



Die Schäden an den Entlastungsanlagen der Talsperre Oroville im Februar 2017

Mitte Februar war der 235 m hohe Oroville-Staudamm wegen der infolge von Hochwasserabflüssen eingetretenen und sichtbaren Schäden an seinen Entlastungsanlagen in aller Munde. Die Tagespresse war voll von Meldungen über eine drohende, aber ausgebliebene Flutwelle. Es scheint geboten, das Geschehen fachkundig darzustellen. So liefert der nachfolgende Beitrag die wesentlichen technischen Angaben für die Talsperre Oroville und eine Beschreibung des Ablaufes des Hochwasserereignisses sowie der dadurch eingetreten Schäden. Es werden erste Schlussfolgerungen gezogen und Nachfragen zur Situation an den deutschen Talsperren beantwortet.

Markus Aufleger und Hans-Ulrich Sieber

Die Talsperre Oroville

Die Talsperre Oroville in Kalifornien, USA, wurde 1967 fertiggestellt. Das Absperrbauwerk wurde mit mehr als 60 Mio. m³ Schüttmaterial als zonierter Erddamm mit einer Höhe von knapp 235 m über der Gründungssohle errichtet [1]. Die rund 2 110 m lange und 15 m breite Krone liegt auf einer Meereshöhe von 281 m a. s. l. und damit rund 7 m über dem Stauziel des Oroville-Sees (274,32 m m. s. l.) mit einer Seefläche von 64 km² sowie einem Einzugsgebiet von fast 9 400 km². Die Anlage dient der Wasserkraftnutzung (Ausbauleistung 660 MW), der Energiespeicherung (Pumpspeicher), dem Hochwasserrückhalt (im Winterhalbjahr ca. 925 Mio. m³), der Niedrigwasseraufhöhung bzw. Wasserversorgung und der Freizeitnutzung. Der Gesamtstauraum umfasst rund 4,4 Mrd. m³. Die Bewirtschaftung des Speichers erfolgt über die Wasserkraftanlage (Ausbaublass ca. 480 m³/s) sowie einen Bypass bzw. Grundablass mit einer maximalen Leistungsfähigkeit von etwa 150 m³/s [4], [5].

Für die reguläre Hochwasserentlastungsanlage (HWE), welche aus einem Einlaufbauwerk mit 8 Verschlüssen und einer anschließenden etwa 930 m langen Schussrinne besteht, wurden in den 1960er-Jahren Modellversuche in den Maßstäben 1:48 (Einlaufbauwerk) und 1:78 (Gesamtanlage) durchgeführt. Die HWE wurde hierbei für einen Gesamtabfluss von 250 000 cf (knapp 7 100 m³/s) ausgelegt [2]. Dieser Abfluss entspricht dem maximalen rechnerischen Abfluss durch die jeweils 5,4 m breiten

und 10,2 m hohen Verschlüsse [5] des Einlaufbauwerks bei Stauziel. Neuere Quellen benennen einen Maximalabfluss über die reguläre HWE von 150 000 cf (4 250 m³/s), welcher wohl der bisher angenommenen maximalen Kapazität der Schussrinne entsprechen wird. Bei einer Breite der Rinne von etwa 50 m ergibt sich hieraus ein maximaler spezifischer Abfluss von 85 m³/(s · m).

Die HWE wurde auf einem Höhenrücken errichtet, welcher auch das rechte Widerlager des Staudammes bildet (**Bild 1**). Im weiteren Verlauf dieses Rückens wurde ein ca. 530 m langer Notüberlauf auf einer Meereshöhe von 274,62 m a. s. l. angeordnet. Für diesen Anlagenteil wurde kein physikalischer Modellversuch realisiert. Der Notüberlauf besteht aus einer überströmbaren Gewichtsstaumauer, welche im Anschlussbereich an das Betonbauwerk der HWE eine Höhe von knapp 20 m über dem Gelände auf der Luftseite besitzt (**Bild 2**). Dieser Teil der Entlastungsanlage ragt etwa 8 m über die Sohle des Oroville-Stausees an der Wasserseite hinaus. In seinem orographisch rechten Bereich läuft der Notüberlauf auf Höhe des Geländes aus. Der luftseitige Fuß des Betonbauwerkes ist über einen längeren Bereich mit einer kurzen Betonplatte gesichert. Weitere Befestigungen oder Geländemodellierungen wurden an dem anschließenden Talhang nicht vorgesehen. Der Untergrund wird an diesem Höhenrücken grundsätzlich aus stark gefaltetem und bereichsweise verwittertem metamorphen Gestein [3], [7], welches in größeren Bereichen von Lockergestein überlagert ist, gebildet.

In den rund 50 Jahren seit dem Bau der Anlage ist der Notüberlauf bis Februar 2017 noch nie angesprungen. Aus den verfügbaren hydrologischen Aufzeichnungen [6] lässt sich ableiten, dass innerhalb der vergangenen 30 Jahre das Stauziel von 274,32 m a. s. l. rund zehnmal erreicht wurde und dass die HWE in diesem Zeitraum ebenfalls mindestens etwa zehnmal in regulären Betrieb gegangen ist. Der maximale Abfluss wurde hierbei bei einem schweren Hochwasserereignis im Winter 1996/1997 mit etwa 3 700 m³/s erreicht. Weitere HWE-Inbetriebnahmen lassen sich aus den vorliegenden Daten im Winter 2005/2006 mit über 2 000 m³/s und im Winter 2010/2011 mit rund 1 000 m³/s ableiten. Im Zeitraum 2012 bis 2015 wurden lokale Ausbesse-

Kompakt

- An der Talsperre Oroville traten im Februar 2017 bedeutende Schäden an den Entlastungsanlagen auf, wobei die Standsicherheit der Talsperre nicht gefährdet war.
- Das Beispiel zeigt die Bedeutung der Stauanlagensicherheit und der regelmäßigen vertieften Überprüfung der Stauanlagen.

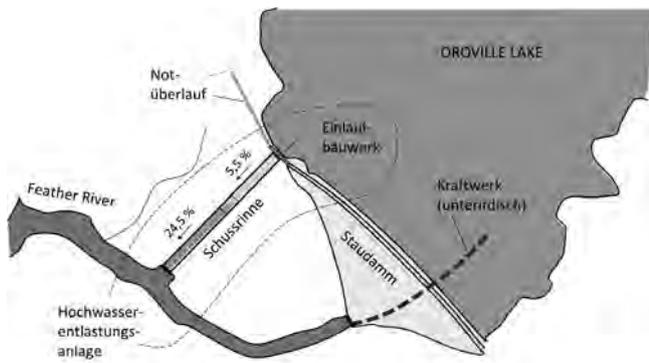


Bild 1: Oroville-Staudamm und Nebenanlagen – Übersicht (Quelle: Aufleger)

rungsarbeiten in der Schussrinne durchgeführt [4]. Diese sind auch in Satellitenbildern aus dem Jahre 2015 unter anderem im Bereich der Bauwerksfuge, an welcher sich am 7. Februar 2017 der initiale Schaden entwickelt hat, zu erkennen [3].

Die Situation im Februar 2017

Bereits Anfang Januar 2017 führte ein Hochwasserereignis mit einem maximalen Spitzenzufluss von rund 4 800 m³/s zu einem Anstieg des Wasserspiegels im Oroville-Stausee um rund 20 m auf etwa 260 m a. s. l.. Einen Monat später setzte am 6. Februar eine weitere Hochwasserwelle an, welche nach einem ersten Scheiteldurchgang am 7. Februar mit 3.700 m³/s am 9. Februar mit einem Spitzenzufluss von rund 5 400 m³/s ihren Höhepunkt erreichte [6].

Mit ansteigendem Wasserspiegel wurde der Abfluss über die HWE zunächst am 6. Februar bis auf etwa 1 500 m³/s erhöht. Am 7. Februar erkannte das Betriebspersonal einen erheblichen Erosionsschaden etwa 600 m unterhalb des Einlaufbauwerkes in dem steilen, etwa 25 % geneigten unteren Bereich der Schussrinne [3], [8] (**Bild 3a**). Nach einer ersten Inspektion wurden am 8. und 9. Februar unter dem Druck der sich weiter verschärfenden Hochwassersituation zum einen Probelastungen der Schussrinne mit Abflüssen bis zu etwa 550 m³/s durchgeführt und zum anderen Gehölzfreistellungen im steilen Ablaufbereich unterhalb des Notüberlaufs vorgenommen (**Bild 3b**). Die vergleichsweise geringen Abflüsse führten zu einer weiteren Vergrößerung des Einbruchs in der Schussrinne von etwa 75 m Länge auf gut 90 m Länge [3]. Angesichts des weiter zunehmenden Zuflusses entschlossen sich die Verantwortlichen dennoch zu einer erneuten HWE-Inbetriebnahme und steigerten den Abfluss bis auf etwa 1 850 m³/s am 10. Februar. Die zusätzlichen

Erosionen im Bereich der Schussrinne sowie im angrenzenden Gelände verursachten einen erheblichen Materialeintrag in den Feather-Fluss. Hierdurch wurde ein Rückstau in Richtung Staudamm bzw. Kraftwerksauslass verursacht, so dass das Kraftwerk außer Betrieb genommen werden musste [8].

Der Wasserspiegel im Stauraum erreichte bei einem inzwischen auf etwa 1 550 m³/s reduzierten HWE-Abfluss am Morgen des 11. Februar die Oberkante des Notüberlaufs (274,62 m a. s. l.; **Bild 4**). Die Verantwortlichen rechneten zu diesem Zeitpunkt mit einem maximalen Überlauf über den Notüberfall von bis zu 340 m³/s und mit geringen flächigen Belastungen des unterhalb liegenden Geländes. Tatsächlich stieg der Wasserspiegel in den nächsten Stunden bis zu einem Höchstwert von 275,11 m a. s. l. am Morgen des 12. Februars an. Die maximale Überströmung des Notüberfalls betrug somit etwa 0,5 m [6] und lag damit im prognostizierten Bereich. Allerdings sammelte sich der Abfluss luftseitig des Notüberfalls in den vorhandenen Geländestrukturen sowie Abflussrinnen und verursachte erhebliche Erosionen, welche sich im Laufe des Ereignisses in bedrohlicher Ausprägung rückschreitend dem Fuß des Betonbauwerkes bis auf wenige Meter näherten (**Bild 3c**).

Unter dem Eindruck einer zunehmenden Sorge um die Stabilität dieses in seinem höchsten Bereich bis zu etwa 20 m hohen Bauwerkes, dessen Versagen eine doch erhebliche Flutwelle über den Talhang auslösen würde, wurde die sofortige Evakuierung der Unterlieger angeordnet, wodurch in der weiteren Folge bis zu 188 000 Menschen mobilisiert werden mussten.

Der Abfluss über die HWE mit ihrer bereits stark beschädigten Schussrinne wurde auf 100 000 cf (ca. 2 850 m³/s) erhöht [6], [8]. In der Nacht auf den 13. Februar sank der Wasserspiegel unter die Oberkante des Notüberfalls ab. Der HWE-Abfluss wurde zur Sicherstellung eines möglichst großen Freibords bzw. Retentionsraums noch bis zum 16. Februar bei 2 850 m³/s gehalten und anschließend schrittweise reduziert [6]. Unmittelbar nach dem Trockenfallen des Notüberlaufes begannen ohne Unterbrechungen umfassende Sanierungsmaßnahmen zur Stabilisierung des an das Betonbauwerk im Unterwasser anschließenden Geländes [8]. Aufgrund des weiteren HWE-Betriebs hat sich der Bereich des Schadens in der Schussrinne seit der erneuten Inbetriebnahme am 12. Februar in erheblichem Maße verändert. Rund 100 m oberhalb des ersten Einbruchs hat sich etwa am Beginn der steileren Teilstrecke der Schussrinne eine zumindest vorübergehend weitgehend stabile „Absprungkante“ gebildet (**Bild 3d**). Unterhalb dieser im Abflussbild deutlich zu erkennenden Form sind inzwischen erhebliche Erosionen entstanden. Links der ursprünglichen Schussrinne hat sich ein kaskadenförmiger Abflussbereich in Richtung des Feather-Flusses entwickelt (Bild 4).

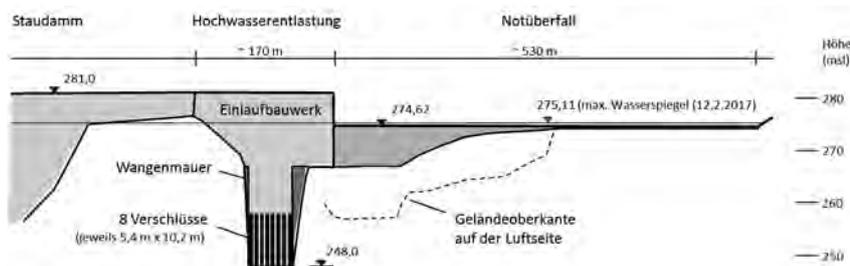


Bild 2: Oroville-Staudamm: HWE und Notüberfall (Blick von Oberwasser, stark vereinfachte und überhöhte Darstellung) (Quelle: Aufleger)

Wo liegt das Problem?

Eine Gefährdung des über 200 m hohen Staudammes war zu keiner Zeit gegeben. Die Dammkrone liegt weit über dem Notüberfall (Bild 2). Die Anordnung eines sehr breiten Notüberlaufs ist grundsätzlich eine Maßnahme, welche die Resilienz einer Talsperre auch bei Extremereignissen in hohem Maße erhöhen kann. Dennoch zeigten sich am Oroville-Staudamm gravierende Probleme und Sicherheitsrisiken, welche sowohl an der regulären HWE als auch am Notüberfall in der Ableitung des Abflusses in Richtung Unterwasser begründet sind. Eine eingehende Ursachenforschung ist unerlässlich.

Als Auslöser für den konkreten Primärschaden an der HWE-Schussrinne werden neben einer Kavitationserosion, welche im Bereich der bereits früher sanierten Bauwerksfuge ihren Anfang genommen haben könnte, durchaus auch Probleme im Untergrund des Betonbauwerkes vermutet. Hier sind weitergehende Analysen unter Berücksichtigung der hydraulischen Zusammenhänge, der Untergrundeigenschaften, der Betonqualität und der Vorgeschichte des Bauwerks notwendig. Im Rahmen dieser Untersuchungen wird sicherlich überprüft werden, weshalb die früheren Belastungen der Schussrinne offensichtlich nicht zu vergleichbaren Schäden geführt hatten.

Ohne das Versagen der Betonkonstruktion der Schussrinne wäre das Problem des Notüberfalls nicht in diesem Ausmaß offensichtlich geworden. Zweifel an der Zuverlässigkeit und Sicherheit des Notüberfalls waren bereits bekannt und Gegenstand intensiver Diskussionen zwischen lokalen Interessenvertretern und dem Betreiber der Talsperre [4]. Das Ereignis im Februar 2017 hat gezeigt, dass die Bedenken von der Stabilität des Notüberlaufs in hohem Maße berechtigt waren.

Aus der Sicht Außenstehender sind die Schäden an beiden Entlastungseinrichtungen der Talsperre Oroville ein gravierendes Sicherheitsproblem, welches bei einer sorgfältigen Planung und Überwachung einer Talsperre in dieser Form nicht auftreten darf. Für eine eingehendere Bewertung der wirklichen Gefährdungslage bedarf es allerdings noch weiterer Informati-

onen vor allem über die Relation der im Februar tatsächlich aufgetretenen Hochwassersituation zum für die Sicherheit der Stauanlage maßgebenden Bemessungsereignis. Üblicherweise werden in den USA die Hochwasserzuflüsse für die HWE-Bemessung von Talsperren als Prozentsatz (50 bis 100 %) vom PMF (Probable Maximum Flood) festgelegt. Über die Größenordnung des Hochwasserereignisses bezogen auf PMF oder auf seine Überschreitungswahrscheinlichkeit (bzw. auch Jährlichkeit) liegen noch keine Informationen vor. Es kann aber sicherlich davon ausgegangen werden, dass ergänzend zu den Sofortmaßnahmen nun auch das Konzept der Hochwassersicherheit des Oroville-Staudammes überprüft, ggf. neu aufgestellt und dann zeitnah umgesetzt wird. Ebenso werden die Folgen des enormen Materialeintrags in den Feather-Fluss aus den verschiedenen Schadensbereichen im Hinblick auf die Hochwassersituation im Unterwasser zu bewerten sein.

Kann es ähnliche Probleme auch an unseren deutschen Talsperren geben?

Die Ereignisse an der Talsperre Oroville zeigen erneut, dass extremen Hochwasserzuflüssen bei der Sicherheitsbewertung und -ausstattung von Talsperren ganz besondere Beachtung zu schenken ist. Auch die Hochwasser 2002, 2010 und 2013 in Deutschland haben uns dies deutlich vor Augen geführt. Schadensfälle infolge extremer Hochwasserzu- und -abflüsse können wir an unseren deutschen Talsperren natürlich nicht vollkommen ausschließen. Wie bei jeder technischen Anlage, ist auch mit dem Bestand von Talsperren ein – wenn auch äußerst geringes – Versagensrisiko verbunden. Naturgemäß dauert es oft viele Jahre oder auch mehrere Jahrzehnte, bis HWE ihre erste Bewährungsprobe zu bestehen haben. Überraschungen sind hier nicht vollständig auszuschließen. Es gilt daher, der Planung dieser so wichtigen Betriebseinrichtungen umfassend und mit großer Sorgfalt Rechnung zu tragen. An unseren Universitäten und Hochschulen lehren und lernen wir, dass HWE aus drei Teilen

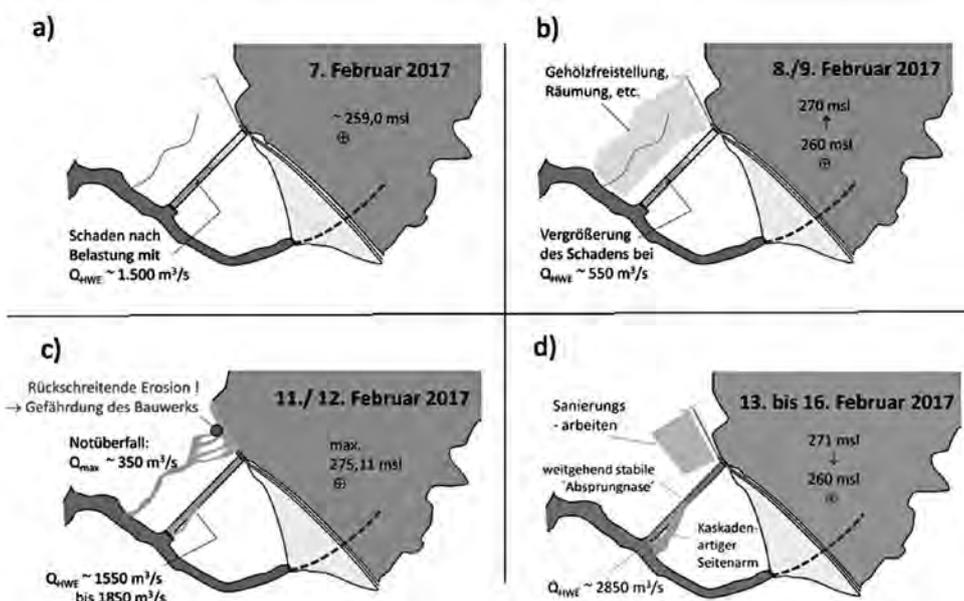


Bild 3: Oroville-Staudamm: Situation Anfang Februar 2017 (stark vereinfachende Darstellung) (Quelle: Aufleger)



Bild 4: Oroville-Staudamm am 15.02.2017: HWE in Betrieb, Notüberfall links oben (Quelle: Planetpix/Alamy/mauritus images)

bestehen: Dem Einlaufbauwerk, dem Transportbauwerk und der Energieumwandlungsanlage. Alle drei Einheiten müssen zuverlässig funktionieren. Nur so ist die HWE funktionstüchtig und die Anlage sicher.

Nach unserem technischen Regelwerk in Deutschland sind die große Talsperren für Hochwasserereignisse zu bemessen, die theoretisch im statistischen Mittel alle 10 000 Jahre auftreten können. Dabei müssen Hochwasser mit einem Wiederkehrintervall von 1 000 Jahren über die dafür vorgesehenen Entlastungs- und Betriebseinrichtungen schadlos abgeleitet werden können. Bei noch selteneren bzw. größeren Ereignissen sind allerdings Schäden an Bauwerken oder Bauteilen hinnehmbar, weil kaum vollständig vermeidbar. Sie dürfen aber die Tragfähigkeit des Absperrbauwerkes nicht gefährden und insoweit nicht zu einem Freisetzen des gestauten Wasserkörpers führen. Darüber hinaus wird in den maßgeblichen Teilen 10 und 11 der DIN 19 700 [9], [10] gefordert, dass zum Nachweis der Sicherheit der Talsperren gegen unkontrolliertes Überströmen auch Betrachtungen anzustellen sind für den Fall, dass das Bemessungshochwasserereignis überschritten wird. Die verbleibenden Risiken sind zu bewerten und ihnen ist auf geeignete Weise zu begegnen. Hierfür kommt dann zum Beispiel auch die Anordnung von Notentlastungsanlagen in Betracht, aber auch die Erstellung von Notfallplänen sollte dazugehören.

Im Zusammenhang mit dem Hinweis auf die notwendige Bewertung der verbleibenden Risiken wird hier auf den eben erschienenen gemeinsamen Themenband T1/2017 von DWA, DTK und DGGT [11] hingewiesen, der sich mit den sensiblen wie komplexen Themen „Stauanlagenversagen und Versagensfolgen“ befasst. Ausgehend von den für die Stauanlagensicherheit relevanten Regelungen in [9] und [10] wird gezeigt, was passiert, wenn die Grenzen der für die Anlagensicherheit zugrunde gelegten Bemessungsannahmen überschritten werden. Bemessungsreserven werden aufgezehrt und, wenn die Reserven aufgebraucht sind, kann es zum Anlagenversagen mit unkontrolliertem Wasserausfluss kommen. Mögliche Bruchmodelle und Flutwellenberechnungen werden vorgestellt. Hinweise auf vorsorgliche Notfallplanungen runden das Thema ab.

Im Themenband [11] werden auch die regelmäßigen Überprüfungen hervorgehoben, die zur Sicherheit unserer Talsper-

ren beitragen. Im Zuge sogenannter Vertiefter Überprüfungen müssen alle für die Anlagensicherheit relevanten Zusammenhänge im Detail kontrolliert werden. Die Funktionsfähigkeit und der Zustand der HWE sind hierbei von herausragender Bedeutung. Insofern können wir durchaus zuversichtlich sein, dass grundsätzliche Schwächen im Konzept (z. B. schwere konzeptionelle Mängel beim Transportweg), aber auch mögliche bauliche Mängel (z. B. durch Alterung oder Änderungen im Untergrund) rechtzeitig erkannt werden können. Für Talsperren, die nicht den aktuellen technischen Regeln entsprechen, gilt ein gesetzliches Anpassungsgebot. Eine grundsätzliche Gefährdung durch ein hohes Alter unserer Stauanlagen, welche in manchen Pressereaktionen auf das Oroville-Problem als voraussehbar kolportiert wurde, ist bei einer konsequenten Umsetzung des hiesigen Sicherheitskonzeptes jedenfalls nicht gegeben.

Nichtsdestotrotz gilt es in den Bemühungen um eine kontinuierliche Gewährleistung der Anlagensicherheit nicht nachzulassen – trotz knapper Personalressourcen und auch unter dem Eindruck eines zunehmenden wirtschaftlichen Druckes, wie er derzeit insbesondere in der Energiewirtschaft deutlich zu spüren ist. Die Sicherheit der Anlagen muss Priorität besitzen!

Autoren

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Markus Aufleger

Universität Innsbruck
Institut für Infrastruktur, Arbeitsbereich Wasserbau
Technikerstrasse 13
6020 Innsbruck, Österreich
markus.aufleger@uibk.ac.at

Dr.-Ing. Hans-Ulrich Sieber

Deutsches Talsperrenkomitee e. V.
Niedersedlitzer Platz 13
01259 Dresden
praesident@talsperrenkomitee.de

Literatur

- [1] Department of Water Resources, State of California (Hrsg.): Oroville Facilities (www.water.ca.gov/swp/facilities/Oroville/LakeDam.cfm; Aufruf: 17.02.2017).
- [2] United States Department of Commerce. U. S. National Bureau of Standards (Hrsg.): Hydraulic Research in the United States. 1966.
- [3] Goguel, B.: Résumé de la crise d'Oroville. Persönliche Kommunikation, 13./14.02.2017.
- [4] https://en.wikipedia.org/wiki/2017_Oroville_Dam_crisis (Zugriff am 17.2.2016).
- [5] Department of Water Resources, State of California (Hrsg.): Exhibit A – Project description – Oroville Facilities- FERC Project No. 2100. January 2005.
- [6] Department of Water Resources, State of California (Hrsg.) (<http://cdec.water.ca.gov>; Aufruf: 19.02.2017).
- [7] Bressan, D. Some Geological Observations On The Oroville Dam. (www.forbes.com/sites/davidbressan/2017/02/14/some-geological-observations-on-the-oroville-dam; Aufruf: 19.02.2017).
- [8] State of California (Hrsg.): News for immediate release. (www.water.ca.gov/news/newsreleases; Aufruf: 19.02.2017).
- [9] Norm DIN 19 700 2004-07: Stauanlagen, Teil 10 Gemeinsame Festlegungen. Berlin: Beuth Verlag.
- [10] Norm DIN 19 700 2004-07: Stauanlagen, Teil 11 Talsperren. Berlin: Beuth Verlag.
- [11] DWA; DTK; DGGT (Hrsg.): Stauanlagensicherheit und Folgen bei Überschreitung der Bemessungsannahmen nach DIN 19 700. In: DWA-Themen (2017), Heft T1.