

Airborne Hydromapping - Hochauflösende Gewässervermessung „wie im Flug“

Markus Aufleger
Frank Steinbacher
Ramona Baran
Valerie Neisch

Die Vermessung von Gewässerläufen, Küstenstreifen und Flachwasserzonen von natürlichen oder künstlichen Stauseen erfolgt mit der luftgestützten Lasertechnologie Airborne Hydromapping in einer neuen Qualität. Das Verfahren zeichnet sich durch eine hohe räumliche Auflösung aus. Zudem ist es kostengünstiger und zeitsparender als traditionelle Vermessungsmethoden. Mittels eines Wasserdurchdringenden Lasers können sowohl Flachwasserzonen bis mehrere Meter Tiefe als auch das angrenzende Vorland in einem Messvorgang erfasst werden. Tiefere Gewässerbereiche können mit anderen Messmethoden ergänzt werden.

Die gewonnenen Punktwolken beinhalten große Datenmengen, die die Komplexität der Bathymetrie detailliert wiedergeben. Aus ihnen können daher hochaufgelöste, flächendeckende Berechnungsnetze beispielsweise für die Beschreibung von ökohydraulischen Zusammenhängen und Festtransportmodellen generiert werden. Dadurch ergeben sich auch für das Monitoring von Gewässern neue Möglichkeiten.

Stichworte: Airborne Hydromapping, Bathymetrie, luftgestützte Gewässervermessung, Wasser durchdringendes Lasersystem, hohe Auflösung

1 Airborne Hydromapping

1.1 Technologie

Airborne Hydromapping steht für die Vermessung von Gewässern aus der Luft. Durch die Verwendung einer neuen Generation an Laserscan-Geräten mit grüner Wellenlänge ist es möglich, aus einer Flughöhe von etwa 500 m sehr genaue (+/- mehrere Zentimeter) und sehr hoch auflösende (ca. 20 bis 30 Punkte/m²) Vermessungen der Landoberfläche aber auch des Gewässerbettes vorzunehmen (siehe Abb. 1). Hierdurch wird eine bis dato nicht erreichbare Informationsdichte möglich. Dort, wo die Eindringtiefe der Lasertechnik nicht ausreicht, können

die 'Wissenslücken' beispielsweise mit Fächerecholot-Messungen gefüllt werden.

Die neue Messtechnik und die daraus gewonnenen umfassenden räumlichen Informationen stellen gegenüber der bisherigen querschnittsbasierten Gewässervermessung eine weitgehende Änderung dar. Die Palette der möglichen Anwendungen umfasst beispielsweise neben den 'üblichen' Messkampagnen im Rahmen des Unterhaltes spezielle Grundlagenerhebungen zum Feststofftransport, zum Hochwasserschutz, zur Strukturvielfalt oder auch zur Habitatqualität.

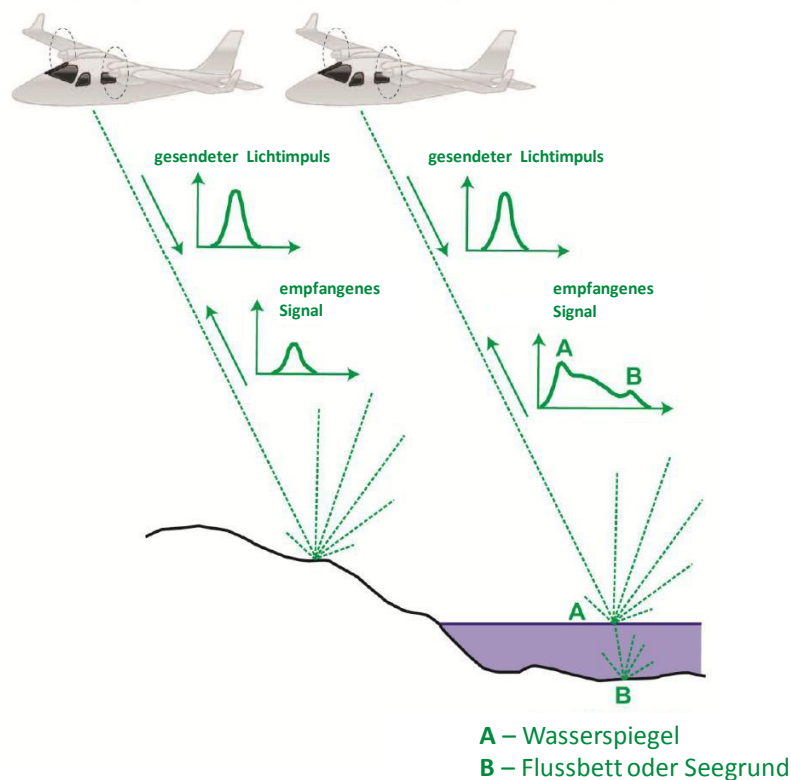


Abbildung 1: Darstellung der Geländevermessung, sowohl topographisch als auch bathymetrisch mittels der Laserscanningmethode von Airborne Hydromapping

Die Entwicklung des Lasersystems wurde in entscheidender Weise in einem gemeinsamen Forschungsprojekt des Arbeitsbereichs Wasserbau der Universität Innsbruck und der Firma Riegl Laser Measurement Systems GmbH (Horn, Niederösterreich) in den Jahren 2007 bis 2011 vorangebracht. Im Rahmen eines weiteren Forschungsprojektes werden derzeit insbesondere die Auswertungsmethodik, das Datenmanagement und die wasserbauliche Umsetzung verbessert.

Die Technik ist auf einem Entwicklungsstand (Steinbacher et al., 2010; Pfennigbauer et al., 2011), welcher bereits seit geraumer Zeit die praktische Anwendung erlaubt. Zahlreiche Projekte belegen dies eindrucksvoll.

1.2 Datenerhebung und -aufbereitung

Gewässerabschnitte werden in sich überlappenden Streifen mehrmals überflogen, wobei der Laserstrahl die Erdoberfläche abscannt. Die Signalzeiten der reflektierten Laserstrahlen und ihre Frequenzänderung werden von der Empfangseinheit erfasst. Trifft der Laserstrahl auf die Wasseroberfläche, wird ein Teil seines Lichts reflektiert und liefert somit die Information der momentanen Wasserspiegellage, ein anderer Anteil dringt in das Wasser ein und liefert Informationen über die Höhenlage des Flussbettes und eventuellen Bewuchs. Bei getrübten Wasserverhältnissen dringt der Laserstrahl weniger tief ein, da er bereits vor Erreichen der Sohle zu stark von Schwebstoffen reflektiert wird und seine Intensität zu stark reduziert ist. Klare Wasserverhältnisse und möglichst niedrigere Abflüsse sind für die Befliegungen daher am günstigsten.

Um die Befliegungsdaten gut georeferenzieren zu können, werden im Projektgebiet Passpunkte definiert und mittels üblicher terrestrischer Verfahren vermessen. Diese werden bei der Befliegung mit aufgenommen, so dass die Punktwolke im Anschluss auf durch die Passpunkte definierte Passflächen (z.B. Dachflächen) eingepasst werden kann.

Die Gewässersohlenpunkte werden durch eine Korrektur der Wassertiefe, die durch die Brechung des Lichts verfälscht wurde, korrigiert. Dann erfolgt eine Filterung und anschließende Klassifizierung aller Laserscanpunkte nach den Bereichen Boden, Vegetation, Bebauung, usw.

Jedem Messpunkt sind Angaben wie seine Koordinaten, die Amplitudenstärke des Signals, Reflektanz und Intensität zugeordnet. Die Dateigröße einer Befliegungskampagne besitzt oft mehrere hundert Gigabyte und bedarf daher einer effizienten Datenverwaltung. Für die Verwaltung, Auswertung und Visualisierung dieser vielen Millionen Punkte wurde durch die AIRBORNE HYDROMAPPING GmbH (Innsbruck, Tirol), einem akademischen Spin off der Universität Innsbruck, ein komplexes Softwaretool (HydroVISH) entwickelt, um diesen hohen Anforderungen gerecht zu werden. HydroVISH setzt unter anderem einer Art der Darstellung auf, bei welcher die Punktwolke nach Linearität, Planarität und Sphärizität unterteilt wird. Dieses Programmpaket befindet sich in einer intensiven Phase der Weiterentwicklung.

Die Punkte bieten eine ideale Grundlage für hochaufgelöste und sehr detaillierte digitale Geländemodelle. Unter Beachtung der praktischen Erfordernisse der Wasserwirtschaft lassen sich aus der enormen Datenfülle aber beispielsweise auch klassische Querschnittsdarstellungen extrahieren. In der Weiterentwicklung wird unter anderem daran gearbeitet, die bisher nicht umfassend genutzten Full-Waveform-Informationen auszuwerten.

2 Anwendungen

2.1 Überblick

Airborne Hydromapping zeichnet sich unter anderem durch folgende Eigenschaften aus:

- Sehr hohe Informationsdichte und gute Genauigkeit.
- Kurze Vermessungszeiten bzw. große Tagesleistungen (Vermessung langer Gewässerabschnitte bei gleichen Randbedingungen möglich).
- Umfassende Information über die Wasserspiegellage zum Messzeitpunkt im gesamten Vermessungsgebiet.
- Ökologisch vorteilhaft (kein Eindringen in ökologisch sensible Bereiche erforderlich, keine Lärmbelastung durch Flugzeug, geringer Treibstoffverbrauch).
- Möglichkeit der zuverlässigen Vermessung von faktisch unzugänglichen bzw. hochkomplexen Gewässerlandschaften (z.B. verzweigte Rinnensystem, ausgedehnte und stark strukturierte Flachwasserbereiche).
- Umfassende und bisher in dieser Form nicht erreichbare Informationen über Gewässerstrukturen, Kiesbänke, Uferformen etc.
- Hohe Arbeitssicherheit (Vermeidung der Gefahren u.a. bei Gewässerdurchschreitungen bei konventioneller Vermessung).
- Generierung einer Datenbasis mit umfassenden Zusatzinformationen (z.B. Vegetationselemente, Leitungen, Bauwerkskonturen).

Die Einschränkungen bei der Anwendung des Airborne Hydromapping Verfahrens ergeben sich insbesondere aus den äußeren Randbedingungen. Die Vermessungsflüge sollten an Tagen mit guter Sicht und geringen Trübungen bzw. Schwebstofffrachten in den Gewässerläufen erfolgen. Die praktische Anwendung des Messverfahrens zeigt, dass es sehr vorteilhaft ist, ausreichend große Vorlaufzeiten für die Vermessungsflüge einzuplanen. Auf diese Weise können günstige Bedingungen abgewartet und gute Vermessungsergebnisse sichergestellt werden.

In größeren Flüssen und Seen ist es in der Regel nicht möglich, den gesamten Gewässerbereich mit dem luftgestützten Laserscan-Verfahren zu erfassen. Hier hat es sich unter vermessungstechnischen aber auch wirtschaftlichen Gründen als sehr vorteilhaft erwiesen, zunächst die Befliegung durchzuführen und anschließend in einer ersten Auswertung die nicht erfassten – in der Regel tiefen

oder durch Trübung beeinträchtigten – Bereiche zu identifizieren. Bei Bedarf können diese Zonen dann beispielsweise mittels Fächerecholot vermessen werden. Der Aufwand für diese konventionellen Vermessungsmethoden reduziert sich dann in erheblichem Umfang.

2.2 Gewässerlandschaften

Airborne Hydromapping kann in verschiedensten Gewässerlandschaften zur Anwendung kommen. Im Rahmen eines aktuell laufenden Forschungsvorhabens (Comet K-Projekt „Alpine Airborne Hydromapping“; Aufleger et al., 2013) werden die speziellen Randbedingungen hierbei näher untersucht.

Alpine Einzugsgebiete

Die Gewässerläufe in Alpinen Einzugsgebieten zeichnen sich unter anderem durch steile und sehr komplexe Geometrien und sehr unregelmäßige Feststofftransportprozesse aus. Die hohe Informationsdichte der luftgestützten Gewässervermessung kann dazu beitragen, die hydraulischen Randbedingungen (z.B. die tatsächliche Gerinnerauheit) direkt zu erfassen. Wiederholte Befliegungen erlauben Bilanzbetrachtungen bei großen Feststofftransportprozessen.

Kiesflüsse

Die typischen alpinen und voralpinen Kiesflüsse eignen sich in hohem Maße zur Anwendung des Airborne Hydromapping Verfahrens (s. Abb. 2). Beispielsweise lassen sich detaillierte Informationen über flussmorphologische Entwicklungen (u.a. eigendynamische Uferaufweitung, Sohleintiefung) in einer bis dato nicht möglichen Form gewinnen. In Hinblick auf gewässerökologische Fragestellungen (u.a. Gewässerstrukturkartierungen, Habitatmodellierungen) bietet sich eine neue Datenbasis.

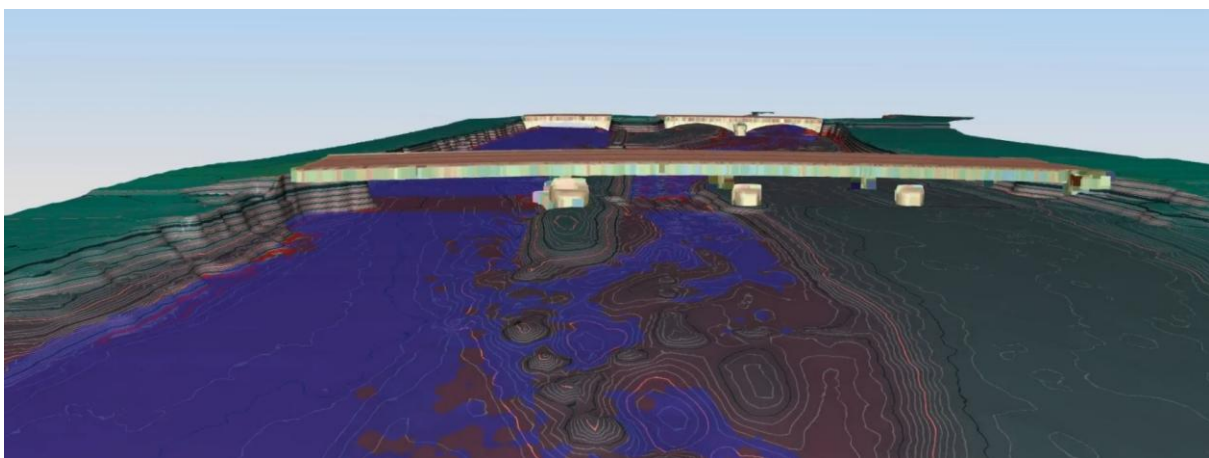


Abbildung 2: Das Gewässerbett und die Uferbereiche eines voralpinen Kiesflusses (Konturliniendarstellung)

Stauhaltungen

Die Kombination von Fächerecholot und luftgestützter Vermessung bietet an Staustufen umfassende Möglichkeiten. Die tieferen Bereiche typischer Flussstauhaltungen können üblicherweise nicht aus der Luft vermessen werden. Die Uferbereiche und die in vielen Stauhaltungen bereits sehr ausgedehnten Verlandungszonen (oft Flachwasserzonen mit hoher ökologischer Relevanz) sowie der Bereich der Stauwurzel lassen sich jedoch oft gut erfassen. Fragestellungen der Stauraumverlandung, des Hochwasserschutzes und der Ökologie sowie gegebenenfalls auch der Energiewirtschaft lassen sich mit diesen Informationen gut beantworten.

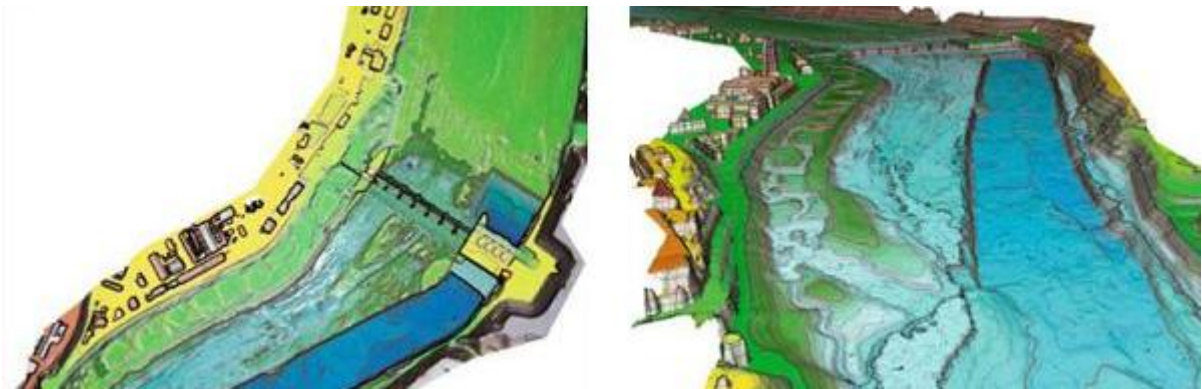


Abbildung 3: Die Wasserkraftanlage Rheinfelden, Datensatz aus miteinander verschnittenen Befliegungs- und Echolotdaten

Flussdelta in Seen

Flussdelta in Binnengewässern gehören – sofern sie von größeren Korrekturmaßnahmen in der Vergangenheit verschont blieben – zu den ökologisch sehr hochwertigen Gewässerlandschaften (siehe Abb. 4). Oft sind diese Bereiche mit umfassenden Betretungsverboten versehen. Nichtsdestotrotz ist die wiederholte Vermessung dieser Delta von hohem wissenschaftlichem, flussmorphologischem und ökologischem Interesse (siehe Abb. 5).



Abbildung 4: Mündungsdelta der Tiroler Aachen in den Chiemsee



Abbildung 5: Flussdelta – Datenerhebung mit Airborne Hydromapping ohne direkten Zugang in das geschützte Ökosystem (links: Foto, rechts: AHM-Höhenprofil)

Kleingewässer – und Grabensysteme

Kleine Gewässerstrukturen wie kleine Bäche oder ackerbaulich bedingte Grabensysteme können mittels Airborne Hydromapping gut erfasst werden. Gerade bei der Aufnahme von verzweigten, komplexen Strukturen zahlt sich die räumlich hohe Auflösung und Datendichte des Messverfahrens für eine möglichst naturgetreue und umfassende Abbildung aus. Mühevoll, terrestrische Arbeit kann hier eingespart werden. Sind solche Gebiete einmal vermessen, können sie in Datenbanken abgespeichert, bei späterem Bedarf näher betrachtet und ausgewertet werden. Nach und nach können so die verfügbaren Informationen für sehr unterschiedliche Aufgabenstellungen (Entwässerung, Ökologie, Wegebau u.v.m.) detailliert beurteilt werden.

Küstenbereiche

Küstenstreifen lassen sich sehr gut mit der Technologie von Airborne Hydromapping erfassen. Entlang flacher, sandiger Küsten können so beispielsweise Erkenntnisse über Sohlumlagerungen im Meer gewonnen werden. Tiefere Bereiche können mit Sonarmessungen ergänzt werden (siehe Abb. 6).



Abbildung 6: Küstenstreifen an der Ostsee (AHM-Datensatz)

Bei der Vermessung in der Fjordlandschaft an Norwegens Küste im Rahmen eines Pilotprojektes konnten ebenfalls gute Ergebnisse erzielt werden. An den steilen Fjordwänden konnte der Laserstrahl bis zu 9 m tief in den klaren Wasserkörper eindringen. So konnten sowohl die Sohle als auch die Unterwasserflora gut erfasst werden. Im Vergleich zu Sonarmessungen, bei denen das Signal bereits an der Oberfläche der Pflanzen zurückgeworfen wird und nicht weiter bis zum Meeresboden vorzudringen vermag, kann dieser mit Airborne Hydromapping dank der Inklination des Laserstrahls von 20° auch unterhalb dichter Vegetation erfasst werden.

3 Ausblick

Die bisher mit der neuen Technologie erhobenen Datensätze sind sehr vielversprechend. Die Ergebnisse werden bereits für viele praktische Fragestellungen verwendet. Die jeweils erreichte Eindringtiefe hängt in hohem Maße von der Trübung des Gewässers ab und variiert zwischen wenigen Dezimetern und etwa zehn Metern. Es ist sehr zielführend, für die Vermessungsflüge Zeitfenster mit guten Randbedingungen (u.a. Abfluss und Trübung) abzuwarten.

Die Airborne Hydromapping-Daten bieten insbesondere auch eine exzellente Grundlage für numerische Simulationen. Hydraulische Prozesse können damit wesentlich genauer abgebildet werden. Durch die große Punktmenge, die bei der Vermessung aufgenommen wird, hat es sich als sinnvoll herausgestellt, den Umfang der Auswertung nach der jeweiligen Anwendung auszurichten.

Die Entwicklung der Datenaufbereitung wird unter anderem im Forschungsprojekt Alpine Airborne Hydromapping (mit Beteiligung der Universität Innsbruck, der TU Wien, Riegl Laser Measurement Systems, Airborne Hydromapping GmbH, VERBUND, TIWAG, E.ON, IKB, BEW und Revital) vorangetrieben.

Durch entsprechende Filter werden nur die Punkte ausgewertet, die für die erforderliche Darstellung benötigt werden. Das spart Zeit und Rechnerkapazitäten. Umfassende Programmpakete zu Management, Auswertung und Visualisierung der Daten sind bereits in einem sehr fortgeschrittenen Entwicklungsstadium.

Viele Flüsse und Stauhaltungen wurden schon beflogen. Nach und nach entwickelt sich die Technologie zu einem anerkannten Werkzeug bei der Vermessung von Gewässern.

4 Literatur

- Aufleger, M., Steinbacher, F., Baran, R. and Woerndl, M., 2013: ‘Alpine Airborne Hydromapping’. In: The Ministry of Water Resources, P.R. China and International Association for Hydro-Environment Engineering and Research (Ed.): *35th IAHR World Congress*. ISBN 978-7-89414-588-8.
- Baran, R., Dobler, W., Steinbacher, F., Ritter, M., Niederwieser, M., Benger, W. and Aufleger, M., 2013: ‘Verschneidung von Airborne Hydromapping und Fächerecholotvermessung bei Rheinfeldern’. In: *WasserWirtschaft - Fachzeitschrift für Wasser und Umwelttechnik* 9/2013, P. 18 - 25.
- Pfennigbauer, M., Steinbacher, F., Ullrich, A., and Aufleger M., 2011, ‘High resolution hydrographic airborne laser scanner for surveying inland waters and shallow coastal zones’, *Proc. of SPIE* 8037, 8037-5, Orlando, Florida, USA.
- Steinbacher, F., Pfennigbauer, M., Aufleger, M., and Ullrich A., 2010, ‘AirborneHydroMapping – Area wide surveying of shallow water areas’. *Proc. of 38th ISPRS Congress*, ISPRS.
- Steinbacher, F., Baran, R., Dobler, W., Aufleger, M. and Christiansen, L., 2013: ‘Combining Novel and Traditional Survey Technologies to Monitor Coastal Environments: Airborne Hydromapping and Sonar Data along the Baltic Sea Coastline, Schleswig-Holstein, Germany’. In: The Ministry of Water Resources, P.R. China and International Association for Hydro-Environment Engineering and Research (Ed.): *35th IAHR World Congress*. ISBN 978-7-89414-588-8.

Autoren:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil.
Markus Aufleger

Arbeitsbereich Wasserbau
Universität Innsbruck
Technikerstr. 13
A - 6020 Innsbruck

Tel.: +43 512 507 62200
Fax: +43 512 507 2912
E-Mail: markus.aufleger@uibk.ac.at

Airborne HydroMapping
Technikerstr. 21a
A - 6020 Innsbruck

Dipl. Ing. Frank Steinbacher
Dr. rer. nat. Ramona Baran

Airborne HydroMapping
Technikerstr. 21a
A - 6020 Innsbruck

Tel.: +43 512 50737800
Fax: +43 512 50737899
E-Mail: r.baran@ahm.co.at
f.steinbacher@ahm.co.at

Dipl.-Ing. Valerie Neisch

Arbeitsbereich Wasserbau
Universität Innsbruck
Technikerstr. 13
A - 6020 Innsbruck

Tel.: +49 512 507 62251
Fax: +49 512 507 2912
E-Mail: Valerie.neisch@uibk.ac.at