

Sonder vber auß schrecklichen vnd grossen Wasserfluth / welche sich in diesem 1651 Jahr mit allem im Röm. Reich / sonder auch zu Mörßend am Rhein begeben / deren bey Menschen gedachten nicht geschehen. Wie jämmerlich vnd erbarmlich aber diese Wasserfluth gewesen / wird der Günstige Leser



Abb. 1 :  
Titelseite eines  
Flugblattes zur  
Hochwasser-  
katastrophe  
1651 in Moers  
am Niederrhein

## „Nach dem Hochwasser ist vor dem Hochwasser“

A. Schumann

**Hochwasser wird es immer geben. Dass sie nicht zu Katastrophen werden, wie hier im Jahre 1651 in Moers, ist Ziel eines Risikomanagements - jetzt verbessert durch die Datenanalyse des Elbehochwassers 2002. Noch größer als an der Elbe sei das Gefährdungspotenzial im deichgeschützten Überflutungsgebiet des Niederrheins, warnen die Experten. In den durch Bergbau abgesenkten Gebieten muss bei einem Deichversagen sogar mit Überflutungshöhen bis zu fünfzehn Metern gerechnet werden.**

Mit den Hochwassern an Rhein, Oder und zuletzt im Einzugsgebiet der Elbe im August 2002 ist das Risiko von Hochwasserkatastrophen wieder in den Blickpunkt gerückt. Doch was ist eine Katastrophe? "Ein schweres Unglück; ein Naturereignis mit verheerender Wirkung" ist im Brockhaus nachzulesen. Demzufolge muss ein Hochwasser "an sich" noch keine Katastrophe sein, solange Schäden für die Menschen ausblei-

ben. So werden die Medien von einem extremen Hochwasser im unbewohnten Amazonasgebiet kaum Notiz nehmen, aber ausgiebig berichten, wenn es in einem Dortmunder Wohnviertel nach einem Sommergewitter zu einer Überschwemmung kommt. Dabei sind die Schäden - als Indikatoren von Hochwasserkatastrophen - meist "hausgemacht", wenn sich Menschen mit ihren wirtschaftlichen Aktivitäten an Gewässern ansiedeln.

Prof. Dr. Andreas Schumann,  
Hydrologie, Wasserwirtschaft und  
Umwelttechnik, Fakultät für Bauin-  
genieurwesen

Doch selbst wenn Flächen entsiegelt, Fließgewässer umgestaltet werden und verstärkt Klimaschutz betrieben wird, lassen sich Katastrophenhochwasser nicht völlig ausschließen. Hochwasser sind extreme Naturereignisse, ausgelöst durch ungewöhnlich starke Niederschläge. Das Elbehochwasser hat eindrucksvoll gezeigt, wie stark Gesellschaft, Politik und Wirtschaft trotz zunehmender Technisierung mit den Naturprozessen vernetzt und von diesen abhängig bleiben.

Einem Hochwasser geht immer ein meteorologisches Extremereignis voraus, doch sein Verlauf hängt von vielen Faktoren ab. So können Niederschläge sog. Sturzfluten verursachen oder zu Flussüberschwemmungen führen. Sturzfluten sind das Ergebnis kurzzeitiger, räumlich eng begrenzter extrem intensiver Niederschläge, die sich meist infolge lokaler Erwärmungen von Luftmassen ergeben. Die erwärmte Luft

steigt auf, dehnt sich aus und es kommt zur sog. adiabatischen Abkühlung und damit zu Niederschlägen (Sommergewitter). Die Folge sind kurze und lokal begrenzte Hochwasser, die durch heftige Niederschläge mit einem besonders schnellen und starken Abfluss, d.h. steilen Hochwasserwellen verbunden sind (s. Info 1). Sturzfluten können überall auftreten, doch ihre Häufigkeit wird durch das Landschaftsrelief mit seinen Luv- und Leeeffekten auf die Niederschläge beeinflusst.

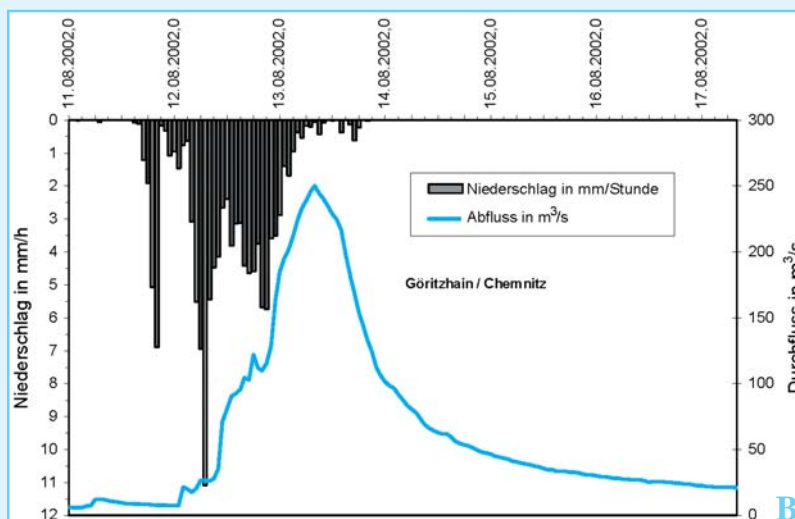
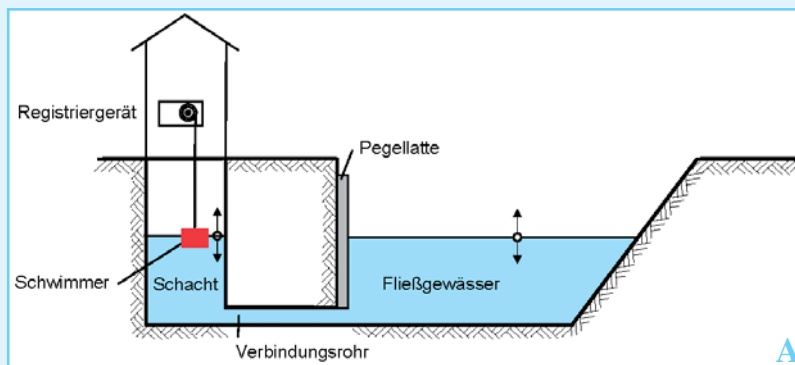
## Extreme Sommerniederschläge besonders gefährlich

Dagegen dauern Flussüberschwemmungen meist länger an und dehnen sich auch überregional aus. In unseren Breiten werden sie durch Tiefdruckgebiete bedingt. Bei deren raschem Durchziehen kommt es immer wieder zu Niederschlägen, die sich zu

großen Niederschlagshöhen aufsummieren. Bei langsam vordringenden Tiefdruck-Fronten fällt dagegen andauernder Niederschlag von geringer Intensität. Diese großräumigen Hochwasserereignisse entstehen in mehreren Phasen: Regen oder Schneeschmelze feuchten den Boden zunächst auf, wodurch die Bodenspeicherkapazität sinkt. Anhaltende Niederschläge, im Frühjahr oftmals verbunden mit Schneeschmelze, verstärken den Abfluss. Entsteht ein Hochwasser großräumig, dann überlagern sich die Abflusswellen aus den Nebenflüssen im Hauptfluss.

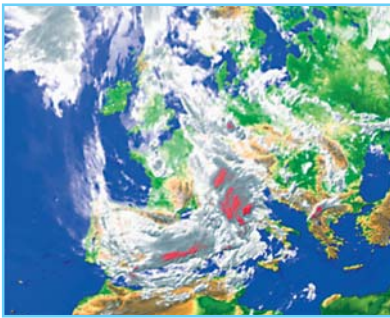
Neben der zeitlichen und räumlichen Verteilung der Niederschläge eines meteorologischen Extremereignisses beeinflussen auch die Gegebenheiten des jeweiligen Einzugsgebietes wie Bodenart und Gewässernetz die Entstehung und den Verlauf eines Hochwassers. So hängt die Abflussmenge sowohl vom Niederschlag als auch vom Wasserspeichervermögen des

## info

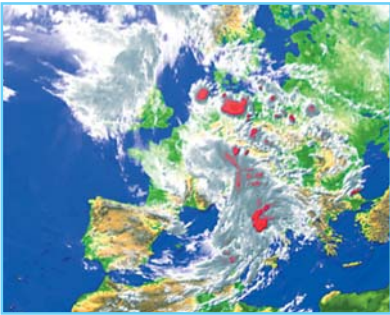


## „Fachlatein“: Pegel, Hochwasserwelle und Scheitelabfluss

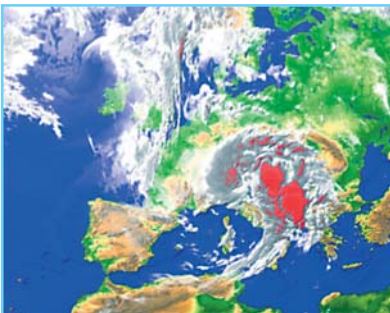
An Abflussmessstellen (Pegeln) wird der Wasserstand kontinuierlich aufgezeichnet (s. Info, S. 40 u. 41). Ein Pegel funktioniert nach dem Prinzip der kommunizierenden Röhren (s. Abb. A). Der Wasserstand im mit dem Fluss verbundenen Pegelschacht steigt und fällt wie im Fluss. Im Pegelschacht kann der Wasserstand aber problemlos über einen Schwimmkörper, der mit einem Schreibgerät verbunden ist, registriert werden. Bei einem Hochwasser nimmt der Abfluss (Volumen Wasser in m³, abgeleitet vom Wasserstand) an einem Gewässerquerschnitt pro Zeiteinheit (s) zu und geht nach Erreichen eines Höchstwertes (Scheitelabfluss) wieder zurück. Den zeitlichen Abflussverlauf einer Hochwasserwelle veranschaulichen Messdaten des Augusthochwassers 2002 am Pegel Göritzhain des Flusses Chemnitz (s. Abb. B). In diesem Einzugsgebiet bleibt die erste Niederschlagspitze nahezu wirkungslos (Auffeuchtung des Gebietes), der zweiten Spitze folgt ein rascher Anstieg des Abflusses und die dritte Spitze bedingt den eigentlichen Scheitel der Hochwasserwelle.



A



B



C



D



E

Abb. 2: Die "Vb-Wetterlage" verspricht nichts Gutes in Sachen Hochwasserrisiko.

Bodens ab, das wiederum von Bodenart und Bodenmächtigkeit bestimmt wird. Die obere Bodenzone kann 100 bis 300 mm Niederschlag speichern. Bei extremen Hochwasserereignissen ist die Speicherkapazität jedoch wesentlich geringer und bei vorhergehendem Regen oder bei Schneeschmelze schnell erschöpft. Das Gewässernetz bestimmt mit seinen Eigenschaften wie der Flussbettgeometrie, dem Gefälle und dem Reibungswiderstand des Gewässerbettes (Rauheit) den Verlauf der Hochwasserwelle. Je nach Zugrichtung des Niederschlagsfeldes überlagern sich die Hochwasserwellen aus verschiedenen Teilgebieten.

schers Tiefdruckgebiete kann besonders für Süd- und Ostdeutschland verheerende Folgen haben. Die Vb - Zugbahn verläuft vom Nordatlantik über Südfrankreich nach Norditalien. Über dem Mittelmeer werden warme und sehr feuchte Luftmassen aufgenommen (s. Abb. 2, A). Von der Adria schwenken diese Tiefdruckgebiete nordwärts und ziehen dann am Oststrand der Alpen über Oberitalien, Oberösterreich, Süd- oder Ostdeutschland bzw. Tschechien nach Norden (Abb. 2, B, C, D, E). Eine solche Wetterlage entsteht durch einen massiven Kaltlufteinbruch über Westeuropa. Warme und feuchte Meeresluft des aus Oberitalien nach

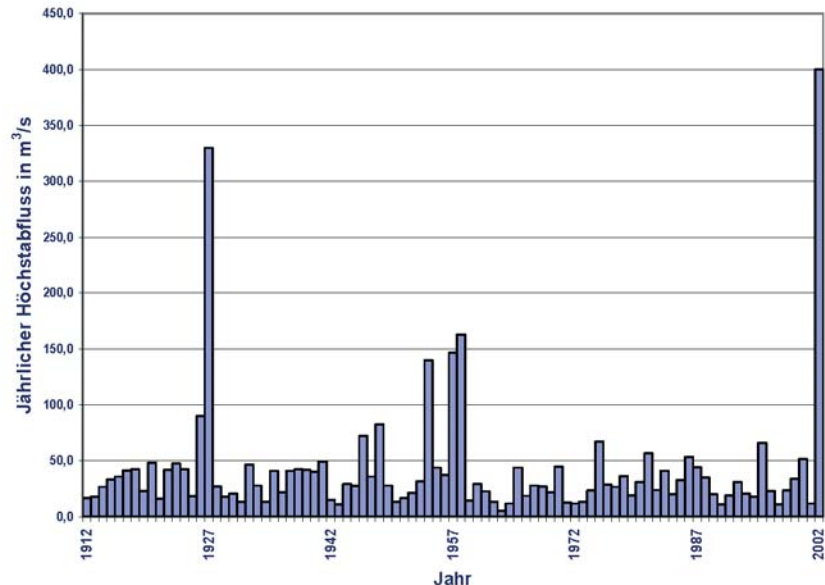


Abb. 3: Hochwasserauftreten im Einzugsgebiet der Müglitz, Osterzgebirge, von 1912 bis 2002

Aufgrund der jahreszeitlichen Niederschlagsverteilung treten in den großen Flussgebieten Deutschlands Hochwasser meist im Winterhalbjahr auf. Zudem führt die geringere Verdunstung in dieser Jahreszeit zu einer höheren Anfangsfeuchte zu Niederschlagsbeginn.

In einigen Regionen kommen extreme Hochwasser selten vor. Wenn sie aber auftreten, dann im Sommer und mit gravierenden Folgen wie etwa die Oderflut 1997 oder das Elbehochwasser 2002. In beiden Fällen spielte die sog. Vb ("fünf-B")-Wetterlage eine entscheidende Rolle. Diese von dem niederländischen Meteorologen van Bebbber (1841 - 1909) analysierte Zugbahn atlanti-

Norden vordringenden Tiefdruckgebietes stößt auf Kaltluft und wird zum Aufgleiten gezwungen. Im Grenzbereich der Luftmassen kommt es zu ausgedehnten, langanhaltenden, starken Niederschlägen, die 1897, 1927, 1957, 1958 und 2002 im Osterzgebirge zu großen Hochwasserereignissen führten (s. Abb. 3).

Die Hochwasser-Häufigkeit kann mithilfe der mathematischen Statistik bewertet werden. Mit diesen Verfahren schätzen wir das Risiko von Hochwasserkatastrophen für be-

## info

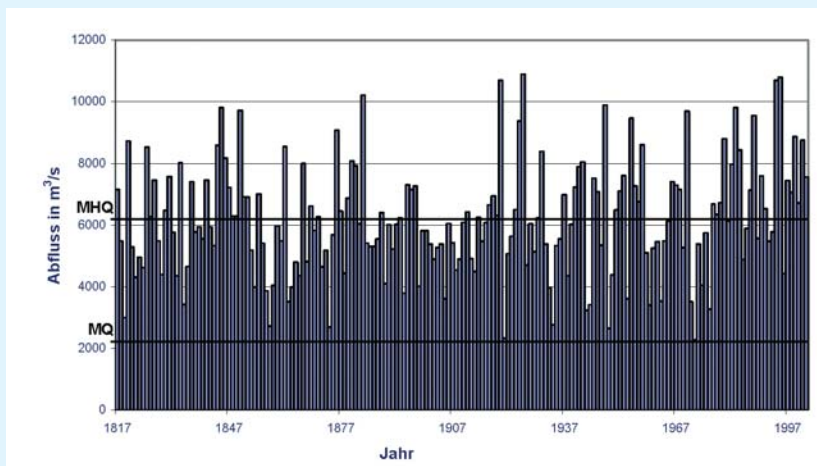
### Rechnerisch das Risiko einschätzen: „Alle Hundert Jahre wieder?“

Ausgangspunkt der statistischen Risikoabschätzung ist die kontinuierliche Aufzeichnung des Wasserstands an Abflussmessstellen, den Pegeln (s. Info, S. 37). Der dort in Metern bzw. Zentimetern aufgezeichnete Wasserstand wird in einen Abflusswert (m<sup>3</sup>/s) umgerechnet. Aus den Messwerten wird der jeweils höchste Jahresabfluss ausgewählt. Diese so entstehende Reihe der Jahreshöchstwerte wird für den Beobachtungszeitraum statistisch ausgewertet. In unserem Beispiel betrachten wir den Abfluss des Rheins von 1817 bis 2002 am Pegel Köln (Abb. unten). Zunächst werden die empirischen Häufigkeiten ermittelt, indem eine Rangfolge der Hochwasser beginnend mit dem größten Ereignis gebildet wird (Abb. rechts oben: erste Spalte). Im Beispiel erhält der höchste Abflusswert (1926: 10 900 m<sup>3</sup>/s) die

Rangzahl 1. Die relative Häufigkeit ist der Quotient aus der Rangzahl (1) und der Reihenlänge von 186 Jahreshöchstwerten des Beobachtungszeitraums, wobei diese Reihe aus statistischen Gründen um den Wert 1 auf 187 erhöht wird. Der zweitgrößte Wert hat die Rangzahl 2 und die Häufigkeit 2/187, d.h. in diesem Fall wird der Abflusswert von 10 800 m<sup>3</sup>/s mit einer Wahrscheinlichkeit von etwa 1 Prozent (0,0107) erreicht oder überschritten. Da sich diese Analyse auf die in der Reihe erfassten 186 Jahreshöchstwerte beschränkt, lassen sich damit seltene Hochwasser nicht charakterisieren. Erst indem wir mithilfe statistischer Kenngrößen wie dem Mittelwert der Reihe und der Streuung der Werte eine analytische Funktion (statistische Verteilungsfunktion) an diese Häufigkeiten anpassen, können wir auch die Wahrscheinlichkeit

sehr großer, bisher noch nicht aufgetretener Hochwasser schätzen (s. Abb. rechts unten). Voraussetzung ist jedoch, dass die Beobachtungsreihe das Hochwassergeschehen hinreichend repräsentiert. Zur Charakterisierung dieser Wahrscheinlichkeiten verwenden wir das Wiederkehrintervall T. Das Wiederkehrintervall eines Hochwassers gibt die durchschnittliche Anzahl der Jahre an, in denen der höchste Scheitelabfluss einmal überschritten wird. Zwischen Wiederkehrintervall und der Überschreitungswahrscheinlichkeit (P<sub>u</sub>(x), P<sub>u</sub>(x), x=Zeit) besteht bei Verwendung des höchsten Abflusswertes (Scheitelabfluss) pro Jahr folgende Beziehung:

$$T = \frac{1}{P_u(x)} = \frac{1}{1 - P_u(x)} \text{ bzw. } P_u(x) = 1 - P_u(x) = 1 - \frac{1}{T} = \frac{T-1}{T}$$



Höchste Tageswerte des Rhein-Abflusses bei Köln in den Jahren 1817 bis 2002. Gezeichnet sind der Mittelwert aller bisher beobachteten Abflusswert (MQ) sowie der Mittelwert aller bisher beobachteten Jahreshöchstabflüsse (MHQ) über die Jahre.

So ist die Wahrscheinlichkeit, dass ein Hochwasser mit dem Wiederkehrintervall von 100 Jahren in einem beliebigen Jahr x der Beobachtungsreihe erreicht oder überschritten wird 1 Prozent (0,01), die Wahrscheinlichkeit der Unterschreitung (P<sub>u</sub>) 99 Prozent (0,99). Ein derartiges Hochwasser tritt im statistischen Mittel einmal in hundert Jahren auf, es tritt aber weder im Abstand von 100 Jahren auf noch muss es in einer Beobachtungsreihe von 100 Jahren überhaupt vorkommen. Die mithilfe des Wiederkehrintervalls aus-

stimmte Regionen und Zeiträume ein (s. Info, oben). Die statistische Risikoabschätzung erlaubt uns, die Wahrscheinlichkeit großer Hochwasser auch über den Beobachtungszeitraum hinaus zu beurteilen. Dabei ergeben sich einige Probleme aus der Verwendung von Beobachtungswerten zurückliegender Zeiträume: So können sich die Hochwasserhältnisse über den Beobachtungszeitraum hinweg verändern, etwa durch Landnutzung, Speicherbauten oder Flussbau. Beobachtungsreihen von nur 30 bis 100 Jahren erlauben es zudem nicht, statistische

Verteilungsfunktionen in Bereiche sehr kleiner Überschreitungswahrscheinlichkeit zu extrapolieren. Je kürzer der Beobachtungszeitraum, umso unsicherer ist die statistische Aussage. Zudem enthält eine Stichprobe oft verschiedene Hochwassertypen (Sturzflut, Flussüberschwemmung, Winter- oder Sommerhochwasser), die in der Häufigkeit ihres Auftretens variieren. Schließlich beeinflussen auch Klimaschwankungen in den einzelnen Zeitabschnitten das Auftreten von Hochwassern. Die Überschwemmungen in Dresden im August 2002 zeigen die Vielfalt

der Naturprozesse, die bereits bei einem einzigen Hochwasserereignis ablaufen können: Bedingt durch eine Vb-Wetterlage fielen in den ersten dreizehn August-Tagen extreme Niederschläge über weiten Teilen Österreichs, der Tschechischen Republik, der Slowakei und Ostdeutschlands. In diesem Zeitraum erreichten die Niederschlagshöhen im Einzugsgebiet der oberen Elbe mehr als das Dreifache, an einigen Orten das Vierfache der durchschnittlichen Niederschlagsmengen des Monats August. Die sich am Erzgebirge stauenden Wolken verstärkten zusätzlich die

gedrückte Wahrscheinlichkeit eines Hochwassers bezieht sich stets auf ein Jahr. Betrachtet man nun einen Zeitraum von mehreren Jahren, so muss eine andere Form des Risikos, das sog. stochastische Risiko, berücksichtigt werden. Es ergibt sich aus der zufälligen Verteilung der Zeitintervalle zwischen den Hochwasserereignissen bzw. der Anzahl von Hochwasserereignissen innerhalb eines betrachteten Zeitraumes. Wenn z.B. 1994 und 1995 zwei fast gleichgroße Hochwasser auftraten, die Wiederkehrintervalle um die 90 Jahre aufweisen, so ist dies eine Folge dieses Risikos. Es beschreibt die Wahrscheinlichkeit, dass in einem betrachteten Zeitraum von mehreren Jahren ein Ereignis mit einer vorgegebenen jährlichen Eintrittswahrscheinlichkeit auftritt. Dieses stochastische Risiko kann in Abhängigkeit vom Wiederkehrintervall eines Hochwasserereignisses und dem betrachteten Zeitraum näherungsweise durch die Poisson-Verteilung beschrieben werden. Für ein Hochwasser mit dem Wiederkehrintervall von  $T=100$  Jahren ergibt sich für einen betrachteten Zeitraum von 25 Jahren ein Risiko von 22 Prozent ( $R=0,22$ ), dass der Scheitelabfluss mindestens einmal in diesen 25 Jahren überschritten wird. Damit ist das Risiko bei einem längeren Betrachtungszeitraum relativ groß, obwohl das Wiederkehrintervall  $T=100$  mit nur einem Prozent Überschreitungswahrscheinlichkeit für ein betrachtetes Jahr ein geringes Hochwasserrisiko suggeriert. Maßgebend ist der betrachtete Zeitraum. Das ist vergleichbar dem Roulette: Setzt man am Spieltisch immer wieder auf die gleiche Zahl, wird man irgendwann gewinnen, im hier betrachteten "Hochwasserfall" allerdings verlieren.

Jahr	Jahreshöchstabflüsse nach der Größe geordnet	Rangzahl m der Jahreshöchstabflüsse	Relative Häufigkeit Rangzahl/187	Berechneter Hochwasserabfluss
1926	10900	1	0.0053	11389
1995	10800	2	0.0107	10842
1920	10700	3	0.0160	10492
1994	10700	4	0.0214	10229
1883	10220	5	0.0267	10016
1948	9890	6	0.0321	9837
1845	9800	7	0.0374	9680
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
.	.	.	.	.
1921	2330	185	0.9893	2545
1972	2270	186	0.9947	2241

Abb. oben: Aus der angepassten Verteilungsfunktion berechneter Hochwasserabfluss mit einer der relativen Häufigkeit entsprechenden Überschreitungswahrscheinlichkeit.

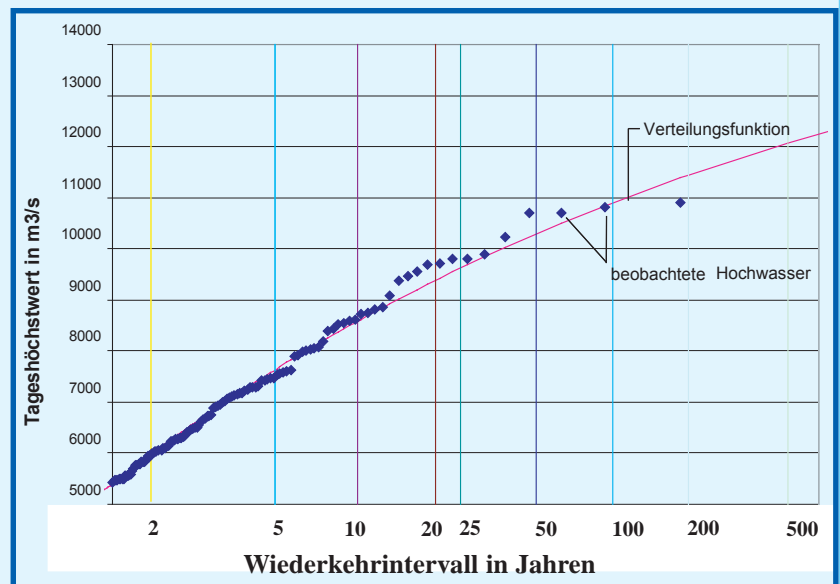


Abb. C: Die Verteilungsfunktion der jährlichen Abflusshöchstwerte bei Köln beschreibt - angepasst an die empirischen Häufigkeiten - die Beziehung zwischen der Hochwasserwahrscheinlichkeit (x- Achse) und dem Hochwasserabfluss (y-Achse).

Niederschläge (Luveffekt). Mit 312 Litern je  $m^2$  (312 mm), gemessen innerhalb von 24 Stunden an der Station Zinnwald-Georgenfeld im Osterzgebirge, wurde der bis dahin in Deutschland höchste beobachtete Tagesniederschlag von 260 mm (Zeithain bei Riesa, 1906) deutlich übertroffen. Diese extremen Niederschläge lösten dann zwei unterschiedliche Hochwasserentwicklungen aus: In den Tälern des Erzgebirges liefen extrem steile Hochwasserwellen ab, wobei die Scheitelwerte in der Nacht vom 12. zum 13. August und in den frühen Morgen-

stunden des 13. Augusts auftraten. Ein Hochwasser dieses Typs aus der Weisseritz überflutete am 13.08.2002 den Dresdner Hauptbahnhof. Dagegen lief in der Elbe eine langanhaltende Hochwasserwelle ab, die ihren Ursprung in der Moldau hatte und in ihrem weiteren Verlauf durch den Zufluss aus der Mulde und dem Havelgebiet verstärkt wurde. Diese Flutwelle trat am 16.08.2002 über die Ufer der Elbe und überflutete den Dresdener Zwinger und die Semperoper. Noch im Juni 2002 wurde auf einer Tagung der Landesgruppe Sachsen-

Thüringen des Deutschen Wasserwirtschaftsverbandes (ATV-DVWK) die Hochwassergefährdung durch die Elbe wie folgt charakterisiert: „Das Ereignis vom September 1890 war das bisher letzte Hochwasser der Elbe mit einem Wasserstand größer als acht Meter am Pegel Dresden. In der ersten Hälfte des 20. Jahrhunderts überschritten fünf Hochwasserereignisse die Sieben-Meter-Marke. In den letzten 50 Jahren des zweiten Jahrtausends wurden die  $6 \frac{3}{4}$  Meter am Pegel Dresden nicht mehr erreicht. Befinden wir uns in der Elbe zurzeit in einer Periode geringen

Hochwassers oder wirken sich die seit 1958 in der Tschechischen Republik gebauten großen Stauanlagen insbesondere in Moldau und Eger auf das Hochwassergeschehen aus?“ Am 17.08.2002 beantwortete die Natur diese Frage - die Elbe erreichte am Pegel Dresden den Höchststand von 9,40 m.

Im Osterzgebirge treten etwa alle dreißig Jahre extreme Hochwasser auf, was auch die Beobachtungswerte im Einzugsgebiet der Müglitz mit den Höchstwerten in den Jahren 1897, 1927 und 1957 bestätigen (s. Abb. 3 u. Abb. 4). Im Einzugsgebiet der Gottleuba wurden nach dem Hochwasser von 1957 Hochwasserrückhaltebecken gebaut, die sich während des Augusthochwassers 2002 bewährt haben. In der Müglitz war genau eine Woche vor dem extremen Hochwasser am 5.08.2002 der Grundstein für ein schon über Jahrzehnte geplantes Hochwasserrückhaltebecken gelegt worden. Nach den Erfahrungen der Hochwasserkatastrophe wurde der Speicherraum nun wesentlich vergrößert.

## Schwachstellen der statistischen Risiko-Abschätzung

Doch solche Schutzmaßnahmen blieben bis zum Augusthochwasser 2002 Einzelbeispiele - warum wurde langfristig keine weiträumige Vorsorge gegen extreme Hochwasser getroffen? Hatte die statistische Risiko-Abschätzung versagt? Da in vielen Einzugsgebieten des östlichen Erzgebirges ein Hochwasser dieser Größenordnung bis zum Jahr 2001 nicht gemessen wurde, konnte es auch nicht in die statistische Verteilungsfunktion einfließen. Die Beobachtungswerte bis 2001 ergaben daher für die Scheitelabflüsse 2002 eine äußerst geringe Überschreitungswahrscheinlichkeit zwischen 0,01 und 0,001 Prozent. Dieses unterschätzte Risiko ist auch auf ein weiteres statistisches Problem zurückzuführen. Hochwassermarken an Gebäuden, die auf vergangene Hoch-



Abb. 4: Bilder, die sich gleichen: Die Müglitztalbahn nach dem Augusthochwasser 2002 (oben) und nach dem Hochwasser 1927 (unten).



wasserstände hinweisen, zeigen zum Beispiel für die Mulde die meisten Extremhochwasser im Sommer an (Abb. 5). Generell treten Hochwasser in diesem Gebiet aber häufiger im Winter auf. In das "normale" Hochwassergeschehen im Winterhalbjahr ist hier ein anderes Regime extremer Sommerhochwasser eingebettet. Diese Hochwasser tauchen in Beobachtungszeiträumen von etwa 50 Jahren aber selten auf und wirken sich demzufolge kaum auf die statistische

Analyse aus. Für das Flussgebiet der Müglitz heben sich in der Reihe der Jahreshöchstabflüsse die Jahre 1927 und 2002 mit extremen Sommerhochwassern deutlich von den anderen Ereignissen ab (s. Abb. 3). Das Augusthochwasser im Elbegebiet verursachte Schäden in Höhe von 9 Milliarden Euro. Insgesamt wurden 164 km<sup>2</sup> Fläche überflutet und 400 000 Personen waren von der Katastrophe betroffen. Die volkswirtschaftliche Dimension dieses Hoch-

wassers zeigte sich nicht zuletzt in der Verschiebung der Steuerreform um ein Jahr.

Dabei kann sich eine extreme Hochwasserkatastrophe jederzeit wiederholen, besteht doch in anderen Regi-

onen Deutschlands ein größeres Gefährdungspotenzial als an der Elbe. So leben im deichgeschützten Überflutungsgebiet des Niederrheins etwa 1,26 Millionen Menschen (s. Abb. 6). Im Falle eines Deichversagens würde

der Lebensraum von 560 000 Menschen bis zu einer Wassertiefe von über 2m überflutet werden. Allein die baulichen Schäden dieser Katastrophe schätzt die "Internationale Kommission zum Schutz des Rheins" auf 20 Milliarden Euro.

## Bergbau senkt Überflutungsgebiete ab und erhöht das Risiko

Hinzu kommt, dass durch den Bergbau in dieser Region ein Teil des Überflutungsgebietes abgesenkt wurde. Hier liegt das Umland bis zu 12 Meter tiefer als die Rheindeiche. Diese Höhendifferenz wird durch weitere Bergsenkungen zunehmen, wenn in Zukunft auch unter dem Rhein Kohle abgebaut wird. Ein Deichversagen könnte dann in besiedelten Gebieten zu Überflutungshöhen bis zu 15 m führen. Wenn auch die Rheindeiche weitaus stärker ausgebaut sind als die Deiche an der Elbe - sie wurden für ein 500-jähriges, d.h. für ein relativ seltenes und somit besonders großes Hochwasser bemessen - trägt das Risiko der einmaligen Überschreitung innerhalb von 100 Jahren immer noch 18 Prozent.

Auch die Erhöhung des Deiches um sog. Freiborde, die eingedeichte Flussstrecken noch über das Bemessungshochwasser hinaus schützen, muss keine zusätzliche Sicherheit bieten. Ein Deich kann bereits bei niedrigem Hochwasser versagen, wenn er z.B. durch Wühltierbefall, fehlende Instandhaltung oder unge-

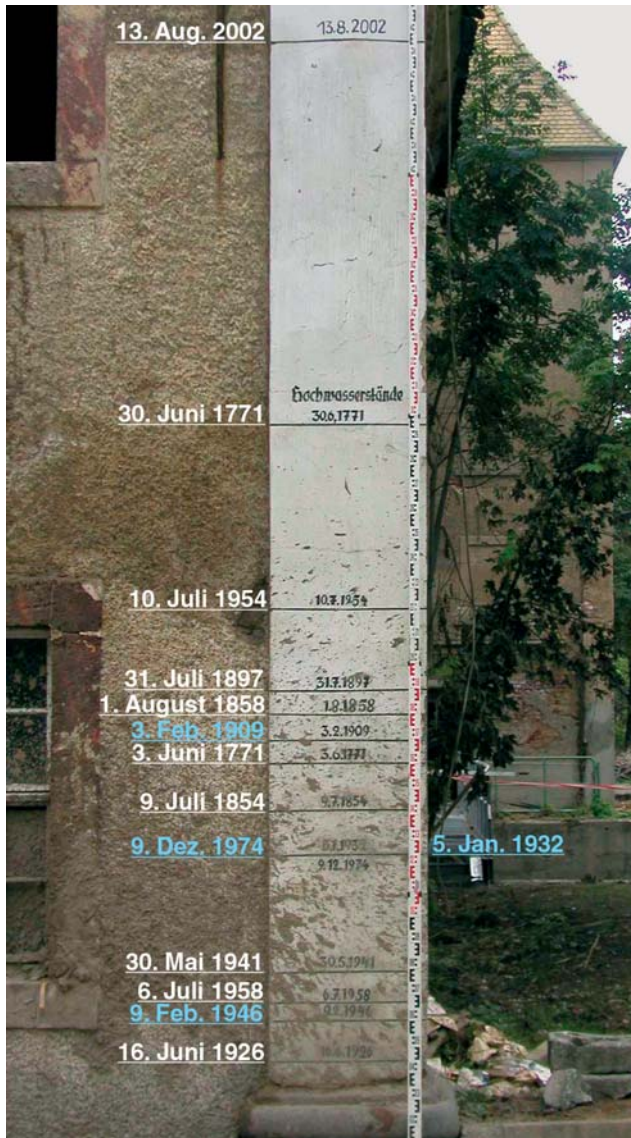


Abb. 5: Hochwassermarken an der Mulde bei der Alten Mühle in Grimma: Seit 1771 erreichte kein Hochwasser den Stand vom August 2002. Es gehört zu den relativ seltenen aber besonders gefährlichen Sommerhochwassern.



Abb. 6: Das Hochwasserrisiko in Nordrhein-Westfalen ist mit einem hohen Schadenspotenzial verbunden, wie hier am Rheindeich bei Duisburg.

eignetes Deichbaumaterial nur eine geringere Belastbarkeit aufweist. Die Erfahrungen des Elbehochwassers mit ihrer neuen Schadens-Dimension zwingen zum Umdenken im Hochwasserschutz. Statt auf ein allgemein vorgegebenes Hochwasserschutzziel - wie etwa ein Hochwasser mit einem Wiederkehrintervall von 100 Jahren - sollte die Hochwasservorsorge auf der Grundlage der Risiko- und Folgenabschätzung so ausgerichtet sein, dass auch bei einem Versagen von Schutzeinrichtungen die absolute Katastrophe vermieden wird. Ein derartiges Hochwasserrisikomanagement setzt voraus, dass wir die Verletzbarkeit der Gesellschaft durch Hochwasser und die Unsicherheiten in der Gefährdungsbeurteilung von Hochwassern akzeptieren.

## Hochwasserrisiko-Management vorantreiben

Da ein absoluter Hochwasser-Schutz aus wirtschaftlichen Gründen nicht möglich ist, ergeben sich besondere Anforderungen an die Vorsorge gegenüber Hochwasserkatastrophen (s. Abb.7). Sie wird im Rahmen eines Hochwasserkatastrophenmanagements betrieben und umfasst sieben

Sektoren: Flächenvorsorge (Freihaltung der Überschwemmungsgebiete), Bauvorsorge (angepasste Bauweisen in hochwassergefährdeten Gebieten), Risikovorsorge (finanzielle Vorsorge, z.B. durch Versicherungen), Verhaltensvorsorge (Aufklärung über Risiken und Schutzmöglichkeiten), Informationsvorsorge (Sicherung von Informationswegen für Alarmierung und Warnung), Erhöhung des natürlichen Rückhaltes (Aufforstung, bebauungsfreie Flussauen), Technischer Hochwasserschutz (Talsperren, Deiche, Polder). Unsere Forschungsaktivitäten richten sich insbesondere auf den Technischen Hochwasserschutz, zu dem die Planung des Hochwasserrückhalts gehört.

Je genauer eine Hochwasserwelle vorhergesagt werden kann, umso besser lassen sich Speicher wie Talsperren, Hochwasserrückhaltebecken oder Polder steuern. Diese technischen Anlagen sollen möglichst den schadenverursachenden Teil eines Hochwassers beeinflussen, indem der Abfluss auf ein vorzugebendes Maß beschränkt wird. Ziel ist es, den Scheitel der Hochwasserwelle "zu kappen". Da die Form der Welle zu Beginn des Hochwassers nicht bekannt ist, bleibt zunächst auch ungewiss, ob und wie das Regelungsziel erreicht werden kann. Um dennoch

eine situationsgerechte Steuerung zu ermöglichen, errechnen wir mithilfe von mathematischen Modellen Abflussvorhersagen aus Niederschlagsvorhersagen. Das verschafft uns einen zeitlichen Vorlauf bei den Steuerungsentscheidungen.

## Modelle schaffen Vorlauf für Steuerung technischer Anlagen

Ein wichtiger Aspekt des Managements ist die Stauanlage selbst, die bei Hochwasser nicht brechen darf, sonst käme zusätzlich zu der Hochwasserkatastrophe eine menschengemachte Katastrophe hinzu. Wir bemessen technische Anlagen nach den dargestellten statistischen Analysen (s. Info S.40 u.41).

Seit dem Elbehochwasser 2002 setzen wir uns verstärkt mit den beschriebenen Aufgabenfeldern des Hochwasserkatastrophenmanagements auseinander. So haben wir für den Freistaat Sachsen unter Einbeziehung der Daten des Augusthochwassers neue statistische Analysen durchgeführt, das Hochwasser hinsichtlich seiner Ursachen und Abläufe ausgewertet und die Belastung und Steuerung der Talsperren und Hochwasserrückhaltebecken analysiert. Diese Untersuchungen bilden zugleich ideale Voraussetzungen für eine Beteiligung am aktuellen Förderprogramm "Risikomanagement extremer Hochwasser" des Bundesministeriums für Bildung und Forschung. Wir hoffen, auch auf diesem Wege die Kompetenz der Hochwasserforschung an der Ruhr-Universität verstärkt in das Risikomanagement einbringen zu können. Denn nach wie vor gilt: "Nach dem Hochwasser ist vor dem Hochwasser".

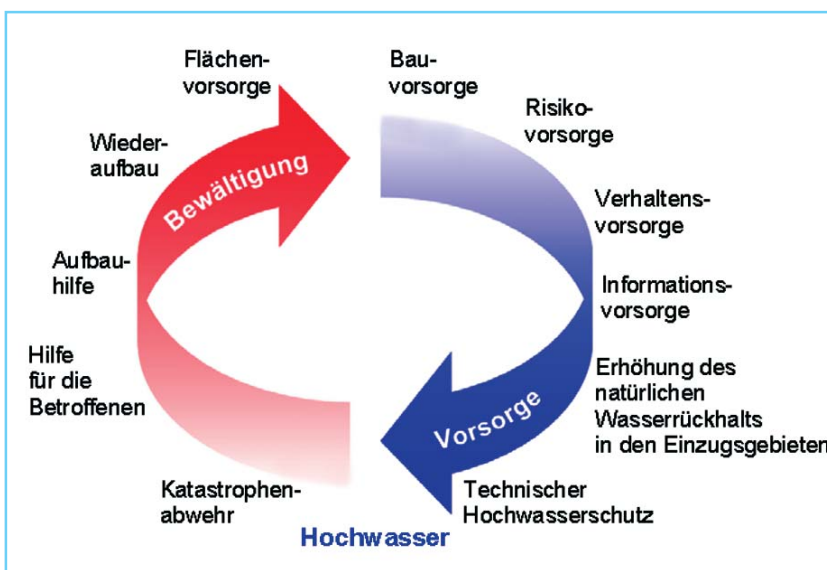


Abb. 7: Kreislauf des Hochwassermanagements (in Bildnachweis: Hochwasservorsorge in Deutschland, 2003)