundations - State of the art*. ICOLD, 1989
- [ICO89b] ICOLD (Hrsg.): *Bulletin 072 - Selecting Seismic Parameters for Large Dams - Guidelines*. ICOLD, 1989
- [ICO92] ICOLD (Hrsg.): *Bulletin 087 - Improvement of existing Dam Monitoring - Recommendations and case histories*. ICOLD, 1992
- [ICO95] ICOLD (Hrsg.): *Bulletin 099 - Dam Failures - Statistical analysis*. ICOLD, 1995
- [ICO97a] ICOLD (Hrsg.): *Bulletin 107 - Concrete Dams - Control and Treatment of Cracks - Review and case histories*. ICOLD, 1997
- [ICO97b] ICOLD (Hrsg.): *Bulletin 110 - Cost Impact of Rules, Criteria and Specifications - Review and recommendations*. ICOLD, 1997
- [ICO98a] ICOLD (Hrsg.): *Bulletin 108 - Cost of Flood Control in Dams - Review and recommendations*. ICOLD, 1998
- [ICO98b] ICOLD (Hrsg.): *Bulletin 111 - Dam-Break Flood Analysis - Review and recommendations*. ICOLD, 1998
- [ICO98c] ICOLD (Hrsg.): *Bulletin 112 - Neotectonics and Dams - Guidelines and case histories*. ICOLD, 1998
- [ICO99] ICOLD (Hrsg.): *Bulletin 113 - Seismic Observation of Dams - Guidelines and case studies*. ICOLD, 1999
- [ICO00a] ICOLD (Hrsg.): *Bulletin 118 - Automated Dam Monitoring Systems - Guidelines and case histories*. ICOLD, 2000
- [ICO00b] ICOLD (Hrsg.): *Bulletin 119 - Rehabilitation of Dams and Appurtenant Works - State of the art and case histories*. ICOLD, 2000
- [ICO00c] ICOLD (Hrsg.): *Bulletin 124 - Reservoir Landslides: Investigation and Management - Guidelines and case histories*. ICOLD, 2000

- [ICO01a] ICOLD (Hrsg.): *Bulletin 120 - Design Features of Dams to Resist Seismic Ground Motion - Guidelines and case studies*. ICOLD, 2001
- [ICO01b] ICOLD (Hrsg.): *Bulletin 121 - Tailings Dams - Risk of Dangerous Occurrences - Lessons learnt from practical experiences*. ICOLD, 2001
- [ICO02] ICOLD (Hrsg.): *Bulletin 123 - Seismic Design and Evaluation of Structures Appurtenant to Dams - Guidelines*. ICOLD, 2002
- [ICO03] ICOLD (Hrsg.): *Bulletin 125 - Dams and Floods - Guidelines and case histories*. ICOLD, 2003
- [ICO05a] ICOLD (Hrsg.): *Bulletin 129 - Dam Foundations - Geologic considerations. Investigation methods. Treatment. Monitoring*. ICOLD, 2005
- [ICO05b] ICOLD (Hrsg.): *Bulletin 130 - Risk Assessment in Dam Safety Management - A reconnaissance of benefits, methods and current applications*. ICOLD, 2005
- [ICO09a] ICOLD (Hrsg.): *Bulletin 136 - The Specification and Quality Control of Concrete for Dams*. ICOLD, 2009
- [ICO09b] ICOLD (Hrsg.): *Bulletin 138 - Surveillance: Basic Elements in a "Dam Safety" process*. ICOLD, 2009
- [ICO09c] ICOLD (Hrsg.): *Bulletin 145 - The Physical Properties of Hardened Conventional Concrete in Dams*. ICOLD, 2009
- [ICO10a] ICOLD (Hrsg.): *Bulletin 148 - Selecting Seismic Parameters for Large Dams - Guidelines*. ICOLD, 2010. – Bulletin 72 - Revision 2010
- [ICO10b] ICOLD (Hrsg.): *Bulletin 154 - Dam Safety Management - Operational Phase of the Dam Life Cycle*. ICOLD, 2010
- [ICO10c] ICOLD (Hrsg.): *Bulletin 156 - Integrated Flood Risk Management*. ICOLD, 2010
- [ICO10d] ICOLD (Hrsg.): *Bulletin 157 - Small Dams - Design, Surveillance and Rehabilitation*. ICOLD, 2010
- [ICO11a] ICOLD (Hrsg.): *Bulletin 137 - Reservoirs and Seismicity - State of knowledge*. ICOLD, 2011
- [ICO11b] ICOLD (Hrsg.): *Bulletin 139 - Improving Tailings Dam Safety - Critical Aspects of Management, Design, Operation and Closure*. ICOLD, 2011
- [ICO12] ICOLD (Hrsg.): *Bulletin 142 - Bulletin on Safe Passage of Extreme Floods*. ICOLD, 2012

- [ICO13a] ICOLD (Hrsg.): *Bulletin 143 - Historical Review on Ancient Dams*. ICOLD, 2013
- [ICO13b] ICOLD (Hrsg.): *Bulletin 153 - Sustainable Design and Post-Closure Performance of Tailings Dams*. ICOLD, 2013
- [ICO13c] ICOLD (Hrsg.): *Bulletin 158 - Dam Surveillance Guide*. ICOLD, 2013
- [Kah06] KAHMEN, Heribert: *Angewandte Geodäsie: Vermessungskunde*. Walter de Gruyter, 2006. – 679 S.
- [les74] *Lessons from Dam Incidents*. ICOLD, 1974. – 1072 S.
- [Mel03] MELBINGER, Rudolf ; BUNDESMINISTERIUM FÜR LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT, ABTEILUNG VII 4 (Hrsg.): *12 Thesen zur Sicherheit der großen Talsperren Österreichs*. Marxergasse 2, A-1030 Wien: Bundesministerium für Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft, Abteilung VII 4, 2003
- [Now97] NOWOTNY, Hans T.: *Analyse und statistische Auswertungen von Schäden und Brüchen großer Talperren*, TU Graz, Diplomarbeit, 1997
- [PG11] PATT, Heinz ; GONSOWSKI, Peter: *Wasserbau - Grundlagen, Gestaltung von wasserbaulichen Bauwerken und Anlagen*. 7. Auflage. Springer, 2011. – ISBN 978-3-642-11962-0
- [Rat78] RAT DER EUROPÄISCHEN UNION (Hrsg.): *Fischgewässerrichtlinien (78/659/EWG) - Richtlinie über die Qualität von Süßwasser, das schutz- oder verbesserungsbedürftig ist, um das Leben von Fischen zu erhalten*. Rat der Europäischen Union, 07 1978. http://www.lebensministerium.at/wasser/wasser-eu-international/eu_wasserrecht/Fischgewaesser-RL.html
- [Riß99] RISSLER, Peter: *Talsperrenpraxis*. R. Oldenburg Verlag GmbH, München, 1999. – 439 S. – ISBN 978-3486264289
- [RW08] ROGERS, J. D. ; WATKINS, Conor M.: *Overview of the Taum Sauk Pumped Storage Power Plant Upper Reservoir Failure, Reynolds County, MO*, 8 2008. http://web.mst.edu/~rogersda/dams/2_43_rogers.pdf
- [Sch05a] SCHWEIZER TALSPERRENKOMITEE (Hrsg.): *Messanlagen zur Talsperrenüberwachung - Teil 1: Messkonzept*. Schweizer Talsperrenkomitee, 03 2005. http://www.swissdams.ch/index.php?option=com_phocadownload&view=category&id=44&Itemid=932&lang=de

- [Sch05b] SCHWEIZER TALSPERRENKOMITEE (Hrsg.): *Messanlagen zur Talsperrenüberwachung - Teil 2: Messanlagen und Messmethoden*. Schweizer Talsperrenkomitee, 03 2005. http://www.swissdams.ch/index.php?option=com_phocadownload&view=category&id=44&Itemid=932&lang=de
- [Sch05c] SCHWEIZER TALSPERRENKOMITEE (Hrsg.): *Messanlagen zur Talsperrenüberwachung - Teil 3: Messgeräte / Messmethoden*. Schweizer Talsperrenkomitee, 03 2005. http://www.swissdams.ch/index.php?option=com_phocadownload&view=category&id=44&Itemid=932&lang=de
- [Sch10] SCHWEIZER TALSPERRENKOMITEE (Hrsg.): *Vergleich der Erdbebenrichtlinie für Stauanlagen in der Schweiz mit denjenigen der Nachbarländer Deutschland, Österreich, Frankreich und Italien*. Schweizer Talsperrenkomitee, 06 2010. http://www.swissdams.ch/index.php?option=com_phocadownload&view=category&id=44&Itemid=932&lang=de
- [SPFN09] SHEPPARD, Eric ; PORTER, Philip W. ; FAUST, David R. ; NAGAR, Richa: *A World of Difference*. Guilford Press, 2009
- [Stü93] STÜCKE, Thomas: *Talsperrenbetriebspläne vorgegebener Vrsagenshäufigkeit*. Bd. 129/1993. Leichtweiss-Institut für Wasserbau der Technischen Universität Braunschweig, 1993. ISSN 0343–1223
- [Öst96a] ÖSTERREICHISCHE STAUBECKENKOMMISSION (Hrsg.): *Erdbebenberechnung von Talsperren - Band 2 - Erdbebenkennwerte*. Österreichische Staubeckenkommission, 1996. www.lebensministerium.at
- [Öst96b] ÖSTERREICHISCHE STAUBECKENKOMMISSION (Hrsg.): *Erdbebenberechnung von Talsperren - Band 3 - Richtlinien*. Österreichische Staubeckenkommission, 1996. www.lebensministerium.at
- [Öst01] ÖSTERREICHISCHE STAUBECKENKOMMISSION (Hrsg.): *Erdbebenberechnung von Talsperren - Band 1 - Grundlagen*. Österreichische Staubeckenkommission, 2001. www.lebensministerium.at
- [Öst05] ÖSTERREICHISCHE STAUBECKENKOMMISSION (Hrsg.): *Methoden zur probabilistischen Sicherheit für Kernkraftwerke*. Österreichische Staubeckenkommission, 2005. – <http://doris.bfs.de/jspui/browse?type=dateissued>
- [Öst07] ÖSTERREICHISCHE STAUBECKENKOMMISSION (Hrsg.): *Leitfaden für Zentrale Warten beim Betrieb von Stauanlagen*. Österreichische Staubeckenkommission, 11 2007. www.lebensministerium.at

- [Öst09a] ÖSTERREICHISCHE STAUBECKENKOMMISSION (Hrsg.): *Leitfaden zum Nachweis der Hochwassersicherheit von Talsperren*. Österreichische Staubeckenkommission, 12 2009. www.lebensministerium.at
- [Öst09b] ÖSTERREICHISCHE STAUBECKENKOMMISSION (Hrsg.): *Mindestanforderungen an den Stauanlagenverantwortlichen von „Kleinen Stauanlagen“*. Österreichische Staubeckenkommission, 12 2009. www.lebensministerium.at
- [SZ06] STROBL, Theodor ; ZUNIC, Franz: *Wasserbau*. Springer, 2006. – ISBN 978-3-540-22300-9
- [Vog82] VOGEL, Alexius: *Talsperrenbrüche und ihre Ursachen*, TU Wien, Diplomarbeit, 1982
- [WB11] WOSCHITZ, Helmut ; BRUNNER, Fritz K. ; TU GRAZ (Hrsg.): *Dynamic strain measurements using embedded fiber optic sensors*. TU Graz, 2011
- [Wid99] WIDMANN, Richard: *Die Talsperren Österreichs - Gewölbemauern*. Bd. Heft 33. Österreichisches Nationalkomitee für Talsperren, 1999. – 220 S.
- [Wos10] WOSCHITZ, Haelmut ; TU GRAZ (Hrsg.): *Entwicklung einer langarmigen faseroptischen Strain-Rosette zum Monitoring eines Rutschhanges*. TU Graz, 2010
- [wrđ84] *World Reigister of Dams - Full Edition*. ICOLD, 1984
- [wrđ88] *World Register of Dams - Update*. ICOLD, 1988
- [wrđ98] *World Register of Dams*. ICOLD, 1998
- [wrđ03] *World Register of Dams - Update*. Bd. 099. ICOLD, 2003. – 348 S.
- [wrg] *Wasserrechtsgesetz 1959, Fassung vom 28.02.2014. : Wasserrechtsgesetz 1959, Fassung vom 28.02.2014*
- [ZDK12] ZILCH, Konrad ; DIEDERICHS, Claus J. ; KATZENBACH, Rolf ; BECKMANN, Klaus J. (Hrsg.): *Handbuch für Bauingenieure - Technik, Organisation und Wirtschaftlichkeit*. Springer Heidelberg, 2012. – ISBN 78-3-642-14449-3
- [Zen] ZENZ, Gerald: *Projektierung und Überwachung wasserbaulicher Anlagen*
- [Zit11] ZITEK, Andreas ; BUNDESMINISTERIUM F. LAND- UND FORSTWIRTSCHAFT, UMWELT UND WASSERWIRTSCHAFT - ABT. VII/1 (Hrsg.): *Grundlagen für einen österreichischen Leitfaden zum Bau von Fischaufstiegshilfen (FAHs)*. Bundesministerium f. Land- und Forstwirtschaft, Umwelt und Wasserwirtschaft - Abt. VII/1, 2011. http://www.lebensministerium.at/wasser/wasser-oesterreich/plan_gewaesser_ngp/massnahmenprogramme/grundlagen_fah.html

- [Zwi12] ZWICKY, Amanda: *Aufnahmeverfahren zur 3D Modellierung von Stauanlagen*, Eidgenössische Technische Hochschule Zürich, Diplomarbeit, 2012