

Einsatz hochauflösender Bathymetriedaten aus luftgestützter Vermessung in der Abfluss- und Habitatmodellierung

Dipl.-Ing. Stefan Jocham¹, Dipl.-Ing. Dr. Wolfgang Dobler², Dr. Ramona Baran², Univ.-Prof. Dr.-Ing. Markus Aufleger¹, Dipl.-Ing. Frank Steinbacher²

¹Arbeitsbereich Wasserbau, Universität Innsbruck, Technikerstraße 13, 6020 Innsbruck, Austria

²AirborneHydroMapping OG, Technikerstraße 21a, 6020 Innsbruck, Austria

Veröffentlicht in der Österreichischen Wasser- und Abfallwirtschaft:

<http://link.springer.com/article/10.1007/s00506-014-0153-3>

Zusammenfassung

Die Vermessung der Bathymetrie ist die Basis gewässerhydraulischer Betrachtungen. Ökohydraulische Anwendungen stellen in diesem Zusammenhang eine Interpretation der hydraulischen Gegebenheiten in Fließgewässern hinsichtlich der Lebensbedingungen für die Fauna und Flora dar. Mit steigenden Rechnerkapazitäten und leistungsfähigen Modellen zur Beschreibung der hydraulischen Situation steigen auch die Anforderungen an die Grundlagenvermessungen. Vor diesem Hintergrund, auch bestärkt durch die Forderungen der Wasserrahmenrichtlinie, wurde die Technologie des Airborne Hydromapping (luftgestützte Vermessung mit einem wasserdurchdringenden Lasersystem) entwickelt.

Mit dieser Technologie ist es möglich, hochaufgelöst und flächendeckend sowohl das Gewässerbett als auch die Gewässerrandbereiche zu erfassen (ca. 10–40 Punkte/m²). Diese Datengrundlage kann zur Erstellung von hochaufgelösten und detailgetreuen Berechnungsnetzen und damit der präzisen Beschreibung der hydraulischen Verhältnisse in großen Abschnitten bzw. Flussstrecken verwendet werden. In weiterer Folge kann sie für klein- bis großskalige Betrachtungsweisen (Feststofftransport, Habitatmodellierung, Strukturanalysen) genutzt werden und eröffnet auch im Bereich des Monitorings von Gewässern neue Möglichkeiten.

Using high-precision bathymetric data from airborne hydromapping in hydraulic and habitat modelling

Abstract

The survey of the bathymetry is the basis for investigations in river hydraulics. In this context, ecohydraulic studies represent an interpretation of the hydraulic situation in running waters concerning the living conditions for the fauna and flora. With increasing computational performance and powerful models describing the hydraulic situation the requirements on the basic surveys are rising. Against this backdrop, also reinforced by the demands of the European Water Framework Directive, the technology of Airborne Hydromapping (survey with a water penetrating laser system) was developed.

With this technology it is possible to survey waterbodies and riparian strips comprehensively and in high resolution (10-40 points/m²). This data base can be used for the creation of detailed high resolution calculation meshes and therefore for the precise description of the hydraulic conditions in large river reaches. Consequently, it can be used for small to large scale investigations (e.g. habitatmodelling or structural analysis) and opens as well new possibilities in monitoring applications.

1. Einleitung

Die Wasserrahmenrichtlinie der EU (WRRL) ist eine ambitionierte Agenda zur Erhaltung und Verbesserung der Qualität aquatischer Ökosysteme in Europa. Sie stellt in einem interdisziplinären Programm die Ökologie ins Zentrum der verantwortlichen Behörden und Ministerien (EU, 2000). Zur Verwirklichung der Richtlinie und Definition des ökologischen Status der Gewässer müssen die komplexen Interaktionen zwischen hydromorphologischen, physiko-chemischen, biologischen und anthropogenen Prozessen verstanden werden.

Für die effektive und nachhaltige Implementierung der Richtlinie bedarf es der Verpflichtung zur Entwicklung neuer Monitoringkonzepte und eines besseren Verständnisses für die biophysikalischen Verknüpfungen zwischen anthropogenen Einflüssen und deren ökologischer Auswirkungen. Viele EU-Mitgliedsstaaten haben jedoch Schwierigkeiten, ihre Verpflichtung zum Monitoring und zur Einführung von Programmen für Sanierungsmaßnahmen an Stellen, wo Gewässer nicht den WRRL-Kriterien entsprechen, zu erfüllen (Pinz, 2011). Die politischen Vorgaben bedingen damit den erhöhten Bedarf an Vermessungen von Gewässerstrukturen, insbesondere der Form von Fluss-, See- und Meeresböden. Gewässer sind dynamische Systeme und einem ständigen Wandel unterworfen. Verlandungen von Talsperren, Hochwasserereignisse oder bauliche Veränderungen an Fließgewässern haben immer eine Veränderung der Sohle zur Folge. Ihr Sohlverlauf muss daher regelmäßig neu, zeitnah und kosteneffektiv erfasst werden.

Die Vermessung der Bathymetrie eines Gewässers stellt somit die Grundlage vieler weiterführender Untersuchungen für das Gewässer dar. Dabei kommen gewöhnlich traditionelle terrestrische Vermessungsmethoden zum Einsatz. Anhand von Querprofilen wird das Flussbett tachymetrisch vermessen und zwischen diesen Querprofilen das bathymetrische Geländemodell interpoliert. In sehr gleichförmig verlaufenden Flussbetten ist der Fehler, der durch solche Interpolationen entsteht, geringer, in komplexeren, heterogenen Systemen stößt man jedoch stark an Grenzen (z.B. Williams et al., 2013, Conner & Tonina, 2013). Gerade bei gewässerökologischen Fragestellungen ist jedoch die genaue Kenntnis der Sohlmorphologie und den damit einhergehenden hydraulischen Verhältnissen sehr wichtig. Kiesbänke, große Gesteinsblöcke und andere Strukturen sollten realitätsgetreu abgebildet werden, da diese als potentielle Lebensräume speziell für die Fauna von Bedeutung sind. So gilt beispielsweise die Uferlänge als Indikator für die geomorphologische Komplexität eines Flussabschnittes und steht im Zusammenhang mit dem Vorkommen an Jungfischen (Hauer et al., 2012). Zur Abbildung dieser Bereiche ist eine detaillierte Auflösung des zugrundeliegenden Geländemodells von großer Bedeutung, da sich Ungenauigkeiten insbesondere in Flachwasserbereichen bei der Habitatbeschreibung stark bemerkbar machen (Hauer et al., 2009).

Airborne (luftgestütztes) Laserscanning hat sich in den vergangenen Jahren als leistungsfähiges Verfahren zur Vermessung der Topographie der Landoberflächen durchgesetzt. Die flächendeckende, luftgestützte Vermessung großer Gebiete ist Stand der Technik und wird u.a. im Bereich der Infrastrukturplanung und Landnutzung intensiv genutzt.

Mit den bisherigen Lasersystemen (1064 nm, rotes Licht) ist es nicht möglich die Wasseroberfläche zu durchdringen und somit die Gewässergeometrie zu vermessen. Mit einem wasserdurchdringenden Lasersystem können jedoch große Bereiche eines Gewässersystems vermessungstechnisch erfasst werden. Diese Technik steht nun zur Verfügung und ist Kern des AirborneHydroMapping (AHM)-Konzeptes (Steinbacher et al., 2010). Airborne Hydromapping-Daten haben das Potential, das Verständnis von ökologisch-hydromorphologischen Prozessen zu verbessern, auch in Bezug auf das übergeordnete Ziel der WRRL nach einer kosteneffektiven Durchführung von Schutzmaßnahmen.

Zusätzliche Indikatoren wie beispielsweise die Wasserspiegellage sind damit detektierbar und können zur Verbesserung oder Entwicklung neuer Methoden führen. Dies ist eine Grundvoraussetzung für die Entwicklung nachhaltiger Sanierungsstrategien für geschädigte Ökosysteme und verbessert den Schutz der Gewässer.

2. Airborne Hydromapping

Traditionelle Methoden der Gewässervermessung wie die terrestrische Tachymetrie oder die Vermessung mit DGPS-Systemen sind relativ teuer und zeitintensiv. Aus der Tatsache, dass das Gewässer bzw. die Randbereiche beschriftet werden müssen, ergeben sich Einschränkungen (watbare Bereiche, Sichtkontakt etc.). Außerdem haben die gelieferten Ergebnisse oftmals eine geringe räumliche Ausdehnung oder die Aussagekraft hinsichtlich kleinräumiger Strukturen ist durch eine geringe räumliche Auflösung eingeschränkt. Durch den Einsatz von Airborne Hydromapping können stark verbesserte Messergebnisse erreicht werden, sowohl die räumliche Ausdehnung als auch die Auflösung betreffend (siehe Abbildung 1).

Im Zentrum von Airborne Hydromapping steht ein wasserdurchdringendes Lasersystem, das die Sohlhöheninformationen in benetzten Bereichen liefern kann (VQ-820G; Riegl LMS, FFG-Projekt zwischen Universität Innsbruck und Riegl LMS). Wasserkörper können grundsätzlich bis in eine Tiefe von ca. 10 m erfasst werden. Dies ermöglicht einen detaillierten und räumlich hochaufgelösten Blick auf Flachwasserbereiche von Binnengewässern (ca. 10–40 Punkte/m²). Unter anderem ist die Dokumentation von Unterwasserdünen und Auebereichen detailliert möglich. In vorangegangenen Untersuchungen wurden die neuartigen Daten mit zeitgleich aufgenommenen Echolotdaten verglichen und es konnte eine allgemein gute räumliche Übereinstimmung erzielt werden (Dobler et al., 2013, Baran et al., 2013).

Während eines einzigen Vermessungsfluges werden außer den topo-bathymetrischen Laserscandaten hochaufgelöste Luftbilder (< 10 cm/Pixel) und zusätzlich Spektralbilder aufgenommen (z.B. Thermalaufnahmen). Dies stellt eine umfassende und homogene Datenbasis für die präzise Beschreibung von hydraulischen, morphologischen und ökologischen Prozessen in Fließgerinnen und Küstenbereichen dar und eröffnet vielfältige Möglichkeiten für weitreichende Analysen.

Aufgrund der Komplexität eines bathymetrischen Laserscannersystems wurde die Zusammenarbeit zwischen einem industriellen Partner (RIEGL Laser Measurement Systems) und einem akademischen Partner (Arbeitsbereich Wasserbau, Universität Innsbruck) notwendig. Während der industrielle Partner für die Hardware-Entwicklung des Lasersystems verantwortlich war, übernahm der akademische Partner gewässerbezogene Aufgabenstellungen und deren Verifikation. Hierbei wurden unter anderem die benötigte Eindringtiefe, Auflösung und Genauigkeit definiert, wobei ein spezieller Fokus darauf gelegt wurde, dass das System in flachen Gewässern angewendet werden kann.

Dieser Ansatz ist einzigartig und wird auch die zukünftige Basis für eine weiterführende Forschungsk Kooperation sein. Diese beinhaltet die weitergehende Hardware-Entwicklung des Laserscannersystems, die experimentelle Verifikation, die Datenprozessierung und Software-Entwicklung sowie die Verbesserung der

Vermessungsprozedur selbst. Der qualitative Sprung in der Dichte und Auflösung der Daten bietet die Basis für eine Reihe von Folgeprojekten hinsichtlich der Forschung an Fragestellungen der Hydraulik, des Sedimenttransportes und der Gewässerökologie. Darüber hinaus wird von den Beteiligten ein stark verbessertes Verständnis von Sedimenttransportprozessen und Möglichkeiten der Habitatmodellierung erwartet.

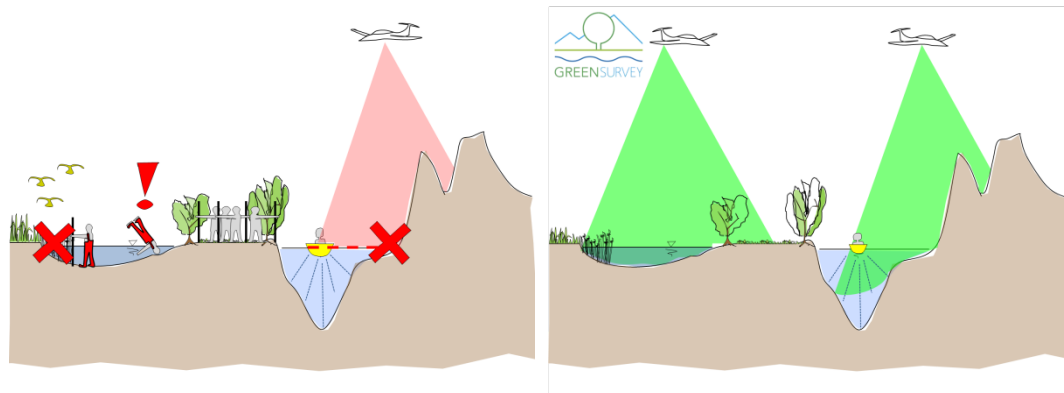


Abbildung 1 Prinzip der klassischen Gewässervermessung (links) und hochaufgelöste Gewässervermessung mit Hydromapping ergänzt durch Echolot (rechts).

Um eine bestmögliche Genauigkeit der Kalibrierung der Laserscanaufnahmen zu gewährleisten, erfolgt begleitend zu Vermessungsflügen eine terrestrische Aufnahme von Passpunkten im Bereich des Projektgebietes. Die Positionen der Passpunkte werden zuvor anhand der Laserdaten festgelegt. Die Punkte sind über das gesamte Projektgebiet verteilt und ihre Einmessung erfolgt beispielweise mittels GPS. Eine Befliegung besteht gewöhnlich aus mehreren Scanstreifen, die mit einem sogenannten Streifenabgleich zueinander angepasst werden. Die verbleibende Restabweichung für diese relative Kalibrierung liegt im Bereich von 0,04 bis 0,09 m (Standardabweichung). Anschließend wird die gesamte Punktwolke auf mehrere Passflächen eingepasst. Diese werden anhand der eingemessenen Passpunkte definiert. Die Standardabweichung für die absolute Kalibrierung liegt im Bereich $\leq 0,08$ m (u.a. Baran et al. 2013, Dobler et al. 2013).

Die Rohdaten müssen prozessiert werden, bevor sie Eingang in die Erstellung von Geländemodellen finden können. Zunächst wird die Punktwolke mit der Software *HydroVISH*, wie in Abbildung 2 gezeigt, klassifiziert: Boden (Land), Gewässersohle, Bebauung & Vegetation und Wasserspiegel. Dann wird für Punkte, die unterhalb des Wasserspiegels liegen (Sohlpunkte), die Wassertiefe korrigiert (Refraktion). Diese Korrektur berücksichtigt die unterschiedlichen Laufzeiten des Lichts in Wasser und Luft.

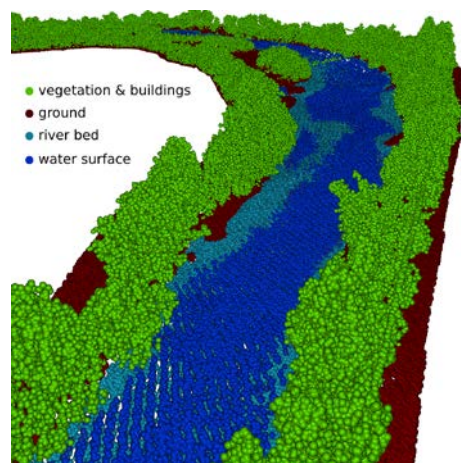


Abbildung 2 Ausschnitt klassifizierte Punktwolke der Ahr

3. Hydraulische Modellierung

3.1. Potential von hochauflösenden Daten in der hydraulischen Modellierung von Fließgewässern

Die Topographie von Flussbetten, Überschwemmungsebenen, Mündungsbereichen und Küsten-zonen möglichst genau wiederzugeben, ist eine der wichtigsten Arbeitsgrundlagen innerhalb des Wasserbaus. Zur Beschreibung der hydraulischen Verhältnisse ist es mittlerweile Stand der Technik mehrdimensionale numerische Strömungsmodelle zu verwenden.

Vorlandmodelle, welche für die klassische Hochwassermodellierung benötigt werden, basieren auf digitalen Höhenmodellen, die in den letzten zehn Jahren zumeist aus hochaufgelösten topographischen, flugzeuggestützten Laserscandaten gewonnen wurden (Heritage & Large 2009).

Das digitale Höhenmodell der Gewässersohle dagegen basiert dabei normalerweise auf vereinfachten und interpolierten Daten zwischen Querprofilen, die durch manuelle terrestrische Vermessung oder mit Sonarmessmethoden gewonnen werden. Bei der Interpolation von Querprofilen geht je nach Abstand zwischen den Querprofilen Information verloren. Aufgrund fehlender hochaufgelöster Information ist somit die Modellierung flacher Bereiche, wie in Flussmündungen, Kiesbänken oder Dünenstrukturen, sehr zeitaufwendig oder gar unmöglich. Auch in alpinen Fließgewässern ist die Erfassung der teilweise sehr heterogenen Flussläufe schwierig.

Durch die Qualitätsverbesserung der numerischen Methoden und steigende Rechnerleistungen steigen auch die Anforderungen an die Eingangsdaten für die Modellerstellung. So sind Berechnungsnetze, die die Bathymetrie detailliert wiedergeben, die Grundvoraussetzung für Berechnungsmodelle, die komplexe hydraulische Fließmuster darzustellen vermögen. Die Anforderungen an die Auflösung der Berechnungsnetze und damit einhergehend die vermessungstechnischen Grundlagendaten sind sehr hoch. In der Literatur gibt es verschiedene Angaben zum Einfluss der Ungenauigkeiten der Grundlagendaten auf die Güte der Simulationsergebnisse (z.B. Conner & Tonina, 2013; Horritt et al., 2006, Williams et al., 2013).

Es zeigt sich, dass die hydraulische Situation in Gewässern mit modernen Methoden sehr gut beschrieben werden kann, vorausgesetzt die Auflösung der Grundlagendaten entspricht den Anforderungen der räumlichen Aussagekraft der Fragestellungen. Weitere systematische Untersuchungen, die die Unsicherheiten von Simulationen quantifizieren, die durch vermessungstechnische Inputdaten hervorgerufen werden, sollten jedoch erfolgen.

Die numerische Modellierung ist durch Unsicherheiten wie beispielsweise vereinfachende Annahmen in den Berechnungsansätzen sowie der Grundlagendaten beeinflusst. Daher spielt die Kalibrierung der Modelle in der Praxis eine zentrale Rolle. Gewöhnlich stehen nur begrenzt (Mess-)Daten zur Modellkalibrierung zur Verfügung. Den Hauptkalibrierparameter stellen dabei die Rauheitsbeiwerte dar und als Kalibrierbasis wird häufig lediglich auf vorhandene Pegelmessstellen und zusätzlich terrestrisch vermessene punktuelle Wasserspiegellagen zurückgegriffen. Interpretationen und Rückschlüsse aus den Simulationsergebnissen können nur so gut sein, wie es die Kalibrierung und folglich die Qualität der Modellergebnisse zulassen. Daher ist für 2D-hydraulische Simulationen von Oberflächengewässern die Wahl der Rauheitsbeiwerte essentiell, um die Fließverhältnisse realistisch darstellen zu können.

Durch die Vermessung mittels Airborne Hydromapping können flächenhafte Wasserspiegellagen zum Zeitpunkt der Messung direkt aus den Daten abgeleitet werden. Dies stellt eine exzellente Grundlage zur Kalibrierung der flächig variablen Rauheitsverhältnisse im Flusslauf dar. Zudem ist vorstellbar, die geometrische Sohlinformation dazu zu nutzen, um die Oberflächenrauigkeit näher zu charakterisieren bzw. gute Vorabschätzungen vor dem Kalibrierungsprozess abzuleiten (Steinbacher et al. 2010; Pfennigbauer et al. 2011).

Die Geschwindigkeit von numerischen Berechnungen steht in direktem Zusammenhang mit der Auflösung des Berechnungsnetzes, d.h. mit der Anzahl an Berechnungsknoten. Durch eine sehr hohe räumliche Auflösung, d.h. große Zahl an Berechnungsknoten, kann die Topographie sehr gut wiedergegeben werden, die Rechenzeit verlängert sich dadurch jedoch beträchtlich. Dies ist speziell bei der Betrachtung großräumiger Gebiete von Bedeutung. Eine Herausforderung besteht somit in der Balance zwischen Detailtreue bezüglich der Wiedergabe der Topographie im Berechnungsnetz und der Anzahl der dafür notwendigen Netzknoten. Hochaufgelöste Vermessungsdaten können nun dafür verwendet werden, die Auflösung des Berechnungsnetzes an die Komplexität der jeweiligen Gewässerstrukturen anzupassen. In ebenen Flächen beispielsweise kann über Planaritätsdetektoren das Berechnungsnetz ausgedünnt werden ohne wertvolle Information zu verlieren (Dobler et al., eingereicht; Ritter & Benger, 2012). In diesem Zusammenhang stellt auch die automatisierte Extraktion von Bruchkanten einen wichtigen Mehrwert bei der Erstellung von Berechnungsnetzen dar. Bruchkanten helfen dabei, eine detailgetreue Nachbildung der Topographie zu gewähren und durch zielgerichteten Einsatz die Anzahl an Berechnungsknoten zu reduzieren (siehe Abbildung 3).

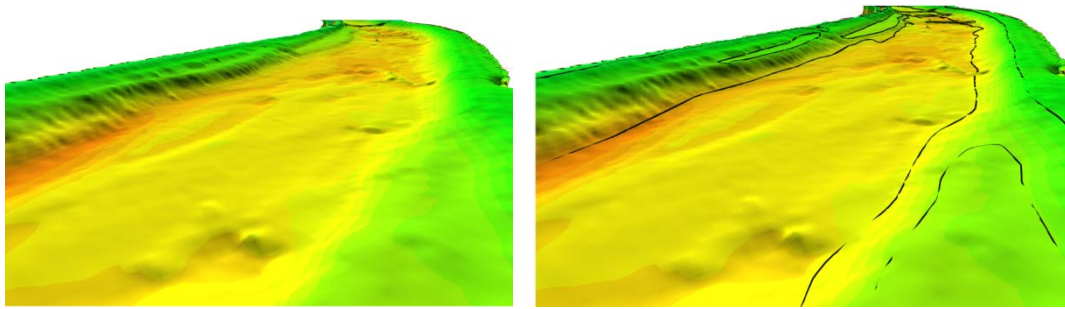


Abbildung 3 Ableitung von Bruchkanten

3.2. Fallbeispiel Ahr

Auf Basis von Vermessungsdaten der Ahr (Airborne Hydromapping, Dezember 2012; siehe auch Dobler et al., eingereicht.), einem alpinen Fluss in Südtirol, wurden numerische Abflussuntersuchungen mit der Software Hydro_AS-2D durchgeführt. Die Vermessungsdaten decken einen etwa 20 km langen Flussabschnitt ab. Zur besseren Veranschaulichung sind die Ergebnisdarstellungen auf einen etwa 2 km langen strukturreichen Abschnitt innerhalb des Gewässers beschränkt. Der Abschnitt ist gekennzeichnet durch einen Doppelbogen mit Seitenarmsystem, mehrere Kiesbänke und Flachwasserbereiche (siehe Abbildung 4).

Das Konzept der Untersuchungen ist auf die Erfassung und Darstellung der Hydraulik in komplexen, strukturreichen Bereichen fokussiert. Mit Hilfe verschiedener Auflösungen des zugrundeliegenden Geländemodells soll dessen Einfluss dargestellt werden. Die Vorgehensweise ist im Folgenden dargestellt:

1. Es wurde ein Berechnungsnetz mit der Software SMS (Surface-water Modeling System) für den betrachteten Abschnitt erstellt. Die Auflösung wurde mit ca. 2.5 m in Fließrichtung und 1 m senkrecht zur Fließrichtung so hoch gewählt, dass etwaige Ungenauigkeiten durch den Detailgrad des Berechnungsnetzes minimiert werden.
2. Zwei Geländemodelle wurden auf Basis unterschiedlicher Auflösungen der Grundlagendaten erstellt. Aus den Boden- und Gewässersohlpunkten eines vollständigen flächendeckenden Datensatzes wurden zum einen Querprofile extrahiert und zwischen diesen interpoliert. Der Abstand zwischen den Querprofilen beträgt ca. 40 m bei einer Flussbreite von ca. 20 – 70 m in diesem Bereich (siehe Abbildung 5). Dies entspricht in etwa den Abständen bei klassischen terrestrischen Querprofilmessungen.
Das zweite Geländemodell wurde aus dem vollständigen Datensatz erstellt (ausgedünnte Punktwolke auf 1 x 1 m Raster).
3. Im dritten Schritt wurden die Höheninformationen aus beiden Geländemodellen auf das Berechnungsnetz interpoliert. Zwei Berechnungsnetze mit unterschiedlichen Höheninformationen standen somit zur Verfügung. Das Berechnungsnetz mit vollständiger Höheninformation wird im Folgenden mit Netz 1 und das Netz auf Querprofilbasis mit Netz QP bezeichnet (siehe Abbildung 6).
4. Für beide Berechnungsnetze wurde ein klassischer Niedrigwasserabfluss mit 12m³/s simuliert. Dieser Abfluss wurde am Befliegungstag (12.Dezember 2012) an der nächstgelegenen Pegelmessstelle (St. Georgen) gemessen. Die Kalibrierung des Modells konnte somit anhand der zur Verfügung stehenden Wasserspiegeldaten aus den Hydromapping-Daten durchgeführt werden.

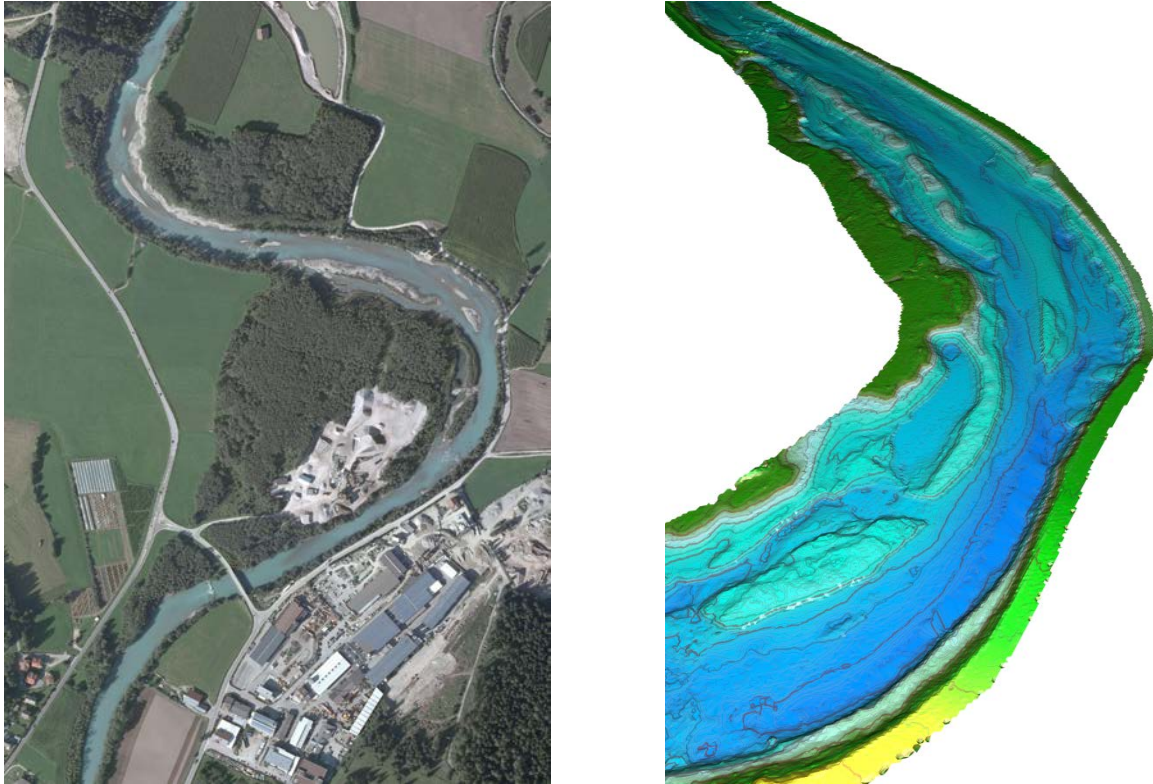


Abbildung 4 links: Orthophoto des Untersuchungsabschnittes entlang der Ahr, rechts: Auszug aus dem Geländemodell auf Basis der Hydromappingdaten (Visualisierung mit HydroVISH)

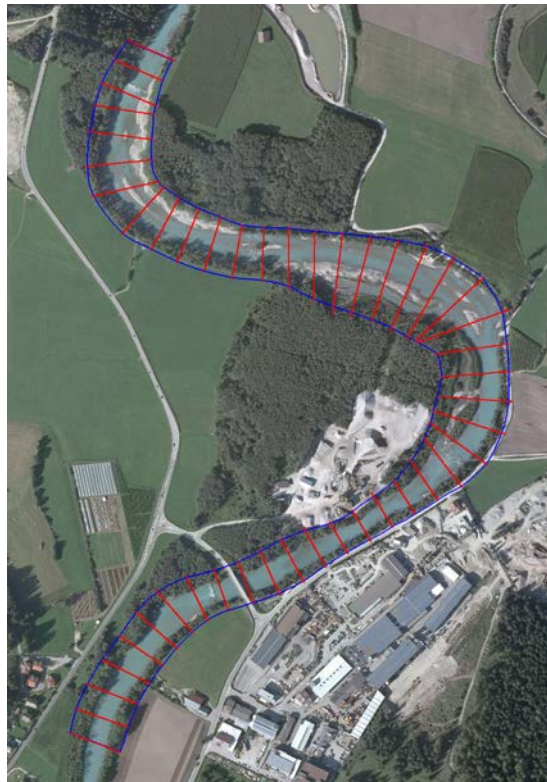


Abbildung 5 verwendete Querprofile

3.3. Ergebnisse

Die Ergebnisse werden anhand von vergleichenden Darstellungen präsentiert. Auf der linken Seite sind jeweils Ergebnisse aus den Berechnungen unter Verwendung des vollständigen Datensatzes dargestellt (Netz 1), auf der rechten Seite diejenigen unter Verwendung der Querprofildaten (Netz QP).

In Abbildung 6 erkennt man den grundlegenden Unterschied bezüglich der Qualität der beiden Berechnungsnetze. In Netz 1 sind wesentliche kleinräumige Strukturen gut abgebildet, im Netz QP ist dagegen das „Verschmieren“ der Geländeinformationen gut sichtbar.

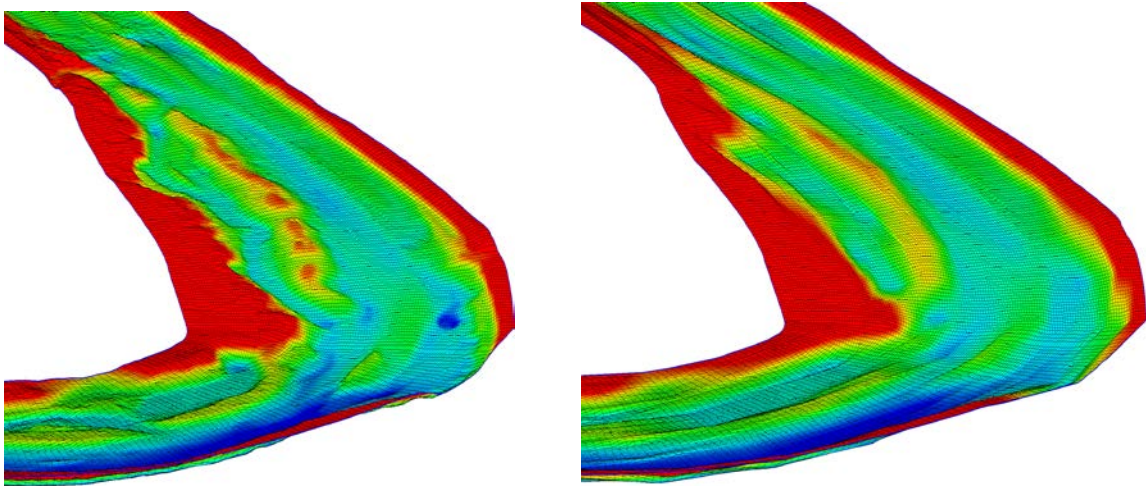


Abbildung 6 Ausschnitte der beiden Berechnungsnetze (Netz 1 links, Netz QP rechts, siehe Text)

Bei Betrachtung der Wassertiefen aus der Simulation des Abflusses von $12\text{m}^3/\text{s}$ in Abbildung 7 fällt zunächst auf, dass bei Netz QP durch Interpolation der Querprofildaten der Bereich des rechtsseitigen Seitenarmes nicht adäquat dargestellt wird und dieser nicht durchströmt wird. Bei Netz 1 hingegen wird dieser durchströmt. Letzteres stimmt mit den Beobachtungen aus den Daten des Vermessungsfluges überein. Weiters zeigt Netz 1 eine wesentlich variabelere Verteilung der Wassertiefen und Unterschiede werden auch bei der benetzten Fläche sichtbar.

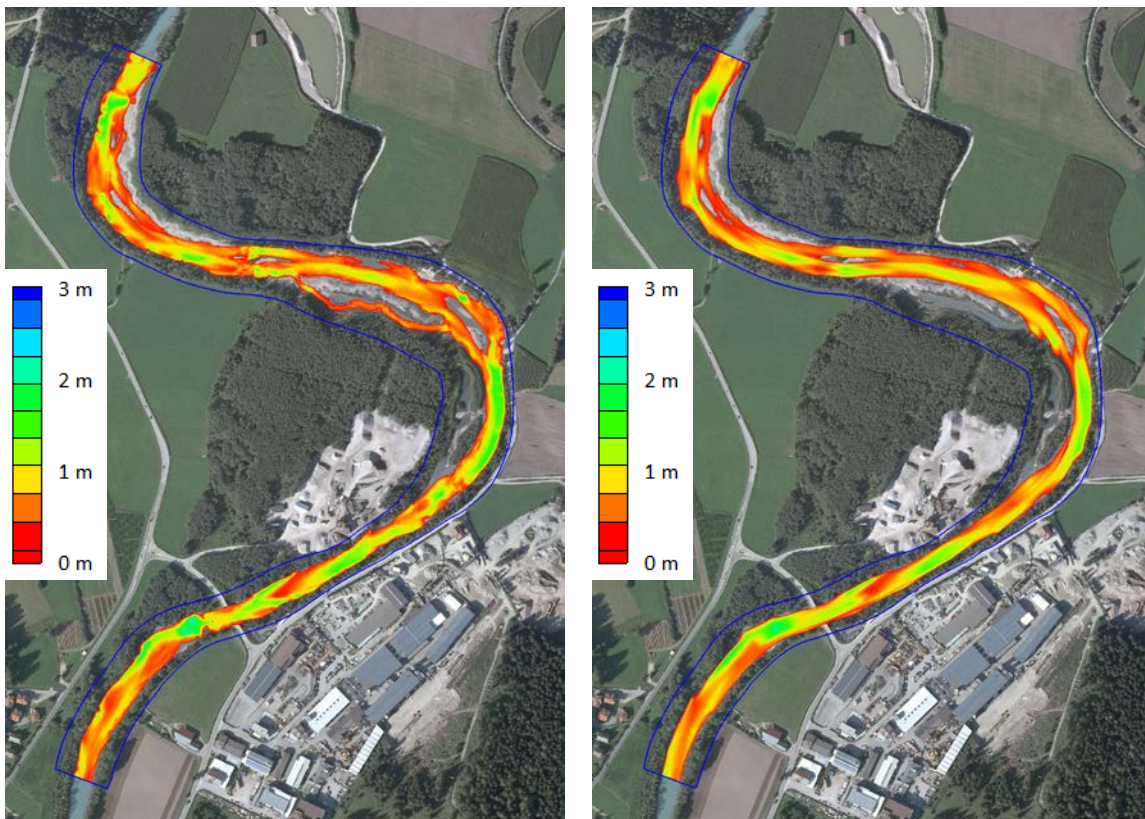


Abbildung 7 Ergebnisse Wassertiefen bei Abfluss von $12\text{ m}^3/\text{s}$ (Netz 1 links, Netz QP rechts, siehe Text)

In Abbildung 8 sind die Verteilungen der Wassertiefen und Fließgeschwindigkeiten für beide Berechnungsnetze graphisch dargestellt. Der Anteil kleiner Wassertiefen (bis $0,4\text{ m}$) ist in den Ergebnissen von Netz 1 wesentlich

größer im Vergleich zu Netz QP. Speziell Wassertiefen im Intervall von 0,2 bis 0,4 m sind sehr stark betont. Auch im Bereich hoher Wassertiefen sind die Flächen von Netz 1 größer. Bei Betrachtung der Fließgeschwindigkeiten fällt auch besonders der große Anteil an kleinen Werten auf.

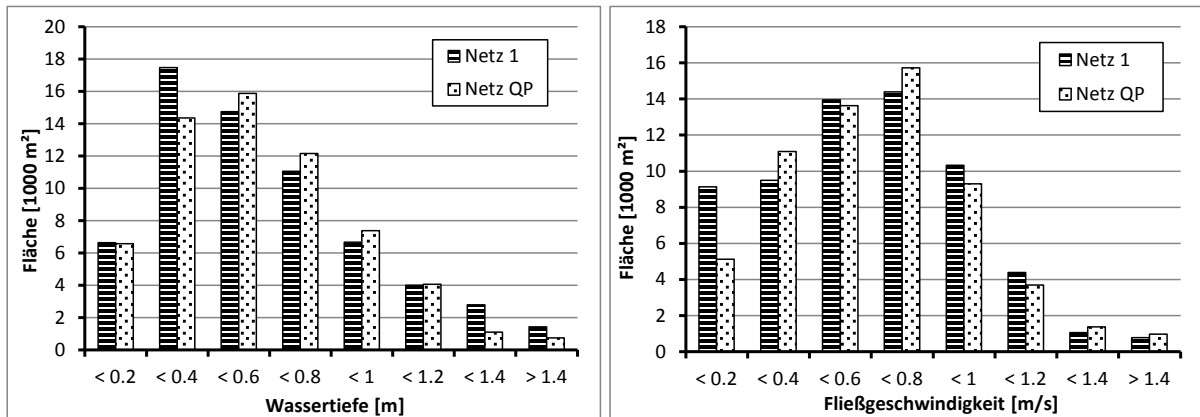


Abbildung 8 Vergleich der Verteilung der Wassertiefen (links) und Fließgeschwindigkeiten (rechts) der Simulationsergebnisse

In Abbildung 9 ist zu erkennen, dass das Strömungsmodell in der Lage ist, kleinräumige horizontale Wirbelstrukturen aufzulösen. Im Bereich des oberstromigen Modellrandes ist eine Wirbelbildung mit Rückströmung nach Struktursteinen im Netz 1 sehr gut zu sehen (Abbildung 9, linkes Bild). Bei den Simulationsergebnissen mit Netz QP sind diese Strömungsmuster hingegen nicht erkennbar. Außerdem scheint die Umströmung der Kiesbänke und die benetzte Fläche bei Vergleich mit dem Orthophoto im linken Bild wesentlich plausibler.

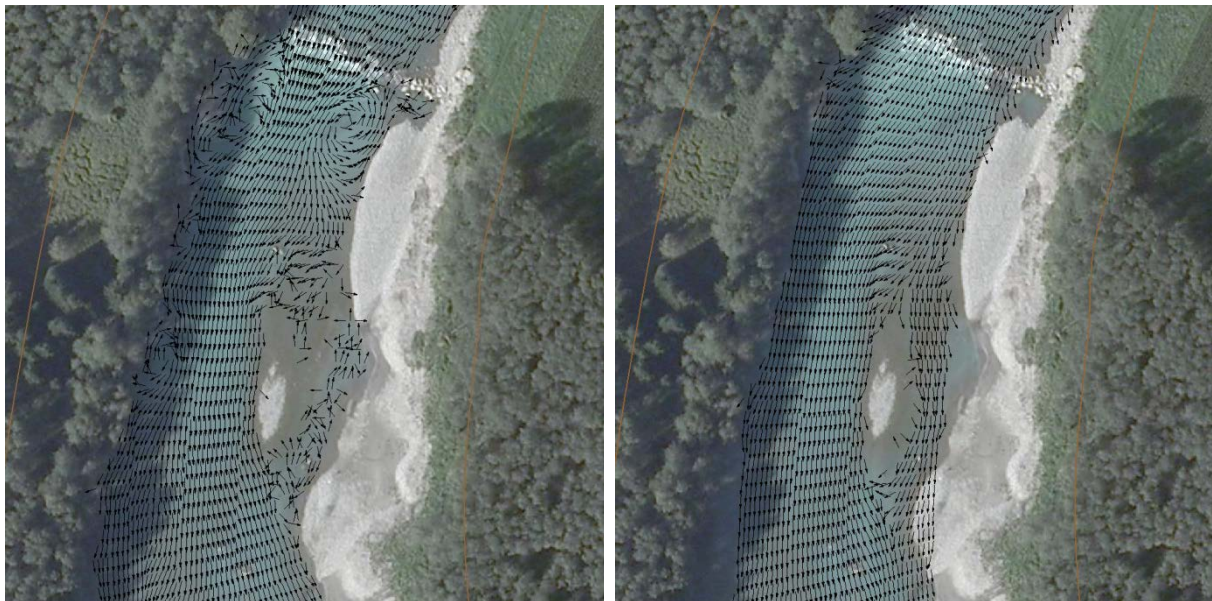


Abbildung 9 Darstellung komplexer Fließmuster (links, Netz 1 mit horizontalem Wirbel und Rückströmung; rechts, Netz QP, siehe Text)

4. Habitatmodellierung

4.1. Grundlagen der Habitatmodellierung

Physikalische Habitatmodelle haben sich mittlerweile als gutes Bewertungsinstrument für die ökologische Wertigkeit und Funktionsfähigkeit von Gewässern bewährt. Mit ihnen können strukturelle und hydraulische Charakteristika analysiert und mit Leitbildern bzw. Referenzen verglichen werden. Dabei sind Orientierungswerte als Referenz für die hydraulischen Verhältnisse als Lebensbedingungen (Wassertiefen, Strömungsgeschwindigkeiten) anzugeben (Schneider, 2001).

Bei der Betrachtung von Habitaten werden drei verschiedene Skalen angewendet. Die kleinste Einheit sind Mikrohabitate im Bereich von wenigen Metern, Mesohabitate beziehen sich auf einen Bereich bis ca. 100 m und die Betrachtung auf Einzugsgebietsebene wird als Makrohabitat bezeichnet.

Bei der Bewertung auf Mikrohabitatebene werden die hydraulischen Parameter an jedem Punkt respektive Berechnungsknoten, ausgewertet und ein Habitateignungsindex zugewiesen. Bei Betrachtung auf Mesohabitatebene werden die hydraulischen Parameter an jedem Berechnungsknoten ausgewertet und einem Mesohabitattyp zugewiesen. Grundsätzlich gibt es die drei verschiedenen Mesohabitattypen Riffle, Run und Pool. In der Literatur finden sich jedoch noch weitere Unterteilungen und Erweiterungen dieser drei Grundtypen. Im Gegensatz zu kleinräumigen Mikrohabitatbetrachtungen werden bei der Mesohabitatbetrachtung ganze Gewässerabschnitte nach der Verteilung bzw. Vorhandensein dieser Mesohabitattypen beurteilt. Gemeinsam ist beiden Methoden, dass grundlegende Experten-Regeln vorhanden sein müssen, die die hydraulischen Parameter in Habittypen bzw. Habitateignungen „übersetzen“.

Die meisten in der Ingenieurpraxis verwendeten Modelle basieren allgemein auf Ansätzen zur Beschreibung von Mikrohabitaten, also sehr kleinräumigen Bereichen. Lebensraumansprüche für Zielspezies werden dabei formuliert, modelltechnisch erfasst und analysiert und lassen so detaillierte Aussagen für Altersstadien von Organismengruppen zu. Sie werden unter anderem für die abflussabhängige Ermittlung des Lebensraumangebots von standorttypischen Zeigerarten verwendet (z.B. Schneider, 2001; Bovee, 1986). Zur Beschreibung der Lebensraumansprüche können verschiedene Methoden zur Anwendung kommen, hauptsächlich werden zwei Ansätze verfolgt. Zum einen ist das die Verwendung von Präferenzkurven für die Beschreibung der Ansprüche. Dort wird mit Hilfe von diskreten Kurven die Eignung für verschiedene Parameter quantifiziert (z.B. Wassertiefe, Fließgeschwindigkeit) und in weiterer Folge mathematisch zu einem Gesamteignungsindex kombiniert (u.a. Gard 2005; Gibbins et al., 2002). Eine etwas andere Herangehensweise ist die Verwendung von unscharfen Berechnungsansätzen, sogenannte multivariate fuzzy-logische Regelwerke. Dort wird mit Hilfe von unscharfen Mengen die Habitatqualität durch Betrachtung von Parameterkombinationen ermittelt (Schneider, 2001; Jorde, 1997).

Unabhängig von der effektiven Berechnungsmethode der Habitatqualität an diskreten Punkten im Untersuchungsgebiet wird damit schließlich das Habitatangebot als integraler Wert in Form der gewichteten nutzbaren Fläche (weighted usable area, WUA) berechnet (Bovee, 1986):

$$WUA = \sum_{i=1}^n HSI_i \cdot A_i$$

mit

n = Anzahl an Berechnungszellen (–)

HSI = Habitateignungsindex (–)

A_i = Fläche der Berechnungszelle (m²).

Bei Bezug des WUA auf die benetzte Fläche ergibt sich der prozentuale Anteil der nutzbaren Fläche an der Gesamtfläche. Dieser Index wird hydraulischer Habitateignungsindex (hydraulic habitat suitability index HHS) genannt und berechnet sich wie folgt:

$$HHS = \frac{1}{A_{ges}} \sum_{i=1}^n A_i \cdot HSI_i$$

mit

A_{ges} = gesamte benetzte Fläche.

Mit der gewichteten nutzbaren Fläche und dem hydraulischen Habitateignungsindex wird ein Gewässerabschnitt hinsichtlich der Bereitstellung von geeignetem Lebensraum abflussabhängig bewertet. Auf Basis solcher Ergebnisse werden beispielsweise kritische Abflüsse bei wasserkraftbedingten Ausleitungen in der Ausleitungsstrecke bestimmt.

Habitatmodelle können außerdem zur Prognose von Effekten durch Veränderungen am Fließgewässer benutzt werden. Maßnahmen zur Renaturierung oder strukturellen Aufwertung von Gewässerabschnitten können dadurch im Vorhinein bewertet werden. Allgemein gilt, dass die Prognosefähigkeit von Habitatmodellen für wasserwirtschaftliche Fragestellungen von großem Nutzen ist (z.B. Mindestwasserregelungen im Zusammenhang mit Wasserkraftnutzungen).

In einer großskaligen Herangehensweise sind Habitatmodelle in der Lage ökologische Defizite und Schlüsselhabitate im Gewässersystem aufzuzeigen. Die Überprüfung der abflussabhängigen Durchgängigkeit von Gewässerstrecken kann anhand von minimalen Wassertiefen abflussabhängig durchgeführt werden.

4.2. Hydromapping-Daten im Zusammenhang mit Habitatmodellierungen

Grundlage von physikalischen Habitatmodellen, dies gilt sowohl für Mikro- als auch für Mesohabitatbetrachtungen, ist die detaillierte Kenntnis der Sohlmorphologie und den damit zusammenhängenden hydraulischen Verhältnissen im Gewässer. Wichtig ist die Genauigkeit der Geländeaufnahme, die eine bedeutende Grundvoraussetzung für eine exakte Ausweisung der Habitate darstellt (Hauer et al., 2012) und schließlich Einfluss auf die Ergebnisse der nutzbaren Flächen (WUA, HHS) hat.

Beispielsweise sind Flachwasserhabitate mit geringeren Fließgeschwindigkeiten sehr wichtig für Jungfische und ihnen muss innerhalb einer gesamtheitlichen Betrachtung besondere Aufmerksamkeit geschenkt werden. Die Darstellung der Flachwasserbereiche ist jedoch durch Interpolation von Querprofilen erschwert. In diesem Bereich ist eine hochauflösende Vermessung der Gewässersohle von großem Vorteil (vgl. Abbildung 8). Außerdem spielen Sonderstrukturen wie Unterstände (Totholz, überhängende Vegetation etc.) eine wichtige Rolle. Diese Informationen können aus hochauflösenden Vermessungen ebenfalls extrahiert werden.

In früheren Veröffentlichungen werden Mindestgrößen für Untersuchungsabschnitte entlang eines Gewässers für Mikrohabitatuntersuchungen angegeben, die repräsentativ für einen größeren Abschnitt verwendet werden sollen. In Schneider (2001) wird beispielsweise die Länge eines Abschnitts mit 15 – 25 mal der mittleren Breite des Gewässers angegeben. Dies entspricht einer Länge von ca. 500 -700 m bei einer mittleren Breite von 30 m. Mit Hydromapping-Daten können weit größere Abschnitte schnell, effektiv und hochaufgelöst erfasst werden und erlauben somit eine großflächige Untersuchung eines Fließgewässers im Gegensatz zur Betrachtung eines repräsentativen Teilabschnitts.

Hydromapping-Daten decken bei guten Vermessungsbedingungen grundsätzlich Gewässerbereiche bis zu einer Wassertiefe von ca. 10 m ab. Damit können alpine bis voralpine Kiesflüsse flächendeckend vermessen werden. In Kombination mit Echolotvermessungen können jedoch auch größere Flüsse flächendeckend hochauflösend vermessen werden (z.B. Baran et al., 2013). Konkrete Ergebnisse zu Untersuchungen mit Habitatmodellen in Kombination mit hochaufgelösten Hydromapping-Daten sind momentan noch ausständig. In einem derzeit laufenden Forschungsprojekt wird aber an der Realisierung dessen gearbeitet.

5. Hydromapping-Daten im Zusammenhang mit Monitoringaufgabenstellungen

Im Gegensatz zu Habitatmodellierungen für Fließgewässer, in denen die Fauna maßgeblich berücksichtigt wird, ist der Fokus bei Monitoringanwendungen auf die Flora und veränderliche Sohlmorphologie gerichtet.

Aus Airborne Hydromapping Daten lassen sich vielfältige Informationen extrahieren. So wird die Sohlage unter Wasser und auch die Wasseroberfläche detektiert. Gleichzeitig werden aber auch von der Vegetation Laserimpulse reflektiert und so kann die Vegetation unter und über Wasser abgebildet werden. Volumenänderungen der vorhandenen Vegetation können mit wiederholten Befliegungen eines Projektgebietes quantifiziert werden und somit die Sukzession beobachtet werden. Ein Monitoring dieser Art ließe sich beispielsweise im Rahmen von flussbaulichen Maßnahmen vorstellen.

In komplexen, dynamischen Systemen wie Flussauen oder Gewässerrandstreifen ist zur Beurteilung der Struktur- und Zonenvariabilität die wiederholte Vermessung dieser Bereiche von großer Bedeutung. Außerdem gilt es, auch aus gewässerökologischer Sicht, in dynamischen Flusssystemen mit Umlagerungstendenzen Fließmuster vor und nach Hochwasserereignissen zu dokumentieren. Dies ermöglicht ein besseres Verständnis der gewässermorphologischen Prozesse und erlaubt zudem eine ökologisch relevante Aussage über den Veränderungsprozess. Dies kann im Zusammenspiel mit Habitatmodellen aussagekräftig für größere Flussabschnitte durchgeführt werden.

Angetrieben durch die WRRL sind in den letzten Jahren eine Vielzahl an flussbaulichen Maßnahmen zur Verbesserung des ökologischen Potentials der Gewässer durchgeführt worden. Weiche Ufer und Anlagen zur eigendynamischen Entwicklung von Gewässerabschnitten sind dabei umgesetzt worden. Im Sinne einer Erfolgskontrolle fehlen jedoch häufig die Mittel die Maßnahmen angemessen einem Monitoring zuzuführen. Bei der Erarbeitung von Renaturierungs- bzw. Revitalisierungsmaßnahmen spielt das Wissen über die Effektivität bzw. Wirkungsweisen von gesetzten Strukturmaßnahmen jedoch eine entscheidende Rolle. Wiederholt durchgeführte hochaufgelöste Vermessungen können dabei einen wichtigen Beitrag zur Dokumentation des Maßnahmen Erfolgs leisten.

6. Schlussfolgerungen – Ausblick

Erste Auswertungen von numerischen Simulationen auf Basis hochaufgelöster Grundlagendaten haben das Potential aufgezeigt, die hydraulische Situation in Fließgewässern sehr genau zu beschreiben.

Im Rahmen anderer Projekte wurde zudem schon nachgewiesen, dass die ingenieurkonforme Aufbereitung der hydraulischen Gegebenheiten mit sehr großen Datenmengen möglich ist. Im zur Zeit laufenden Forschungsprojekt AAHM-R2P (Comet-K-Projekt) wird an weiteren Auswertungsstrategien hinsichtlich des Umgangs mit den Rohdaten (z.B. Auswertung der Punktwolken, Analyse der Full-Wave-Form) als auch der wasserwirtschaftlichen Verwertbarkeit der Daten gearbeitet.

Literatur

- Baran, R.; Dobler, W.; Steinbacher, F.; Ritter, M.; Niederwieser, M.; Bengler, W.; Aufleger, M. (2013):** Verschneidung von Airborne Hydromapping und Fächerecholotvermessung bei Rheinfeldern, Fachzeitschrift: Wasserwirtschaft, Volume 9, p. 18-25.
- Bovee, K. D. (1986):** Development and evaluation of habitat suitability criteria for use in the instream flow incremental methodology. Washington, DC: USDI Fish and Wildlife Service Instream Flow Information Paper #21 FWS/OBS-86/7. 235 p.
- Conner, J. T.; Tonina, D. (2013):** Effect of cross-section interpolated bathymetry on 2D hydrodynamic model results in a large river. Earth Surf. Process. Landforms.
- Dobler, W.; Baran, R.; Steinbacher, F.; Ritter, M.; Niederwieser, M.; Bengler, W.; Aufleger, M. (2013):** Die Verbindung moderner und klassischer Gewässervermessung, Fachzeitschrift: HYDROGRAPHISCHE NACHRICHTEN, Volume 95, p. 16-22.
- Dobler, W.; Baran, R.; Steinbacher, F.; Ritter, M.; Aufleger, M. (submitted):** Using Airborne Hydromapping to Study an Alpine Torrent; conference paper, 7. Riverflow, 3.-5. September 2014, Lausanne, Schweiz.
- EU (2000):** Water Framework Directive, 2000/60/EC; Official Journal of the European Union (OJL) 327, pp. 173.
- Gard, M. (2005):** Variability in flow-habitat relationships as a function of transect number for PHABSIM modelling. River Res. Applic., 21: 1013-1019.
- Gibbins, C. N.; Moir, H. J.; Webb, J. H.; Soulsby, C. (2002):** Assessing discharge use by spawning Atlantic salmon: a comparison of discharge electivity indices and PHABSIM simulations. River Research and Applications 18 : 383-395.
- Hauer, C.; Mandlbürger, G.; Habersack, H. (2009):** Hydraulically related hydro-morphological units: description based on a new conceptual mesohabitat evaluation model (MEM) using LiDAR data as geometric input. River Res. Applic., 25: 29-47.
- Hauer, C.; Keckeis, H.; Tritthart, M.; Liedermann, M.; Habersack, H. (2012):** Optimierung der Habitatmodellierung an großen Fließgewässern unter Berücksichtigung von flussmorphologischen Prozessen auf unterschiedlichen Skalen. Österreichische Wasser- und Abfallwirtschaft, Volume 64, Issue 11-12, pp 553-563.
- Heritage, G.; Large, A. (2009):** Laser Scanning for the Environmental Sciences; John Wiley, Chichester 2009.
- Horritt, M. S.; Mattinson, M. J. (2006):** Effects of mesh resolution and topographic representation in 2-D finite volume models of shallow water fluvial flow. In: Journal of Hydrology, Vol. 329, 2006, p. 306 - 314.
- Jorde, K. (1997):** Ökologisch begründete, dynamische Mindestwasserregelungen bei Ausleitungskraftwerken, Dissertation, Mitteilungen des Instituts für Wasserbau, Heft 90, Universität Stuttgart, 155 S.
- Pfennigbauer, M.; Steinbacher, F.; Ullrich, A.; Aufleger, M. (2011):** High resolution hydrographic airborne laser scanner for surveying inland waters and shallow coastal zones. In: Proc. of SPIE 8037, 8037-5, Orlando.
- Pinz, K. (2011):** 10 Jahre Wasserrahmenrichtlinie: Sachstand zwischen Erwartung und Befürchtungen, Anspruch und Realität; in: Warnsignal Klima: Genug Wasser für alle?; Potsdam Institut für limafolgenforschung, S. 545-551.
- Ritter, M.; Bengler, W. (2012):** Reconstructing Power Cables From LIDAR Data Using Eigenvector Streamlines of the Point Distribution Tensor Field. Journal of WSCG Vol 20, No. 3, S. 71+, 20th International Conference in Central Europe on Computer Graphics, Visualization and Computer Vision, Plzen, Tschechien.
- Schneider, M. (2001):** Habitat und Abflussmodellierung für Fließgewässer mit unscharfen Berechnungsansätzen, Dissertation, Universität Stuttgart, Eigenverlag.
- Steinbacher F.; Pfennigbauer M.; Aufleger M.; Ullrich A. (2010):** AirborneHydroMapping – Area wide surveying of shallow water areas, Proc. of 38th ISPRS Congress, ISPRS.
- Williams, R. D.; Brasington, J.; Hicks, M.; Measures, R.; Rennie, C. D.; Vericat, D. (2013):** Hydraulic validation of two-dimensional simulations of braided river flow with spatially continuous aDcp data, Water Resour. Res., 49, 5183-5205.