

Zeitschrift: IABSE congress report = Rapport du congrès AIPC = IVBH
Kongressbericht

Band: 13 (1988)

Artikel: Behälterkonstruktion unter extremen Bergbaueinwirkungen

Autor: Schäfers, Klaus

DOI: <https://doi.org/10.5169/seals-13038>

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. [Mehr erfahren](#)

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. [En savoir plus](#)

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. [Find out more](#)

Download PDF: 22.02.2026

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, <https://www.e-periodica.ch>

Behälterkonstruktion unter extremen Bergbaueinwirkungen

Drain tank construction under extreme mining influences

Construction de citernes sous des influences minières extrêmes

Klaus SCHÄFERS
Oberingenieur
Bauges Hanebeck
Dortmund, Bundesrep. Deutschland



Klaus Schäfers, geboren 1925, arbeitete nach Abschluß des Bauingenieurstudiums 1947 im Brückenbüro der Straßenbauverwaltung Westfalen an der Projektierung von Brückenbauwerken. Seit 1952 in der Baugesellschaft Hanebeck, Statiker für Brückenkonstruktionen in Spannbetonbauweise. 1962 Ernennung zum Oberingenieur und Leiter des techn. Büros, zuständig für den Gesamtbereich konstruktiver Ingenieurbau.

ZUSAMMENFASSUNG

Der Beitrag zeigt, wie bei extrem hohen Pressungen aus Bergbaueinwirkungen Erdbehälter wasserdicht hergestellt werden können, wenn man auf klar erfaßbare Grundsysteme zurückgreift und die Verträglichkeit untereinander durch konstruktive Maßnahmen löst.

SUMMARY

The exposition shows that in spite of the extremely heavy rock pressures, the underground tanks can be made watertight provided one relies on clearly conceived basic systems and brings about mutual compatibility by constructive measures.

RÉSUMÉ

L'exposé démontre comment des citernes souterraines étanches peuvent être construites en dépit de pressions extrêmement élevées dues à des influences minières. Il recourt à des systèmes de base facilement compréhensibles et résout la compatibilité entre les citernes par des mesures constructives.



1. EINLEITUNG

1.1 Bergbaueinwirkungen auf Bauwerke

In Gebieten, in denen unter Tage Kohle oder Erze abgebaut werden, treten durch Nachsackungen in die entstandenen Hohlräume Verformungen im Deckgebirge ein, die sich bis zur Geländeoberfläche fortsetzen. In den Steinkohleabbaugebieten an der Ruhr und Lippe, wo der Abbau bereits Tiefen von über 1000 m erreicht, addieren sich aus den übereinanderliegenden abgebauten Flözen Senkungen an der Geländeoberkante in Größenordnungen von über 10m. Diese Senkungen sind nicht eben. Sie bewegen sich zwischen null und dem Maximalwert. Es kommt zu einer Trogbildung (Fig.1).

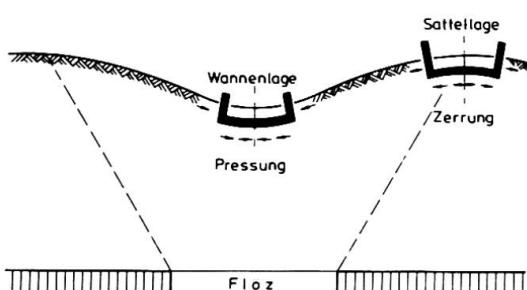


Fig.1 Prinzip der Bergbaueinwirkung

Bezogen auf Bauwerke in diesen Bereichen bewegen sich diese zwischen einer Wannen- und einer Sattellage. Bedingt durch die Bodenbewegungen treten Dehnungen und Verkürzungen auf. Bauwerke, eingebettet in diese Böden erfahren aus diesen Längenänderungen Pressungen (Wannenlage) oder Zerrungen (Sattellage) (Fig.1). Bewegungen von 2-4 % sind im Bereich des Kohleabbaues an der Tagesordnung, d.h. auf 1,00m Länge treten Bewegungen von 2-4 mm auf.

Bei Zerrungen von 8 % führt dies zu Bodenrissen selbst. Durch die Relativverschiebung zwischen Boden und Bauwerk werden bei Zerrungen auf alle vom Bauwerksschwerpunkt weggerichtete Flächen Zugkräfte, und bei Pressungen auf alle zum Bauwerksschwerpunkt hingereichteten Flächen Druckkräfte erzeugt (Fig.1).

1.2 Beispiel: Bergbaueinwirkung auf einen Tiefbehälter

Die Bedeutung der zuvor dargestellten Bergbaueinflüsse werden nachfolgend am Beispiel eines Regenrückhaltebeckens gezeigt, welches die Bergbau AG Westfalen nach den, die Bergbaueinwirkung erfassenden Berechnungen des Büros Prof. Zerna, Schulz + Partner, in Hamm ausführen ließ, als Auffangbehälter bei starken Niederschlägen, um die Kapazität der vorhandenen Kanalleitungen nicht zu überanspruchen. Am Standort werden Pressungen von 7,7 % erwartet, also einem extrem hohen Wert.

Der Behälter mußte angelegt werden für ein Fassungvermögen von 4000m³. Wegen der begrenzten örtlichen Verhältnisse mußte in die Tiefe gebaut werden, was zu einem Durchmesser von 20m und einer Bauwerkstiefe von 22m führte. Dabei bindet das Bauwerk 18m in den Felsboden ein. Wegen der knappen Grundstücksverhältnisse mußte eine Pumpstation von 12,5 m bis zur halben Bauwerkstiefe unmittelbar an den Behälter angebaut werden.

Bei dem erforderlichen Durchmesser von 20m und der zu erwartenden Pressung von 7,7 % ergibt sich eine Zusammendrückung von 15cm, die von der Betonkonstruktion nicht ohne besondere Maßnahmen aufgenommen werden kann, zumal die angehängte Rechteckkammer das sonst rotationssymmetrische statische Grundsystem stört. Die Forderung nach absoluter Wasserdichtigkeit konnte nur durch besondere statische Annahmen und konstruktive Maßnahmen erfüllt werden.

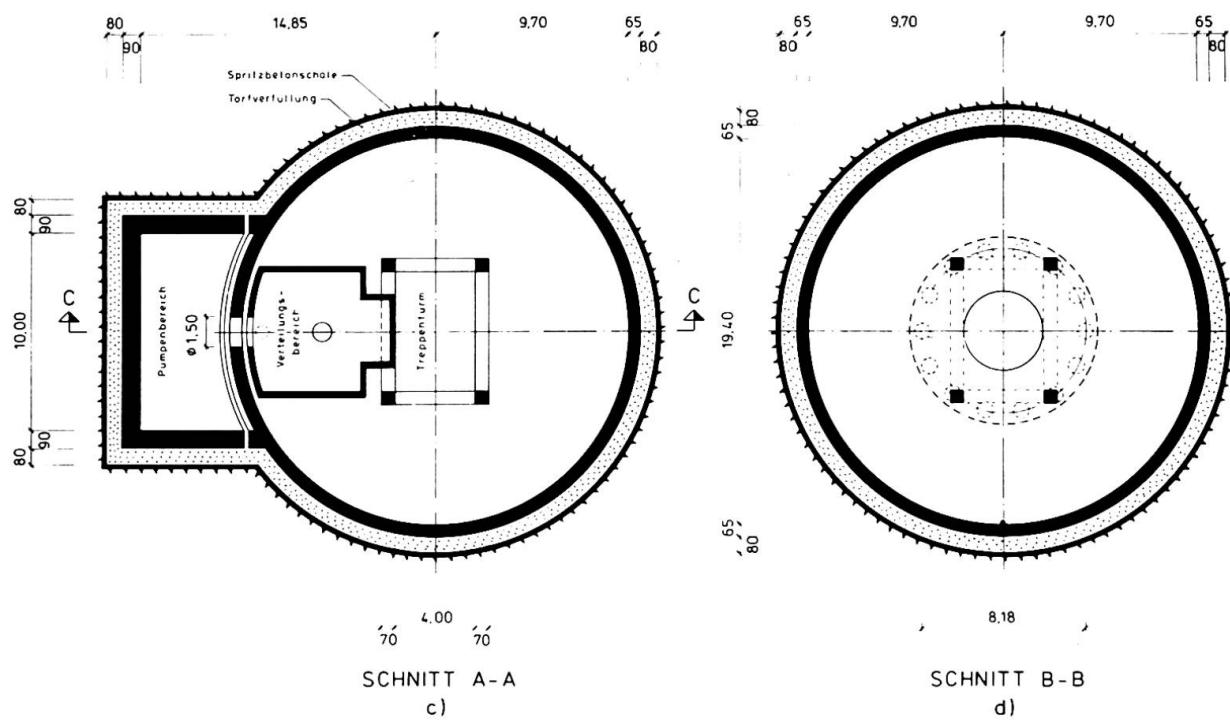
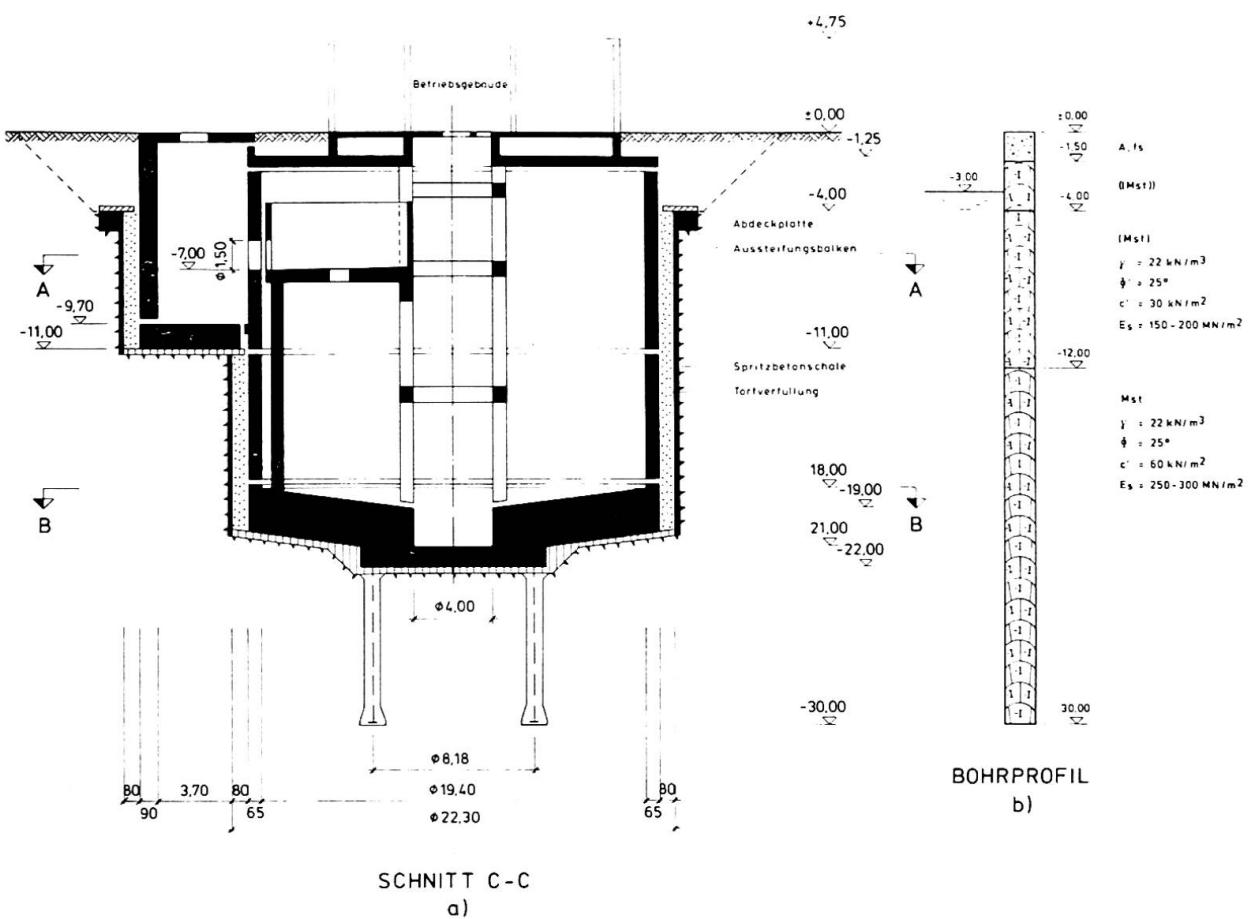


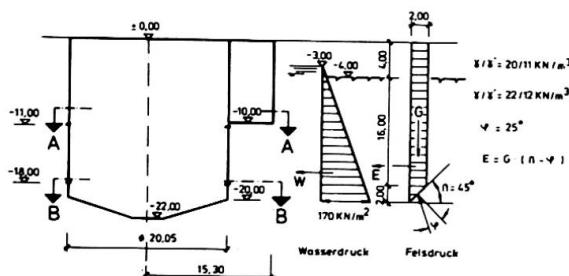
Fig.2 Übersicht



2. STATIK UND KONSTRUKTION

2.1 Geologische Verhältnisse

Fig. 2b zeigt das Bodenprofil. Nach 4,00m feinsandigem Überlagerungsboden folgt der Felsboden in Form eines Kreidemergels. Die Festigkeit, ausgedrückt durch die Steifezahl E_s , schwankt zwischen 150-300 MN/m². Für die Berechnung wurde einheitlich der Wert $E = 200 \text{ MN/m}^2$ festgelegt. Fig. 3 zeigt den Ansatz des Felsdruckes, sowie den Wasserdruck, bei einem Grundwasserstand auf der Höhe -3,00m unter der Geländeoberkante.



α	Zerrung (+) Richtung	Pressung (-)	
		1	2
22.5	-6.0 mm/m	-1.1 mm/m	
45.0	-7.7 "	+0.4 "	
67.5	-7.0 "	±0.0 "	
90.0	-4.3 "	-2.8 "	

Fig. 3 Fels- und Wasserdruck

Tabelle 1 Bergbaueinwirkungen

2.2 Bergbaueinflüsse

Die Gebirgsverformungen werden seitens des Bergbaubetreibers für den Endausbauzustand angegeben, gemäß der Tabelle 1. Wie die Zahlenwerte erkennen lassen, treten im wesentlichen nur Pressungen auf. Auch in den Zwischenphasen sind keine größeren Zerrungen zu erwarten. Die Pressungskräfte haben in den verschiedenen Kraftrichtungen, ausgedrückt durch den Winkel α bezogen auf die Nordrichtung unterschiedliche Größen.

2.3 Statisch-konstruktives Grundprinzip

Die Behälterzusammendrückung von 15cm gestattet keine wasserdichte Stahlbetonkonstruktion, die aber wegen der besseren Unterhaltsaufwendung gewünscht wurde. Die Lösung der Aufgabe wurde durch mehrere konstruktive Eingriffe ermöglicht.

Zur Reduzierung der Verformungen aus den Bergbaueinflüssen wurde eine verformbare Schicht zwischen Behälterwand und Gebirge angeordnet. Zur Diskussion standen zunächst Einlagen aus Styropor oder Porenschlacke (Perlite). Bei näheren Untersuchungen stellte sich heraus, daß diese Stoffe unter Wasseraufnahme bei schwankenden Belastungseinflüssen einen Großteil ihrer Federwirkung verlieren. Als geeignet stellte sich die Verwendung von faserigem Torf heraus. Fig. 4 zeigt das Last-Setzungs-Diagramm des verwendeten Materials. Der in die Berechnung einzusetzende Steifemodul wurde zu $E_s = 0,5 \text{ MN/m}^2$ ermittelt.

Im Hinblick auf den für die Baudurchführung erforderlichen Arbeitsraum und eine entsprechende Kostenoptimierung ergab sich eine Stärke der einzubauenden Torfschicht von 80cm zwischen Behälterwand und Gebirge. Diese Schicht wurde in der statischen Berechnung des Behälters durch einzelne Federn diskretisiert (Fig. 5), wobei sich die Federsteifigkeit ergibt aus der Beziehung

$$c = \frac{P \cdot a \cdot b}{\nu \cdot d} = \frac{E \cdot a \cdot b}{d}$$

Der in die Berechnung einzuführende Elastizitätsmodul ergibt sich aus den eingangs angegebenen Steigemoduli E_s für den Fels und den Torf nach der Beziehung $E = E_s [1 - \frac{2 \cdot v^2}{1 + v}]$, $v = 0.3$

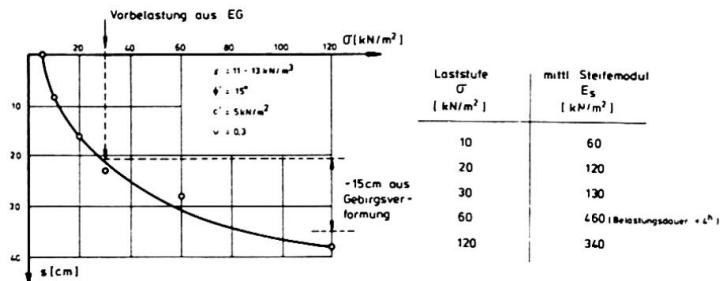


Fig. 4 Lastsetzungslinie Torf

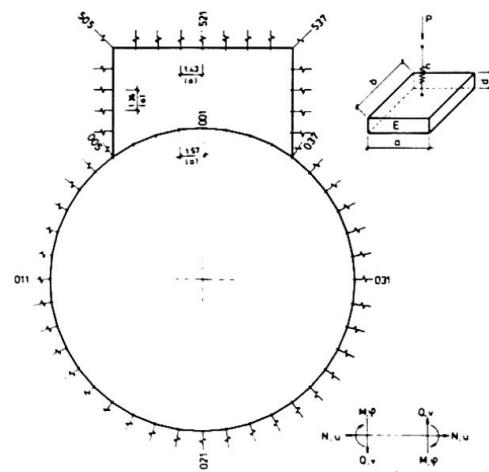
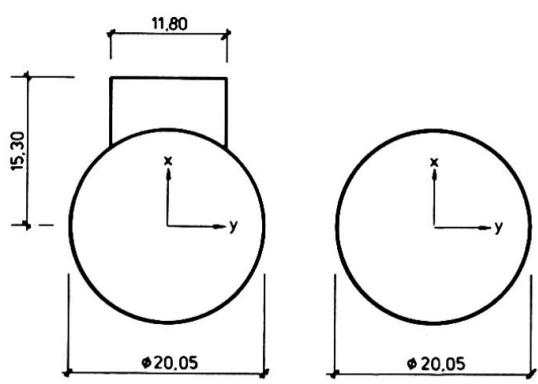


Fig. 5 Abfederung der Grundkonstruktion

Die Lasteinwirkungen wurden an den in Fig.6 dargestellten Einzelsystemen untersucht. Die Berechnung als geschlossenes Behälter- system hätte zu schwer kontrollierbaren Spannungszuständen geführt, die auch durch Bewehrungen nicht klar abgedeckt werden konnten.

Die Wechselwirkung zwischen Gebirge, Torfpolster und Bauwerk wurde an einem Gedankenmodell von 76,2/76,2m mit Hilfe Finiter Elemente errechnet. Als Auszug aus dieser Berechnung zeigt Fig.7 den Momentenverlauf an beiden Systemen unter dem ungünstigen Lastfall "Bergbaueinwirkung unter 45°" und "Wasserdruck". Die Verformungen, die diesen Momentenbildern analog verlaufen, lassen die unterschiedlichen Bewegungen an den Systemrändern erkennen. Sie betragen bis zu $\pm 4\text{cm}$.



Schnitt A - A

Schnitt B - B

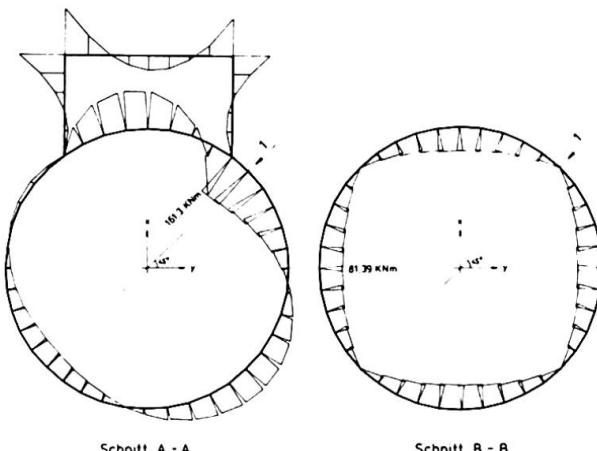


Fig.6 Grundsysteme

Fig. 7 Momentenverlauf

2.4 Konstruktive Besonderheiten

Um diese Bewegungen aufnehmen zu können, mußte der Fugenausbildung besondere Aufmerksamkeit gewidmet werden. Nach der Abb. 1a sind die systembezogenen Bewegungsübergänge zunächst vorhanden oberhalb der Sohlplatte, auf der Höhe -11,0 und unterhalb der Deckenkonstruktion. In diesen genannten Schnittebenen müssen die Vertikallasten V , die Horizontallasten H und die damit einhergehenden Verformungen aufgenommen werden. Darüber hinaus müssen sie

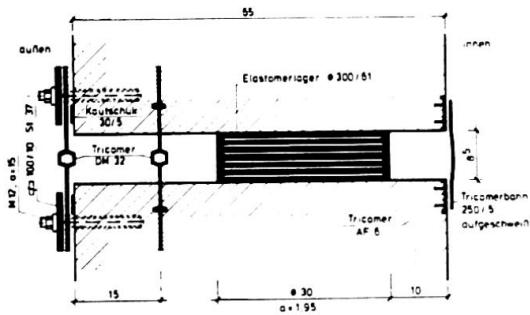


Fig.8 Fugenausbildung

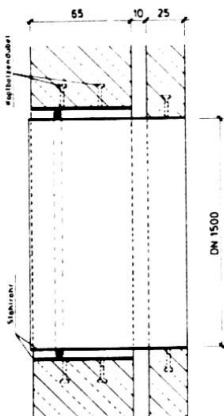


Fig.9 Rohreinlauf

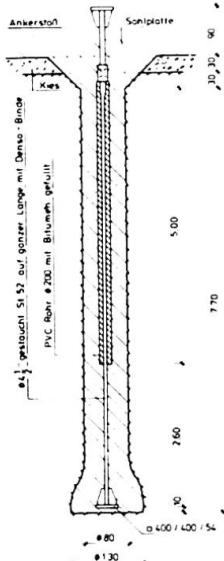


Fig.10 Ankerpfahl

tivierung des Bodengewichtes eine Verbreiterung auf 1,30m (Fig.10). Die Pfähle sind ringförmig mit einem Durchmesser von 8,18m in der Sohlplatte angeordnet. Bei der zu erwartenden bergbaubedingten Verschiebung von 7,7% erfährt der Ankerkopf eine Bewegung von 32mm. Bei starrer Einspannung würde das zum Bruch des Stahlankers führen. Wie Fig.10 zeigt, wurde der Ankerstab auf 5,0m Länge mit einem mit Bitumen gefüllten Plastikrohr ummantelt, um so eine Verformungsmöglichkeit zu gewährleisten.

der Forderung nach Wasserdichtigkeit genügen. Fig.8 zeigt die Lösung. Die V und H-Lasten werden durch bewehrte Neoprenlager mit Abmessungen Ø 300/61 im Abstand von 1,95m aufgenommen. Diese Lagerkörper haben ein Verschiebungsvermögen von 42,5mm. Die eigentliche Behälterdichtigkeit wird erreicht durch ein hinter den Lagern angeordnetes Kunststoff-Fugenband mit Mittelschlauch auf Polymerbasis, ausgelegt auf einen Bewegungsspielraum von 40mm. Da ein auswechseln dieser Teile nicht mehr möglich ist, wurde die Bewegungsfuge zusätzlich an den Außenkanten durch bewegliche Fugenbänder verschlossen, um einem Korrosionsverfall vorzubeugen. Für die betriebliche Funktion der Behälteranlage waren Einbauten vorzunehmen (Fig.1a), die bewegungsfrei von der Wandkonstruktion zu halten waren. Für den Wassereinlauf von der Pumpenkammer in die Verteilungskammer war dabei eine verschiebbliche Rohrkonstruktion vorzusehen, die die Bewegung von ±40mm mitmacht (Fig.9).

2.5 Auftriebssicherung

Der Behälter taucht im Endausbau 19,0m in das Grundwasser ein. Er erfährt damit eine Auftriebskraft von 64 MN. Dieser Kraft konnte kein entsprechendes Eigengewicht gegenübergestellt werden. Die Wandstärken konnten zur Gewichtserhöhung nicht verstärkt werden, da sie im Hinblick auf die Verformungen elastisch gehalten werden mußten. Eine Aktivierung der Wandreibung war wegen der erforderlichen Torfpolsterschicht nicht möglich. Die Restauftriebskraft $\Delta A = A-G$ mußte daher über Erdanker von der Sohle aus auf den Felsuntergrund übertragen werden. Dies erfolgte über 14 Stahlanker Ø 90/115mm in St 52, die bis in die Tiefe von -30,0 in Bohrlöcher Ø 80cm eingesetzt wurden mit anschließender Ausbetonierung. Der Fuß der so angelegten Großbohrpfähle erhielt zur Ak-