

Rekonstruktion historischer Hochwasserabflüsse anhand meteorologischer und hydrologischer Daten

Reconstruction of historical flood discharges from meteorological and hydrological data

von Dirk Sudhaus, Katrin Bürger, Paul Dostal, Florian Imbery, Jochen Seidel, Werner Konold, Helmut Mayer und Rüdiger Glaser

Extremhochwasser und ihre Auswirkungen haben in den letzten Jahren im Kontext der rezenten Klimaveränderungen in Zentraleuropa zunehmende Aufmerksamkeit erhalten. Die Betrachtung historischer Hochwasserkatastrophen sowie ihrer regionalen Auswirkungen im Rahmen langzeitlicher Klimavariabilität liefern ein wertvolles Verständnis zu vergangenen, gegenwärtigen sowie zukünftigen Beziehungen zwischen Klima und extremen Hochwassern (BARDOSSY & FILIZ 2005). Daher erhalten historische Hochwasser ein immer größeres Interesse in der Hochwasserforschung und im angewandten Hochwasserschutz (BENITO et al. 2005, GLASER & STANGL 2004).

Schlagwörter: Analyse historischer Daten, extreme Hochwasserabflüsse, Hochwasserschutz

Extreme floods and their impacts in the context of climate change in Central Europe have received increasing attention in recent years. The analysis of historical flood disasters and their regional consequences within the long-term climate variability provide a useful understanding of past, present, and future relationships between climate and extreme floods (BARDOSSY & FILIZ 2005). Therefore, historical floods receive greater interest in flood research and in applied flood protection (BENITO et al. 2005, GLASER & STANGL 2004).

Keywords: Analysis of historical flood disasters, extreme events, flood protection

1 Einleitung

Bisher wurden historische Hochwasser überwiegend in Hinblick auf ihren Ablauf und die Hochwasserstände bearbeitet (SCHMIDT 2000). Für ein effektives Hochwassermanagement, insbesondere für den Schutz von wasserwirtschaftlichen und wasserbaulichen Anlagen, sind jedoch die Abflusswerte als Bemessungsgrundlage von großer Bedeutung, wobei möglichst präzise Kenntnisse über seltene, extreme Hochwasserereignisse von Interesse sind.

Im BMBF Projekt Xfloods „Analyse historischer Hochwasser für ein integratives Konzept zum vorbeugenden Hochwasserschutz“ wurden historische Extremhochwasser sowie deren auslösende klimatische Faktoren untersucht. Der Fokus liegt auf den Hochwassern im Einzugsgebiet des Neckars vom Oktober 1824 und Dezember 1882. Ziel war, die Gebietsniederschläge der extremen Hochwasserereignisse zu rekonstruieren und anhand dieser die Hochwasserabflüsse zu simulieren. Zudem wurden die Abflüsse für historische Querprofile mittels eines hydraulischen Modells quantifiziert. Insgesamt dienen diese Analysen einer verbesserten Hochwasserrisikoabschätzung.

2 Material und Methoden

Die Untersuchungen wurden am Neckar und seinen Hauptnebenflüssen durchgeführt. Das Einzugsgebiet mit ca. 14.000 km² umfasst Höhenlagen von 78 m NN bei Mannheim bis 1020 m NN im Schwarzwald, wo rezent mit ca. 2000 mm der höchste Jahresniederschlag im Untersuchungsgebiet fällt. Die bedeutendsten Neckarhochwasser des 19. Jahrhunderts, über die ausreichende frühe instrumentelle und schriftliche Aufzeichnungen existieren, waren das Extremhochwasser im Oktober 1824 und das Hochwasser im Dezember 1882. Zu diesen Ereignissen wurden archivalische Quellen wie Wetterbeschreibungen, Chroniken, Ratsprotokolle, Zeitungsberichte, meteorologische und hydrologische Messungen sowie Verwaltungsberichte ausgewertet. Anhand der Daten wurden die atmosphärischen Zirkulationsmuster rekonstruiert sowie die Gebietsniederschläge und Abflüsse simuliert.

2.1 Rekonstruktion des atmosphärischen Zirkulationsmusters

Anhand von 15 europäischen Messreihen konnten die täglichen Luftdruckfelder auf Meeressniveau für das Ereignis im

Oktober 1824 rekonstruiert und damit der Ablauf der zyklonalen Strömungssysteme nachvollzogen werden (DOSTAL et al. 2007). Für das Ereignis vom Dezember 1882 wurde das Zirkulationsmuster anhand des bestehenden EMULATE Datensatzes (ANSELL et al. 2006) bestimmt.

2.2 Niederschlag-Abfluss-Modellierung anhand simulierter Gebietsniederschläge

Um die Gebietsniederschläge für die historischen Hochwasserereignisse detailliert mesoskalig zu rekonstruieren und visualisieren, wurden die Wetterlagen von Ende Oktober 1824 und Dezember 1882 mit allen Großwetterlagen der Jahre 1934 bis 2004 qualitativ verglichen. Anhand der monatlichen Wetterberichte vom Deutschen Wetterdienst und einer Starkniederschlagsanalyse für Südwestdeutschland wurde für das Ereignis vom Oktober 1824 als analoger Witterungsverlauf der Zeitraum vom 26.-28. Oktober 1998 ermittelt (BÜRGER et al. 2006). Als analoger Witterungsverlauf für das Niederschlagsereignis vom 25.-27. Dezember 1882 wurde der Zeitraum vom 29.-31. Januar 1983 festgelegt. Die Niederschläge wurden anhand der historischen Messreihen sowie der räumlichen Verteilung der Niederschläge während der rezenten Witterungsverläufe interpoliert. Mittels Regressionsmodellen wurden die historischen Messdaten in den Untersuchungszeiträumen mit Messdaten von 220 Niederschlagsstationen des Deutschen Wetterdienstes verknüpft. Dadurch konnte die räumliche Verteilung der historischen Niederschlagsereignisse für Südwestdeutschland auf Tagesbasis in einem 1 km-Raster simuliert werden.

Die rekonstruierten Gebietsniederschläge wurden zur Simulation der Abflüsse mit dem Wasserhaushaltsmodell LARSIM (Large Area Runoff Simulation Model, LUDWIG & BREMIKER 2007), dem operationellen Hochwasservorhersagemodell für Baden-Württemberg, verwendet. Die für 1824 nicht vorliegenden Parameter für das Wasserhaushaltsmodell (z.B. Vorfeuchte und Flussmorphologie) entsprechen dem Hochwasser von 1998, das einen ähnlichen Charakter aufwies (DOSTAL et al. 2007). Für das Dezemberhochwasser von 1882 wurde auf das gleiche Verfahren zurückgegriffen. Zwar wurden Ende des 19. Jh. bereits systematisch meteorologische Messungen durchgeführt, die im Neckareinzugsgebiet liegenden Wetterstationen befanden sich jedoch alle in dessen Randbereich und reprä-

sentieren die Niederschlagsverhältnisse von Starkregenereignissen nicht ausreichend. Rekonstruiert wurden die dem 25. Dezember 1882 vorausgegangenen Schneefälle anhand historischer Messdaten, die nach dem Verfahren von RICHTER (1995) korrigiert wurden. Da Messdaten für das gesamte Jahr vorliegen, wurde die Vorfeuchte nicht anhand des analogen Ereignisses bestimmt, sondern aus dem Jahresgang der Messdaten für 1882. Für das Schneeeignis musste auch der Verlauf der Lufttemperatur rekonstruiert werden. Der Jahresgang der Lufttemperatur wurde über eine lineare Regression über den Höhengradienten berechnet. Für Tage mit Inversionswetterlagen wurde die Inversionsschicht berücksichtigt.

2.3 Hydraulische Modellierung

Die Abflüsse beider Hochwasser wurden über die Wasserstands-Abfluss-Beziehung an historischen Querprofilen mit dem 1-D Modell HEC-RAS 3.1.3 (Hydrologic Engineering Centers River Analysis System, HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER 2005) simuliert. Quellen der Querprofile waren Archivalien und Verwaltungsberichte (KÖNIGLICHES MINISTERIUM DES INNERN 1896). Für die Ereignisse von 1824 und 1882 standen acht bzw. neun Querprofile des Neckars zur Verfügung, die Informationen über den Wasserstand des betrachteten Hochwassers, der das Querprofil nicht übersteigt, sowie einen Maßstab und Höhenangaben beinhalten. Die jeweiligen Gefälle konnten aus Längsprofilen abgeleitet werden. Querprofile an Querbauwerken wurden ausgeschlossen, da diese den Abfluss durch den Stau effekt beeinflussen. Außerdem wurden die historischen Querprofile in einem zeitlichen Abstand zum Hochwasser aufgenommen, so dass Veränderungen nicht auszuschließen sind. Die ausgewählten Profile wurden digitalisiert und soweit nötig in SI-Einheiten umgerechnet. Die Querprofile wurden regionalisiert, da die Abstände zwischen den einzelnen Querprofilen in der Regel zu groß sind. Für die Rauheit wurden mittlere Standardwerte eingesetzt. Diese entsprechen mit der für das Flussbett eingesetzten mittleren Rauheit von $0,03 \text{ s/m}^{1/3}$ dem Wert, der in historischen Berechnungen für die Neckarzuflüsse Kocher und Jagst angegeben wurde (KÖNIGLICHES MINISTERIUM DES INNERN 1901). Da die Wasserstände zum Teil nicht

gemessen, sondern rekonstruiert wurden, könnten diese auch die Linie des Wellenschlags, maximal das Energieniveau, angeben. Daher wurde auch der Abfluss für die dem Energieniveau entsprechenden historischen Wasserstandsangaben bestimmt.

3 Ergebnisse

Im Nachfolgenden werden die im Oktober 1824 und Dezember 1882 Hochwasser auslösenden Wetterlagen beschrieben. Zudem werden die anhand der rekonstruierten Gebietsniederschläge und der historischen Querprofile simulierten Abflüsse dargestellt.

3.1 Rekonstruierte Zirkulationsmuster

Die Hochwasser vom Oktober 1824 und Dezember 1882 sind jeweils auf eine zyklonale Westlage (WZ) nach den Großwetterlagen von Hess und Brezowski (GERSTENGABE & WERNER 1993) zurückzuführen.

1824: Im Oktober 1824 stand einem starken Tiefdruckgebiet mit Zentrum über Nordeuropa und den Britischen Inseln ein Hochdruckgebiet über dem Mittelmeer entgegen. Zwischen diesen Großwetterssystemen entwickelte sich von Südwesten nach Nordosten Mitteleuropas eine Frontalzone, bei der das Tiefdruckgebiet das Wettergeschehen in Deutschland bestimmte. Diese Luftdruckkonstellation, mit einem großen Luftdruck- und Lufttemperaturgradienten zwischen dem Hoch- und dem Tiefdruckgebiet, führte feuchtwarme Luftmassen heran, die zu extremen Niederschlägen im Nord- und Südschwarzwald führten. Am 26. Oktober 1824 kam es zu Sturm- und Orkanböen mit starkem Niederschlag. Andauernde starke Niederschläge fielen im gesamten Neckareinzugsgebiet vom Abend des 28. Oktober 1824 bis in die frühen Morgenstunden des 30. Oktober 1824. Durch den vorangegangenen Witterungsverlauf waren die Böden bereits vor diesem Starkniederschlagsereignis gesättigt, so dass die Niederschläge direkt abfließen und großflächig zu Hochwasser am Neckar und seinen Nebenflüssen führten.

1882: In der zweiten Hälfte des Dezember 1882 herrschte ein ausgeprägtes Hoch über Russland und Mitteleuropa. In Süd-

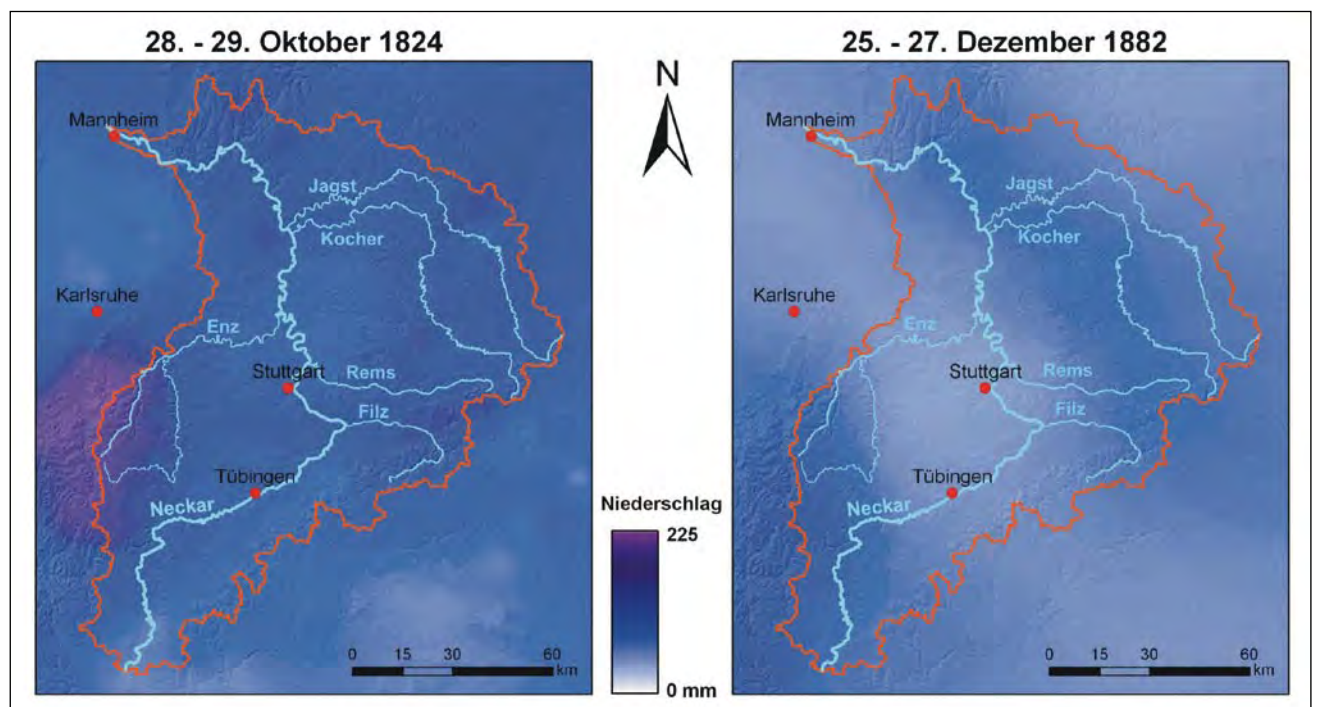


Abbildung 1
 Simulierter Gebietsniederschlag summiert für den 29./30. Oktober 1824 bzw. den 25.-27. Dezember 1882
 Simulated cumulative precipitation on 29/30 October 1824 and on 25-27 December 1882, respectively

westdeutschland führte dies zu einer ausgedehnten wind-schwachen Inversionswetterlage. In den Höhenlagen lag die Lufttemperatur über dem Gefrierpunkt, während in den tieferen Lagen vielfach Frost herrschte. Am 21. Dezember führte meridionale Strömung feuchte Luftmassen vom Nordatlantik heran, wodurch in großen Teilen des Neckareinzugsgebietes heftige Schneefälle einsetzten. Am 25. Dezember setzte sich eine Westwindströmung durch, die wärmere Luftmassen nach Mitteleuropa führte. Dadurch stieg die Lufttemperatur stark an und lang anhaltende Regenfälle setzten ein, die zu einem raschen Abschmelzen des zuvor gefallenen Schnees führten. Die Kombination aus Schneeschmelze und Regen führte zu starken Hochwassern in den Zuflüssen des Oberrheins (BÜRGER et al. 2007).

3.2 Simulierte Gebietsniederschläge

1824: Die höchsten Niederschlagssummen mit über 200 mm/36 h wurden in den westlichen Kammlagen des Nordschwarzwaldes erreicht, jedoch nehmen diese nur eine geringe Fläche ein. Das Maximum des regionalen Niederschlags lag in den mittleren Höhenlagen des Nordschwarzwaldes, den östlichen und nördlichen Teilgebieten des Neckareinzugsgebietes sowie im östlichen Bereich der Hohenloher Ebene bei ca. 140 mm (Abb. 1). Da dieses Gebiet von Nebenflüssen des Neckars entwässert wird und am Oberlauf des Neckars die Niederschlagssummen nicht so hoch waren, erreichte das Hochwasser erst ab dem Zufluss der Fils extreme Ausmaße.

1882: Da es sich bei dem Hochwasser von 1882 um eine Kombination aus Schmelzwasser und starken Regenfällen handelte, mussten in diesem Fall die vor dem Einsetzen des Witterungsumschwungs gefallenen Schneemengen berücksichtigt werden. Dies erfolgte anhand des Schneemoduls im Wasserhaushaltsmodell LARSIM. Die Simulation wurde mit den Lufttemperatur- und Niederschlagsdaten der historischen Messungen durchgeführt. Anhand der Lufttemperaturmessungen ließ sich rekonstruieren, dass vom Schwarzwald bis zur Schwäbischen Alb der vom 22. bis zum 25. Dezember gefallene Schnee akkumulierte. In zeitgenössischen Zeitungs-meldungen wurde von heftigen Schneefällen berichtet, so fielen z.B. auf der östlichen Schwäbischen Alb 40 cm Schnee. Vom 25. auf den 26. Dezember stieg die Lufttemperatur stark an, der Schneefall ging in Regen über und die Schneedecke

im Neckareinzugsgebiet wurde bis zum Abend des 26. Dezember weitestgehend aufgelöst.

Über die Tage vom 25.-27. Dezember 1882 zeigte das Niederschlagsmuster im Neckareinzugsgebiet jeweils die höchsten Niederschläge für den Mittleren Schwarzwald sowie starke Niederschläge auf der Schwäbischen Alb und am Unterlauf des Neckar (Abb. 1). Im Bereich des Mittellaufs waren die Niederschläge jeweils am geringsten. Die Tagessummen für den 25. Dezember betragen für die einsetzenden Regenfälle bis zu 60 mm im Westen und 30 mm im Osten. Am 26. Dezember nahm die flächenhafte Verbreitung der starken Regenfälle zu und ihre Spitzenwerte erhöhten sich. Die Niederschlagssumme des Tages lag außer im Lee des Nordschwarzwaldes großflächig bei bis zu 35 mm. Spitzenwerte von über 60 mm pro Tag wurden für den 26. und den 27. Dezember im Mittleren Schwarzwald erreicht. Während am mittleren Neckarlauf die Niederschläge abnahmen, stieg die maximale Tagessumme im Gebiet des Unterlaufs bis auf 40 mm an. Die höchste Niederschlagssumme für die drei Tage lag bei über 180 mm. Die mit der Schneeschmelze kombinierten Niederschläge führten im gesamten Neckarverlauf und dessen Nebenflüssen zu einem starken Hochwasser, welches das Ausmaß des Hochwassers vom Oktober 1824 jedoch nicht erreichte.

3.3 Simulierte Abflüsse

Die mit beiden Methoden simulierten Abflüsse für den Neckar sind in Abbildung 2 dargestellt. Die simulierten Abflüsse von 1824 werden mit den Angaben der Hochwasserabflüsse eines HQ_{extrem} mit einer Wiederkehrzeit von 1000 Jahren, die Abflüsse von 1882 mit einem HQ_{100} sowie jeweils mit historisch berechneten Abflusswerten verglichen. Historische Berechnungen liegen für den gesamten württembergischen Teil des Neckars (KÖNIGLICHES MINISTERIUM DES INNERN 1896) sowie für Heidelberg vor (CENTRALBUREAU FÜR METEOROLOGIE UND HYDROGRAPHIE 1893).

Beispielhaft wird hier auf die Abflüsse in Stuttgart (historischer Flusskilometer 186) näher eingegangen, da für den Stadtteil Cannstatt mehrere Querprofile für das Jahr 1824 vorliegen und für ein Querprofil im Stadtteil Münster Wasserstände für 1824 und 1882 angegeben sind. Die Ergebnisse beider vorgestellten Berechnungsmethoden sind in der Ta-

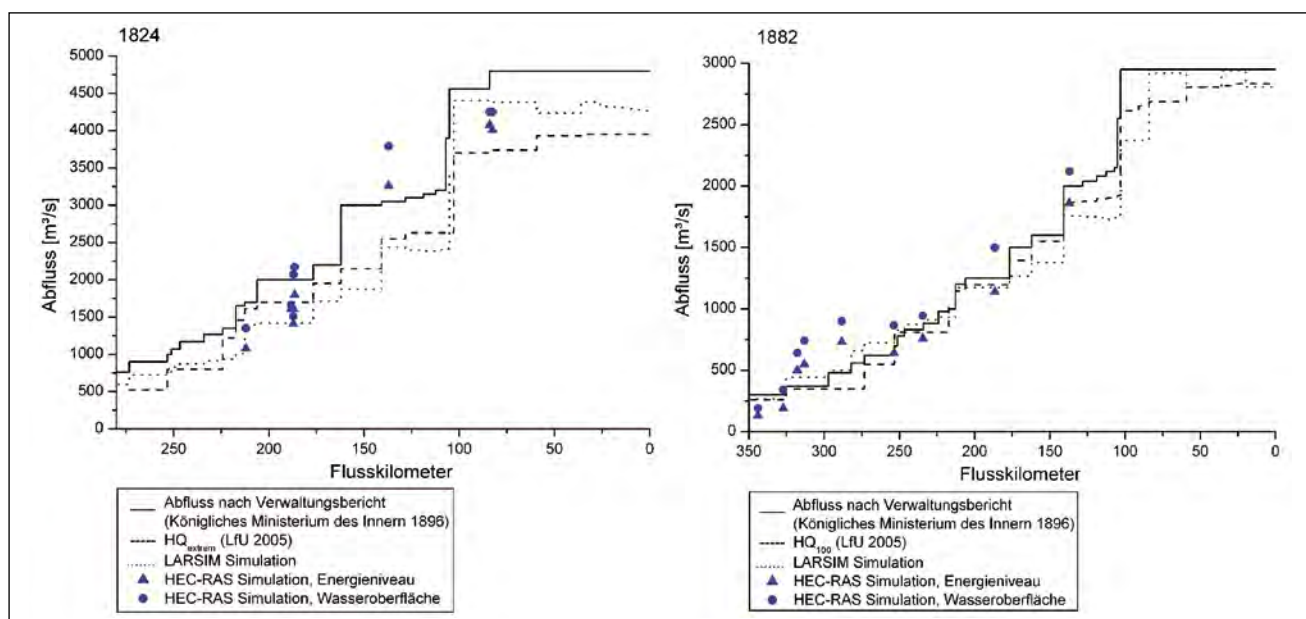


Abbildung 2

Nach verschiedenen Methoden berechnete Abflüsse für die Neckarhochwasser vom Oktober 1824 und Dezember 1882

Discharge of the flood events October 1824 and December 1882 in the Neckar River, calculated with different methods

belle 1 gegenübergestellt. Für das Profil Münster wird deutlich, dass die in den Verwaltungsberichten angegebenen Abflusswerte in einem ähnlichen Bereich liegen wie die an den historischen Querprofilen anhand des Energieniveaus bzw. des Wasserstandes simulierten Abflüsse. Für 1824 liegen die mit LARSIM ermittelten Abflüsse über den gesamten Flusslauf hinweg unter den Abflussangaben in den historischen Verwaltungsberichten (KÖNIGLICHES

MINISTERIUM DES INNERN 1896). Dies kann mit einer Unterschätzung der Spitzenabflüsse zusammenhängen, da nur Tageswerte für die Niederschläge zur Verfügung standen. Für das Hochwasser 1882 stellt sich dies anders dar. Im Oberlauf sind die Abflüsse nach der LARSIM-Simulation leicht höher, während sie im Unterlauf etwas unter den historischen Berechnungen liegen.

Die Simulation mit den historischen Querprofilen ergibt für 1824 jeweils höhere Abflüsse. Würden die historischen Wasserstandsangaben für die Simulation mit HEC-RAS dem Energieniveau gleichgesetzt, führte dies für 1882 zu einem mit den historischen Angaben und den mit LARSIM ermittelten Abflüssen vergleichbaren Ergebnis. Für Heidelberg (historischer Flusskilometer 26) wurde für 1824 ein Abfluss von 4800 m³/s angegeben (KÖNIGLICHES MINISTERIUM DES INNERN 1896). Der mit LARSIM simulierte Abfluss liegt bei 4320 m³/s. Historische Querprofile liegen für diesen Flussabschnitt nicht vor. 60 km flussaufwärts wurden anhand von Querprofilen Abflüsse von 4250 m³/s berechnet, bedeutende Zuflüsse gibt es in den 60 km bis Heidelberg nicht. Für das Ereignis von 1882 sind die historischen Abflussangaben 3000 m³/s (CENTRALBUREAU FÜR METEOROLOGIE UND HYDROGRAPHIE 1893) und die mit LARSIM simulierten 2940 m³/s.

Im Gesamtbild (Abb. 2) sind die für 1824 mit LARSIM ermittelten Werte niedriger als die historischen Abflüsse und als die meisten mit HEC-RAS berechneten Wassermengen. Das HQ_{extrem} ist jeweils niedriger als die historischen Berechnungen, ab Flusskilometer 100 abwärts ist diese Differenz sehr deutlich, auch gegenüber der LARSIM-Simulation. Für 1882 liegen die Kalkulationen jeweils in einem ähnlichen Bereich. Die mit HEC-RAS ermittelten Abflüsse weichen im Oberlauf stärker von den anderen Berechnungen ab, während sie sonst zwischen den Kalkulationen anhand des Energieniveaus und Wasserstands liegen.

4 Diskussion

Die untersuchten historischen Hochwasser haben mit der zyklonalen Westlage (WZ) ihre Ursache in einer Wetterlage, die für den südwestdeutschen Raum als wichtigste starkniederschlagsauslösende Wetterlage der letzten 500 Jahre gilt (JACOBET et al. 2003). Deren Auftreten wird durch die Zunahme der Westwindströmungen infolge des regionalen Klimawandels zukünftig häufiger zu erwarten sein (KLIWA 2005, IPPC 2007). Die entwickelte Methode zur Rekonstruktion der Gebietsniederschläge ist sowohl zeitlich als auch räumlich übertragbar (DOSTAL et al. 2007). Die simulierten Niederschläge wurden über historische Niederschlagsmessungen und den daraus resultierenden Abflüssen abgesichert. Eine Grenze wird dieser Methode durch die Verfügbarkeit von historischen meteorologischen Messungen gesetzt, die aufgrund der Quellenlage bei 1750 liegt. Kleineräumig können die Ergebnisse der Rekonstruktion des Gebietsniederschlags von der tatsächlichen räumlichen Verteilung abweichen, da auch mit der vorgestellten Methode eine Wetterlage nicht exakt rekonstruiert werden kann. Die analogen Wetterlagen geben nicht genau

Tabelle 1

Ergebnisse der unterschiedlichen Abflussberechnungen für das Profil Münster (Stuttgart), jeweils in m³/s. Angaben der Verwaltungsberichte nach KÖNIGLICHES MINISTERIUM DES INNERN (1896).

Results of the different discharge calculations for the cross profile of Münster (Stuttgart), in m³/s. Data of the administrative report according to KÖNIGLICHES MINISTERIUM DES INNERN (1896).

Ereignis	LARSIM	HEC-RAS an hist. Querprofilen		Verwaltungsberichte
		Energieniveau	Wasserstand	
Oktober 1824	1418	1800	2170	1700
Dezember 1882	1174	1140	1500	1250

das gleiche Muster wie die historischen Wetterlagen wieder. Folglich weicht das mit LARSIM simulierte Muster des Hochwasserverlaufs leicht von den historischen Angaben und den mittels Querprofilen berechneten Abflüssen ab.

Die rekonstruierten Niederschläge führen zu Abflüssen, die heute im Neckareinzugsgebiet enormen Schaden anrichten würden, beispielsweise bei der im Stuttgarter Raum angesiedelten Industrie. Die Abflusswerte von 1824 liegen im Unterlauf des Neckars deutlich über den Werten für ein HQ_{extrem} und das Hochwasser von 1882 ist mit dem eines HQ₁₀₀ (LFU 2005) vergleichbar. Die anhand der historischen Querprofile ermittelten Abflüsse liegen in einem ähnlichen Bereich wie die historischen Berechnungen und die Ergebnisse der Niederschlags-Abfluss-Modellierung. Abweichungen sind in dieser Berechnung jedoch nicht ausgeschlossen, denn ein Fehler von 50 % in der angenommenen Rauheit macht am oberen Ende der Wasserstand-Abfluss-Beziehung einen Unterschied von bis zu 25 % aus (SAUER et al. 1984).

5 Schlussfolgerungen

Aus den Ergebnissen folgt, dass die Bemessungsgrundlage für ein HQ_{extrem} im Unterlauf des Neckars bisher stark unterschätzt wurde und die Abflusswerte von einem aufgetretenen Hochwasser in den letzten 200 Jahren bereits übertroffen wurden. Wie gezeigt wurde, ist es möglich, die Gebietsniederschläge von historischen Extremereignissen zu rekonstruieren und als Dateninput für Wasserhaushalts- und Niederschlagabflussmodelle zu nutzen, um die Abflüsse von Extremereignissen zu berechnen. Die Ergebnisse können daher als Grundlage für die Berechnung und Modellierung des extremen Bemessungshochwassers HQ_{extrem} sowie für die Erstellung von Hochwassergefahrenkarten im Neckareinzugsgebiet eingesetzt werden. Das Hochwasser von 1882 entspricht dem heutigen HQ₁₀₀ und kann somit in die Berechnung eines hundertjährigen Hochwassers einbezogen werden. Die Ergebnisse dieser Studie belegen, wie die Rekonstruktion historischer Hochwasserereignisse zu einer Verbesserung der Hochwasservorsorge beiträgt. Die historischen Abflusskalkulationen können in die Berechnung von Wiederkehrzeiten einbezogen werden und somit zur Verringerung der bestehenden Unsicherheiten beisteuern. Die entwickelten Methoden haben das Potenzial zur umfangreichen Nutzung in der Abflussberechnung historischer Extremhochwasser und deren Integration in den heutigen Hochwasserschutz.

Zusammenfassung

Im BMBF Projekt Xfloods wurden die Abflüsse der extremen Hochwasser von Oktober 1824 und Dezember 1882 im Neckareinzugsgebiet anhand historischer hydrologischer und meteorologischer Daten rekonstruiert. Die atmosphärische Zirkulation sowie die Wetterbedingungen wurden ermittelt und die Niederschlagsverteilung der Ereignisse mittels Interpolation mit rezenten Niederschlagsdaten simuliert. Die Abflüsse wurden einerseits anhand der simulierten Gebietsniederschläge mit einer Niederschlag-Abfluss-Modellierung

mittels LARSIM, andererseits auf der Grundlage historischer Flussprofile mit HEC-RAS, berechnet. Demnach übersteigt das Hochwasser von 1824 das bisher ausgewiesene HQ_{extrem} , die Abflüsse von 1882 entsprechen dem derzeitigen HQ_{100} .

Summary

The integration of extreme historical floods in the contemporary flood protection contributes towards improved risk management and safer handling of floods in the future. The BMBF project "Xfloods" reconstructed the discharges of the extreme floods in 1824 and 1882 in the Neckar River catchment using historical data. Historical quantitative and qualitative sources were harnessed to simulate the regional atmospheric circulation patterns, the weather conditions, and the precipitation distribution associated with the events. Discharges were calculated, on the one hand, by a rainfall-runoff simulation with the water-balance model LARSIM, and, on the other hand, from historical river profiles using HEC-RAS. Thus, the flood of 1824 exceeds the declared HQ , the discharges of 1882 correspond to the design HQ_{100} .

Anschriften der Verfasser:

Dr. D. Sudhaus
Prof. Dr. W. Konold
Institut für Landespflege
Tennenbacher Straße 4
79106 Freiburg
dirk.sudhaus@geographie.uni-freiburg.de

Dr. K. Bürger
Dr. J. Seidel
Prof. Dr. R. Glaser
Institut für Physische Geographie
Werthmannstraße 4
79085 Freiburg

Dr. P. Dostal
Dr. F. Imbery
Prof. Dr. H. Mayer
Meteorologisches Institut
Werthmannstraße 10
79085 Freiburg

Literaturverzeichnis

- ANSELL, T.J., P.D. JONES, R.J. ALLAN, D. LISTER ET AL. (2006): Daily Mean Sea Level Pressure Reconstructions for the European-North Atlantic Region for the Period 1850-2003. – *Journal of Climate*, Bd. 16, S. 2717–2742. DOI: 10.1175/JCLI3775.1
- BARDOSSY, A. & F. FILIZ (2005): Identifications of flood producing atmospheric circulation patterns. – *Journal of Hydrology*, Bd. 313, S. 38-58
- BENITO, G., T. OUARDA & A. BARDOSSY (2005): Applications of paleoflood hydrology and historical data in flood risk analysis. – *Journal of Hydrology*, Bd. 313, S. 1-3
- BÜRGER, K., P. DOSTAL, J. SEIDEL, F. IMBERY, M. BARRIENDOS, H. MAYER & R. GLASER (2006): Hydrometeorological reconstruction of the 1824 flood event in the Neckar River basin (southwest Germany). – *Hydrological Sciences Journal*, Bd. 51, S. 864-877
- BÜRGER, K., J. SEIDEL, R. GLASER, D. SUDHAUS, P. DOSTAL & H. MAYER (2007): Extreme floods of the 19th century in southwest Germany. – *Houille Blanche*, Bd. 1/2007, S. 67-73
- CENTRALBUREAU FÜR METEOROLOGIE UND HYDROGRAPHIE (1893): Die Wassermengen der fließenden Gewässer im Großherzogthum Baden. – *Beiträge zur Hydrographie des Grossherzogthums Baden* 8. Heft, Berlin
- DOSTAL, P., K. BÜRGER, J. SEIDEL, R. GLASER, H. MAYER, F. IMBERY & D. RIEMANN (2007): Lernen aus der Vergangenheit: Historische Hochwasseranalyse – ein Beitrag für den heutigen Hochwasserschutz. – *Ber. Dt. Landeskunde*, Bd. 81(3), S. 233-245
- GERSTENGABE, F.-W. & P. WERNER (1993): Katalog der Großwetterlagen Europas nach Paul Hess und Helmuth Brezowski 1881–1992. – DWD, Offenbach
- GLASER, R. & H. STANGL (2004): Climate and floods in Central Europe since AD 1000: data, methods, results and consequences. – *Surveys in Geophysics*, Bd. 25(5/6), S. 485–510
- HYDROLOGIC ENGINEERING CENTER (2005): Hydrologic Engineering Centers River Analysis System (HEC- RAS). – <http://www.hec.usace.army.mil/software/hec-ras/hecras-hecras.html>
- IPCC (2007): Climate Change 2007 – Impacts, Adaptation and Vulnerability Contribution of Working Group II to the Fourth Assessment Report of the IPCC. – Cambridge University Press, New York
- JACOBEIT, J., R. GLASER, J. LUTERBACHER & H. WANNER (2003): Links between flood events in Central Europe since AD 1500 and the large-scale atmospheric circulation modes. – *Geophysical Research Letters* 30/4: S. 1172-1175, DOI: 10.1029/2002GL016433
- KLIWA (2005): Klimawandel in Baden-Württemberg. – LfU Baden-Württemberg. – <http://www.kliwa.de>
- KÖNIGLICHES MINISTERIUM DES INNERN (1896): Verwaltungsbericht der Königlichen Ministerialabteilung für den Strassen- und Wasserbau für die Rechnungsjahre vom 1. Februar 1893/94 und 1894/95, Stuttgart
- KÖNIGLICHES MINISTERIUM DES INNERN (1901): Verwaltungsbericht der Königlichen Ministerialabteilung für den Strassen- und Wasserbau für die Rechnungsjahre vom 1. Februar 1897/98 und 1898/99, Stuttgart
- LFU, LANDESANSTALT FÜR UMWELTSCHUTZ (2005): Abflusskennwerte in Baden-Württemberg. – *Oberirdische Gewässer/Gewässerökologie* 94, CD-ROM, Karlsruhe
- LUDWIG, K. & M. BREMIKER [Hrsg.] (2007): The Water Balance Model LARSIM – Design, Content and Applications. – *Freiburger Schriften zur Hydrologie*, Bd. 22, 130 S.
- RICHTER, D. (1995): Ergebnisse methodischer Untersuchungen zur Korrektur der systematischen Meßfehler des Hellmann-Niederschlagsmessers. – *Berichte des Deutschen Wetterdienstes*, Bd. 194, 93 S.
- SAUER, V.B., R.E. CURTIS, L.R. SANTIAGO & R. GONZALES (1984): Quantifying flood discharges in mountain tropical streams. – *Int. Symp. Trop. Hydrol. and 2nd Caribbean Islands Water Resour. Congr. Proc.*, S. 104-108
- SCHMIDT, M. (2000): Hochwasser und Hochwasserschutz in Deutschland vor 1850 – Eine Auswertung alter Quellen und Karten. – München