

Entwurf einer Baugrube für eine Schleuse

BDir Dr.-Ing. Markus Herten, Bundesanstalt für Wasserbau Karlsruhe, Abteilung Geotechnik

1 Einleitung

In der WSV sind über 300 Schleusen in Betrieb. Auch ohne Ausbau der Wasserstraßen zeigt Bild 1, dass aufgrund der Altersstruktur der Schleusen mittelfristig ein großer Bedarf an Schleusenneubauten besteht. Neben den Schleusen, die Ihre Nutzungsdauer überschritten haben kommen die Schleusen hinzu, die den heutigen Anforderungen bezüglich der Abmessungen und Leistungsfähigkeit nicht mehr genügen. Bei der Instandsetzung bzw. beim Neubau dieser Schleusen ist häufig eine tiefe Baugrube in oder neben der Wasserstraße erforderlich. Dabei sind die Randbedingungen aufgrund hoher Wasserspiegel bzw. Grundwasserstände sowie der Aufrechterhaltung der Schifffahrt gegenüber dem Bau der Bestandsbauwerke deutlich verschärft. In diesem Beitrag werden Planungsgrundlagen und verschiedene Konzepte für die Herstellung von Schleusenbaugruben vorgestellt.

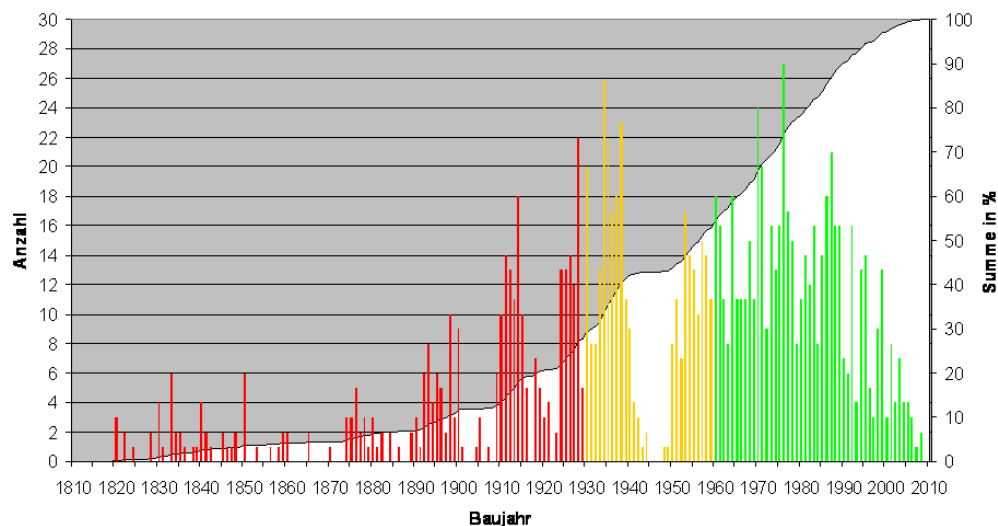


Bild 1: Altersstruktur aller Schleusen in der WSV; Quelle: Fachgruppe Erhaltungsmanagement

2 Baugrubenkonzept

Als Grundlage für den Entwurf einer Baugrube für eine Schleuse dienen zum einen ein umfassendes Baugrundgutachten und die Schleusenkonzeption. Diese legt in Abhängigkeit von Ihrem Füllsystem (s. Bild 2) die erforderliche Baugrubentiefe und Breite fest, wobei gegebenenfalls noch Sparbecken berücksichtigt werden müssen. Bei Endsystemen mit geringen Hubhöhen kann der Baugrubenverbau, in diesem Fall zumeist eine Spundwand, auch als Dauerbauwerk Anwendung finden. Bei der Schleuse Regensburg wurde auch schon eine Schlitzwand als tragendes Kammerwandteil hergestellt und bei der Schleuse Dörverden ist dies mit einer Bohrpfahlwand geplant. Seiten- und Grundlaufsysteme werden bislang immer in Massivbau ausgeführt, d. h. der Baugrubenverbau ist nur ein Baubehelf.

Sind der Baugrund, die erforderlichen Abmessungen der Baugrube und die Anforderungen an die Dauerhaftigkeit des Verbaus bekannt, kann der Entwurf auf Grundlage der Empfehlungen des Arbeitskreises Baugruben EAB (2006) aufgestellt werden. Schleusenbaugruben sind fast ausschließlich in offenen Gewässern oder im freien bzw. gespannten Grundwasser zu errichten. Daraus ergeben sich besondere Anforderungen, die z. B. in den Empfehlung „Allgemeines zu Baugruben im Wasser (EB 58)“ der EAB beschrieben werden. Zusätzlich sind gegebenenfalls noch weitere Forderungen, die sich aus der Schifffahrt und der Stauhaltung ergeben, zu berücksichtigen (s. Abschnitt 2.4).

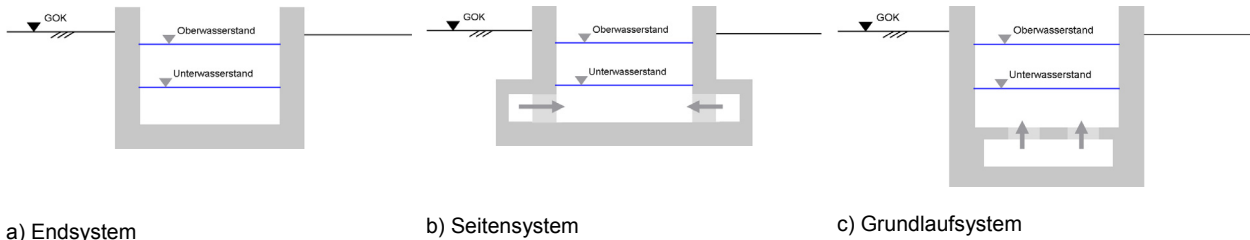


Bild 2: Füllsysteme einer Schleuse

2.1 Baugrubenverbau

Bei der Wahl des Baugrubenverbau ist als erstes festzulegen, ob er wasserundurchlässig sein soll. Wirtschaftlich am günstigsten ist meistens ein durchlässiger Verbau wie z. B. eine Trägerbohlwand oder aber eine geböschte Baugrube. Alternativ können tangierende oder aufgelöste Bohrpfehlwände verwendet werden, wobei auch der Einsatz von Spritzbeton in Kombination mit den oben genannten Bauweisen möglich ist. Ein solche Baugrube ist jedoch nur ausführbar, wenn kein Grundwasser ansteht oder eine Grundwasserabsenkung durchführbar und zulässig ist (s. Bild 3a).

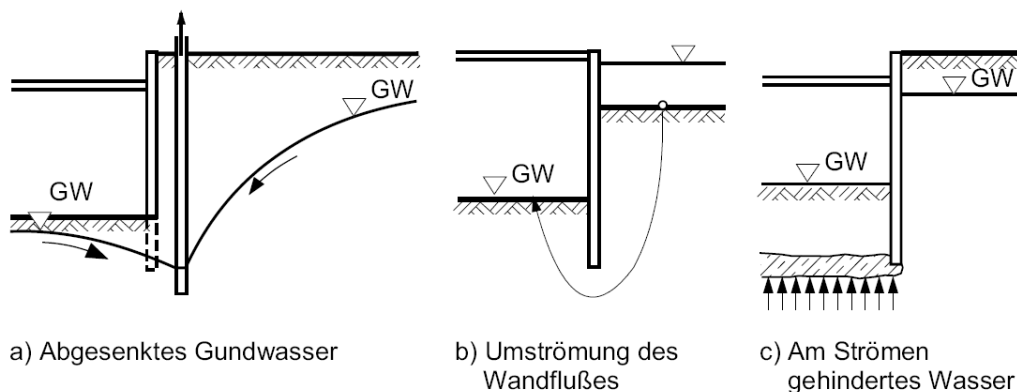


Bild 3: Wirkungen des Wassers auf Baugrubenkonstruktionen Quelle: EAB(2006) Bild EB 58-1

Ist dies nicht gegeben, können die Auswirkungen auf das Umfeld und die zu fördernden Wassermengen durch einen dichten Baugrubenverbau und eine offene Wasserhaltung in der Sohle reduziert werden (s. Bild 3 b). Hierbei ist jedoch auf eine ausreichende Auftriebssicherheit des Fußauflagers zu achten bzw. der Hydraulische Grundbuchnachweis zu führen.

Bei Baugruben im offenen Wasser kommen ausschließlich Spundwände mit Schlossdichtung zur Ausführung, da alle anderen dichten Verbauarten nur im Baugrund hergestellt werden können. An Land können auch eine überschnittene Bohrpfehlwand, eine Schlitzwand oder Kombinationen, wie die in eine Dichtwand eingestellte Spundwand, hergestellt werden. Eine allgemeine Bewertung, welche Verbauart die günstigste ist, kann nicht erfolgen, da neben den statischen Verwendungsgrenzen der Aufwand bei der Herstellung maßgebend ist. So ist der Spundwandverbau eine sehr wirtschaftliche Bauweise, falls das Einbringen z. B. durch Rammen ohne zusätzliche Maßnahmen möglich ist. Müssen jedoch Austauschbohrungen erfolgen, kann in eine überschnittene Bohrpfehlwand günstiger sein. Die höheren Baustellen-einrichtungskosten bei einer Schlitzwand gegenüber einer Bohrpfehlwand können sich bei den üblichen Schleusenbaugrubenabmessungen schnell amortisieren. Die Schlitzwand hat die größte Steifigkeit und kann sehr große Momente aufnehmen. Das Greifen oder Fräsen des suspensionsgestützten Schlitzes, die geringe Fugenanzahl im Vergleich zur überschnittenen Bohrpfehlwand und die Möglichkeit, über Abschalelemente diese dicht ausführen zu können, ermöglichen sehr große Tiefen. Bei einer in eine Dichtwand eingestellten Spundwand, wird die sonst nur bis in geringe Tiefen einbringbare Spundwand mit diesem Vorteil der Schlitzwandtechnik kombiniert. Dabei übernimmt die Spundwand die statische Funkti-

on und die aushärtende Suspension im Schlitz die dichtende. Insgesamt kann festgestellt werden, dass eher technische Gründe bei der Auswahl eines dichten Baugrubenverbau den Ausschlag geben.

2.2 Baugrubentrog

Die zu fördernde Wassermenge kann bei Ausbildung eines Baugrubentrogs auf ein Minimum reduziert werden. Hierbei ist nicht nur die Baugrubenwand, sondern auch die Sohle gering wasserdurchlässig (Bild 3 c). Die dichten Baugrubenwände eines Trog können in eine natürliche relativ dichte Bodenschicht einbinden (Bild 4 a und b). Ist deren Dicke begrenzt, muss auch hier der Auftriebsnachweis geführt und notfalls mit Entlastungsbrunnen der Auftrieb verringert werden. Steht keine dichte Bodenschicht in wirtschaftlicher Tiefe zur Verfügung, kann durch Injektionen oder mithilfe des Düsenstrahlverfahrens eine Abdichtung hergestellt werden (Bild 4 c). Die Tiefenlage der künstlichen Dichtsohle wird mit dem Auftriebsnachweis bestimmt.

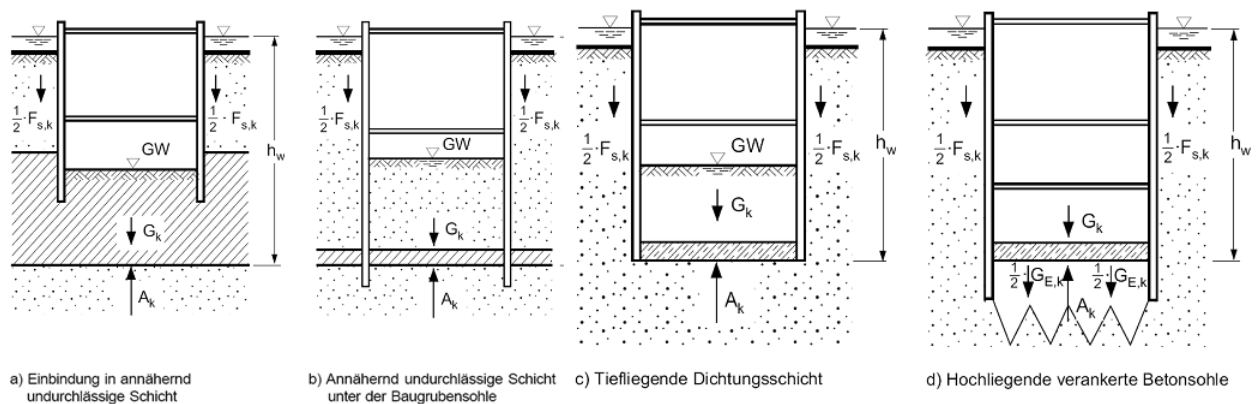


Bild 4: Ansatz der Kräfte beim Nachweis der Sicherheit gegen Aufschwimmen

Quelle: EAB(2006) Bild EB 62-1

Alternativ zu einer solchen tief liegenden Dichtung kann eine Unterwasserbetonsohle hergestellt werden (s. Bild 4 d). Dabei ist es bei den hier betrachteten Baugrubenabmessungen und den dabei üblichen Wasserüberdrücken nicht mehr möglich die Auftriebssicherheit durch das Eigengewicht der Sohle und der Wand incl. des vertikalen Erddruckanteils zu erreichen. Daraus folgt, dass eine Rückverankerung der Sohle z. B. mit Mikropfählen oder Ankern erforderlich ist.

Durch eine künstliche Sohldichtung steigen die Kosten für die Baugrube deutlich. Grob vereinfacht kann davon ausgegangen werden, dass eine Injektionssole hierfür eine günstige Bauweise darstellt, aber auch mit größeren Verformungen aufgrund der sehr großen Belastungen des Wandfußauflagers gerechnet werden muss. Zusätzlich ist bei Einsatz einer Weichgelsohle die Erlangung der erforderlichen Genehmigungen schwierig. Demgegenüber kann eine Düsenstrahlsohle eine zusätzliche Aussteifung erzeugen und gegebenenfalls durch Einbau von Rückverankerungen in einer geringeren Tiefe ausgeführt werden. Die erforderliche Dichtigkeit der Düsenstrahlsohle wurde jedoch in der Vergangenheit häufig nicht erreicht, was zu enormen Kostensteigerungen führen kann. Die rückverankerte Unterwasserbetonsohle ist häufig die teuerste Variante, bietet aber große Vorteile. Zum einen kann nach dem Lenzen der Baugrube die gesamte wasserbenetzte Baugrubenfläche einseitig in Augenschein genommen werden, was die Zuordnung und Sanierung von Herstellungsmängeln erleichtert. Es besteht auch ein geringeres Nachtragsrisiko, da der vom Bauherrn gelieferte Baugrund am geringsten in Anspruch genommen wird. Eventuelle Grundwasserströmungen werden wegen der relativ kurzen Baugrubenwände nur wenig behindert und Verformungen beim Lenzen durch die aussteifende Wirkung der Sohle begrenzt.

Es versteht sich von selbst, dass die hier durchgeführte allgemeine Bewertung der Kosten für die verschiedenen Bauverfahren objektspezifisch abweichen kann und daher eine Variantenprüfung immer zu empfehlen ist.

2.3 Anker und Steifen

Die üblichen Abmessungen der Schleusenneubauten mit Nutzlängen von über 110 m verhindern den Einsatz von Sonderverfahren wie z. B. das Einschwimmen oder die Senkkastenbauweise. Die Möglichkeit wie bei kreis- oder ellipsenförmigen Schachtbaugruben, durch Gewölbewirkung eine ausreichende Stabilisierung zu erreichen, ist ebenfalls nicht gegeben. So wird eine der bisher größten und tiefsten Schachtbaugruben im Grundwasser mit einem korbbogenförmigen Grundriss (maximaler Radius ca. 34 m und minimaler Radius annähernd 15 m) und über 30 m Tiefe zurzeit an der Staustufe Iffezheim für den Bau einer Kraftwerksturbine ausgehoben. Dagegen müssen bei Schleusenbaugruben die in Abschnitt 2.1 und 2.2 beschriebenen Baugrubenvarianten entweder ausgesteift oder rückverankert werden, wobei auch Kombinationen möglich sind. Neben der Reduzierung von Verformungen kann durch den Einsatz von Steifen auch bei gering tragfähigem Baugrund ausreichende Standsicherheit erreicht werden, d. h. zumindest die Widerstände sind vom Baugrund entkoppelt. Wird die Baugrubenwand rückverankert, muss der Baugrund die Kräfte aufnehmen können und es ist mit größeren Verformungen zu rechnen. Die Rückverankerung hat aber den Vorteil, dass die Baugrube frei zugänglich ist, was sich für den Baubetrieb und damit für die Kosten positiv auswirkt.

Anhand von drei Beispielen wird der Einsatz von Steifen und Ankern verdeutlicht. Das Bild 5 zeigt eine mehrlagig rückverankerte Schlitzwand der Baugrube für den Neubau der Südschleuse Sülfeld am Mittel-landkanal, die mit einem Grundlaufsystem ausgeführt wurde. Die große Anzahl von Ankerköpfen in der Schlitzwand zeigt jedoch, dass hier die technischen Grenzen einer reinen Rückverankerung erreicht wurden. Die Schlitzwand bindet in eine dichte Bodenschicht ein, wobei jedoch zur Erlangung der Auftriebssicherheit der darunter angetroffene gespannt Grundwasserspiegel mit Entlastungsbrunnen abgesenkt werden musste (s. auch Odenwald, B.; Schwab, R., 2004). Im Bild sind ein paar der passiv betriebenen Brunnen und die Sammelleitung zu erkennen. Der Bodenaushub der Baugrube und der Massivbau für die Schleuse konnte so ohne Behinderungen ausgeführt werden.



Bild 5: Rückverankerte Schlitzwand der Baugrube für die Südschleuse Sülfeld

Das Bild 6 zeigt einen Schnitt durch den Kammerquerschnitt der zweiten Moselschleuse bei Fankel, die mit einem Seitenfüllsystem und mit relativ geringem Abstand zur Bestandsschleuse errichtet wurde. Die alte Schleuse besteht im Kammerbereich aus Schwergewichtswänden, die auf Fels gegründet sind und ein sehr robustes System bilden. Die Baugrube wurde mit einer überschnittenen Bohrpfehlwand und einer offenen Sohle mit Quergräben zur Entwässerung ausgeführt. Aus geometrischen Gründen war es jedoch nicht möglich, die Bohrpfehlwand zu verankern ohne die alte Schleuse zu durchörteren.

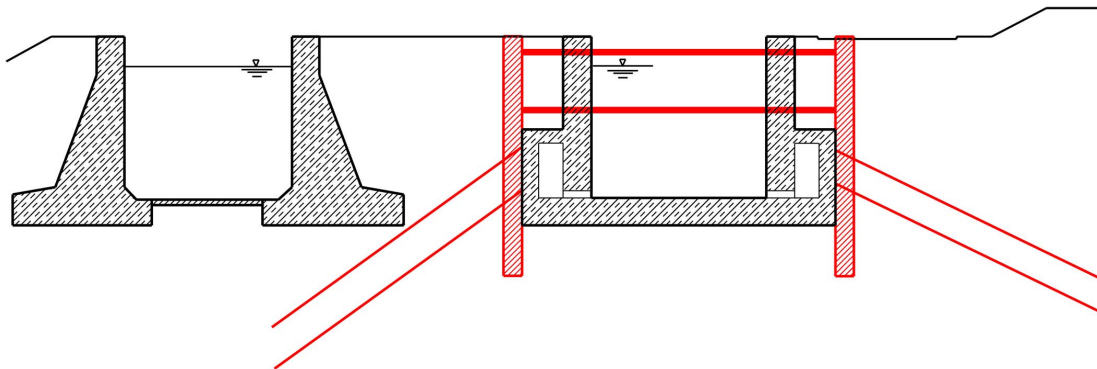


Bild 6: Querschnitt durch die alte und neu Moselschleuse Fankel im Kammerbereich

Deshalb wurde die Baugrube nur vor und hinter der alten Schleuse mit reiner Rückverankerung ausgeführt und in der Mitte zwei Stielen angebracht. Diese waren oberhalb des Längslaufs der neuen Schleuse angeordnet und es konnte wegen der geringeren Wasserdrücke im oberen Wandbereich ein großer Abstand zwischen der ersten und zweiten Stielenlage realisiert werden. Im unteren Bereich wurden die sehr großen Ankerkräfte problemlos in den Baugrund abgetragen. Dadurch waren die Behinderungen durch die Stielen beim Aushub und beim Massivbau nur lokal und, weil die Gurtung oberhalb der Längsläufe verlief, musste die Bewehrung der Schleusenwände an den Arbeitsfugen nur unter den Stielen verschraubt werden.



Bild 7: Baugrube Schleuse Fankel mit Aussteifungen der Borpfahlwand oberhalb der Seiteneinläufe

Demgegenüber zeigt Bild 8 vom Bau der neuen Schleuse Bolzum am Stichkanal Hildesheim, wie eingeschränkt die Platzverhältnisse einer im Sohlbereich ausgesteiften Baugrube sein können. Hier war es nicht möglich, die großen Einwirkungen aus Wasserdruck im unteren Wandbereich über Anker in den Baugrund abzutragen, obwohl durch die Wahl eines Endfüllsystems die Baugrubentiefe auf ein Minimum reduziert wurde (Saathoff, J.; Krug, M., 2006). Nur im oberen Wandbereich kam eine Rückverankerung zur Ausführung. Die überschnittene Bohrpfehlwand wurde darunter in zwei Lagen ausgesteift. Die Sohle wurde wie schon bei der Schleuse Fankel mit Quergräben und zusätzlichen Tiefbrunnen entwässert und am Wandfuß mit Entlastungsbohrungen gegen Auftrieb gesichert. Der Felsaushub unterhalb der Stielen konnte nur mit kleinem Gerät erfolgen, es gab keine steifenfreien Baugrubenbereiche wie in Fankel. Die unterste Stielenlage und ihre Gurtung konnte erst nach dem Aushärten der Schleusensohle rückgebaut werden, wobei nur wenige Zentimeter zwischen Sohle und Steife bzw. Gurtung verblieben. Daher musste

ein Großteil der Wandbewehrung in den Arbeitsfugen verschraubt statt mit einem Übergreifungsstoß ausgeführt werden.



Bild 8: Aussteifung der Bohrpfehlwand der Schleusenbaugrube Bolzum im Sohlbereich.

2.4 WSV-spezifische Anforderung

An eine Schleusenbaugrube sind zusätzlich WSV-typische Anforderungen zu stellen. Eine lässt sich z. B. aus dem Merkblatt zur Standsicherheit von Dämmen MSD (2005), das in der WSV eingeführt ist, ableiten. Liegt die Baugrube in einer Stauhaltung, so ist zu jedem Zeitpunkt zu gewährleisten, dass es nicht zu einer Havarie, d. h. dem unkontrollierten Auslaufen des Wassers kommt. Diese Forderung beinhaltet, dass selbst bei einem Ausfall der hydraulischen Wirksamkeit eines Dichtungselements keine Gefährdung der Stauhaltung eintreten darf. Grenzt die Schleusenbaugrube ans offene Wasser der Stauhaltung, bildet sie zumeist eine solche Dichtungsebene. Der Ausfall der hydraulischen Wirksamkeit einer Baugrubenwand wird in den allgemeinen Regelwerken wie den EAB (2006) nicht betrachtet.



Bild 9: Böschung und Fangedamm zur Sicherung der Baugrube gegen Schiffsstoß

Ein weiterer Gesichtspunkt ergibt sich aus der Schifffahrt. Wie auf dem Bild 9 von der Baugrube für die erste der Zwillings Schleusen an der Staustufe Münster zu erkennen ist, findet Schiffsverkehr in unmittelbarer Nähe statt. Daraus ergibt sich die Gefahr von Schiffsanfahrungen auf den Baugrubenverbau. Hierbei lassen sich grundsätzlich zwei Situationen unterscheiden. Zum einen die direkte Anfahrt des Bauteils bzw. des Verbaus durch das Schiff (im Bild 9 der Fangedamm) und zum anderen der Schutz des Bauwerks durch eine vorgeschüttete Böschung, hier an der Stirnseite der Baugrube.

Für die direkte Anfahrt ist die Ermittlung der Einwirkungen in der DIN 1055-9 (2003) normativ geregelt. Die Größe der Anpralllasten ergibt sich dabei aus der Flottenstruktur, der Schiffsgeschwindigkeit, der dynamischen Steifigkeit des Bauteils und dem Anfahrtswinkel. Die Norm unterscheidet zwischen einem Frontalstoß in Fahrtrichtung und einem Flankenstoß rechtwinklig zur Fahrtrichtung normal zur Bauteiloberfläche. Da sich bei einem Frontalstoß sehr große Anpralllasten ergeben, die nur in Ausnahmefällen von einer Baugrubenwand aufgenommen werden können, wird die Baugrube in den Bereichen, wo eine senkrechte Anfahrt möglich ist, häufig mithilfe einer vorgeschütteten Böschung geschützt. Diese wird so dimensioniert, dass ein havarierendes Schiff vor Erreichen der Baugrubenwand zum Stillstand kommt. Die sich dabei ergebenden Anpralllasten, die indirekt auch auf den Verbau wirken, sind nicht normativ geregelt. Die Ermittlung der erforderlichen Abmessung der Böschung und des Angriffspunkts sowie der Größe der Einwirkung kann objektspezifisch von der BAW durchgeführt werden.

3 Zusammenfassung

Die Beschreibung der unterschiedlichen Baugrubenvarianten für einen Schleusenbau zeigt, dass es nicht möglich ist eine Standardbaugrube zu entwickeln. In Abhängigkeit von den Randbedingungen, wie der Geologie, dem Grundwasser, der Wasserstraße, dem Schleusensystem, der Nachbarbebauungen und der Schifffahrt ist jeweils eine wirtschaftliche aber vor allem sichere Baugruben zu entwerfen.

Literatur

- EAB (2006): Empfehlungen des Arbeitskreises "Baugruben", 4 Auflage, Ernst & Sohn, Berlin
Odenwald, B.; Schwab, R. (2004): Grundwasserhaltung beim Neubau einer Schleuse im Mittellandkanal mittels Grundwassermodellierung, Zeitschrift Tiefbau, Heft 3, März 2004
Saathoff, J.; Krug, M. (2006): Planungen zum Neubau der Schleuse Bolzum am Stichkanal nach Hildesheim, Binnenschifffahrt Supplement, Nr.12
MSD (2005): Merkblatt Standsicherheit von Dämmen an Bundeswasserstraßen, Bundesanstalt für Wasserbau
DIN 1055-9 (2003): Einwirkungen auf Tragwerke Teil 9: Außergewöhnliche Einwirkungen, August 2003, Beuth Verlag, Berlin

