

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Frener, Thorben; Levon Vardanyan

Vermessung, Modellierung und Simulation - ganzheitlicher Ansatz durch hybride Methodik

Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen

Zur Verfügung gestellt in Kooperation mit/Provided in Cooperation with:

Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik

Verfügbar unter/Available at: <https://hdl.handle.net/20.500.11970/107544>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Frener, Thorben; Levon Vardanyan (2021): Vermessung, Modellierung und Simulation - ganzheitlicher Ansatz durch hybride Methodik. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Wasserbau zwischen Hochwasser und Wassermangel. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 65. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 187-196.

Standardnutzungsbedingungen/Terms of Use:

Die Dokumente in HENRY stehen unter der Creative Commons Lizenz CC BY 4.0, sofern keine abweichenden Nutzungsbedingungen getroffen wurden. Damit ist sowohl die kommerzielle Nutzung als auch das Teilen, die Weiterbearbeitung und Speicherung erlaubt. Das Verwenden und das Bearbeiten stehen unter der Bedingung der Namensnennung. Im Einzelfall kann eine restriktivere Lizenz gelten; dann gelten abweichend von den obigen Nutzungsbedingungen die in der dort genannten Lizenz gewährten Nutzungsrechte.

Documents in HENRY are made available under the Creative Commons License CC BY 4.0, if no other license is applicable. Under CC BY 4.0 commercial use and sharing, remixing, transforming, and building upon the material of the work is permitted. In some cases a different, more restrictive license may apply; if applicable the terms of the restrictive license will be binding.



Vermessung, Modellierung und Simulation - ganzheitlicher Ansatz durch hybride Methodik

Thorben Frener
Levon Vardanyan

Zur Untersuchung von Fragestellungen in und an Gewässern bedarf es einer adäquaten Datengrundlage für Berechnung und Planung. Besonders bei hydraulischen Themen ist die Bandbreite unterschiedlicher Messverfahren groß. Hinsichtlich einer kosten- und zeiteffizienten Bearbeitung ist es daher von Vorteil, diese in einer abgestimmten, den Anforderungen des Planers entsprechenden Methodik anzuwenden.

Ziel muss dabei die ganzheitliche Aufnahme der vorliegenden Topografie und Bathymetrie sowie deren anschließende Nutzung in Planung und Berechnung sein.

Ein dazu geeignetes, hybrides Messverfahren wird im Folgenden vorgestellt, das bei der Fichtner Water & Transportation GmbH (FWT) von den Autoren entwickelt wurde. Dabei wird auf die Teilaspekte der Messmethoden, Datenverarbeitung und -nutzung eingegangen, um die entwickelte Methodik zu illustrieren.

Stichworte: Vermessung, Modellierung, Bathymetrie, Echolot, 2-D-Simulation, 3-D-Simulation

1 MESSVERFAHREN

Im Folgenden wird eine Auswahl an Vermessungsmethoden vorgestellt, die in der wasserbaulichen Messdatenaufnahme von Bedeutung sind. Werden die Messungen vom planenden Ingenieur begleitet oder besser noch durchgeführt, erleichtert dies bei Bedarf die Reaktion auf lokale Gegebenheiten entsprechend der gestellten Aufgabe - auch der zeitliche und organisatorische Aufwand können in vielen Fällen minimiert werden.

1.1 DGPS

Die präzise Positionsbestimmung mittels Differentiellen Globalen Positionierungssystems (DGPS) ist die Grundlage für die vorgestellten Messme-

thoden. Dazu werden globale Navigationssatellitensysteme (GNSS) genutzt, welche frei verfügbare Positionsdaten bereitstellen.

Die Genauigkeit der GNSS-Position wird dabei mithilfe eines aktuellen Korrektursignals für die jeweilige Messposition maßgeblich erhöht, welches bei Echtzeitmessungen per Mobilfunk oder Satellit übertragen wird - die Korrektur kann auch im „Post-Processing“ stattfinden. Unter Post-Processing versteht man im Allgemeinen die nachträgliche Verarbeitung gewonnener Daten.

Bei stark eingeschnittenem Gelände bzw. bei schlechtem Korrektursignalempfang empfiehlt sich ggf. der Einsatz einer Basisstation als Ergänzung zum Rover, die an einer erhöhten, freien Position aufgestellt und eingemessen wird. Anschließend kann diese ein eigenes Korrektursignal per Funk für den Rover bereitstellen.

Die Funktionsweise DGPS-gestützter Vermessung wird in Abbildung 1 dargestellt - die Berechnung und Ausgabe der exakten Position erfolgt dabei in der Regel in Echtzeit.

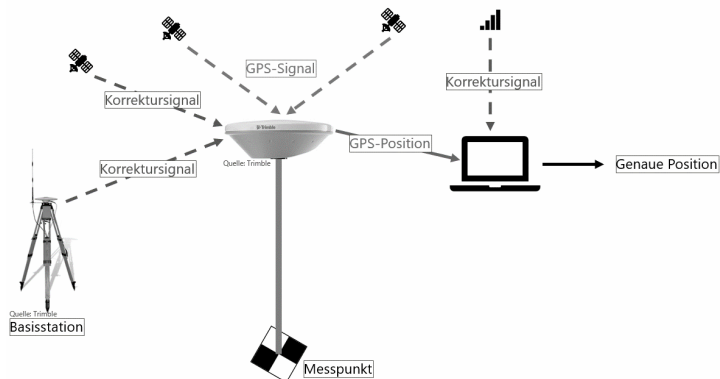


Abbildung 1: Vermessung per DGPS – System (Quelle: FWT)

Mit dem DGPS können einzelne Geländepunkte sowie -bruchkanten mit Unsicherheiten wenigen Zentimetern (Höhe und Lage) manuell aufgenommen werden. Koordinaten- und Höhenbezugssystem wird idealerweise im Vorhinein mit dem Auftraggeber abgestimmt. Es empfiehlt sich, bei Verfügbarkeit behördlicher oder betreibereigener Messpunkte diese als Kontrollpunkte ebenfalls aufzunehmen, um beispielsweise den Vergleich mit vor-

handenen Vermessungsdaten zu ermöglichen: Häufig fehlen jedoch Angaben über alten Vermessungsdaten zugrundeliegende Bezugssysteme.

1.2 Drohne

Zur Aufnahme größerer bzw. komplexerer Gelände und 3-D-Strukturen ist die oben beschriebene, manuelle Methode mittels DGPS ineffizient und unzureichend. Eine Möglichkeit zur Vermessung solcher Bereiche ist die Drohnenbefliegung: Zunächst werden Bodenkontrollpunkte (Ground Control Points, GCP) ausgelegt und per DGPS genau eingemessen. Anschließend wird der betrachtete Bereich aus verschiedenen Positionen und Winkeln überlappend fotografiert. Durch photogrammetrische Auswertung kann anschließend ein 3-D-Modell oder ein DGM (2,5 D) gewonnen werden.

Bei dieser Methode wird neben der Messpunktwolke auch die jeweilige Textur zugeordnet, sodass die Grundlage für eine fotorealistische Darstellung gegeben ist. Die Genauigkeit der gewonnenen Daten hängt von Anzahl und Präzision der Fixpunkte, der drohneneigenen Positionsbestimmung sowie der Qualität und Anzahl der aufgenommenen Bilder ab - eine Präzision im Zentimeterbereich (Höhe und Lage) ist erreichbar.

Abbildung 2 illustriert den Prozess der Aufnahme und Verarbeitung von Gelände- und Objektdaten per Drohne.

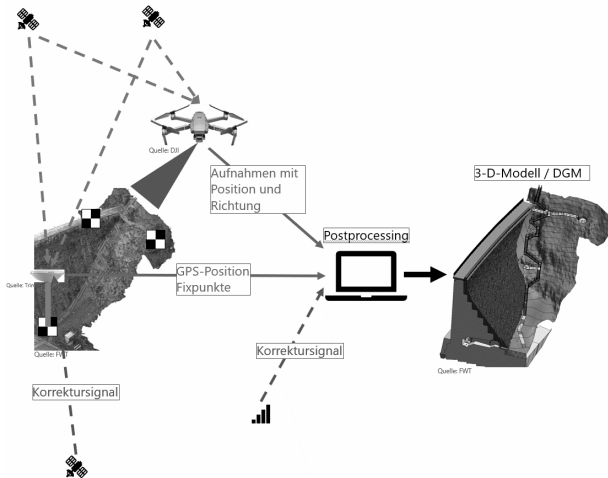


Abbildung 2: Fotogrammetrische Vermessung per Drohnenflug - Methode (Quelle: FWT)

Stark bewachsene oder aus anderen Gründen nicht zu befliegende Bereiche können durch DGPS-Punkt- oder Bruchkantendaten ergänzt werden. Falls die Möglichkeit der Trockenlegung des untersuchten Bereichs besteht, kann auch die Bathymetrie durch den Drohnenflug abgedeckt werden.

1.3 Echolotvermessung

Die Vermessung einer Gewässersohle kann, je nach Anforderung an Genauigkeit und Vollständigkeit der Daten, bis zur maximalen Wassertiefe manuell per DGPS erfolgen. Dabei werden Längs- und Querschnitte aufgenommen, aus denen ein bathymetrisches Modell interpoliert wird.

Eine weitere Möglichkeit zur Aufnahme der Bathymetrie ist der Einsatz eines Echolots. Dabei bestimmt das DGPS die genaue Position sowie die geodätische Höhe des Messpunktes, während das Echolot die Wassertiefe 1-dimensional bestimmt. Dieses wird an einem Boot befestigt, wobei sich das Phasenzentrum des Echolotschwingers in einer Achse mit dem des DGPS befindet. Bei Kenntnis der Höhendifferenz zwischen DGPS- und Echolotphasenzentrum ergibt sich die Lage der Gewässersohlenpunkte aus der DGPS-Position. Zur Bestimmung der Sohlenpunkthöhen wird von der DGPS-Höhe die Höhendifferenz zwischen DGPS- und Echolotphase sowie der Abstand Echolot-Sohlgrund subtrahiert. Die Zuordnung der jeweiligen DGPS-Positionen zu per Echolot vermessenen Wassertiefen erfolgt per DGPS-Zeitstempel-Synchronisation.

Die Genauigkeit liegt bei wenigen Zentimetern, wobei je nach Gewässergrund im Flachwasser die automatische Sohlenfestlegung des Echolots mit einem Meterstab geprüft werden sollte. Durch den Einsatz eines Sedimentecholots kann darüber hinaus die Sedimentmächtigkeit sowie der Untergrund für jeden Messpunkt ermittelt werden. Der Detailgrad des modellierten Gewässergrunds hängt von der Anzahl der aufgezeichneten Sohlenpunkte ab, die während der Befahrung aufgezeichnet wurden - bei FWT wird i. d. R. ein Punkt je Sekunde aufgezeichnet. Auch die Art der Befahrung (mäandrierend oderspiralförmig etc.) sowie die Verdichtung der Punktwolke in Teilbereichen spielen eine Rolle. Der Einsatz einer DGPS-Bodenstation ist optional möglich und erhöht potenziell die Genauigkeit in stark eingeschnittenem oder bewachsenem Gelände. Die Vorgehensweise der Echolotvermessung ist in Abbildung 3 dargestellt.

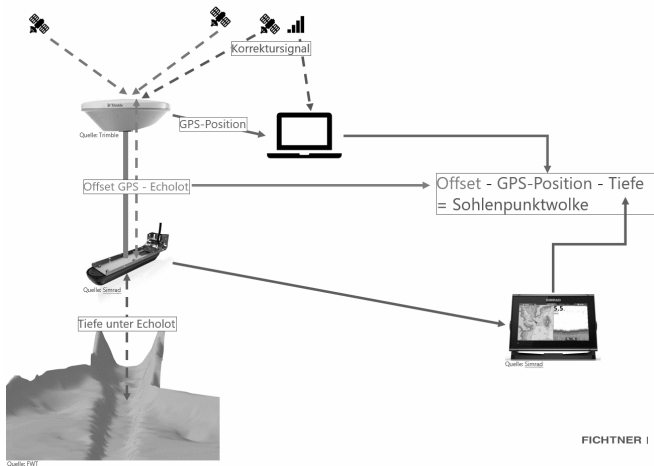


Abbildung 3: Schema der Echolotvermessung (Quelle: FWT)

2 Ergebnisse

Die Rohdaten der Vermessungsarbeiten werden so aufbereitet, dass sie für weitere planerische Aufgaben zur Verfügung stehen. Qualität und Format werden bereits während der Vermessung passend zur Aufgabenstellung gewählt - diese zielgerichtete Vorgehensweise findet sich auch im weiteren Arbeitsablauf wieder. Die notwendigen Methoden und Verarbeitungsschritte finden in weiten Teilen vereinheitlicht und automatisiert statt.

2.1 DGM und Orthofoto

Die Punktwolken aus DGPS, Drohnenflug und Echoloteinsatz werden zu einem DGM verschnitten. Uferstreifen und Flachwasser, die weder befahren noch durch Befliegung aufgenommen werden können, können entweder interpoliert oder durch Befliegung bei niedrigem sowie Befahrung bei hohem Wasserstand ebenfalls überlappend abgedeckt werden.

Ein hochaufgelöstes Orthofoto des gesamten Untersuchungsgebietes ist ein weiterer Zusatznutzen. Abbildung 4 gibt die Rohdaten einer Drohnenbefliegung in Form einer Punktwolke und eines Orthofotos wieder.



Abbildung 4: Lage von Punktwolke und Orthofoto im beflogenen Gebiet (Quelle: FWT)

2.2 3-D-Körper

Bauwerke und andere 3-D-Geometrien können bei Bedarf aus geeigneten Drohnenbefliegungsdaten extrahiert werden. DGM-Daten aus Echolot- und DGPS-Vermessung können damit kombiniert werden. Die 3-D-Körper können zur Darstellung inkl. Texturen bereitgestellt werden oder als Grundlage für eine 3-D-Modellierung der untersuchten Objekte herangezogen werden. Abbildung 5 zeigt beispielhaft ein Mühlengebäude, das mitsamt umliegendem Gelände aufgenommen und modelliert wurde.

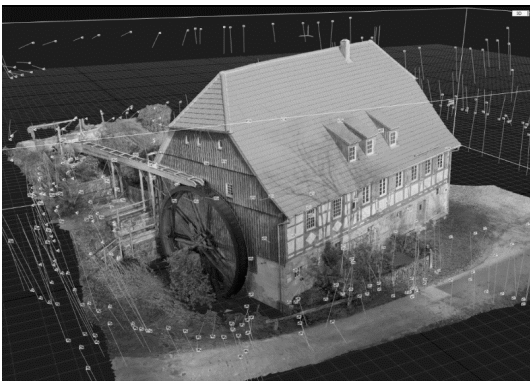


Abbildung 5: 3-D-Modell einer Mühle inkl. Gelände und Aufnahmepositionen (Quelle: FWT)

3 Nutzen und Verarbeitung

Die effizient erarbeitete, kompakte Datengrundlage eignet sich für eine Vielzahl an Untersuchungen, von denen hier beispielhaft 2-D- und 3-D-HN-Simulationen vorgestellt werden

3.1 2-D-HN-Modell

Für großflächige Untersuchungen von hydraulischen Fragestellungen, wie Flüssen, Seen und einfachen Strukturen, wird ein 2,5-D-Modell erstellt. Diesem werden verschiedene, teils tiefenabhängige Rauheitswerte zugewiesen und eine geeignete Netzauflösung ermittelt. Andere Randbedingungen werden anhand von Beobachtungen, wie bekannten Abflüssen und Wasserspiegeln, abgeleitet und per Kalibrierung überprüft. Die vertikale Komponente wird in Flachwassergleichungen berücksichtigt, denen die Annahme einer hydrostatischen Druckverteilung über die Fließtiefe zugrunde liegt. Abbildung 6 zeigt ein aus der Kombination von Bathymetrie und Topografie erstelltes 2,5-D-Modell, in dem nach dem Einbau der Wehrfelder die Simulation eines Freispiegelauslaufs durchgeführt wurde.

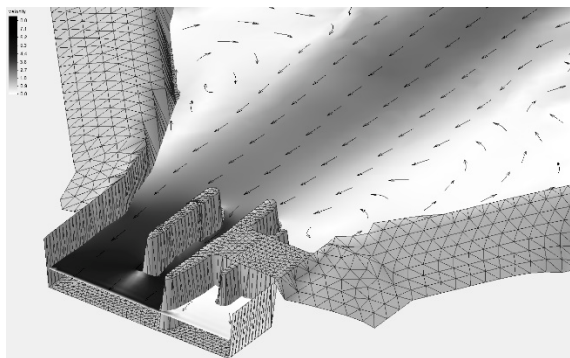


Abbildung 6: 2-D-Simulation eines Wehrbereichs mit Freispiegelauslauf inkl. Gelände; Vektoren, Grautöne: Fließgeschwindigkeiten (Quelle: FWT)

Im so kalibrierten Modell können entweder Planungen, wie Ein- und Rückbauten, oder Querschnittsänderungen eingepflegt und deren Einfluss oder Wirkungsweise untersucht werden.

Der Vorteil gegenüber 3-D-HN-Simulationen ist die verringerte Rechenzeit, sodass in derselben Zeit größere Gebiete und eine Mehrzahl an Fällen untersucht werden können. Die FWT nutzt unter anderem Hydro_AS-2D zur Berechnung derartiger Fragestellungen.

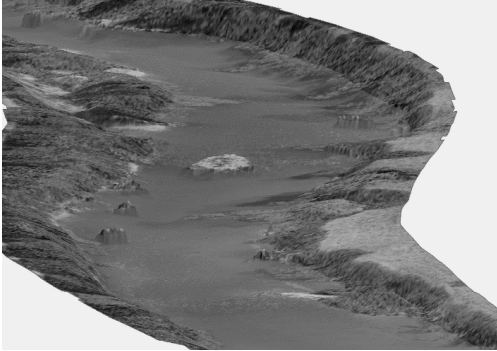


Abbildung 7: 2-D-Modell eines Flussabschnitts mit überlagertem Orthofoto, Wasser teiltransparent mit Wassertiefen in Grautönen (Quelle: FWT)

3.2 3-D-HN-Modell

Fragestellungen, bei denen die z- oder vertikale Strömungskomponente eine entscheidende Rolle spielt, wie bei Wehrüberfällen, Fischaufstiegsanlagen, Strömungswalzen oder Turbinen, können mithilfe von 3-D-Simulationen untersucht werden. Die Methodik der Aufnahme der dafür notwendigen geometrischen Datengrundlage muss je nach untersuchtem Objekt passend gewählt werden. Viele Geometrien können mit den im Kapitel 1 beschriebenen Verfahren geeignet vermessen werden.

Die Nachmodellierung für bestimmte Fragestellungen und deren Untersuchungsbereiche muss nicht im gesamten vermessenen Bereich durchgeführt werden - so kann der Aufwand minimiert werden, da für die Datenaufnahme z. B. per Drohne, wenige bis keine zusätzlichen Ressourcen notwendig sind. Abbildung 8 illustriert beispielhaft das Ergebnis der Modellierung des mittleren Wehrfeldes für weitergehende Untersuchungen vorgenommen.

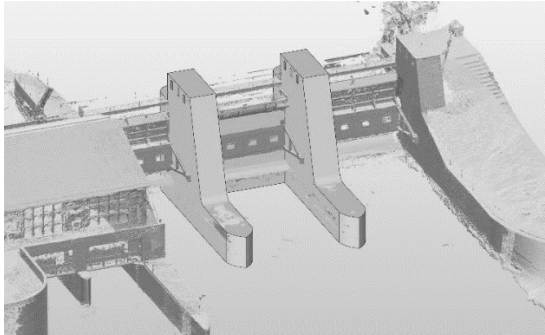


Abbildung 8: Modellierung des mittleren Wehrfeldes anhand einer Punktwolke (Quelle: FWT)

Für die Einrichtung der Simulationen sind die in Kapitel 3.1 beschriebenen Randbedingungen ebenfalls anzusetzen. Daneben ist auch die richtige Wahl der Gleichungssysteme, beispielsweise für die Turbulenzmodellierung, von Bedeutung. Für die Berechnung von 3-D-Fragestellungen wird bei FWT überwiegend die Softwarelösung Flow3D verwendet.

Abbildung 9 stellt das Ergebnis der 3-D-Simulation des modellierten mittleren Wehr-feldes dar.

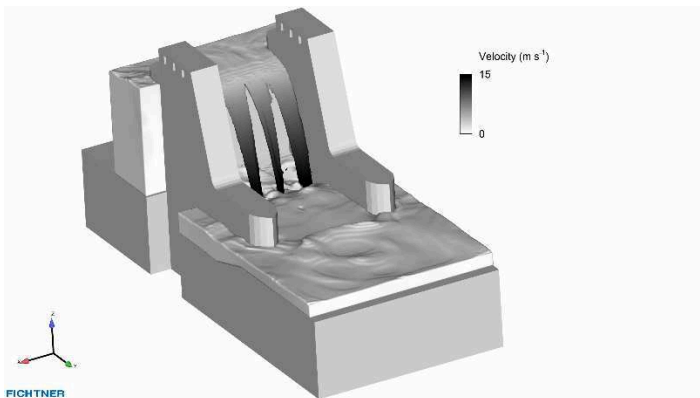


Abbildung 9: 3-D-HN-Modell eines Wehrüberfalls (Quelle: FWT)

Zusätzlich zur quantitativen Darstellung der Berechnungsergebnisse in Plänen und Schnitten können diese auch durch Integration in die vorliegende Punktwolke illustriert werden. Dies erleichtert den Überblick über das Gesamtgeschehen und zeigt nicht selten Effekte und Zwangspunkte auf, die in einer getrennten Betrachtung nicht auf den ersten Blick ersichtlich sind.

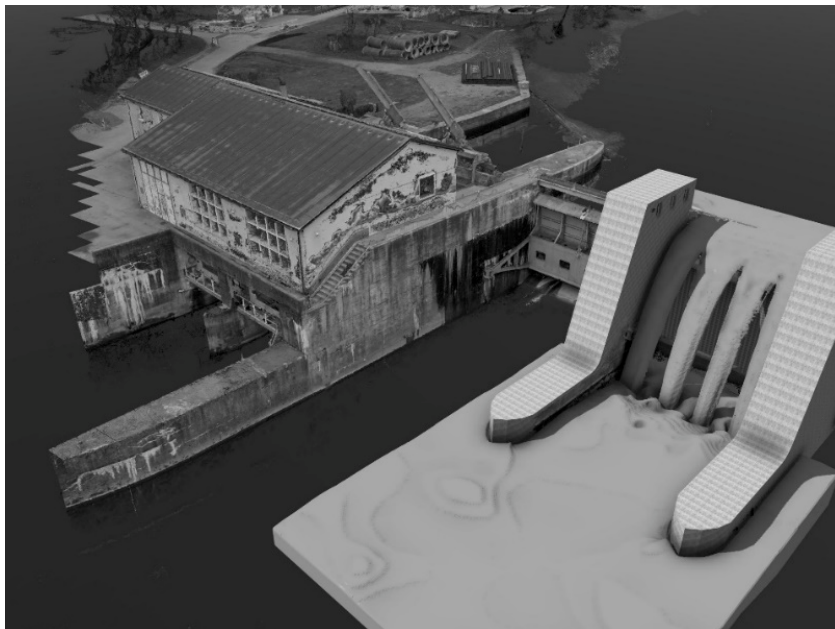


Abbildung 10: 3-D-Modell des Kraftwerks mit modellierten Wehrpfeilern und Simulationsergebnis (Quelle: FWT)

Autoren:

Thorben Frener

Levon Vardanyan

Fichtner Water &
Transportation GmbH
Abteilung Wasserbau
Sarweystraße 3
70191 Stuttgart

Fichtner Water &
Transportation GmbH
Abteilung Wasserbau
Sarweystraße 3
70191 Stuttgart

Tel.: +49 711 8995 532

Tel.: +49 711 8995 1583

E-Mail: thorben.frener@fwt.fichtner.de

E-Mail: levon.vardanyan@fwt.fichtner.de