
Dokumentation von Hochwasser bedingten Veränderungen von Flussläufen mittels Laser Bathymetrie am Beispiel der Pielach

Gottfried Mandlbürger, Martin Wieser, Johannes Otepka und Norbert Pfeifer
Technische Universität Wien, gottfried.mandlbuerger@geo.tuwien.ac.at

Zusammenfassung

In diesem Beitrag wird das Potential von flugzeuggetragener Laserbathymetrie zur Dokumentation von Hochwasser bedingten Veränderungen von Flussläufen am Beispiel der Pielach demonstriert. Durch wiederholte Befliegung der Neubacher Au, eines naturnahen Flussabschnittes der Pielach (NÖ) mit dem Riegl VQ-820-G zwischen April 2013 und Juni 2014 konnten die Auswirkungen von zwei Hochwasserereignissen im Mai/Juni 2013 (HQ1) und im Mai 2014 (HQ50) dokumentiert werden. Die geringe Anzahl an Wasseroberflächenechos erforderte die Entwicklung einer semi-automatischen Methode zur Modellierung der Wasseroberfläche. Der Vergleich der aus den einzelnen Messepochen abgeleiteten Geländemodelle erlaubt schließlich folgende Aussagen: (i) die Flussbett-Topographie der gesamten Fließstrecke in der Neubacher Au ist starken Hochwasser bedingten Veränderungen ausgesetzt, (ii) Verschiebungen von Schotterbänken konnten detailliert kartiert werden (iii) volumetrische Änderungen konnten nicht nur nach Hochwasserereignissen sondern auch zwischen Epochen mit mittlerem Abfluss nachgewiesen werden und (iv) die Qualität der Geländemodellierung hängt wesentlich vom Vegetationszustand zum Zeitpunkt der Datenerfassung ab.

1 Einleitung und Zielsetzung

Im europäischen Kontext gibt es mit der Hochwasserrichtlinie (EU, 2007) und der Wasser-Rahmenrichtlinie (EU, 2000) zwei Dokumente, welche die Mitgliedstaaten zu einem regelmäßigen Monitoring der Fließgewässer verpflichten. Dabei geht es einerseits um die Sicherung des Siedlungsraums und der wirtschaftlich genutzten Flächen, sowie andererseits um die Qualität der Frischwasserressourcen. Ein weiterer Aspekt ist dabei auch das Monitoring der Fließgewässer hinsichtlich ihrer Eignung für verschiedene aquatische Habitate im Rahmen der Fauna-Flora-Habitat-Richtlinie (EU, 1992).

Zu all diesen Bereich kann die flugzeuggetragene Laserbathymetrie (engl. Airborne Laser Bathymetry, ALB) einen Beitrag leisten. Ursprünglich im militärischen Umfeld zur Detektion von U-Booten entwickelt, hat sich ALB durch Fortschritte in der Sensortechnologie über Anwendungen im Küstenbereich hin zur Erfassung von Fließgewässern weiterentwickelt. Heute gibt es am Markt eine Reihe von topo-bathymetrischen Sensoren, die eine Erfassung der gesamten fluvialen Topografie (Gewässerbett und Vorland) mit gleichmäßig hoher räumlicher Auflösung (20-50 Punkte/m²) und guter Höhengenaugigkeit (Asphalt: ± 3 cm, Gewässerbett: ± 7 cm) erlauben. Je nach Sensorhersteller werden dafür ggf. mehrere Scanner mit unterschiedlicher Wellenlänge (infrarot für den trockenen Bereich und

die Wasseroberfläche und grün für das Gewässerbett) eingesetzt. Die Firma Riegl LMS setzt mit ihrem topo-bathymetrischen Scanner VQ-820-G hingegen auf nur eine Laserquelle im grünen Wellenlängenbereich ($\lambda = 532 \text{ nm}$), was einerseits eine kompaktere Bauweise erlaubt und andererseits gewisse Implikationen bei der für die Refraktionskorrektur der Wasserechos erforderliche Bestimmung der Wasseroberfläche mit sich bringt (MANDLBURGER ET AL., 2013B).

In diesem Beitrag wird die Eignung von ALB zur Erfassung und Quantifizierung von Hochwasser bedingten Änderungen der fluvialen Topografie am Beispiel eines naturnahen Abschnittes der Pielach (NÖ) demonstriert. Die Basis dafür sind multi-temporale Befliegungen des Untersuchungsgebietes mit dem Riegl VQ-820-G im Zeitraum März 2013 bis Juni 2014. In diese Periode fallen zwei Hochwasserereignisse: ein jährliches Hochwasser (HQ1) im Mai/Juni 2013 und ein HQ50 im Mai 2014. Vor allem letzteres hat massive Sediment- sowie Schwemmholz-Umlagerungen mit sich gebracht. Aufgrund der komplexen Struktur des Gewässerbettes und des anschließenden Auwalds ist eine Aufnahme mit klassischen Methoden der Gewässervermessung (Echolot bzw. tachymetrische Querprofil-Aufnahme) nur schwierig und vor allem nicht mit vergleichbar hoher und homogener Punktdichte möglich.

Der weitere Artikel ist wie folgt strukturiert. In Abschnitt 2 wird das Untersuchungsgebiet vorgestellt und die Datenerfassung und -vorverarbeitung beschrieben. Auf ausgewählte Aspekte der Punktwolkenprozessierung wird im Abschnitt 3 eingegangen. Die Ergebnisse in Form von multitemporalen Geländemodellen und Volumendifferenzen werden in Abschnitt 4 präsentiert und kritisch diskutiert.

2 Untersuchungsgebiet und Datenvorverarbeitung

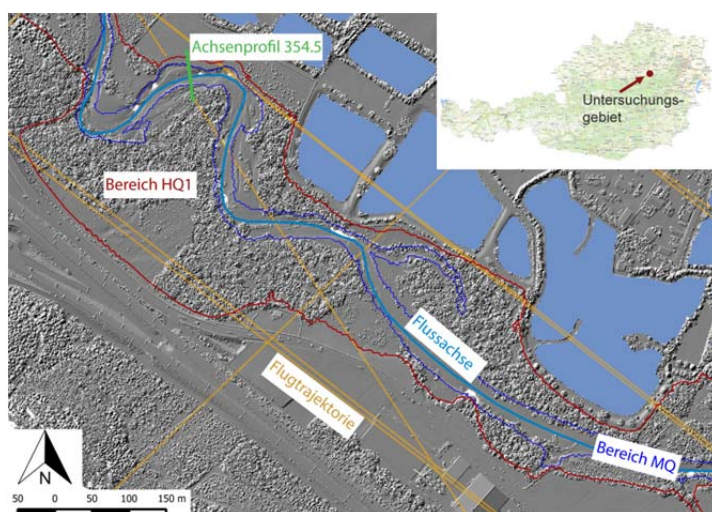


Abb. 1:
Untersuchungsgebiet
Pielach/Neubacher Au:
Digitales Oberflächenmodell (0.5m Gitter)
Flussachse, Fischteiche,
Flugtrajektorie, Ausdehnung des benetzten Flussbereichs bei Mittelwasser (MQ) und jährlichem Hochwasser (HQ1), Lage des Profilschnittes aus Abbildung 3

Das Untersuchungsgebiet Neubacher Au (Abbildung 1) liegt am Unterlauf der Pielach (NÖ). Es ist Teil des Natura2000 Schutzgebietes „Niederösterreichische Alpenvorlandflüsse“ (Area code: AT1219000) und stellt als naturnaher Flussabschnitt einen bedeutenden

Rückzugsraum für einige Fisch- und Vogelarten wie z. B. Nase, Barbe bzw. Uferschwalbe dar (MELCHER & SCHMUTZ, 2010). Das vornehmlich aus Kies und Sand bestehende Flussbett ist im Hochwasserfall laufend Umbildungsprozessen unterworfen. Dies gilt insbesondere für die Mäander im Zentrum des Untersuchungsgebietes. Die nord-östlich anschließende Überflutungsebene ist infolge von Flussschotterabbau von zahlreichen Baggerteichen dominiert. Während der seinerzeit vom Abbau betroffene Bereich durch Dämme vor Überschwemmungen gesichert ist, kann sich die Pielach im Bereich des Naturschutzgebietes frei ausbreiten, wobei der naturnahe Bereich im Süden durch die Bundesstraße 1 begrenzt ist. Im Bereich der Neubacher Au ist die Pielach als Tieflandfluss kategorisiert und weist bei niedrigen Abflüssen relativ klares Wasser mit Sichttiefen bis zum Flussgrund auf.

Das Untersuchungsgebiet wird seit März 2013 von der Firma Riegl zum Zweck der Sensorkalibrierung regelmäßig mit dem topo-bathymetrischen Laserscanner VQ-820-G (PFENNIGBAUER et al, 2011; RIEGL, 2014a) und seit Oktober 2014 auch mit dem Nachfolgemodell VQ-880-G (RIEGL, 2014b) befliegen. Aus allen verfügbaren Daten wurden vier Epochen vor (15. 04. 2013), zwischen (26. 10. 2013, 21. 02. 2014) und nach (10. 06. 2014) den Hochwasserereignissen ausgewählt. Die Befliegungen erfolgten dabei jeweils bei Nieder- bis maximal Mittelwasser und wurden stets in Form von Längs- und Querstreifen aufgenommen, wodurch eine hohe Stabilität und Relativgenauigkeit der jeweiligen Flugblöcke sichergestellt ist.

Die Datenvorverarbeitung umfasste für jede Epoche getrennt folgende Schritte: (i) Berechnung der rohen 3D-Punktwolke durch direkte Georeferenzierung auf Basis der Trajektorie (GNSS/IMU) und der Scannerdaten (Entfernung/Auslenkwinkel), (ii) Geometrische Kalibrierung durch Streifenausgleich und (iii) Qualitätskontrolle (Streifendifferenzen, Punktdichte). Zum Einsatz kamen dabei die Riegl Software RiProcess und das Programmsystem OPALS (PFEIFER et al, 2013). Die relativen Blockgenauigkeiten (Standardabweichung der Resthöhenklaffungen überlappender Flugstreifen an glatten Flächen) lag für alle Epochen bei 2-3 cm und dokumentieren eine gute Kalibrierung des gesamten Messsystems. Mangels an Passflächen wurden alle Flugblöcke durch eine rigide 3D-Transformation (3 Verschiebungen, 3 Drehungen) auf ein gemeinsames Datum gebracht. Als Datumsepoche wurde ein Flug vom 24. Mai 2013 gewählt. Dieser Flug wird zwar aufgrund des vollen Vegetationsaustriebs nicht zur Dokumentation der Veränderungen herangezogen, weist aber aufgrund der simultanen Befliegung mit zwei Scannern (infrarot: VQ-580; grün: VQ-820-G) eine sehr gute Zuverlässigkeit des Flugblocks auf (MANDLBURGER ET AL, 2013B).

3 Prozessierung der Punktwolken

Die generelle Strategie der Prozessierung von ALB Punktwolken bis hin zum Wasserlauf-DGM ist in MANDLBURGER et al. (2013a) beschrieben. Ein zentraler Punkt ist dabei die Korrektur aller Wasserechos infolge der Brechung des Laserstrahls an der Wasseroberfläche beim Übergang vom optisch dünneren Medium Luft in das dichtere Medium Wasser. In MANDLBURGER et al. (2013a) wurde zur Modellierung der Wasseroberfläche ein automatischer Ansatz vorgeschlagen, der voraussetzt, dass genügend Reflexionen an der Grenzschicht vorhanden sind, um die Wasseroberfläche mit statistischen Mitteln (z. B. 95% Quantil) zu bestimmen (MANDLBURGER et al., 2013b). In den erfassten Daten gibt es aber Bereiche mit sehr glatter Wasseroberfläche und geringen Wassertiefen, wo über mehrere Zehnermeter kein einziger Wasseroberflächenpunkt aufgezeichnet wurde (vgl. Ab-

bildung 2). Da in diesen Bereichen stets von einem konstanten Gradienten der Wasseroberfläche ausgegangen werden kann, ist es dennoch möglich, die korrekte Wasserspiegellage durch Interpolation zu ermitteln.

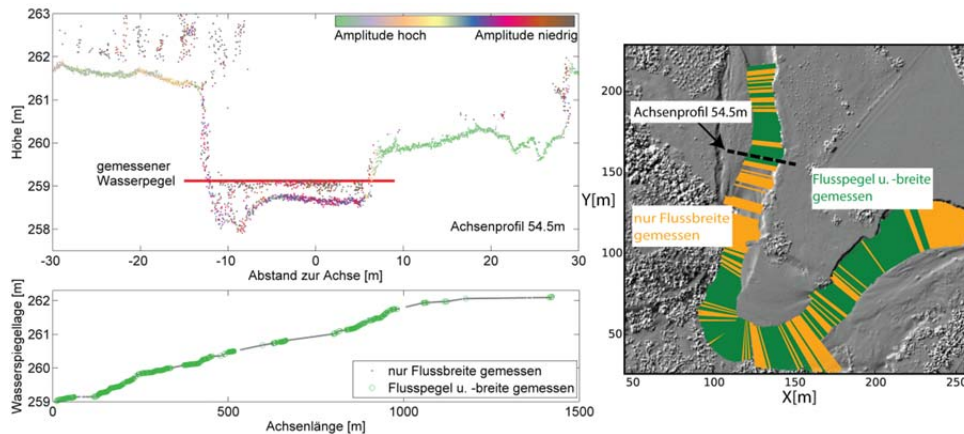


Abb. 2: Semi-automatische Bestimmung der Wasseroberfläche; oben: Querschnitt mit Laserpunktwolke und gemessener Wasserspiegellage, unten: Längsschnitt, rechts: Grundriss

Dazu wurde ein semi-automatisches Verfahren entwickelt, dessen Grundgedanke auf die morphologische Verdichtung von Gewässerbett-Querprofilen entlang eines gekrümmten Achsverlaufes zurückgreift (MANDLBURGER, 2006). Entlang der Flussachse werden dazu aus der georeferenzierten, aber sonst unkorrigierten Laserpunktwolke Querschnitte von benutzerdefinierter Breite und Tiefe (z. B. $B = \pm 30$ m, $T = 1$ m) extrahiert. Diese Punkte werden in einem 2D Profilkordinatensystem (Abszisse = Abstand zur Achse, Ordinate = Höhe) geplottet. Sofern im betrachteten Querschnitt wasseroberflächennahe Laserechos vorhanden sind, kann die Wasserspiegellage, anderenfalls zumindest deren laterale Ausdehnung manuell festgelegt werden. Die Definition von Wasserspiegellage und Gewässerbreite wird dann für jeden Querschnitt des betrachteten Flussabschnitts sinngemäß wiederholt, wobei die bereits erfassten Daten (Längsschnitt und Grundriss) zur Orientierung für den Operateur in getrennten Fenstern dargestellt sind (vgl. Abbildung 2). Zur Unterstützung des Operateurs wird ferner die Wasserspiegellage des nachfolgenden Querschnittes aus den vorangegangenen Daten extrapoliert, sodass nur mehr die Feinanpassung vorgenommen werden muss. Nach erfolgter Digitalisierung wird abschließend ein lückenloses Wasseroberflächenmodell interpoliert (MANDLBURGER, 2006), welches dann zur Refraktionskorrektur der Wasserechos gemäß dem Snellius'schen Brechungsgesetz verwendet wird.

Bei der Klassifizierung der Bodenpunkte stellten vor allem die Steilufer eine Herausforderung dar, welche bei der Anwendung von Standardfilteralgorithmen i. d. R. stark erodiert werden (SITHOLE & VOSSSELMAN, 2003). Für die Verbesserung der DGM Qualität wurden daher an den erforderlichen Stellen manuell Geländekanten auf Basis der 3D-Punkt wolke bestimmt. Bei der anschließenden ALS-Filterung wurden diese als Zwangsbedingungen eingeführt, wodurch ein Abrunden der Steilufer verhindert werden konnte. Für alle ausgewählten Epochen wurden schließlich Geländemodell-Raster mit einer Gitterweite von 0.5 m

berechnet. Diese stellen die Basis für die anschließende Analyse der Oberflächen- und Volumenänderungen dar.

4 Ergebnisse und Diskussion

Die Präsentation und Diskussion der Ergebnisse und der erfassten Veränderungen erfolgt querschnittsbezogen (Abbildung 3), flächenhaft (Abbildungen 4 und 5) und schließlich quantitativ (Tabelle 1).

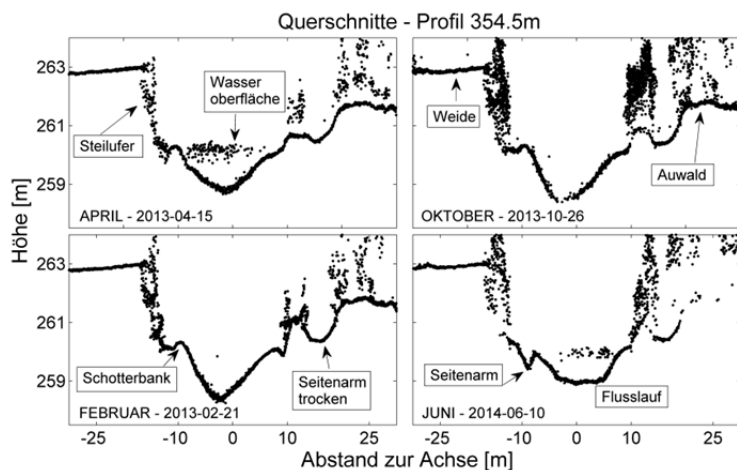


Abb. 3: Querschnitt des stark gegliederten Profils 354.5m. Deutlich sichtbar ist die Umformung der Querschnittsform (U \rightarrow V \rightarrow Trog) im Hauptgerinne durch die beiden Hochwasserereignisse sowie die Veränderungen im linken Seitenarm.

Abbildung 3 zeigt die Auswirkungen der hochwasserbedingten Erosion auf den stark gegliederten Querschnitt mit der Stationierung 354.5 m (von links nach rechts: Weidefläche, Steilufer, Seitenarm, Schotterbank, Flussbett, Uferböschung, nicht durchflossener Seitenarm, Auwald). Während sich das Flussprofil durch das Mai/Juni-2013-Hochwasser von der ursprünglichen U- zu einer V-Form verändert hat, transformierte das wesentlich stärkere Hochwasser im Mai 2014 den Querschnitt in eine Trog-Form weiter. Auch der linke, benetzte Seitenarm (Rückzugsbereich für Jungfische) wurde stark umgeformt. Das HQ1 2013 führte dabei zunächst zu einer Nivellierung des Seitenarms, das HQ50 2014 hingegen zu einer verstärkten Eintiefung. Des Weiteren veranschaulicht die Abbildung auch den unterschiedlichen Vegetationszustand der einzelnen Epochen und die spärliche Abdeckung mit Bodenpunkten vor allem im Juni 2014 (vgl. Abbildung 5c). Dieser Umstand muss vor allem bei der Interpretation der Veränderungsdaten im Auwald nach dem HQ50 mitberücksichtigt werden.

Für jede Epoche stellen die Modelle der Wasseroberfläche (DWM) und des Geländes (DGM) die wesentlichen Ergebnisse der Punktwolkenverarbeitung dar. Das DWM ist dabei nicht nur die Grundlage für die Refraktionskorrektur sondern auch die Basis für die Berechnung der Wassertiefen. Abbildung 4 zeigt das DGM vom Februar 2014 überlagert mit den Wassertiefen zum Befliegungszeitpunkt. Man erkennt, dass die Pielach im Untersuchungsgebiet vorwiegend seicht ist mit Wassertiefen von in der Regel kleiner 2 m sowie gelegentlichen Kolken bis maximal 3.04 m Tiefe. Der tiefste, gemessene Laserpunkt liegt 2.94 m unter der Wasseroberfläche. Das Gewässerbett der Pielach kann daher im Untersu-

chungsgebiet praktisch vollständig erfasst und die kleinräumigen Datenlücken im Bereich der Kolke durch Interpolation überbrückt werden.

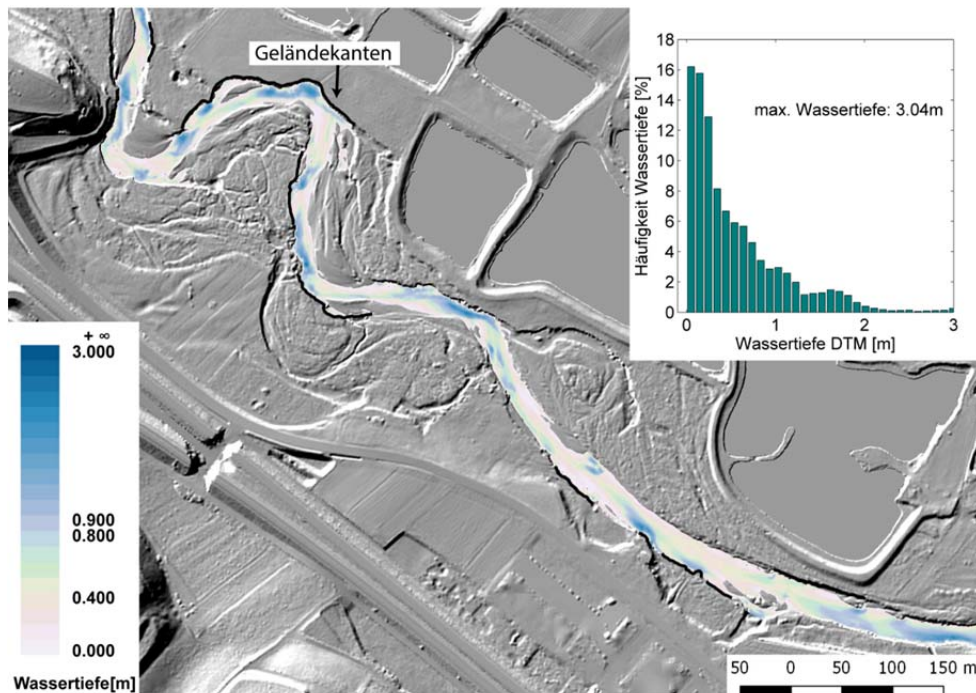


Abb. 4: DGM Schummerung vom 21.02.2014 überlagert mit farbkodierten Wassertiefen zum Flugzeitpunkt. Rechts oben: Histogramm der Wassertiefen;

Die Differenzmodelle zwischen einzelnen Messepochen schließlich dokumentieren die Hochwasser bedingten Veränderungen und sind grafisch in Abbildung 5 dargestellt sowie zahlenmäßig in Tabelle 1 zusammengefasst. Abbildung 5a zeigt die Veränderungen durch das HQ1 im Mai/Juni 2013. Man erkennt deutliche Verlagerungen von Schotterbänken im unmittelbaren Flussbereich (inneres schwarzes MQ Polygon). Neben der Sedimentverschiebung kommt es in der Mäanderschleife auch zu einer Erosion des Steilufers im Prallhangbereich infolge der hohen Schubspannung während des Hochwassers. Diese führt zu einer Unterspülung der Uferwand und in weiterer Folge zu einem Abbruch der überhängenden Böschung. Des Weiteren ist zu beobachten, dass im Auwald (äußeres graues Polygon) keine gravierenden Änderungen zu beobachten sind. Die tendenziell leicht negativen Höhendifferenzen sind dabei nicht auf fluviale Erosion sondern auf eine systematisch geringfügig höhere DGM Fläche infolge der noch nicht abgeschlossenen Belaubung Ende Oktober zurückzuführen. Diese Differenzen sind daher von der Gesamtbilanz auszunehmen (vgl. Tabelle 1). Abbildung 5b (Oktober 2013-Februar 2014) zeigt im selben Bereich positive Höhenänderungen in der gleichen Größenordnung, da die Gelände fläche bei Laubfreiheit im Februar wieder zuverlässiger erfasst wurde. Bemerkenswert sind hier aber die Änderungen im Flussbereich selbst, obwohl in diesem Zeitraum kein Hochwasser stattgefunden hat. Starke Regenfälle im November bzw. Dezember 2013 haben aber Abflüsse über Mittelwasser mit sich gebracht, deren Energie für eine entsprechende Mobilisierung des

Sediments ausreichend stark war. Im Vergleich zu den Abbildungen 5a und 5b sind die in 5c dokumentierten Veränderungen durch das extreme HQ50 Ereignis im Mai 2014 ungleich massiver und beschränken sich nicht nur auf den unmittelbaren Flussbereich sondern auch auf das gesamte umliegende Augebiet. Tatsächlich reichte die Uferlinie während des Hochwasserscheitels im Norden bis zu den Dammkronen und im Süden bis zur Bundesstraße. Das HQ50 hat vor allem im Mäanderbereich eine vollständige Umgestaltung des Flussprofils und eine mehrere Meter betragende Verschiebung der Flusstiefenlinie mit sich gebracht. Für die tendenziell stark positiven Differenzen im Auwald südlich der Mäander gilt allerdings das bereits für 5a diskutierte Phänomen der systematisch zu hohen DGM Fläche. Der Flug im Juni 2014 fand bei voller Belaubung statt. Dies gilt für die hohe Baumvegetation aber vor allem auch für das sehr dichte, niedrige Buschwerk. Das Lasersignal kann hier oft über weite Bereiche nicht bis zum Boden vordringen und das DGM ist in diesen Bereichen entsprechend unsicher definiert. Bei einem Lokalausgang im Oktober 2014 konnten aber große Ansammlungen von Schwemmh Holz festgestellt werden. Eine objektive Bewertung der HQ50 Auswirkung im Auwald lässt sich objektiv allerdings erst auf Basis von Messdaten der Herbst/Wintersaison 2014/15 durchführen. Eine Befliegung mit dem VQ-880-G Ende Oktober 2014 wurde bereits durchgeführt, die entsprechenden Daten aber noch nicht ausgewertet. Bemerkenswert sind jedenfalls die teils erheblichen positiven Differenzen quer durch den Auwald. Hier hat das HQ50 einen neuen, bereits im Februar 2014 DGM ansatzweise sichtbaren Kanal stark vertieft (vgl. Abbildung 4).

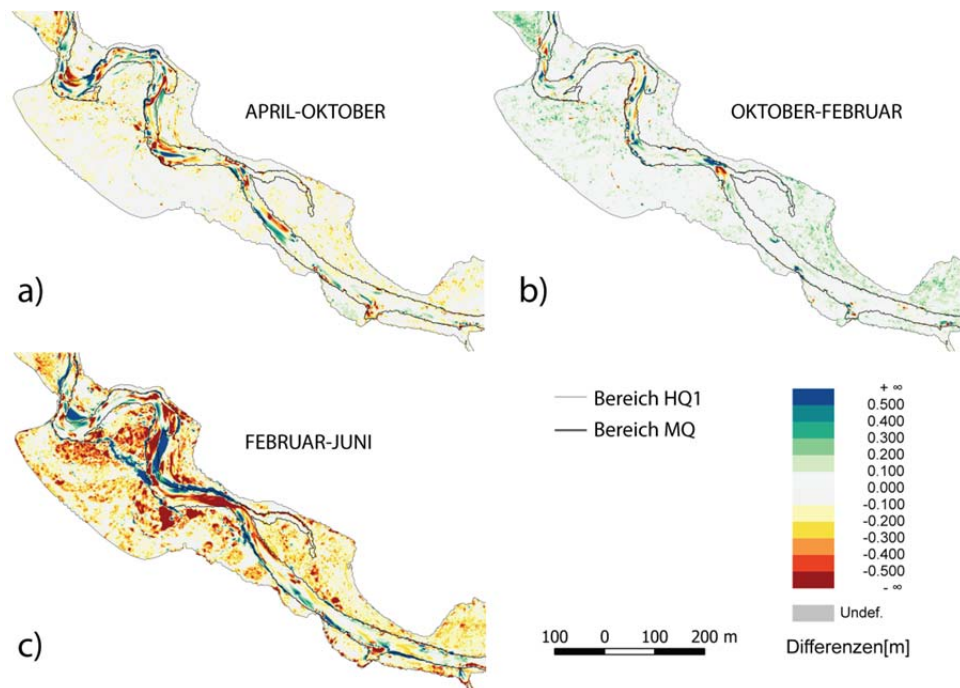


Abb. 5: Hochwasser bedingte Höhenveränderungen im Überschwemmungsbereich

Die Tabelle 1 gibt einen Überblick über die volumetrischen Veränderungen. Die Gegenüberstellung wurde dabei einmal für alle Gitterzellen (ohne Maskierung) durchgeführt und einmal unter Berücksichtigung einer automatisch erstellten Maske. Die Maske enthält

Rasterzellen ohne Bodenpunkte und Zellen, deren Höhendifferenz betragsmäßig kleiner als die zu erwartende Messgenauigkeit (± 7 cm innerhalb des MQ-Polygons und ± 10 cm innerhalb des HQ1-Polygons) sind. Die entsprechenden Zellen wurden von der Volumenstatistik ausgenommen.

Tabelle 1: Volumenänderungen [m^3] zwischen den einzelnen Messepochen

Volumenänderung [m^3]		ohne Maskie-		mit Maskierung		
Epochenvergleich		MQ	HQ1	MQ	HQ1	HQ1 _{Gesamt}
April- Oktober	Auftrag	4.749	9.322	3.643	5.058	4.025
	Abtrag	3.353	1.649	2.634	1.033	
Oktober - Februar	Auftrag	1.548	1.059	1.020	326	
	Abtrag	2.981	7.677	1.779	3.635	3.379
Februar - Juni	Auftrag	7.906	24.536	6.102	10.260	6.903
	Abtrag	3.507	5.804	2.581	3.357	
April - Juni	Auftrag	8.805	25.484	6.576	11.226	7.790
	Abtrag	4.443	5.698	3.299	3.436	

Tabelle 1 zeigt, dass sich Auf- und Abtrag der durch das Mai-2013-Hochwasser hervorgerufenen Volumendifferenzen über das gesamte Untersuchungsgebiet im Flussbereich (MQ) größenordnungsmäßig etwa die Waage halten (z. B. Okt-Feb; Auftrag: 1.020 m^3 / Abtrag: 1.779 m^3) während die Veränderungen durch das extreme Hochwasser 2014 sowohl im unmittelbaren Flussbereich (MQ) als auch im Auwald (HQ1) einen deutlichen Auftrags-Überhang aufweisen. In der Gesamtbilanz über beide Ereignisse hinweg (April-Juni) ergibt sich ein Gesamt-Auftrag von 7.790 m^3 . Wie zu erwarten war, sind die Änderungsraten im Hochwasser freien Zeitraum Oktober-Februar geringer als in den anderen Perioden. Auch bestätigt die Tabelle 1 zahlenmäßig die bereits für die Abbildungen 5a und 5b geführte Diskussion, dass die DGM Höhen im Oktober 2013 (wie auch im Juni 2014) aufgrund der Belaubungssituation im Auwald tendenziell zu hoch sind. Während im Zeitraum April-Oktober ein Auftrags-Überschuss besteht (4.025 m^3), weist der Zeitraum Oktober-Februar einen entsprechenden Abtrags-Überschuss (3.379 m^3) auf.

Zusammenfassung

In diesem Beitrag wurde die Eignung von Laser Bathymetrie zur detaillierten Erfassung fluvialer Topografie und deren Hochwasser bedingter Änderung am Beispiel der Pielach demonstriert. Die multitemporale Datenerfassung der Neubacher Au erfolgte mit dem topobathymetrischen Laserscanner VQ-820-G der Firma Riegl in einem Zeitraum von März 2013 bis Juni 2014, innerhalb dessen zwei Hochwasserereignisse stattfanden. Die Datenverarbeitung umfasste dabei zunächst eine Kalibrierung der Punktwolken der Einzelepochen und deren Transformation auf ein einheitliches Datum. Die Refraktionskorrektur der Wasserechos wurde durch die geringe Dichte an Wasseroberflächenpunkten erschwert, weshalb ein semi-automatisches Verfahren zur Bestimmung der Wasseroberfläche entwickelt und vorgestellt wurde. Aufbauend auf den aus den einzelnen Punktwolken abgeleiteten Geländemodellen konnte schließlich ein Epochenvergleich durchgeführt werden, bei dem massive Sedimentumlagerungen im unmittelbaren Flussbereich dokumentiert werden

konnten. Darüber hinaus führte das extreme Hochwasser im Mai 2014 auch zu Veränderungen im Auwald-Bereich. Eine zuverlässige Quantifizierung ist in diesem Bereich aber erst durch eine Befliegung nach der Vegetationsperiode möglich, da sich gezeigt hat, dass die Geländemodelle der während der Belaubungszeit durchgeführten Flüge infolge der mangelnden Vegetationsdurchdringung tendenziell zu hoch sind.

Danksagung

Die vorgestellte Arbeit wurde unterstützt durch Mitteln aus dem FFG COMET-K Projekt „Alpine Airborne Hydromapping – Research to Practice“ (AAHM-R2P).

Literatur

- EU (1992): Council Directive 92/43/EEC on the Conservation of natural habitats and of wild fauna and flora. Official Journal of the European Union (OJL), L 206, Volume 35
- EU (2000): Directive 2000/60/EC of the European Parliament and European Council of 23 October 2000 establishing a framework for Community action in the field of water policy. Official Journal of the European Union (OJL), 327, 173
- EU (2007): Directive 2007/60/EC of the European Parliament and European Council of October 2007 on the assessment and management of flood risks. Official Journal of the European Union (OJL), 288, 27
- IRISH, J. & WHITE, T. (1998): Coastal Engineering Applications of High Resolution Bathymetry, Coastal Engineering, 35(1–2), 47-71
- MANDLBURGER, G. (2006): Topographische Modelle für Anwendungen in Hydraulik und Hydrologie. Dissertation am Institut für Photogrammetrie und Fernerkundung, http://www.ipf.tuwien.ac.at/phdtheses/diss_gm_06.pdf (21.11.2014)
- MANDLBURGER, G., OTEPKA, J., MILLER, P., STEINBACHER, F., PFENNIGBAUER, M. & PFEIFER, N. (2013a): Vermessung von Fließgewässern mittels Airborne Laser Bathymetry. Wichmann, ISBN: 978-3-87907-526-3; S. 125-134
- MANDLBURGER, G., PFENNIGBAUER, M. & PFEIFER, N. (2013b): Analyzing near water surface penetration in laser bathymetry - A case study at the River Pielach. ISPRS Annals of the Photogrammetry, Remote Sensing and Spatial Information Sciences, II-5/W2
- MELCHER, A. & SCHMUTZ, S. (2010): The importance of structural features for spawning habitat of nase *chondrostoma nasus* (L.) and barbel *barbus barbus* (L.) in a pre-alpine river. River Systems 19(1), pp. 33–42.
- PFEIFER, N., MANDLBURGER, G., OTEPKA, J. & KAREL, W. (2014): OPALS - A framework for Airborne Laser Scanning data analysis. Computers, Environment and Urban Systems, 45 (2014), 125-136
- PFENNIGBAUER M., ULLRICH A., STEINBACHER F. & AUFLEGER M. (2011): High-resolution hydrographic airborne laser scanner for surveying inland waters and shallow coastal zones. In: Proceedings of SPIE 8037, 8037-5, Orlando, Florida, USA.
- RIEGL (2014a), Datenblatt des VQ-820-G topo-bathymetrischen Laserscanners. www.riegl.com/uploads/tx_pxpriegldownloads/DataSheet_VQ-820-G_2014-09-19.pdf

- RIEGL (2014b), Datenblatt des VQ-880-G topo-bathymetrischen Laserscanners.
http://www.riegl.com/uploads/tx_pxpriegl/downloads/DataSheet_VQ-880-G_2014-09-25_PRELIMINARY.pdf
- SITHOLE, G. & VOSSELMAN, G. (2003): Comparison of Filter Algorithms. In: International Archives of Photogrammetry and Remote Sensing, Vol. XXXIV, 3/W13. Dresden, Germany, 2003, S. 71–78