

HENRY

Hydraulic Engineering Repository

Ein Service der Bundesanstalt für Wasserbau

Conference Paper, Published Version

Weiß, Robert

Erprobung der Laserbathymetrie an der Bundeswasserstraße Elbe

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/20.500.11970/103402>

Vorgeschlagene Zitierweise/Suggested citation:

Weiß, Robert (2015): Erprobung der Laserbathymetrie an der Bundeswasserstraße Elbe. In: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik (Hg.): Messen und Überwachen im Wasserbau und am Gewässer. Dresdner Wasserbauliche Mitteilungen 53. Dresden: Technische Universität Dresden, Institut für Wasserbau und technische Hydromechanik. S. 435-444.

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.



Erprobung der Laserbathymetrie an der Bundeswasserstraße Elbe

Robert Weiß

Die BfG erprobt neue Verfahren und Systeme zur Erfassung der Topografie von Land- und Gewässerbettsflächen. In Zusammenarbeit mit dem Wasser- und Schifffahrtsamt Dresden wurden 2014 die bathymetrischen Airborne Laserscanning Systeme AHAB CHIROPTERA_I und RIEGL VQ820G mit dem Ziel getestet, belastbare Aussagen zu den Möglichkeiten und Grenzen bathymetrischer ALS-Systeme zu erhalten. Als Untersuchungsgebiet wurde ein Streckenabschnitt der Elbe zwischen Torgau und der Lutherstadt Wittenberg sowie Altarme der Elbe ausgewählt.

Die erhofften Ergebnisse wurden mit beiden Scannersystemen nicht erreicht. Bedingt durch die Trübung der Elbe und den schlechten Reflektionseigenschaften des Gewässerbodens konnten die Laserimpulse die Elbe nicht durchdringen und somit war keine Erfassung des Gewässerbetts möglich. Für den Bereich der Altarme und der stehenden Gewässern lässt sich keine generell gültige Aussage treffen. Im Fall von klarem Wasser wurden Eindringtiefen erreicht, die der 1,3-fachen Sichttiefe entsprochen haben. Aktuelle Weiterentwicklungen der Auswertesoftware deuten darauf hin, dass die Eindringtiefe in trübere Gewässern durch verbesserte Auswertelgorithmen der Rückkehrimpulse verbessert werden kann. Vergleiche mit Peilbeobachtungen in den Altarmen haben gezeigt, dass die ALS-Gewässerbettpunkte sehr stark streuten, im Mittel aber nahezu immer etwas über dem Gewässerbettmodell liegen. Es hat sich weiterhin gezeigt, dass die Laserbathymetrie nur dann funktioniert, wenn der Gewässerboden frei von Vegetation ist. Sofern diese vorhanden ist, werden die Laserimpulse an deren Oberfläche reflektiert und der Gewässerboden damit nicht erfasst. Neben den Gewässerbettpunkten wurden auch Punkte an der Wasseroberfläche erfasst, die in einem Fall mit den Pegelbeobachtungen sehr gut übereinstimmen und im anderen Fall um wenige Zentimeter systematisch verschoben sind.

Stichworte: Laserbathymetrie, Bundesanstalt für Gewässerkunde, AHAB CHIROPTERA, RIEGL VQ820G, Elbe, Klöden, Pilotprojekt

1 Einleitung

Die Bundesanstalt für Gewässerkunde ist ein im Geschäftsbereich des Bundesministeriums für Verkehr und Digitale Infrastruktur angesiedeltes wissenschaftliches Institut. Ein wesentlicher Auftrag besteht insbesondere in der Beratung der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes. Im Rahmen dieses Auftrages erprobt und evaluiert die BfG neue Verfahren und Systeme zur Erfassung der Topografie von Land- und Gewässerbettsflächen. In 2013 waren zwei

bathymetrische Airborne Laserscanning Systeme auf dem Markt verfügbar, deren angegebene Performance für Anwendungen im Bereich der Wasser- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes ausreichend erschien. In Zusammenarbeit mit dem Wasser- und Schifffahrtsamt Dresden wurden 2014 die bathymetrischen ALS-Systeme AHAB CHIROPTERA_I und RIEGL VQ820G mit dem Ziel getestet, belastbare Aussagen zu den Möglichkeiten und Grenzen zu erhalten. Als Untersuchungsgebiet wurde ein Abschnitt der Elbe zwischen Torgau und Wittenberg (km 184-203) sowie im Untersuchungsgebiet gelegene Altarme ausgewählt.

Im Rahmen des Projektes wurde ein umfangreiches Begleitprogramm mit ausgeführt. Dieses beinhaltete die Erfassung von Einflussparametern auf die Laserbathymetrie, sowie die Bestimmungen von Referenzflächen. Als Einflussparameter wurden dabei Wasserstand, Schwebstoffkonzentration und Sichttiefen erfasst. Eine Bestimmung der Wasserstände und Schwebstoffkonzentrationen erfolgt routinemäßig durch Dienststellen der WSV. Seit August 2013 bestimmt das WSA Dresden die Sichttiefe mithilfe von Secchischeiben an unterschiedlichen Standorten in der Elbe und den Altarmen. Die in Form und Aussehen normierten Secchischeiben werden dabei so tief ins Wasser abgelassen, bis diese mit dem bloßen Auge nicht mehr sichtbar sind. Eine so festgestellte Eintauchtiefe wird als Sichttiefe oder Secchitiefe bezeichnet. Bedingt durch die variierende Sonneneinstrahlung und die Erfahrung der Beobachter handelt es sich dabei um keinen objektiv messbaren Wert. Andere Ansätze zur Messung der Signaldämpfung bzw. der Sichttiefen sind in der Literatur (Guenther, Gary C. 1985) beschrieben. Für die Ableitung eines DGM-W und die Nutzung als weitere Referenzfläche erfolgten unmittelbar vor der ersten Befliegung eine flächenhafte Neuvermessung des Fahrwassers durch ein modernes Flächenpeilsystem und die flächendeckende Vermessung der Altarme mithilfe konventioneller Echolotsysteme.

2 Befliegung des Untersuchungsgebietes

2.1 Physikalische und technische Rahmenbedingungen

Bei der Laserbathymetrie handelt es sich um eine Modifizierung des klassischen Airborne Laserscanning (ALS). Abweichend zu herkömmlichen ALS-Systemen basiert die Laserbathymetrie auf Laserlicht im grünen Spektralbereich. Im Gegensatz zu NIR Laserlicht durchdringt grünes Laserlicht das Wasser und wird am Gewässerboden reflektiert, wohingegen NIR-Laserlicht an der Wasseroberfläche reflektiert wird. Bedingt durch die unterschiedliche Lichtgeschwindigkeit in Luft und Wasser muss auch die Höhe der Wasseroberfläche ermittelt werden.

Derzeit werden verschiedene konstruktive Ansätze realisiert. Einige Scanner (z.B. RIEGL VQ820G) nutzen ausschließlich grünes Laserlicht. In diesem Fall werden alle Echos eines einzelnen Laserschusses erfasst und die Höhe der Wasseroberfläche aus den Einzelechos abgeleitet. Andere Scanner (z.B. AHAB CHIROPTERA₁) kombinieren einen grünen Laser mit einem herkömmlichen NIR Laser, wobei mithilfe des NIR Lasers die Wasseroberfläche und mit dem grünen Laser Gewässerbodenpunkte erfasst werden. Die Ergebnisse und Leistungsfähigkeit des Verfahrens werden durch eine Vielzahl von Einflussfaktoren limitiert. Neben rechtlichen Rahmenbedingungen, wie etwa Flugparameter oder die maximale Energie der Laserpulse, ergeben sich auch Verfahrensgrenzen aus den instrumentellen Eigenschaften (z.B. Pulsrate, max. Flughöhe) der ALS Systeme. Hauptparameter für die Begrenzung des Verfahrens sind Gewässertrübung und Reflektionseigenschaften des Gewässerbodens. Die Gewässertrübung resultiert aus Schwebstoffteilchen im Wasser. Das einfallende Laserlicht wird an diesen Teilchen diffus in alle Richtungen gestreut, was zu einer starken Signaldämpfung führt. Darüber hinaus bewirken die diffusen Reflektionen eine Aufweitung des Footprints (Abbildung 1). Je nach Beschaffenheit des Gewässerbodens reflektiert dieser das Laserlicht mehr oder weniger gut. Verdeutlicht wird dieser Einfluss in Abbildung 2, wo dem sehr klaren Rhein bei Schaffhausen ein typisches Gewässer im Untersuchungsgebiet (Altarm Großer Streng/Elbe) gegenübergestellt wird. Im linken Foto (Altarm) ist der Gewässerboden im Gegensatz zum rechten Foto nicht zu erkennen. Einfallendes Sonnenlicht wird im Wasserkörper diffus gestreut und die verbleibenden Reflektionen des Gewässergrunds sind nicht so stark, dass beim Beobachter ein signifikantes Signal des Gewässerbodens ankommt. Praktisch bedeutet dies, dass ein Beobachter den Gewässerboden nicht sehen kann. Im Gegensatz zur linken Abbildung durchdringt das Sonnenlicht den sehr klaren Rhein bis zum Gewässerboden und wird dort bzw. an den einzelnen Fischen reflektiert. Das reflektierte Signal wird durch das klare Wasser kaum gedämpft und anschließend vom Beobachter erfasst bzw. dieser kann den Gewässerboden und die einzelnen Fische problemlos erkennen. Von Seiten der Hersteller wird die maximal erreichbare Eindringtiefe häufig über ein Vielfaches der Secchitiefe bzw. Sichttiefe beschrieben. Für den RIEGL VQ820G wird die einfache Sichttiefe, für den AHAB CHIROPTERA die 1,3-fache Sichttiefe angegeben.

Das Untersuchungsgebiet (Abbildung 4) wurde Anfang März 2014 mit dem AHAB CHIROPTERA₁ zweimal aus einer Flughöhe von 300m gescannt. Auf diese Befliegung folgen Mitte März bzw. Anfang April weitere Befliegungen mit dem RIEGL VQ802G in einer Flughöhe von rund 400m. Neben den ALS-Punktwolken wurden auch Luftbilder und Full-Waveform Daten aufgezeichnet. Die Bewertung beider Systeme erfolgte auf Basis der erreichbaren Punktdichte,

der Eindringtiefe und der Genauigkeit gegenüber Referenzflächen. Die Wasserstände während der Befliegungen waren sehr niedrig bzw. lagen im Bereich des mittleren Niedrigwasserstands. Die zeitnah festgestellten Sichttiefen variierten zwischen 0,4m und 0,7m im Bereich der Elbe und zwischen 0,8m und 1,6m in den Altarmen.

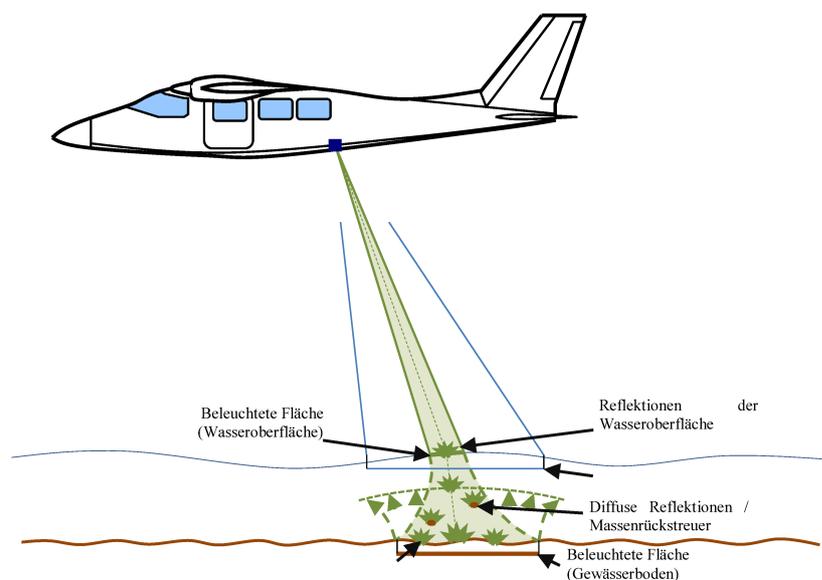


Abbildung 1: Diffuse Reflektionen und Aufweitung des Footprints



Abbildung 2: Gewässertrübung an einem Altarm der Elbe (links) und am Rheinfall bei Schaffhausen (rechts)

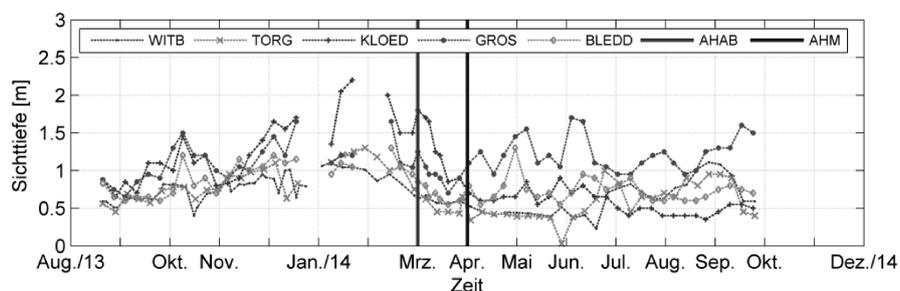


Abbildung 3: Im Untersuchungsgebiet erfasste Sichttiefen

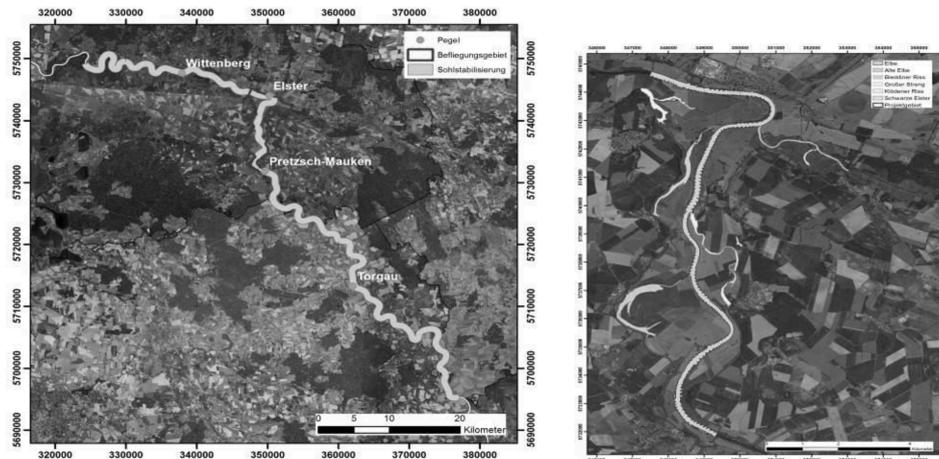


Abbildung 4: Untersuchungsgebiet

Mit dem AHAB CHIROPTERA_I wurde nur eine relativ geringe Punktdichte am Boden erreicht, die zudem ungleichmäßig verteilt war. Ursache hierfür sind die geringe Pulsrate des bathymetrischen Kanals und die Bauart des Scanners (ellipsoidisches Bodenmuster). Die real erreichte Punktdichte lag erheblich unterhalb der theoretisch erreichbaren Punktdichte bei 35kHz. Als Ursache wurde von AHAB ein Problem in der Scannersteuerung ermittelt, welches mittlerweile behoben ist. Bei der Fluggeschwindigkeit von 230km/h ü.G. ergaben sich je Überflug Punktdichten von etwa 0,3Pkt/m² bis 0,6Pkt/m². Eine Aufteilung des Untersuchungsgebiets in 1m² große Zellen hat weiterhin ergeben, dass in ~64% der Zellen keine Beobachtungen und in weiteren 22% der Zellen nur eine Beobachtung vorhanden sind. Der RIEGL VQ820G ist konstruktiv für eine Pulsrate von bis zu 512kHz ausgelegt, wobei im Rahmen der Befliegung nur eine Pulsrate von 256kHz genutzt wurde. Bei einer einfachen Befliegung ergaben sich für die einzelnen Gewässer mittlere Punktdichten von 12Pkt/m² bis 24Pkt/m², die im Gegensatz zum AHAB CHIROPTERA_I homogen verteilt waren (Abbildung 5).

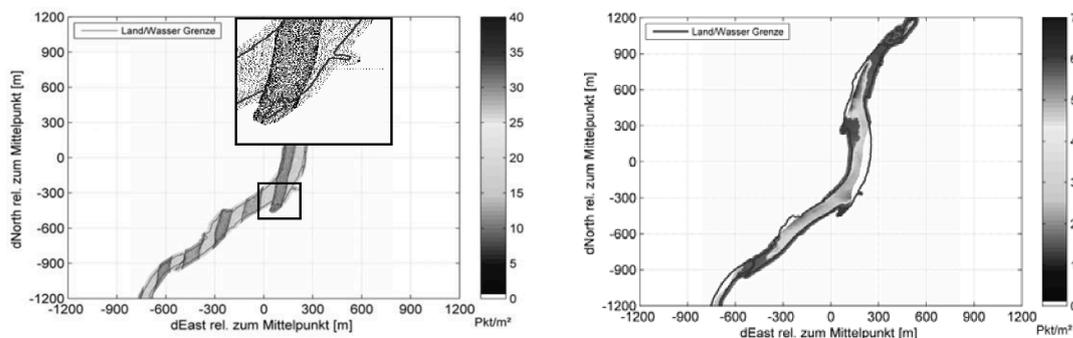


Abbildung 5: Punktdichte des AHAB CHIROPTERA_I (links) und des RIEGL VQ820G (rechts)

Die Eindringtiefe der Systeme variiert je nach Gewässer sehr stark. Mit dem AHAB CHIROPTERA_I konnten im Bereich der Elbe nur Eindringtiefen von

weniger als 0,4m erreicht werden. Aufgrund der real größeren Wassertiefe ist davon auszugehen, dass es sich bei den empfangenen Echos nicht um Punkte des Gewässerbodens, sondern vielmehr um Rückstreupunkte innerhalb der Wassersäule handelt. Die Eindringtiefen in den Altarmen variierten sehr stark, wobei die Bandbreite von einigen wenigen Reflektionen im Bereich der Wasseroberfläche bis hin zur nahezu flächendeckenden Erfassung des Gewässerbetts reicht. Mit wenigen Ausnahmen wurden nur Eindringtiefen von weniger als einem Meter erreicht. Häufig wurden auch Punkte erfasst und als Gewässerbettpunkte klassifiziert, deren Höhen zum realen Gewässerbettmodell sehr große Differenzen aufweisen. Bedingt durch die dort auftretende Unterwasservegetation ist davon auszugehen, dass in diesen Fällen die Vegetationsoberfläche und nicht der Gewässerboden erfasst wurde. In einem Fall wurde eine Eindringtiefe von $\sim 2\text{m}$ erreicht, wobei die zeitgleich festgestellte Sichttiefe $\sim 1,6\text{m}$ betrug.

Aktuell arbeitet die Herstellerfirma AHAB an einem verbesserten Auswertalgorithmus. Dieser soll insbesondere für trübe Gewässer geeignet sein und eine signifikante Steigerung der Eindringtiefe bzw. der Punktdichte am Boden erreichen. Für den Bereich des Klödener Risses lagen die Ergebnisse des neuen Auswertalgorithmus vor und diese sind in Abbildung 6 mit dargestellt. Mit dem RIEGL VQ820G wurden vergleichbare Ergebnisse erzielt (Abbildung 7). Die hohe Eindringtiefe im zuvor genannten Altarm konnte nicht reproduziert werden, da zum Zeitpunkt der Befliegung mit dem RIEGL VQ820G in diesem Bereich schlechtere Sichttiefen festgestellt wurden. Das Gewässerbett der Elbe wurde von keinem System erfasst.

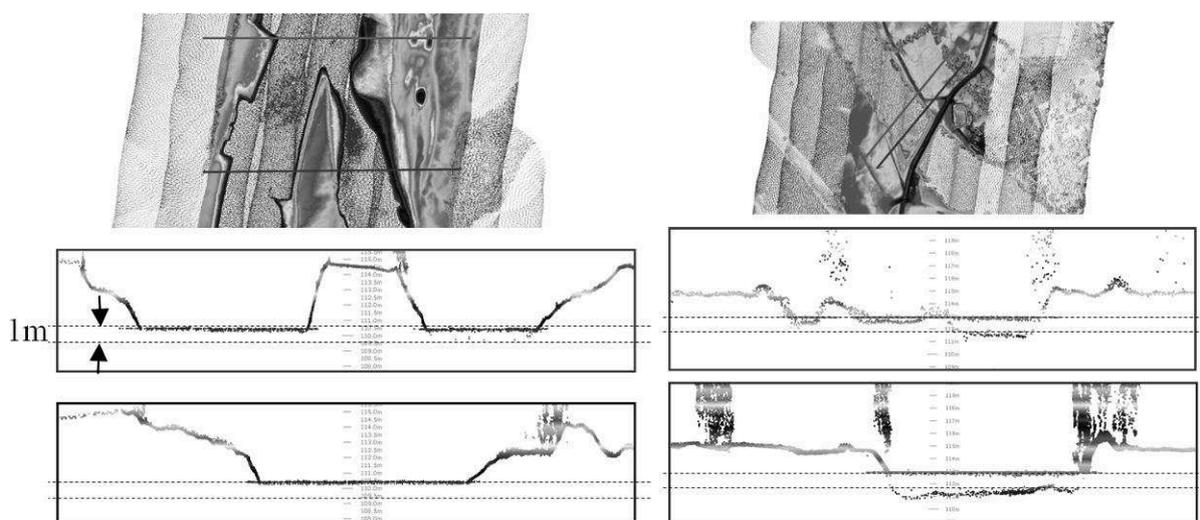


Abbildung 6: Eindringtiefen des AHAB CHIROPTERA₁ im Bereich der Elbe (links) und des Altarms Klödener Riss (rechts)

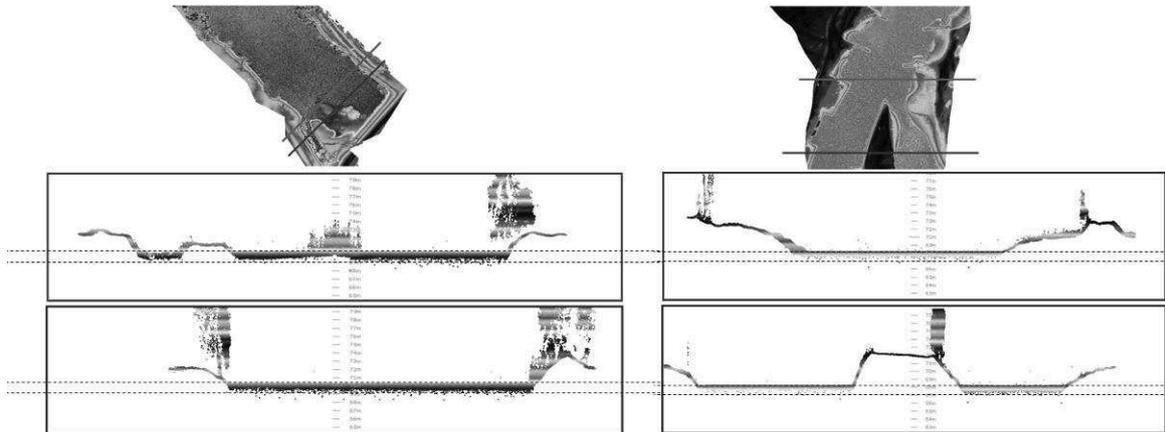


Abbildung 7: Eindringtiefen des RIEGL VQ820G im Bereich des Klödener Risses und der Elbe (rechts)

Die Genauigkeit beider Scanner konnte anhand von Referenzflächen überprüft werden. Aufbauend auf den Stützpunkten erfolgte eine Ableitung von Referenzflächenmodellen auf Basis bivariater Polynome, die den ALS-Beobachtungen gegenübergestellt wurden. Im Fall des AHAB CHIROPTERA₁ ergaben sich für alle großen Referenzflächen ähnliche Ergebnisse. Die Beobachtungen lagen zwischen 0,115m–0,128m (topografischer Kanal) und 0,105m–0,137m (bathymetrischer Kanal) über den Referenzmodellen, wobei die Standardabweichung der Differenzen zwischen 0,02m und 0,05m variierte. Die Differenzen basieren auf direkt georeferenzierten Beobachtungen bzw. es wurden keine Anpassungen an Referenzflächen vorgenommen. Von den festgestellten Abweichungen lassen sich 0,097m durch eine nicht korrekt berücksichtigte Antennenhöhe der Referenzantenne erklären. Mit dem RIEGL VQ820G wurde nur eine große Referenzfläche mehrfach überflogen, wobei sich mittlere Abweichungen von 0,03m mit einer Standardabweichung der Differenzen von etwa 0,02m ergeben haben. Die Ergebnisse sind in Abbildung 8 dargestellt.

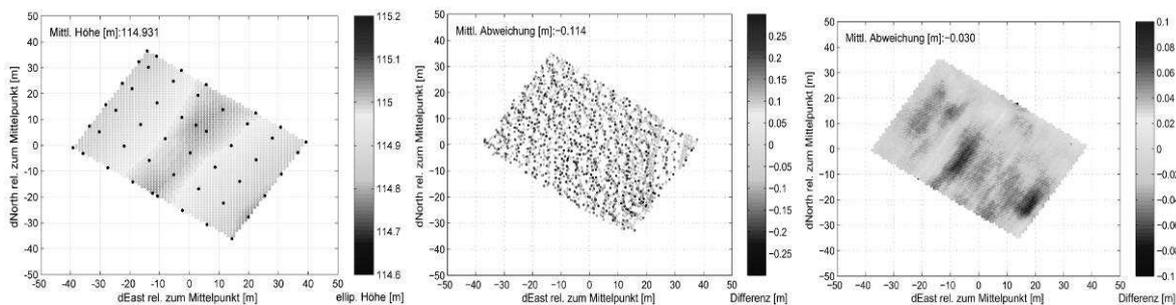


Abbildung 8: Referenzfläche (oben) und Differenzen der ALS-Beobachtungen zur Referenzfläche (unten links: AHAB CHIROPTERA₁, unten rechts: RIEGL VQ820G)

In den Altarmen wurden den erfassten Gewässerbettpunkten die Gewässerbettmodelle auf Basis konventioneller Messmethoden gegenübergestellt. Nach Korrektur

um $-0,097\text{m}$ haben sich für den AHAB CHIROPTERA_I je nach Altarm mittlere Differenzen von $-0,05\text{m} - 0,07\text{m}$ bei Standardabweichungen von $0,13\text{m} - 0,18\text{m}$ herausgestellt (Abbildung 9). Bei den in Abbildung 9 dunkel dargestellten Punkten handelt es sich um fehlklassifizierte Punkte, die nicht in die Berechnung der mittleren Abweichungen oder Standardabweichungen eingeflossen sind. Für den RIEGL VQ820G liegen noch keine final klassifizierte Beobachtungen vor, weshalb keine Vergleiche mit den Ergebnissen der Gewässervermessung durchgeführt wurden.

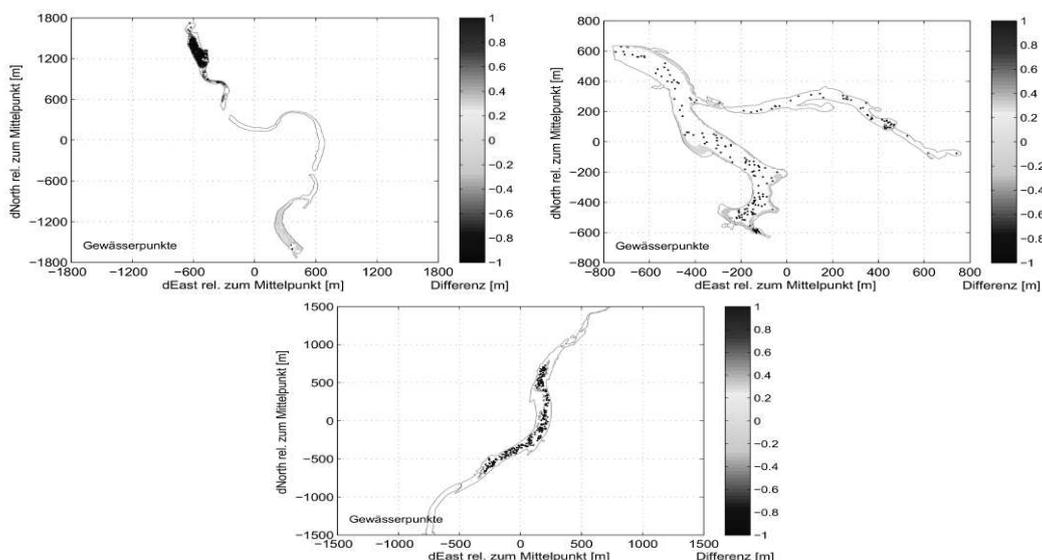


Abbildung 9: Differenzen zwischen den Ergebnissen der Gewässervermessung und den ALS-Beobachtungen (AHAB CHIROPTERA_I) in den Altarmen

Neben den Gewässerbettpunkten wurden durch beide ALS-Systeme auch Punkte auf der Wasseroberfläche erfasst. Vergleiche von georeferenzierten Pegelbeobachtungen und ALS-Beobachtungen in unmittelbarer Pegelnähe haben gezeigt, dass mit beiden Systemen die Höhe der Wasseroberfläche relativ gut erfasst werden konnte. Im Fall des AHAB CHIROPTERA_I wurden um Umkreis von 50m rund um den Pegel Elster ALS-Punkte erfasst, wobei die Punktwolke im Mittel $0,091\text{m}$ über bzw. nach Korrektur um $-0,097\text{m}$ um $0,006\text{m}$ über der Wasseroberfläche lag. Die Standardabweichung der Differenzen ist mit $0,03\text{m}$ relativ gering. Bedingt durch die höhere Pulsrate hat der RIEGL VQ820G im gleichen Umkreis wesentlich mehr Punkte erfasst. Bei mehreren Überflügen ergab sich im Mittel eine Abweichung von $0,078\text{m}$, wobei die ALS-Punktwolke unterhalb der realen Wasseroberfläche lag (Abbildung 10). Die Standardabweichung betrug in diesem Fall ebenfalls $0,03\text{m}$.

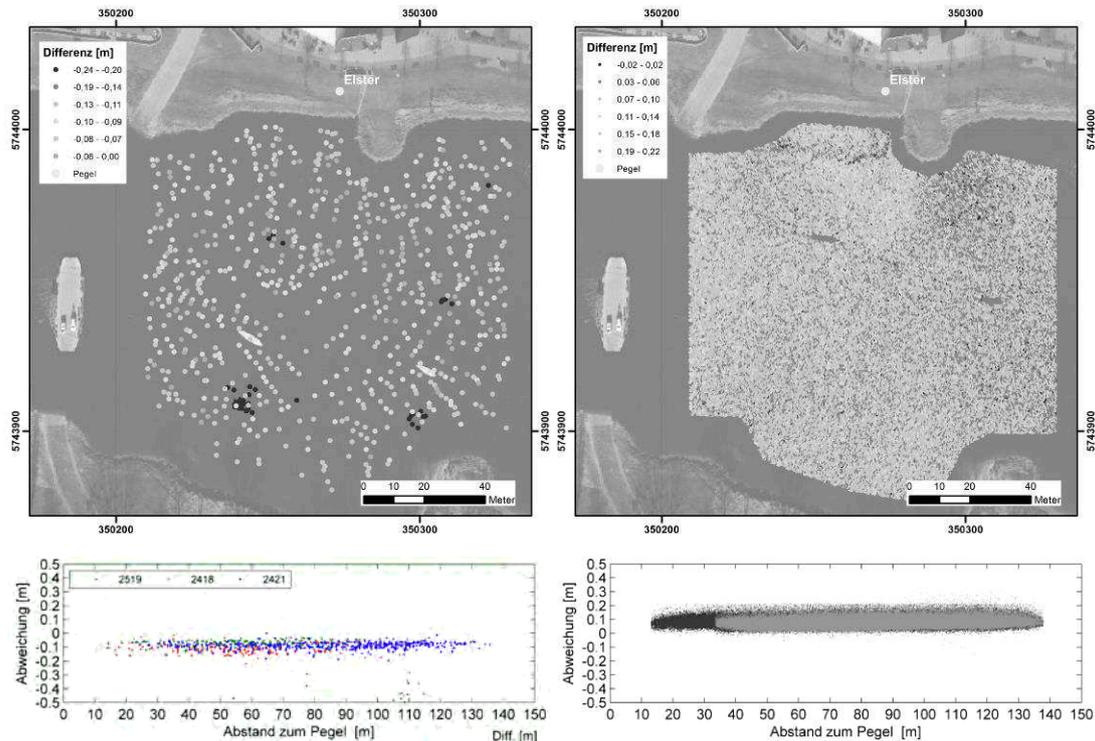


Abbildung 10: Differenzen der Wasseroberflächenhöhen mit den Pegelbeobachtungen (links: AHAB CHIROPTERA_I, rechts RIEGL VQ820G)

3 Zusammenfassung

Zusammenfassend lässt sich sagen, dass beide Systeme sowohl an Land als auch im Wasser funktionieren, die Erwartungen aber nicht erfüllt werden konnten. Die Ergebnisse an Land sind mit den Ergebnissen konventioneller ALS-Systeme vergleichbar. Bedingt durch die Trübung der Gewässer und den schlechten Reflektionseigenschaften des Gewässerbodens konnten die Laserimpulse die Elbe nicht durchdringen und somit war keine Erfassung des Gewässerbodens der Elbe möglich.

Für die Altarme lässt sich keine generell gültige Aussage treffen. Im Fall von klarem Wasser wurden Eindringtiefen erreicht, die den Herstellerangaben entsprechen haben. AHAB gibt für den CHIROPTERA_I als Eindringtiefe die 1,3-fache Sichttiefe und RIEGL für den VQ820G die einfache Sichttiefe an, was im Rahmen des Projektes bestätigt wurde. Aktuell wird von Seiten der Herstellerfirma des AHAB CHIROPTERA_I ein verbesserter Algorithmus zur Auswertung der Rückkehrimpulse in trüben Gewässern entwickelt. Erste Ergebnisse deuten darauf hin, dass damit eine gewisse Verbesserung der Eindringtiefe erreicht und somit mehr Bodenpunkte erfasst werden können. Inwieweit sich damit auch die Ergebnisse im Bereich der Elbe verbessern lassen, bleibt abzuwarten. Bedingt

durch die relativ starke Trübung der Elbe ist zu befürchten, dass die gesamte Energie der Laserimpulse auf dem Weg zum Gewässerboden absorbiert bzw. diffus reflektiert wird. Folglich sind im Rückkehrsignal keine Reflektionen vom Gewässerboden enthalten, wodurch dieser nicht erfasst werden kann.

Vergleiche mit Peilbeobachtungen in den Altarmen haben gezeigt, dass die ALS-Gewässerbettpunkte einer sehr starken Streuung unterworfen sind, im Mittel aber nahezu immer etwas über dem Gewässerbettmodell lagen. Es hat sich weiterhin gezeigt, dass die Laserbathymetrie nur dann funktioniert, wenn der Gewässerboden frei von Vegetation ist. Im Fall von Vegetation wird das Laserlicht an deren Oberfläche reflektiert und der Gewässerboden nicht erfasst. Neben den Gewässerbettpunkten werden durch die Laserbathymetrie auch Punkte an der Wasseroberfläche erfasst. Vergleiche mit Pegelbeobachtungen haben gezeigt, dass beide Systeme zwar Punkte an der Wasseroberfläche erfassen, die resultierenden Punktwolken aber zum Teil gegenüber der realen Wasseroberfläche verschoben sind.

4 Literatur

Guenther, G. (1985): Airborne Laser Hydrography - System Design and Performance Factors . NOAA Professional Paper Series National Ocean Service 1

Autor:

Dr.-Ing. Robert Weiß

Bundesanstalt für Gewässerkunde
Referat Geodäsie
Am Mainzer Tor 1
56068 Koblenz

Tel.: +49 261 1306 5289

Fax: +49 261 1306 5088

E-Mail: weiss@bafg.de