

DWA-Themen

Stauanlagensicherheit und Folgen bei Überschreitung der Bemessungsannahmen nach DIN 19700

Februar 2017 · T1/2017

VORSCHAU



VORSCHAU

DWA-Themen

Stauanlagensicherheit und Folgen bei Überschreitung der Bemessungsannahmen nach DIN 19700

Februar 2017 · T1/2017

Gemeinsamer Themenband
der Deutschen Gesellschaft für Geotechnik e. V. (DGGT),
des Deutschen Talsperrenkomitees (DTK)
der Deutschen Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA)

VORSCHAU

Die Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA) setzt sich intensiv für die Entwicklung einer sicheren und nachhaltigen Wasser- und Abfallwirtschaft ein. Als politisch und wirtschaftlich unabhängige Organisation arbeitet sie fachlich auf den Gebieten Wasserwirtschaft, Abwasser, Abfall und Bodenschutz.

In Europa ist die DWA die mitgliederstärkste Vereinigung auf diesem Gebiet und nimmt durch ihre fachliche Kompetenz bezüglich Regelsetzung, Bildung und Information sowohl der Fachleute als auch der Öffentlichkeit eine besondere Stellung ein. Die rund 14 000 Mitglieder repräsentieren die Fachleute und Führungskräfte aus Kommunen, Hochschulen, Ingenieurbüros, Behörden und Unternehmen.

Impressum

Herausgeber und Vertrieb:

DWA Deutsche Vereinigung für
Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V.
Theodor-Heuss-Allee 17
53773 Hennef, Deutschland
Tel.: +49 2242 872-333
Fax: +49 2242 872-100
E-Mail: info@dwa.de
Internet: www.dwa.de

Satz:

DWA

Druck:

Siebengebirgsdruck, Bad Honnef

ISBN:

978-3-88721-446-3 (Print)
978-3-88721-447-0 (E-Book)

Gedruckt auf 100 % Recyclingpapier

© DWA Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V., Hennef 2017

Alle Rechte, insbesondere die der Übersetzung in andere Sprachen, vorbehalten. Kein Teil dieser Publikation darf ohne schriftliche Genehmigung des Herausgebers in irgendeiner Form – durch Fotokopie, Digitalisierung oder irgendein anderes Verfahren – reproduziert oder in eine von Maschinen, insbesondere von Datenverarbeitungsanlagen, verwendbare Sprache übertragen werden.

Vorwort

Stauanlagen müssen höchste Anforderungen an ihre Zuverlässigkeit – das sind im normativen Sinne die Tragsicherheit, die Gebrauchstauglichkeit und die Dauerhaftigkeit – erfüllen. Dies ist zum einen insbesondere dadurch begründet, dass Stauanlagen eminent wichtigen Aufgaben dienen, die keine unplanmäßigen Betriebsausfälle vertragen, wie zum Beispiel die Trinkwasserversorgung, der Hochwasserschutz oder die Elektroenergieerzeugung. Zum anderen geht von Stauanlagen im Falle ihres Versagens oder Teilversagens ein erhebliches Gefahrenpotenzial für den Anlagenbetreiber und vor allem für die Unterlieger aus. Die deutsche Stauanlagennorm DIN 19700 (Ausgabe 2004) fordert daher einerseits eine sehr sichere Bemessung aller Bestandteile einer Stauanlage. Andererseits wird aber auch verlangt, dass Fälle einer Überschreitung der Bemessungsansätze oder einer Überlastung in die Betrachtungen mit einzubeziehen und die daraus resultierenden verbleibenden Risiken zu identifizieren und zu bewerten sind. Dabei überlässt es die vorgenannte Norm weitgehend den Anwendern, auf welche Art und Weise, mit welchen Methoden diese Betrachtungen des verbleibenden Risikos (Restrisiko) durchzuführen sind.

Da „fachlich sauber“ das Risiko immer als Produkt aus Eintrittswahrscheinlichkeit des jeweiligen Falls (hier: Versagenswahrscheinlichkeit) und den eintretenden Folgen definiert ist, impliziert eine Untersuchung der mit einer Stauanlage verbundenen Risiken letztlich, dass sowohl das Versagen oder Teilversagen von Anlagen- und Anlagenteilen als auch die im Ergebnis entstehende, schadensträchtige Flutwelle im Unterlauf betrachtet werden müssen. Dies wiederum schließt auf der „Versagensseite“ unbedingt ein, die bei Überlastung oder Überbeanspruchung stattfindende allmähliche Aufzehrung der Bemessungs- und Beanspruchungsreserven mit zu betrachten. Auf der „Folgende“ gehört dazu auch die Betrachtung von Risikoverminderungsmaßnahmen, die auch nicht-technische Gesichtspunkte wie die Notfall- oder Evakuierungsplanung einschließen.

Nach Auffassung der Verfasser dieses Themenbandes ist es an der Zeit, den Anwendern der deutschen Stauanlagennorm Überlegungen, Hinweise und Hilfestellungen für die Befassung mit dem vorgenannten Themenspektrum an die Hand zu geben. Während in Deutschland diesem Themenkomplex bisher von den betroffenen Zuständigen eher mit Zurückhaltung begegnet wurde, ist die Beschäftigung mit hypothetischen Stauanlagenversagen und deren Folgen in unseren Nachbarländern und im fernerem Ausland Gang und Gebe. In die Zuverlässigkeitsbetrachtungen von Stauanlagen hält das Risk Assessment sowohl bezogen auf Einzelanlagen als auch auf Anlagenportfolios im internationalen Maßstab verstärkt Einzug. In den Katastrophenschutzgesetzen mehrerer deutscher Bundesländer wird von Betreibern von Anlagen mit im Versagensfall hohem Gefährdungspotenzial verlangt, dass sie über Kenntnisse und Unterlagen über potentielle Versagensszenarien und -folgen verfügen und diese auf Verlangen den zuständigen Behörden ausreichen können. Auch vor diesem Hintergrund dürfte der Blick auf das, was bei Überschreitung der für die Berechnung oder Bemessung einer Stauanlage getroffenen Annahmen passiert, geboten sein.

Dem oben erläuterten Betrachtungsansatz folgend, gliedert sich die vorliegende Ausarbeitung thematisch in folgende Hauptteile:

- Allgemeine Anforderungen an die Sicherheit von Stauanlagen
- Bemessungsansätze nach Stauanlagennorm DIN 19700 (Ausgabe 2004) und deren Überschreitung, Einwirkungen jenseits der Bemessungsannahmen
- Aktivierung und Aufzehrung von Sicherheitsreserven im Tragsystem
- Maßnahmen zur Verminderung der Gefahr des Anlagenversagens
- Betrachtungen zum Stauanlagenversagen
- Flutwellenausbreitung und -berechnung
- Notfallplanung

Ein Stichwort- und ein umfangreiches Quellenverzeichnis runden das Dokument ab.

Der Geltungsbereich des Themenbandes erstreckt sich vornehmlich auf im Hauptschluss des Gewässers liegende Stauanlagen, hierbei insbesondere auf Talsperren und Hochwasserrückhaltebecken. Eine sinngemäße Anwendung für Staustufen, Pumpspeicherbecken und Sedimentationsbecken wird empfohlen. Die stauanlagenartspezifischen Belange sind in jedem Fall entsprechend zu berücksichtigen.

Die Bearbeitung des Themenbandes erfolgte durch den DWA-DTK-DGGT-Fachausschuss WW-4 „Talsperren und Flusssperren“ selbst und wurde wegen der hohen Sensibilität des Themas bewusst nicht an eine externe Arbeitsgruppe delegiert. Während der Bearbeitungsphase galt es, die bestehende Meinungsvielfalt hinsichtlich des zu behandelnden Themenkomplexes zu einem allgemein vertretbaren Ergebnis zu führen. Insoweit wurde auch bewusst Abstand davon genommen, ein mit stringenterem Anwendungsgebot verknüpftes Merkblatt zu bearbeiten, sondern es entstand ein Themenband, der Anregungen geben und Möglichkeiten aufzeigen soll, wie die Betrachtung des verbleibenden Risikos für Stauanlagen mit „Leben erfüllt“ werden kann.

Dr.-Ing. Hans-Ulrich Sieber
Obmann des DWA-Fachausschusses
„Talsperren und Flusssperren“ WW4

Dresden, im September 2016

VORSCHAU

Verfasser

Der DWA-Themenband wurde im gemeinsamen Fachausschuss von DWA, DTK und DGGT „Talsperren und Flusssperrern“ (WW4) erstellt, dem folgende Mitglieder angehören:

SIEBER, Hans-Ulrich	Dr.-Ing., Pirna (Obmann)
POHL, Reinhard	Prof. Dr.-Ing. habil., Dresden (stellv. Obmann)
AUFLEGER, Markus	Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil., Innsbruck
BETTZIECHE, Volker	Prof. Dr.-Ing., Essen
BIEBERSTEIN, Andreas	Dr.-Ing., Karlsruhe
CARSTENSEN, Dirk	Prof. Dr.-Ing. habil., Nürnberg
FRIES, Jürgen	Dipl.-Ing., Wuppertal
KAST, Karl	Dr.-Ing., Ettlingen
KNALLINGER, Maximilian	Dipl.-Ing., München
MEHL, Jochen	Dipl.-Ing., Erfurt
NIELINGER-TEUBER, Antje	Bau-Assin, Dipl.-Ing., Essen
OVERHOFF, Gregor	MR, Dipl.-Ing., München
STRASSER, Karl-Heinz	Dipl.-Ing., Landshut

Der Themenband wurde von folgenden Autoren verfasst:

POHL, Reinhard	Prof. Dr.-Ing. habil., Dresden (Schriftleitung)
AUFLEGER, Markus	Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil., Innsbruck
BETTZIECHE, Volker	Prof. Dr.-Ing., Essen
BIEBERSTEIN, Andreas	Dr.-Ing., Karlsruhe
CARSTENSEN, Dirk	Prof. Dr.-Ing. habil., Nürnberg
KANNE, Stefan	Dipl.-Ing., München
KAST, Karl	Dr.-Ing., Ettlingen
KNALLINGER, Maximilian	Dipl.-Ing., München
OVERHOFF, Gregor	MR, Dipl.-Ing., München
SIEBER, Hans-Ulrich	Dr.-Ing., Pirna
STRASSER, Karl-Heinz	Dipl.-Ing., Landshut

Als Gast hat zeitweilig mitgewirkt:

BANZHAF, Peter	Dipl.-Ing., Schrobenhausen
----------------	----------------------------

Projektbetreuer in der DWA-Bundesgeschäftsstelle:

SCHRENK, Georg	Dipl.-Geogr., Hennef
----------------	----------------------

Inhalt

Vorwort	.....	3
Verfasser	.....	5
Bilderverzeichnis	.....	8
Tabellenverzeichnis	.....	10
Abkürzungen	.....	11
1 Einführung	.....	12
2 Sicherheitsanforderungen an Stauanlagen	.....	14
2.1 National	.....	14
2.1.1 Rechtliche und administrative Anforderungen	.....	14
2.1.2 Anforderungen entsprechend den Regeln der Technik	.....	16
2.2 International	.....	18
3 Bemessung nach DIN 19700 unter Berücksichtigung der maßgebenden Einwirkungen	.....	21
3.1 Bemessungsgrundsätze	.....	21
3.2 Sicherheitsnachweise	.....	22
3.2.1 Allgemeines	.....	22
3.2.2 Bestimmung der charakteristischen Werte	.....	23
3.2.3 Globales Sicherheitskonzept	.....	23
3.2.4 Teilsicherheitskonzept	.....	24
3.2.5 Probabilistische Konzepte	.....	25
3.2.6 Hydraulische Nachweise	.....	26
3.2.7 Nachweis der Hochwassersicherheit und Bestimmung des Freibordes	.....	26
3.2.8 Nachweise für Verkehrslasten	.....	27
4 Mögliche Einwirkungen jenseits der Bemessungsannahmen	.....	29
4.1 Extreme Hochwasserstände und Abflüsse	.....	29
4.1.1 Vorgabe der Bemessungsabflüsse nach DIN 19700	.....	29
4.1.2 Außerplanmäßige Überströmung des Absperrbauwerkes	.....	30
4.1.3 Kritische Überlastung von Betriebseinrichtungen	.....	31
4.1.4 Hangrutschungen im Beckenbereich	.....	31
4.2 Extremerebeben	.....	32
4.2.1 Vorgaben nach DIN 19700	.....	32
4.2.2 Erdbeben als Einwirkung auf Talsperren	.....	33
4.2.3 Unsicherheiten bei der Ermittlung der Erdbebeneinwirkungen	.....	34
4.2.4 Schadensbilder aus Erdbebeneinwirkungen	.....	34
4.3 Durch- und Unterströmung mit extremen hydraulischen Gradienten, innere Erosion, grabende Tiere, Vegetation	.....	35
4.4 Extreme außerplanmäßige Verkehrslasten	.....	36
4.5 Fehlbetrieb, Fehlsteuerung von Anlagen	.....	37
4.6 Gewalteinwirkungen	.....	37
4.7 Extreme Bedingungen auf der Widerstandsseite	.....	40

4.7.1	Vorbemerkungen	40
4.7.2	Ungünstige Materialparameter	40
4.7.3	Funktionsausfall sicherheitsrelevanter Bauteile und Einrichtungen.....	40
5	Aktivierung und Aufzehrung von Sicherheitsreserven im Tragwerk	41
5.1	Bemessungsimmanente Reserven	41
5.2	Reserven aus dem Materialverhalten	42
5.2.1	Allgemeines	42
5.2.2	In Staudämmen.....	42
5.2.3	Bei Staumauern	43
5.2.4	Im Untergrund	43
5.3	Reserven aus der konstruktiven Gestaltung.....	44
6	Maßnahmen zur Verminderung der Gefahr des Anlagenversagens sowie dessen Folgen.....	45
6.1	Überblick.....	45
6.2	Stauanlagenüberwachung (Monitoring, Sicherheitsbericht, Vertiefte Überprüfung) ..	46
6.3	Vorsorgende Maßnahmen für den Fall des Überströmens	47
6.4	Organisatorische Vorkehrungen	47
6.5	Operationelle Maßnahmen beim Auftreten von Besonderheiten	48
6.6	Risikoabschätzung, Stauanlagenklassifizierung	48
6.6.1	Risk Assessment	48
6.6.2	Stauanlagenklassifizierung	51
7	Versagen von Stauanlagen und mögliche Folgen (Konsequenzen)	54
7.1	Gefährdungspotenzial von Stauanlagen.....	54
7.1.1	Risiken	54
7.1.2	Teilversagen und Versagen	56
7.2	Versagensarten.....	57
7.3	Versagensumfang.....	61
7.4	Bruchmodelle für Stauanlagen	62
7.5	Ausflussszenarien im Versagensfall.....	63
7.5.1	Allgemeines	63
7.5.2	Speicherbetriebszustände, Hochwasserganglinien.....	63
7.5.3	Retention, Ausflussganglinien.....	63
7.5.3.1	Retention.....	63
7.5.3.2	Ausflussermittlung mit empirischen Ansätzen	64
7.5.3.3	Ausflussermittlung mit einfachen Berechnungsansätzen bei plötzlich vollständigem Versagen	65
7.5.3.4	Ausflussermittlung mit bodenmechanischen Breschenbildungsmodellen	66
7.5.3.5	Ausflussermittlung mit numerischen Modellen	66
7.5.3.6	Vergleich der Ergebnisse für verschiedene Modelle	67
7.5.3.7	Physikalische Modelle zur Breschenbildung und zum Breschendurchfluss.....	68
7.5.3.8	Zeitlicher Verlauf des Durchflusses an der Bruchstelle.....	69
7.5.4	Vergleich mit natürlichen Hochwasserereignissen	71

8	Ermittlung der Ausbreitung von Flutwellen nach einem Versagen	73
8.1	Problemstellung	73
8.2	Grundlagen und Modellbildung	73
8.2.1	Numerische hydrodynamische Modelle.....	73
8.2.2	Geländemodelle	75
8.2.3	Landnutzung, Vegetation, Rauheit, Brücken, Gerinnebauwerke, Bebauung	76
8.2.4	Rand- und Anfangsbedingungen	77
8.3	Durchführung der Berechnungen	78
8.3.1	Modellierung der Wellenausbreitung	78
8.3.2	Bestimmung der Wassertiefe, Überflutungsfläche und Wellenankunftszeit.....	79
8.4	Darstellung der Ergebnisse	80
8.4.1	Darzustellende Größen bei Flutwellen.....	80
8.4.2	Unschärfe und Unsicherheit in den Ergebnissen	81
8.4.2.1	Allgemeines zu Unschärfe und Unsicherheit.....	81
8.4.2.2	Unsicherheit bei der Analyse des Talsperrenbruchs.....	82
8.4.2.3	Unsicherheiten bei der Flutwellenberechnung und -kartierung.....	83
8.4.3	Sondergefahrenkarten	86
8.4.4	Risikokarten.....	89
9	Umsetzung, Nutzung, Anwendung und Übertragung der Ergebnisse	90
9.1	Notfallpläne, Kommunikation, Internet	90
9.2	Notfallvorkehrungen in andern Ländern	94
10	Zusammenfassung	101
11	Anhang	102
11.1	Talsperrenbruch- und Überflutungsanalysen in ausgewählten Staaten	102
11.2	Breschenbildungs- und Ausflussmodelle, Empirische Formeln für Breschenabmessungen und Scheiteldurchfluss	108
	Stichwortverzeichnis	115
	Literatur	116

Bilderverzeichnis

Bild 1:	Säulen der Stauanlagensicherheit	16
Bild 2:	Zuverlässigkeitsnachweiskonzept für Stauanlagen gemäß DIN 19700-11:2004-07 und Merkblatt DWA-M 542	17
Bild 3:	Gegenüberstellung von Sicherheitsphilosophien für Stauanlagen	18
Bild 4:	Risiko-Rahmenprogramm zur Talsperrensicherheit in den USA.....	20
Bild 5:	Globales Konzept und Teilsicherheitskonzept	22
Bild 6:	Schematische Darstellung der Normalverteilung einer Einwirkung und eines Widerstands	23
Bild 7:	Beziehung zwischen verschiedenen Teilsicherheitsbeiwerten nach DIN EN 1990:2010-12.....	25

Bild 8:	Hochwasserentlastungsanlage der am 10.08.2010 nach längerer Dammüberströmung bei Hochwasser gebrochenen Talsperre Niedow an der Wittig (Witka), Polen	30
Bild 9:	Überströmung einer Staumauer während eines Extremhochwassers jenseits der Bemessungsannahmen 3D-hydrnumerische Berechnung	31
Bild 10:	Technische und personelle Maßnahmen zum Schutz von kritischer Infrastruktur: Wachturm und Videoüberwachung	39
Bild 11:	Ablauf und Bestandteile des Risk Assessment-Prozesses	49
Bild 12:	Vorgehensweise zur Konstruktion eines Fehlerbaums	50
Bild 13:	Verfahrensweisen für die Klassifizierung von Stauanlagen	52
Bild 14:	Abgestufte Betrachtung zum Versagen von Stauanlagen. Beispiele für die Beanspruchung und Überlastung durch Hochwasser	56
Bild 15:	Schadensursachen bei Talsperren	57
Bild 16:	Modellierung eines hypothetischen Talsperrenbruchs und seiner Auswirkungen.....	57
Bild 17:	Bruchvorgang und Bruchbild bei Dämmen.....	58
Bild 18:	Beispiele für Bruchbilder bei Staumauern	59
Bild 19:	Auswahl von Bruchszenarien an einer Beispieltalsperre mit Damm und Massivbauwerk im Bereich der Hochwasserentlastung	61
Bild 20:	Bruch eines Staudammes. Rekonstruktion der Ganglinien für Zufluss, Abfluss, Beckenwasserstand, tiefster Kronen-/Überströmungspunkt.....	64
Bild 21:	Spitzendurchfluss durch die Bresche gegenüber Breschenbildungsfaktor BFF – HRB Glashütte und Daten von MacDonald/Langridge-Monopolis 1984	65
Bild 22:	Kennwerte des Ausflusses aus einer Stauhaltung im Rechteckkanal nach RITTER 1892 ...	66
Bild 23:	Ergebnisse für den Scheitelabfluss nach verschiedenen Modellen für drei Beispielspeicher	68
Bild 24:	Modellversuche zur Breschenbildung und zum Auslauf. Links homogener Damm, TH Dresden 1937, rechts inhomogener Damm, TU Dresden 2015	68
Bild 25:	Abflusskurven der 3 Beispiel-Stauanlagen TS A, TS B und TS C	69
Bild 26:	Geschätzte Wahrscheinlichkeiten, mit denen die eingezeichneten vereinfachten Ganglinien vom größten Ereignis pro Jahr an einer Beispieltalsperre	70
Bild 27:	Durchflussganglinien in Folge des Bruches eines Absperrbauwerkes	71
Bild 28:	Beeinflussung einer Hochwasserdurchflussganglinie durch den Talsperrenbruch in einem Seitental.....	72
Bild 29:	Darstellung der natürlichen Hochwasserereignisse mit Durchflussscheitelwert und Wiederkehrintervall im Vergleich zu Dammbrechwellen für eine Beispieltalsperre in Mitteldeutschland	72
Bild 30:	Vergleich unterschiedlicher Berechnungsergebnisse bei Verwendung von 1- und 2-dimensionalen hydraulischen Programmen in Bezug auf Höchstwasserstände während eines natürlichen Extremhochwasserereignisses	75
Bild 31:	Einflussgrößen, Kennwerte und Gleichungen für die Berechnung der Flutwellenausbreitung	78
Bild 32:	Flutwellenausbreitungsgeschwindigkeiten von verschiedenen Talsperrenbrüchen im Vergleich zu einem natürlichen Extremhochwasser an der Elbe.....	79
Bild 33:	Hochwasserintensität entlang des Fließweges beim Bruch kleiner Talsperren	80
Bild 34:	Wassertiefen 1,5 Stunden, 2,5 Stunden und 3,3 Stunden nach der Ankunft der Flutwelle infolge hypothetischen Bruches einer Talsperre	81
Bild 35:	Rahmen für eine Unsicherheiten reflektierende Zuverlässigkeitsanalyse	82
Bild 36:	Diskretisierung bei ein-, zwei- und dreidimensionalen hydrnumerischen Modellen	85

Bild 37:	Dammbruchwelle mit und ohne Abflussbehinderung durch einen Bahndamm. Oben Überflutungsfläche, unten hydraulischer Längsschnitt	86
Bild 38:	Beispiel 1 für eine Sondergefahrenkarte mit Darstellung der maximalen Wassertiefen, der Abflusswerte an den Kontrollquerschnitten und der Zeiten für die Wellenankunft und den Wellenscheitel ab Dammbruchbeginn	87
Bild 39:	Beispiel 2 für eine Sondergefahrenkarte mit Darstellung der maximalen Wassertiefen, der HQ_{100} Überschwemmungsgrenze, der Abflusswerte an den Kontrollquerschnitten und der Zeiten für die Wellenankunft und den Wellenscheitel ab Dammbruchbeginn	88
Bild 40:	Abflussganglinien für die Kontrollquerschnitte.....	89
Bild 41:	Visualisierung von Schadensstufen und Häufigkeit auf der Grundlage des Schweizerischen Modells	90
Bild 42:	Beispiel für einen Evakuierungsplan im Falle eines sich ankündigenden Talsperrenversagens.....	93
Bild 43:	Gefahrenstufen nach Schweizer Sicherheitskonzept	94
Bild 44:	Alarmierungsformen bei drohendem unkontrolliertem Abfluss einer großen Wassermenge	96
Bild 45:	Organisation des Notfallkonzeptes für Stauanlagen	97
Bild 46:	Ständiger Aushang für die Notfallplanung in Tirol, Österreich	98

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Auskunftsverpflichtung für die Betreiber von risikoreichen Anlagen in der Gesetzgebung der deutschen Bundesländer	15
Tabelle 2:	Wahl der Bemessungshochwasserzuflüsse für Talsperren nach DIN 19700-11:2004-07.....	29
Tabelle 3:	Wahl der Überschreitungswahrscheinlichkeiten der Erdbebenereignisse für Sicherheitsnachweise von Talsperren nach DIN 19700-11:2004-07	32
Tabelle 4:	Fehlbetrieb und Fehlsteuerung am Absperrbauwerk einer Stauanlage (Probleme, mögliche Ursachen und Vermeidungsstrategien).....	37
Tabelle 5:	Klassifizierung der Talsperren nach DIN 19700-11:2004-07	53
Tabelle 6:	Schwellenwerte für die Risikoakzeptanz und individuelle relative Todesfallhäufigkeit im Hinblick auf Kernkraftwerke nach OTWAY & ERDMAN 1970 sowie Beispiele empirischer Todesfallhäufigkeiten.....	54
Tabelle 7:	Gefährdungspotenzial und mögliche Schäden bei Teilversagen oder Versagen von Stauanlagen	55
Tabelle 8:	Bruchursachen und Bruchbilder bei Staudämmen.....	58
Tabelle 9:	Bruchursachen und Bruchbilder bei Staumauern	59
Tabelle 10:	Empirische Kennwerte für verschiedene Versagensarten und Bauwerkstypen ...	60
Tabelle 11:	Ergebnis eines empirischen Modells für drei Beispielspeicher	67
Tabelle 12:	Beispiele für gebräuchliche hydraulische Modelle für die Berechnung der Flutwellenausbreitung	73
Tabelle 13:	Ursachen der Unsicherheit bei der Flutwellenberechnung und der Überschwemmungsflächenkartierung.....	83
Tabelle 14:	Mehrstufiger Ansatz für die Erstellung von Sondergefahrenkarten in den USA.....	100
Tabelle 15:	Mehrstufiger Ansatz für die Analyse von Stauanlagenbrüchen gemäß Richtlinie des Bundesstaates Colorado, USA, 2010	100
Tabelle 16:	Talsperrenbruch- und Überflutungsanalysen in ausgewählten Staaten.....	102

Tabelle 17:	Ausgewählte Breschenbildungs- und Ausflussmodelle	108
Tabelle 18:	Zusammenstellung verschiedener Formeln für den maximalen Breschendurchfluss (Scheiteldurchfluss) beim hypothetischen Bruch eines Erddammes	111
Tabelle 19:	Zusammenstellung verschiedener Formeln für das erodierte Breschen- volumen und die Breschenbreite bei hypothetischem Bruch eines Erddammes. ...	113
Tabelle 20:	Zusammenstellung verschiedener Formeln für die Breschenbildungszeit bei hypothetischem Bruch eines Erddammes.....	114

Abkürzungen

Abkürzung	Definition
DEM	Digital Elevation Model
DGM	Digitales Geländemodell
DHI	Danish Hydraulic Institute
DTK	Deutsches Talsperrenkomitee
DTM	Digital Terrain Model
EAP	Emergency Action Plan
FEMA	Federal Emergency Management Agency (USA)
GIS	Geographic Information System
HEC-RAS	Hydrologic Engineering Center – River Analysis System
ICOLD	International Commission on Large Dams
IMPACT	Investigation of Extreme Flood Processes and Uncertainty
LIDAR	Light Detection and Ranging
NID	National Inventory of Dams (USA)
PMF	Probable Maximum Flood
RCC	Roller-Compacted Concrete
RCEM	Reclamation Consequence Estimating Methodology
SCS	Soil Conservation Service
SDF	Spillway Design Flood
SPANCOLD	Spanish National Committee of ICOLD
TIN	Triangular Irregular Network
USACE	United States Army Corps of Engineers
USDOI	United States Department of Interior
WRD	World Register of Dams

1 Einführung

Stauanlagen (Talsperren, Hochwasserrückhaltebecken, Staustufen, Pumpspeicherbecken) nach DIN 19700, Teile 10 bis 14 dienen dem Aufstau und der dauerhaften oder zeitweiligen Speicherung von Wasser. Das von den Absperrbauwerken (Staudämme, Staumauern, Wehre) der Stauanlagen gestaute Wasser ist zugleich potenzieller Energieträger. Im Falle des Versagens oder Teilversagens eines Absperrbauwerkes würde diese Energie freigesetzt, indem das gestaute Wasser seine Kraft in Form einer Flutwelle im Unterlauf der Stauanlage zerstörerisch entfalten könnte.

Die Existenz einer Stauanlage stellt insoweit ein Gefährdungspotenzial für das unterhalb liegende Abflussgebiet dar. Mit dem Bestand jedweder technischen Anlage ist stets eine – wenn auch noch so geringe – Eintrittswahrscheinlichkeit für ein Anlagenversagen oder -teilversagen verbunden. Dies gilt auch für Stauanlagen und wird durch Statistiken der in der Vergangenheit eingetretenen Versagensfälle bestätigt.

Das mit Stauanlagen verbundene Gefahrenpotenzial wird auch von der Öffentlichkeit, vor allem aber von den Unterliegern zunehmend kritisch hinterfragt. Es ist wohl eine nachvollziehbare menschliche Eigenschaft, unfreiwillig übernommene Risiken (z. B. als vor dem Bau ansässig gewesener Unterlieger einer Talsperre oder als Nachbar einer Chemiefabrik) kritischer zu bewerten als freiwillig übernommene (z. B. Teilnahme am Straßenverkehr und Luftverkehr, bestimmte Sportarten wie Kitesurfen, Drachenfliegen usw.).

Statistisch ist nachgewiesen, dass die Wahrscheinlichkeit, als Unterlieger einer Talsperre zu Schaden zu kommen, viel geringer ist, als z. B. die Unfallgefahr in Verkehrsmitteln. Dennoch ist es gerechtfertigt und notwendig, mögliche Risiken abzuschätzen und diese auf ein gesellschaftlich vertretbares Maß zu reduzieren. Gleichzeitig ermöglichen Untersuchungen über mögliche Folgeschäden eine Früherkennung, das Ergreifen erforderlicher Gegenmaßnahmen und eine zielgerichtete Hilfe im Schadensfall (POHL, BORNSCHEIN 2007a).

Definitionsgemäß resultiert das mit dem Bestand einer Stauanlage verbundene (Rest-)Risiko aus dem Produkt ihrer Versagenswahrscheinlichkeit und dem potentiellen Schaden infolge des Versagens. In der Regel und in Mitteleuropa und Deutschland ganz besonders stehen einer minimalen Versagenswahrscheinlichkeit immense Schäden gegenüber, sodass das resultierende (Rest-)Risiko nicht vernachlässigt werden darf. Hinzu kommt die nicht ohne Weiteres monetär bewertbare Gefährdung von Menschenleben.

Stauanlagen sind daher technische Anlagen, an deren Sicherheit höchste Ansprüche zu stellen sind. Hierbei ist zu beachten, dass jegliches Sicherheitskonzept das verbleibende Restrisiko hinreichend berücksichtigen muss. Eine hundertprozentige Sicherheit kann nicht gewährleistet werden. Deshalb müssen Sicherheitsbetrachtungen für Stauanlagen nicht nur (rechnerische) Sicherheitsnachweise für bestimmte – auch extreme – Lasten bzw. Beanspruchungen umfassen, sondern sie müssen sich auch mit dem theoretisch denkbaren Versagensfall und seinen Folgen beschäftigen. Vor diesem Hintergrund ist auch die Untersuchung der Ausbreitung von Flutwellen durch einen hypothetischen Talsperrenbruch zu sehen, auch wenn die deutschen Talsperren gemeinhin als sicher gelten können.

Im Kontext zur Sicherheit von Stauanlagen ist des Weiteren zu beachten, dass sich Stauanlagen durch eine extrem lange Lebens- bzw. Betriebsdauer auszeichnen. Während die wirtschaftlichen Lebensdauern (Abschreibungszeiträume vgl. LAWA 2012) von Stauanlagen 80 bis 100 Jahre betragen, kann sich ihre technische Lebens- und Nutzungsdauer auf Hunderte von Jahren erstrecken. Das heißt, dass die Gewährleistung der Stauanlagensicherheit keine Momentaufnahme ist, sondern über die gesamte Lebensdauer der Stauanlage zu betrachten ist. Dazu bedarf es eines geeigneten Sicherheitsmanagements. Umfassende Hinweise hierzu finden sich im ICOLD Bulletin 154. Zusammenfassend heißt es dort, dass „zur Gewährleistung der Nachhaltigkeit von Stauanlagen alle vernünftigerweise gebotenen Anstrengungen unternommen werden müssen, um Havarien und Versagensfälle zu verhindern oder zu vermindern. Alle relevanten Faktoren, die die gegenwärtige und die künftige Stauanlagensicherheit beeinträchtigen können, sollen identifiziert, analysiert und doku-

VORSCHAU

Stauanlagen müssen höchste Anforderungen an ihre Zuverlässigkeit – das sind im normativen Sinne die Tragsicherheit, die Gebrauchstauglichkeit und die Dauerhaftigkeit – erfüllen. Dies ist zum einen insbesondere dadurch begründet, dass Stauanlagen eminent wichtigen Aufgaben dienen, die keine unplanmäßigen Betriebsausfälle vertragen, wie zum Beispiel die Trinkwasserversorgung, der Hochwasserschutz oder die Elektroenergieerzeugung. Zum anderen geht von Stauanlagen im Falle ihres Versagens oder Teilversagens ein erhebliches Gefahrenpotenzial für den Anlagenbetreiber und vor allem für die Unterlieger aus. Die deutsche Stauanlagennorm DIN 19700 (Ausgabe 2004) fordert daher einerseits eine sehr sichere Bemessung aller Bestandteile einer Stauanlage. Andererseits wird aber auch verlangt, dass Fälle einer Überschreitung der Bemessungsansätze oder einer Überlastung in die Betrachtungen mit einzubeziehen und die daraus resultierenden verbleibenden Risiken zu identifizieren und zu bewerten sind. Dabei überlässt es die vorgenannte Norm weitgehend den Anwendern, auf welche Art und Weise, mit welchen Methoden diese Betrachtungen des verbleibenden Risikos (Restrisiko) durchzuführen sind.

Nach Auffassung der Verfasser dieses DWA-Themenbandes ist es an der Zeit, den Anwendern der deutschen Stauanlagennorm Überlegungen, Hinweise und Hilfestellungen für die Befassung mit dem vorgenannten Themenspektrum an die Hand zu geben. Während in Deutschland diesem Themenkomplex bisher von den betroffenen Zuständigen eher mit Zurückhaltung begegnet wurde, ist die Beschäftigung mit hypothetischen Stauanlagenversagen und deren Folgen in unseren Nachbarländern und im fernerem Ausland Gang und Gebe. In die Zuverlässigkeitsbetrachtungen von Stauanlagen hält das Risk Assessment sowohl bezogen auf Einzelanlagen als auch auf Anlagenportfolios im internationalen Maßstab verstärkt Einzug. In den Katastrophenschutzgesetzen mehrerer deutscher Bundesländer wird von Betreibern von Anlagen mit im Versagensfall hohem Gefährdungspotenzial verlangt, dass sie über Kenntnisse und Unterlagen über potentielle Versagensszenarien und -folgen verfügen und diese auf Verlangen den zuständigen Behörden ausreichen können. Auch vor diesem Hintergrund dürfte der Blick auf das, was bei Überschreitung der für die Berechnung oder Bemessung einer Stauanlage getroffenen Annahmen passiert, geboten sein.

Der Geltungsbereich des Themenbandes erstreckt sich vornehmlich auf im Hauptschluss des Gewässers liegende Stauanlagen, hierbei insbesondere auf Talsperren und Hochwasserrückhaltebecken. Eine sinngemäße Anwendung für Staustufen, Pumpspeicherbecken und Sedimentationsbecken wird empfohlen. Die stauanlagenartspezifischen Belange sind in jedem Fall entsprechend zu berücksichtigen.

ISBN: 978-3-88721-446-3 [Print]
978-3-88721-447-0 [E-Book]

Deutsche Vereinigung für Wasserwirtschaft, Abwasser und Abfall e. V. (DWA)

Theodor-Heuss-Allee 17 · 53773 Hennef

Telefon: +49 2242 872-333 · Fax: +49 2242 872-100

info@dwa.de · www.dwa.de