

**WIRTSCHAFTLICHE BEREITSTELLUNG VON GEO-BASISDATEN FÜR GROSS-  
MASSTÄBIGE ANWENDUNGEN IN DER HYDROLOGIE UND WASSERWIRTSCHAFT**  
– AEROPHOTOGRAMMETRIE VERSUS LASER-SCANNING ? –

**Herbert Brockmann**

Bundesanstalt für Gewässerkunde, Kaiserin-Augusta-Anlagen 15-17, 56068 Koblenz, Germany;  
e-Mail: [brockmann@bafg.de](mailto:brockmann@bafg.de)

**Zusammenfassung:** Zur Bereitstellung von Geo-Basisdaten, verstanden als Geländedaten für großmaßstäbige Anwendungen, werden aus wirtschaftlichen Überlegungen vor allem flugzeuggestützte Fernerkundungstechniken eingesetzt. Hier konkurriert insbesondere die klassische aerophotogrammetrische Aufnahmetechnik mit dem neueren praxisreifen Laser-Scanning. Orientiert an den Anforderungen der Hydrologie und Wasserwirtschaft werden das sich kurzfristig verändernde aktuelle Leistungsvermögen aller relevanten aktuellen Fernerkundungstechniken diskutiert und die erforderlichen Aufwendungen für einen entsprechenden Einsatz beschrieben. Darüber hinaus wird die derzeitige Strategie der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) aufgezeigt.

**Schlüsselworte:** Geo-Basisdaten, Digitale Geländemodelle, Fernerkundung, Aerophotogrammetrie, Laser-Scanning

**ECONOMICAL ACQUISITION OF SPATIAL DATA FOR LARGE-SCALE APPLICATIONS IN  
HYDROLOGY AND WATER-RESOURCES MANAGEMENT**  
– AEROPHOTOGRAMMETRY VERSUS LASER-SCANNING ? –

**Abstract:** Airborne remote-sensing techniques are, mainly for economic reasons, preferentially employed for the acquisition of spatial data in the sense of terrain data for large-scale applications. Here, the classical aerophotogrammetric recording competes with the newly applicable laser scanning technique. Against the background of the requirements in hydrology and water-resources management, the paper discusses the rapidly growing actual potential of all relevant modern remote-sensing techniques and describes the expenditures necessary for their application in these fields. Moreover, the current strategy of the German Federal Institute of Hydrology (BfG) is presented.

**Key words:** spatial data, digital terrain models, remote sensing, aerophotogrammetry, laser scanning

## 1. Problemstellung

Derzeit besteht ein großer Bedarf an aktuellen, hochauflösenden und genauen Geo-Basisdaten für hydrologische und wasserwirtschaftliche Arbeiten an Fließgewässern. Benötigt werden diese Basisdaten großräumig, u.a. für

- mathematische Modellierungen, z.B. zur Hoch- und Niedrigwasservorhersage,
- großmaßstäbige (1:2.500 bis 1:10.000) Bestimmungen von Überschwemmungsgebieten und
- vielfältige GIS-Anwendungen.

Gefordert sind i.d.R. digitale Geländedaten:

- Querprofile,
- Digitale Höhenmodelle (DHM, als regelmäßiges Gitter, dass die Geländeoberfläche und die hydrologisch und hydraulisch wirksamen Bauwerke repräsentiert),
- hydrologisch und hydraulisch wirksame Geländekanten (einschl. Bauwerkskanten),
- Digitale Geländemodelle (DGM, als regelmäßiges Gitter des DHM unter Berücksichtigung von Geländekanten) und
- Orthophotos

der potentiell überflutbaren Bereiche. Dagegen sind die entsprechenden Kartenwerke i.d.R. verfügbar. Zur Bereitstellung dieser Daten ist selbstverständlich eine wirtschaftliche Realisierung oberstes Gebot, ohne falsche Kompromisse hinsichtlich der Anforderungen und dem technischen Entwicklungsstand einzugehen.

Weiterhin sind in diesem Zusammenhang auch Gewässerbett Daten von Bedeutung, wenn Digitale Geländemodelle von Wasserläufen (DGM-W, integrierte Gelände- und Gewässerbett Daten) zu modellieren sind. Zum Stand der Technik in der Gewässervermessung sei auf (ATV-DVWK, 2001) verwiesen. In Sonderfällen sind auch großräumig Wasser-Land-Grenzen messtechnisch zu bestimmen sowie Digitale Wasseroberflächenmodelle aufzubauen (Brockmann, 2000).

## 2. Hydrologische und wasserwirtschaftliche Anforderungen

Die Festlegung der hydrologischen und wasserwirtschaftlichen Anforderungen sollte in multidisziplinären Abstimmungsgesprächen zwischen dem/den Anfordernden und dem Projektbetreuenden erfolgen. Nur so lassen sich auf der Basis pauschaler Vorstellungen ausreichend präzisierte Anforderungen formulieren, können von vornherein individuelle Details fachgerecht berücksichtigt werden und sind nicht selten später auftretende Missverständnisse aufgrund unterschiedlicher Fachsprachen zu vermeiden. Bewährt hat sich ein durchgängiges und umfassendes Projektmanagement unabhängig von potentiellen Auftragnehmern.

Die üblichen Anforderungen an die Geländedatenerfassung, unabhängig von der technischen Realisierbarkeit, sind in der Tabelle 1 zusammengestellt.

*Tabelle 1: Hydrologische und wasserwirtschaftliche Anforderungen*

Anforderungen	Querprofile	DHMs	Geländekanten	DGMs	Orthophotos
<i>Zielgrößen</i>					
Größe	Oberfläche des Geländes und der hydrologisch und hydraulisch wirksamen Bauwerke, in Lage und Höhe				
Messtechnische Auflösung	Punktweite: 50 m – 500 m Punktabstand: charakteristische Punkte	Punktdichte: 3,5 m – 5 m	Punktabstand: charakteristische Punkte	Punktdichte: 0,5 m – 3,5 m mit charakteristischen Punkten	Bodenpixel: ≤ 0,5 m
Bezugssysteme	einheitlich, erdschwerfeldbezogen				
<i>Hydrologische Randbedingungen</i>					
Wasserstände	Niedrigwasser (ggf. bis Mittelwasser)				
Messzeitraum	vegetationsarme Zeit				
Wetter	eis- und schneefrei, möglichst nach 1. Bodenfrost				
<i>Ergebnisse</i>					
Art	Vektorinformation	Gitterdatenmodell: 5 m – 10 m	Vektorinformation	Gitterdatenmodell mit integrierten Strukturinformationen: 1 m – 5 m	georeferenzierte Rasterinformation
Lagegenauigkeit (U <sub>95</sub> ) (DIN, 1995)	1 m – 3 m	0,3 m – 0,5 m	0,1 m – 0,3 m	0,1 m – 0,3 m	0,3 m – 0,5 m
Höhengenauigkeit (U <sub>95</sub> )	0,1 m – 0,2 m	0,2 m – 0,3 m	0,04 m – 0,15 m	0,04 m – 0,15 m	

Bei den folgenden Betrachtungen wird bewusst von den höchsten Anforderungen in der Höhe ausgegangen, denn einerseits kommt der Höheninformation eine wesentlich höhere

Bedeutung zu als der der Lage und andererseits lassen sich geringere Anforderungen i.d.R. immer mit weniger Aufwand realisieren.

### 3. Relevante Fernerkundungstechniken

Unabhängig von den Trägersystemen (Flugzeug, Satellit) sind zur großräumigen Bereitstellung von Geländedaten derzeit vier unterschiedliche Sensortechniken (Kraus 2000) mit ihren spezifischen messtechnischen Basisinformationen (Abbildungen 1, 2, 3, 4) zu diskutieren:

- die herkömmliche analoge photogrammetrische Reihenmesskammer (RMK)

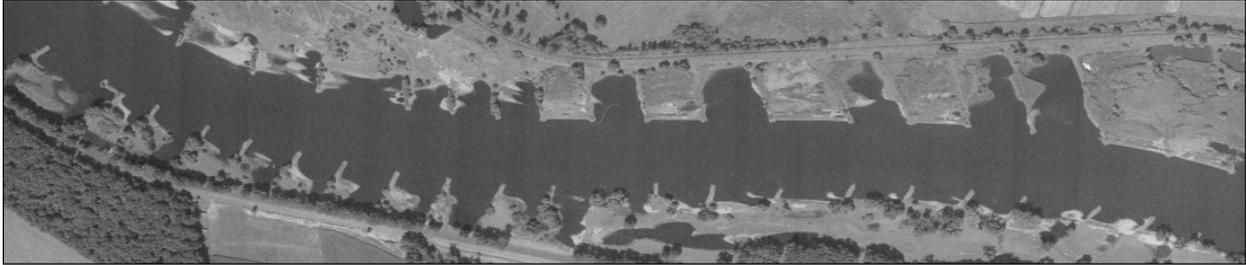


Abbildung 1: Aufbereitete RMK-Aufnahme (schwarz-weiß Bild)

- die noch nicht ausgereiften photogrammetrischen Multispektral-Scanner-Systeme (MSS)



Abbildung 2: Aufbereitete MSS-Aufnahme (Kanäle: blau, grün, rot, infrarot; Echtfarben- und Farbinfrarotbild)

- das inzwischen praxisreife Laser-Scanning (LIDAR)

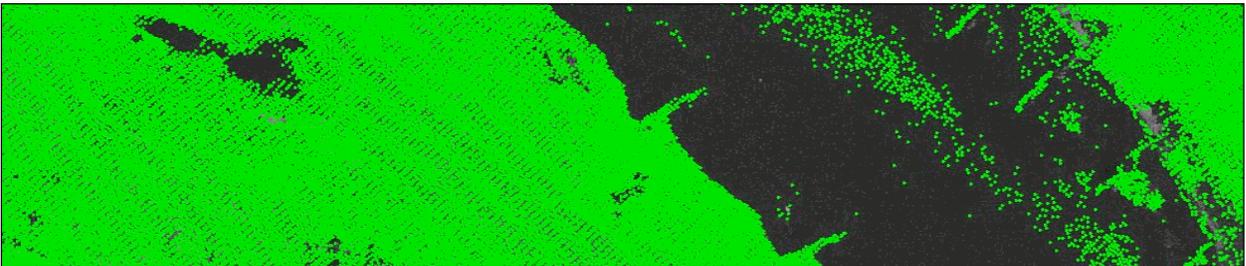


Abbildung 3: Aufbereitete LIDAR-Aufnahme (Laserpunktabdeckung)

- das interferometrische RADAR (InSAR)

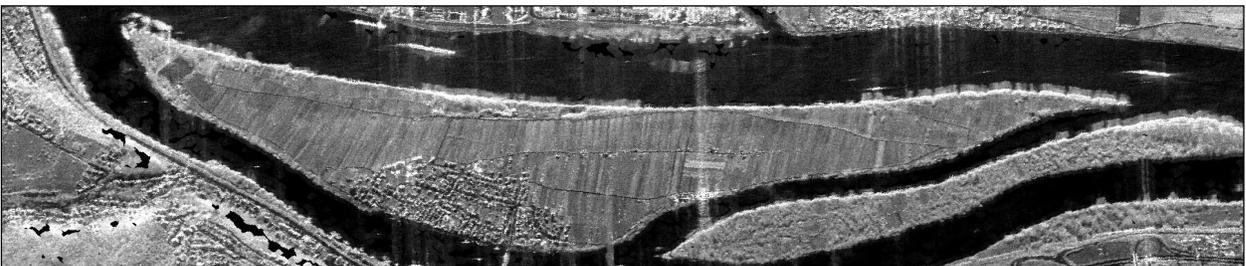


Abbildung 4: Aufbereitete SAR-Aufnahme (X-Band-Bild)

Tabelle 2: Fernerkundungssysteme – Eigenschaften / Einschränkungen, Endprodukte  
(X= brauchbar; (X)= bedingt ...; Y, (Y)= in naher Zukunft ...)

Auf- nahme systeme	Systembedingte Eigenschaften / Einschränkungen			Brauchbare nutzerorientierte Endprodukte				
	Abhängigkeiten	Datenlücken	Objekt- klassifizierung	Querpro- file	DHM	Gelände- kanten	DGM	Ortho- photos
RMK	- Tageszeit - Wetter	Baum- / Bodenbewuchs		X	(X)	X	(X)	X
MSS	- Tageszeit - Wetter	Baum- / Bodenbewuchs		Y	(Y)	Y	(Y)	X
LIDAR	Wetter	dichter Bodenbewuchs	nicht signifikante Höhendifferenzen	X	X	(X)	(X)	
InSAR		- Baum- / Bodenbewuchs - RADAR-Schatten	(derzeit nicht möglich)					

Alle Techniken unterliegen aufgrund ihrer systembedingten Eigenschaften Einzeleinschränkungen (Tabelle 2). In Verbindung mit dem technischen Entwicklungsstand resultieren daraus wiederum Endprodukte (Tabelle 2), die für den o.g. Nutzerkreis aktuell oder in naher Zukunft brauchbar, bedingt brauchbar bzw. gar nicht brauchbar sind.

#### 4. Vergleich – Aerophotogrammetrie versus Laser-Scanning

Aus der Tabelle 2 wird ersichtlich, dass derzeit vor allem RMK- mit LIDAR-Systemen zur Erfüllung der o.g. Aufgabenstellungen konkurrieren, wobei beide Techniken nicht immer unmittelbar vergleichbare Endprodukte liefern. Aufgrund mangelnder Praxisreife bzw. Tauglichkeit werden die MSS- und die InSAR-Technik im Folgenden vernachlässigt.

##### 4.1 Technisches Leistungsvermögen

Beide Systeme sind hinsichtlich ihrer Auflösung variabel einsetzbar. Die entsprechenden vergleichbaren Angaben zur Erreichung der o.g. Anforderungen sind ein photogrammetrischer Bildmaßstab von  $M_b \approx 1:4.500$  bzw. eine Laserpunktdichte von  $F \leq 1$  Punkt pro  $2,5 \text{ m} \cdot 2,5 \text{ m}$ .

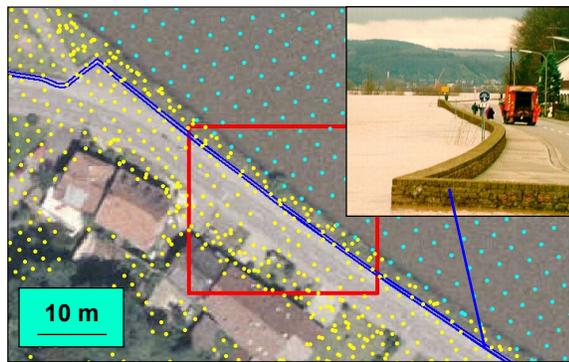


Abbildung 5: Daten zur DHM-/DGM-Modellierung

Problematisch ist nach wie vor die Bestimmung von Geländekanten aus Laserdaten. Die Abbildung 5 zeigt Laserpunkte des Geländes (gelb), die mit Gewässerbettlinien (hellblau) und Vektorinformationen einer Hochwasserschutzmauer (dunkelblau) zur Modellierung zur Verfügung stehen.

Die entsprechenden Ergebnisse eines Differenzmodells DGM-DHM in der Abbildung 6 auf der Datenbasis des roten Bildausschnittes der Abbildung 5 bestätigen, dass eventuell

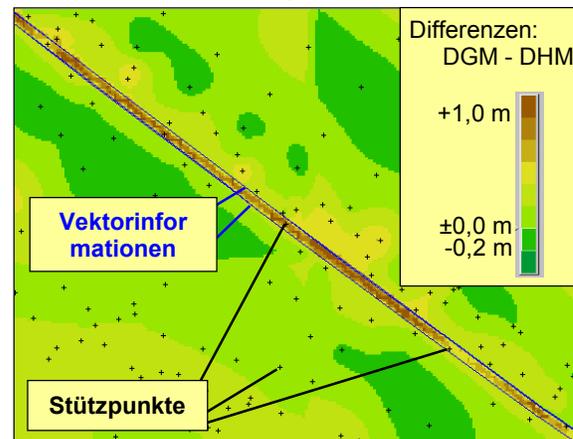


Abbildung 6: Differenzenmodell – Ergebnisse

bedeutende topographische Objekte ohne Berücksichtigung der Vektorinformation mangelhaft repräsentiert werden. D.h., hochauflösende DGMs fordern eine sehr hohe Laserpunktdichte oder die Integration von z.B. photogrammetrisch bestimmten Vektorinformationen.

Hingewiesen werden muss auch auf Probleme bei der automatischen Objektklassifizierung von Laserdaten (Trennung von Laserpunkten, die zur Modellierung herangezogen und nicht herangezogen werden sollen). Die entsprechenden Algorithmen beruhen alle auf einen Abgleich von Höheninformationen. D.h., insbesondere bei größeren Objektoberflächen mit geringen Höhenunterschieden, die nicht abgebildet werden sollen (z.B. Fabrikhallen), ist eine manuelle Nachklassifizierung erforderlich. Diese Probleme existierten bei der photogrammetrischen Auswertung natürlich nicht.

Ein weiteres Leistungskriterium sind die erreichbaren Genauigkeiten. Bei den entsprechenden DHM-Angaben (s. Abbildung 7) ist nach Geländeausprägung und Vegetation zu differenzieren. Die Geländekanten lassen sich entsprechend den o.g. Anforderungen bekanntermaßen photogrammetrisch bestimmen. Dies ist mittels Laserdaten derzeit noch praxisreif möglich (s. Abschnitt 5.2).

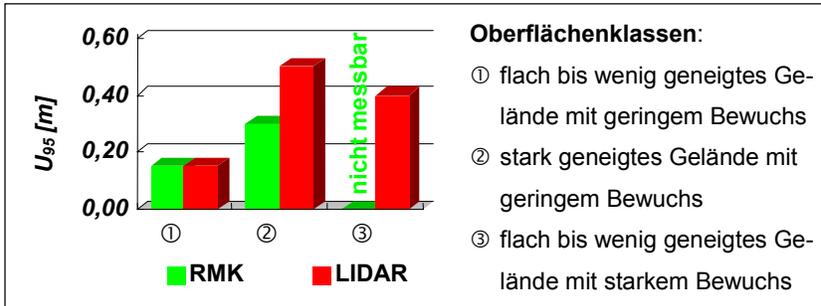


Abbildung 7: Erreichbare DHM-Genauigkeiten (95% Wahrscheinlichkeit)

#### 4.2 Erforderlicher Aufwand

Die Entscheidung, welche Technik zum Einsatz kommt, ist auch eine Frage des erforderlichen Kostenaufwandes. Die Höhe der erforderlichen Vergabeaufwendungen ist grundsätzlich projektabhängig. Dabei ist überschlägig davon auszugehen, dass LIDAR-Befliegungen einschließlich Auswertung 3-mal kostengünstiger sind als photogrammetrische.

Die Abbildung 8 beschreibt die Vergabeaufwendungen entsprechend dem Leistungsumfang für ein BfG-Projekt. Die zusätzlich zu erbringenden Ingenieurleistungen des Auftraggebers (Passinformationen, Auftragnehmerkontrolldaten und dgl.) können für beide Techniken überschlägig gleich hoch veranschlagt werden (Brockmann, 2000).

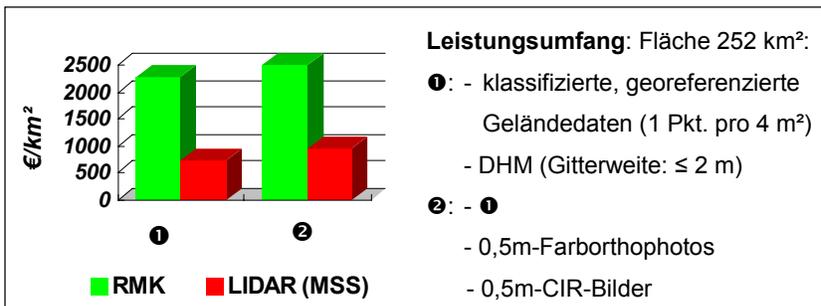


Abbildung 8: Aufnahme- / Auswertekosten (Rhein-/Lahn-Wasserläufe)

#### 5. BfG-Strategie

Bei der BfG werden z.Z. unter gewässerkundlichen und wirtschaftlichen Aspekten zwei Schwerpunkte verfolgt, der Aufbau Digitaler Geländemodelle von Wasserläufen (DGM-W, aus Flussvorland und Gewässerbettdateien) sowie die angewandte Forschung zur verfahrenstechnischen Leistungssteigerung und Erschließung neuer Lösungsmöglichkeiten.

### 5.1 Aktuelles Vorgehen

Alle BfG-Projekte (s. Abbildung 9) werden von einem hausinternen Projektmanagement gesteuert. Aus Kostengründen werden möglichst unterschiedliche gewässerkundliche, aber auch wasserbauliche und vermessungstechnische Anforderungen der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes in diesen Projekten zusammengeführt. Darüber hinaus werden bei Kostenbeteiligung auch die Anforderungen Dritter in die Projekte integriert. Ebenso beteiligt sich die BfG indirekt an Projekten Dritter, z.B. der Wasserwirtschaft (Abbildung 9).

Derzeit kommt bei der BfG aus wirtschaftlichen Gründen die LIDAR-Technik für die o.g. Aufgabenstellungen zum Einsatz. Die Laserdaten werden entsprechend den Kriterien in Abbildung 7 geodätisch kontrolliert und abgenommen. Dabei ist man sich bewusst, dass mit Massendaten gearbeitet wird, d.h. es kann natürlich nicht jeder Laserpunkt kontrolliert werden. Sofern die Laserdatendichte zur Modellierung von Geländekanten nicht ausreicht, werden sie möglichst aktuellen Bestandsunterlagen entnommen. Als Endprodukt wurden/werden zumindest eine DGM-Ws (Abbildung 10) mit projektspezifischen Gitterweiten zwischen 1 m und 2,5 m aufgebaut (Brockmann, Mandlbürger, 2001), aus denen weitere Produkte wie Querprofile abgeleitet werden können. Bei Bedarf erfolgen inzwischen parallele 4-kanalige (blau, grün, rot, nahes Infrarot) MSS-Aufnahmen zur kostengünstigen Erstellung von Echtfarben- und Farbinfrarot-Orthophotos. Zukünftig ist vorgesehen, hybride DGM-Ws (Gitterdatenmodell, mit eingeketteten Strukturlinien) zu modellieren (Kraus, 2000 und Brockmann, Kraus, Mandlbürger, 2001).

### 5.2 Perspektiven

Möglichkeiten zur Leistungssteigerungen bei Einsatz der LIDAR-Technik sind zu erwarten. Wenn im Einzelfall erforderlich, lassen sich die Höhengenaugkeiten nahezu um den Faktor 2 mittels simultaner Höheneinpassung von Laser-Scanner-Streifen steigern (Karger, Kraus, 2000). Fachlich und wirtschaftlich wesentlich interessanter ist die Ableitung von Geländekanten aus Laserdaten für die hydraulische Modellierung und der optimierten Anpassung ausgeprägter Geländestrukturen im DGM-W. Diese Thematik ist derzeit ein aktueller und vielversprechender Forschungsschwerpunkt, auch der BfG.

Weitere Möglichkeiten ergeben sich durch den parallelen Einsatz von LIDAR- und MSS-Technik. So wird seitens der BfG untersucht, ob aus den 4-kanaligen Bilddaten (s. Abschnitt 5.1) Rauheitsklassen für die hydraulische Modellierung automatisch ableitbar sind. Weiterhin wird versucht, aus diesen Daten eine nahezu vollautomatische Trennung von Laserdaten des

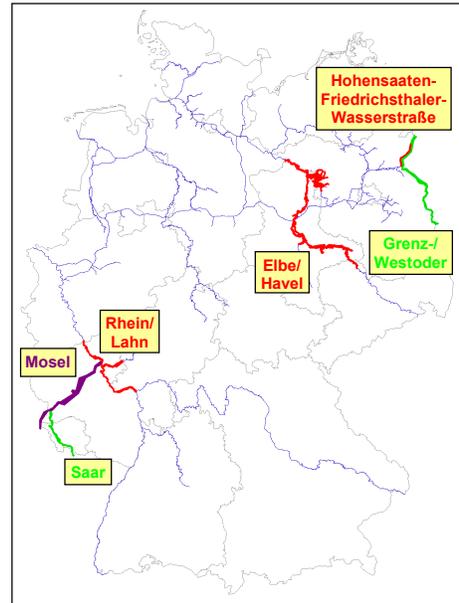


Abbildung 9: DGM-W-Projekte der BfG (abgeschlossen, in Bearbeitung, Projekt Dritter)

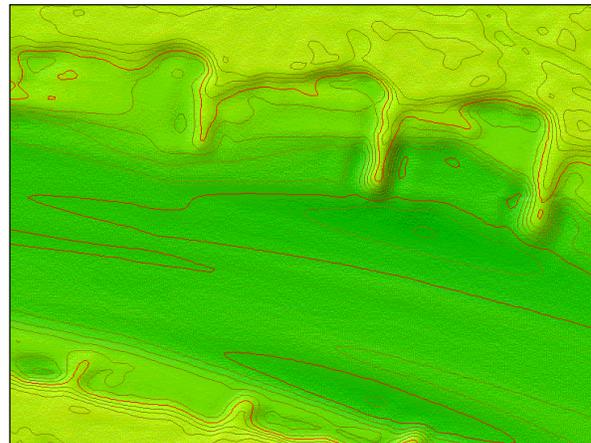


Abbildung 10: Kombinierte DGM-W-Visualisierung (0,5m-Höhenlinien, Schummerung, Höhenkodierung)

Geländes und der Wasseroberfläche zu erreichen. Die Laserdatentrennung ist für die DGM-W-Modellierung zwingend und erfolgt bisher teilautomatisiert mittels geometrischer Methoden (Brockmann, Mandlbürger, 2001). In der Kombination der geometrischen Methoden mit denen der Digitalen Bildverarbeitung wird eine Wirtschaftlichkeitssteigerung erwartet. Eventuell lassen sich hier auch Verbesserungen erreichen, wenn zusätzlich noch die Rückstrahlungsintensitäten der Laserdaten mit einbezogen werden.

Seit 1999 sind digitale Satellitendaten (IKONOS II) mit Bodenauflösungen von 1 m im panchromatischen und 4 m im multispektralen Bereich verfügbar. Allerdings sind diese Daten noch nicht kostengünstiger als vergleichbare Flugzeugdaten (Ehlers, 2002). Ggf. werden vergleichbare Daten des Ende 2001 gestarteten Satelliten QuickBird 2 kostengünstiger angeboten.

## 6. Abschließende Bewertung

Eine pauschale Antwort auf die Frage nach der geeignetsten Technik, der herkömmlichen aerophotogrammetrischen Technik oder dem Laser-Scanning zur Bereitstellung von Geo-Basisdaten für großmaßstäbige Anwendungen in der Gewässerkunde und der Wasserwirtschaft lässt sich zumindest z.Z. nicht geben. Entscheidende Kriterien sind die jeweiligen fachlichen Anforderungen und die finanziellen Voraussetzungen der Datenendnutzer. Aus fachlicher Sicht ist derzeit z.B. vom Nutzer abzuwägen, ob hochwertige photogrammetrisch bestimmte Geländekanten oder mit Laser-Scanning bestimmte Geländehöhen in Gebieten mit Baum-/Bodenbewuchs bedeutender sind. Ein nicht unwesentliches Argument ist in diesem Zusammenhang sicherlich immer das Verhältnis der erforderlichen Aufnahme- und Auswertekosten von überschlägig 1:3 für das kostengünstigere Laser-Scanning.

In absehbarer Zukunft ist davon auszugehen, dass aus Laserdaten weitere nutzbare Informationen ableitbar sind, multispektrale Scanner-Systeme verstärkt und parallel zum Laser-Scanning eingesetzt werden. Sofern multispektrale Bilddaten benötigt werden, sind auch die satellitengestützten Möglichkeiten zu berücksichtigen.

## 7. Literatur

- ATV-DVWK (2001): Volumenermittlung von Stauräumen – Stauraumverlandung. – ATV-DVWK-Schriftenreihe, Band 25
- Brockmann, H. (2000): Einsatz flugzeuggestützter Fernerkundungstechniken zur Bearbeitung hydrologischer Fragestellungen. – Wasserwirtschaft, Zeitschrift für Wasser und Umwelt, 90. Jahrgang, Heft 1
- Brockmann, H., Kraus, K. & Mandlbürger, G. (2001): Modellierung digitaler Höhendaten zur Bearbeitung hydrologisch/hydraulischer Fragestellungen an Wasserläufen. – Hydrologie und Wasserbewirtschaftung, 45. Jahrgang, Heft 3
- Brockmann, H. & Mandlbürger, G. (2001): Modelling a watercourse DTM based on airborne laser-scanner data – using the example of the River Oder along the German/Polish Border. – Proceedings of the OEEPE workshop: Airborne Laserscanning and Interferometric SAR for Detailed Digital Elevation Models, Stockholm
- DIN (1995): Leitfaden zur Angabe der Unsicherheit beim Messen. – Deutsche Übersetzung des „Guide to the Expression of Uncertainty in Measurement“, Herausgeber: Deutsches Institut für Normung, Beuth Verlag, 1. Auflage
- Ehlers, M., 2002: Fernerkundung für GIS-Anwender – Sensoren und Methoden zwischen Anspruch und Wirklichkeit. – Proceedings zum AGIT-Workshop Fernerkundung und GIS: Neue Sensoren – Innovative Methoden, Salzburg, Wichmann Verlag
- Kager, H. & Kraus, K., 2001: Simultaneous fitting of areal Laser-Scanner-Strips. – Proceedings of the 5<sup>th</sup> Conference on Optical 3-D Measurement Techniques, Vienna, Wichmann Verlag
- Kraus, K. (2000): Photogrammetrie – Band 3: Topographische Informationssysteme. – Dümmler Verlag, Köln