

# **Ein WebGIS zu historischen und rezenten Druckwasserflächen am Oberrhein**

Richard LEINER und Alexander ZIPF

## **Zusammenfassung**

Auf Basis umfangreicher Arbeiten zur Hochwasserdynamik für ein Untersuchungsgebiet am Oberrhein, einem hochauflösenden digitalen Geländemodell, sowie verschiedenen Datensätzen und Kartierungen historischer Hochwasserereignisse wurde ein empirisches Überschwemmungsflächenmodell erstellt (LEINER 2003), das insbesondere die oft vernachlässigten Druckwasserflächen mitberücksichtigt. Die Ursprungsdaten und Analyseergebnisse wurden in eine WebMapping-Anwendung integriert und dynamisch mit den online verfügbaren, aktuellen, amtlichen Wasserstandsvorhersagen verknüpft, sodass eine Darstellung gefährdeter Gebiete in Abhängigkeit vom aktuellen Wasserstand möglich wird.

## **1 Erfassung von Überschwemmungsflächen**

GIS-basierte Überschwemmungsflächenmodelle sind unerlässliche Hilfsmittel für eine vorausschauende Raumplanung in Flussauen und die Gefahrenabwehr im Hochwasserfall. Während für die Belange der Raumplanung oftmals eine räumlich exakte Identifizierung von potenziell überschwemmungsgefährdeten Flächen ausreicht, benötigt die Gefahrenabwehr Modelle, welche neben der räumlichen auch die zeitliche Dynamik der Überschwemmungsflächen während eines Hochwasserereignisses beschreiben. Die Entwicklung praxistauglicher (d.h. verlässlicher), räumlich und zeitlich hoch aufgelöster Inundationsflächenmodelle ist jedoch ohne eine fundierte empirische Untersuchung der realen Überschwemmungsdynamik des jeweils betrachteten Gewässerabschnitts kaum zu leisten. Dies gilt insbesondere für Druckwasserflächen (s.u.). Am Beispiel eines Untersuchungsgebietes am Oberrhein wird im Folgenden die Bedeutung empirischer Untersuchungen zur Überschwemmungsflächendynamik für die Entwicklung von Vorhersagemodellen diskutiert. Es soll gezeigt werden, dass sich zahlreiche Fragestellungen zur Überschwemmungsdynamik bereits mittels induktiver Modellansätze beantworten lassen. Die Untersuchungsergebnisse werden Interessierten und Entscheidungsträgern über ein internetbasiertes Informationssystem frei zur Verfügung gestellt. Dieses beinhaltet insbesondere auf Open Source-Software basierende dynamische Karten und integriert die in der Untersuchung verwendeten Datensätze unter einer einheitlichen Web-Oberfläche, vgl. auch ZIPF & LEINER (2003a).

### **1.1 Unterscheidung von Überschwemmungsflächentypen**

Zunächst ist bei der Erstellung von Hochwassermodellen zu berücksichtigen, dass die Überschwemmungsflächen in einem Gewässersystem verschiedene Entstehungsursachen haben können und sich dementsprechend möglicherweise nicht mit nur einem einzigen Modellansatz beschreiben lassen. Grundsätzlich ist hinsichtlich ihrer Genese zwischen drei

verschiedenen Überschwemmungsflächentypen zu unterscheiden: a) den durch oberflächlich einströmendes Wasser gefluteten Überschwemmungsflächen, b) den Druckwasserflächen und c) den sich bei lang anhaltendem Einstau der Dämme nahe des Dammfußes bildenden Sickerwasserflächen. In offenen (nicht eingedeichten) Gewässersystemen entstehen Überschwemmungen während eines Hochwasserereignisses im einfachsten Falle durch das Ausuferen des Flusses und das oberflächliche Einströmen von Wasser in Geländesenken. In geschlossenen (eingedeichten) Systemen entstehen sie erst infolge des Versagens der Schutzbauten (z.B. durch die Überschreitung des Bemessungshochwassers). Während sich diese Gruppe von Überschwemmungsflächen z.B. mittels hydrodynamisch-numerischer (HN-)Modelle mit einem Geländemodell (DGM) recht gut am Rechner simulieren lassen (OBERLE et al. 2000, Simulation von Überschwemmungsflächen am Neckar), stellt die Vorhersage von Druckwasserflächen eine besondere Herausforderung dar. Als Druckwasser- oder Qualmwasserflächen bezeichnet man Überschwemmungsflächen, welche nicht durch oberflächlich einströmendes Wasser, sondern infolge eines hochwasserbedingten Grundwasserrückstaus entstehen. Je nach der Morphologie der Aue können Druckwasserflächen in großer Entfernung vom Fluss durch aus dem Untergrund aufquellendes Wasser entstehen. In geschlossenen Gewässersystemen verfügt dieser Überschwemmungsflächentyp oftmals über ein erhebliches Schadenspotenzial, da Druckwasser auch in den vermeintlich durch Dämme vor Hochwasser geschützten und z.T. intensiv genutzten Altauflächen (z.B. in Wohn- und Industriegebieten) austritt. Für eine Simulation dieser Inundationen sind HN/DGM-basierte Modelle nicht mehr ausreichend, da sie die komplexe Interaktion von Grundwasser und Hochwasser im Untergrund der Altaue aus methodischen Gründen und aufgrund fehlender Daten nicht berücksichtigen können. Einen Sonderfall der Druckwasserflächen stellt in urbanen Gebieten das Eindringen von Hochwasser in die Kanalnetze bzw. der Kanalwasserrückstau dar.

Die dritte Gruppe, die so genannten Sickerwasser-Sammelflächen, sind in geschlossenen Flusssystemen während lang anhaltender, starker Hochwasserereignisse zu beobachten. Nach einem längerem Einstau der Dämme tritt in den Untergrund eingesickertes Wasser in Quelltrichtern bzw. Quellhorizonten nahe dem Dammfuß aus und sammelt sich in Senken und Gräben. Je nach Dauer des Hochwasserereignisses können diese Flächen eine beachtliche Größe erreichen und in Dammnähe erhebliche Schäden anrichten bzw. die Nutzung der Deichverteidigungswege verhindern.

## **1.2 Erfassung der Inundationsdynamik am Oberrhein**

In einem Forschungsprojekt am Geographischen Institut der Universität Heidelberg wurde entlang eines etwa 20 km langen Rheinabschnitts südlich von Mannheim die rezente und historische Überschwemmungsflächendynamik der morphologischen Aue untersucht (LEINER 2003). Methodik und Ergebnisse der Arbeiten werden im Folgenden skizziert.

### **1.2.1 Fernerkundliche Methoden der Überschwemmungsflächenkartierung**

Mit dem Ziel, das Ausmaß der rezenten Überschwemmungen zu kartieren, wurden während verschiedener Hochwasserereignisse zwischen 1997 und 2001 Bildflüge mit Cessnas und einem Helikopter durchgeführt, bei denen Farbfilme und SW-Infrarotfilme zum Einsatz kamen. Die Erstellung der Luftbilder wurde begleitet von terrestrischen Überschwemmungsflächenkartierungen mittels Geländebegehungen. Erwartungsgemäß zeigte sich, dass eine direkte Identifizierung von Überschwemmungen im Luftbild nur in vegetationsfreien

Bereichen bzw. außerhalb der Vegetationsperiode möglich ist. Gerade in den Auwäldern der rezenten Aue bleibt die Geländebegehung deshalb eine kaum ersetzliche Methode zur Erfassung von Überschwemmungsflächen. Allerdings ließen sich in der morphologischen Aue diesseits des Rheinhauptdamms zahlreiche Druckwasserflächen im Luftbild indirekt über Vegetationsindikatoren ermitteln. Bei Hochwasserereignissen im Zeitraum Mai bis Juli wiesen vor allem Ackerflächen charakteristische Veränderungen des Pflanzenbewuchses auf. Auf den überschwemmten Flächen kam es je nach Vegetationsstadium und Pflanzenart zu deutlich im Luftbild erkennbaren Wachstumsstörungen, Farbveränderungen, dem völligen Absterben der Pflanzen sowie einer Besiedelung dieser Flächen durch andere Pflanzenarten. Während der lang anhaltenden Überschwemmungen des „Jahrhunderthochwassers“ von 1999 bildeten sich auf einigen Überschwemmungsflächen sogar Algenteppiche. Diese waren auch nach dem völligen Austrocknen der Flächen z.T. noch nach mehreren Wochen im Luftbild eindeutig zu erkennen. Eine Software-basierte Identifizierung derartiger Vegetationsindikatoren über ihre Grauwerte erwies sich im panchromatischen Schwarzweißluftbild nicht als sinnvoll. Eine visuelle Interpretation und Vektorisierung der Flächen am Bildschirm im GIS durch einen geschulten Luftbildinterpreten ist deshalb Verfahren wie der überwachten oder unüberwachten Klassifizierung vorzuziehen. Für weitere Ausführungen hierzu siehe LEINER 2003, S. 67ff. Allerdings erleichterten Texturanalysen die visuelle Interpretation der Luftbilder. Die besten Ergebnisse wurden mit einem  $3 \times 3$ -Pixel großen Varianzfilter erzielt.

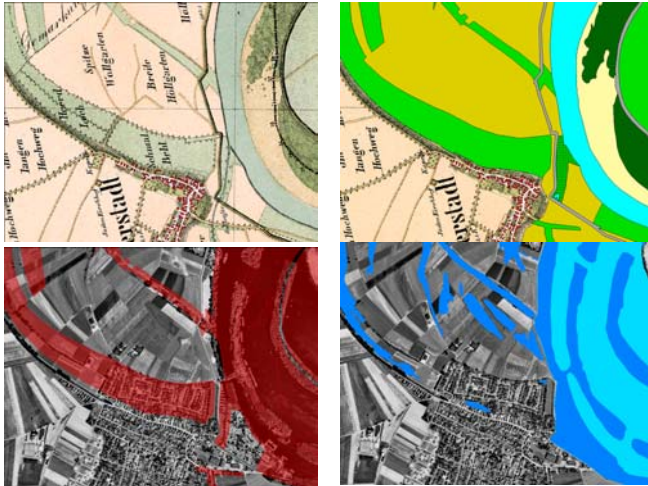
Neben der Erfassung der rezenten Überschwemmungen wurden auch „historische“ Fernerkundungsdaten auf Hinweise zur einstigen Überschwemmungsflächenentwicklung hin untersucht. Für den Zeitraum von 1930 bis 1999 konnten allerdings lediglich für zwei der 14 größeren Hochwasserereignisse brauchbare Luftbildszenen und keine Satellitenbildszenen gefunden werden. Dies hängt damit zusammen, dass Hochwasserereignisse oft mit wolkenreichen Wetterlagen einhergehen. Die Erstellung der Luftbilder war im Mai 1999 z.B. nur deshalb möglich, weil die Befliegungen z.T. bei leichtem Regen unterhalb einer geschlossenen Wolkendecke durchgeführt wurden. Die panchromatischen SW-Senkrecht-aufnahmen wurden georeferenziert, ausgewertet und mit den aktuellen Überschwemmungsflächenkartierungen der Jahre 1997 bis 2001 verglichen. Das Ergebnis der Luftbildinterpretation und Geländebegehungen war die Zuordnung des empirisch ermittelten Ausmaßes von Überschwemmungsflächen zu jeweils einem bestimmten Rheinwasserstand.

### 1.2.2 Untersuchung rezenter Druckwasserflächen

Die Überschwemmungsflächenkartierungen zeigten sehr deutlich, dass gerade die in den gängigen DGM-basierten Modellen nicht berücksichtigten Druckwasserflächen über ein erhebliches Schadenspotenzial verfügen. Während des Pfingsthochwassers im Mai 1999 wurden beispielsweise in der morphologischen Aue zahlreiche Wohn- und Gewerbegebiete durch Druckwasser geschädigt sowie große Teile der Ernte vernichtet. Die durch das Ausufer des Flusses, also durch oberflächlich einströmendes Wasser verursachten Schäden, waren hingegen vergleichsweise gering. Eine exemplarische Untersuchung von Druckwasserflächen mittels Wasserstandsmessungen ergab, dass der Wasserstand in diesen Flächen nicht immer mit dem des Flusses korrelierte. So konnten Flächen beobachtet werden, in denen das Wasser weiter anstieg, während der Flusswasserstand im gleichen Zeitraum um mehrere Meter absank. In den flussnahen Druckwasserflächen folgte der Wasserstand jedoch in der Regel mit einer dreitägigen Verzögerung der Wasserstandsentwicklung des Flusses nach. Wie Bodensondierungen ergaben, wurde die Überschwemmungsflächendy-

namik von Druckwasserflächen von der Verteilung wasserhemmender bzw. -leitender Sedimente stark beeinflusst. Die Untersuchungen verdeutlichen, dass eine Simulation von Druckwasserflächen am Rechner nur unter erheblichem Arbeits- und Finanzierungsaufwand realisierbar ist und ohne eine fundierte Untersuchung der Strömungsprozesse im Untergrund keine praxistauglichen Ergebnisse liefern kann.

### 1.2.3 Auswertung historischer Karten



**Abb. 1:** Beispielhafter Vergleich historischer und rezenter Daten (aus Rheinstromatlanten 1828, 1856, 1875, Überflutungsgebiete und Luftbilder 1999) (LEINER 2003). Weitere Abbildungen mit Erläuterungen finden sich in der Online-Version.

Die systematische Auswertung historischer Karten des Untersuchungsgebietes zeigte, dass über die historische Landnutzung z.T. Rückschlüsse auf die gegenwärtige Verbreitung von potenziell durch Druckwasser gefährdete Flächen gezogen werden können. Eine GIS-gestützte Analyse historischer Karten scheidet in den meisten Fällen an ihrer unzulänglichen geodätischen Genauigkeit

Für das Untersuchungsgebiet lag jedoch glücklicherweise das hervorragende Kartenwerk der Rheingrenzkarten von 1856 und 1875 vor. Die Karten wurden vom Soldnerschen Koordinatensystem in das Gauß-Krüger-System transformiert (vgl. JACOBS 2002). Da die Oberrheinkorrektur des 19. Jahrhunderts mit tiefgreifenden Meliorationsmaßnahmen und einer Intensivierung der Landnutzung einherging, war die Arbeitshypothese, dass die in der Aue neu gewonnenen Nutzflächen der intensivsten Landnutzung zugeführt wurden, welche die jeweiligen Standortvoraussetzungen zuließen. Eine extensive Flächennutzung (z.B. Wald, Weide) zu Anfang des 19. Jh. wurde dementsprechend als Indikator für häufige Überschwemmungen oder zumindest für eine starke Vernässung des Bodens gewertet. Der Vergleich der historischen Flächennutzung mit den rezenten Überschwemmungen im GIS ergab, dass 89,3 % der während des „Jahrhunderthochwassers“ von 1999 aufgetretenen Druckwasserflächen innerhalb der im Jahre 1856 extensiv genutzten Flächen lagen. Der Einfluss von Veränderungen der Aue (z.B. durch Bebauung oder Entkiesung) sowie von Sickerwassersammelflächen wurde berücksichtigt (vgl. JACOBS 2002).

## 2 Pegelstand-abhängige Prognose von Überschwemmungen

Auf der Basis der Auswertung von historischem und rezenten Luftbildmaterial sowie den Geländebegehungen während verschiedener Hochwasserereignisse konnte für zahlreiche Rheinwasserstände das zugehörige Überschwemmungsflächenausmaß ermittelt werden. Für diejenigen Wasserstände, für die keine Kartierungen vorlagen wurden die Inundationsflächen anhand der am nächsten erfassten Wasserstände sowie eines DGHM des Untersuchungsgebietes interpoliert (vgl. HILPISCH 2002). Mit diesem Verfahren wurden für das Untersuchungsgebiet Überschwemmungsflächenprognosen sowohl für direkte, oberflächlich geflutete als auch für Druckwasserflächen erstellt. Als Referenzpegel wurde der Pegel Speyer gewählt; der Abstand zwischen zwei Überschwemmungsflächenszenarien beträgt 50 cm. Das Ergebnis liegt als vektorielle Shape-Dateien vor. Die Datenmenge des hochauflösenden DGM ist im Rohzustand zu groß für eine 3D-Visualisierung im Internet. Daher werden in aktuellen Arbeiten im FB Geoinformatik und Vermessung der FH Mainz an einer automatischen Reduktion der Datenmenge zu einer Online-Darstellung in einem Web-tauglichen 3D-Format (VRML) gearbeitet (KRONES 2004, MONZEL 2004).

## 3 Umsetzung im WWW mit Integration aktueller Pegelstände

Die Integration der Daten in den UMN MapServer sowie die darauf aufbauende Internet-Anwendung wurde an der FH Mainz, Fachbereich Geoinformatik und Vermessung realisiert und basiert softwaretechnisch auf einer Erweiterung der in VOGT und ZIPF (2004) beschriebenen Architektur<sup>1</sup>. Eine detaillierter technische Beschreibung findet sich in VOGT (2004). Die verschiedenen Datensätze (Raster- und Vektordaten der Analyseergebnisse) und Ausgangsdaten (historische Karten, Luftbilder etc.) fließen in das realisierte Web-System ein und sind dort abrufbar. Insbesondere erfolgte eine dynamische Verknüpfung mit online verfügbaren aktuellen Pegelständen, sodass eine automatische Visualisierung aktueller Gefährdungsgebiete realisiert werden konnte. Die aktuellen Pegelstände für den Rheinverlauf werden im Internet zum Abruf bereitgehalten. Beim Aufruf der Anwendung wird der zugehörige Pegelstand in Speyer online abgefragt. Im Normalfall wird der ausgelesene aktuelle Wert in einem Textfeld angezeigt. Sollte die Abfrage zu dem Pegelstandserver scheitern, kann ein Wert manuell eingetragen werden. Sobald ein Pegelstand zwischen den vorgesehenen Maximalwerten 400 cm und 850 cm vorliegt, macht es Sinn, die Überschwemmungsflächenprognose für diesen aktuellen Wert anzuzeigen. Somit kann auf Basis der vorgestellten Überschwemmungsprognosen und der aktuellen Pegelstände die zum jeweiligen Pegelstand prognostizierten Überschwemmungsflächen visualisiert werden. Bei Wahl einer entsprechenden Option ist dies sogar automatisch möglich.

## 4 Zusammenfassung und Ausblick

Es konnte gezeigt werden, dass Hochwasserprognosemodelle auch Inundationsflächen durch Qualmwasser zu berücksichtigen haben, und dass derartige Informationen aus der

---

<sup>1</sup>Wir danken Frau Margaritha Vogt für die erfolgreiche Umsetzung der Web-Anwendung.

empirischen Analyse historischer Daten gewonnen werden können. Die Rohdaten als auch die Analyseergebnisse wurden in ein Online-System auf Basis des UMN Map Servers integriert. Die Web-Anwendung greift zusätzlich auf die online verfügbaren Wasserstandsmeldungen am entsprechenden Pegel und kann diese im Informationssystem mit verarbeiten. So werden beispielsweise automatische Darstellungen der aktuellen Gefährdungssituation und auch in Zukunft die automatische Aktivierung von Warnmeldungen möglich. Weitere aktuelle Arbeiten im Umfeld betreffen u.a. die Unterstützung mobiler Endgeräte mit GPS (Vorarbeiten hierzu: ZIPF & LEINER 2003b), die Unterstützung von Open GIS-Standards sowie eine optimierte 3D-Visualisierung des DGMs im Internet. Hervorzuheben ist große Praxistauglichkeit von Freier Software für derartige Web-Informationssysteme.

## Literatur

- HILPISCH, G. (2001): Hochwassersimulation am nördlichen Oberrhein mit Hilfe eines GIS. Diplomarbeit, Geographisches Institut, Universität Heidelberg
- JACOBS, C. (2002): Landschaftswandel im 19. Jahrhundert und rezente Druckwassergefährdung in den Auen des mittleren Oberrheins zwischen Phillipsburg und Mannheim – Eine Auswertung im GIS. Diplomarbeit, Geographisches Institut, Universität Heidelberg
- KIRSTEIN, A. (2002): Die zeitliche und räumliche Dynamik von Druckwasserflächen in den Rheinauen zwischen Mannheim und Altlußheim. Eine Modelluntersuchung zur Beurteilung von kleinräumigen Überschwemmungsflächen. Diplomarbeit, Geographisches Institut, Universität Heidelberg
- KRONES, M. (2004): Generierung optimierter 3D Landschaftsmodelle für das WWW. Diplomarbeit, FB Geoinformatik und Vermessung, FH Mainz (in Vorbereitung)
- LEINER, R. (2003): Erfassung und Modellierung der räumlichen und zeitlichen Überschwemmungsflächendynamik am Beispiel des nördlichen Oberrheins. Dissertation, Geographisches Institut, Universität Heidelberg
- LEINER, R. & A. ZIPF (2004): A Mobile GIS based Flood Warning and Information System. 2nd Symposium on Location Based Services and TeleCartography. Vienna, Austria
- MONZEL, A. (2004): 3D-Modelle im Katastrophenmanagement. Diplomarbeit, FB Geoinformatik und Vermessung, FH Mainz (in Vorbereitung)
- OBERLE P., THEOBALD S., EVADKOV O. & F. NESTMANN (2000): GIS-supported flood modelling by the example of the river Neckar. In: Kassel Rep. of Hydraulic Eng., 9/2000, 145-155
- UMN University of Minnesota: The UMN Web Map Server. <http://mapserver.gis.umn.edu/>
- VOGT, M. (2004): Entwicklung eines WebGIS für Anwendungen in der Stechmückenbekämpfung unter Verwendung freier Software. Masterarbeit, FB Geoinformatik und Vermessung, FH Mainz
- VOGT, M. & A. ZIPF (2004): Unterstützung der Stechmückenbekämpfung mittels web-basierter Neuaufnahme und Editieren von Geodaten mit Freier Software. In: STROBL, J. et al. (Hrsg.): Angewandte Geoinformatik 2004, 734-743. Wichmann, Heidelberg
- ZIPF, A. & R. LEINER (2003a): WebMapping für den Hochwasserschutz. Web-Mapping 2003. Kommunikation raumbezogener Informationen mit digitalen Medien. 20.-21. November 2003. Universität Potsdam, Hasso-Plattner-Institut, Potsdam
- ZIPF, A. & R. LEINER (2003b): Anforderungen an mobile Geodatenbanken für Katastropheninformations- und -warnsysteme. Workshop „Datenbankmechanismen für mobile Anwendungen“ Mobile Datenbanken & Informationssysteme (MDBIS). Karlsruhe