

Planung der Grundwasserentlastung

Dr.-Ing. Bernhard Odenwald, Bundesanstalt für Wasserbau, Karlsruhe,

1. Hydrogeologische Verhältnisse

Basierend auf den Erkenntnissen aus den umfangreichen Baugrunderkundungen im Bereich der geplanten neuen Südschleuse ergibt sich für die Charakterisierung der Grundwasserverhältnisse eine Untergliederung in drei grundwasserführende Schichten mit jeweils dazwischen liegenden Grundwasserstauern. Der Porengrundwasserleiter der Oberen Sande mit freier Grundwasseroberfläche ist vom gespannten Porengrundwasserleiter der Unteren Sande durch eine geringdurchlässige, mächtige Geschiebemergelschicht getrennt. Die größtenteils vorhandene Trennschicht zwischen den Unteren Sanden und dem Kluftgrundwasserleiter des Festgesteins (Mergel- bzw. Tonstein) besteht aus geringdurchlässigem Beckenschluff. Durch das Festgestein verläuft eine SE-NW-streichende Störungszone, die den tiefen Baugrund in Mergelstein (bzw. Kalkstein) und Tonstein unterteilt. Die Gründungssohle der Schleusenammer liegt größtenteils im Bereich des Geschiebemergels und reicht teilweise bis in die Unteren Sande (Bild 1).

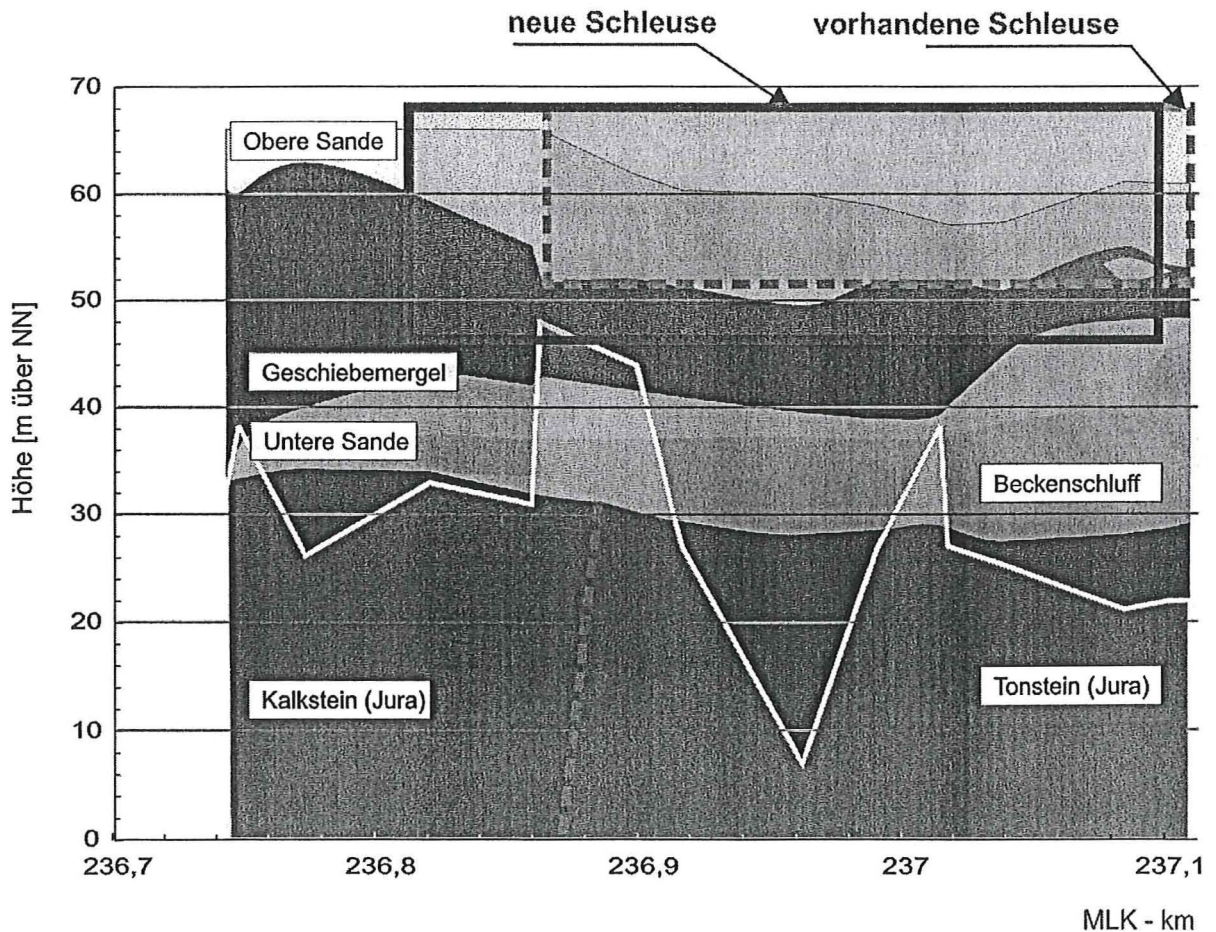


Bild 1: Geologischer Längsschnitt (Schleusenachse)

2. Baugrube

Zur Herstellung der Baugrube im Trockenen ist der Grundwasserzufluss aus den Oberen und den Unteren Sanden sowie aus dem unterliegenden klüftigen Festgestein in die Baugrube durch geeignete Maßnahmen zu verhindern. Eine Absenkung des Grundwassers in den oberen beiden Porengrundwasserleitern wurde aus ökologischen Gründen sowie auf Grund der Gefährdung der bestehenden Nordschleuse durch Setzungen ausgeschlossen. Um einen horizontalen Grundwasserzustrom aus den Porengrundwasserleitern der Oberen und Unteren Sande in die Baugrube zu verhindern, ist deshalb eine Umschließung der gesamten Baugrube (Schleuse und Sparbecken) mittels einer wasserdichten Baugrubenwand, die diese beiden Grundwasserstockwerke vollständig durchtrennt, vorgesehen. Die Anordnung der Baugrubenumschließungswand wird im nordwestlichen Bereich durch die Sparbecken der Nordschleuse, deren Betrieb während der Baumaßnahme sichergestellt werden muss, bestimmt. Hier besteht nur ein geringer Abstand zwischen der Kammerwand der alten bzw. neuen Südschleuse und den Sparbecken der Nordschleuse. Der Grundwasserzustrom aus dem Kluftgrundwasserleiter in die Baugrube wird durch die das Festgestein überlagernde, geringdurchlässige Beckenschluffschicht begrenzt. Aus den Bohraufschlüssen ergibt sich im größten Teil der umschlossenen Baugrube eine Mächtigkeit der Beckenschluffschicht von mehr als 5 m. Lediglich im westlichen Teil der Baugrube (im Bereich des Oberhauptes der neuen Schleuse) nimmt die Mächtigkeit der Beckenschluffschicht bis auf nahezu Null ab (Bild 2).

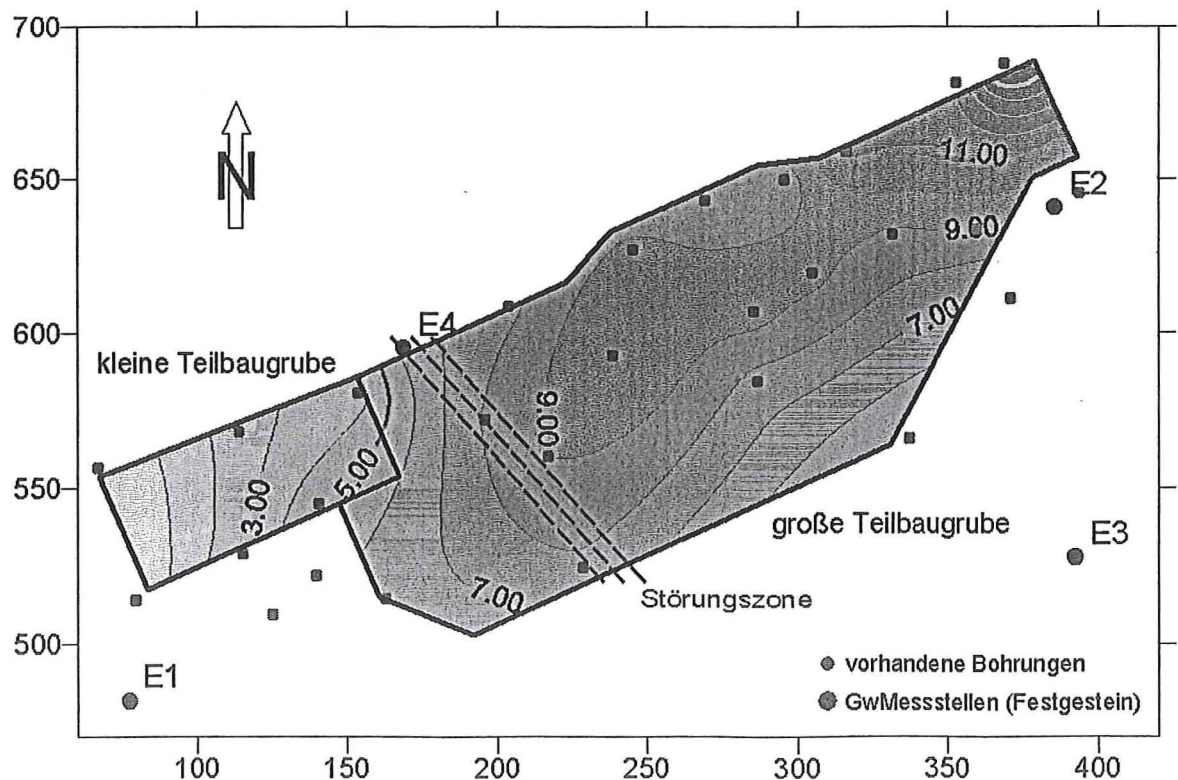
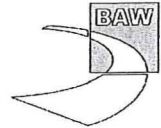


Bild 2: Mächtigkeit der das Festgestein überlagernden Beckenschluffschicht im Bereich der Baugrubenumschließung



Aus diesem Grund wurde von der BAW eine Untergliederung der gesamten Baugrube in eine große östliche Teilbaugrube und eine kleine westliche Teilbaugrube durch Anordnung einer Baugrubentrennwand empfohlen (siehe Bild 2). Dabei ist die Umschließungswand der östlichen Teilbaugrube mindestens 3 m in die geringdurchlässige, hier ausreichend mächtige Beckenschluffschicht einzubinden. Die Umschließungswand und die Trennwand der kleinen westlichen Teilbaugrube, in deren Bereich nur eine geringmächtige Beckenschluffschicht existiert, sind dagegen bis in das Festgestein abzuteufen.

3. Grundwasserverhältnisse

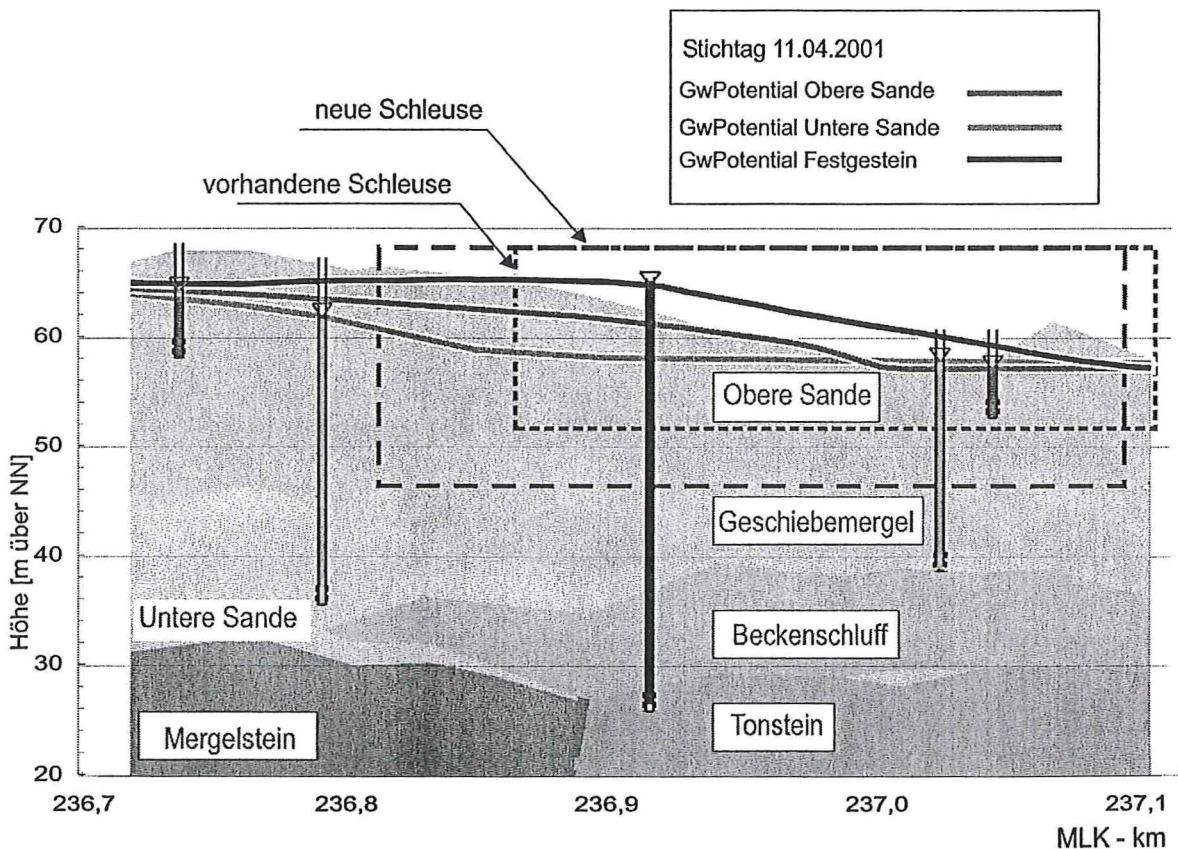


Bild 3: Grundwasserverhältnisse im Bereich der Südschleuse Sülfeld

Für die Beurteilung der Grundwasserverhältnisse in den oberen beiden Porengrundwasserleitern existierte eine ausreichende Anzahl von Grundwassermessstellen. Sie zeigen, dass der Grundwasserstand in den Oberen Sanden ungefähr geländegleich ansteht und das Grundwasserpotenzial in den Unteren Sanden etwas darunter liegt. Erkenntnisse über die Porenwasserdruckverteilung im unterliegenden Festgestein, die zur Beurteilung der Auftriebssicherheit der Beckenschluffschicht bei ausgehobener Baugrube benötigt werden, lagen jedoch nicht vor. Aus diesem Grund wurden zusätzlich 4 im Bereich des Festgesteins verfiltrierte und mit Druckaufnehmern versehene Grundwassermessstellen hergestellt (Messstellen E1 – E4, Lage siehe Bild 2). In den bis in das Festgestein reichenden Bohrungen

wurden Wasserdrucktests und Kurzpumpversuche zur Ermittlung der Gebirgsdurchlässigkeit durchgeführt. Sie ergaben geringe Gebirgsdurchlässigkeiten im östlich anstehenden Tonsteins, etwas höhere Durchlässigkeiten im westlich anstehenden Mergelstein und deutlich erhöhte Durchlässigkeiten im Bereich der dazwischen liegenden Störungszone, die in E4 erbohrt wurde. Die durchgeführten Grundwassermessungen zeigen, dass das Grundwasserpotenzial im Festgestein teilweise deutlich höher ist als das der Unteren Sande, wobei bereichsweise artesisch gespannte Grundwasserverhältnisse vorliegen. Die Grundwasserpotentialhöhen sind qualitativ in Bild 3 für das Längsprofil südlich der Südschleuse basierend auf der Stichtagsmessung vom 11.04.2001 dargestellt.

4. Grundwasserentspannung im Festgestein

Zur Bestimmung der örtlichen Verteilung der Auftriebskraft wurde das aus den Messungen interpolierte Grundwasserpotenzial im Festgestein mit der aus den Bohrungen ermittelten Unterkante der Beckenschluffschicht überlagert. Die örtliche Verteilung der Gewichtskraft ergibt sich aus der Mächtigkeit der unterhalb der geplanten Baugrubensohle bis zur Unterkante des Beckenschluffs verbleibenden Bodenschichten. Die Sicherheit der Beckenschluffschicht gegen Aufschwimmen als Quotient aus Gewichtskraft und Auftriebskraft ist in Bild 4 dargestellt. Daraus ist ersichtlich, dass aufgrund des hohen Grundwasserpotentials im Festgestein im Bereich der tiefen Baugrube für die Schleusenkammer keine ausreichende Sicherheit gegen Aufschwimmen gegeben ist.

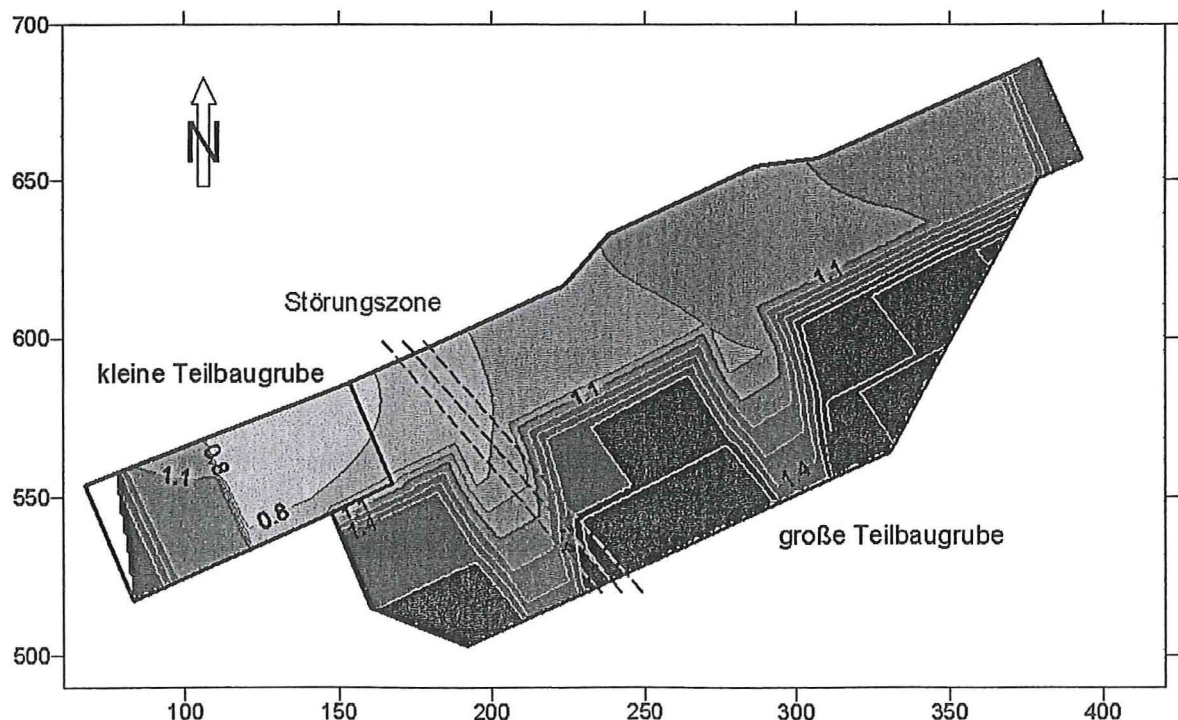


Bild 4: Sicherheit der Baugrubensohle gegen Aufschwimmen

Zur Ermöglichung des Baugrubenaushubs ist deshalb unterhalb der Beckenschluffschicht zur Auftriebssicherung eine Absenkung des Grundwasserpotenzials im Festgestein um bis zu ca. 10 m (von ca. NN+65 m auf ca. NN+55 m) durchzuführen. Zur Festlegung der erforderlichen Anzahl und der geeigneten Anordnung der Entspannungsbrunnen sowie zur Dimensionierung der Grundwasserentspannungsanlage wurde eine numerische Grundwasserströmungsberechnung durchgeführt. Die Festlegung der Brunnenstandorte erfolgte unter Berücksichtigung der örtlichen Restriktionen durch die bestehende und die geplante Südschleuse. Das zur Strömungsmodellierung erforderliche dreidimensionale Grundwassermodell basiert auf den Baugrunderkundungen, den Grundwassermessungen und den Auswertungen der Durchlässigkeitstests. Die Ergebnisse der Grundwassermodellierung zeigen, dass die erforderlichen Maßnahmen zur Auftriebssicherung der Baugrube mit relativ begrenztem Aufwand durchführbar sind. In der großen Teilbaugrube sind 8 und in der kleinen Teilbaugrube 4 Grundwasserentspannungsbrunnen bei einer Absenkung des Grundwasserpotentials im Festgestein an den Brunnen auf NN+53 m erforderlich (Bild 5).

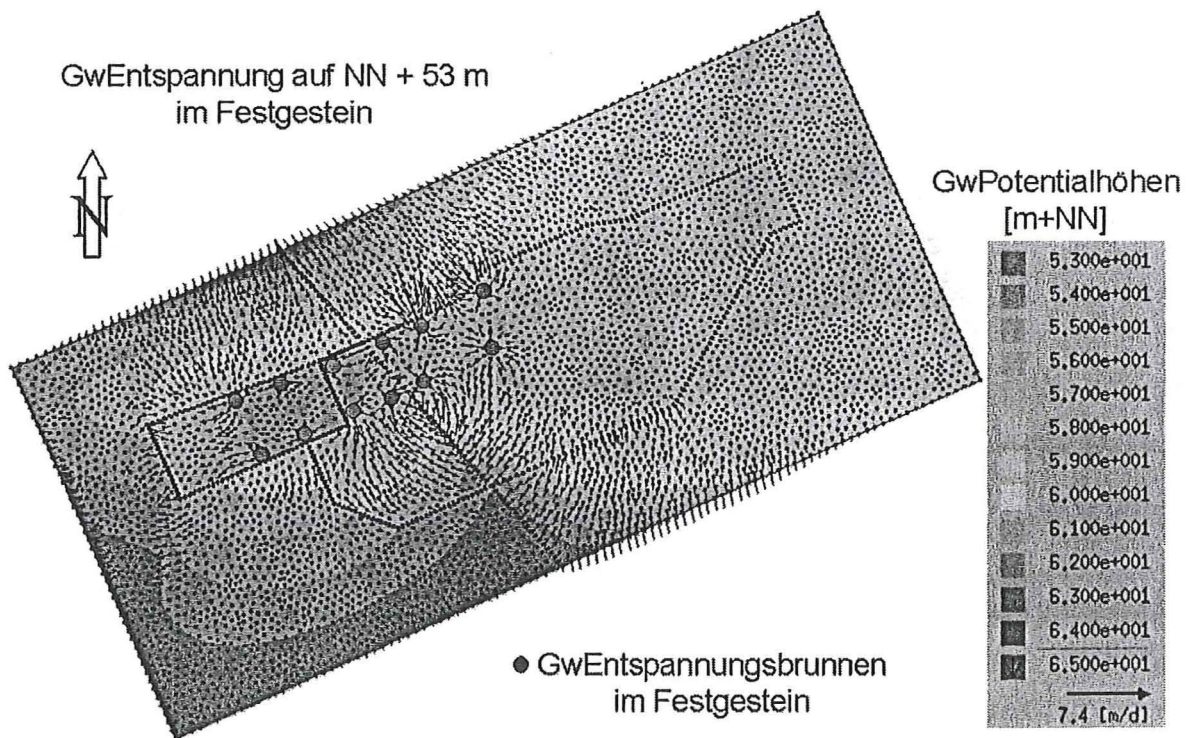


Bild 5: Grundwasserpotential an der Oberfläche des Festgesteins

Dieses Absenkziel befindet sich ca. 7 m oberhalb der geplanten Baugrubensohle, so dass die erforderliche Druckentlastung ohne Einsatz von Absenkpumpen durch Ableitung des aus den Brunnen zuströmenden Grundwassers in einen Sammelbehälter in der Baugrube erfolgen kann. Zur Ermittlung der Zuflüsse zu den Entspannungsbrunnen mittels numerischer Strömungsberechnung wurden die maßgeblichen hydraulischen Durchlässigkeiten des Fest-

gesteins und der Störungszone innerhalb auf der sicheren Seite liegender Spannweiten auf Grundlage der Ergebnisse der Durchlässigkeitstests variiert. Für die Brunnen in der großen Teilbaugrube wurde ein Gesamtzufluss von ca. 4 – 12 l/s und in der kleinen Teilbaugrube von ca. 2 – 11 l/s ermittelt. Weiterhin wurden von der BAW die Anforderungen an die Herstellung der Grundwasserentspannungsbrunnen in den einzelnen Bauphasen detailliert beschrieben. Dies ist beispielhaft in Bild 6 für zwei Bauphasen dargestellt.

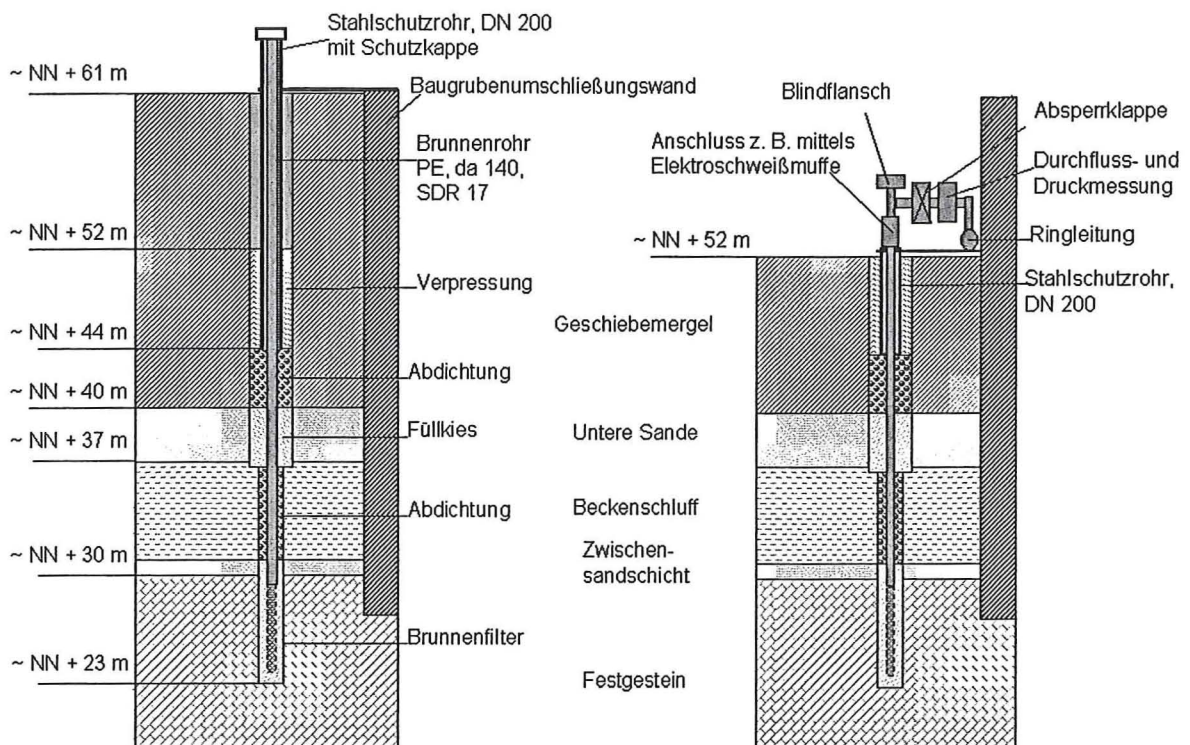


Bild 6: Herstellung (links) und Anschluss (rechts) der Grundwasserentspannungsbrunnen

5. Auftriebssicherung der Sparbecken

Aufgrund des südlich der Sparbecken ansteigenden Geländes und der geringen Grundwasserflurabstände ist die Auftriebssicherung der Sparbecken im Betriebszustand bei Unterwasser und insbesondere im Revisionsfall ohne zusätzliche Maßnahme zur Grundwasserentspannung nicht gewährleistet. Da konstruktive Maßnahmen (Sohlverstärkung, Verankerung) einen unwirtschaftlich hohen Aufwand erfordern würden, wurde die Anordnung einer Druckentspannungsschicht unterhalb der Sparbecken mit einer Ableitung in das Unterwasser empfohlen. Bild 7 zeigt die vorgeschlagene Anordnung der Druckentspannungsschicht im Lageplan. Dabei muss zur Gewährleistung der Auftriebssicherung eine Beeinträchtigung der Wirksamkeit der Druckentspannung durch Einspülungen von Feinmaterial oder durch Ausfällungen dauerhaft vermieden werden. Um dies zu gewährleisten, wurden Vorgaben zur

Gestaltung, fachgerechten Ausführung und Qualitätssicherung sowie Überwachung der Druckentspannungsanlage erarbeitet. Insbesondere wurde die Entwässerung der Druckentspannungsschicht über eine eingestaute Dränleitung durch Anordnung eines Mönchschanctes vor dem Ablauf in das Unterwasser des Kanals empfohlen. Durch Verhinderung der Sauerstoffzufuhr wird die Gefahr einer Verockerung der Dränleitung deutlich reduziert.

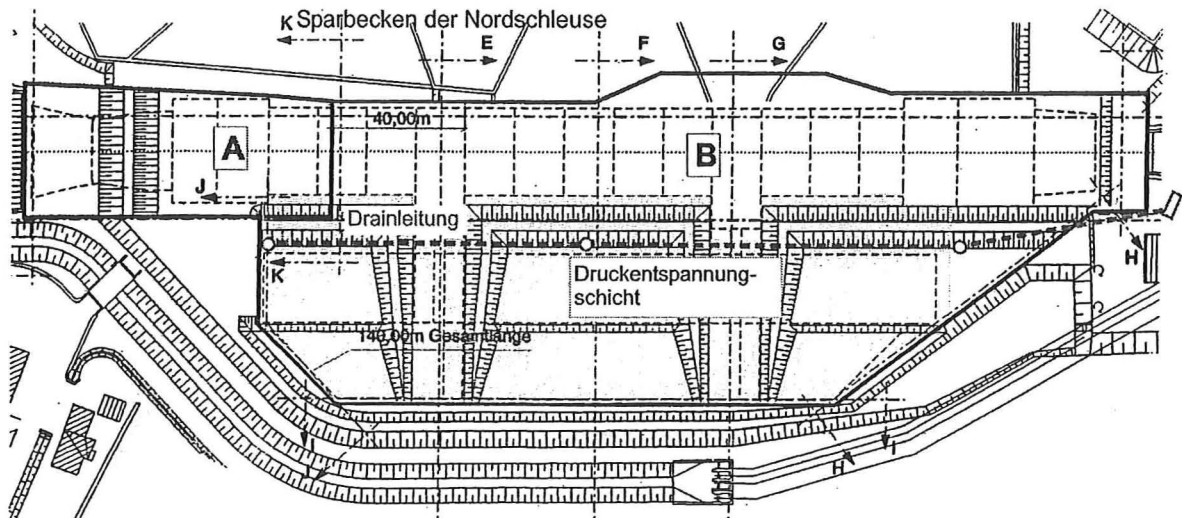


Bild 7: Druckentspannung unterhalb der Sparbecken

6. Zusammenfassung

Auf Basis der umfangreichen geologischen und hydrogeologischen Erkundungen und Bewertungen wurde für die geplante Südschleuse Sülfeld ein wirtschaftliches und umweltverträgliches Baugrubenkonzept entworfen. Dieses beinhaltet die vollständige Umschließung der Baugrube zur Verhinderung eines horizontalen Grundwasserzustroms, die Unterteilung der gesamten Baugrube in zwei Teilbaugruben mit unterschiedlicher Einbindetiefe der Umschließungswände in Abhängigkeit von der Mächtigkeit der als horizontale Barriere wirkenden, geringdurchlässigen Beckenschluffschicht und die Erstellung einer Grundwasserentspannungsanlage zur Auftriebssicherung durch Reduzierung des Grundwasserpotenzials im unterlagernden klüftigen Festgestein. Weiterhin wurde zur Auftriebssicherung der Sparbecken die Anordnung einer Druckentspannungsschicht unterhalb der Sparbecken mit kontrollierbarer Ableitung in das Unterwasser empfohlen, da konstruktive Maßnahmen (Sohlverstärkung, Verankerung) einen unwirtschaftlich hohen Aufwand erfordern würden.