Grünes Licht für Küsten und Flüsse

Martin Bünnagel

In der Übergangszone zwischen Strand, Watt und flachem Küstenmeer fehlen häufig hochauflösende Geländedaten. Ebenso in Flüssen, wo sich Kiesbänke und Untiefen verlagern. Die »Airborne Laser Bathymetry« kann diese Datenlücken schließen. Fortschritte in der Full-Waveform-Auswertung, der Refraktionskorrektur und der Drohnen-Technologie tragen dazu bei, vermehrt 3D-Daten der Unterwassertopografie zu gewinnen.

Fehlende Daten zur Topografie von Gewässerböden sind riskant, insbesondere in den Flachwasserzonen von Küsten und Flüssen. Sandbänke, Rinnen und Sedimentumlagerungen können Fahrrinnen der Schifffahrt verflachen oder Wellen und Wasserstände beeinflussen, die sich auf die Belastung von Deichen auswirken. Und fehlen Sohldaten der Flüsse, verfälscht dies die Berechnungen von Wasserständen, Fließgeschwindigkeiten und Überflutungsflächen.

Gefährliche Lücken

Traditionell werden Küstenbereiche mit unterschiedlichen Verfahren vermessen und kartiert. Terrestrische Laserscanner oder photogrammetrische Methoden erfassen den Landbereich, während Echolote für größere Wassertiefen eingesetzt werden. Die Übergangszone, der sogenannte litorale Flachwasserbereich mit Tiefen von wenigen Zentimetern bis zu einigen Metern, entzieht sich meist etablierten Messverfahren. Die Fächerecholote von Vermessungsschiffen können im Flachwasser oft nicht eingesetzt werden und die topografische Vermessung aus Flugzeugen mit klassischen LiDAR-Scannern (Light Detection and Ranging) funktioniert im Wasser schlechter, da das Medium die ausgesendeten Infrarot-Laserstrahlen im Spektrum um 1.064 Nanometer nahezu vollständig absorbiert.

Grünes Licht für Küsten und Hochwasserschutz

Die Datenlücke zu verkleinern, hilft ein Messverfahren, dessen Grundlagen bis in die Mitte der 1960er Jahre zurückreicht: die Airborne-Laser-Bathymetrie (ALB). Denn Wasser lässt das Licht unterschiedlicher Wellenlängen sehr unterschiedlich weit eindringen. Im grünen Spektralbereich von etwa 532 Nanometern ist die Absorption des Lichts im Medium Wasser vergleichsweise gering. Deshalb kann ein grüner Laserpuls die Wassersäule weiter durchdringen und vom Gewässerboden geringerer Tiefen zurückgestreut werden.

Mit ALB und dem Einsatz von LiDAR-Scannern, betrieben mit grünem Laserlicht, gelingt so die Vermessung der Topografie von Gewässerbetten, Meeresböden und Seegründen. Der Begriff Bathymetrie leitet sich aus den altgriechischen Wörtern bathýs (tief) und métron (Maß/Messung) ab und steht für Tiefenmessung. Ausgesendet von Flugzeugen oder schweren Vermessungsdrohnen, macht die Kombination von spezialisierten Analyse- und Auswertungsmethoden ALB zu einem Messverfahren, das die Datenlücken in Flachwasserbereichen verkleinern kann.

GNSS/IMU-Flugbahnbestimmung

Basis für jede ALB-Messung, an deren Ende eine 3D-Laserpuntkwolke des Unterwassergeländes steht, sind die präzisen Positionsdaten eines GNSS-Empfängers (Global Navigation Satellite System) in Kombination mit einer Inertialen Messeinheit (IMU). GNSS liefert die Position des Fluggeräts, während die IMU dessen Bewegungen und räumliche Orientierung erfasst – sein Rollen, Nicken, Gieren. Aus beiden Datenströmen wird eine zeitlich hochaufgelöste Flugtrajektorie berechnet. Zusammen mit den kalibrierten Lagebeziehungen zwischen Navigationssystem und Laserscanner lassen sich daraus Position und Richtung der ausgesandten Laserpulse bestimmen.

Full-Waveform-Analyse

Ausgehend von den Positionsdaten der Flugbahn, schießt das Laserscansystem ultrakurze, grüne Laserpulse in Richtung Wasseroberfläche. Sensoren zeichnen dabei die zurückgestreute Echowellenform digital auf. Ein Verfahren, das als »Full Waveform Digitization« (FWD) bezeichnet wird. Dabei detektiert der Sensor den zeitlichen Verlauf des empfangenen Signals, beginnend mit einer markanten Reflexionsspitze an der Wasseroberfläche, gefolgt von einem Signalrauschen durch die Streuung in der Wassersäule und schließlich einem Signal, das den Gewässerboden markiert.

Die Auswertung versucht, die unterschiedlichen Signalbeiträge zu identifizieren und ihre Lage und Intensität zu bestimmen. Denn auf dem Weg zum Meeresgrund und wieder zurück zum Fluggerät wird der grüne Laserstrahl durch Absorption und Streuung abgeschwächt. Schwebstoffe, Algen und Mikroorganismen beeinflus-

© DVW e.V.
DOI 10.12902/zfv-0585-2026

sen die Intensität des zurückkehrenden Signals und damit die Möglichkeit, ein Bodenecho zuverlässig zu erkennen. Bei der Auswertung dieser Einflüsse werden radiometrische Modelle und signalbasierte Verfahren eingesetzt. Dabei wird die Abschwächung und Rückstreuung des Laserlichts in der Wassersäule analysiert, um das Bodenecho zuverlässiger zu identifizieren und gegebenenfalls Rückschlüsse auf die optischen Eigenschaften zu ermöglichen, zum Beispiel auf die Trübung des Wassers.

Refraktionskorrektur

Da Gewässer nie glatt sind, sondern Wind, Dünung und lokale Strömungen komplexe, sich fortwährend bewegende Wellenfacetten formen, misst der ALB-Laserscanner, oft ergänzt durch einen parallel arbeitenden LiDAR-Infrarot-Laser, tausende Punkte auf der Wasseroberfläche, noch bevor der Laserstrahl in die Wasseroberfläche eindringt. Die Kombination beider Wellenlängen hilft dabei, zwischen Oberflächen- und Unterwasserreflexionen unterscheiden zu können.

Taucht der Laserstrahl in das Wasser ein, wird das Licht abrupt um etwa ein Viertel seiner Geschwindigkeit abgebremst, da das Medium Wasser einen deutlich höheren optischen Brechungsindex besitzt. Bei schrägem Einfall wird der Laserstrahl nach dem Snellius-Brechungsgesetz zum Lot hin gebrochen. Die Richtung des gebrochenen Strahls hängt dabei nicht nur vom Einfallswinkel, sondern auch von der lokalen Oberflächen-Neigung der Wellen ab.

Die Richtungsänderung des Lichtstrahls beim Übergang zwischen Luft und Wasser wird geometrisch modelliert und korrigiert. Die Software kombiniert die GNSS/IMU-Flugbahndaten des Fluggeräts mit der zuvor berechneten Wasseroberflächenneigung und wendet das Snellius-Brechungsgesetz an. Mittels virtuellem Ray Tracing (Strahlenverfolgung) unter Einhaltung der Koplanaritätsbedingung berechnet das System den abgeknickten Pfad, den der Laserstrahl nach dem Eintritt ins Wasser genommen hat.

Erst das Zusammenspiel dieser Analyse- und Korrekturverfahren ermöglicht eine georeferenzierte Punktwolke des Gewässerbodens. Die Full-Waveform-Auswertung unterstützt die Detektion und Zuordnung der Rückstreusignale, während die Refraktionskorrektur die Richtungsänderung des Lichts und die veränderte Ausbreitungsgeschwindigkeit im Wasser berücksichtigt. Zusammen mit den GNSS/IMU-Daten und der Kalibrierung des Sensors lassen sich daraus die 3D-Koordinaten der erfassten Bodenpunkte bestimmen.

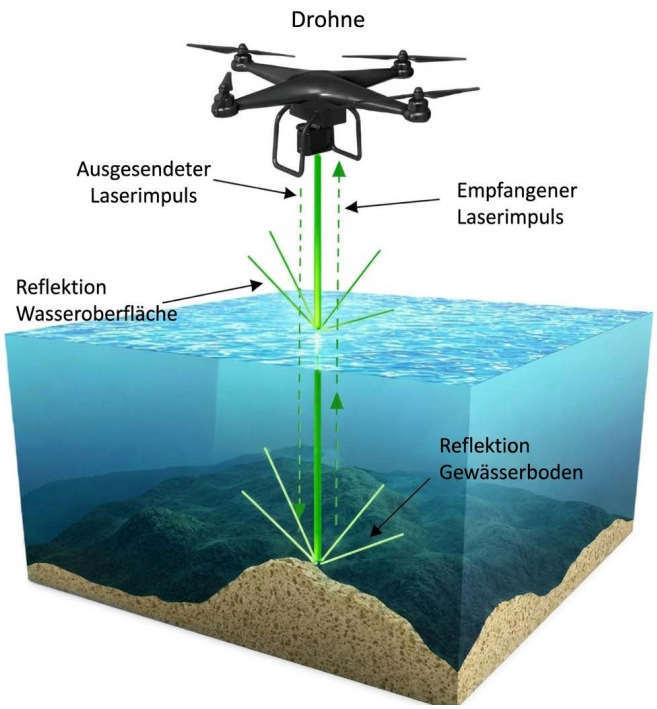


Bild-Quelle: Abbildung aus »Silicon photomultipliers for enhanced lidar bathymetric applications« von K. Huseynzada, A. Sadigov & S. Lyubchyk via Open Research Europe, lizenziert unter CC BY 4.0 (creativecommons.org). Original abrufbar unter: doi.org.

Kleinere Drohnen, KI und schnellere Auswertung

Für ALB-Messungen kommen bei Küstenschutzbehörden, Wasserwirtschaftsämtern und Ingenieurbüros zunehmend Schwerlast-Drohnen zum Einsatz. Noch liegt ihre Begrenzung vor allem in der Akkulaufzeit und der Nutzlastkapazität, da die Drohnen derzeit zehn bis fünfzehn Kilogramm schwere Sensoren transportieren müssen. Durch die fortschreitende Miniaturisierung der Hardware-Komponenten liegt das Gewicht aktueller Drohnen-Systeme jedoch nur noch im einstelligen Kilogrammbereich, bei Akkulaufzeiten von bis zu 50 Minuten.

Bislang erforderte die Verarbeitung der Full-Waveform-Daten zudem erhebliche Rechenkapazitäten und Tage manueller Datenbereinigung. Es zeichnet sich jedoch ab, dass die Erstellung topografischer Unterwasser-3D-Modelle mit Online-Waveform-Processing (OWP) und KI-gestützter, vollautomatischer Punktwolken-Klassifizierung in Zukunft nur noch wenige Minuten benötigen wird.

Kontakt: martin.buennagel@zon-verlag.de

Dieser Beitrag ist auch digital verfügbar unter https://geodaesie.info.

© DVW e.V.