

GIS-gestützte Kartierung hochwasserschutzrelevanter topographischer Informationen mit HRSC-Daten

TOBIAS KRÜGER, MANFRED F. BUCHROITHNER, Dresden & FRANK LEHMANN, Berlin

Keywords: high-resolution stereo camera, flood protection, topographic mapping, digital surface model

Zusammenfassung: Die vorliegende Studie untersucht unter dem Eindruck des Hochwasserereignisses in Mitteleuropa vom August 2002 die Anwendbarkeit von Fernerkundungsdaten der HRSC-AX zu Hochwasserschutz Zwecken. Insbesondere wird untersucht, welche geomorphologischen Eigenschaften einer Deichlandschaft aus dem Digitalen Oberflächenmodell bestimmt werden können, die für Planung und Durchführung von Hochwasserschutzmaßnahmen relevant sind. Zur Verfügung standen Daten zweier Befliegungen des Tagebaurekultivierungsgebietes Goitzsche bei Bitterfeld in Sachsen-Anhalt. Vorbereitend wurden Recherchen über historische Hochwasserereignisse sowie die Entwicklung des Deichausbaus an diesem Abschnitt der Vereinigten Mulde durchgeführt. Die Studie zeigt, dass neben Informationen über die gegenwärtige Situation wie Deichhöhe und -profil auch Rückschlüsse auf ehemalige Flussverläufe gezogen werden können. Für ein Deich-Monitoring ist dies von Interesse, wenn, wie im vorliegenden Fall, diese Paläomäander von Deichen geschnitten werden.

Summary: *GIS-Based Mapping of Topographic Information Essential for Flood Protection Purposes Using HRSC Data.* Under the impression of the August 2002 flood catastrophe in Central Europe the present study investigates the usability of data acquired by the HRSC-AX remote sensing system for flood protection purposes. Thereby, the extraction of geomorphological features of embankment landscapes from the HRSC-derived digital surface model was of particular interest, since they can be essential for flood mitigation. The available data were initially acquired for documenting the stage of recultivation of the former brown coal mining site Goitzsche near the town of Bitterfeld in the German Federal State of Saxony-Anhalt. Complementary, a study has been carried out about historical flood events and the development of the embankment system of this particular section of the River Mulde. The results demonstrate that it is possible to get information not only about recent features like embankment heights and dyke profiles but also about ancient river beds. Those palaeo-meanders are of special interest when they are directly affecting the body of the dams as it is the case in the area investigated.

1 Einleitung

Für eine effiziente Planung und Durchführung von Hochwasserschutzmaßnahmen ist eine genaue Kenntnis der Landschaft und ihrer Besonderheiten unabdingbar. Dazu gehört neben der momentanen topographischen Zustandsbeschreibung und der fortlaufenden Aktualisierung derselben auch das Wissen über die historische Entwicklung. Die vorliegende Studie führt am Bei-

spiel des Muldegebiets bei Bitterfeld nördlich von Leipzig historische Informationen über Hochwasserereignisse, den Informationsgehalt älterer und aktueller topographischer Karten und eine Kartierung von Landschaftselementen mittels HRSC-Daten zusammen.

Ziel der Arbeit war es, mittels HRSC-Daten Rückschlüsse auf die frühere Geländebeschaffenheit zu ziehen, d. h. insbesondere den eingedeichten Bereich eines Flusses auf

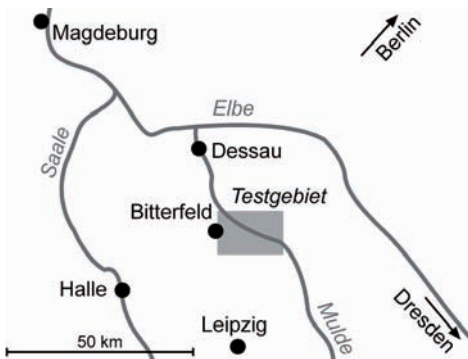


Abb. 1: Lage des Untersuchungsgebietes.

vormalige Flusschlingen, sog. Paläomäander, zu untersuchen. Derartige Informationen könnten für eine weiterführende Planung und Durchführung von Deichbauarbeiten von Interesse sein, da über die Ufer tretende Fließgewässer bevorzugt in ihre ehemaligen Verläufe zurückkehren. Das Testgebiet erstreckt sich entlang der Vereinigten Mulde nahe Bitterfeld. Für die Untersuchungen wurden HRSC-Daten, die aus Befliegungen des nahe gelegenen Bergbausanierungsgebietes Goitzsche stammten, verwendet.

2 Hochwasserereignisse an der Mulde

Zunächst wurde nach historischen Hochwasserereignissen recherchiert, um die Notwendigkeit eines effizienten Hochwasserschutzes zu unterstreichen, KRAUSE (1969) führt am Beispiel von Grimma, das vom Muldehochwasser 2002 besonders stark in Mitleidenschaft gezogen worden war, zahlreiche Ereignisse auf, die historisch belegt sind. Er bezieht sich dabei auf Aussagen einer Stadtchronik von 1856. Das erste Zeugnis eines Schaden verursachenden Hochwassers stammt aus dem Jahr 1306, als in der Stadt sechzehn Häuser und ein Teil der Stadtmauer zerstört wurden. Für die folgenden Jahrhunderte verzeichnet die Chronik zahlreiche Einträge. Das Hochwasser vom 14. 8. 1573, für das ein Pegel von 636 cm angegeben wird, blieb mehrere Jahrhunderte unübertroffen. Die zwei größten Ereignisse im zwanzigsten Jahrhundert fanden 1954

(700 cm) und am 13. 8. 2002 (868 cm) statt. Eine Aufstellung der dokumentierten Flutkatastrophen lässt deutlich werden, dass sich die Intervalle zwischen den Ereignissen in jüngerer Zeit stabilisieren. Aufgrund der unvollständigen und insbesondere in weit zurückliegenden Epochen fragwürdigen Datenlage ist eine exakte statistische Auswertung nicht möglich. Jedoch kann wohl davon ausgegangen werden, dass Ereignisse größeren Ausmaßes in Abständen von ca. vierzig Jahren auftreten.

3 Aufbau des Deichsystems im Untersuchungsgebiet

Ein systematisch geplanter und durchgeführter Deichbau beginnt Mitte des neunzehnten Jahrhunderts. Durch Vergleich der aktuellen TK25 mit der damals erstmals aufgenommenen Karte 1:25000 im Normalblattschnitt (Messtischblatt) ist es möglich, Landschaftsvergleiche durchzuführen. Hinsichtlich des Aufbaus des Deichsystems lassen sich anhand der Kartenserie folgende Schlussfolgerungen ziehen: Zur Zeit der Aufnahme der ersten Messtischblätter (um 1850) waren die wichtigsten Muldedeiche bereits vorhanden. Im Laufe der folgenden Jahrzehnte wurde das System weiter ausgebaut, allerdings hauptsächlich in einem Gebiet, in dem später Tagebaue aufgeschlossen worden sind. Der heute vorhandene Deichkörper geht in seiner Substanz somit auf die Mitte des neunzehnten Jahrhunderts zurück. Das hohe Alter der Deiche dürfte eine Ursache für das Versagen beim Hochwasser 2002 und die damit verbundenen Deichbrüche gewesen sein. Diese Feststellung wird



Abb. 2: Mulde mit Muldestausee und Tagebaurestloch bei Bitterfeld.

gestützt durch ein Gutachten der Internationalen Kommission zum Schutz der Elbe (IKSE), das bereits 2001 auf Schwachstellen hingewiesen hatte. Damals wurden 86 Prozent der Elbdeiche als sicherheitstechnisch unzureichend klassifiziert. Die Situation der Muldedeiche dürfte ähnlich schwierig sein.

4 HRSC-Daten zur Merkmalsextraktion einer Deichlandschaft

4.1 Allgemeines zu HRSC-Daten

Die High Resolution Stereo Camera (HRSC), entwickelt vom Deutschen Zentrum für Luft- und Raumfahrt (DLR), arbeitet nach dem Prinzip eines Pushbroom-Scanners. Neun CCD-Zeilen sind unter voneinander abweichenden Blickwinkeln parallel in der Fokalebene der Instrumentenoptik montiert. Während der Vorwärtsbewegung des Flugzeugs werden zeitgleich neun sich überlappende Bildstreifen aufgenommen. Die Technologie ermöglicht die rasche Erstellung von Oberflächenmodellen, True-Ortho-Bildern (RGB und CIR) und Anaglyphen. Die Auflösung beträgt 20 cm bei 5000 m Flughöhe, die erreichbaren Genauigkeiten liegen im Subpixelbereich. Ausführliche Beschreibungen des Aufnahmesystems, der Datenprozessierung und -aufbereitung sind an anderer Stelle nachzulesen (WEWEL et al. 1998, WEWEL & SCHOLTEN 2000).

4.2 Vorliegende Daten

Beim DLR lagen Daten zweier Befliegungen des Tagebaurestloches Goitzsche bei Pouch vor. Der erste Datensatz stammt vom Juli 2001, der zweite vom September 2002. Durch Vor- und Nachlauf sind jeweils auch Gebiete der Mulde mit ihren Deichen abgebildet worden; letztere Bildausschnitte lagen dieser Untersuchung zugrunde. Für die vorliegende Studie wurden vorrangig die Digitalen Oberflächenmodelle herangezogen, da die Studie auf geomorphologische Aspekte abzielt. Die DOM weisen eine Bodenauflösung von 100 cm in X- und Y-Richtung sowie 10 cm in Z-Richtung auf, d. h. ein Grau-



Abb. 3: Gebietsabdeckung der vorliegenden HRSC-Daten.

wertunterschied von 1 DN entspricht einem Höhenprung von 1 dm.

4.3 Deichextraktion

Die Nutzung des HRSC-Oberflächenmodells (DOM) zur Deichbeobachtung kann auf unterschiedliche Weise erfolgen. Zunächst ist es notwendig, das DOM in ein Geländemodell (Digital Terrain Model, DTM) umzuwandeln. Dafür wird ein am DLR entwickelter Algorithmus (MAYER 2003) verwendet, der das DOM auf signifikante Höhengsprünge innerhalb einer Suchumgebung, deren Größe variabel auf die Erfordernisse des Geländes abgestimmt werden kann, untersucht. Eine einfache Grenzwertfilterung ermöglicht anschließend die Trennung in Grund- und Nicht-Grundpunkte und die Erstellung einer Maske der erhöhten Objekte (Non-Ground Model, NGM). Anschließend werden für die maskierten Bereiche die fehlenden Grundpunkte aus der Umgebungshöhe interpoliert. Dadurch können Bäume, Gebäude und andere Objekte zuverlässig aus dem DOM entfernt

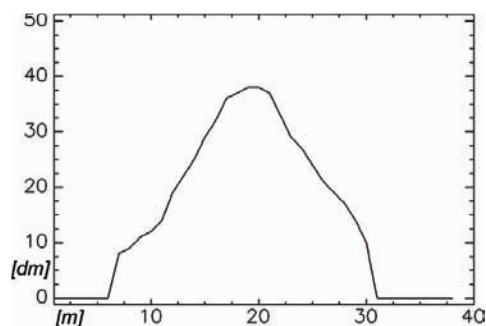


Abb. 4: Exemplarisches Deichprofil.

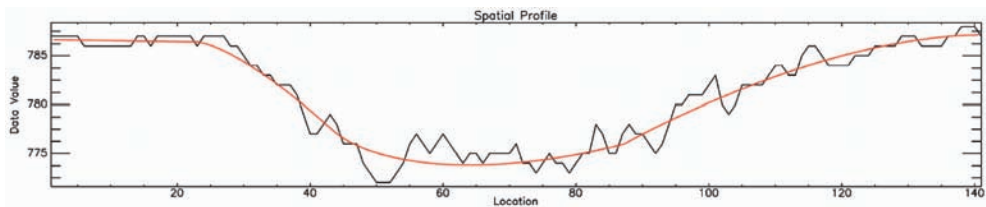


Abb. 5: Profilschnitt durch einen Paläomäander (x: Meter, y: Zentimeter).

werden. Durch Differenzbildung mit dem neu entstandenen DTM entsteht ein Über-Grund-Modell (Above Ground Model, AGM), aus dem die relativen Objekthöhen direkt abgelesen und Deichquerschnitte erstellt werden können, die ebenfalls die Deichbreite zeigen. Mit dieser Methode wurden in der Untersuchung teilweise fehlerhafte Karteninformationen der TK25 nachgewiesen. An einigen Stellen unterschreiten die abgeleiteten Deichhöhen die Kartenangabe um mehr als einen Meter (KRÜGER 2004).

4.4 Paläomäander

Das DOM/DTM der HRSC erlaubt es, Höhendifferenzen von 10 cm zu unterscheiden. In Verbindung mit der räumlichen Auflösung von 1 m² pro Pixel ermöglicht dies das Erkennen von Niveauunterschieden im Dezimeterbereich. Solch feine Strukturen sind nicht in der TK25 verzeichnet, allerdings können sie bei einem Anstieg des Wasserspiegels Bedeutsamkeit erlangen. Werden in dem durch den Algorithmus von MAYER (2003) erzeugten DTM die Geländehöhen von 770 dm bis 990 dm (der Bereich der Flussniederung) farbkodiert, sind deutlich vertiefte schlingenförmige Strukturen erkennbar, v. a. südlich des heutigen Flusslaufs. Anhand des auf diese Weise farbkodierten DTM konnten Paläomäander identifiziert und in das auf topographischen Karten basierende GIS eingebunden werden. Ihr linearer Verlauf wurde manuell nachgezeichnet und anschließend einer Pufferung unterzogen. Dadurch entstanden 50 m breite Vektorbänder, die in etwa mit der heutigen Flussbreite übereinstimmen. Eine Verschneidung dieser Vektoren mit Informationen aus geologischen Karten (Geologische

Karte 1:25000, GK25) zeigt, dass sich die Verbreitung der mutmaßlichen Paläomäander mit der Ausdehnung holozäner Sedimente im Flusstal deckt.

Analog zur Bestimmung von Deichhöhen und -breiten können auch Profilschnitte der Paläomäander aus den HRSC-Daten gewonnen werden. Im Querschnitt wird die Geringfügigkeit der Höhenunterschiede deutlich: Auf eine Entfernung von 20–30 m beträgt die Differenz etwa 100 cm oder weniger. Im Landschaftsbild oder gar in einer topographischen Karte sind solche Reliefstrukturen nicht erkennbar. Paläomäander lassen sich also durch folgende Merkmale als ehemalige Flussschlingen verifizieren:

1. Im farbkodierten Oberflächen- bzw. Geländemodell sind im weiteren Bereich um die Flussufer deutlich linienhafte Vertiefungen in der Geländeoberfläche sichtbar, die durch ihre Schlingenform auf Mäanderbildung hinweisen. Ihre Größe, d. h. ihr Krümmungsradius, kommt dem der noch vorhandenen Mäander nahe.
2. Der geologische Unterbau besteht aus holozänen Sedimenten, d. h. vorrangig aus Sanden und Kiesen, die im ehemaligen Urstromtal abgelagert worden sind.

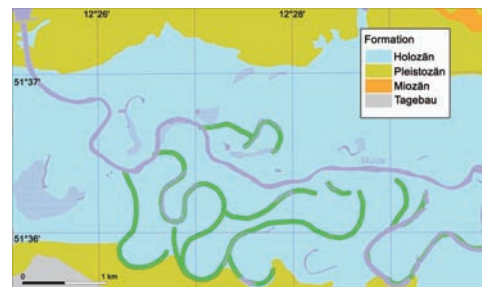


Abb. 6: Kartierung der Mulde und ihrer Paläomäander in Relation zu den geologischen Schichten.

3. Das Gelände steigt mit zunehmender Entfernung von der digitalisierten Linie an. Der Anstieg lässt sich nicht pauschal quantifizieren, da die Ränder der Paläomäander nicht eindeutig genug festlegbar sind, ist aber dennoch durch die beschriebene Methode nachzuweisen.

4. Teilweise sind noch Altarme des Flusses vorhanden, wobei es sich auch um in der Karte ausgewiesenes sumpfiges Gelände handeln kann. Solche Wasserlöcher werden in allen Ausgaben der topographischen Karten oft mit „Alte Mulde“ bezeichnet.

5 Fazit

Die vorliegende Studie zeigt einige Möglichkeiten auf, die der Einsatz von HRSC-Daten für den Hochwasserschutz bietet. Am konkreten Beispiel konnten mit ihrer Hilfe einige bedeutsame Merkmale des Fluss- und Deichsystems ermittelt werden. Dazu gehören die tatsächlichen Deichhöhen, die durch die Normierung des DOM direkt abgeleitet werden können. Hier zeigte sich, dass die Angaben in der TK25 teilweise beträchtlich von den ermittelten Werten abweichen. Bei einer gleich bleibenden Qualität der HRSC-Daten ist es möglich, durch multitemporale Aufnahmen das Gelände an kritischen Punkten gezielt zu überwachen. Insbesondere im Überschwemmungsbereich der jährlichen Hochwasser können Veränderungen im Relief identifiziert werden. Dies ermöglicht die Anwendung von HRSC-Daten zur Quantifizierung von Erosionen und Sedimentationen nach Hochwasserereignissen.

Die hohe Auflösung des HRSC-Oberflächenmodells erlaubt weiterhin das Auffinden und Kartieren alter Flussbetten, selbst aufgrund von deren sehr geringen Geländevertiefungen. Mit Hilfe des HRSC-Höhenmodells konnten einige solcher Strukturen identifiziert und kartiert werden. Anhand mehrerer Merkmale wurde verifiziert, dass es sich in der Tat um verfüllte Flusschlingen handelt. Durch Kartierung dieser Paläomäander in Relation zum Deichsystem kann letzteres gezielt auf Schwachstellen hin untersucht werden, an denen die Deiche im

Hochwasserfall einer besonderen Belastung ausgesetzt sind.

6 Literatur

- KRAUSE, R., 1969: Untersuchungen historischer Hochwasserereignisse zur Verbesserung der Genauigkeit der Ermittlung statistischer Hochwässer. – Wasserwirtschaft-Wassertechnik (WWT), 19 (1).
- KRÜGER, T., 2004: Einsatz von HRSC-Daten zur GIS-basierten Kartierung für Hochwasserschutz. Demonstrationsbeispiel Bitterfeld. – Diplomarbeit. Technische Universität Dresden, Institut für Kartographie, Dresden (unveröffentlicht).
- MAYER, S., 2003: Automatisierte Objekterkennung zur Interpretation hoch auflösender Bilddaten in der Erdfernerkundung. – Dissertation. Mathematisch-Naturwissenschaftliche Fakultät II der Humboldt-Universität zu Berlin.
- PLESS, S. & GWINNER, K., 2002: Einsatz der HRSC-AX zur Quantifizierung von Hochwasserschäden. – Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V. Berlin (unveröffentlicht).
- WEWEL, F. et al., 1998: Digitale Luftbildaufnahme mit der HRSC – Ein Schritt in die Zukunft der Photogrammetrie. – Photogrammetrie · Fernerkundung · Geoinformation 1998 (6): 337–348.
- WEWEL, F. & SCHOLTEN, F., 2000: Erstellung von Digitalen Oberflächenmodellen mit dem Mehrzeilen-Stereo-Scanner HRSC-A. – Publikation der Deutschen Gesellschaft für Photogrammetrie und Fernerkundung, Bd. 8: 57–66.

Anschriften der Autoren:

Dipl.-Ing. TOBIAS KRÜGER,
 Prof. Dr. MANFRED F. BUCHROITHNER,
 Technische Universität Dresden
 Institut für Kartographie
 Helmholtzstr. 10, D-01062 Dresden
 e-mail: tobias-krueger@web.de
 manfred.buchroithner@mailbox.tu-dresden.de

Dipl.-Geol. FRANK LEHMANN
 Deutsches Zentrum für Luft- und Raumfahrt e. V.
 (DLR), Institut für Weltraumsensorik und Planetenerkundung
 Rutherfordstr. 2, D-12489 Berlin-Adlershof
 e-mail: frank.lehmann@dlr.de

Manuskript eingereicht: Juli 2004
 Angenommen: August 2004