

Risiko

Manuskripteingang: 13.7.2005
Angenommen am: 10.10.2005

Antje Bornschein

Gefahrenkarten – ein Instrument zur Risikoabschätzung infolge eines hypothetischen Talsperrenbruches

1 Einführung

Obwohl Talsperren in der Regel sehr sichere Bauwerke sind, kam es in der Vergangenheit weltweit immer wieder zu ihrer Zerstörung bzw. zum Bruch von Absperrbauwerken, die verheerende Flutkatastrophen auslösten. So wurden 1943 am Ende des Zweiten Weltkrieges in Deutschland drei Talsperren bombardiert und zwei davon teilweise zerstört. Allein die Flutwelle der Möhnetalsperre hatte 1 200 Tote zur Folge [5].

Weitere Gründe für derartige Katastrophen sind eine ungenügende Bemessung des Absperrbauwerkes oder der Betriebsrichtungen bzw. Mängel in der Planung, Bauausführung und Bewirtschaftung. Wahrscheinlich aufgrund von Baumängeln brach zum Beispiel am 4. Juni 2002 der Seisundamm in Syrien. 22 Tote waren zu beklagen und 3 800 Menschen wurden obdachlos, als eine 3 m hohe Flutwelle die unterliegenden Gemeinden überflutete [8]. Die Bevölkerung war weder gewarnt noch evakuiert worden.

Nach dem Bau und dem Probestau einer Talsperre garantiert die Überwachung der Staumauern und Dämme, dass Abweichungen vom Normverhalten rasch entdeckt werden. Tritt trotzdem eine Situation ein, die zur Zerstörung der Talsperre führen könnte (worst case), müssen schnell große Gebiete evakuiert, Betriebsanlagen in den Überflutungsgebieten stillgelegt und weitere Maßnahmen zur Wasserabwehr getroffen werden.

In verschiedenen Ländern werden deshalb Katastrophenpläne mit potenziellen Überflutungsflächen für den hypothetischen

Bruch von Absperrbauwerken erstellt und Warnsysteme installiert. In der Schweiz existieren zum Beispiel in den Nahzonen von 62 Talsperren mit einem Speicherinhalt von mehr als 2 Mio. m³ Wasseralarmsysteme, mit deren Hilfe die Bevölkerung derjenigen Gebiete gewarnt werden kann, die nach einem hypothetischen Bruch der Stauanlage innerhalb von zwei Stunden überflutet würden [1].

In Deutschland existieren keine bzw. keine einheitlichen Vorgaben hinsichtlich der Einrichtung von Alarmsystemen bzw. der Bereitstellung von Gefahrenkarten und Evakuierungsplänen. Im Freistaat Sachsen fordert das Sächsische Gesetz über den Brandschutz, Rettungsdienst und Katastrophenschutz in § 57, dass „Eigentümer und Besitzer von ... Einrichtungen und Anlagen mit besonderem Gefahrenpotenzial sowie deren Betreiber“ verpflichtet sind, „der zuständigen Brandschutz-, Rettungsdienst- und Katastrophenschutzbehörde auf Verlangen geeignete Angaben zur Beurteilung der Auswirkung einer Gefahrenpotenzialfreisetzung einschließlich der Abgrenzung des Gefährdungsbereiches“ zu machen [9].

2 Gefahrenkarten

Eine Möglichkeit zur Abgrenzung des durch den Bruch einer Talsperre gefährdeten Bereiches sind Gefahrenkarten bzw. Überflutungskarten, da der übergeordnete Schadensprozess bei einer Talsperrenbruchwelle die Überflutung ist. Sie geben in Abhängigkeit des zugrunde liegenden Bruch-

Das Versagen einer Talsperre mit einer sich anschließenden Entleerung des Stauraumes ist sehr selten. Jedoch zogen solche Ereignisse in der Vergangenheit immer große Schäden nach sich, so dass trotz der geringen Eintrittswahrscheinlichkeit das Risiko als hoch einzuschätzen ist.

Der Beitrag behandelt die Erstellung von Gefahrenkarten, die Auskunft darüber geben, wie groß die zu erwartende Überflutung infolge eines Bruches eines Absperrbauwerkes sein könnte. Dabei soll auf die zu ermittelnden Ausgangsdaten ebenso wie auf die zur Verfügung stehende Software zur Simulation der Ausbreitung von Talsperrenbruchwellen eingegangen werden.

Als Fallbeispiel wird auf einen Dammbbruch während des Hochwassers 2002 im Einzugsgebiet der Müglitz im Erzgebirge eingegangen.

Dam failures and the following emptying of the reservoir are very seldom. But such catastrophes caused significant damages in the past. The related risk has to consider as high despite the high return period.

The paper describes the development of hazard maps showing the dimension of inundation in the downstream region of the dam due to a potential failure. The needed data and possible used software for the dam break flood simulation were discussed.

A dam break occurred in the catchment area of the Müglitz river in the Ore mountains during the flood 2002 is described.

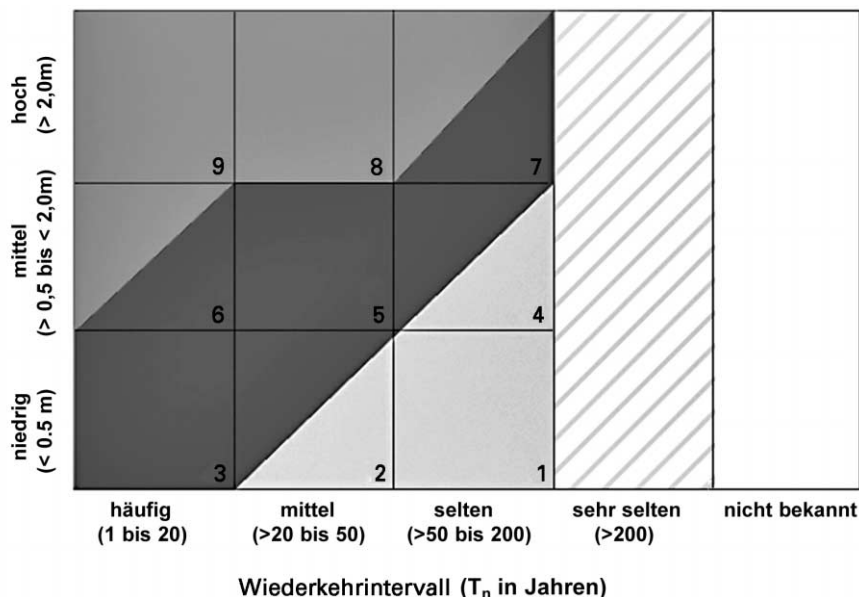


Bild 1. Gefahrenstufendiagramm für die Gefahrenart Überschwemmung

szenarios darüber Auskunft, wann und an welchem Ort die Flutwelle infolge des Talsperrenbruches eintreffen würde und welche maximalen Überflutungshöhen voraussichtlich zu erwarten wären.

Eine einheitliche Gestaltungsvorschrift für solche Karten in Deutschland wurde noch nicht erarbeitet. Eine Orientierung könnte die Darstellung der Überflutungsintensität sein, wie sie bei der Erarbeitung der Hochwasserschutzkonzepte für die vom Hochwasser 2002 in Sachsen betroffenen Flüsse zur Anwendung kam [11] und die auf Erfahrungen in der Schweiz zurückgeht (vgl. Bild 1).

Jedoch können die Überflutungshöhen, wie sie nach einem Talsperrenbruch auftreten, sehr viel größer sein als bei einem Hochwasser infolge eines Starkniederschlagsereignisses. Darüber hinaus werden bei der Ermittlung der Überflutungsflächen infolge Talsperrenbruch vielfach größere Geländemodelle verwendet, so dass zum Beispiel die Intensität „niedrig“, die einem Wasserstand < 0,5 m über Gelände entspricht, im Bereich der Ungenauigkeiten des Geländemodells liegt. Im Mittelgebirgsbereich müsste dem überwiegenden Teil der Überflutungsfläche die Intensität „hoch“ zugeordnet werden. Eine weitere Differenzierung der Überflutungshöhe in der Gefahrenkarte erscheint jedoch

auch im Hinblick auf die Erarbeitung von Evakuierungsplänen sinnvoll, so dass hier eine andere Abgrenzung der darzustellenden Bereiche für die Überflutungshöhen empfohlen werden soll (vgl. Tabelle 1).

3 Methoden zur Ermittlung der Flutwellenausbreitung

Grundlage für die Erstellung der Gefahrenkarten sind heute numerische Simulationen zur Ausbreitung der Flutwelle entlang des unterhalb der Talsperre gelegenen Tales. Die hier zusammenfassend dargestellten Erfahrungen basieren auf den seit 1998 am Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik der Technischen Universität Dresden durchgeführten Flutwellenberechnungen von Talsperren [6].

Flutwellen infolge Talsperrenbruch stellen für das unterhalb liegende Tal eine außerordentliche hydraulische Belastung dar, die in ihrer Auswirkung meist die von Extremhochwassern überschreitet. Die Überflutung großer Gebiete, die Mobilisierung großer Mengen von Geschiebe, Holz und anderem Treibgut, die zu einer Verschärfung der Abflussverhältnisse führen, müssen in diesem Falle berücksichtigt werden.

Überflutungstiefe in m	Erläuterung	Farbliche Markierung
0 bis 0,5	Bereich einer Restgefährdung (Ungenauigkeiten des Geländemodells)	
0,5 bis 3	erstes Geschoss überflutet	
3 bis 6	zweites Geschoss überflutet	
6 bis 15	Gebäudehöhe von Fabriken u.ä.	
> 15	Bebauung komplett überflutet	

Tabelle 1
Neuer Vorschlag zur Differenzierung der darzustellenden Überschwemmungsbereiche für einen hypothetischen Talsperrenbruch anhand der Überflutungstiefe

Die heutigen numerischen Algorithmen und die zur Verfügung stehende Hardware gestatten neben einer relativ detaillierten Nachbildung der Talgeometrie auch die Berechnung instationärer Abflüsse mit großen zeitlichen Gradienten bei Abfluss und Wasserstand. Neben Eigenentwicklungen verschiedener Universitäten (z. B. FLOODSIM der TU München) stehen auch zahlreiche kommerzielle Programme (z. B. BOSS DAMBRK, DHI/MIKE 11) zur Verfügung.

Bei Flutwellenberechnungen ist die Wahl zwischen ein- und zweidimensionalen Programmen möglich. Dabei ist anzumerken, dass der sehr viel größere Aufwand bei einer zweidimensionalen Simulation bei nicht ausreichender Datengrundlage nicht zu einem besseren Ergebnis führen muss und nur bei einer flächenhaften Ausbreitung zum Beispiel in besiedelten Gebieten mit verzweigten und parallelen Ausbreitungswegen sinnvoll erscheint. Bei den vorwiegend engen Tälern deutscher Mittelgebirge unterhalb der meisten Talsperren bietet sich eine eindimensionale Betrachtung der Flutwellenausbreitung an.

Für die eigentliche Erstellung der Überflutungskarten und Evakuierungspläne ist es in verschiedenen Ländern vorgeschrieben, Sicherheitsfaktoren zu berücksichtigen. So wird zum Beispiel in Frankreich die berechnete maximale Flutwellenhöhe für die Darstellung um 15 % erhöht und die Ankunftszeit um 15 % reduziert [7]. Weitere Vorgaben können den Bruchvorgang des Absperrbauwerkes betreffen, der für bestehende Talsperren schwer vorhersagbar ist. In der Schweiz wird generell von einem vollständigen und plötzlichen Bruch des Absperrbauwerkes ausgegangen [10]. Auch in Frankreich geht man von einem plötzlichen Versagen aus.

Während bei Mauern und Steinschüttdämmen die Annahme eines plötzlichen Bruches gerechtfertigt erscheint, kann dies für einen Erddamm vielfach als unrealistisch angesehen werden. Der vollständige Bruch des Absperrbauwerkes gilt sicher für Bogenstaumauern. Bekanntestes Beispiel ist der Bruch der Talsperre Malpasset im Jahr 1959 in Südfrankreich [4]. Bild 2 zeigt die zerstörte Talsperre, wie sie heute zu besichtigen ist. Bei den anderen Typen von Absperrbauwerken bilden sich Breschen mit kleineren Breiten als der Bauwerksbreite aus.

In Deutschland existieren keine Vorgaben für hypothetische Talsperrenbruchszzenarien.

4 Bestimmung der Ausgangsdaten für die Flutwellenberechnung

Die Vorgaben zu Breschengröße und Breschenbildungszeit beeinflusst die für den Bruch einer Talsperre berechnete Ausflussganglinie. Diese bildet die Zuflussganglinie zum Berechnungsgebiet, dem unterhalb der Talsperre liegenden Tal. Dieses wird durch zu ermittelnden Talquerschnitte oder durch ein digitales dreidimensionales Geländemodell abgebildet.

Die Rauheit der Talsohle und -hänge hat einen entscheidenden Einfluss auf die Ausbreitung der Flutwelle, auf ihre Abflachung während der Ausbreitung sowie auf den sich im Flusstal einstellenden Wasserstand bei Scheiteldurchgang. Im Gegensatz zu Abflussberechnungen in natürlichen Gerinnen, wo Kies, Sand oder niedriger Bewuchs wie Gras Rauheitselemente darstellen, wird der Abfluss von Talsperrenbruchwellen überwiegend durch Büsche, Bäume oder sogar Häuser behindert. Des Weiteren muss bei einer eindimensionalen Abflusssimulation der Energieverlust durch Talkurven im Rauheitsbeiwert gemittelt über den Ausbreitungsweg berücksichtigt werden. Eine Quantifizierung des Rauheitsbeiwertes ist daher schwierig. In der Literatur werden Rauheitsbeiwerte nach STRICKLER zwischen $15 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ (Siedlungen; steinige und tiefe Schluchten) und $30 \text{ m}^{1/3}/\text{s}$ (regelmäßige Form des Flusslaufes und niedrige Vegetation) empfohlen [7], was einer sehr großen Rauheit entspricht. Eine Kalibrierung des numerischen Modells auf das Ereignis selbst ist nicht möglich.

Breitere Seitentäler oder Talaufweitungen können bei der Ausbreitung einer Flutwelle große Wasservolumina zwischenspeichern und so den maximalen Abfluss einer Flutwelle reduzieren und sollten deshalb als Retentionsräume in die Berechnung einbezogen werden.

Befinden sich mehrere Talsperren entlang eines Flusses, wie zum Beispiel in den Mittelgebirgsregionen Deutschlands, in denen häufig Talsperren zum Hochwasserschutz und zur Trinkwasserversorgung errichtet wurden, so sind

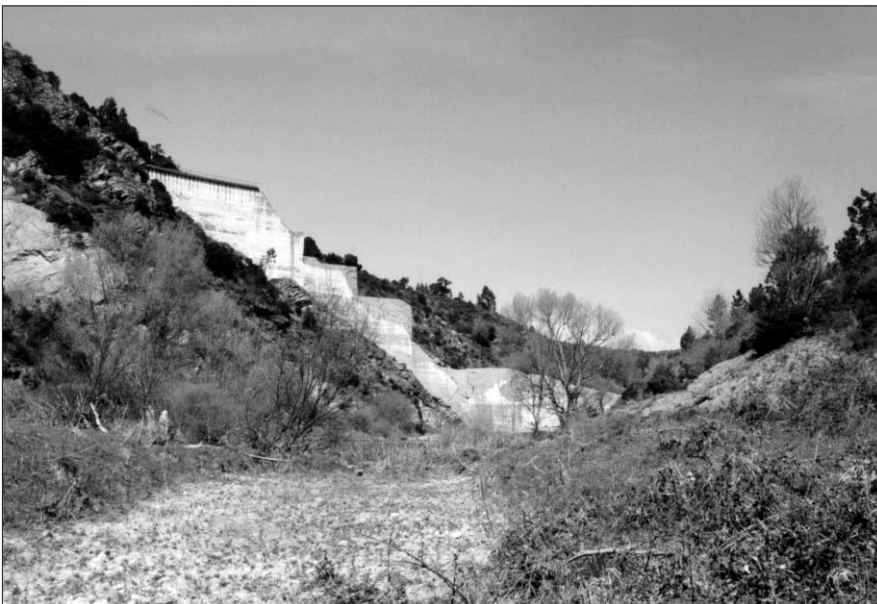


Bild 2. Ansicht der gebrochenen Bogenstaumauer Malpasset in Südfrankreich von unterstrom (Foto: Antje Bornschein)



Bild 3. Blick stromauf zur Bruchstelle des Briesnitz-Dammes im Osterzgebirge (Foto: Antje Bornschein)

gesonderte Retentionsberechnungen nötig. Bricht die oberhalb gelegene Talsperre, ergießt sich die Flutwelle in den Speicherraum der darunterliegenden. Die Bemessungsgrößen für die Talsperre und deren Betriebseinrichtungen (BHQ 1 und BHQ 2) können dabei überschritten und diese hydraulisch überlastet werden, was rechnerisch überprüft werden muss.

Die Zwischenspeicherung der Flutwelle im Speicher führt zu einer deutlichen Abminderung des maximalen Abflusses, wenn die Talsperre, in die die Flutwelle einläuft, standhält. Bei einem Bruch hintereinander liegender Sperren (Sperrenkaskade), der aus der Vergangenheit bekannt ist, kann es aber aufgrund der erhöhten Beckenwasserstände zu einem deutlich größeren maximalen Abfluss kommen.

Über das Standhalten von Sperrenbauwerken bei Überflutung liegen wenige Daten vor. Dammbauwerke halten aufgrund der Erosionserscheinungen auf der Oberfläche einer Überflutung nur kurze Zeit stand. Dagegen muss die Standsicherheit von Mauern auch dann noch nicht gefährdet sein, wenn ihre Krone einige Meter überströmt wird. Die Bogenstaumauer der Talsperre Vajont (Norditalien) brach zum Beispiel nicht, obwohl sie von einer mehr als 70 Meter hohen Flutwelle überströmt wurde, die durch einen Bergbruch hervorgerufen worden war. Auch die Gewichtstaumauer der Gibson-Talsperre in Montana (USA) hielt 1964 der mehrstündigen Überströmung ihrer Krone nach Starkniederschlägen stand [4].

5 Der Dambruch von Glashütte im Jahr 2002

Im Sommer 2002 traten aufgrund von lang anhaltenden und intensiven Regenfällen an vielen Flüssen in Sachsen außerordentliche Abflussverhältnisse ein, die in diesem Ausmaß noch nicht dokumentiert worden waren. Dabei ereignete sich am 12. August ein Dambruch oberhalb der Stadt Glashütte (Bild 3), bei dem es – bedingt durch die Überlastung der Hochwasserentlastungsanlage des Dammes – zum Überströmen und nachfolgenden Bruch des Erddammes

kam [2]. Durch ausreichende Vorwarnung der Bevölkerung befand sich kein Bewohner auf der Straße, als die Flutwelle den Ort Glashütte passierte.

Der Damm war 8,7 m hoch mit einem Einzugsgebiet von ca. 10 km². Der Inhalt des grünen Hochwasserrückhaltebeckens, das 1953 gebaut worden und in Trockenzeiten leer war, betrug ca. 50 000 m³.

Nachfolgende Berechnungen ergaben, dass bei einem Wasserstand in Kronenhöhe des Dammes zusammen ca. 13 m³/s durch einen Stollen und über die Hochwasserentlastungsanlagen fließen konnten. Es kann jedoch nicht ausgeschlossen werden, dass der Querschnitt des Stollens während des Hochwasserereignisses zugesetzt war und weniger Wasser durch ihn geflossen ist als berechnet. [3]

Der maximale Abfluss der Hochwasserwelle, die das Rückhaltebecken erreichte, wurde im Nachhinein auf 26 m³/s ermittelt. Damit war eine Überströmung des Dammes unausweichlich.

Die Berechnungen zur Talsperrenbruchwelle ergaben einen Abflussscheitel infolge des Bruches von ca. 100 m³/s (Bild 4). Dieser Scheitelabfluss passierte entlang der Briesnitz die Stadt Glashütte und erreichte dann die Müglitz, noch bevor sich in dieser der maximale Abfluss infolge des Niederschlagsereignisses einstellte.

Durch die numerische Simulation konnte in diesem Fall nachgewiesen werden, dass nicht der Talsperrenbruch, sondern das extreme Hochwasser infolge des langanhaltenden Niederschlages für die großen Zerstörungen im Müglitztal verantwortlich war. Die Auswirkungen des Bruches blieben aufgrund des relativ kleinen Beckens also lokal begrenzt.

6 Zusammenfassung

Muss im Fall eines Talsperrenbruches die unterhalb des Absperrbauwerkes wohnende Bevölkerung gewarnt und evakuiert werden, so sind Angaben zur potenziellen Ankunftszeit der Flutwelle und den möglichen maximalen Wasserständen und Fließgeschwindigkeiten notwendig.

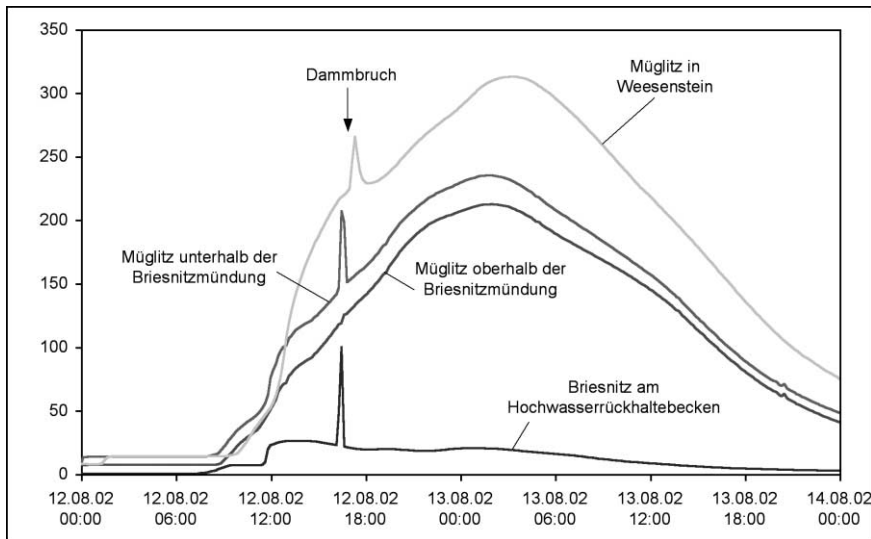


Bild 4. Berechnete Abflussganglinien in der Briesnitz und der Müglitz für den Dambruch des Briesnitz-Dammes während des Augusthochwassers 2002

Diese Informationen zur Abgrenzung des Gefährdungsbereiches können zum Beispiel in Form von Gefahrenkarten dokumentiert werden.

Die Berechnung des tatsächlichen Ausbreitungsverhaltens einer hypothetischen Flutwelle, wofür Simulationsprogramme zur Verfügung stehen, ist die Grundlage für eine wirklichkeitsnahe Ausweisung von Überflutungsgebieten und damit einer möglichst realitätsnahen Einschätzung des Risikopotenzials von Talsperren.

Darüber hinaus bleibt es eine anspruchsvolle Aufgabe, die Ausgangswerte für die Berechnung einer Talsperrenbruchwelle zu bestimmen und die Wellenausbreitung zu berechnen, insbesondere da die in diesem Beitrag erläuterten Randbedingungen einen großen Einfluss auf die numerische Lösung und deren Ergebnisse haben. Durch zielgerichtete Sensitivitätsanalysen kann das Risiko noch zuverlässiger eingegrenzt werden.

Literatur

- [1] aquaterra 2 (2004)
- [2] Bornschein, A.; Aigner, D.; Pohl, R.: Der Dambruch von Glashütte. In: Wasserwirtschaft Wassertechnik 7 (2002), S. 6 – 11
- [3] Bornschein, A.; Pohl, R.: Dam Break during the Flood in Saxony/Germany in August 2002. In: Proceedings XXX IAHR Congress, Thessaloniki, Griechenland, Theme C, Volume II. S. 229 – 236
- [4] DSO-98-05: Concrete Dams Case Histories of Failures and Nonfailures with Back Calculations. U.S. Department of Interior, Bureau of Reclamation, Dam Safety Office, 1998
- [5] Kirscher, O.: Zerstörung und Schutz von Talsperren und Dämmen. In: Schweizerische Bauzeitung 20 (1949), S. 277 – 281 und 21 (1949), S. 300 – 303
- [6] Martin, H. et al.: Flutwellenberechnungen für den hypothetischen Bruch von Talsperren. TU Dresden, Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik, unveröffentlichte Berichte
- [7] Molinaro, P.: Dam-Break Wave Analysis – A State of the Art. In: Computer Methods in Water Resources II. Vol. 2, Computational Hydraulics and Hydrology. Berlin: Springer, 1991. S. 77 – 87
- [8] <http://www.spiegel.de/panorama/0,1518,199838,00.html> vom 07.06.2002
- [9] Sächsisches Gesetz über den Brandschutz, Rettungsdienst und Katastrophenschutz (SächsBRKG) vom 24. Juni 2004
- [10] Vischer, D.: Water Alarm Organization in Zurich. 14. ICOLD Congress, Rio de Janeiro 1982, Q.52 (R. 59). S. 993 – 1000
- [11] Erstellung von Hochwasserschutzkonzepten von Fließgewässern – Empfehlungen für die Ermittlung des Gefährdungs- und Schadenspotenzials bei Hochwasserereignissen sowie für die Festlegung von Schutzzielen. Landestalsperrenverwaltung des Freistaates Sachsen, März 2003



Bornschein, Antje
Dr.-Ing.

Studium Wasserwirtschaft von 1990 bis 1996 an der TU Dresden ♦ 2006 Promotion zur Dr.-Ing. ♦ seit 1996 wissenschaftliche Mitarbeiterin am Institut für Wasserbau und Technische Hydromechanik, Fakultät Bauingenieurwesen der TU Dresden