

Paul DOSTAL, Freiburg i.Br., Katrin BÜRGER, Freiburg i.Br.,
Jochen SEIDEL, Freiburg i.Br., Rüdiger GLASER, Freiburg i.Br.
Helmut MAYER, Freiburg i.Br., Florian IMBERY, Freiburg i.Br.
Dirk RIEMANN, Freiburg i.Br.

Lernen aus der Vergangenheit: Historische Hochwasseranalyse – ein Beitrag für den heutigen Hoch- wasserschutz

Summary

The integration of extreme historical floods in contemporary flood protection contributes towards improved risk management and safer handling of floods in the future. As a case study within the “Xfloods” project at the University of Freiburg, the discharges of the extreme flood in 1824 in the Neckar River basin (Baden-Württemberg) were reconstructed using historical data. Quantitative and qualitative historical sources were applied to model the regional atmospheric circulation pattern, the weather conditions and the precipitation distribution associated with the event. Discharges were simulated using the water-balance model LARSIM, the operational flood forecasting model in Baden-Württemberg. The developed methodology shows potential for wider use in assessing extreme historical floods and for application to contemporary flood management.

1 Historische Hochwasserforschung

Extremhochwasser und ihre Auswirkungen im Kontext der rezenten Klimaveränderungen in Zentraleuropa haben in den letzten Jahren zunehmende Aufmerksamkeit in Europa erhalten. Die Beziehungen zwischen Hochwasserereignissen und globalen Umweltveränderungen sind eine der wichtigsten umweltwissenschaftlichen Herausforderungen im 21. Jahrhundert. Um zukünftige Hochwasserrisiken quantifizieren zu können, ist ein besseres Verständnis der klimatischen und hydrologischen Mechanismen, die während vergangener Hochwasserkatastrophen vorkamen, nötig. Daher erhalten historische Hochwasser immer größeres Interesse in der Hochwasserforschung und im angewandten Hochwasserschutz (BENITO et al. 2005; GLASER u. STANGL 2004). Die Betrachtung historischer Hochwasserkatastrophen sowie ihrer regionalen Auswirkungen im Rahmen langzeitlicher Klimavariabilität kann ein wertvolles Verständnis zu vergangenen, gegenwärtigen sowie zukünftigen Beziehungen zwischen Klima und extremen Hochwasser liefern (BARDOSSY u. FILIZ 2005).

Bei der Entwicklung von Hochwassergefahrenkarten, der statistischen Absicherung und Analyse von Wiederkehrzeiten sowie der Verbesserung und Verlängerung bestehender Messreihen müssen historische Hochwasser einbezogen werden (Abb. 1).

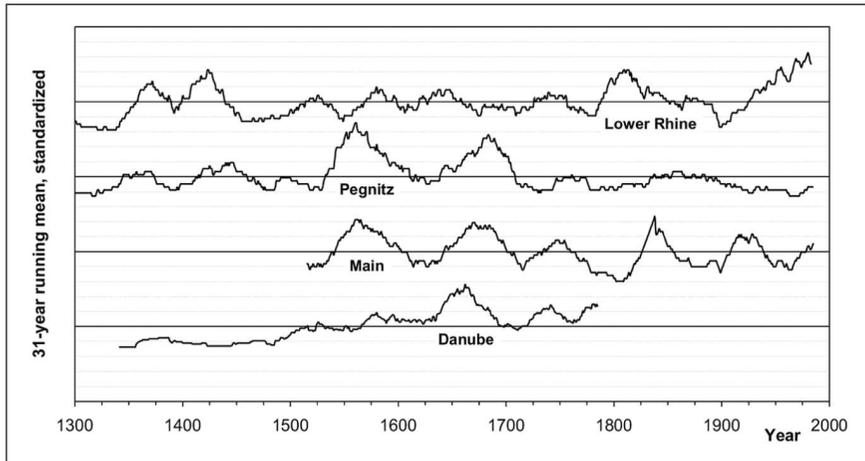


Abb. 1: Das 31-jähriges Mittel historischer Hochwasser an verschiedenen europäischen Flüssen (GLASER u. STANGL 2003)

Historische Quellen werden unter verschiedenen Aspekten zur Untersuchung extremer Hochwasser betrachtet. Einerseits werden archivarische Dokumente herangezogen, um Hochwasserzeitreihen aufzubauen. Hierzu existieren beispielsweise Untersuchungen für Deutschland an Elbe, Main, Donau, Tauber und Werra (DEUTSCH et al. 2004; GLASER u. STANGL 2003; MUDELSEE et al. 2006), an der Aar in der Schweiz (PFISTER 1999), an der Ardèche und in der Normandie in Frankreich (AGASSE 2003; LANG et al. 2002), am Ebro in Spanien (BARRIENDOS u. RODRIGO 2006; LLASAT 2005), an mehreren Flüssen in Großbritannien (JONES et al. 1984), an Tiber und Po in Italien (CAMUFFO u. ENZI 1996) sowie weitere Analysen für Gesamt Europa (BRAZDIL et al. 2002; WANNER et al. 2004; GLASER u. STANGL 2004). Für Deutschland besteht die Datenbank HISKLIID (GLASER 1998; www.hisklid.de) mit historischen Klimadaten und Informationen zu historischen Hochwassern. Es gibt zahlreiche Untersuchungen zu einzelnen Hochwasserereignissen aus der Vergangenheit mit genauen Analysen ihres Verlaufs und der Schadensbilder, so beispielsweise in Deutschland für 1342 (TETZLAFF et al. 2002), für 1799 (DEUTSCH 2000) und für 1824 (BÜRGER et al. 2006a). Neben den Hochwasserereignissen an sich werden auch witterungsklimatischen Ursachen, die Hochwasserereignisse ausgelöst haben, anhand historischer meteorologischer Beobachtungen und Messungen betrachtet sowie zirkulationsdynamische Prozesse abgeleitet (BARDOSSY et al. 2003; BÜRGER et al. 2006a; JACOBEIT et al. 2003). Ziel ist es, aus den historischen Quellen Daten zu generieren, die in heutige Niederschlagsabflussmodelle einfließen, um die Auswirkungen von realen Wetterextremen aus der

Vergangenheit auf das heutige Flusssystem simulieren zu können. Diese Vorgehensweise wird im weiteren genauer beschrieben.

Weitere Analysen befassen sich mit der Wiederkehrzeit von Hochwassern bzw. mit der Abschätzung von Hochwasserabflüssen mittels Hochwassermarken (NAULET et al. 2005). Das Methodenspektrum zur Rekonstruktion und Quantifizierung historischer Hochwasser kann durch Einsatz hydrologischer und hydraulischer Modelle wesentlich erweitert werden (LANG et al. 2003) und so fundierte Bemessungsgrundlagen für ein aktuelles Hochwasserrisikomanagement zur Verfügung stellen.

2 Das Forschungsprojekt Xfloods

Hochwassergefahren und dadurch verursachte Hochwasserschäden sollen zukünftig im Rahmen der Hochwasserschutzstrategie durch ein gezieltes Hochwassermanagement vermindert oder ganz ausgeschlossen werden. Um hierfür wissenschaftlich fundierte Methoden und Werkzeuge zu entwickeln, hat das Bundesministerium für Bildung und Forschung die Förderaktivität RIMAX „Risikomanagement extremer Hochwasserereignisse“ ins Leben gerufen (MERZ u. DIDSZUN 2005). In diesem Rahmen untersucht das Projekt Xfloods historische Extremhochwasser sowie deren auslösende klimatischen Aspekte in Südwestdeutschland (BÜRGER et al. 2006b). Der Verlauf historischer Hochwasserereignisse und ihre Witterungssituation werden anhand historischer Quellen rekonstruiert. Die hieraus resultierenden Informationen sollen in das aktuelle Hochwassermanagement Baden-Württembergs eingebaut werden.

Erste Ergebnisse des Projekts beziehen sich auf das extreme Hochwasser vom Oktober 1824, welches sich in Südwestdeutschland ereignet hat (DOSTAL et al. 2006). Es handelt sich hierbei um das bisher extremste Hochwasserereignis seit mindestens 300 Jahren im Neckareinzugsgebiet, das durch Starkniederschläge verursacht wurde. In Kooperation mit dem Regierungspräsidium Stuttgart (Referat 53.2) und der Landesanstalt für Umwelt, Messungen und Naturschutz Baden-Württemberg (LUBW) wurde dieses Extremhochwasser anhand historischer Quellen rekonstruiert und analysiert, um die Auswirkungen extremer Hochwasser besser validieren zu können. Mit den Informationen aus historischen Schriftquellen wurde der historische Witterungs- und Niederschlagsverlauf dieses katastrophalen Hochwasserereignisses rekonstruiert. Durch Integration der Niederschlagsdaten in ein Wasserhaushaltmodell konnten die Abflusswerte für dieses historische Ereignis simuliert werden.

3 Untersuchungsgebiet

Der Neckar mit einer Länge von 367 km ist der Hauptnebenfluss des Oberrheins und bildet das größte Flusseinzugsgebiet in Baden-Württemberg. Er entspringt im Schwenninger Moos auf der Baar und mündet in Mannheim in den Rhein und ist ab Plochingen schiffbar. Das Neckareinzugsgebiet mit einer Größe von ca. 14.000km² erstreckt sich über eine Höhe von 78 m NN bei Mannheim bis 1.020 m NN im Schwarzwald, mit einer Durchschnittshöhe von 435 m NN. Die Niederschläge in

dieser Region werden vor allem von der Orographie des Gebiets bestimmt. Der höchste durchschnittliche Jahresniederschlag von 2000 mm wurde im nördlichen Schwarzwald gemessen. Da am Neckar einige Industrieflächen angesiedelt sind, so beispielsweise das Betriebsgelände von Daimler Chrysler in Bad Cannstatt, stellen Hochwasser ein hohes Risikopotential dar. Die ersten Hochwassergefahrenkarten für Baden-Württemberg wurden als Pilotstudie im Rahmen des Projekt SAFER (Strategies and Actions for Flood Emergency Risk Management, www.eu-safer.de) für das Neckareinzugsgebiet erstellt.

4 Historische Quellen

Eine Möglichkeit, die Datengrundlage zu historischen Hochwassern zu verbessern, ist die Analyse dieser vergangenen Ereignisse anhand archivalischer Schriftquellen wie Wetterbeschreibungen, Chroniken, Ratsprotokollen, Zeitungsberichten sowie meteorologischen und hydrologischen Messungen. Diese Quellen enthalten qualitative und quantitative Informationen. Die qualitativen Daten ermöglichen es, den gesamten Witterungsverlauf sowie den Hergang des Hochwassers nachzuvollziehen. Die Instrumentenmessungen umfassen Parameter wie Lufttemperatur, Niederschlag, Luftdruck, Feuchtigkeit, Bedeckung, Windrichtung und Wasserstand. Mittels dieser Angaben wurde der historische Witterungs- und Niederschlagsverlauf des katastrophalen Hochwassers von Oktober 1824 rekonstruiert. Alle Informationen zu diesem historischen Hochwasserereignis können in ein verbessertes Hochwasserrisikomanagement integriert werden (Abb. 2).

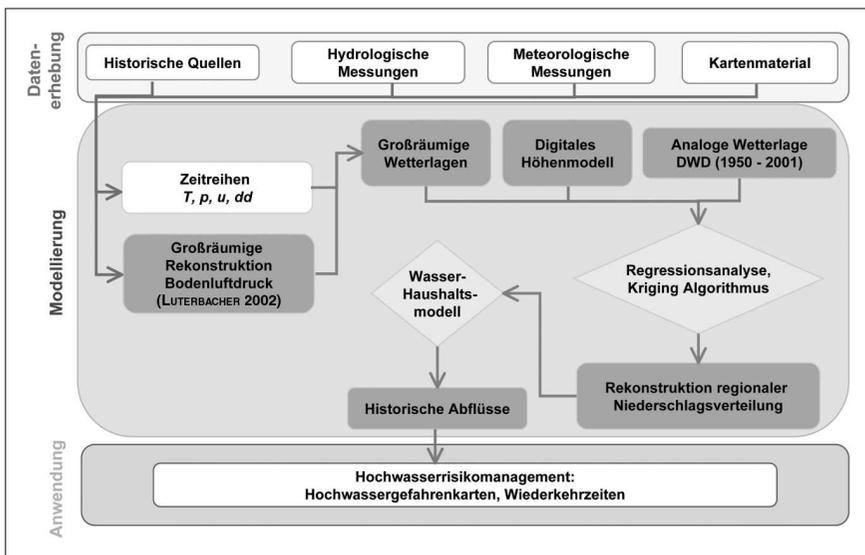


Abb. 2: Prozesskette zur Rekonstruktion historischer Hochwasser und deren Integration in ein aktuelles Hochwasserrisikomanagement

5 Rekonstruktion des atmosphärischen Zirkulationsmusters

Zur Analyse des atmosphärischen Zirkulationsmusters für das Hochwasserereignis 1824 wurde zusätzlich zu den historischen lokalen Wetterdaten eine großräumige Rekonstruktion des atmosphärischen Zirkulationsmusters für Westeuropa durchgeführt. Rekonstruierte monatliche Bodenluftdruck- und 500 hPa-Daten liegen als 1°-Raster für Mitteleuropa und den Nordatlantik ab 1659 vor (LUTERBACHER et al. 2002). Mit Hilfe dieser Daten ist eine Analyse charakteristischer Zirkulationsmuster möglich, welche unter Umständen die Entwicklung hochwasserauslösender Störungssysteme begünstigen.

Für eine genauere Analyse des Witterungsverlaufs wurden historische Luftdruckmessungen aus verschiedenen Regionen Europas hinzugezogen. Es standen Datensätze aus Armagh (Nord-Irland), Barcelona, Cadix und Madrid (Spanien), Mailand, Padua und Palermo, (Italien), Paris (Frankreich), Basel und Bern (Schweiz), Wien (Österreich), Prag (Tschechische Republik), Reykjavik (Island), Stockholm und Uppsala (Schweden) zur Verfügung. Mit Hilfe dieser Daten und den Messreihen aus dem Untersuchungsgebiet konnten für Ende Oktober 1824 europaweite tägliche Druckfelder und damit die zyklonalen Störungssysteme abgebildet werden.

6 Modellierung der Gebietsniederschläge und Abflüsse

Um die Gebietsniederschläge für das historische Hochwasserereignis vom Oktober 1824 im Neckareinzugsgebiet detailliert rekonstruieren und visualisieren zu können, wurden alle Großwetterlagen der Jahre 1934 bis 2004 mit der Wetterlage von Ende Oktober 1824 verglichen. Mit Hilfe der monatlichen Wetterberichte vom Deutschen Wetterdienst und einer Starkniederschlagsanalyse für Südwestdeutschland (DEUTSCHER WETTERDIENST 2005) wurde eine analoge Wetterlage aus heutiger Zeit herausgefiltert, für welche ein großer Input an meteorologischen Daten zur Verfügung stand. Die beste Übereinstimmung zwischen historischer und heutiger Wetterlage konnte für den Zeitraum 26.–28.10.1998 festgestellt werden. Dieses Muster korreliert in hohem Maße mit den meteorologischen Bedingungen vom 27. und 28. Oktober 1824. Der Witterungsverlauf vom Oktober 1998 verursachte ebenfalls starke Niederschläge und Hochwasser in Baden-Württemberg. Unter der Annahme, dass die räumliche Verteilung der Niederschläge von 1824 und 1998 eine hohe Ähnlichkeit aufweisen, wurde das räumliche Niederschlagsmuster für das Neckarhochwasser von 1824 modelliert.

Anhand der historischen Messreihen und der Witterungsbeschreibungen von 1824 wurde mit einem statistischen Regressionsmodell die räumliche Verteilung für das Starkniederschlagsereignis vom 28.–30.10.1824 bestimmt. Mit einer einfachen Regressionsanalyse konnte festgestellt werden, dass das Niederschlagsereignis 1824 nicht durch einen einfachen linearen Ansatz aus den Niederschlagsdaten von 1998 abzubilden ist. Daher wurde für die Interpolation der räumlichen Niederschlagsverteilung in einem geostatistischen Modell die Messdaten von 220 Niederschlagsstationen des Deutschen Wetterdienstes mit einem digitalen Höhenmodell mittels eines Kriging Algorithmus verknüpft und für nicht gemessene Punkte die Niederschlagssummen in einem 1 km-Raster modelliert. Mit den Ergebnissen für die

Gebietsniederschläge wurden die Abflüsse für das Hochwasserereignis 1824 mit dem Wasserhaushaltsmodell LARSIM (Large Area Runoff Simulation Model), dem operationellen Hochwasservorhersagemodell in Baden-Württemberg simuliert. Entsprechend dem in den historischen Quellen dokumentierten Niederschlagsverlauf wurden die 36-stündigen Niederschlagssummen in das Model eingelesen. Das Modell basiert auf der heutigen Flussmorphologie. Die für 1824 nicht vorliegenden Parameter (z.B. Bodenfeuchte, Luftfeuchte) für das Wasserhaushaltsmodell beziehen sich auf das Hochwasser von 1998, das wie vorangehend beschrieben einen ähnlichen Charakter aufweist.

7 Ergebnisse

7.1 Rekonstruierte Zirkulationsmuster

Das atmosphärische Zirkulationsmuster für den 26. bis 29. Oktober 1824 wurde als zyklonale Westlage WZ nach den Großwetterlagen von Hess&Brezowski (GERSTENGABE u. WERNER 1993) identifiziert und ist in Abbildung 3 dargestellt. Die Wetterlage, welche das Hochwasser auslöste, kann daraufhin wie folgt beschrieben werden: Hauptursache für den Witterungsverlauf mit den extremen Niederschlägen waren Tiefdruckgebiete mit Zentrum über Nordeuropa und den Britischen Inseln. Diesen stand ein Hochdruckgebiet über dem Mittelmeer entgegen. Dadurch konnte sich eine lang andauernde Frontalzone mit antizyklonaler Westlage entwickeln. Der große Gradient zwischen dem Hochdruckgebiet und dem Tiefdruckgebiet beförderte mittels kräftiger südwestlicher Höhenströmung atlantische Tiefdruckgebiete, meist als Sturmtief mit Sturm- und Orkanböen (besonders am 26.10.1824) über Deutschland hinweg. Durch diese Luftdruckkonstellation wurden feuchtwarme Luftmassen herangeführt, welche für die extremen Niederschläge verantwortlich waren. Die Sturmtiefs lösten vor allem im Nord- und Südschwarzwald ergiebige Schauer aus. Im Bereich der Luftmassengrenzen kam es dann vom 28.10.1824 bis zum 30.10.1824 verbreitet zu extremen Starkniederschlägen im südwestdeutschen Raum. Ein Beleg für diese Wetterlage ist die lang andauernde Frontalzone, die nicht nur 36 Stunden andauernde Niederschläge vom 28.10.1824 bis zum 30.10.1824 auslöste, sondern auch weitere Niederschläge ab dem 1. November brachte. Die Böden waren am 28.10 durch intensive Niederschläge, die bereits vor dem eigentlichen Starkniederschlagsereignis auftraten, gesättigt, so dass die Wassermassen direkt abfließen. Dies führte großflächig zu Hochwasser am Neckar als auch an einigen seiner Nebenflüsse.

Das hier beschriebene rekonstruierte Zirkulationsmuster stimmt gut mit anderen Untersuchungen zu hochwasserauslösenden Zirkulationen überein. JACOBET et al. (2003) haben systematisch den Zusammenhang zwischen Hochwasserereignissen in Mitteleuropa und dem jeweils rekonstruierten Witterungsverlauf für die letzten 500 Jahre analysiert. Für den südwestdeutschen Raum konnten sie ebenfalls das oben beschriebene Zirkulationsmuster als wichtigste starkniederschlagsauslösende Wetterlage detektieren.

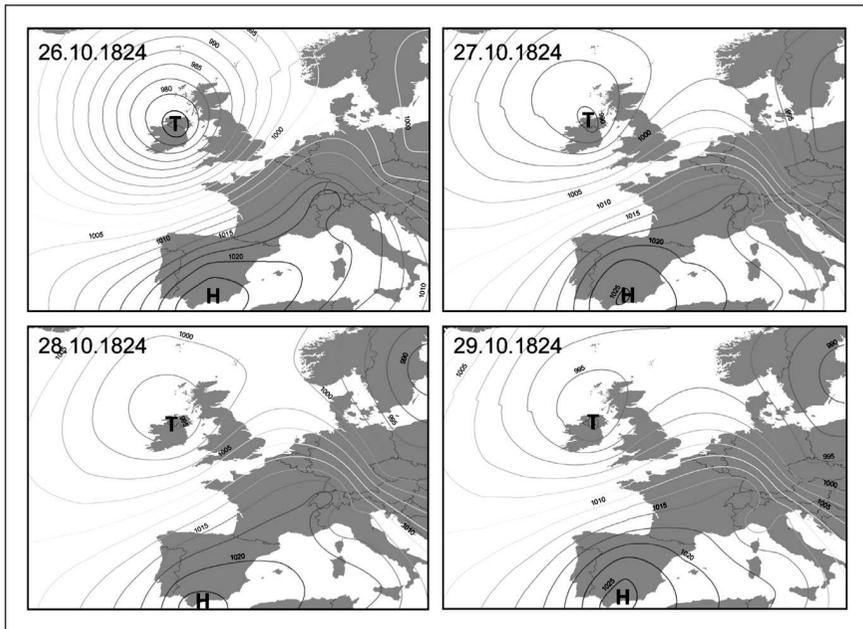


Abb. 3: Rekonstruiertes atmosphärisches Zirkulationsmuster für Westeuropa vom 26.–29.10.1824

7.2 Modellierte Gebietsniederschläge

Die quantitative Verteilung der rekonstruierten 36-stündigen Niederschlagssummen für Ende Oktober 1824 im Neckareinzugsgebiet und seinen angrenzenden Flächen ist in Abbildung 4 dargestellt. Die Isohyeten beschreiben die Niederschlagssummen in mm. Die Regionen in dunklen Grautönen stellen die Gebiete mit den höchsten Niederschlägen dar, z.B. im nördlichen Schwarzwald. Die hellgrauen Flächen hingegen bezeichnen Gebiete mit niedrigeren Niederschlagssummen wie beispielsweise im oberen Neckartal.

Die Ergebnisse der Niederschlagsverteilung und Niederschlagsintensität für Oktober 1824 lassen sich wie folgt zusammenfassen: Das Maximum der regionalen Niederschlagsverteilung liegt bei ca. 140 mm. Diese wurden, neben den mittleren Höhenlagen des Nordschwarzwaldes, vor allem in den östlichen und nördlichen Teilgebieten des Neckareinzugsgebiets sowie im östlichen Bereich der Hohenloherebene erreicht. Die höchsten Niederschlagssummen (über 200 mm/36 h) finden sich in den westlichen Kammlagen des Nordschwarzwaldes, allerdings machen diese prozentual nur einen kleinen Anteil (ca. 2%) der gesamten Niederschlagsverteilung aus. Nach Süden ist das Gebiet der hohen Niederschlagssummen entlang des Kinzigtales abgegrenzt. Der Oberlauf des Neckars war nur begrenzt von den hohen Niederschlagssummen betroffen. Dies bestätigen z.B. die Aufzeichnungen aus Tübingen; das Hochwasser nahm hier noch keine extremen Ausmaße an. Erst ab dem Zulauf der Fils entwickelte sich in der Nacht zum 30.10.1824 das Neckarhochwasser zu einem katastrophalen Ereignis.

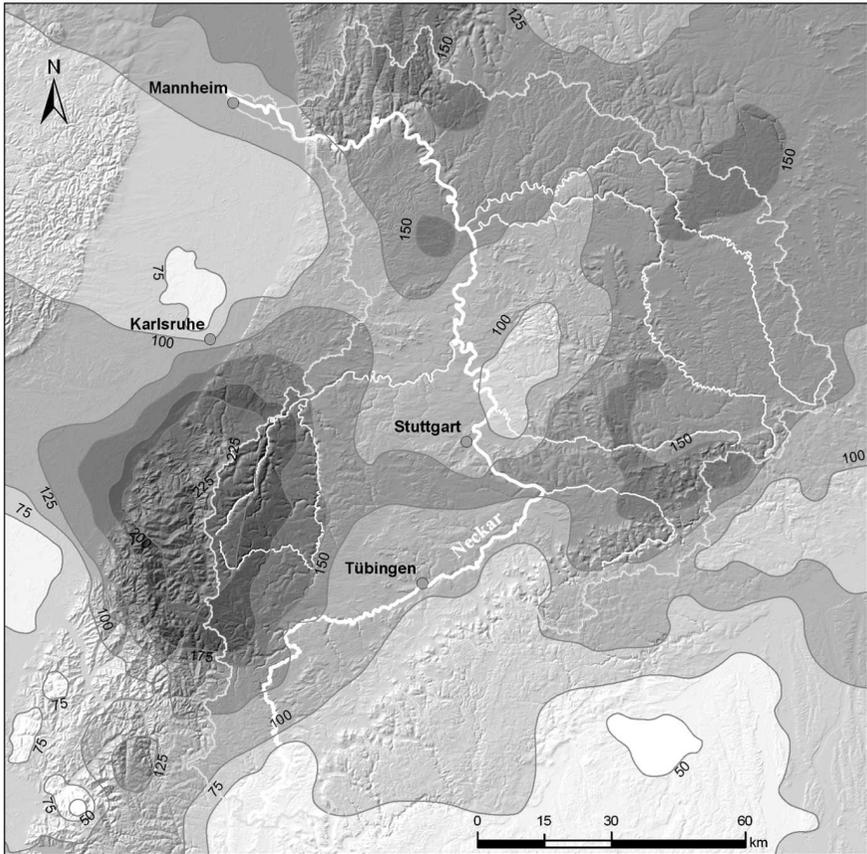


Abb. 4: Modellierter Gebietsniederschlag für den 29./30. Oktober 1824 (36h)

7.3 Simulierte Abflüsse

In der Nacht vom 29. auf den 30. Oktober 1824 erreichten der Neckar und auch die Enz ihre höchsten Wasserstände, bis zu über 10 m über dem normalen Pegel. Die simulierten Abflüsse für den Neckar und seine Nebenflüsse sind in Tabelle 1 aufgeführt und mit den Werten der Hochwasserabflüsse HQ_{100} und HQ_{extrem} in Vergleich gestellt. Diese Ergebnisse stimmen mit den wenigen Abflusswerten überein, die in historischen Quellen gefunden wurden. So existiert beispielsweise in einer Quelle aus dem Stadtarchiv Stuttgart von 1877 ein Abflusswert von $1320\text{m}^3/\text{s}$ für Bad Cannstatt (Flusskilometer 183) während des Hochwassers vom Oktober 1824. Der modellierte Abflusswert liegt bei $1420\text{m}^3/\text{s}$. Lokale historische Quellen (CENTRALBUREAU FÜR METEOROLOGIE UND HYDROGRAPHIE 1893; KÖNIGLICHES MINISTERIUM DES INNEREN 1896) geben Abflüsse zwischen $4560\text{m}^3/\text{s}$ und $4800\text{m}^3/\text{s}$ für Offenau (Flusskilometer 98) und Heidelberg (Flusskilometer 24) an. Die modellierten Abflüsse liegen hier bei $4390\text{m}^3/\text{s}$ und $4320\text{m}^3/\text{s}$.

Die in der Tabelle 1 dargestellte Abflusssimulation mittels LARSIM zeigt, welche Auswirkungen ein Hochwasser mit den Ausmaßen des Ereignisses von 1824 auf das heutige Neckareinzugsgebiet hätte. Die Abflusswerte von 1824 liegen im Unterlauf des Neckars deutlich über den Werten für HQ_{100} und HQ_{extrem} . Ein Hochwasserereignis mit den Ausmaßen von 1824 würde verheerende Folgen für die Anrainer haben. So erreichten die Wassermassen im Oktober 1824 in Bad Cannstatt eine Höhe von über 6 m. Insbesondere für die im Überschwemmungsbereich angesiedelte Industrie wie beispielsweise im Stuttgarter Raum würde ein Hochwasserereignis wie das von 1824 enorme Schäden und Kosten verursachen.

Tab. 1: Modellierte Abflüsse während des Hochwassers von 1824 für den Neckar und einige seiner Nebenflüsse sowie die Werte für HQ_{100} und HQ_{extrem} (LfU 2000 u. 2005)

Ort	Fluss	HQ_1	HQ_1	HQ_e
Rottweil	Neckar	137	260	390
Oberndorf	Neckar	223	348	522
Horb	Neckar	416	549	800
Plochingen	Neckar	1400	1145	1600
Pforzheim	Enz	580	504	757
Vaihingen	Enz	563	513	766
Besigheim	Enz	612	586	821
Lauffen	Neckar	2398	1877	2550
Gaildorf	Kocher	411	350	490
Stein	Kocher	1002	709	993
Elpershofen	Jagst	461	387	582
Untergriesheim	Jagst	984	525	771
Rockenau	Neckar	4185	2665	3600
Ziegelhausen	Neckar	4335	2806	3700
Mündung	Neckar	4264	2833	3750

8 Diskussion

Nach den extremen Hochwassern der letzten Jahre (1993, 1995, 2002) kamen mehrere Wissenschaftler und auch Anwender im Hochwasserschutz zu dem Schluss, dass Hochwasser in längeren Zeitskalen betrachtet werden müssen. So wurde beispielsweise das Elbhochwasser 2002 in den Medien sehr schnell zur

„Jahrtausendflut“. Abbildung 5 zeigt deutlich, dass dieses Ereignis bei der Einordnung in eine längere Zeitskala nur als 100-jährliches Hochwasser eingestuft wird und nicht wie in der Presse proklamiert als 1000-jährlich, was auf einen zu kurzen Betrachtungszeitraum zurückzuführen ist. Auch wenn es ein außergewöhnliches Extremereignis darstellte, zeigt sich doch, dass viele der in der Vergangenheit aufgetretenen Hochwasser dem Großteil der Öffentlichkeit bis hin zu regionalen und überregionalen Entscheidungsträgern unbekannt waren und teilweise noch sind (GRÜNEWALD 2003). Dies verdeutlicht, dass das „verschüttete historische Gedächtnis“ aufzufrischen ist, d.h. Aufklärungsarbeit zu leisten, in der Öffentlichkeit geführte Diskussionen zu versachlichen und das Hochwasserbewusstsein zu schärfen.

Die Ergebnisse der hier vorgestellten Untersuchung zeigen, dass die Rekonstruktion historischer Hochwasser mittels meteorologischer und hydrologischer Daten in Zentraleuropa in einer hohen zeitlichen und räumlichen Auflösung bis in die Mitte des 18. Jahrhunderts möglich ist. Die potentiellen Grenzen der hier dargestellten Methode zur Rekonstruktion historischer Hochwasser sowie ihrer Wetterlage und der Niederschläge bilden die vorhandenen historischen meteorologischen Messungen. In Europa sind erste meteorologische Beobachtungen bereits ab 1750 vorhanden. Weiterhin muss angemerkt werden, dass die Rekonstruktion des atmosphärischen Zirkulationsmusters mit 13 meteorologischen Stationen Unsicherheiten für eine präzise räumliche Wettersituation birgt, insbesondere für den Atlantischen Ozean, wo keine Daten für 1824 verfügbar sind. Dies kann einen Einfluss auf die Rekonstruktion des räumlichen Gebietsniederschlags haben und somit auch auf die Abflussberechnung. Eine größere Anzahl meteorologischer Messungen würde das rekonstruierte Zirkulationsmuster und den Gebietsniederschlag verbessern. Dennoch kann hervorgehoben werden, dass bisher noch kein historisches Hochwasserereignis so detailliert und hochaufgelöst rekonstruiert wurde wie das Neckarhochwasser von 1824, das immerhin über 180 Jahre zurückliegt. Zudem erlauben diese Ergebnisse, Aussagen über die Auswirkung eines realen extremen Hochwasserereignisses auf das heutige Neckareinzugsgebiet zu treffen und können somit zur Verringerung der bestehenden Unsicherheiten von rein statistisch berechneten Maximalabflüssen beitragen.

Das Beispiel des Neckarhochwassers von 1824 macht jedoch deutlich, dass die hydrometeorologischen Bedingungen von Hochwasserereignissen in der Vergangenheit im heutigen Hochwasserschutz berücksichtigt werden müssen, zumal verschiedene aktuelle Studien aufzeigen, dass Veränderungen in der Lufttemperatur und den Niederschlagsverhältnissen extreme Wettersituationen in Zentraleuropa verursachen können (KRAUS u. EBEL 2003; KLIWA 2005; SCHÖNWIESE u. TRÖMEL 2006). So zeigen beispielsweise Untersuchungen des Projekts KLIWA (Klimaveränderung und Wasserwirtschaft) in Baden-Württemberg und Bayern, dass extreme Niederschläge in niederen Gebirgslagen von Mitteleuropa vor allem im Herbst und Winter immer häufiger werden.

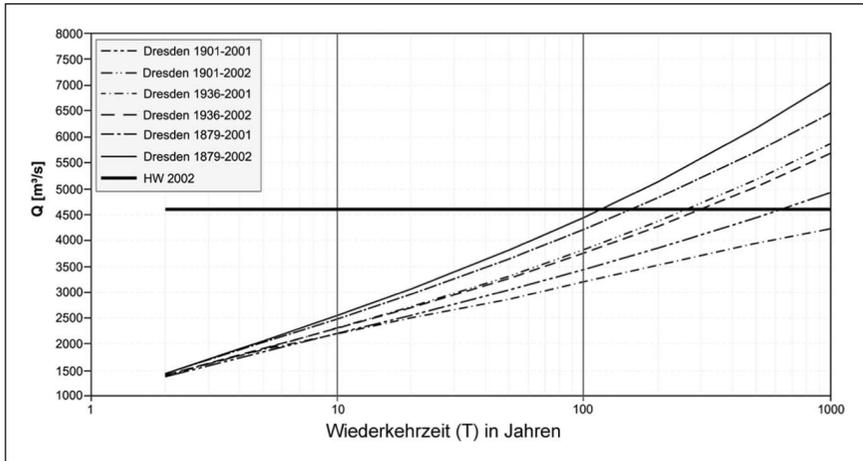


Abb. 5: Veränderung der Wiederkehrzeit des 2002 Elbehochwassers in Dresden basierend auf der Länge der Zeitreihen (IKSE 2004)

9 Fazit

Das Hochwasser vom Oktober 1824 war das bisher extremste Hochwasserereignis im Neckareinzugsgebiet, das durch Starkniederschläge verursacht wurde. Daher kann es als Grundlage für die Berechnung und Modellierung möglicher extremer Hochwasser herangezogen und als extremes Bemessungs- bzw. Eichhochwasser (HQ_{extrem}) für die Hochwassergefahrenkarten im Neckareinzugsgebiet eingesetzt werden. Es zeigt sich, dass die Ergebnisse einer historischen Hochwasseranalyse als Dateninput für Wasserhaushalts- und Niederschlagsabflussmodelle genutzt werden können, um die Abflüsse von Extremereignissen zu berechnen. Wie im Beitrag dargestellt, kann das Wissen zu historischen Hochwassern in den Hochwasserschutz von morgen integriert werden. Das Forschungsprojekt trägt so zu einer verbesserten Risikobewertung sowie zu einem sicheren Umgang mit zukünftigen Hochwassern bei. Die Ergebnisse zeigen, dass die Datenqualität und -fülle hinsichtlich der Rekonstruktion und Analyse von extremen Hochwasserereignissen während des 19. Jahrhunderts positiv zu bewerten sind. Die Studie verdeutlicht, dass historische Quellen einen sehr guten Input für ein aktuelles Hochwasserrisikomanagement liefern können.

Literatur

- AGASSE, E. 2003: Flooding from 17th to 20th centuries in Normandy (western France) methodology and use of historical data. In: THORNDYCRAFT, V.R., G. BENITO, M. BARRIENDOS u. M. C. LLASAT (Hrsg.): Palaeofloods, Historical Data and Climatic Variability: Applications in Flood Risk Assessment. Madrid, S. 99–107.
- BARDOSSY, A. u. F. FILIZ 2005: Identifications of flood producing atmospheric circulation patterns. In: Journal of Hydrology 313, S. 38–58.
- BARDOSSY, A., J. STEHLIK u. G. BALINT 2003: Investigation of the flood producing weather situations of the 20th century for the upper part of the Tisza Basin. In: THORNDYCRAFT,

- V.R., G. BENITO, M. BARRIENDOS u. M.C. LLASAT (Hrsg.): Palaeofloods, Historical Data and Climatic Variability: Applications in Flood Risk Assessment. Madrid, S. 307–313.
- BARRIENDOS, M., u. F. RODRIGO 2006: Study of historical flood events on Spanish river using documentary data. In: *Hydrological Sciences Journal* 51/5, S. 765–783.
- BENITO, G., T. OUARDA u. A. BARDOSSY 2005: Applications of palaeoflood hydrology and historical data in flood risk analysis. In: *Journal of Hydrology* 313, S. 1–3.
- BRÁZDIL, R., R. GLASER, C. PFISTER u. H. STANGL 2002: Floods in Europe. A look into the past. In: *PAGES Newsletter* 10/3, S. 21–23.
- BÜRGER, K., P. DOSTAL, J. SEIDEL, F. IMBERY, H. MAYER u. R. GLASER 2006a: Hydrometeorological reconstruction of the 1824 flood event in the Neckar River basin (southwest Germany). In: *Hydrological Sciences Journal* 51(5), S. 864–877.
- BÜRGER, K., J. SEIDEL, P. DOSTAL u. F. IMBERY 2006b: Historic Floods as a Basis for Flood Risk Management in River Valleys. In: *Geographische Rundschau International Edition*, Vol. 2/2, S. 58–62.
- CAMUFFO, D. u. S. ENZI 1996: The analysis of two bi-millennial series: Tiber and Po river floods. In: JONES, P.D., R.S. BRADLEY u. J. JOUZEL: *Climatic Variations and Forcing Mechanism of the last 2000 Years*. Berlin, S. 433–450.
- CENTRALBUREAU FÜR METEOROLOGIE UND HYDROGRAPHIE (Hrsg.) 1893: Die Wassermengen der fließenden Gewässer im Großherzogthum Baden. In: *Beiträge zur Hydrographie des Grossherzogthums Baden*, 8. Heft. Karlsruhe.
- DEUTSCH, M. 2000: Zum Hochwasser der Elbe und Saale Ende Februar/Anfang März 1799. In: DEUTSCH, M., K.-H. PÖRTGE u. H. TELTSCHER (Hrsg.): *Beiträge zum Hochwasser/Hochwasserschutz in Vergangenheit und Gegenwart*. Erfurt, S. 7–44 (= *Erfurter Geographische Studien*, 9).
- DEUTSCH, M., J. BÖHNER, K.-H. PÖRTGE u. T. ROST 2004: Untersuchungen historischer Hochwasserereignisse in Thüringen, dargestellt am Beispiel der Werra. In: *Zeitschrift Geomorphologie*, N.F. Supplement-Volume 135, S. 11–32.
- DEUTSCHER WETTERDIENST 2005: *Deutsches Meteorologisches Jahrbuch 2002*. Offenbach: DWD.
- DOSTAL, P., K. BÜRGER, F. IMBERY u. J. SEIDEL 2006: Rekonstruktion und Analyse des Neckarhochwassers 1824 zur Integration in ein aktuelles Hochwasserrisikomanagement. In: *Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* 15/06, S. 49–58.
- GERSTENGABE, F.-W. u. P. WERNER 1993: *Katalog der Großwetterlagen Europas nach Paul Hess und Helmuth Brezowski 1881–1992*. Offenbach: DWD.
- GLASER, R. 1998: Historische Hochwässer im Maingebiet – Möglichkeiten und Perspektiven auf der Basis der Historischen Klimadatenbank Deutschland (HISKLD). In: *Erfurter Geographische Studien*, Bd. 7. Erfurt, S. 109–128.
- GLASER, R. u. H. STANGL 2003: Floods in Central Europe. In: THORNDYCRRAFT, V.R., G. BENITO, M. BARRIENDOS u. M. C. LLASAT (Hrsg.): *Palaeofloods, Historical Data and Climatic Variability: Applications in Flood Risk Assessment*. Madrid, S. 93–98.
- GLASER, R. u. H. STANGL 2004: Climate and floods in Central Europe since AD 1000: data, methods, results and consequences. In: *Surveys in Geophysics* 25(5/6), S. 485–510.
- GRÜNEWALD, U. 2003: Die „Augustfluten 2002“ im Elbegebiet – in welches Licht haben Sie uns gestellt und in welches sollten wir sie stellen? In: KLEEBERG, H.-B. (Hrsg.): *Klima – Wasser – Flussgebietsmanagement – im Lichte der Flut*. *Forum für Hydrologie und Wasserbewirtschaftung* 4.1, S. 151–160.
- IKSE 2004 = INTERNATIONALE KOMMISSION ZUM SCHUTZ DER ELBE 2004: *Dokumentation des Hochwassers vom August 2002 im Einzugsgebiet der Elbe*. <http://www.ikse-mkol.org/index.php?id=81&L=0> (25.06.2007).
- JACOBEIT, J., R. GLASER, J. LUTERBACHER u. H. WANNER 2003: Links between flood events in Central Europe since AD 1500 and the large-scale atmospheric circulation modes. In: *Geophysical Research Letter* 30/4, S. 1172, 21-1-4.

- JONES, P.D., A.E.J. OGILVIE u. T.M.L. WIGLEY 1984: Riverflow Data for the United Kingdom: Reconstructed Data back to 1844 and historical Data back to 1556. London (= Climatic Research Unit Research Publication, 8).
- KLIWA 2005 = Klimaveränderung und Wasserwirtschaft 2005: Klimawandel in Baden-Württemberg. LfU Baden-Württemberg. <http://www.kliwa.de/download/kliwazukunftsbw.pdf> (25.06.2007).
- KÖNIGLICHES MINISTERIUM DES INNEREN 1896: Verwaltungs-Bericht der Königlichen Ministerialabteilung für den Strassen- und Wasserbau für die Rechnungsjahre vom 1. Februar 1893/94 und 1894/95. Stuttgart.
- KRAUS, H. u. EBEL, U. 2003: Risiko Wetter: Die Entstehung von Stürmen und anderen atmosphärischen Gefahren. Berlin.
- LANG, M., R. NAULET, A. RECKING, D. COEUR u. C. GIGON 2002: Etude de cas: l'analyse des pluies et crues extrêmes observées depuis 200 ans dans un bassin cévenol, l'Ardèche. In: La Houille Blanche 1, S. 23–32.
- LANG, M., D. MOUSSAY, A. RECKING u. R. NAULET 2003: Hydraulic modelling of historical floods: a case study on the Ardèche Rivare at Vallon Pont d'Arc. In: THORNDYCRAFT, V.R., G. BENITO, M.BARRIENDOS u. M. C. LLASAT (Hrsg.): Palaeofloods, Historical Data and Climatic Variability: Applications in Flood Risk Assessment. Madrid, S. 183–191.
- LfU 2000 = Landesanstalt für Umweltschutz 2000: Das Hochwasser vom Oktober/November 1998 in Baden-Württemberg. Oberirdische Gewässer/Gewässerökologie 65. CD-ROM. Karlsruhe.
- LfU 2005 = Landesanstalt für Umweltschutz 2005: Abflusskennwerte in Baden-Württemberg. Oberirdische Gewässer/Gewässerökologie 94. CD-ROM. Karlsruhe.
- LLASAT, M.C., M. BARRIENDOS, A. BARRERA u. T. RIGO 2005: Floods in Catalonia (NE Spain) since the 14th century. Climatological and meteorological aspects from historical documentary sources and old instrumental records. In: Journal of Hydrology 313, S. 32–47.
- LUTERBACHER, J., A. XOPLAKI, D. DIETRICH, R. RICKLI, J. JACOBET, C. BECK, D. GYALISTRAS, C. SCHMUTZ u. H. WANNER 2002: Reconstruction of sea level pressure fields over the Eastern North Atlantic and Europe back to 1500. In: Climate Dynamics 18, S. 545–561.
- MERZ, B. u. J. DIDSZUN 2005: Risikomanagement extremer Hochwasserereignisse. In: Umweltwissenschaften und Schadstoff-Forschung, Zeitschrift für Umweltchemie und Ökotoxikologie 17/4, S. 191–192.
- MUDELSEE, M., M. DEUTSCH, M. BÖRNGEN u. G. TETZLAFF 2006: Trends in flood risk of the River Werra (Germany) over the past 500 years. In: Hydrological Sciences Journal 51 (5), S. 818–833.
- NAULET, R., M. LANG, T.B.M.J. OUARDA, D. COEUR, B. BOBÉE, A. RECKING u. D. MOUSSAY 2005: Flood frequency analysis on the Ardèche River using French documentary sources from the last two centuries. In: Journal of Hydrology 313, S. 58–78.
- PFISTER, CH. 1999: Wetternachhersage – 500 Jahre Klimavariationen und Naturkatastrophen. Bern, Stuttgart, Wien.
- SCHÖNWIESE, C. u. S. TRÖMEL 2006: Mehr extreme Niederschläge in Deutschland. In: Naturwissenschaftliche Rundschau 59, S. 194–199.
- TETZLAFF, G., M. BÖRNGEN u. M. MUDELSEE 2002: Das Jahrtausendhochwasser von 1342 am Main aus meteorologischer-hydrologischer Sicht. In: Wasser und Boden, 54, H. 10, S. 41–49.
- WANNER, H., C. BECK, R. BRAZDIL, C. CASTY, M. DEUTSCH, R. GLASER, J. JACOBET, J. LUTERBACHER, C. PFISTER, S. POHL, K. STURM, P. WERNER u. E. XOPLAKI 2004: Dynamic and socioeconomic aspects of historical floods in Central Europe. In: Erdkunde 58, S. 1–16.