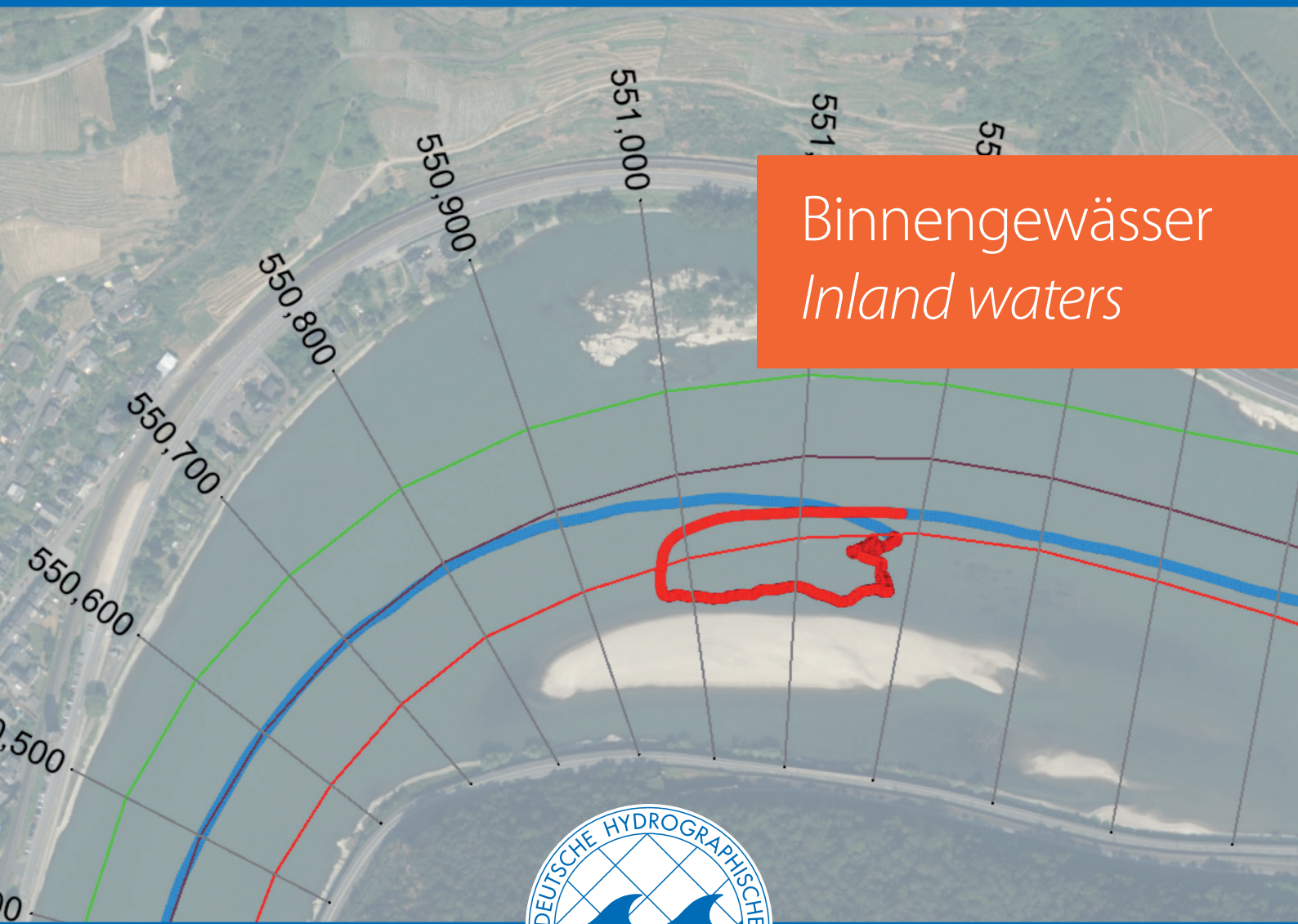


Journal of Applied Hydrography

HYDROGRAPHISCHE NACHRICHTEN

03/2025

HN 130



Binnengewässer
Inland waters



Luftgestützte hochaufgelöste Vermessung flacher Gewässer am Beispiel des Rheins

Ein Beitrag von JANNIS GANGELHOFF, CHRISTOPH S. WERNER und ALEXANDER REITERER

Flache Gewässer sind essenzieller Teil vieler Ökosysteme und spielen in der Versorgung der Menschen eine wesentliche Rolle. Im Kontrast dazu steht die verfügbare Datenbasis. Dies liegt an der aufwendigen Vermessung, die vielfach manuell erfolgen muss und daher nur sehr geringe Abtastdichten erlaubt. Kompakte drohnengetragene Laserbathymetriesysteme versprechen effiziente Abhilfe. Am Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM wurde ein neues, kompaktes und leichtes luftgestütztes Laserscanningsystem aufgebaut und evaluiert. Bei der Entwicklung des Messsystems wurde besonders auf Leichtbau und eine hohe erzielbare Ortsauflösung abgezielt. Das System arbeitet simultan mit infrarotem und grünem Laserlicht, was zu einer besseren Identifikation des Wasserspiegels und der Vegetation beiträgt. Zur Evaluation wurde das System an einem Uferbereich am Rhein mit Buhnen und starkem Unterwasserbewuchs getestet. Die Ergebnisse demonstrieren die hohe erreichbare Auflösung und zeigen, dass sich das Gerät sowohl zum effizienten Erfassen von Topografie und Bathymetrie als auch zur Kartierung von Unterwasserbewuchs eignet.

LiDAR | Bathymetrie | Full-Waveform | Dual-Wavelength | flache Gewässer | Küstenmonitoring | Gewässermonitoring | UAV | Drohne
LiDAR | bathymetry | full-waveform | dual-wavelength | shallow waters | coastal monitoring | water monitoring | UAV | drone

Shallow bodies of water are an essential part of many ecosystems and play a key role in providing for human needs. This contrasts with the available database. This is due to the time-consuming surveying process, which often has to be carried out manually and therefore only allows very low sampling densities. Compact drone-borne laser bathymetry systems promise an efficient remedy. A new, compact and lightweight airborne laser scanning system has been set up and evaluated at the Fraunhofer Institute for Physical Measurement Techniques IPM. During the development of the measuring system, particular emphasis was placed on lightweight construction and a high achievable spatial resolution. The system works simultaneously with infrared and green laser light, which contributes to better identification of the water level and vegetation. For evaluation purposes, the system was tested on a bank area on the Rhine with groynes and heavy underwater vegetation. The results demonstrate the high resolution that can be achieved and show that the device is suitable for efficiently recording topography and bathymetry as well as for mapping underwater vegetation.

Autoren

Jannis Gangelhoff,
Dr. Christoph S. Werner und
Prof. Alexander Reiterer arbeiten am Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM in Freiburg. Prof. Reiterer lehrt zudem an der Albert-Ludwigs-Universität Freiburg.

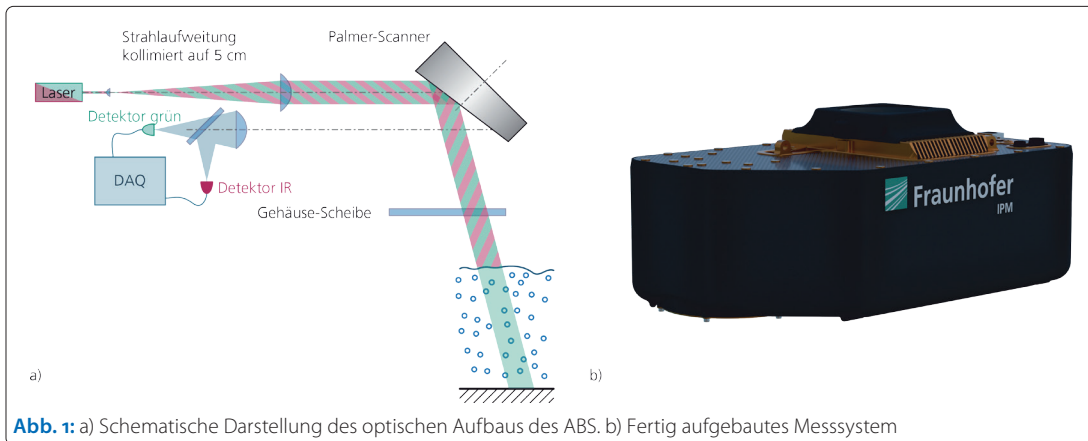
jannis.gangelhoff@ipm.fraunhofer.de

1 Einführung

Gewässer stellen eine essenzielle Grundlage für das Überleben aller biologischen Organismen dar. Insbesondere Flachwassergebiete bieten mit Hebungen und Senkungen eine Nische für verschiedenste Arten. Die präzise und regelmäßige geometrische Erfassung solcher Flachwassergebiete bildet daher die essenzielle Datengrundlage für die Habitatcharakterisierung und das Verständnis der räumlichen Verteilung von Makrophyten, Fischen und anderer aquatischer Lebensräume. Gleichzeitig gehen von Gewässern jedoch auch Risiken für Mensch und Umwelt aus. Auch hier bil-

den bathymetrische Messungen die Grundlage für hydrologische Modelle, um z. B. Wasservolumina, Durchflussraten und Sedimenttransport zu bestimmen. All dies sind wesentliche Parameter für Hochwasserschutz, Ressourcenmanagement oder auch für Renaturierungsvorhaben. Insbesondere Fließgewässer profitieren dabei von zeitlich eng getakteter Vermessung, um die Morphodynamik zu erfassen.

Die Erfassung der kritischen Flachwasserbereiche ist mit aktueller Technik jedoch nur mit hohem Aufwand oder mit deutlichen Kompromissen möglich. Die Bathymetrie wird vielfach



mit Fächerecholoten aufgenommen. Bei flachen Gewässern ist dies aufgrund der geringen Streifenbreite ineffizient oder sogar unmöglich, wenn der Tiefgang des Schiffes den Zugang verhindert. Flugzeuggetragene Laserbathymetriesysteme sind aufwendig im Einsatz und bieten oft nicht die notwendige Punktdichte. Durch diese Schwierigkeiten sind derzeit von vielen flachen Gewässern nur händisch gemessene Profile alle 50 m vorhanden (Mandlbürger 2022).

Die Verfügbarkeit von leistungsfähigen Drohnensystemen hat es in den letzten Jahren ermöglicht, auch kompakte Laserbathymetriesysteme auf unbemannten Fluggeräten einzusetzen (Riegl 2025; Yellowscan 2025), wodurch auch die Vermessung kleinerer Gebiete effizient möglich ist. Am Fraunhofer-Institut für Physikalische Messtechnik IPM haben wir ein besonders leichtes und kompaktes Messsystem entwickelt, das mit einem Laserstrahl von lediglich 5 cm Durchmesser eine bisher einmalige Ortsauflösung ermöglicht (Fraunhofer IPM 2025).

2 Das Messsystem

Die Abstandsmessung des ABS (Airborne Bathymetric Laser Scanner) basiert auf der gepulsten Pulslaufzeitmessung (engl. time-of-flight, TOF-Messung). Abb. 1a zeigt schematisch den optischen Aufbau des ABS. Emittiert werden kurze Laserimpulse mit einer Pulsdauer von etwa 1 ns. Als Lichtquelle kommt dabei ein frequenzverdoppelter Nd:YAG-Laser zum Einsatz. Dieser emittiert sowohl infrarotes Licht bei seiner fundamentalen Wellenlänge (1064 nm) als auch bei der harmonischen Wellenlänge (532 nm). Dadurch entstehen zwei Lichtpulse, die sowohl zeitlich als auch räumlich nahezu perfekt überlagert sind. Das grüne Licht dringt in das Wasser ein und ermöglicht die Vermessung des Gewässergrundes, zusätzlich wird auch umliegende Topografie über Wasser erfasst. Im Gegensatz dazu wird das Infrarotlicht vom Wasser stark absorbiert. Von Unterwasserstrukturen kommt aufgrund dieser Absorption kein Licht zurück. Dadurch ermöglicht der infrarote Laser

jedoch die einfachere Isolierung von Topografie, Wasseroberfläche, Uferlinie, schwimmenden Objekten und Vegetation. Eine Besonderheit an diesem System ist, dass die emittierten Laserstrahlen auf einen gleichbleibenden Durchmesser von ca. 5 cm kollimiert sind, was eine hervorragende räumliche Auflösung im Vergleich zu typischen laserbasierten Bathymetriesystemen mit divergentem Laserstrahl bietet (Mandlbürger 2020). Durch die Strahlauflaufweite bereits im Gerät ist die Laserleistung schon beim Verlassen der Schutzscheibe so weit verteilt, dass der Scanner der Laserklasse 2M entspricht.

Die Laserstrahlen werden von einem nach unten gerichteten Palmer-Scanner unter einem Winkel von $30^\circ (\pm 15^\circ)$ und mit einer Drehrate von 50 Hz abgelenkt. Abb. 2 zeigt das typische Scanmuster für eine Fluggeschwindigkeit von 5 m/s aus einer Flughöhe von 20 m. Auf dem Grund ergibt sich ein leicht elliptisches Scanmuster, das bei den angegebenen Flugparametern in beide Richtungen einen geringen Punktabstand von ca. 5 cm oder besser erzeugt, der in etwa auch dem Strahldurchmesser entspricht. In Kombination mit einer Punktmessrate von 35 kHz ist somit eine effiziente Befliegung mit hoher Auflösung möglich. Wird der ausgehende Laserstrahl an einem Objekt gestreut, wird das zurückkommende Licht über einen dichromatischen Spiegel nach Wellenlänge ge-

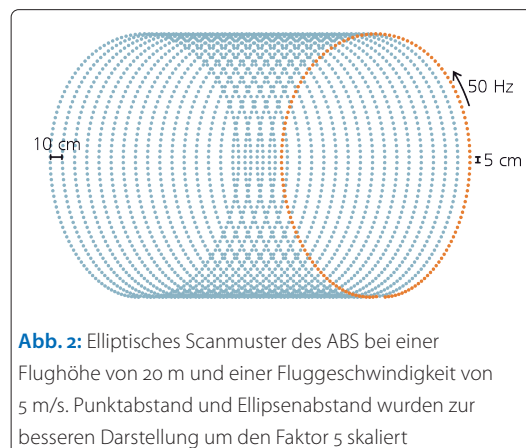


Abb. 2: Elliptisches Scanmuster des ABS bei einer Flughöhe von 20 m und einer Fluggeschwindigkeit von 5 m/s. Punktabstand und Ellipsenabstand wurden zur besseren Darstellung um den Faktor 5 skaliert

trennt und jeweils auf einen dedizierten Detektor für grünes bzw. infrarotes Licht gelenkt. Zur Unterdrückung von Fremdlicht sind die Detektoren mit schmalbandigen Interferenzfiltern ausgestattet. Als Detektoren dienen dabei eine Kombination aus PMT (Photomultiplier) und APD (Avalanche-Photodiode). Die Signale werden mit 5 Giga-Samples pro Sekunde voll digitalisiert. Das resultierende Intensität-über-Zeit-Signal (engl. full-waveform) wird aufgrund der hohen Datenrate noch auf dem System vorverarbeitet und anschließend zusammen mit einem Zeitstempel und der Position des Palmer-Scanners zur späteren Verarbeitung auf einer internen SSD abgespeichert.

Des Weiteren ist im ABS eine INS-Lösung (satellitengestütztes Trägheitsnavigationssystem, engl. inertial navigation system) integriert, welche zum einen die genaue Zeit bereitstellt, zum anderen die für die Berechnung einer georeferenzierten Punktwolke benötigte Trajektorie misst und aufzeichnet. Alle Komponenten sind in einem wassergeschützten Gehäuse verbaut (Abb. 1b). Nach außen gibt es einen Anschluss für die Stromversorgung, womit das System direkt von dem UAV oder von einem zusätzlichen Akku versorgt werden kann. Für die Bedienung und Datenübertragung ist eine Gigabit-Ethernet- und eine WLAN-Schnittstelle vorhanden. Durch konsequenten Leichtbau konnte ein Scannergewicht von unter 3 kg realisiert werden. Somit ist der Einsatz auf einer Vielzahl an kommerziell erhältlichen UAVs möglich, wobei durch das geringe Gewicht Flugzeiten von mehr als 30 Minuten möglich sind (Acecore Technologies 2025).

3 Auswertung der Full-Waveform-Daten

Die Rohdaten werden zur Prozessierung nach dem Flug vom Messsystem heruntergeladen. Die

Auswertung erfolgt dabei mittels einer eigenen Softwarelösung, die aus den Wellenformen die Abstandswerte extrahiert. Da die Full-Waveform aufgezeichnet wird, lässt sich neben der reinen Abstandsinformation dabei auch z. B. das Verhältnis zwischen dem Infrarot- und Grünkanal auswerten. Abb. 2 zeigt beispielhaft verschiedene Signale (die empfangene Leistung über die Zeit) eines einzelnen Laserpulses für den grünen und den infraroten Messkanal. Zusätzlich wird eine interne Referenz – die Intensität des ausgehenden Laserstrahls – im System aufgezeichnet, um einen präzisen Startpunkt zu haben. Aus der Laufzeit von der Referenz bis zum Ankommen des zurückgestreuten Laserpulses am Detektor kann über die Lichtgeschwindigkeit ein Abstand ermittelt werden. Auch bei einer Digitalisierung der Intensitätswerte mit einer zeitlichen Auflösung von nur 200 ps propagiert das Licht in dieser Zeit ca. 60 mm in Luft bzw. 44 mm in Wasser. Um dennoch eine genaue Abstandsmessung zu erzielen, erfolgt eine spezifische Filterung und Interpolation, wodurch die Abstandsmessung signalabhängig deutlich verbessert werden kann. Hierdurch wird unter guten Bedingungen eine Auflösung bis in den Millimeterbereich möglich. Im einfachsten Fall kommt für einen ausgesendeten Laserpuls ein einzelner Puls zurück, wie z. B. vom trockenen Strand in Abb. 3a.

Trifft der Laserstrahl jedoch zeitgleich auf Objekte in verschiedenen Abständen, beispielsweise die Wasseroberfläche, die Wassersäule und den Grund oder einen Busch und den Boden darunter, werden auch an mehreren Objekten die Laserpulse zurückgestreut und damit ergeben sich komplexe Signalformen (Abb. 3b und Abb. 3c). Somit erhält man beispielsweise auch Informationen von der Wasseroberfläche und der Wassersäule selbst. Die beiden Lichtwellen ermöglichen auch eine gute Indikation, ob Vegetation getroffen wurde. Vegetation weist im infraroten Spektralbereich eine – verglichen mit dem sichtbaren Spektralbereich – sehr hohe Albedo auf, was sich direkt auf das Signalverhältnis auswirkt (vergleiche Abb. 3b mit Abb. 3a). Aus den Signalen lassen sich, insbesondere durch die beiden verschiedenen Wellenlängen, noch mehr Informationen als nur der Abstand ermitteln. Wasser absorbiert den infraroten Laser nach wenigen Zentimetern, weshalb bei Messungen im Wasser bei waagerechter Montage des Messsystems meist kein infrarotes Licht auf den Detektor fällt (Abb. 3c, Abb. 3d). Dies erklärt sich dadurch, dass die Wasseroberfläche wie ein Spiegel wirkt und das auftreffende Licht vom Messsystem weglenkt, da kein Lichtstrahl senkrecht auf die Wasseroberfläche trifft. Dies betrifft auch die grüne Lichtwelle. Was in den Signalen daher scheinbar als Wasseroberfläche interpretiert werden könnte, ist tatsächlich die Rückstreuung der Wassersäule bzw. der darin befindlichen Partikel selbst. Je nach Trüb-

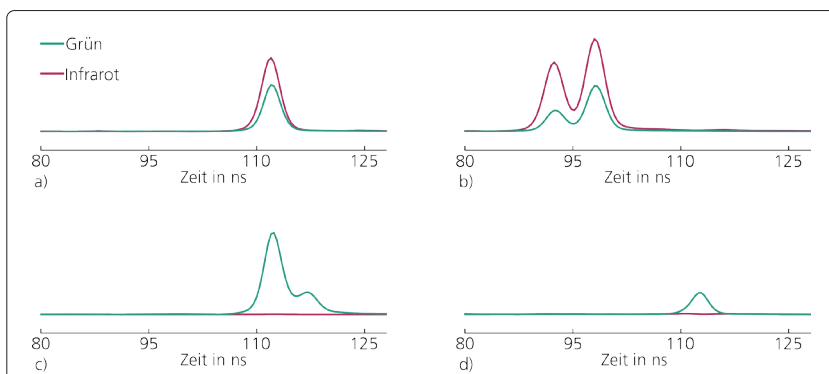


Abb. 3: Intensität-über-Zeit-Signale von verschiedenen Untergründen aus den Messungen am Rhein. Gezeigt sind die Signale von 80 bis 128 ns (bezogen auf eine interne Zeitreferenz), aufgrund unterschiedlicher optischer Auslegung und verschiedener Verstärkungen der Signale sind nur die Verhältnisse zueinander aussagekräftig. a) Einzelnes Echo vom Uferbereich (Land). b) Multiecho von einem Busch, der erste Peak ist auf einem grünen Blatt, welches im infraroten Spektralbereich eine hohe Albedo aufweist. c) Signal der Wasseroberfläche, Wassersäule und Flussbett. d) Peak auf sehr flachem Wasser (wenige Zentimeter), nur durch das fehlende Infrarotsignal vom Strand oberhalb der Wasseroberfläche zu unterscheiden

heit ergibt sich so ein Versatz von einigen Dezimetern. Eine Ausnahme bildet, beispielsweise durch Wellen, die Wasseroberfläche, die senkrecht zum Laserstrahl steht und somit den Laser zurückspiegelt (Abb. 4a). Dieser Puls ist aufgrund der Absorption von infrarotem Licht in Wasser nicht mit Signal aus der Wassersäule gemischt und ermöglicht die genaue Bestimmung der Wasseroberfläche. Dadurch ergibt sich typischerweise eine dünn besetzte Punktwolke im Infrarotkanal, die die genaue Bestimmung des Wasserspiegels und damit auch eine genauere Brechungskorrektur ermöglicht (Abb. 4b). Wenn gewünscht, lässt sich das Messsystem auch leicht verkippt montieren – dadurch trifft ein Teil der Scanellipse nahezu senkrecht auf die Wasseroberfläche, was ein zuverlässiges Signal erzeugt und zu einer dichteren Punktwolke führt. Dies kann je nach Anwendungsfall vorteilhaft sein. In den nachfolgenden Messungen wurde der Scanner waagrecht montiert. Dies ermöglicht dann, Objekte an der Wasseroberfläche (z. B. Wasserpflanzen) hervorzuheben.

Die Pulshöhe entspricht dem Intensitätswert bei der jeweiligen Wellenlänge. Durch unterschiedliche Albedos im Infraroten und Grünen, insbesondere bei Vegetation, kann beispielsweise ermittelt werden, ob bei Multiechopulsen der letzte Puls auf ein Blatt oder schon auf den Boden trifft. Abb. 3b zeigt eine typische Waveform durch einen Busch. Das erste Echo stammt von den Blättern, welche im Infraroten sehr hell sind. Bei dem zweiten Peak ist das Verhältnis von infrarotem zu grünem Licht deutlich kleiner, dieser stammt von der Erde unter dem Baum. Dabei darf nur das Verhältnis zwischen Infrarot und Grün und nicht die absolute Intensität betrachtet werden. Die absolute Intensität ist davon abhängig, wie viel von dem Laserstrahl beispielsweise auf das Blatt und welcher Teil auf den Boden trifft (Clark 1999).

In der weiteren Prozessierung werden die ermittelten Abstände und zusätzlichen Informationen mit Hilfe der Spiegelposition des Palmer-Scanners in eine Punktwolke im lokalen Scanner-Koordinatensystem umgerechnet. Im nächsten Schritt erfolgt die Verschiebung dieser Punktwolke in ein georeferenziertes Koordinatensystem, basierend auf der aufgezeichneten INS-Trajektorie. Anhand der infraroten Punktwolke wird ein vereinfachtes Modell der Wasseroberfläche erzeugt. Dieses Modell, die Trajektorie sowie das Modell des Laserscanners dienen als Grundlage für eine Raytracing-Simulation, die die Brechung des Laserstrahls an der Wasseroberfläche sowie die im Wasser um etwa 30 % niedrigere Lichtgeschwindigkeit korrigiert. Aufgrund der vereinfachten Annahme einer lokal ebenen Wasseroberfläche werden Brechungsänderungen durch Wellenbewegungen momentan nicht korrigiert. Je nach Wellen vergrößert der Winkelfehler, linear zur Wassertiefe, das

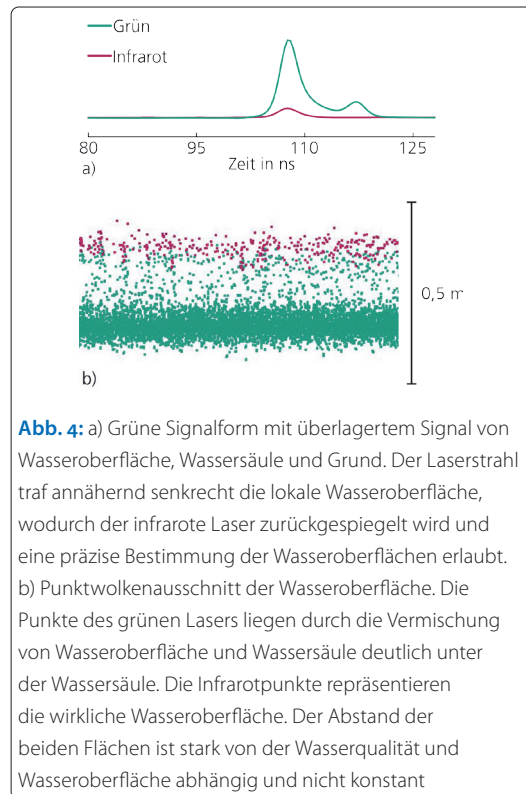


Abb. 4: a) Grüne Signalform mit überlagertem Signal von Wasseroberfläche, Wassersäule und Grund. Der Laserstrahl traf annähernd senkrecht die lokale Wasseroberfläche, wodurch der infrarote Laser zurückgespiegelt wird und eine präzise Bestimmung der Wasseroberflächen erlaubt. b) Punktwolkenausschnitt der Wasseroberfläche. Die Punkte des grünen Lasers liegen durch die Vermischung von Wasseroberfläche und Wassersäule deutlich unter der Wassersäule. Die Infrarotpunkte repräsentieren die wirkliche Wasseroberfläche. Der Abstand der beiden Flächen ist stark von der Wasserqualität und Wasseroberfläche abhängig und nicht konstant

Messrauschen von weniger als einem Zentimeter auf mehrere Dezimeter (Birkebak 2018).

4 Messungen

Das System wurde auf einem DJI Matrice 600 Pro Hexacopter montiert. Es wurden mehrere Messflüge am Rhein in der Nähe von Frankfurt durchgeführt. Um eine lückenlose Punktwolke zu erhalten, wurde ein automatisiert gesteuertes mäanderförmiges Pattern mit 20 % Überlappung geflogen. Als Flughöhe wurden 20 m gewählt, ein Kompromiss zwischen Eindringtiefe ins Wasser und Flächenleistung. Beflogen wurde ein Gebiet zwischen zwei Bühnen, welche aufgrund der flachen Bereiche und der Unterwasservegetation nicht mit einem Fächerecholot vermessen werden konnten. Die Befliegung dauerte pro Bühne ca. 10 Minuten. Die Bühnen selbst bestehen aus großen, aufgeschütteten Steinen. Zwischen den Bühnen befindet sich ein sandiger Flachwasserbereich, welcher steil in das tiefe Fahrwasser abfällt. Besonders mittig zwischen den Bühnen wachsen viele Makrophyten, welche an der Wasseroberfläche dichte Teppiche bilden. Der Bewuchs ist stellenweise so dicht, dass der Laser den Boden nicht erreicht. Auf den Bühnen wachsen große Büsche. Abb. 5 (oben) zeigt die Punktwolke des Grünkanals. Die rote Strichpunktlinie zeigt den Übergang von Überwasser zu Unterwasserpunkten an. Gut zu erkennen ist der Flachwasserbereich an der linken Bühne, hier lagert sich durch die Strömung Sediment ab. Die rechte Bühne ist durch die Strömung freigespült. In der Mitte sind aufgrund des kleinen Spotdurch-

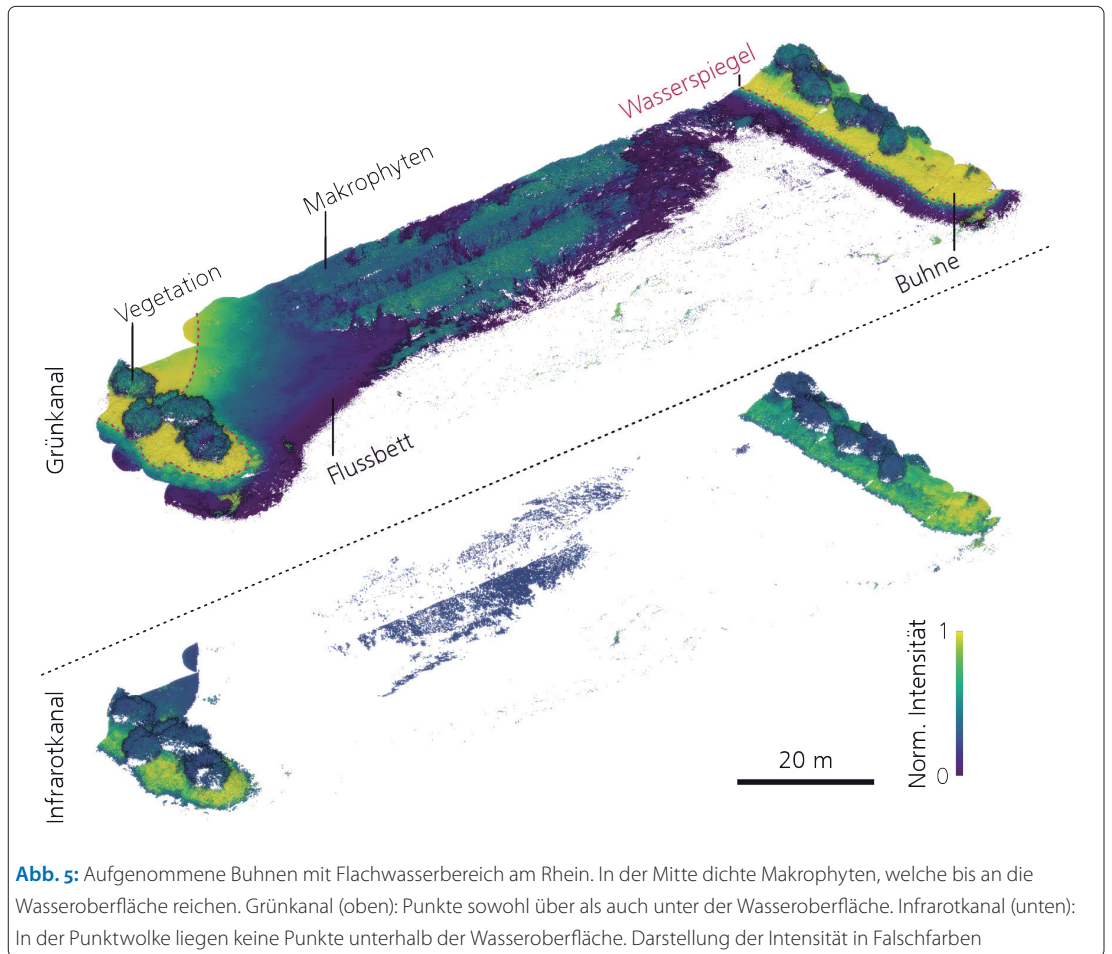


Abb. 5: Aufgenommene Buhnen mit Flachwasserbereich am Rhein. In der Mitte dichte Makrophyten, welche bis an die Wasseroberfläche reichen. Grünkanal (oben): Punkte sowohl über als auch unter der Wasseroberfläche. Infrarotkanal (unten): In der Punktwolke liegen keine Punkte unterhalb der Wasseroberfläche. Darstellung der Intensität in Falschfarben

messers teilweise die einzelnen Pflanzen erkennbar. Der Infrarotkanal endet mit der Wasseroberfläche (Abb. 5, unten). Da die Makrophyten teilweise bis an die Wasseroberfläche reichen und schwimmen, sind diese auch in dem Infrarotkanal gut als zusammenhängender Bereich zu erkennen. Durch die Strömung an der rechten Buhne entstehen Wellen, wodurch hier besonders viele Punkte auf der Wasseroberfläche gemessen werden. Abb. 6 zeigt einen Ausschnitt aus dem Flachwasserbereich in der grünen Punktwolke. Selbst einzelne

Steine mit einer Größe von unter 20 cm können sowohl über als auch unter Wasser aufgelöst werden. An den Büschen auf den Buhnen und auch an den Makrophyten unter der Wasseroberfläche können die einzelnen Äste erkannt werden.

5 Fazit und Ausblick

Das ABS-System zeigt, dass auch flache Gewässer effizient mit hoher räumlicher Auflösung und großer Punktdichte vermessen werden können. Besonders die Lücke zwischen dem Land und den tiefen – per Fächerecholot erreichbaren – Gebieten kann geschlossen werden. Das System eignet sich auch für die Vermessung kleiner Bäche, welche grundsätzlich nicht per Boot befahren werden können. Die Messungen am Rhein zeigen, dass dabei auch ein gewisses Maß an Trübheit toleriert wird. Zusätzlich zu den Wassergebieten kann aufgrund des kollimierten Strahls auch noch die umliegende Topografie und Infrastruktur mit feinen Details aufgenommen werden. Aufgrund der zweiten infraroten Wellenlänge wird die Punktwolke mit weiteren Informationen, wie zum Beispiel zum Wasserübergang oder zur Vegetation, angereichert. Zukünftig sollen auf künstlicher Intelligenz basierende Ansätze für weitere Auswertungen, zum Beispiel für das Habitatmonitoring, erfolgen, auch hier erweisen

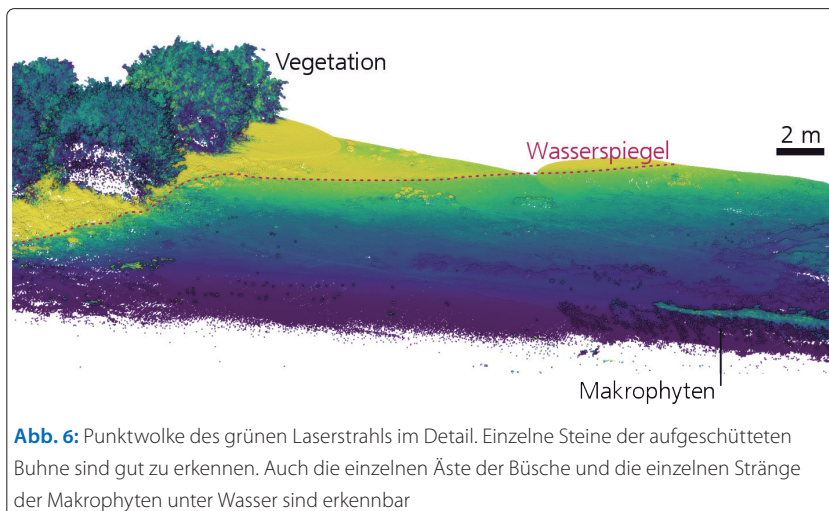


Abb. 6: Punktwolke des grünen Laserstrahls im Detail. Einzelne Steine der aufgeschütteten Buhne sind gut zu erkennen. Auch die einzelnen Äste der Büsche und die einzelnen Stränge der Makrophyten unter Wasser sind erkennbar

sich die zusätzlichen Informationen als großer Vorteil. Dadurch kann auch bei der Auswertung die teure und zeitaufwendige manuelle Arbeit verringert werden.

Das gesamte System inklusive UAV kann dabei in einem normalen PKW zum Einsatzort gebracht

werden. Dank Laserklasse 2M sind auch die Sicherheitsanforderungen an die Befliegung gering. Durch das niedrige Gewicht von unter 3 kg können mit aktuellen UAVs Flugzeiten von über 30 Minuten erreicht werden und damit auch größere Bereiche effektiv vermessen werden. //

Literatur

Acecore Technologies (2025): Meet Noa – our heavy lift UAV. <https://acecoretechnologies.com/noa>

Birkebak, Matthew; Firat Eren; Shachak Pe'eri; Neil Weston (2018): The Effect of Surface Waves on Airborne Lidar Bathymetry (ALB) Measurement Uncertainties. Remote Sensing, DOI: 10.3390/rs10030453

Clark, Roger (1999): Spectroscopy of Rocks and Minerals, and Principles of Spectroscopy. In: Andrew Rencz (ed.): Remote Sensing for the Earth Sciences, Manual of Remote Sensing, Vol. 3

Fraunhofer IPM (2025): Gelände und Unterwasser-Topographie. www.ipm.fraunhofer.de/de/gf/

objekterfassung-laserscanning/anw/unterwasser-laserscanning/unterwasser-topographie-bathymetrie.html

Mandlbürger, Gottfried (2020): A review of airborne laser bathymetry for mapping of inland and coastal waters. Hydrographische Nachrichten, DOI: 10.23784/HN116-01

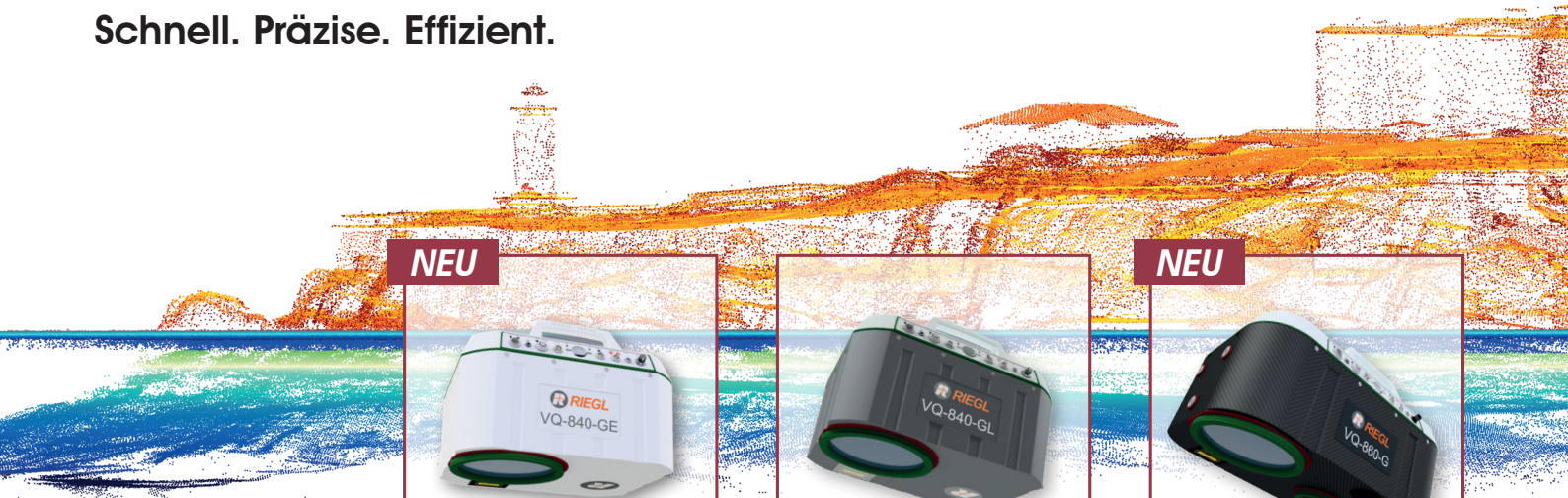
Mandlbürger, Gottfried (2022): A review of active and passive optical methods in hydrography. The International Hydrographic Review, DOI: 10.58440/ihr-28-a15

Riegl (2025): RIEGL VQ-840-GE. www.riegl.com/nc/products/airborne-scanning/produktdetail/product/scanner/90

Yellowscan (2025): Yellowscan Navigator. www.yellowscan.com/products/navigator-bathymetric-lidar

LiDAR für Topo-Bathymetrie

Schnell. Präzise. Effizient.



NEU



bis zu 100 kHz, 2 SD



bis zu 200 kHz, >2 SD

NEU



bis zu 100 kHz, 2,5 SD

RIEGL VQ-840-GE

RIEGL VQ-840-GL

RIEGL VQ-860-G

effiziente hochauflösende Flachwasser-Bathymetrie für Küstenkartierung und Flussvermessung



Weitere topo-bathymetrische Laserscanner und Systeme finden Sie auf www.riegl.com

ocean BUSINESS

Besuchen Sie uns
8. - 10. April 2024
Southampton | UK
RIEGL Stand W38

