

Binnenwasserstraßen – Entwurf, Bau, Betrieb und Unterhaltung (1.2)

Baugrunduntersuchung für den Ausbau von Wasserstraßen im felsigen Untergrund

Dipl.-Ing. Achim Schneider
 Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe

Dr.-Ing. Jan Kayser
 Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe

1. Einleitung

Auf den großen Flüssen in Deutschland werden erhebliche Gütermengen transportiert. Entsprechend dem allgemeinen Trend steigt auch das Verkehrsaufkommen auf den Wasserstraßen. Die Leistungsfähigkeit der umweltfreundlichen Verkehrsträgers Wasserstraße muss daher erhöht werden. Ein Betrag dazu ist der Ausbau des Mains auf die Wasserstraßenklasse Vb. Hierfür ist der Fahrrinne im Gewässer zu vergrößern. Dies erfordert größere Wassertiefen und Kurvenradien sowie Verbreiterungen in der geraden Strecke.

Im Rahmen langfristiger Ausbaupläne werden derzeit eine Vielzahl von Ausbaumaßnahmen geplant und durchgeführt. Wesentliches Gewerk bei allen Ausbaumaßnahmen ist der Erdbau mit den Baggerungen unter Wasser. Grundlage der Planung und der Ausschreibung der Ausbaumaßnahmen ist eine ausreichend detaillierte Beschreibung des zu baggernden Bodens. Dabei ist besonders auf die Lösbarkeit und die Wiederverwendbarkeit des Bodens einzugehen.

Für Ausbaumaßnahmen an den Wasserstraßen sind die Bodeneigenschaften großflächig zu erfassen. Die Erkundung des Baugrundes ist darauf auszurichten. Ebenso ist zu berücksichtigen ob nur Lockergestein oder auch Felsgestein zu baggern ist. Anhand des Ausbaus des Mains wird die Systematik der Baugrunderkundung für einen Streckenausbau im Felsgestein dargestellt. Es wird auf die erforderlichen Erkundungsmaßnahmen, deren Auswertung und Interpretation sowie deren Darstellung eingegangen.

2. Ausbaumaßnahmen am Main

2.1 Projektgebiet

Der Main ist Bestandteil der europäischen Wasserstraßenmagistrale, die über den Rhein, den Main, den Main-Donau-Kanal und die Donau das mitteleuropäische Wasserstraßennetz mit Südosteuropa verbindet (s. Bild 1). Der überwiegende Teil der Magistrale entspricht mindestens der Wasserstraßenklasse Vb. Dagegen ist der Main nur im westlichen Teil auf die Klasse Vb ausgebaut. Der östliche Teil mit einer Gesamtlänge von ca. 120 km ist noch auf diesen Standard auszubauen. Die Ziele des Ausbaus sind (WNA Aschaffenburg, 2001)

- durchgängige Befahrbarkeit mit dem 185 m langen Schubverband
- Begegnung von zwei 110 m langen, 11,4 m breiten Gütermotorschiffen (GMS)

- Erhöhung der Zuladung des GMS um 500 t

Um diese Ziele zu erreichen soll in der Fahrrinne eine Mindestwassertiefe von $t = 2,9$ m auf einer Mindestbreite $b = 40$ m gewährleistet werden. In Kurven sind breitere Fahrrinnen notwendig.

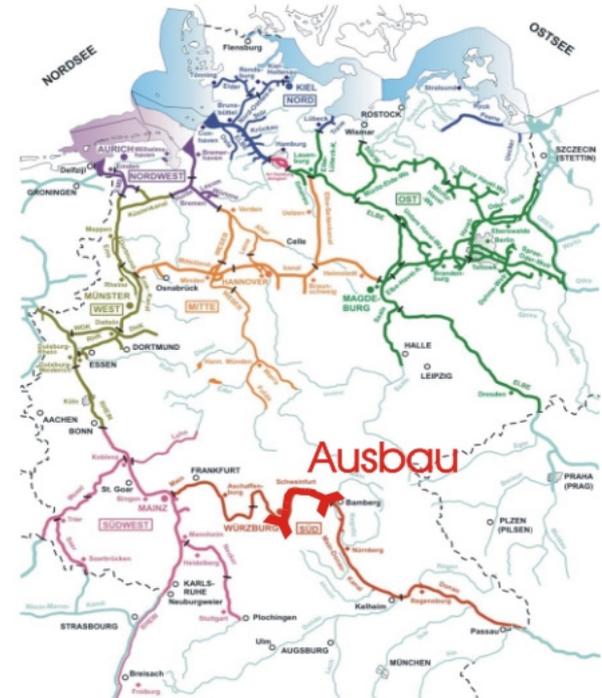


Bild 1: Deutsches Wasserstraßennetz, Ausbau Main

Die Ausbaumaßnahmen werden in mehreren Losen mit Längen zwischen 5 km und 15 km ausgeführt. Dementsprechend erstreckt sich die Baumaßnahme je Ausbau über Flächen zwischen 25 ha und 100 ha.

2.2 Geologie

Der auszubauende Bereich befindet sich geologisch in Felsformationen des Trias. Westlich sind dies die Gesteine des Muschelkalkes, stromaufwärts nach Osten hin beginnen die Formationen des Keuper (s. Bild 2).

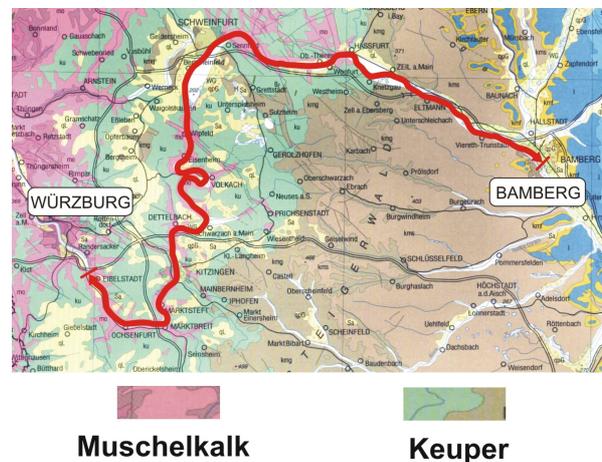


Bild 2: Geologie des Ausbaubereichs

Typisch für beide geologischen Formationen ist die Wechsellagerung von Kalksteinbänken und veränder-

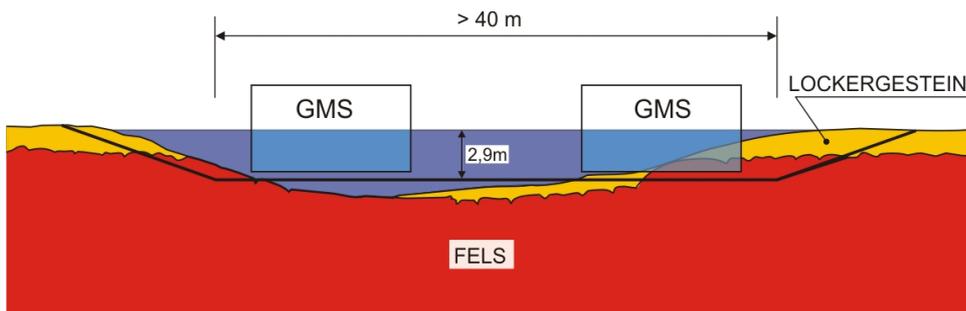


Bild 3: Ausbauquerschnitt, Prinzip

lichfesten Ton-/Schluff- und Mergelstein. Die Felsfestigkeit wechselt daher vertikal kleinräumig in weiten Spannen. Während die Kalksteinbänke eine sehr große Festigkeit besitzen, sind die veränderlichfesten Gesteine z.T. bis zum Lockergestein zersetzt.

Der prinzipielle Aufbau eines Ausbauquerschnitts ist in Bild 3 gezeigt.

Unter einer mehr oder weniger mächtigen Überdeckung aus Lockergestein steht der Fels an. Die Überdeckung mit Lockergestein bleibt im Bereich der Ufer zeitlich unverändert, während das Lockergestein in der Gewässersohle durch den Sedimenttransport im Fluss ständigen Veränderungen unterworfen ist.

Im Bereich von Uferzurücknahmen ist der Baggerbereich bis zu 4 m tief. Die Gewässersohle ist um bis zu 30 cm zu vertiefen. Es ist Lockergestein und Fels zu baggern.

2.3 Anforderungen an die Baugrundbeschreibung

Die Lösbarkeit des Bodens bestimmt die Leistungsfähigkeit der gesamten Gerätepalette der Baggermaßnahme. Lockergestein ist problemlos und mit großer Leistung mit dem Bagger zu lösen und zu verladen. Der Fels bereitet jedoch je nach Zustand erheblich größeren Widerstand beim Lösen. Abhängig von der Felsqualität können 3 verschiedene Löseverfahren gewählt werden. In der Reihenfolge des Aufwandes sind dies

- leistungsfähiger Tieflöffelbagger (Reißen)
- Meißel
- Sprengen.

Die Leistungsfähigkeit der Verfahren ist sehr unterschiedlich. Daher ist es für die Planung, die Ausschreibung und die Ausführung besonders wichtig, dass erforderliche Verfahren vorab möglichst zutreffend auszuwählen. Die Kriterien für die Geräteauswahl zum Lösen des Fels sind:

- Lage der Felsoberkante
- Felsfestigkeit als Gesteinsfestigkeit
- Klüftigkeit des Fels

In der Baugrundbeschreibung sind diese Kriterien zutreffend zu beschreiben. Ebenso muss die Baugrundbeschreibung Aussagen über die räumliche Verteilung der verschiedenen Bodenarten und der Felsqualitäten treffen. Nur so können im Rahmen der Ausschreibung realistische Vordersätze für die unterschiedlichen Böden ermittelt werden.

Die Angaben zum Baugrund können sich auf geringe Tiefen beschränken. Es ist i.d.R. ausreichend, den Boden bis ca. 50 cm unter Gewässersohle zu erfassen. Tiefere Baggerungen werden i.d.R. nicht durchgeführt. Nur im Bereich von Uferzurücknahmen sind Tiefen bis maximal 4 m zu erkunden.

Allerdings muss die Beschreibung der Schichtenfolge mit hoher vertikaler Lagegenauigkeit - möglichst im cm-Bereich - erfolgen. Aufgrund der großen flächigen Ausdehnung der Baggerungen führen schon geringe Ungenauigkeiten in der Vertikalen zu erheblichen Abweichungen in den Mengen der unterschiedlichen Baggermassen. Bei Arbeiten im Fels kann sich das wesentlich im Baufortschritt und somit in der Wirtschaftlichkeit des Bauverfahrens niederschlagen.

Das Ziel der Baugrundbeschreibung ist somit die flächige Darstellung des Baugrundes mit hoher vertikaler Auflösung.

3. Baugrunderkundung

3.1 Umfang

Das Erkundungsprogramm ist auf die flächige Erfassung mit möglichst hoher vertikaler Auflösung abzustimmen. Dieses Ziel wird mit dem Einsatz mehrerer unterschiedlicher Erkundungsverfahren erreicht.

Im ersten Schritt werden vorhandene Unterlagen, insbesondere geologische Karten und vorhandene Aufschlüsse, ausgewertet. Zusätzlich werden im Projektgebiet liegende Felsanschnitte, z. B. Steinbrüche hinsichtlich der auftretenden Gesteine und deren Trennflächengefüge (Klüftigkeit) begutachtet. Hierdurch gewinnt man bereits eine räumliche Vorstellung von den im Projektgebiet auftretenden Boden- und Felsformationen.

Im zweiten Schritt werden unterschiedliche hydroakustische/geophysikalische Verfahren eingesetzt. Zunächst wird die Tiefenlage der Gewässersohle mit Hilfe eines Fächerecholots in der Fläche vermessen. Hiermit werden zum einen die Bereiche ermittelt, in denen keine ausreichende Wassertiefe vorhanden ist und daher ausgebagert werden muss. Zum anderen ist die mit dem Fächerecholot ermittelte Wassertiefe die Bezugsebene für die weiteren hydroakustischen Verfahren.

Im nächsten Schritt wird die Ausbaustrecke mit einem Side-Scan und einem Sedimentecholot (SEL) befahren. Das Side-Scan ist ein Echolot, das die Wassertiefe mit sehr hoher Punktdichte misst. Es ist allerdings nicht möglich, die ermittelten Wassertiefen auf eine Höhensystem zu beziehen. Daher erhält man keine absoluten Höhen wie z.B. beim Fächerecholot. Im Ergebnis stehen relative Werte der Wassertiefe zur Verfügung.

Diese können aufgrund der hohen flächigen Auflösung von wenigen cm zu einem photoähnlichen Bild von der Gewässersohle ausgewertet werden. Mit Hilfe dieses Bildes sind auf der Gewässersohle Strukturen erkennbar. Ein Beispiel hierfür gibt Bild 4.

Wie in Bild 4 erkennbar, bilden sich im Side-Scan sowohl Felsstrukturen (untere Hälfte, ausbeißende Felskanten an der Gewässersohle) als auch Lockergesteinsstrukturen (obere Bildhälfte, Riffel im Lockergestein) ab.

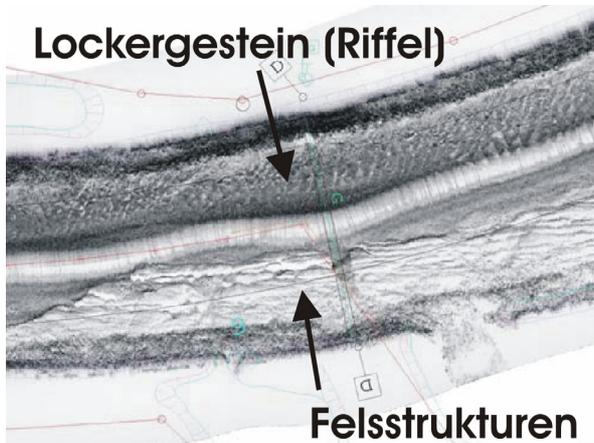


Bild 4: Gewässersohle im Side-Scan Bild

Als weiteres Verfahren wird das Sedimentecholot (SEL) eingesetzt. Das Sedimentecholot funktioniert nach dem Prinzip der parametrischen Hydroakustik. Bei diesem Verfahren werden Schallsignale in die Wassersäule eingeleitet, die an der Gewässersohle und ggf. an Objekten oder Schichtgrenzen im Untergrund reflektieren, sofern deren akustische Eigenschaften sich wesentlich von den darüber liegenden Schichten unterscheiden. Dies ist z.B. an der Grenze zwischen Lockergestein und Felsgestein (Oberkante Fels) der Fall.

Im Gegensatz zur herkömmlichen Hydroakustik (z.B. Fächerecholot) werden Schallimpulse mit zwei Frequenzen gesendet. Dadurch ist es möglich, auch Signale, die in den Boden unterhalb der Gewässersohle eindringen und dort reflektiert werden, auszuwerten. Somit zeigt das Sedimentecholot neben der Höhenlage der Gewässersohle auch horizontale Bodenschichtungen an. Diese können bis maximal 4 m in die Gewässersohle reichen. Eine detaillierte Beschreibung des Verfahrens ist z. B. bei *Wendt et al (1998)* enthalten.

Charakteristisch ist auch der geringe Öffnungswinkel der Schallkeule von 1,8°. Aufgrund des geringen Öffnungswinkels wird an der Gewässersohle nur eine kleine Fläche bestrichen. Bei Fahrt des Messschiffes erhält man somit entlang der Fahrspur einen linienförmigen Aufschluss. Abhängig von Fahrgeschwindigkeit (i.d.R. ca. 1 m/s) und Intensität der Schallimpulse (Schussdichte ca. 30·1/s) erhält man bei Zusammenfassung jeweils zweier Signale ca. alle 7 cm einen Aufschlusspunkt. Bild 5 zeigt die Auswertung der Schallsignale für eine Querschnitt im Gewässer.

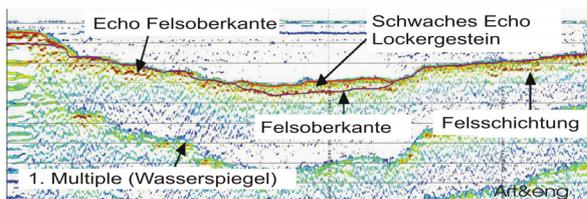


Bild 5: Bild aus einer hydroakustischen Fahrspur (Querprofil)

Zu erkennen ist im Bild 5 als oberster Reflektor die Gewässersohle. Diese wird bei den späteren Auswertungen mit der Höhenlage der Gewässersohle aus den Fächerecholotungen gleichgesetzt. So wird verhindert, dass Messungenauigkeiten der einzelnen Messverfahren zu Widersprüchen bei der Auswertung führen. Bei Planung der Erkundungsarbeiten ist darauf zu achten, dass zwischen den Peilungen mit dem Fächerecholot und dem Sedimentecholot möglichst wenig Zeit liegt. Ansonsten kann sich die Gewässersohle bei zwischenzeitlichen Hochwasserereignissen erheblich verändern. Eine gemeinsame Interpretation beider Erkundungsverfahren ist dann nur noch sehr begrenzt möglich.

Unter der Gewässersohle ist in der Mitte der Fahrrinne und am linken Bildrand eine Schicht mit schwachen Signalen erkennbar. Dies deutet auf Lockergestein hin. Darunter ist eine Schicht mit stärkeren Signalen erkennbar, was auf die Felsoberkante schließen lässt.

Mit Hilfe des Sedimentecholots erhält man einen linienförmigen Aufschluss über eine Tiefe von 2 m bis 4 m. Die Signale des Sedimentecholots können jedoch alleine nicht interpretiert werden. Es sind zusätzliche Kenntnisse über den Baugrund erforderlich. Diese werden mit Hilfe direkter Aufschlüsse und Sondierungen gewonnen. Anhand der Information aus den SEL-Signalen in Kombination mit den direkten Aufschlüssen und Sondierungen kann die Überdeckung der Sohle mit Lockergestein längs der Erkundungsspur ermittelt werden.

Direkte Aufschlüsse ermöglichen die visuelle Begutachtung des Bodens und die Entnahme von Proben für Laboruntersuchungen. Es sind zum einen Bohrungen mit 5 m bis 20 m Tiefe, durchschnittlich ca. 5 Bohrungen je km Streckenlänge. Zusätzlich werden mit einem Bagger Schürfe bis in 1 m Tiefe auf der Gewässersohle durchgeführt. Neben der organoleptischen Begutachtung der Böden ist hiermit eine Vorabschätzung der Lösbarkeit der Felsböden möglich. Zusätzlich ist die Klüftigkeit des sohnahen Fels erkennbar. Es werden ca. 80 Schürfe je km Streckenlänge ausgeführt, wobei in Bereichen mit größeren Baggerungen z.B. bei Uferzurücknahmen dichter erkundet wird als im freien Streckenbereich.

Mit Hilfe der punktuellen direkten Aufschlüsse und der Sondierungen (Schwere Rammsondierungen DPH) können die Signale des Sedimentecholots hinsichtlich der Bodenschichtungen interpretiert werden.

Zusammengefasst ist das gesamte Erkundungsprogramm in Tabelle 1 aufgeführt. Die Tabelle zeigt auch die mit dem jeweiligen Verfahren erkundete Dimension.

Verfahren	Dimension
Geologische Auswertungen	räumlich
Flächenpeilungen	horizontal flächig (Gewässersohle)
Sedimentecholot (sub-bottom)	vertikal flächig
Side-Scan	horizontal flächig (Gewässersohle)
Bohrungen, Schürfe Sondierungen	punktuell, vertikal linear

Tabelle 1: Erkundungsprogramm

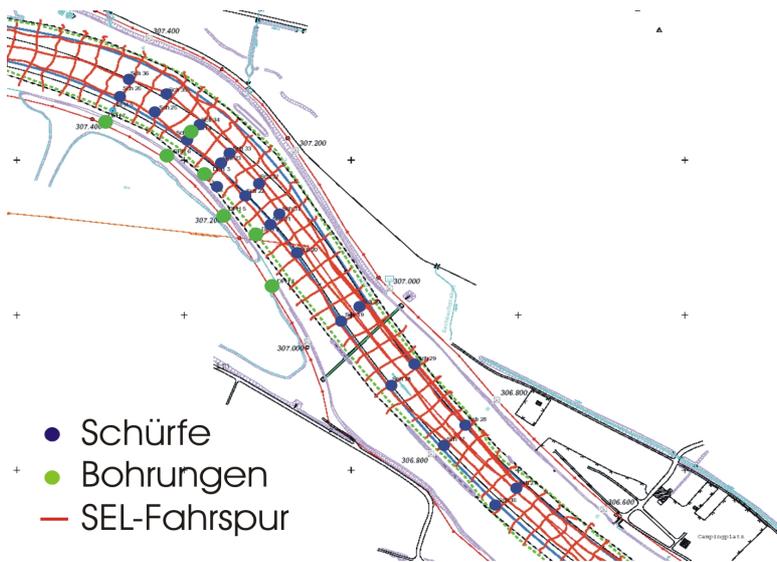


Bild 6: Erkundungsprogramm (Beispiel, ohne Side-Scan und Echolot)

Für einen Streckenabschnitt von ca. 800 m ist beispielhaft das Erkundungsprogramm in Bild 6, jedoch ohne die flächigen Verfahren Side-Scan und Fächerecholot dargestellt.

In dem Beispiel wurden Bohrungen/ Sondierungen verstärkt bei einer Uferrücknahme durchgeführt, weil hier bis in größere Tiefen zu baggern ist.

3.2 Auswertung der Baugrunderkundung

Zunächst sind die unterschiedlichen Erkundungsverfahren jeweils für sich auszuwerten. Mit Hilfe der direkten Aufschlüsse (Bohrungen, Schürfe, Felsanschnitte), den Ergebnissen der Laboruntersuchungen an Boden- und Felsproben und der Sondierungen können Aussagen über die Materialeigenschaften des Bodens getroffen werden. Dies sind

- Zusammensetzung von Fels- und Lockergestein
- Festigkeit, insbesondere vom Fels
- Trennflächengefüge des Fels

Ebenso sind punktuelle Angaben über die Schichtenfolge möglich, an denen die hydroakustischen Verfahren kalibriert werden.

Die hydroakustischen Verfahren (Sedimentecholot, Side-Scan, Flächenpeilungen) liefern Aussagen zum Schichtenverlauf. Bei der Auswertung ist die Genauigkeit der unterschiedlichen Verfahren zu beachten. Bei Flächenpeilungen sind vertikale Genauigkeiten von ± 5 cm möglich. Das Sedimentecholot kann die Felsoberkante auf ± 7 cm genau angeben. Insgesamt ist somit für die Felsoberkante theoretisch ein Schwankungsbereich von ± 12 cm möglich. Das ist für eine Ausschreibung über die großen Flächen eigentlich zu ungenau. Allerdings hat sich gezeigt, dass die tatsächliche Genauigkeit i.d.R. größer ist und sich über die gesamte Fläche gut ausmittelt. Somit ist eine vertragsrechtlich ausreichend genaue Festlegung der Baggermengen in der Ausschreibung möglich.

In der Auswertung müssen die Ergebnisse der verschiedenen Erkundungsverfahren in einem Baugrundmodell zusammengefügt werden. Hierzu werden die Daten digital erfasst und in einer Datenbank abgelegt. Aus diesen Daten wird ein digitales Geländemodell für die Gewässersohle und die Oberkante des Fels erstellt. Auf der Grundlage dieses Modells werden folgende Angaben in Form von Plänen erarbeitet:

- Darstellung der Lockergesteinsüberdeckung
- Darstellung der Böden in den zu baggernden Bereichen

Bild 7 zeigt exemplarisch die ermittelte Lockergesteinsüberdeckung im Beispielbereich. Die Überdeckung ist anhand einer Farbskalierung dargestellt.

Mit diesen Angaben können dann für die Ausschreibung die Mengenansätze ermittelt werden. Hierfür sind die digitalen Daten aus der Datenbank in ein Rechenprogramm zur Massenermittlung einlesbar.

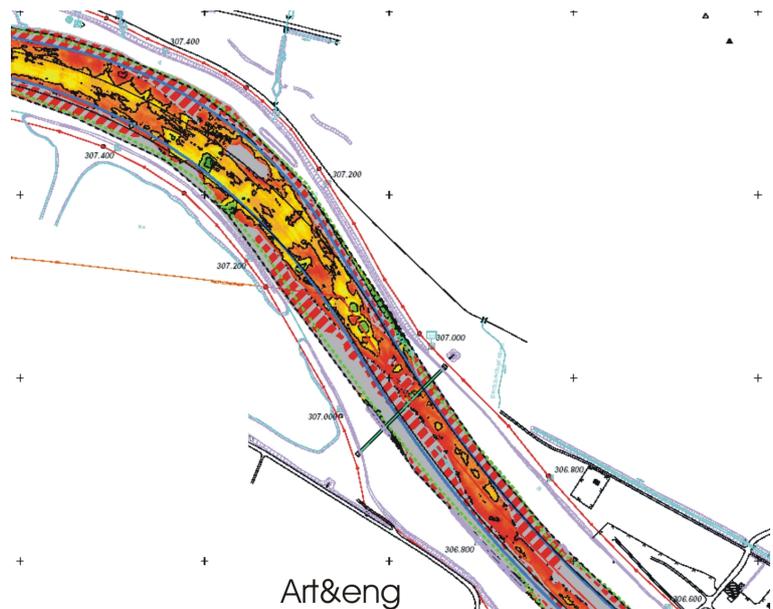


Bild 7: Lockergesteinsüberdeckung (Beispiel, farbskaliert)

4. Beschreibung des Baugrundes

Anhand der Ergebnisse der Baugrunderkundung ist der zu baggernde Boden hinsichtlich Lösbarkeit des Felsgesteins und Wiederverwendbarkeit von Locker- und Felsgestein zu beschreiben.

Der Fels ist entsprechend den Normen DIN 18300 (ATV Erdarbeiten) und DIN 18311 (ATV Nassbaggerarbeiten) zu klassifizieren. Relevant sind nach DIN 18300 die Klassen 6 (leicht lösbarer Fels) und Klasse 7 (schwer lösbarer Fels) und nach DIN 18311 Klasse L (lockerer Fels) und Klasse M (fester Fels). Die Klassen 6 und L sowie 7 und M könne hierbei synonym verwendet werden. Allerdings werden die Klassen der DIN 18311 mit der baldigen Überarbeitung der Norm zukünftig anders definiert.

Die Grundlage der Klassifikation sind die Gesteinsfestigkeit und das Trennflächengefüge. Hinsichtlich des Trennflächengefüges kann DIN EN 14689, Teil 1 ange-

Trennflächengefüge – Kluftabstand	
kleiner dicht bis engständig (a ≤ 20 cm)	Klasse 6 bzw. L
mittelständig und größer (a > 20 cm)	Klasse 7 bzw. M
Gesteinsfestigkeit – einax. Druckfestigkeit	
q _u ≤ 13 MPa	Klasse 6 bzw. L
q _u > 13 MPa	Klasse 7 bzw. M

Tabelle 2: Klassifizierungsmerkmale Fels

wendet werden. In der Praxis haben sich die in Tabelle 2 aufgeführten zwei Klassifizierungsmerkmale bewährt.

Bei Widersprüchen in der Klassifizierung nach beiden Kriterien ist eine mengenmäßige Abschätzung zu treffen. Unter Umständen ist eine eindeutige Zuordnung auch nicht möglich, so dass eine Mischklasse L/M (6/7) anzugeben ist. Ergänzend ist auch eine Klassifizierung nach PIANC möglich.

Die Klassifizierung ist unabhängig vom einzusetzenden Baugerät. So kann auch in Fels der Klassen 7/M unter Umständen mit einem Tieflopfelbagger gerissen werden. Anhaltswerte für den Einsatz verschiedener Löseverfahren bei kompaktem Fels sind in Tabelle 3 aufgeführt.

Einaxiale Druckfestigkeit	Löseverfahren
q _u < 30 MPa	leichter Fels, Reißfels z.T. baggerbar
q _u = 30-60 MPa	mittlerer Fels, Meißelfels in geringen Schichtdicken noch reißbar
q _u = 60-100 MPa	schwerer Fels, Meißelfels
q _u = 100-150 MPa	sehr schwerer Fels mit speziellen Geräten meißelbar
q _u > 150 MPa	überschwerer Fels, Sprengfels

Tabelle 3: Grenzen Löseverfahren für kompakten Fels

Hinsichtlich der Wiederverwendbarkeit ist zwischen dem Lockergestein und dem Felsgestein zu unterscheiden. Das nichtbindige Lockergestein ist für Erdbaumaßnahmen grundsätzlich wiederverwendbar, sofern es gut entwässern kann (geringer Feinkornanteil). Voraussetzung für jede Wiederverwendung ist grundsätzlich die Schadstofffreiheit. Bei bindigem Lockergestein ist eine Wiederverwendung aufgrund der schlechten Entwässerbarkeit i.d.R. nicht möglich.

Felsgestein kann bei ausreichender Festigkeit verwendet werden. Für die Verwendung als Wasserbausteine ist u.a. eine einaxiale Druckfestigkeit q_u > 80 MPa erforderlich.

Häufig ist bei den Triassischen Gesteinen eine Wiederverwendung nicht möglich. Aufgrund der Wechsellagerungen von Ton-/Schluffstein mit geringer Festigkeit und Kalksteinbänken mit hoher Festigkeit können die

einzelnen Bodenqualitäten beim Lösen nicht in ausreichendem Maß separiert werden. Daher muss der gebaggerte Boden i.d.R. deponiert werden, ggf. ist auch die Verwendung in untergeordneten Erdbauwerken wie Lärmschutzwällen oder Geländemodellierungen möglich.

5. Zusammenfassung

Für die Planung und Ausschreibung von Ausbaumaßnahmen in Flüssen ist der Baugrund über große Flächen zu erfassen. Liegt der Projektbereich im Fels ist besonders die Oberkante des Fels zu ermitteln.

Hierfür werden neben den klassischen Verfahren der Baugrunderkundung auch hydroakustische Verfahren zur Erkundung der Gewässersohle und der sohlennah anstehenden Böden eingesetzt. Alle Informationen hinsichtlich des Baugrundes werden in einem digitalen Geländemodell zusammengefasst. Auf der Grundlage des digitalen Geländemodells ist eine automatisierte Ermittlung der verschiedenen Baggermassen möglich.

Neben der Ermittlung der Schichtenfolgen ist die Beschreibung der Materialeigenschaften der Böden von entscheidender Bedeutung für die Planung und Ausschreibung des Bauvorhabens. Hierbei kommt es besonders auf die Festigkeit und das Trennflächengefüge des Fels an. In dem vorliegenden Beitrag werden die maßgebenden Kriterien für die Felsbeschreibung angegeben. Ebenso erfolgt eine Bewertung der Felsböden hinsichtlich der möglichen Löseverfahren.

Literatur

WNA ASCHAFFENBURG: Allgemeine Informationen zum Ausbau der Fahrrinne des Mains, Würzburg-Marktbreit, 2001

WENDT, HEINITZ, WUNDERLICH, EWERT: "Schatzsuche im Meeresboden, Erkundung des Meeresbodens mit seismoakustischen Verfahren", Forschungsmagazin der Universität Rostock „Traditio et Innovatio“ 2/98

PIANC: Classification of soil and rocks to be dredged, Bericht Arbeitsgruppe PIANC, Bulletin Nr. 47, Brüssel 1984

DIN EN 14689-1: Geotechnische Untersuchung und Erkundung - Benennung, Beschreibung und Klassifizierung von Fels, 2004

Verfasser

Dipl.-Ing. Achim Schneider
 Referat Erdbau und Uferschutz
 Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)
 Kussmaulstrasse 17, 76187 Karlsruhe
 Tel.: 0721 9726 – 3910
 E-Mail: achim.schneider@baw.de

Dr.-Ing. Jan Kayser
 Referat Erdbau und Uferschutz
 Bundesanstalt für Wasserbau (BAW)
 Kussmaulstrasse 17, 76187 Karlsruhe
 Tel.: 0721 9726 – 3100
 E-Mail: jan.kayser@baw.de