

## Errichtung der Baugrube für die Südkammer der Schleuse Wusterwitz im natürlichen Dichthorizont

Dipl.-Ing. Christian Puscher, Bundesanstalt für Wasserbau, Dienststelle Hamburg, Referat Geotechnik Nord

Dipl.-Ing. Christian Jöckel, Wasserstraßen-Neubauamt Magdeburg, Sachbereichsleiter Schleusenbau

### 1 Überblick Schleusenneubau

Im Auftrag des Wasserstraßen-Neubauamtes Magdeburg (WNA MD) wird bei km 376+900 des Elbe-Havel-Kanals die 2. Schleuse Wusterwitz als Bestandteil des Verkehrsprojektes Deutsche Einheit Nr. 17 realisiert. Es wird eine Großschiffahrtsschleuse mit 190 m Nutzlänge, 12,50 m nutzbarer Breite, 4,0 m Drempeltiefe und einer Durchfahrthöhe der Brücke über dem Unterhaupt von 5,25 m gebaut. Die max. Hubhöhe beträgt 4,75 m. Die Schleuse wird als vollmonolithische Massivbauschleuse errichtet. Als hydraulisches System werden Längskanäle mit Fülldüsen ausgeführt.

Der Bauvertrag mit der Arge Neubau Schleuse Wusterwitz wurde am 5. Juni 2008 geschlossen. In der Arge sind die Heitkamp Ing.-u. Kraftwerksbau, NL Rostock GmbH, Bauer Spezialtiefbau GmbH und Johann Bunte Bauunternehmung GmbH & Co KG vertreten. Der Bauvertrag beinhaltet alle Gewerkeleistungen des Schleusenbaus.

Im Herbst 2008 hat die Bauausführung begonnen, die Verkehrsfreigabe der neuen Schleuse ist im Sommer 2012 geplant, im Anschluss werden bis 2013 Anpassungsarbeiten, u. a. im Einfahrtbereich der vorhandenen Nordschleuse, durchgeführt.

Die geotechnischen Grundlagen sowie die Ausführung der Spezialtiefbauarbeiten zur Herstellung der Baugrube stehen im Mittelpunkt des Beitrags.

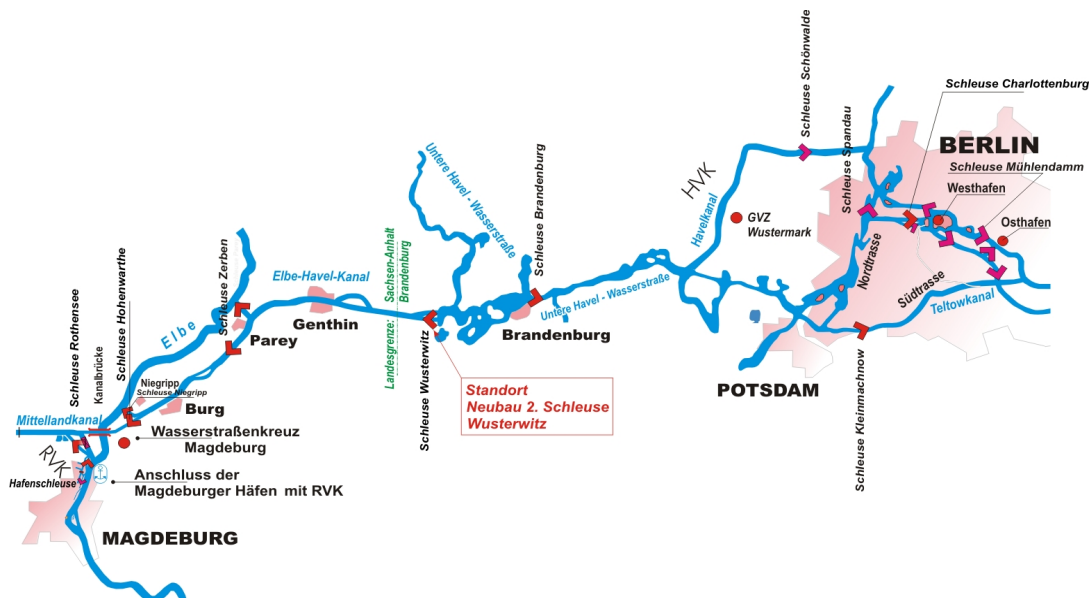


Bild 1: Standort Neubau 2. Schleuse Wusterwitz

## 2 Geotechnische Aspekte

### 2.1 Geologischer Überblick und Baugrundaufbau

Die Südkammer der Schleuse Wusterwitz liegt im Bereich eines Nebentales des Baruther Urstromtales und ist durch den Übergang von zwei Eiszeiten geprägt. Die Entstehung der dichtenden Braunkohleschluffschicht für die Baugrube liegt jedoch weiter zurück im Tertiär. Dort wurde abgestorbenes organisches Material und mineralisches Material nach Überdeckung mit Sedimenten unter Druck und Luftabschluss zu Braunkohleschluff umgewandelt. Aus diesen geologischen Einflüssen ergibt sich der für die Baugrube kennzeichnende Baugrundaufbau aus oberen Sanden, einer Wechsellagerung aus Geschiebemergel (Mg) und Schmelzwassersedimenten (S), Braunkohleschluff und unteren Sanden (Bild 2).

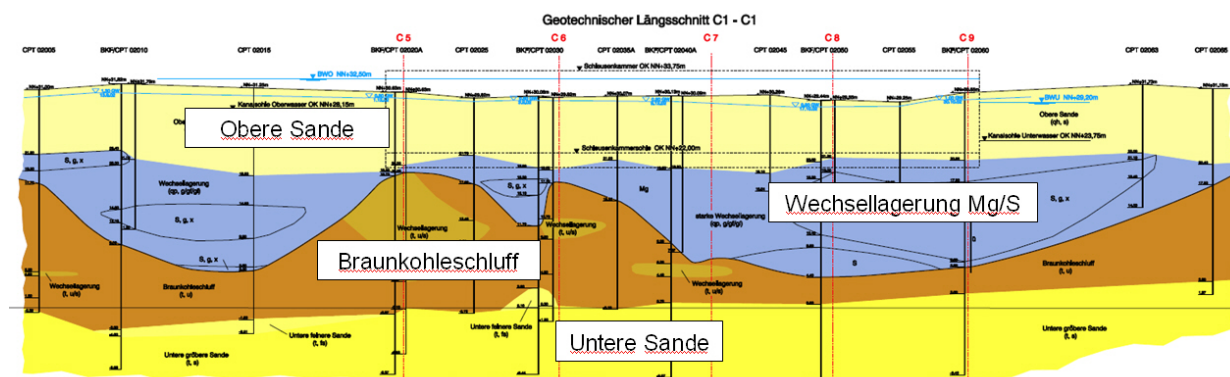


Bild 2: Baugrundaufbau im südlichen Baugrubenbereich

### 2.2 Eignung der dichtenden Schicht

Die dichtende Schicht aus Braunkohleschluff muss eine ausreichend geringe Wasserdurchlässigkeit aufweisen, um den Wasserzufluss zur Baugrube gering zu halten. Ferner muss die Durchgängigkeit der dichtenden Schicht vorhanden sein, um große Wasserzutritte durch Fenster im Dichthorizont zu vermeiden. Zudem sind die hydraulischen Nachweise der Sicherheit gegen Aufschwimmen und hydraulischen Grundbruch zu führen.

#### 2.2.1 Wasserdurchlässigkeit

Das Körnungsband des Braunkohleschluffs setzt sich aus 5 % bis 30 % Ton, 25 % bis 95 % Schluff und bis 75 % Sandanteilen zusammen. Bei Betrachtung der Wasserdurchlässigkeit unter Berücksichtigung des Feinkornanteils nach KAUBISCH ergibt sich für den Mindestfeinkornanteil von 25 % ein  $k$ -Wert von  $5 \times 10^{-7}$  m/s und für einen gemittelten Feinkornanteil von 70 % ein  $k$ -Wert von  $3 \times 10^{-10}$  m/s. Die durchgeführten Wasserdurchlässigkeitsversuche zeigen Werte von  $6 \times 10^{-9}$  m/s bis  $1 \times 10^{-9}$  m/s. In 2007 durchgeführte Dissipationstests ergaben Durchlässigkeitswerte in der gleichen Größenordnung von  $4 \times 10^{-9}$  m/s bis  $1 \times 10^{-9}$  m/s. Die dichtende Schicht ist nach diesen Ergebnissen überwiegend als sehr schwach durchlässig einzustufen.

#### 2.2.2 Durchgängigkeit

In den Aufschlüssen zur Erstellung des Baugrundgutachtens wurde die dichtende Braunkohleschluffschicht als zusammenhängende Dichtschicht angetroffen. Zusätzliche Aufschlüsse in der Wandtrasse im Vorlauf zur Wandherstellung zeigten ebenfalls diese zusammenhängende Schicht. Zur Kontrolle der Einbindung der Dichtwand und zur Überprüfung, ob in der Dichtwandtrasse auf ganzer Wandabwicklung die dichtende Schicht vorliegt, wurden beim Herstellen der Dichtwand das Antreffen des Braunkohleschluffes überwacht. In der Trasse der Baugrubenwand wurde im Liegenden durchgehend Braunkohleschluff angetroffen.

Während des Aushubs der Baugrube waren Wasserzutritte nur durch Niederschlagswasser und Ankerköpfe zu verzeichnen. Die Baugrube konnte nach Abpumpen des Grundwassers mittels Kontrollpegel als durchgehend dicht nachgewiesen werden, so dass die dichtende Schicht als durchgängig bestätigt wurde.

### 2.2.3 Hydraulische Nachweise

Als hydraulische Nachweise sind die Nachweise der Sicherheit gegen Aufschwimmen und der Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch zu führen. Nachzuweisen ist hier die Sicherheit gegen Aufschwimmen des Bodenkörpers oberhalb der Unterfläche der dichtenden Schicht. Nach DIN 1054 (2005) wird der geänderte Versagensablauf in einem bindigen Boden mit den dort zusätzlich mobilisierbaren Widerständen nicht berücksichtigt. Unabhängig davon ist jedoch grundsätzlich der Nachweis gegen Abheben eines definierten Bodenkörpers zu führen. Hierbei kann jedoch ein zusätzlicher Widerstand durch Kohäsion in Rechnung gebracht werden.

Die Adhäsion auf der wandzugewandten Seite und die Zugfestigkeit in der Sohle des Körpers werden auf der sicheren Seite liegend nicht angesetzt. Bei dem Nachweis des gesamten Bodenkörpers gegen Aufschwimmen zwischen den Baugrubenwänden ist keine Kohäsion zu berücksichtigen.

Durch die Unterschiede in den Teilsicherheitsbeiwerten für die Strömungskraft bei günstigem und bei ungünstigem Untergrund kommt der Einstufung des Bodens in dieser Hinsicht einige Bedeutung zu. Der vorhandene Braunkohleschluff wurde wegen seiner mindestens steifen, vorwiegend halbfesten und prägenden tonigen Eigenschaften seitens der BAW als günstiger Untergrund im Hinblick auf den Nachweis eingestuft.

Eine Besonderheit in der Nachweisführung ergab sich durch die Tatsache, dass bei der Berücksichtigung des räumlichen Einflusses der Baugrubenecken (Bild 3) nur der Anteil aus dem Potenzial in den oberen Sanden mit den entsprechenden Formfaktoren  $\psi$  zu multiplizieren ist (Bild 4).

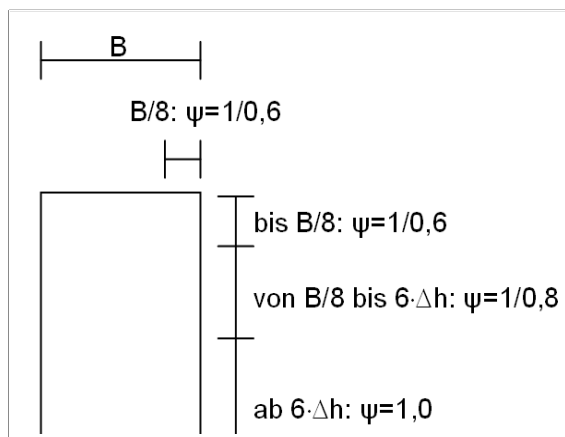


Bild 3: Formfaktoren  $\psi$  entlang der Baugrubenseiten

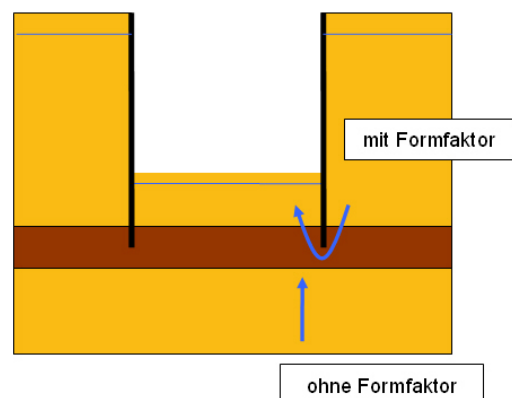


Bild 4: Potenziale mit und ohne Berücksichtigung von Formfaktoren

Im Bereich des Unterhauptes wurde zusätzlich eine Druckentlastung in den unteren Sanden mittels Grundwasserentlastungsbohrungen durchgeführt, um die erforderlichen Sicherheiten zu erreichen. Neben den Nachweisen an der Unterfläche des Braunkohleschluffs ist formell auch der Nachweis für den Bodenkörper in Höhe der Dichtwandunterkante im Eckbereich der Baugrube zu führen. Aus der Potenzialverteilung (Bild 5) ergibt sich für den hier beispielhaft betrachteten 2D-Fall, dass nur etwa 3,4 % des maximal am Rand berechneten Potenzials durch das Potenzial in den oberen Sanden erzeugt werden.

Die Ergebnisse der Nachweise für den hydraulischen Grundbruch in Höhe der Dichtwandunterkante und für den Auftrieb in Höhe Unterfläche Braunkohleschluff sind ebenfalls in Bild 5 dargestellt.

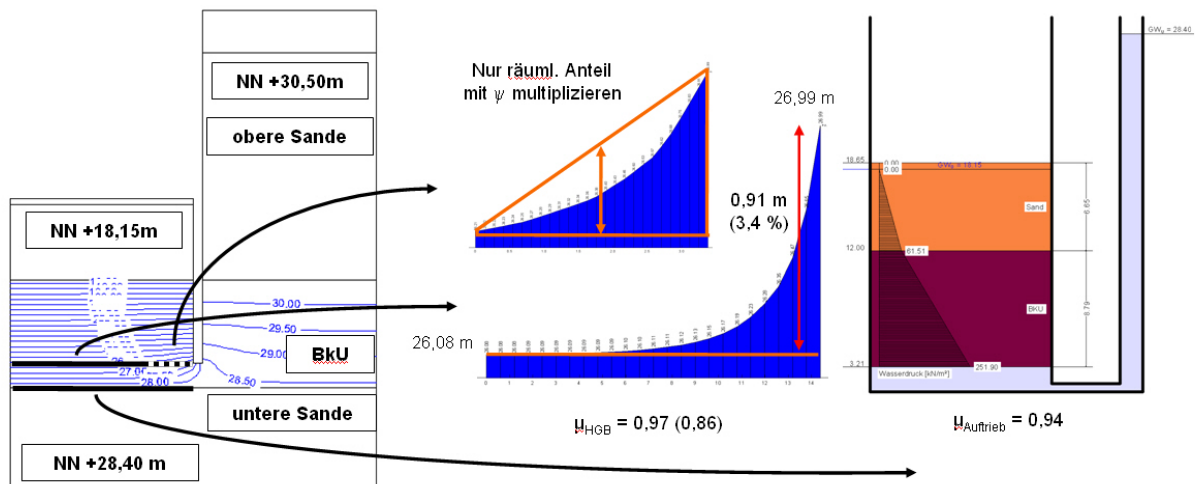


Bild 5: Potenzialverteilung und Ergebnisse Nachweise im Eckbereich Unterhaupt

Der Ausnutzungsgrad für die Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch ist hier ohne und mit Berücksichtigung (Wert in der Klammer) der effektiven Kohäsion des Braunkohleschluffs angegeben. Durch die Druckentlastung konnten sowohl die Sicherheit gegen Aufschwimmen als auch die Sicherheit gegen hydraulischen Grundbruch nachgewiesen werden.

### 3 Konzept und Ausführung der Baugrube

Das Baugrubenkonzept nach Ausschreibung sah eine Baugrubenumschließung mit einer horizontalen Abwicklung von etwa 600 m durch eine Zweiphasenschlitzwand mit Beton C20/25 vor. Die Dicke betrug 80 cm. Die geforderte Einbindung von 3 m in den Braunkohleschluff als natürliche Sohle bedeutete Herstellungstiefen bis etwa 33 m unter GOK. Zur Rückverankerung der Wände waren ca. 1.400 Verpressanker in bis zu 4 Lagen mit theoretischen Verpresslängen zw. 17 und 36 m vorgesehen. Weiterhin waren etwa 80.000 m<sup>3</sup> Boden auszuheben.

Im Ergebnis des Vergabeverfahrens wurde ein Nebenangebot für die Herstellung der Baugrubenumschließung mittels einer Einphasen-Dichtwand mit eingestellter Spundwand beauftragt. Während die Dichtwand unverändert 3,0 m in den Braunkohleschluff einbindet und damit maximale Tiefen von 33 m unter GOK erreicht, ergibt sich die Spundwandunterkante nach statischen Erfordernissen. Die Profile PU 28+1 bzw. L 606 haben eine maximale Länge von 21,50 m. Ansonsten wird im Wesentlichen das Baugrubenkonzept nach Ausschreibung umgesetzt.

Die Bauausführung der Herstellung der Baugrube begann mit der Herstellung der Leitwand für die Dichtwand. Der Schlitz wurde mit einem Dichtwandgreifer ausgehoben und mit einer Betonitsuspension aufgefüllt. Die durchgehende Aushubkontrolle bestätigte die bodenmechanischen Werte des Braunkohleschluffs. Es wurde über die gesamte Abwicklungslänge eine kompakte und dichte Braunkohleschluffschicht ausgehoben. Während die Unterkante der Braunkohleschluffschicht mit etwa NN +3 m vergleichsweise höhenkonstant liegt, variiert die Oberkante der Schicht im Baufeld so dass die jeweilige Lamellentiefe der Dichtwand baubegleitend entsprechend dem Einbindekriterium festgelegt wurde. Die Dichtwand wurde mit Lamellenbreiten von etwa 9 m hergestellt, Voraussetzung für das Anschließen mit der angrenzenden Lamelle war das Abbinden der Bentonitsuspension. Vor dem Erhärten wurde jeweils die Spundwand eingehängt. Dabei waren in die Spundwand jeweils schon die Ankertöpfe der Baugrubenanker angeschweißt.

Bereits vor dem Schließen der Baugrubenumschließung hat der Erdaushub bis zur A-Ankerlage begonnen. In der A-Ankerlage 3 m unter GOK (NN +30,50 m) wurden 483 Anker hergestellt, in der B-Ankerlage 9,0 m unter GOK (NN +24,50 m) wurden 811 Verpressanker hergestellt. Im Unterhaupt wurden zusätzlich die C-Lage (75 Anker, 11 m unter GOK) und die D-Lage (75 Anker, 12 m unter GOK) gebohrt. Die Endaushubtiefe im Bereich der Kammer und des Oberhauptes liegt bei NN +20,70 m, der tiefste Aushub bis auf NN +18,65 m und damit bis etwa 14 m unter GOK war im Bereich des Unterhauptes bzw. des Auslaufbereichs am Unterhaupt zu tätigen. Im Zuge des Baugrubenaushubs wurde die erhärtete Einphasensuspension innenseitig der eingestellten Spundwand wieder abgebrochen. Die Wände der Baugrube wurden vollflächig mit Pekafil verkleidet; die Verkleidung dient bei den späteren Betonagen der Wände zum Teil als verlorene Schalung.



Bild 6: Dichtwandgreifer



Bild 7: Ankerarbeiten B-Lage

Eine weitere Besonderheit der Baugrube bestand in der oben genannten Notwendigkeit der Druckentlastung des Unteren Grundwasserleiters aufgrund der hydraulischen Nachweise der Baugrube im Bereich des Unterhauptes.

Die beiden Grundwasserleiter werden im Bereich des Schleuse durch die Braunkohleschluffschicht getrennt; die Unterkante der Braunkohleschluffschicht liegt bei etwa NN 3,0 m. Das natürliche Druckpotential des Unteren Grundwasserleiters beträgt etwa NN +29,50 m und ist damit stark gespannt. Entsprechend der Nachweise war eine Absenkung während des Endaushubs im Unterhaupt auf NN +28,40 m erforderlich. Durch ein Grundwasserströmungsmodell wurde die Absenkung modelliert und vor Beginn der Absenkung durch eine Probeabsenkung kalibriert. Um die Reaktionszeit für Ausfälle der Druckentlastung zu erhöhen, betrug das Absenkziel NN +25,00 m. Dazu waren um die Baugrube 14 Brunnen in den Unteren Grundwasserleiter abgeteufelt; davon wurden 13 Brunnen bepumpt. Die Druckentlastung wurde einzig durch das Druckpotenzial im Unteren Grundwasserleiter gesteuert. Zur Überwachung des Kennwerts waren in einigen Brunnen Druckmessdosen mit Datenfernübertragung installiert. Weiterhin wurden die Brunnen alle drei Stunden bepegelt. Zur Behebung möglicher Störungen war durchgehend eine Pumpenwache vor Ort, Ersatzpumpen sowie ein Notstromaggregat wurden auf der Baustelle vorgehalten. Für einen nicht zu behebbenden Störfall waren Pumpen und Rohrleitungen für eine Teilflutung der Baugrube fest installiert.

Die Druckentlastung lief im Wesentlichen störungsfrei und das angestrebte Absenkziel von NN +25,00 m wurde konstant erreicht. Die Baugrube wurde im März 2010 fertig gestellt.



*Bild 8: Blick in die fertig gestellte Baugrube*

#### **Literatur**

DIN 1054 (2005), Baugrund - Sicherheitsnachweise im Erd- und Grundbau, Januar 2005, Beuth Verlag, Berlin