

# Journal of Applied Hydrography

HYDROGRAPHISCHE NACHRICHTEN

06/2026

HN 134

Hydrographie  
im Kontext der  
Nachhaltigkeit



Beiträge vom  
38. Hydrographentag  
und DVW-Seminar



# Aktuelle Tiefen auf den Bundeswasserstraßen nutzbar machen

Ein Beitrag von ALISA YAKHONTOVA und WOLFRAM BAHN

ENC | IENC | bIENC | S-57 | S-100 | S-401 | S-402 | Tiefenlinien | Fahrrinnenkasten  
ENC | IENC | bIENC | S-57 | S-100 | S-401 | S-402 | depth contours | fairway box

## Autoren

Alisa Yakhontova arbeitet bei der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) in Koblenz.

Wolfram Bahn ist beim Fachbereich Geodäsie der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (FGewWSV) beschäftigt.

yakhontova@bafg.de

## 1 Einleitung

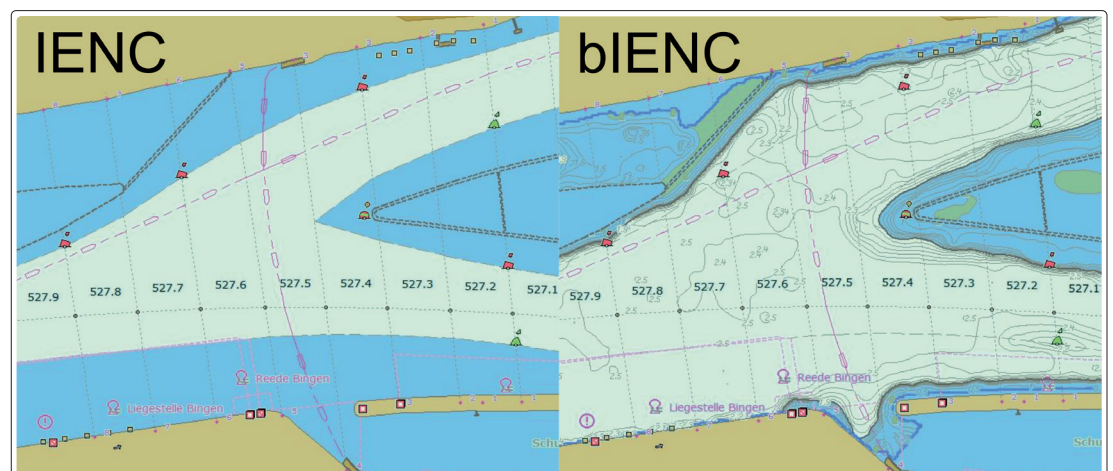
Für die Gewährleistung von Sicherheit und Leichtigkeit des Schiffsverkehrs sind Navigationskarten von essenzieller Bedeutung. Sie unterstützen unter anderem bei der Navigation, ermöglichen die Routenplanung oder dienen der Kollisionsvermeidung.

Für die Seeschifffahrt wird die Electronic Navigational Chart (ENC) als amtliche elektronische Seekarte von den staatlichen Hydrographischen Diensten – in Deutschland vom Bundesamt für Seeschifffahrt und Hydrographie (BSH) – erstellt und entspricht internationalen Standards der International Hydrographic Organization (IHO). Das Pendant für den Binnenbereich stellt die Inland Electronic Navigational Chart (IENC) dar, die von der Wasserstraßen- und Schifffahrtsverwaltung des Bundes (WSV) herausgegeben wird (Kastenholz 2023).

Seit 1992 wurden Navigationskarten im von der IHO definierten Datenübertragungsformat S-57 bereitgestellt, das jedoch nach rund 30 Jahren die heutigen Anforderungen der Schifffahrt, insbesondere hinsichtlich Flexibilität sowie der Unterstützung von Gitterdaten und zeitabhängigen Informationen, nicht mehr erfüllt. Als Nachfolger wurde das universelle Datenmodell S-100 entwickelt, das eine flexible Modellierung und Bereitstellung un-

terschiedlichster hydrographischer und maritimer Informationen ermöglicht, einschließlich bathymetrischer Gitterdaten (S-102) sowie weiterer Anwendungen über die klassische Hydrographie hinaus (IHO 2025a). Die Einführung von S-100 erfolgt schrittweise, mit einer Übergangsphase ab dem 01.01.2026 und einer verpflichtenden Nutzung für die See- und Küstennavigation ab dem 01.01.2029, wobei S-57- und S-100-Datenformate parallel koexistieren können. Für den Binnenbereich werden derzeit die Produktspezifikationen S-401 für elektronische Binnenschifffahrtskarten sowie S-402 für bathymetrische Informationen entwickelt (IHO 2025b).

Die aktuell von der WSV herausgegebenen IENCs im S-57-Format enthalten keine Information über die vorhandene Wassertiefe, sondern bilden lediglich die Begrenzung der freigegebenen Fahrrinne ab. Eine Erweiterung der Navigationskarten um Tiefeninformationen kann nach den Inland ENC Product Specifications (IENC 2.4/2.5) (ES-RIS 2025) über den optionalen Bathymetrie-Layer (bIENC) erfolgen. Dieser ermöglicht es der Schiffsführung, die vorhandenen Tiefenreserven des Fahrrinnenkastens, besonders in Niedrigwassersituationen, für die Navigation besser zu nutzen (Abb. 1). Politisch wird dieses Vorhaben durch das



**Abb. 1:** Beispielhafte Darstellung einer IENC (weiße Fläche markiert die Fahrrinne) und einer bIENC mit Tiefeninformationen (blaue und weiße Flächen entsprechen unterschiedlichen Tiefenschichten, zusätzlich sind Tiefenlinien dargestellt; schwarz für die Fahrrinnenkastentiefe und grau für weitere Tiefen)

Handlungsfeld 3 »Bereitstellung aktueller Tiefeninformationen für die Schiffsführung« des Aktionsplans »Niedrigwasser Rhein« unterstützt. Für die Umsetzung wurde von der Bundesanstalt für Gewässerkunde (BfG) und der Generaldirektion Wasserstraßen und Schifffahrt (GDWS) in Zusammenarbeit mit den Wasserstraßen- und Schifffahrtsämtern (WSÄ) Rhein und Oberrhein sowie der Fachstelle Geodäsie und Geoinformatik der WSV (FGeoWSV) eine Konzeptskizze zur Untersuchung, Erstellung und Bereitstellung der bIENC erstellt. Derzeit wird die Nutzung von bIENC am Rhein erprobt (Kastenholz und Artz 2025).

## Umsetzung

Damit die Tiefeninformationen in Form von bIENC von der Schifffahrt an Bord benutzt werden können, müssen sie den Vorgaben des ECDIS-Standards für IENC entsprechen. Im Vergleich zu Messungen im Küstenbereich und zu Verkehrssicherungszwecken bestehen strengere Anforderungen an die Modellierung der Gewässersohle aus den rohen und in hohem Maße von Messrauschen behafteten Punktwolken. Maßgeblich sind dabei zum einen die Topografie des Flussbetts von Binnenwasserstraßen, zum Beispiel mit engen tiefen Tälern, und zum anderen die hohe Morphodynamik in der verhältnismäßig schmalen Fahrrinne (von ca. 120 m am Rhein).

Die Wahl der Modelltypen ist essenziell für das gesamte Mess- und Auswertekonzept. Zunächst wird ein hochaufgelöstes Modell des Gewässerbodens mit einer Maschenweite von 0,5 m erstellt, bei dem das Messrauschen eliminiert wird, gleichzeitig aber die Struktur des Gewässerbodens in ausreichendem Maße erhalten bleibt. Hieraus ergeben sich konkrete Anforderungen an die Messung. Aus dem hochaufgelösten Modell wird anschließend ein Minimamodell mit einer Maschenweite von 3 m abgeleitet, welches eine erste nautisch korrekte Generalisierung ermöglicht und zur Berechnung der Tiefenlinien genutzt wird.

Die notwendigen Schritte für die Erstellung von bIENC-Produkten werden in diesem Abschnitt beschrieben. Dabei werden die Anforderungen an die fächerecholotgestützte Erfassung der Gewässersohle, die Verarbeitung der Messdaten sowie die Modellierung und die Bereitstellung auf den Schiffen betrachtet.

## Messung

Für die zuverlässige Berechnung von hochaufgelösten Modellen ist eine möglichst homogene und isotrope Verteilung der Messpunkte notwendig. Aufgrund der Messgeometrie in Verbindung mit Effizienzanforderungen ist diese Anforderung bei Fächerecholotmessungen nur bedingt zu erfüllen. Als Minimalanforderung wurde daher für die bIENC-Erstellung am Rhein eine Messpunkt-

dichte von mindestens 40 bis 50 Messwerten pro  $m^2$  bei einem maximalen Messpunktabstand in Fahrtrichtung von 23 cm definiert.

Die kritische Messpunktdichte in Fahrtrichtung (Along Track) wird durch die Pingrate und die Fahrgeschwindigkeit des Schiffes bedingt. Die Pingrate ist daher zu maximieren, um unter den gegebenen Randbedingungen eine möglichst große Flächenleistung zu erreichen.

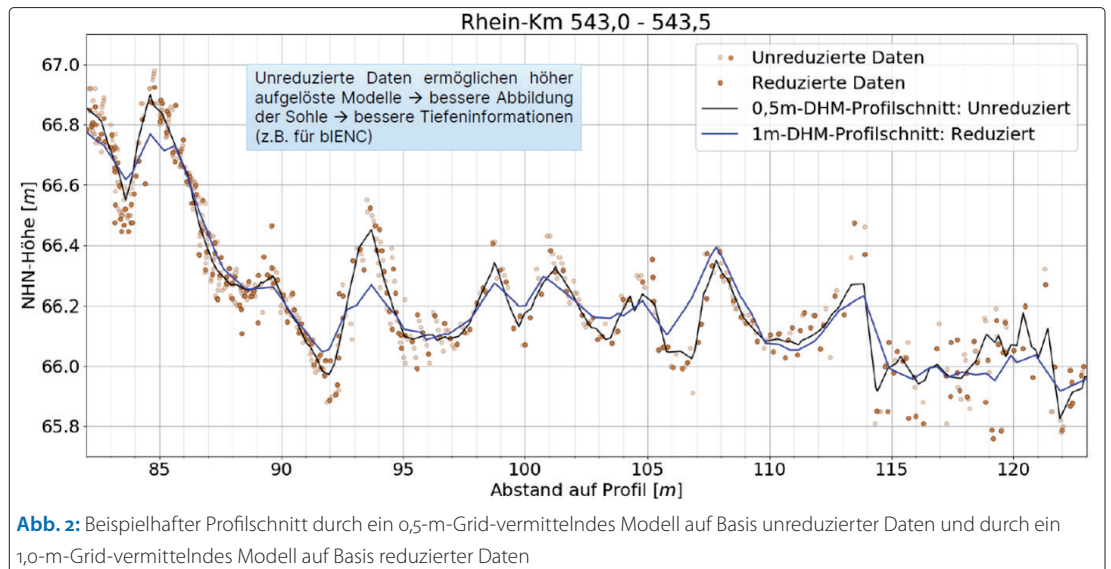
Aufgrund der groben Diskretisierung Along Track ist für eine größtmögliche Redundanz eine maximale Punktdichte im Fächer (Across Track) umso wichtiger. Je mehr Messwerte in Across Track erfasst werden, desto zuverlässiger können Ausreißer detektiert und der Modellstützpunkt geschätzt werden. Dies entspricht einem Messwertebstand von mindestens 3 cm in Across Track. Um auch in den Randbereichen des Fächers eine hohe Punktdichte zu erreichen, sollte zwingend im Equidistant-Modus gemessen werden.

## Auswertung

Die sorgfältige Plausibilisierung der Messdaten ist eine weitere Grundvoraussetzung, um die Übertragung von Fehlmessungen in die bIENCs zu vermeiden. Größere Datenlücken, die beispielsweise aus Ortungsdefiziten unter Brücken resultieren, müssen individuell geschlossen werden. Fehlerhafte GNSS-Trajektorien werden korrigiert, anschließend werden die Bodenpunkte neu berechnet.

Durch geeignete automatisierte und manuelle Verfahren wird im Rahmen der Punktwolken-Plausibilisierung gewährleistet, dass die Ableitung eines Geländemodells nicht durch Artefakte im Beobachtungsmaterial verzerrt wird. Wie bei Arbeiten mit Verkehrssicherungsfokus ist eine sorgfältige Messdatenplausibilisierung im Bereich der zu gewährleistenden Fahrrinntiefe notwendig, insbesondere damit keine topologischen Fehler zwischen Tiefenlinien und Fahrrinne entstehen. Zusätzlich muss die Messdatenbereinigung für eine Verlässlichkeit des bIENC-Produktes in allen Tiefen hohen Ansprüchen genügen. Damit dieser Mehraufwand bewältigt werden kann, sind möglichst automatisierte Verfahren anzuwenden. Der Erfolg dieser Verfahren steigt mit der Anzahl der zur Verfügung stehenden Messpunkte. Daher sind deutlich höhere Messpunktdichten als die oben genannten Minimalanforderungen anzustreben.

Im Anschluss an die Plausibilisierung wird die Modelloberfläche durch Approximation von ganzen rationalen Polynomen an die Messpunkte in der Umgebung der Modellstützpunkte (Einflussbereich) ermittelt (Lorenz et al. 2021), um das Messrauschen zu reduzieren und gleichzeitig die vorhandene Struktur der Gewässersohle bestmöglich abzubilden. Untersuchungen haben gezeigt, dass Modelle mit  $0,5 \text{ m} \times 0,5 \text{ m}$  Maschen notwendig



sind, um daraus realistische und zuverlässige Tiefeninformationen abzuleiten. Eine gröbere Modellauflösung führt dazu, dass kleinere Strukturen nicht mehr aufgelöst werden können und infolgedessen unvollständige und verfälschte Tiefeninformationen entstehen. Abb. 2 verdeutlicht diesen Zusammenhang anhand eines Beispieldatensatzes. Es ist deutlich sichtbar, dass ein Standardmodell mit einer Rasterweite von 1 m nicht in der Lage ist, die feineren Strukturen der Gewässersohle abzubilden, die für die Ableitung belastbarer Tiefeninformationen von zentraler Bedeutung sind. Wird der Gewässerboden durch die Modellierung zu sehr geglättet oder generalisiert, kann das zu einer scheinbaren Einengung der Fahrrinne oder zu der Entstehung von Pseudo-Mittelgründen führen.

Um den Glättungseffekt durch die Modellierung zu minimieren und gleichzeitig alle Messpunkte zu berücksichtigen, wird bei einem hochauflösten Modell von 0,5 m × 0,5 m ein Einflussradius von 35 cm gewählt. Um dabei eine zuverlässige Schätzung eines Modellstützpunktes zu gewährleisten, sollten mindestens drei Pings im Einflussradius liegen. Daraus ergibt sich der oben genannte minimale Along-Track-Punktabstand von 23 cm.

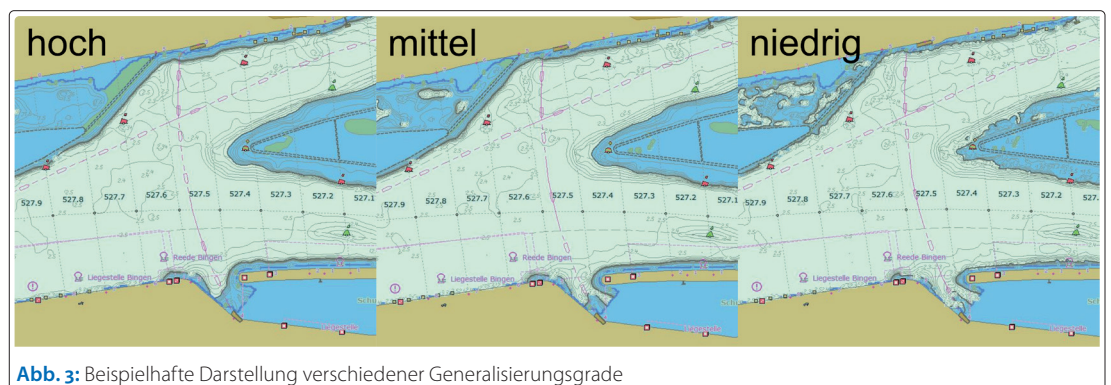
Die einzeln erzeugten Modelle der Messstreifen oder der Messtage werden im nächsten Schritt

zusammen verwendet, um pro BIENC-Blattschnitt ein generalisiertes Minimamodell von 3 m × 3 m zu erzeugen. Dieses ist ebenfalls ein regelmäßiges, nordorientiertes vermaschtes Modell, bei dem kein Punkt des Halbmetermodells oberhalb der neu vermaschten Modellfläche liegt. Damit im Grenzbereich des Modells und später bei der Erstellung der Tiefenlinien keine Lücken zwischen den BIENC-Blattschnitten entstehen, muss das Begrenzungspolygon mindestens um 10 m entlang der Flussachse erweitert werden.

### Ableitung von Tiefenlinien

Solange der S-401- und S-402-Standard nicht von der Binnenschifffahrt eingesetzt wird, werden die Tiefenlinien weiterhin nach dem S-57-Standard produziert. Dafür werden aus Minimamodellen die Tiefenflächenpolygone abgeleitet und im S-57-Standard bereitgestellt.

Die Erstellung der Tiefenlinien wird primär durch zwei Parameter gesteuert: die Tiefenintervalle und den Grad der Generalisierung (Abb. 3). Diese Parameter wurden für eine 50 km lange Pilotstrecke am Rhein (Rhein-km 500 bis 550) pro BIENC-Blattschnitt festgelegt. Die Wahl der Tiefenintervalle orientiert sich insbesondere an der Tiefe des Fahrrinnenkastens. Zur Festlegung des Gene-



ralisierungsgrades wurden Rückmeldungen der Binnenschifffahrt in einem Stakeholder-Workshop gesammelt. Bei der Umsetzung wurde darauf geachtet, dass die Tiefenlinien nicht zu fein aufgelöst sind, aber trotzdem nautisch korrekt sind und der Fahrrinnenkasten nicht eingeschränkt wird, wenn die plausibilisierten Messpunkte nicht in den Fahrrinnenkasten hineinragen.

Der Zuschnitt der bIENC orientiert sich an den vorhandenen IENC-Blattschnitten. Zur Erstellung der S-57-Produkte werden die 3-m-x-3-m-Minimamodelle in der Regel in 11-km-Abschnitte zusammengefasst. Mit Hilfe der M\_COVR aus der IENC erfolgt der deckungsgleiche Zuschnitt der bIENC-Zellen. Zum Abschluss der Herstellung erfolgt der Export als \*.000-Datei im S-57-Format.

Zur Sicherung der Qualität erfolgt eine Validierung der erzeugten \*.000-Dateien. Hierbei werden die durch die IHO gesetzten Standards abgeprüft,

etwaige Abweichungen protokolliert und behoben.

### Zusammenfassung und Ausblick

Die Bereitstellung von Tiefeninformationen in Form von bIENC im Binnenbereich ist anspruchsvoll, vor allem da die gewährleistete Tiefe des Fahrrinnenkastens eingehalten werden muss und keine künstlichen Einschränkungen durch den Erstellungsprozess entstehen dürfen. Die nautische Korrektheit der Tiefenlinien lässt sich durch die hochaufgelösten Modelle und die dafür erforderlichen Mindestanforderungen an die Messung sicherstellen. Die Ansprüche der Schifffahrt auf hochgeneralisierte Ergebnisse werden bei der Erstellung der S-57-Produkte berücksichtigt. Somit ergibt sich eine gesamte Prozesskette von der Datenerfassung über die Modellierung und die Generalisierung bis hin zur Bereitstellung der bIENC-Produkte. //

### Literatur

ES-RIS (2025): Europäischer Standard für Binnenschifffahrtswaterinformationssysteme. Europäischer Ausschuss zur Ausarbeitung von Standards im Bereich der Binnenschifffahrt. [www.cesni.eu/wp-content/uploads/2024/11/ES-RIS25\\_signed\\_de.pdf](http://www.cesni.eu/wp-content/uploads/2024/11/ES-RIS25_signed_de.pdf)

IHO (2025a): S-100 – Universal Hydrographic Data Model. [https://registry.iho.int/productspec/view.do?idx=226&product\\_ID=S-100&status=S=5&domainS=ALL&category=product\\_ID&searchValue=](https://registry.iho.int/productspec/view.do?idx=226&product_ID=S-100&status=S=5&domainS=ALL&category=product_ID&searchValue=)

IHO (2025b): S-401 – Inland Electronic Navigational Chart. [https://registry.iho.int/productspec/view.do?idx=225&product\\_ID=S-401&status=S=5&domainS=ALL&category=product\\_ID&searchValue=](https://registry.iho.int/productspec/view.do?idx=225&product_ID=S-401&status=S=5&domainS=ALL&category=product_ID&searchValue=)

Kastenholz, Reiner (2023): Tiefeninformationen in elektronischen Karten für die Schifffahrt – Eine

Aufgabe der WSV. [www.bafg.de/DE/5\\_Informiert/3\\_Veranstaltungen/Veranstaltungsseiten/2023/2023\\_11\\_29/vortrag\\_kastenholz.pdf](http://www.bafg.de/DE/5_Informiert/3_Veranstaltungen/Veranstaltungsseiten/2023/2023_11_29/vortrag_kastenholz.pdf)

Kastenholz, Reiner; Thomas Artz (2025): Gewässervermessung an den Binnenwasserstraßen des Bundes. *Journal of Applied Hydrography – Hydrographische Nachrichten*, DOI: 10.23784/HN130-03

Lorenz, Felix; Thomas Artz; Thomas Brüggemann et al. (2021): Simulation-based Evaluation of Hydrographic Data Analysis for Dune Tracking in the River Rhine. *PFG – Journal of Photogrammetry, Remote Sensing and Geoinformation Science*. DOI: 10.1007/s41064-021-00145-0