

# Analyse der Hochwasserkatastrophe vom Sommer 2002 für die Stadtfläche Dresdens auf Basis von GIS und Fernerkundung

Gotthard MEINEL, Ulrich SCHUMACHER, Jörg GÖSSEL

Institut für ökologische Raumentwicklung e. V., Dresden, Weberplatz 1, 01217 Dresden, G.Meinel@ioer.de

## 1 EINLEITUNG

Die Flutkatastrophe im August 2002 in Mitteleuropa, die zahlreichen Gebirgsflüsse, Moldau, Elbe und Donau auf teilweise unbekannte Rekordpegel getrieben hat, macht eines drastisch deutlich: Hochwasserereignisse sind die folgenschwersten Katastrophen für die Bevölkerung, Wirtschaft und Umwelt in Mitteleuropa. Dem Hochwasser im Jahr 2002 fielen allein in Sachsen 20 Menschen zum Opfer. Der Gesamtschaden der Flut wird für das Gebiet der Bundesrepublik Deutschland auf 10 Mrd. € und für Sachsen auf ca. 7 Mrd. € geschätzt. Die Elbezuflüsse Gottleuba, Müglitz und Weißeritz aus der Sächsischen Schweiz und dem Erzgebirge richteten in ihren zumeist schmalen Tälern verheerende Schäden an Straßen, Brücken, Eisenbahnstrecken und Gebäuden an. Die Weißeritz, die in Dresden in die Elbe mündet, hatte am 13.08. mit 430 m<sup>3</sup>/s einen höheren Durchfluss als die Elbe beim Pegel Dresden im Mittel führt (327 m<sup>3</sup>/s). Sie setzte große Teile der Innenstadt einschließlich des Hauptbahnhofes und des Zwingers fünf Tage vor dem Elbhochwasser unter Wasser.

Die Tendenz zu extremen Überschwemmungen steigt. Allein in den letzten zehn Jahren gab es in Deutschland mehrere Jahrhunderthochwässer (u. a. Rhein 1993 und 1995, Oder 1997, Donau 1999). Damit rückt das Thema Hochwasser nun in den Blickpunkt des öffentlichen Interesses. Hochwässer sind Naturereignisse, die sich nicht grundsätzlich verhindern, allerdings in ihren Ausmaßen und Folgen durch eine entsprechende Flächenhaushaltspolitik und ein regionales Flächenmanagement beeinflussen lassen. Hochwasserschutz ist ein wahrhaft interdisziplinäres Arbeitsfeld, das die verschiedensten Fachwissenschaften tangiert, wie die Hydrologie, die Siedlungswasserwirtschaft, die Meteorologie sowie die methodischen Disziplinen Geoinformatik und Fernerkundung. Dabei steht die Planung in vielfacher Weise im Mittelpunkt, angefangen bei der Festlegung von Überschwemmungsgebieten auf Basis fachlich begründeter Ausweisungen, der Einflussnahme auf die Flächennutzung (die auch in den Vorländern entscheidenden Einfluß auf die Hochwassergefahr hat) bis hin zur Förderung eines einzugsgebietsbezogenen Denkens (einschließlich der Abstimmung zwischen Ober- und Unterliegern).

Im folgenden Beitrag werden nach einer Übersicht der Faktenlage zum Augusthochwasser spezielle Aspekte der Aufarbeitung von Geodaten zur Hochwassersituation für die Stadt Dresden beschrieben. Dabei wird auf Probleme zur Bestimmung der Wasserspiegellage bei Hochwasser im Detail eingegangen. Der Beitrag schließt mit einer Zusammenstellung der Erfordernisse für einen zukünftig besseren Hochwasserschutz, woraus entsprechende Aufgaben der Planung abgeleitet werden.

## 2 FAKTEN ZUM HOCHWASSER DER ELBE IM AUGUST 2002

### 2.1 Meteorologische Situation

In der Zeit vom 11.08.2002 bis 13.08.2002 wurden weite Teile Zentraleuropas von einem umfangreichen Höhentief beherrscht, das mit seinem Zentrum vom Golf von Genua in Richtung Ungarn zog. Das dazugehörige Bodentief wanderte zeitgleich über die Ostalpen hinweg nach Polen (Vb-Wetterlage). Die im Bereich dieses hoch reichenden Tiefdrucksystems auf die vorhandene Kaltluft aufgleitende feucht-warme subtropische Luft aus dem Mittelmeerraum führte zu einem sehr breiten Niederschlagsstreifen, der von Österreich und Tschechien über Ostbayern und Sachsen bis nach Brandenburg reichte. Auf der Rückseite des Tiefdruckgebietes stellte sich eine Nordströmung ein. Infolgedessen kam es im Erzgebirge durch Stau und orographisch bedingte Hebung der Luft zu einer deutlichen Verstärkung der Niederschläge. Über ausgedehnte Gebiete fiel ungewöhnlich starker Regen. Die Niederschlags-tätigkeit dauerte mehr als 48 Stunden an, da das Tiefdrucksystem nur langsam ostwärts abzog.

Gebiet	Gebietsgröße	Niederschlag (D = 24 h)	Niederschlag (D = 72 h)
Ortslage Zinnwald-Georgenfeld	1 ... 25 km <sup>2</sup>	350 mm	500 mm
Gebiet um Zinnwald-Georgenfeld	1 000 km <sup>2</sup>	300 mm	450 mm
Teil des Einzugsgebiets „Obere Elbe“	5 000 km <sup>2</sup>	200 mm	275 mm
Einzugsgebiet „Obere Elbe“	12 000 km <sup>2</sup>	160 mm	250 mm

Tab. 1: Vermutlich größte Niederschlagshöhen in Gebieten variabler Größe, die Station Zinnwald-Georgenfeld einschließend (Quelle: Landesamt für Umwelt und Geologie, 2002)

Besonders in den oberen Lagen der Einzugsgebiete von den Elbezuflüssen Müglitz und Weißeritz fielen z. T. intensive Niederschläge in dieser Zeit. So wurde an der Station Zinnwald-Georgenfeld im Erzgebirge vom 12.08.2002, 7:00 Uhr, bis zum 13.08.2002, 7:00 Uhr, ein 24-Stundenwert der Niederschlagshöhe von 312 mm gemessen. Das ist der größte Tageswert einer Niederschlagshöhe, der seit Beginn routinemäßiger Messungen in Deutschland jemals registriert wurde! Er kommt – in einem Gebiet von bis zu 25 km<sup>2</sup> – der vermutlich größten Niederschlagshöhe nahe, die dort physikalisch überhaupt möglich ist. Der 72-Stundenwert der Niederschlagshöhe (11.08. bis 13.08.2002) für die Gebietsgrößenstufe bis 25 km<sup>2</sup> beläuft sich mit 406 mm auf 80 Prozent des vermutlich größten 72-Stundenwertes der Niederschlagshöhe in der Ortslage Zinnwald-Georgenfeld (Tab. 1).

## 2.2 Hydrologische Situation

Durch langanhaltende, ergiebige Niederschläge seit Anfang August war eine weitgehende Wassersättigung des Bodens erreicht. Durch die flächendeckend auftretenden ergiebigen Niederschläge kam es dann ab dem 12.08. in Sachsen zu einer außergewöhnlich extremen Hochwassersituation. Häufig suchten sich vor allem kleinere Wasserläufe „neue“ Wege: Straßen, Häuser, Bäume und Brücken wurden weggerissen, Strom- und Telefonnetze brachen zusammen. Zahlreiche Pegelmessstellen wurden zerstört. Der Zufluss zu den Talsperren war erheblich größer als deren Abfluss, sodass diese ihre Hochwasserschutzaufgabe zeitweilig nicht erfüllen konnten.

Mit diesem Hochwasserereignis wurden an den sächsischen Hauptpegeln der Elbe die bisherigen HHW generell überschritten (Tab. 2). Der Elbepegel in Schöna erreichte am 16. August die Marke von 12,02 m und lag damit 2,34 m über dem bisher höchsten Stand. In Dresden stieg die Elbe einen Tag später auf 9,40 m und lag damit 63 cm über dem Höchstpegel vom Jahr 1845. Die Durchflussmenge  $Q$  betrug nach Einschätzung der BfG 4680 m<sup>3</sup>/s.

Pegel	HHW (bisheriger Wert)		Hochwasserscheitel 16.-18.08.2002 cm	Differenz (2002 – HHW) cm
	cm	Datum		
Ústí nad Labem (CZ)	1 119	3/1845	1 185	+ 66
Schöna	868	4/1941	1 202	+ 234
Dresden	877	3/1845	940	+ 63
Torgau	863	3/1940	945	+ 82

Tab. 2: Vergleich ausgewählter Hochwasserstände der Elbe vom August 2002 mit Wasserständen historischer Ereignisse (Quelle: Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie, 2002)

Nach der bisherigen Einschätzung durch die Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) war das Hochwasser der Weißeritz und der Müglitz ein 1 000-jährliches, abschnittsweise sogar ein 10 000-jährliches, das der Mulde ein 500-jährliches und das der Elbe ein 150- bis 200-jährliches Ereignis. Abbildung 1 zeigt Hochwasserstände am Pegel Dresden.

## 2.3 Vergleich mit historischen Hochwasserereignissen

Die Auswertung der Pegelstände und der Hochwasserlinie im Vergleich zu historischen Ereignissen offenbarte einige Überraschungen (Übersicht von Hochwasserständen in Abb. 1). So lag z. B. der maximale Wasserstand im August 2002 in Dresden-Pillnitz (Fluss-km 42,9) und in Dresden-Niederwartha (Fluss-km 69,7) etwa bei den Werten des HHW von 1845, der Pegel im Zentrum der Stadt (Fluss-km 55,7) allerdings 63 cm über diesem HHW. Neben dem besonderen Schutz der Innenstadt durch Sandsackverbauungen, die den Wasserstand in diesem Bereich höher getrieben haben, sind dafür weitere Eingriffe in den Flusslauf (wie Aufschüttungen im Uferbereich, Begradigungen, Befestigungen, Verlegungen usw.) sowie vor allem die Versiegelung und Überbauung von Flächen verantwortlich.

Auf Basis kartierter Hochwasserlinien der Ereignisse von 1845 und 1890 erfolgen derzeit detaillierte Untersuchungen, sodass hier noch keine abschließenden Ergebnisse vorliegen. Schon jetzt kann allerdings eingeschätzt werden, dass die Abwehrmaßnahmen dank neuer Technik und deren umfassendem Einsatz wesentlich erfolgreicher waren als in früheren Zeiten. Schließlich müssen alle historischen Informationen sowohl bezüglich der Pegelwerte als auch der kartierten Überschwemmungsflächen unter Beachtung ihrer Entstehung bewertet werden. Dabei sollten die Probleme der Messwertaufnahme unter Katastrophenbedingungen, die noch heute eine Herausforderung darstellen, zusätzlich bedacht werden.

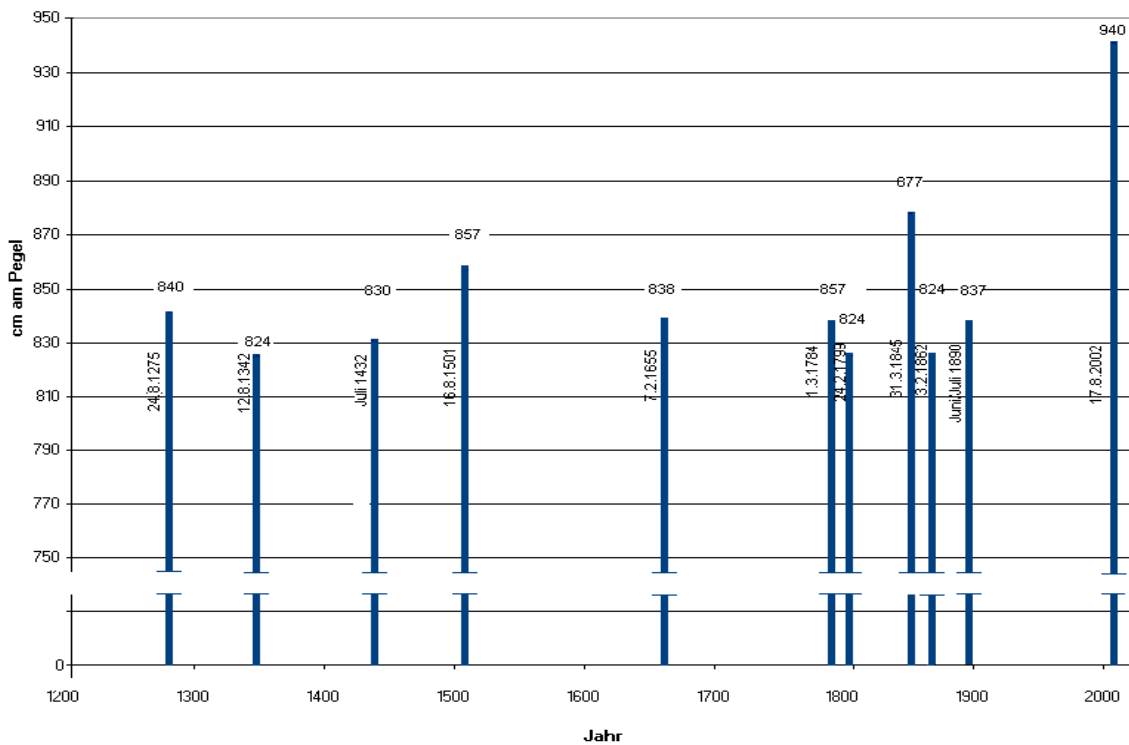


Abb. 1: Hochwasserstände am Pegel Dresden  
(Quelle: Bundesanstalt für Gewässerkunde, 2002)

### 3 AUSWERTUNG DER HOCHWASSERSITUATION

Nachdem von den Autoren im Jahr 2001 für die Elbe im Landkreis Sächsische Schweiz die Hochwasserlinien verschiedener Jährlichkeiten berechnet worden waren, kam nach der Flutkatastrophe 2002 von der Landeshauptstadt Dresden der Auftrag, eine Auswertung des Hochwassers für das Stadtgebiet durchzuführen. Ziel war die Erarbeitung von Grundlagen für eine Neufestlegung des Überschwemmungsgebietes für die Stadt. Dem erst im Jahr 2000 verbindlich festgelegten Überschwemmungsgebiet lag ein 100-jähriges Ereignis mit einem Pegelstand von 8,17 m in Dresden zugrunde, welches im August 2002 mit 9,40 m Pegel aber weit überschritten wurde. Der Auftrag der Stadtverwaltung umfasste die Aufbereitung eines hochauflösenden Satellitenbildes zum Hochwasserzeitpunkt, die Berechnung der Wasserspiegellage für den Hochwasserscheitel, die Ermittlung der Betroffenheit für die überschwemmte Fläche (lokaler Wasserhöchststand an jedem Punkt der überschwemmten Fläche) und die Berechnung der überschwemmten Fläche für einen angenommenen Pegelstand von 9,00 m als fachliche Voraussetzung für eine neue Hochwasserausweisung.

#### 3.1 Berechnung eines IKONOS-Satellitenbildmosaiks

SpaceImaging Europe nahm mit dem Satellitensystem IKONOS den Elbelauf im Bereich Dresden ohne vorherige Kundenbestellung (spekulativ) auf. Es lagen vom 18.08.02 – einem Tag nach dem Hochwasserscheitel in der Stadt Dresden – für das Untersuchungsgebiet 6 Einzelbildszenen vor. Die Möglichkeit einer Gebietsabgrenzung unter Zugrundelegung eines irregulären Polygons im Shape-Format in Geographischen Koordinaten trug sehr zur Kostendämpfung der immer noch sehr teuren IKONOS-Aufnahmen bei. Das Gebiet wurde großzügig um den Elbeschlauch und den Nebenfluß Weißeritz abgegrenzt. Der Distributor gewährte einen Rabatt von 50 % auf die Aufnahmen, womit der Preis bei 30 \$/km<sup>2</sup> zusammen für die panchromatischen und die multispektralen Bilddaten lag.

Als problematisch erwies sich, dass die Bilddaten anfänglich durch die spekulative Aufnahme ohne „Rational Polynomial Coordinate Information“ (RPC) geliefert wurden. Diese sind aber Voraussetzung für eine Orthorektifizierung der Szenen. Daraufhin wurden die Daten bei European SpaceImaging nochmals verarbeitet und mit RPC-File geliefert. Die Orthorektifizierung auf Basis eines Laserscanner-DGMS, eines Luftbildmosaiks und teilweise topographischen Karten gelang mit einer mittleren Genauigkeit von ca. 1-2 Pixeln, wobei bei der Entzerrung besonderer Wert auf die Lagetreue im Flussschlauch gelegt wurde. Nach der Orthorektifizierung der panchromatischen Daten wurden die multispektralen Datensätze mit denselben Transformationsparametern rektifiziert. Anschließend erfolgt die Mosaikbildung mit einem Histogrammgleich der Teilszenen. Letzter Bearbeitungsschritt war die Bildung von Fusionsprodukten aus den panchromatischen und den multispektralen Bilddaten mittels Brovey-Algorithmus.

#### 3.2 Erfahrungen mit Bilddaten zur Auswertung von Hochwasserereignissen

Wichtig bei der Auswertung von Hochwasserereignissen auf Basis von Fernerkundungsaufnahmen sind Bilder bei Wasserhöchststand, um überflutete Flächen exakt kartieren zu können. Zwar kann teilweise noch in Farbaufnahmen nach dem

Hochwasserscheitel durch die Trübung der wieder trockengefallenen Flächen eine Rekonstruktion erfolgen, doch ist diese in der Regel nicht ausreichend genau und meist auch nicht flächendeckend möglich. Im August 2002 zeigten sich außerdem Schwierigkeiten, genügend schnell Bildflüge realisieren zu können: Durch die Großflächigkeit des Ereignisses und die vielen gleichzeitigen Anforderungen zur Befliegung von Teilräumen konnten die Bildflugfirmen oft nicht schnell genug reagieren. Zusätzliche Bilddaten stehen durch eine Tornadobefliegung der Luftwaffe mit Tri- und Pentalseobjektiven zur Verfügung.

Die Vorteile von Satelliten- gegenüber Luftbilddaten liegen in der großen Flächendeckung und ihren vergleichsweise geringeren Kosten, wenn nicht höchstauflösende Satellitendaten (1m-Bodenauflösung) verwendet werden sollen. Allerdings ist die Wahrscheinlichkeit einer atmosphärischen Beeinträchtigung der Bilddaten durch Wolken oder Dunst wesentlich höher ist als bei Luftbilddaten, da hier in vielen Fällen auch Wolken unterflogen werden können. Die Auswahl von besten Bildqualitäten aus einem Satellitenbildarchiv ist eben im Fall eines Desastermonorings nicht gegeben.

Eine genaue Kartierung von Hochwasserlinien aus Bilddaten ist teilweise schwierig. Eine sichere Klassifikation von Wasserflächen auf Basis der starken Absorption von Infrarotstrahlen bei klarem Wasser ist bei trübem Wasser – wie es in Hochwassersituationen zu beobachten ist – nicht möglich. Allerdings eignet sich zur Digitalisierung von Wasser-Land-Linien ein CIR-Farbkomposit wesentlich besser als ein Naturfarbbild. Im vorliegenden Fall erfolgte die Kartierung der Hochwasserlinien durch visuelle Interpretation auf Basis der Luftbilddaten der Tornadobefliegung, die am 17.08. und damit genau zum höchsten Pegelstand in Dresden durchgeführt wurde. Allerdings war der Aufwand einer Georeferenzierung der Tornado-Luftbilddaten zu hoch, sodass die Kartierung nicht durch Onscreen-Digitalisierung sondern nur durch Übertragung erfolgte. Die Satellitenbilddaten sind somit die einzigen georeferenzierten und damit im GIS nutzbaren Bilddaten. Das IKONOS-Mosaik vom 18.08. dient zu Kontroll- und Korrekturzwecken der Scheitelhochwasserlinie (9,40 m) und als Basisinformation der Wasser-Land-Linien bei einem Pegel von 9 m (Pegel zum Aufnahmetag). Als vorteilhaft erwiesen sich u. a. die Satellitenbilder auch bei der Bewertung von verdeckten Flächen in den Tornado-Bilddaten wegen der teilweise sehr starken Schrägaufnahme dieser Bilder.

### **3.3 Berechnung eines Laserscanner-DGMs**

Für das Flussgebiet lagen digitale Laserscannerdaten aufgenommen im November 2000 vor. Die Daten waren als ASCII-Tabellenwerte im Format x,y,z für jedes der acht TK-10-Kartenblätter in getrennten Dateien pro Kartenblatt für jeweils alle Höhenmesspunkte (.all), die gebäude- und vegetationsbereinigten Höhenmesspunkte (.grd) und die Stabilisierungspunkte (.typ), die vorwiegend im Gewässerschlauch liegen, vor. So konnten sowohl ein Digitales Höhenmodell (DGM) als auch ein Digitales Oberflächenmodell (DOM) berechnet werden. Dazu wurden die ca. 5-8 Millionen Punkte pro Kartenblatt eingelesen und einer Triangulation unterzogen. Anschließend erfolgte die Erstellung eines regulären Punktrasters mit einer Auflösung von 1 m im GRID-Format. Abschließend wurden die acht Einzelblätter mosaikiert, wobei an den Kartenrändern teilweise Artefakte registriert werden mussten (Pixel mit 0-Werten), da nicht über die Kartenränder hinweg trianguliert werden konnte. Eine Zusammenstellung aller relevanten Höhenmesspunkte (ca. 45 Mill. Punkte) und anschließende Triangulation führten an die Grenzen der Software (ArcInfo als 32Bit-Applikationssoftware kann nur bis 2,1 Gbyte adressieren!). Auf Basis des flächendeckenden DGMs im Rasterformat wurde nach Rasterfilterung ein Höhenlinien-Shape mit einem Höhenabstand von 50 cm erzeugt. Der Versuch, die Vektorisierung mit einem Höhenlinienabstand von 25 cm zu berechnen, führte wiederum an die Grenzen der Systeme, wurde aber auch aus Gründen der Sinnfälligkeit verworfen.

### **3.4 Berechnung von Wasserspiegellagen**

Die Berechnung der Wasserspiegellage erfolgte einerseits über eine kartierte Wasser-Land-Linie zum Hochwasserscheitel und anschließender Verschneidung mit dem DGM (Methode A) sowie andererseits auf Basis terrestrischer Höhenmessungen zum Hochwasserscheitel an ausgewählten Querprofilen der Elbe (Methode B). Der Vergleich der beiden Vorgehensweisen ergibt einige interessante Resultate.

#### Berechnung der Wasserspiegellage aus der Wasser-Land-Linie (Methode A)

Entlang der zum Flussscheitel in Dresden aufgenommenen Wasser-Land-Linie wurden die Höhenwerte aus dem DGM entnommen, sodass zu jedem Punkt der Wasser-Land-Linie ein Höhenwert zur Verfügung stand (Rasterweite des DGM: 1 m). Eine anschließende Plausibilitätskontrolle ergab, dass sich die Höhenwerte entlang dieser Linie in Fließrichtung nicht kontinuierlich verringern, was in der Regel zu erwarten gewesen wäre, sondern lokal relativ stark schwanken (Abb. 2).

Die Ursache hierfür liegt offensichtlich in geringen Lageabweichungen der Wasserstandslinie, die sich bei stärker geneigtem Gelände, Böschungsbereichen, Schutzmauern sowie Fehlern im DGM (fehlerhafte morphologische Filter wie z. B. nicht vollständig eliminierte Gebäude) sehr stark auf die Höhenwerte auswirken (Höhenabweichungen bis 50 cm!). Deshalb wurde hier mit einer Ausgleichsgeraden (vereinfachte Modellannahme) gearbeitet (siehe Abb. 2). Die linearisierten Höhenmesswerte entlang der Wasser-Land-Linie dienten als Ausgangspunkt für eine Triangulation der Höhenwerte beider Flussufer. Auf Basis dieses TIN-Modells wurde schließlich ein Raster mit 1m-Auflösung berechnet.

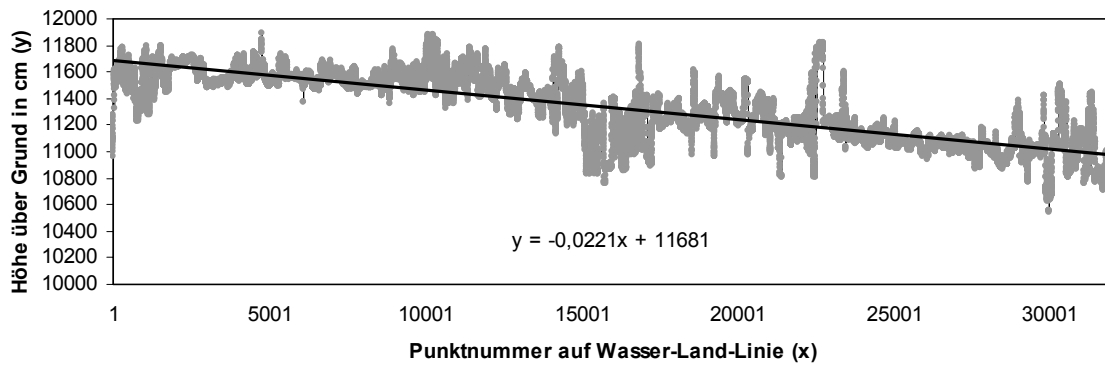


Abb. 2: Höhenverlauf der Wasser-Land-Linie des rechten Elbeufers zum Hochwasserscheitel in Fließrichtung (mit Ausgleichsgeraden)

Berechnung der Wasserspiegellage aus terrestrischen Höhenmessungen (Methode B)

Das Wasser- und Schifffahrtsamt (WSA) Dresden hat durch terrestrische Vermessung während bzw. kurze Zeit nach der Flutkatastrophe die Scheitelhöhe des Hochwassers an ausgewählten Querprofilen entlang des Gewässerschlauchs bestimmt (Flusskilometer 39,5-71,0). Für sämtliche Profilachsen des WSA-Ordnungssystems im Stadtgebiet Dresden (aller 100 m) war im Jahr 2001 eine Echolotvermessung der Elbesohle und eine Höhenmessung im Uferbereich erfolgt. Damit liegt für zahlreiche Querprofile eine (allerdings in der Regel einseitige gemessene) Höhenangabe zum Hochwasserscheitel 2002 vor. Die Höhen der nichtvermessenen Profile wurden durch lineare Interpolation seitens des WSA entsprechend der Flusskilometrierung ergänzt. Aufgrund der Homogenität der Messwerte sowie ihrer räumlichen Verteilung über das gesamte Stadtgebiet dürften die interpolierten Höhenwerte als recht gute Schätzungen gelten. Außerdem wurden die Querprofile für die Berechnung der Wasserspiegellage in Abhängigkeit der jeweiligen Breite der überschwemmten Fläche verlängert. Wegen eindeutiger Zuordenbarkeit der Scheitelwerte wurden anschließend die Profilachsen so verkürzt, dass keine Überschneidungen (vor allem bei Flussbiegungen) mehr auftreten und der Zufluss Vorrang vor dem Abfluss bekommt (Abb. 3).

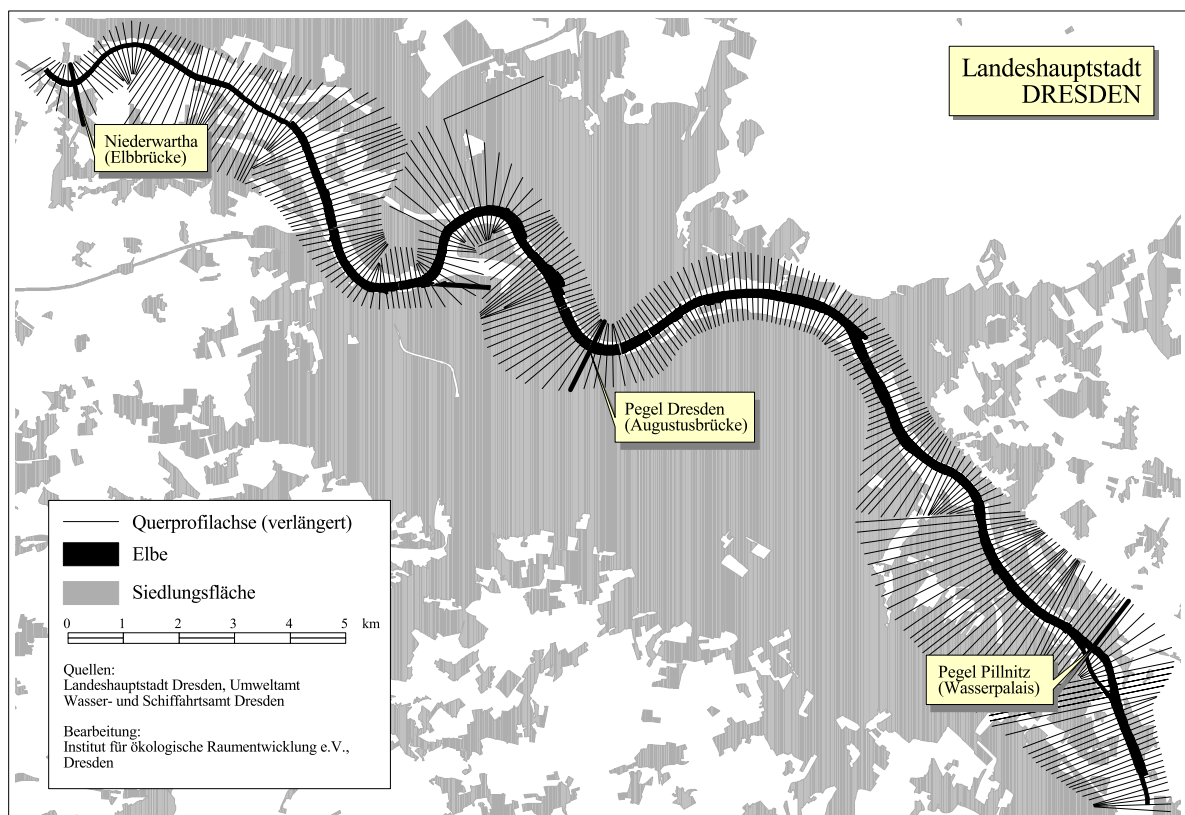


Abb. 3: Elbeverlauf im Stadtgebiet Dresden mit verlängerten Querprofilachsen (Elb-km 39,8-70,2)

Den Profilachsen wurden schließlich die gemessenen bzw. interpolierten Hochwasserscheitelwerte zugeordnet (konstanter Wert für jeweils eine Achse) und auf dieser Basis eine Triangulation durchgeführt. Die so bestimmte Wasserspiegellage wurde auf Plausibilität überprüft und steht sowohl im TIN- als auch im GRID-Format (1m-Auflösung) zur Verfügung.

### Bewertung der beiden Methoden

Bei Methode B hat die Wasserspiegellage an den terrestrischen Messstellen die höchste Genauigkeit. Unschärfen ergeben sich bei diesem Modell durch die Annahme einer konstanten Wasserspiegelhöhe für die gesamte Überflutungsbreite (was bei der aufgetretenen starken Strömung nicht exakt stimmt), durch die Festlegung der Länge der Profilachsen in Krümmungsbereichen sowie durch fehlende Daten zwischen den terrestrischen Messpunkten. Demgegenüber kann bei Methode A auf eine durchgehend hohe Dichte der Triangulationspunkte verwiesen werden. Ungenauigkeiten und Unsicherheiten bei der Kartierung der Wasser-Land-Linie selbst (die durch die Ausgleichrechnung gemildert wurde) sowie fehlende Triangulationspunkte über der Wasserfläche sind hierbei als Fehlerquellen anzuführen.

Zum flächenhaften Vergleich der Ergebnisse beider Erhebungsmethoden wurden die zwei Rasterdatensätze der Wasserspiegelhöhe voneinander subtrahiert. Die mittlere Höhendifferenz lag bei 5 cm, die maximale bei 49 cm. Da durch Vergleich mit dem Satellitenbild nachträglich größere Fehler in der Kartierung der Wasser-Land-Linie festgestellt werden mussten, wurde für die weiteren Arbeitsschritte auf die Wasserspiegellage aus den terrestrischen Höhenmessungen (Methode B) zurückgegriffen.

### **3.5 Berechnung eines Überschwemmungsgebietes**

Das Hochwasser vom August 2002 wird derzeit als ein 150- bis 200-jährliches Ereignis eingestuft. Die überflutete Fläche im Stadtgebiet war dabei wesentlich größer als das bisher für ein 100-jährliches Ereignis (Bezug auf einen Pegel von 8,17 m) ausgewiesene Überschwemmungsgebiet. Deshalb entschloss sich die Stadt Dresden zu kurzfristiger Neufestlegung eines vorläufigen Überschwemmungsgebietes für einen Pegel von 9,00 m. Da eine geplante zweidimensionale hydraulische Modellierung in der zur Verfügung stehenden Zeit nicht durchgeführt werden konnte, fiel die Entscheidung für folgendes pragmatisches Vorgehen:

Die Bestimmung der überschwemmten Fläche bei einem Pegelstand von 9 m sollte durch Kombination des vorliegenden hydraulisch berechneten Hochwassermodells für ein 100-jährliches Ereignis (HQ100) und dem realen Hochwasserereignis 2002 erfolgen. Für beide Ereignisse lagen Scheitelhöhenwerte – allerdings mit Bezug auf unterschiedliche Querprofile – vor. Deshalb wurden die vorliegenden hydraulisch modellierten HQ100-Werte zunächst auf die äquidistanten Profilachsen des Wasser- und Schifffahrtsamtes (durch lineare Interpolation entsprechend der Elb-Kilometrierung) umgerechnet. Die theoretischen Wasserstandshöhen für ein 9-Meter-Ereignis ergaben sich durch Addition einer anteiligen Differenz zwischen den Scheitelwerten des aktuellen Hochwassers und dem modellierten HQ100 (Festlegung des Anteils durch Fachleute des Dresdner Umweltamtes). Die Triangulation dieser theoretischen Wasserstandshöhenwerte auf Basis der Profilachsen (Modifizierung gemäß Methode B) ergab ein TIN-Modell der Wasserspiegellage. Die 3D-Verschneidung des Wasserspiegels mit dem DGM (Cut&Fill-Operation) führte zu einer Klassifikation der Flächen mit Gewinn (Wasserspiegel über DGM) und Verlust (Wasserspiegel unter DGM), wobei die Gewinnflächen das potenzielle Überschwemmungsgebiet bilden. Da sich das Ergebnis (GRID-Raster) insbesondere im flachen Gelände als sehr diffus darstellt, wurde durch Anwendung von Filterverfahren eine Bildglättung durchgeführt, bevor die resultierende Vektorgeometrie abgeleitet wurde. Die vereinbarungsgemäße Eliminierung von Flächen kleiner 500 m<sup>2</sup> ist als Generalisierung auf Vektorebene zu betrachten. Schließlich wurden hydraulisch nicht mit dem Elbeschlauch verbundene Flächen getilgt sowie spezielle Fälle einer kritischen Bewertung unter hydrologischen Gesichtspunkten unterzogen.

Da außerdem Aussagen zur Wasserstandshöhe der überschwemmten Flächen getroffen werden sollten, wurden die Differenzen zwischen DGM und Wasserspiegellage auf Rasterbasis berechnet. Negative Werte innerhalb des Untersuchungsgebietes entsprechen dabei den Wasserstandshöhen.

## **4 BEITRÄGE FÜR EINEN VERBESSERTEN HOCHWASSERSCHUTZ**

### **4.1 Unwettervorhersage**

Beim Sommerhochwasser 2002 waren die Vorwarnzeiten in Sachsen mit 24 Stunden bei der Elbe und wesentlich geringeren Werten bei den Gebirgsflüssen nicht ausreichend, um eine wirkungsvolle Schadensverhütung zu bewirken. Voraussetzung für längerfristige Pegelvorhersagen sind genauere Niederschlagsvorhersagen hinsichtlich Menge und Lokalisation. Sowohl der Deutsche Wetterdienst (DWD) als auch Meteomedia AG haben sich infolge der Ereignisse dazu bekannt, die Unwettervorhersage in Zukunft durch verbesserte Vorhersagemodelle (z. B. Regionalmodelle im 3km-Raster) zu verbessern, Warnungen von der bisher üblichen Landesebene zukünftig auf Kreisebene zu konkretisieren und Kommunikation mit den zuständigen Behörden zu verbessern. Der Vorhersagezeitraum für die Elbpegel soll in Zukunft von 24 auf 60 h und für die Gebirgsflüsse von 2 auf 6 h verlängert werden. Die bisherige Einstellung des Wetterdienstes nur zur Herausgabe von sehr gut gesicherten Unwetterprognosen wird zugunsten größerer Vorhersagezeiten revidiert. Außerdem sollen die Unwetterinformationen durch Ratschläge für schnelle Schutzmaßnahmen ergänzt werden.

### **4.2 Messwerterhebung im Katastrophenfall**

Die Erhebung von Messwerten unter Extrembedingungen führt selbst heute noch zu großen Problemen. So waren im August die meisten Pegelmessstellen der Erzgebirgsflüsse ausgefallen bzw. zerstört, was während der Katastrophe teilweise eine Vorhersage erschwerte oder unmöglich machte. Durch die Ausfälle werden auch die Möglichkeiten der retrospektiven Auswertung der Hochwasserereignisse eingeschränkt. Noch schwieriger als Pegel- sind Durchflussmessungen im Katastrophenfall, da derartige Untersuchungen aufgrund von Treibgut meist unmöglich sind. Andererseits wird gerade die Durchflussmenge – insbesondere zum Zeitpunkt des Hochwasserscheitels – für die Auswertung des Ereignisses sowie die Abflußmodellierung zwingend benötigt. So konnte auch in dem vorliegenden Fall die Durchflussmenge nicht gemessen, sondern nur nachträglich seitens der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) abgeschätzt werden.

### 4.3 Vorsorgender Hochwasserschutz

Da mit hoher Wahrscheinlichkeit durch Klimaveränderungen die Gefahr von Hochwasserereignissen zunimmt, müssen die Maßnahmen für einen vorbeugenden Hochwasserschutz intensiviert werden. Wichtigster Gesichtspunkt dabei ist, das Wasser so lange wie nur möglich in der Fläche zu halten. Dies widerspricht den bisherigen Regeln der Siedlungswasserwirtschaft, die darauf bedacht war und ist, das Wasser so schnell wie möglich von der Siedlungsfläche abfließen zu lassen. Für eine hochwasserminimierende Flächennutzung gilt entsprechend ihres Wasserspeichervermögens die Regel: Wald vor Wiese, Wiese vor Acker (möglichst konventionelle Mulchsaat) und Acker vor Siedlung. Neben dem Oberflächenrückhalt sind die Bodenspeicherung, die Netzdichte und die hydraulische Leistungsfähigkeit der Ableitungsgerinne entscheidende Faktoren des Wasserrückhalts. Eine zukünftige Arbeit für die Planung wäre die Entwicklung von Potentialkarten des Wasserrückhalts für die Einzugsgebiete der Gewässer als Grundlage für Gefährdungsabschätzungen.

### 4.4 Technischer Hochwasserschutz

Die Hochwassergefahr mit plötzlichem Auftreten an mittleren und kleinen Gewässern ist bisher für Mittelgebirge in Deutschland deutlich unterschätzt worden. So können Bacheinzugsgebiete durch derzeit noch nicht vorhersagbare Gewitterzellen komplett überregnet werden und in engen Tälern reißende Wasserläufe erzeugen, denen selbst massivste Bauwerke zum Opfer fallen (Blitzfluten).

Im Gebirge können Stauanlagen wie Talsperren, Rückhaltebecken und Speicher die Hochwasserscheitel entscheidend senken. Allerdings ist dies nur möglich, wenn der Hochwasserschutzraum größer als der Zufluss ist. Diese Voraussetzung ist bei Extremwetterereignissen wie im August 2002 nicht gegeben. In diesem Fall waren die Talsperren nahezu wirkungslos, wie die verheerenden Schäden im Müglitz- und Weißeritztal zeigen. Da Talsperren fast immer Mehrzweckanlagen sind und neben dem Hochwasserschutz auch der Trinkwasserversorgung, der Energieerzeugung, der Niedrigwasseraufhöhung, der Bewässerung und der Freizeitnutzung dienen, sind oft widerstrebende Faktoren in den Bewirtschaftungsplänen zu berücksichtigen. Auch hier wäre eine langfristige Unwetterprognose erforderlich für optimale Bewirtschaftungsstrategien. Eine der Schlussfolgerungen der Landestalsperrenverwaltung Sachsens war deshalb die Überarbeitung der Bewirtschaftungspläne zugunsten eines verbesserten Hochwasserschutzes. Neben dem Neubau von Stauanlagen, der sich allein durch die Genehmigungsverfahren über ein oder mehrere Jahrzehnte hinstrecken kann, ist die Erhöhung des Stauraumes von Talsperren eine vergleichsweise kostengünstige und schnelle Maßnahme zur Verbesserung des technischen Hochwasserschutzes.

### 4.5 Stärkung des Gefahrenbewusstseins

Leider muss immer wieder festgestellt werden, dass Kommunen auch innerhalb ausgewiesener Überschwemmungsflächen Baugenehmigungen erteilen. So war durch das Hochwasser im Jahr 2002 u. a. das sich im Bau befindliche Kongresszentrum in Dresden schwer betroffen. Allerdings lässt auch das Sächsische Wassergesetz den Bau in Überschwemmungsgebieten derzeit in bestimmten Fällen zu (z. B. Gebäude < 100 m<sup>2</sup>), während das bundesdeutsche Wasserhaushaltsgesetz (WHG) hier restriktiver ist. Um die Schadensrisiken in Zukunft zu verringern, muss darum seitens der Kommunen verantwortungsvoller mit dem Thema Hochwasser umgegangen werden.

## 5 AUFGABEN FÜR DIE PLANUNG

Wiederholt wurde auf den Symposien zur Computergestützten Raumplanung (CORP) in Wien über die gegenwärtige Situation und die zukünftigen Aufgaben der Raumplanung diskutiert. Dabei wurde häufig ein gewisser Bedeutungsverlust der Planung konstatiert. Nun formiert sich durch die zunehmende Wahrscheinlichkeit von Hochwasserereignissen und die sich drastisch erhöhenden Schadenspotenziale ein wichtiges Themenfeld für die nächsten Jahrzehnte: die Vorsorge für Hochwasserereignisse. Dieses Arbeitsfeld gehört in besonderer Weise in das Aufgabenspektrum von GIS-gestützter Planung: So sind Hochwassergefährdungsgebiete zu bestimmen und auszuweisen sowie auf eine Flächennutzung hinzuwirken, die einen möglichst großen Wasserrückhalt in der Fläche gewährleistet. Verschiedenste Fachdisziplinen sind für eine erfolgreiche Themenbearbeitung zu koordinieren. Schließlich muß ein einzugsgebietsbezogenes Denken – also quer zu den bestehenden administrativen Einheiten – Einzug in die Köpfe der Verantwortlichen halten.

Konkret steht die Planung dabei vor den folgenden Aufgaben:

- Verbesserung der Informationsbasis durch Erarbeitung von Überflutungs- und Gefahrenkarten für alle Gewässer und parzellenscharfe Ausweisung der Hochwassergefährdung
- Durchsetzung einer rechtsverbindlichen Ausweisung von Überschwemmungsflächen
- Aufdeckung von unabgestimmten und konfliktfördernden Rechtsvorschriften bezüglich eines vorsorgenden Hochwasserschutzes (Landwirtschafts-, Bau-, Wasserwegerecht, kommunales Abwasserrecht)
- Minderung der Hochwassergefährdung und Schadenspotenziale durch vorsorgende, gesamtträumliche Planung auf Landes- und Regionalplanebene, z. B. durch Ausweisung von Vorrang- und Vorbehaltsgebieten für Flächen, die Hochwasserschutzfunktionen übernehmen können.
- Staats- und länderübergreifende Abstimmung der Landes- und Regionalpläne sowie der Planungsinstrumente in den betroffenen Staaten
- Erarbeitung von lokalen, regionalen und nationalen Strategien zum Umgang mit Hochwasserkatastrophen (z. B. Optimierung der operationellen Katastrophenhilfe)

Derzeit muss festgestellt werden, dass ein vorsorgender Hochwasserschutz durch die gegebenen Gebietsstrukturen erschwert ist. Die Entwicklung eines einzugsgebietsbezogenen Denkens wäre dringend erforderlich. Derzeit kann letztlich ein wirksamer Hochwasserschutz nur durch Zweckgemeinschaften in Form von Verbänden, Vereinen der Anliegergemeinden erfolgen. Die Initialisierung und Organisation dieser Strukturen wäre auch eine der Aufgaben für die Planung der Zukunft.

## 6 LITERATUR

Brockmann H.: 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.): Modellierung von Höhendaten für hydrologische Fragestellungen. Tagungsband des Kolloquiums am 10.05.2000 in Koblenz.

Bundesanstalt für Gewässerkunde (2002): Das Augusthochwasser 2002 im Elbegebiet, Koblenz. <http://www.bafg.de/welcome.html>

Elefant E., Meinel G., Schumacher U.: Abschlussbericht „Ermittlung von Überschwemmungsgebieten für die Elbe im Bereich des Landkreises Sächsische Schweiz“, unveröffentlicht, Dresden, 2002.

Fügner D.: Hochwasserkatastrophen in Sachsen, 1. Aufl., Tauchaer Verlag 1995.

Gesetz zur Ordnung des Wasserhaushaltes (Wasserhaushaltsgesetz –WHG) i. d. F. vom 19.11.96 BGBl. I Nr. 56 vom 18.11.96, S. 1696-1711.

Initiativen zum Umweltschutz 31, Hochwasserschutz heute – Nachhaltiges Wassermanagement, Hrsg.: Heiden/Erb/Sieker, Erich-Schmidt-Verlag, Berlin, 2001.

Institut für ökologische Raumentwicklung e. V.: 7-Punkte-Programm zum Hochwasserschutz im Einzugsgebiet der Elbe, Dresden, August 2002. [www.ioer.de](http://www.ioer.de)

Janssen G.: Hochwasserschutz: Anspruch und Wirklichkeit. Garten + Landschaft 11/2002, S. 13-15.

Kraus K.: Photogrammetrie. Band 3 – Topographische Informationssysteme. Dümmler, Köln 2000.

Sächsisches Landesamt für Umwelt und Geologie (2002): Vorläufiger Kurzbericht über die meteorologisch-hydrologische Situation beim Hochwasser im August 2002. (<http://www.lfug.de>)

Sächsische Hochwasserkonferenz am 27.11.2002 in Dresden, Dokumentation.

Sächsisches Wassergesetz (SächsWG) i. d. F. d. B. vom 21.07.98 SächsGVBl. Nr. 15/1998, S. 393.