

GIS-gestützte Bestimmung von Überschwemmungsgebieten auf Basis von Laserscannerdaten, Echolotprofilen und Pegelwerten

Gotthard MEINEL, Ulrich SCHUMACHER und Egbert ELEFANT

Zusammenfassung

Durch gesetzlichen Auftrag (Sächsisches Wassergesetz) sind in Zukunft für hochwassergefährdete Gewässer rechtsverbindliche Überschwemmungsgebiete in Sachsen auszuweisen. In diesem Zusammenhang wurde für die Elbe im Landkreis Sächsische Schweiz ein Pilotprojekt durchgeführt. Dieses Projekt im Auftrag des zuständigen Staatlichen Umweltfachamtes wurde vom Ingenieurbüro ÖkoProjekt ElbeRaum GmbH (hydraulische Modellierung) in Kooperation mit dem Institut für ökologische Raumentwicklung, e.V. (GIS-Modellierung) bearbeitet. Dabei waren sowohl die topographischen Gegebenheiten der Uferbereiche als auch die hydraulischen Verhältnisse der Elbe zu berücksichtigen. Die hydraulische Modellierung basierte auf Höhendaten aus Echolotprofilmessungen im Gewässerschlauch sowie Laserscanneraufnahmen. Für verschiedene Hochwasserereignisse erfolgte die Bestimmung der Überschwemmungsgebiete GIS-gestützt aus den Modellierungsergebnissen. Die Darstellung der Überschwemmungsgebiete auf der Basis topographischer Karten bildet die Grundlage für eine spätere rechtsverbindliche Ausweisung.

1 Einführung

Hochwasserereignisse zählen zu den folgenschwersten Umweltkatastrophen in Mitteleuropa. Allein in den letzten zehn Jahren traten zahlreiche schwere Hochwasser in Deutschland auf (Rhein, Mosel, Oder). Die Gefahren und Zerstörungen, die Hochwasser mit sich bringen, werden dabei häufig unterschätzt. Für die erforderliche Steuerung der baulichen Entwicklung in gefährdeten Gebieten ist die amtliche Ausweisung von Hochwasserlinien als Grundlage für baurechtliche Konsequenzen notwendig. So fordert das Sächsische Wassergesetz die Ausweisung rechtsverbindlicher Überschwemmungsgebiete für hochwassergefährdete Gewässer. Für die Elbe als Bundeswasserstraße und wichtigstem Fließgewässer Sachsens wurde ein entsprechendes Projekt im Landkreis Sächsische Schweiz bearbeitet. Das Untersuchungsgebiet erstreckt sich von der tschechisch-deutschen Grenze bis zur Dresdner Stadtgrenze (Flusskilometer 0,0 bis 39,8). Während der Bearbeitung musste einerseits stark reliefiertes Gelände in der Nationalparkregion Sächsische Schweiz, andererseits flaches Gelände in der Dresdner Elbtalweitung berücksichtigt werden.

2 Daten- und Programmgrundlagen

Folgende Eingangsdaten standen für das Projekt zur Verfügung:

- Höhendaten zweier Laserscannerbefliegungen (bereinigt um Vegetation und Bebauung)
- Flussquerprofile in 100 m Abstand (aus Echolot- und Uferhöhenmessungen)
- Rasterdaten topographischer Karten 1 : 10.000 (Grundriss, Hydrographie, Relief)
- Ortholuftbilder und eine IKONOS-Satellitenbildszene
- historische Hochwasserstände (insbesondere 1890)
- Pegelaufzeichnungen und vorhandene Hochwassermarken
- Bestandspläne von vier Brückenbauwerken

Für die GIS-Bearbeitung kamen die Produkte ArcView 3.2 (mit den Erweiterungen Spatial Analyst 1.1 und 3D Analyst 1.0), ArcInfo sowie ERDAS Imagine 8.5 zum Einsatz. Für die hydraulische Modellierung wurde das Programmsystem WSPWIN 6.0 verwendet. Von den zahlreichen Aufgaben im Rahmen der Datenaufbereitung soll hier nur auf größere Probleme eingegangen werden. Die einzelnen Orthophotos, die im Blattschnitt der TK10 zur Verfügung standen, wurden mit Hilfe von ERDAS Imagine mosaikiert. Dabei fanden neue Möglichkeiten der radiometrischen Anpassung (Aufhellung der Randbereiche) sowie der sofortigen Datenkompression des Mosaiks ins MrSID-Format Anwendung.

Ausgangspunkt für die Berechnung eines Digitalen Geländemodells (DGM) waren zwei Laserscannerbefliegungen der Firma TopScan vom Frühjahr 1997 bzw. Herbst 2000. Die vom Landesvermessungsamt Sachsen bereitgestellten Daten weisen folgende Parameter: Höhengenaugigkeit: ± 15 cm, Lagegenauigkeit: $\pm 0,5$ m für 97 % der Punkte. Die in unregelmäßiger Verteilung vorliegenden Höhendaten (x-y-h-Tripel im ASCII-Format) entsprechen Bodenpunkten, d.h. die Verfälschung der Höheninformation durch Vegetation und Bebauung wurde mittels spezieller Filterverfahren korrigiert (DGM abgeleitet aus einem Digitalen Oberflächenmodell). Die Transformation der ca. 2,5 - 8,5 Millionen Messpunkte pro TK10-Blatt (durchschnittliche Punktdichte von 0,07 - 0,26 Punkten pro m²) in ein GRID-Rasterformat erfolgte mit ArcInfo über eine Dreiecksvermaschung (TIN-Modell). Die Nutzung der Surface-Funktion von ERDAS war für eine derartige Punktmenge nicht geeignet, da es zu sehr langen Rechenzeiten bzw. häufigen Programmabstürzen kam. Das reguläre Raster-DGM wurde durch lineare Triangulation mit einer Rasterweite von 1 m zunächst blattschnittweise berechnet. Anschließend erfolgte auch hier die Mosaikierung der Höhendaten für die gesamte Untersuchungsfläche.

Die Querprofile des Elbschlauches vom Wasser- und Schifffahrtsamt Dresden basieren auf GPS-verorteten Höhenmessungen sowohl im Wasser als auch im Uferbereich (Wasserpunkte aus Echolotung). Diese Werte sind sehr genau (Höhengenaugigkeit ± 5 cm), umfassen aber nur teilweise die überschwemmungsrelevanten Vorlandbereiche. Für die hydraulische Modellierung waren deshalb die Querprofile links und rechts des Elbschlauches um zusätzliche Höhenwerte zu ergänzen, die aus dem vorliegenden Laser-DGM entnommen werden konnten. Zum Einsatz kam hierfür die ArcView-Extension „Profile Extractor 6.0“, mit der es möglich ist, Höhenprofile aus einem Geländemodell (im GRID-Format) mit Stützpunkten in einem nutzerdefiniertem Abstand entlang beliebig gezeichneter Linien zu erzeugen (siehe Abb. 1). Die notwendige Ausdünnung der linken und rechten Anschlussprofile durch das Löschen von nicht profilbestimmenden Zwischenpunkten erfolgte ebenfalls in ArcView. Zur Definition der überschwemmungsrelevanten Bereiche wurde das Untersuchungsgebiet mit der bekannten Hochwasserlinie von 1890 (entspricht 100jährigem

Ereignis) und einer Sicherheitszugabe von 1 m verschnitten.

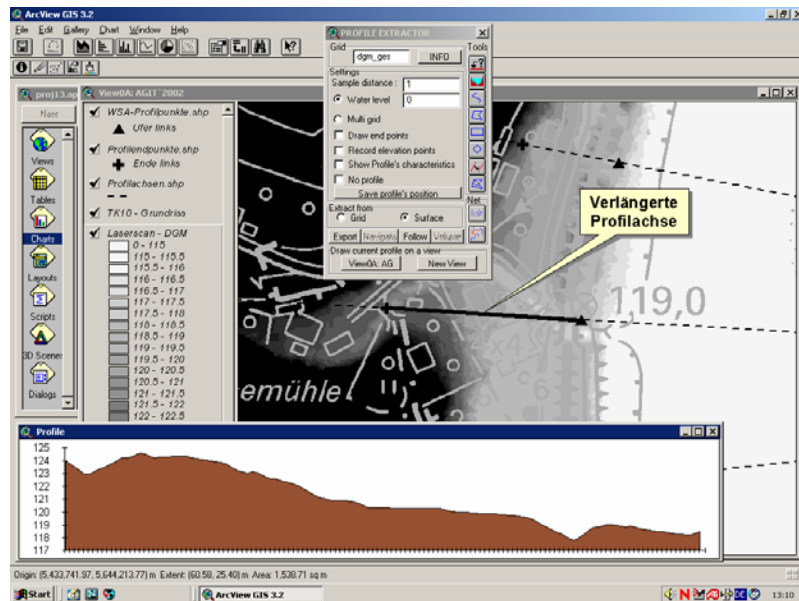


Abb. 1: Ableitung eines Anschlussprofils aus dem Laser-DGM mit dem Profile Extractor

3 Hydraulische Modellierung

Anhand des aufzubauenden hydraulischen Modells sollten Fließgeschwindigkeiten und Wasserstände für verschiedene Hochwasserereignisse (HQ_2 , HQ_5 , HQ_{10} , HQ_{20} , HQ_{50} , HQ_{100}) berechnet werden, wobei die Hauptwerte des Pegels Dresden und des Grenzpegels D / CR zugrunde liegen. Unter Berücksichtigung der geographischen und meteorologischen Verhältnisse ist davon auszugehen, dass Hochwasserereignisse der Größenordnung ab HQ_{10} nahezu ausschließlich im tschechischen Teil des Elbeinzugsgebiets verursacht werden. Die im Untersuchungsgebiet einmündenden Nebengewässer haben darauf keinen nachweisbaren Einfluss, weshalb auf die Ermittlung einer einzugsgebietsabhängigen Abflusskurve verzichtet wurde.

Das grundlegende Verfahren zur Berechnung von Wasserspiegellagen bei stationär ungleichförmigem Abfluss in offenen, nichtprismatischen Gerinnen besteht in einer von Profil zu Profil fortschreitenden Bestimmung diskreter Wasserspiegelhöhen. Dabei dient der Bernoullische Energiehöhenvergleich zwischen einem Querprofil mit bereits bekannter Höhe des Wasserspiegels für ein Profil noch unbekannter Wasserspiegelhöhe als Grundlage. Außerdem kommt der Berücksichtigung der Strömungsverluste eine erhebliche Bedeutung zu: Man unterscheidet hier zwischen kontinuierlich zunehmenden (Wandreibungsverlust) und örtlich konzentrierten Verlusten (z.B. Durchlässe und Brücken).

Das Programmsystem WSPWIN ist für die Berechnung von gegliederten Flussprofilen mit Vorländern konzipiert. Weitere örtlich konzentrierte hydraulische Einzelverluste (insbesondere bei Brücken) werden berücksichtigt. Berechnungsziel ist die Bestimmung der Grenzen der hydraulischen Kapazität eines Gewässerabschnittes. Der Vorflutnachweis erfolgt dabei stationär (d. h. mit einem zeitlich unveränderlichen Bemessungswert) und ungleichförmig (d. h. mit veränderlichem Fließquerschnitt).

Eine große Bedeutung für die Abflusskapazität eines Fließgewässers hat neben den Faktoren wie Verlauf und Gerinnegeometrie insbesondere die Oberflächenbeschaffenheit des benetzten Umfanges. Materialzusammensetzung, Korngröße und Bewuchs fließen als Rauigkeitsparameter in die Abflussberechnung ein. In der Praxis wurde bisher ganz überwiegend die Fließformel von Manning-Strickler angewendet, die Rauigkeiten der Gewässer-sole bzw. der Böschungen im Manning-Strickler-Beiwert k_{st} berücksichtigt. Die Ermittlung der Einzelrauigkeiten der Böschungen und Vorländer erfolgte durch Begehung. Der vorhandene Bewuchs wurde in Umfang und Ausprägung aufgenommen und mit Hilfe von Fotos dokumentiert. Anschließend wurden in Anlehnung an Schröder (DVWK 1990) den Flächen k_{st} -Werte zugeordnet. Zur Festlegung der Rauigkeitsbeiwerte für die Gerinnesohle der Elbe konnte eine Publikation der Bundesanstalt für Gewässerkunde (1994) herangezogen werden, in der die Kornzusammensetzung der Elbe dokumentiert ist. Die Ergebnisse der hydraulischen Berechnungen wurden für die maßgeblichen Hochwasserabflüsse HQ_{20} , HQ_{50} und HQ_{100} in einem hydraulischen Längsschnitt dargestellt.

4 Ermittlung der Hochwasserlinien

Ausgangspunkt der GIS-gestützten Ermittlung der Hochwasserlinien für das x-jährige Ereignis (HQ_x) bilden die Ergebnisse der hydraulischen Berechnungen mit je einem Wasserspiegelwert pro Querprofil. Die Methodik der GIS-Bearbeitung in ArcView (mit Spatial Analyst und 3D Analyst) beinhaltet die folgenden Arbeitsschritte:

Bestimmung der Wasserspiegellage über eine Dreiecksvermaschung: Die Achsen der Querprofile mit den hydraulisch berechneten Wasserspiegellagen waren auf beiden Ufern der Elbe soweit auszudehnen, dass die zu erwartende maximale Überschwemmungsfläche vollständig enthalten ist. Ausgehend von der Achsengeometrie erfolgte die Berechnung der jeweiligen Wasserspiegellage über eine Dreiecksvermaschung (TIN). Für die korrekte Berechnung des TIN-Modells war es teilweise notwendig, die Profilachsen zu verkürzen, um bei gekrümmtem Gewässerverlauf Schnittpunkte und damit mehrdeutige Wasserstandshöhen zu vermeiden. Dies trat vor allem bei den stark verlängerten Querprofilen im flachen Gelände der Dresdner Elbtalweitung auf.

3D-Verschneidung der Wasserspiegellage mit dem Laser-DGM: Die auch als „Cut & Fill“-Verschneidung bekannte Operation stellt den entscheidenden GIS-Arbeitsschritt zur Ermittlung der Hochwasserlinien dar. Da die Wasserspiegellagen hier im TIN-Format vorliegen, das DGM aber als Raster (GRID), führt ArcView eine automatische Transformation der Wasserspiegellage ins GRID-Format durch. Das Verschneidungsergebnis (ebenfalls als GRID) wird automatisch klassifiziert in Flächen mit Gewinn (Wasserspiegel über DGM)

und Verlust (Wasserspiegel unter DGM). Die Gewinnflächen bilden inhaltlich das potentielle Überschwemmungsgebiet.

Ermittlung der Hochwasserlinien bzw. Überschwemmungsflächen durch Rasterfilterung und spezielles Editieren: Das Ergebnis der 3D-Verschneidung kann sich insbesondere im flachen Gelände als sehr diffus darstellen („Salt and Pepper“-Effekt), wogegen die Forderung nach klarer Abgrenzung der Überschwemmungsgebiete steht. Die sukzessive Anwendung eines Majority-Filters (3*3 Fenster) auf Rasterebene führte zur Eliminierung kleinster Flächen und damit zur Bildglättung (siehe Abb. 2).



Abb. 2: Ergebnis der 3D-Verschneidung der Wasserspiegellage mit dem Laser-DGM vor (links) und nach (rechts) Anwendung eines Majority-Filters im Mündungsbe-
reich der Wesenitz in die Elbe

Anschließend wurde eine Raster-Vektor-Transformation durchgeführt, um durch Editieren von Polygonen Sonderfälle behandeln zu können. Dazu gehört die Tilgung von separaten Überschwemmungsflächen, die nicht mit dem Hauptschlauch der Elbe hydraulisch verbunden sind. Hierbei konnte allein auf Grundlage der verfügbaren Informationen nicht entschieden werden, ob sich eine solche Fläche wirklich mit Wasser füllen würde. Die Ermittlung der Hochwasserlinien bzw. Überschwemmungsgebiete verfolgt letztlich das Ziel flurstücksgenauer Aussagen über deren Hochwassergefährdung. Dies ist durch Verschneidung der Hochwasserlinien mit entsprechenden digitalen Flurstückskarten im GIS möglich. Da in Sachsen (und speziell im Landkreis Sächsische Schweiz) die Automatisierte Liegenschaftskarte (ALK) noch nicht flächendeckend in Stufe 8 (mit vollständiger Randanpassung und Homogenisierung) vorliegt, kann diese Teilaufgabe erst später bearbeitet werden.

5 Darstellung der Überschwemmungsgebiete

Die Bedeutung von analogen Kartenwerken ist auch heute bei einem fortgeschrittenen Stand von Geoinformatik und Digitalkartographie nicht zu unterschätzen. Gerade verschiedene kommunale Ämter verfügen gegenwärtig noch nicht über die notwendige Hard- und Software bzw. hinreichende Anwendungserfahrungen mit der digitalen Technik. Deshalb hat das Projekt auch die Darstellung in Kartenform beinhaltet. Das Überschwemmungsgebiet für das Ereignis HQ_x als räumlich verortetes und ins GIS integriertes Ergebnis der

hydraulischen Modellierung liegt digital als ArcView-Shape vor und bildet das zentrale Thema der Karte im Maßstab 1 : 10 000. Zur Orientierung wurden die Ebenen Grundriss, Gewässer und Relief der TK 10 als Rasterlayer hinterlegt und die Querprofile der Elbe mit Bezugspunkt sowie Kilometrierung eingezeichnet. Für das Untersuchungsgebiet insgesamt wurden die Blattschnittgrenzen der TK 10 so verschoben, dass die Zahl der notwendigen Blätter minimiert und gleichzeitig die Elbe mit ihrem Überschwemmungsgebiet zusammenhängend dargestellt wird.

6 Literatur

- BRANDT, T.; LANG, J., ZAISS, H. (1993): *Wasserspiegellinienberechnung für gegliederte Querschnitte*. - In: Wasser & Boden 8/93, S. 650-654.
- BRETSCHNEIDER, H.; SCHULZ, A.(1990): *Anwendung von Fließformeln bei naturnahem Gewässer Ausbau*. - Schriftenreihe des DVWK, Heft 72.
- BROCKMANN, H. (1999): *Einsatz flugzeuggestützter Fernerkundungstechniken zur Bearbeitung hydrologischer Fragestellungen*. In: Tagungsband zum Workshop „Ermittlung von Überflutungsflächen an Fließgewässern“ des baden-württembergischen Umweltministeriums, 16./17.06.1999 in Karlsruhe, 16 S.
- Bundesanstalt für Gewässerkunde (Hrsg.) (2000): *Modellierung von Höhendaten für hydrologische Fragestellungen*. Tagungsband des Kolloquiums am 10.05.2000 in Koblenz
- Deutscher Verband für Wasserwirtschaft und Kulturbau (DVWK) (1991): *Hydraulische Berechnung von Fließgewässern*, Merkblatt 220/91.
- ESRI Web Site: *Profile Extractor 6.0 for Spatial Analyst*. (<http://gis.esri.com/arcsripts>)
- GLAZIK, G.(1994): *Die Sohlenerosion der Elbe (Teil 1 und 2)* - In: Wasserwirtschaft/Wassertechnik, 7 und 8/94, S. 32-35 bzw. S. 36-42.
- HAUSCHILD, A. (1994): *Kornzusammensetzung der Elbsohle von der tschechisch-deutschen Grenze bis zur Staustufe Geesthacht*. Bundesanstalt für Gewässerkunde, BfG 0834.
- KNAUF, D. (1999): *Programmsystem WSPWIN, Version 6.0, Anwenderbeschreibung*. Jungenheim bei Darmstadt.
- Sächsisches Wassergesetz (SächsWG) i.d.F.d.B.v. 21.7.98 SächsGVBl. Nr. 15/1998 S.393
- SCHRÖDER, R.C.M. (1990): *Hydraulische Methoden zur Erfassung von Rauheiten*. - Schriftenreihe des DVWK, Heft 92.
- SIMON, M. (1996): *Anthropogene Einflüsse auf das Hochwasserabflußverhalten im Einzugsgebiet der Elbe*. - In: Wasser & Boden, 2/96, S. 19-23.
- StUFA Radebeul: *Hydrologisches Jahrbuch, 1931-1990 sowie Angaben zu Jahres-HQ Pegel Dresden von 1991 bis 1995*.
- WAGENKNECHT, S. & CSAPLOVICS, E. (2000): *Geodaten aus Airborne Laser Scanning zur Schaffung einer topographischen Datengrundlage für ein raumbezogenes Informationssystem der Nationalparkregion Sächsisch-Böhmische Schweiz*. In: Strobl, J., Blaschke, T. & Griesebner, G.: *Angewandte Geographische Informationsverarbeitung XII. Beiträge zum AGIT-Symposium Salzburg 2000*. Wichmann, Heidelberg 2000, S. 504 - 511.