

Technische Akademie Esslingen

2. Kolloquium Bauen in Boden und Fels

18. u. 19. Januar 2000

***Baugrubenumschließungen -
wasserdurchlässig oder wasserdicht ?***

Was ist möglich, was muß sein ?

Dipl.-Ing. H. Steiger

Geschäftsführender Gesellschafter

Krebs und Kiefer

Beratende Ingenieure für das Bauwesen GmbH

Darmstadt

Dipl.-Ing. H. Steiger	2.Koll. Bauen in Boden und Fels Baugrubenumschließungen wasserdurchlässig oder -dicht ?	Seite 1
-----------------------	---	------------

**Baugrubenumschließungen - wasserdurchlässig oder wasserdicht,
was ist möglich, was muß sein ?**

Bei der Abwicklung von Planungsprozessen muß sich die Bautechnik neben ihren Standardaufgaben (Standortsicherheitsnachweise, Gebrauchstauglichkeitsnachweise, Interaktionen) auch mit den Aspekten der Naturgewalten - Wasser, Wind, Feuer, Erdbeben -, befassen. Von diesen beeinflusst Wasser geotechnische Planungs- und Bauprozesse permanent und am stärksten!

1. Einführung

Zitat Thales von Milet :

"Wasser ist der Ursprung aller Dinge".

oder : **Wasser = Leben**

Die Elemente menschlichen Lebens auf der Erde sind Wasser, Luft und Licht.

Eines der großen Geheimnisse, warum das Leben auf der Erde vier Milliarden Jahre überdauern konnte, liegt in dem Spiel der unzähligen Naturkreisläufe. Der größte und umfangreichste darunter ist der des **Wassers**.

Unbeachtet der Erkenntnis, daß **Wasser** die Grundvoraussetzung natürlichen Lebens darstellt, bereitet es andererseits den Menschen und der Technik Probleme, stellt Einschränkungen und Bedrohungen dar, mit denen die Menschheit umgehen muß.

Wasser begrenzt den Lebensraum des Menschen, es stellt in Form von Flüssen lokale und in Form von Meeren globale oder kontinentale Hindernisse dar.

Der Mensch hat sich aber mit dieser Begrenzung seines Lebensraumes nicht abgefunden, sondern Möglichkeiten gesucht und gefunden, die **Wasserwege** zu queren und darüberhinaus diese als Transportwege zu nutzen.

Weiterhin hat es der technische Fortschritt realisiert, die Kraft des **Wassers**, d.h. den Strömungsdruck für die Energieerzeugung zu nutzen.

In der **Wasserversorgung** wurde **Wasser** schon von den Römern über weite Strecken gefördert und wird zur Trinkwassernutzung heute nahezu überall in vielfältigen Behältern vorgehalten.

Durch **Hochwasserschutzmaßnahmen** versucht der Mensch entlang den Flüssen und Küsten der Gewalt des **Wassers** mit mehr oder weniger Erfolg zu widerstehen.

Dipl.–Ing. H. Steiger	2.Koll. Bauen in Boden und Fels Baugrubenumschließungen wasserdurchlässig oder -dicht ?	Seite 2
-----------------------	---	------------

Diese wenigen ausgewählten Beispiele zeigen, daß immer Bauwerken eine wesentliche Bedeutung zukommt, wenn es darum geht, den Umgang mit dem Element **Wasser** in den Griff zu bekommen.

- **Wasser** stellt neben dem großen Aufgabengebiet der Werkstofftechnologie, Erforschung und Entwicklung neuer und tragfähigerer Werkstoffe sicher den größten Problembereich des Bauingenieurwesens dar.
- **Wasser/Flüsse** waren die ursprünglichen Veranlassungen für den Brückenbau.
- **Wasser** bereitet bei der Bauabwicklung (als Grundwasser oder oberirdisches fließendes Gewässer) die unterschiedlichsten Probleme.
- **Wasser** hat mit all seinen Wechselwirkungen oft nicht unerheblichen Einfluß auf die Gestaltung von Bauwerken im Endzustand (Auftrieb, Hochwasserfreiheit).
- **Wasser** stellt bei der Herstellung von künstlichen Werkstoffen ein wichtiges Medium dar (Beton).
- **Wasser** bereitet besondere Probleme, wenn es in seiner natürlichen Beschaffenheit oder durch industrielles Zutun in seiner Zusammensetzung als "belastet" einzustufen ist.

Welche Rolle spielt **Wasser** nun bei der Herstellung von **Baugruben** ?

Vor ca. 25 Jahren noch stand Grundwasser mit all seinen Auswirkungen bei der Planung von Baugrubensicherungen nicht im Vordergrund, es gab sozusagen kein Grundwasser. Dieses wurde unter das Aushubniveau abgesenkt und eine während der Bauzeit andauernde Grundwasserhaltung betrieben, die Umschließung konnte dann wasserdurchlässig ausgeführt werden.

Die abzuleitenden Pumpmengen waren wirtschaftlich beherrschbar, Einleitgenehmigungen waren unkomplizierter zu erlangen, Einleitgebühren hielten sich in Grenzen. Die mit der Absenkung verbundenen Nebenwirkungen (Setzungseinflüsse im Bereich der Absenkrichter, Behandlung und Ableitung des Pumpwassers) wurden in Kauf genommen, möglicherweise wurden diese Einflüsse leichter als unabdingbar hingenommen und Schadenersatzforderungen oder Gestattungen finanziell wesentlich geringer beziffert, als dies heute der Fall ist.

Dipl.-Ing. H. Steiger	2.Koll. Bauen in Boden und Fels Baugrubenumschließungen wasserdurchlässig oder -dicht ?	Seite 3
-----------------------	---	----------------

Sicher war das in der Vergangenheit weniger sensibilisierte Umweltbewusstsein verantwortlich dafür, daß man bei Planungen und Bauabwicklungen mit Grundwasservorkommen weniger aufmerksam umging, als dies heute der Fall ist.

Fehler und Unterlassungen, die in der Vergangenheit ohne Absicht vorkamen, kann man sich heutzutage nicht mehr leisten. Die Verdichtung von Bauvorhaben, z.B. in Innenstädten hat beachtlich zugenommen. Daneben ist die allgemeine Belastung der Umwelt als Opfer der technischen Entwicklung bereits sehr weit vorgeschritten. Dem Element Wasser gebührt daher bei allen Planungen von Bauvorhaben höchste Rücksichtnahme und alle nur erdenklichen Schutzvorkehrungen.

Dem trägt sicher das heute doch allgemein stark entwickelte Umweltbewußtsein Rechnung. Die Lösung kann aber auch nicht darin bestehen, daß bei allen zukünftigen Bauvorhaben und den zugehörigen unvermeidbaren Baugruben Umweltschutz ohne Rücksicht auf Kosten, Zweckmäßigkeit und mögliche Folgen auf die höchste Stufe gestellt wird.

Betreffend die wasserdurchlässige/wasserdichte Ausbildung von Baugruben existieren oft aus geotechnischen und bautechnischen Gründen Randbedingungen, die die eine oder andere Ausbildung zwingend erfordern. Bevor aber alleine aus Gründen des Grundwasserschutzes eine wasserdurchlässige Verbauwand in Kombination mit einer Grundwasserabsenkung verboten wird, sollten alle dieser Bauweise zugesprochenen negativen Begleiterscheinungen konkret nachgewiesen sowie die Argumente für und wider sachlich abgewogen werden.

Nur wenn Aufwendungen für Schutzmaßnahmen und die erzielten Wirkungen in einem vernünftigen Verhältnis stehen, wird das Ziel eines "umweltgerechten Bauens" erreicht werden können, nur dann werden wir hierfür von Bauherren die erforderlichen Mittel bereitgestellt bekommen.

Dipl.-Ing. H. Steiger	2.Koll. Bauen in Boden und Fels Baugrubenumschließungen wasserdurchlässig oder -dicht ?	Seite 4
-----------------------	---	------------

2. Baugrubensysteme - Planungsaspekte

Folgende Aspekte sind bei der Planung von Bauvorhaben zu berücksichtigen und deren Priorität abzuwägen:

- **geologische, hydrogeologische** (Vorgaben der Natur)
- **geotechnische** (Standsicherheit / Gebrauchstauglichkeit / Wechselwirkungen / Ausführungssicherheit)
- **umwelttechnische** (Auflagen der Umweltbehörden)
- **umweltpolitische** (Genehmigungsfähigkeit)
- **juristische** (Nachbarschaftsrecht / Genehmigungsfähigkeit/Anliegerinteressen)
- **finanzielle / terminliche** (Bauherrninteressen).

Die Rolle des Geotechnikers hat hierbei hinsichtlich Terminen und Kosten einen sehr hohen Stellenwert.

Beispiel : Auch wenn Hochhäuser sich dem Betrachter nur oberirdisch mit Ihrer Fassade präsentieren, gründen diese im Baugrund auf einem Fundament.

Der geotechnische Fachplaner hat daher bereits in einen sehr frühen Stadium des Planungsprozesses daraus abgeleitet grundlegende Abwägungen anzustellen und substantielle Entscheidungen für die Konstruktion oder auch Konzeption und damit den Kostenaufwand für das Bauwerke zu treffen.

Heute sind die Entscheidungen eines Bauherrn für oder wider eine bestimmte Konstruktion mehr und mehr finanziell und terminlich geprägt. Nicht selten beeinflusst er damit mehr oder weniger absichtlich die Bauausführung und das Handeln seiner Auftragnehmer.

Der mit einem Bauentwurf beauftragte Planer versucht natürlich dem Auftraggeberanspruch gerecht zu werden. Sein Handeln muß sich jedoch, unabhängig von sonstigen Interessen oder Zwängen, nacheinander wie folgt orientieren :

1. Standsicherheit - Gebrauchstauglichkeit

2. Umweltaspekte

3. terminliche und finanzielle Vorgaben.

Dipl.-Ing. H. Steiger	2.Koll. Bauen in Boden und Fels Baugrubenumschließungen wasserdurchlässig oder -dicht ?	Seite 5
-----------------------	---	------------

3. Wasserundurchlässige Baugrubenausbildung

Diese Bauweise garantiert die größte Genehmigungsfähigkeit und entspricht wegen dem geringsten Eingriff in den Grundwasserhaushalt Umweltaspekten am weitestgehendsten. Eine statische und geotechnische Notwendigkeit für diese sehr kostenaufwendige Bauweise ist bei sehr großen Durchlässigkeiten und Baugrubentiefen gegeben, wenn die sonst zu fördernden Grundwassermengen nicht mehr zu beherrschen sind. Bei stark setzungsempfindlicher Bebauung im Bereich des Absenktrichters kommt man um diese Bauweise ebenfalls nicht umhin. Dies trifft auch bei der Gefahr einer Trockenlegung wertvoller Umgebung zu.

Als Anhaltswerte für Setzungseinflüsse ist z.B. im Frankfurter Baugrund wegen der relativ großen Zusammendrückbarkeit (Erhöhung der wirksamen Spannungen) des Tonen erfahrungsgemäß mit 1 - 2 cm Setzung je 10 m Grundwasserabsenkung zu rechnen (s. diverse Veröffentlichungen Inst. f. Geotechnik TU-Darmstadt, Prof. Dr.-Ing. Katzenbach).

Bautechnisch stellt die Absperrung des und Abdichtung gegen das Grundwasser sowohl horizontal durch entsprechende Wandausbildungen als auch vertikal durch Sohlabdichtungen heute kein Problem dar. Mit den vielfältigen in jüngster Zeit in Berlin ausgeführten Baugruben liegen ausreichende Erfahrungen vor, hierzu verweise ich auf diesbezügliche umfangreiche Veröffentlichungen.

Von einer wirklich wasserundurchlässigen Baugrubensicherung kann aber nur im Falle einer ausgeführten Sohlabdichtung die Rede sein. Sehr oft wird bei entsprechend geologischem Vorkommen ein unterhalb der Aushubsohle anstehender dichter Horizont als Sohlabdichtung herangezogen.

Dieses Prinzip sei am Beispiel des Frankfurter Baugrundes erläutert :

In diesem steht Grundwasser (freier Grundwasserspiegel etwa 6 m unter Gelände) in mehreren untereinander verbundenen Stockwerken, vornehmlich in den im Ton eingelagerten Sandlinsen und klüftigen Kalksteinbänken an. Die horizontale Absperrung wird meist durch überschrittene Bohrpfahlwände erreicht, während die Sohlabdichtung durch den anstehenden Ton (in vertikaler Strömungsrichtung stark undurchlässig) gebildet wird. Die zur Standsicherheit der Baugrube gehörende Auftriebssicherheit wird dabei durch eine Grundwasser-Tiefenentspannung erzielt.

Am Beispiel der nach diesem Prinzip ageteuften Baugrube des MAIN TOWER muß festgestellt werden, daß trotz Umschließung der ca. 20 m tiefen Baugrube mit überschrittenen Bohrpfählen die erforderliche Tiefenentspannung noch ein Wasserandrang von ca. 100 m³ pro Stunde ergab. Gleichzeitig wurde im Quartär eine Absenkung von ca. 2 - 3 m festgestellt. Die Vorgabe einer minimalen Setzung der unmittelbar angrenzenden Nachbarbebauung

Dipl.-Ing. H. Steiger	2.Koll. Bauen in Boden und Fels Baugrubenumschließungen wasserdurchlässig oder -dicht ?	Seite 6
-----------------------	---	------------

Machbarkeitsgrenzen wasserundurchlässiger Baugruben

Die wesentlichen Kriterien für die Machbarkeitsgrenzen der Bauart wasserdichte Umschließung sind die Beanspruchungen der Baugrubenwände.

Diese werden mit vollem Wasserdruck und dem entstehenden Erddruck belastet. Während der Wasserdruck von den Tiefenverhältnissen abhängt, ergibt sich der Erddruck darüberhinaus auch als Größe der Bodenart.

Da in bindigen Böden die Ankertragfähigkeiten deutlich unter denen der nichtbindigen, rolligen Böden liegen, hängen die möglichen Baugrubentiefen von der Belastbarkeit des umgebenden Bodens mit Ankerkräften ab.

Während im Berliner Sandboden Ankerkräfte in der Größenordnung von ca. 850 kN möglich sind, kann im Rhein-Main-Gebiet bei Anordnung der Injektionskörper im Quartär mit höchstens 500 kN und im Tertiär mit nur ca. 350 kN gerechnet werden.

Die Ausnutzung der möglichen Ankerkräfte setzt einen Mindestankerabstand von $\geq 1,0$ m im Bereich der Injektionskörper voraus. Bereits bei Erreichen dieses Grenzwertes sind zur Kontrolle Gruppenprüfungen notwendig.

Aber auch aus Herstellungsgründen (Bohrabweichungen) sollten diese Mindestabstände nicht unterschritten werden.

Weiterhin ist zu beobachten, daß rückverankerte Verbauwände vornehmlich in bindigen Böden bei größeren Aushubtiefen große Horizontalverschiebungen aufweisen (Fangedammeffekt), denen man nur mit hohen Ankervorspannkräften und bereichsweise überdimensionierten Ankerlängen begegnen kann. Hierdurch soll im Bereich der Kraftübertragungsstrecken im rückliegenden Boden ein Abriß des "Fangedammes" mit Setzungserscheinungen vermieden werden. Aber auch Ankerlängen unterliegen einer herstellungsbedingten Obergrenze. Bei ungünstigen Grundrißgeometrien, d.h. linienförmigen Bauwerken wählt man daher oft Festpunktaussteifungen.

Wiederum am Beispiel Frankfurter Baugrund dargestellt bewegen sich die Grenztiefen rückverankerter Baugruben mit horizontal undurchlässiger Verbauwand, also mit Belastung durch unabgeminderten Außenwasserdruck um 15 bis max. 16 m.

Mit Überschreiten dieser Baugrubentiefen sind daher zur horizontalen Stützung der Wände nur noch Aussteifungen möglich, es sei denn, eine Entspannung mit gleichzeitigem Belastungsabbau läßt sich realisieren.

Zur Zeit befindet sich eine weitere tiefe Baugrube in der Frankfurter Innenstadt in der Ausführung. Im Hinblick auf die unmittelbare Umgebung, auf drei Seiten angrenzende Straßen davon auf zwei Seiten gegenüberliegende Bebauung mit bis zu 7 Geschossen, auf der dritten Seite Grenzbebauung mit 4 Geschossen, wurde eine wasserdichte Umschließung geplant, die Baugrubenwände rückverankert, die Aushubtiefe beträgt 16,70 bis 17,70 m.

Dipl.-Ing. H. Steiger	2.Koll. Bauen in Boden und Fels Baugrubenumschließungen wasserdurchlässig oder -dicht ?	Seite 7
-----------------------	---	------------

Um dieses System im statischen Nachweis umsetzen zu können, war es erforderlich, das mit Kalksteinbänken durchsetzte Tonpaket oberhalb der Aushubsohle mit Grundwasserentspannungsanlagen zu entwässern.

Hierdurch wird ein abgeminderter Bemessungswasserdruck möglich.

Trotz dieser Maßnahmen müssen die Bohrpfahlwände noch 4-lagig rückverankert werden. Es ergeben sich Ankerlasten von ca. 350 kN. Die Ankerabstände betragen min 75 cm und die Ankerlängen reichen bis zu 40 m.

Auch in diesem Fall wurde die trotz wasserdichter Umschließung anfallende Wassermenge der Tiefenentspannung mit 100 m^3 und diejenige aus den Entspannungsanlagen mit 20 - 30 m^3 pro Stunde prognostiziert.

(Zum Vergleich beträgt die zulässige Restwassermenge bei wasserdichten Baugruben in Berlin $1,5 \text{ l/sec. u. } 1000 \text{ m}^2 = 5,4 \text{ m}^3/\text{h und. } 1000 \text{ m}^2$.)

Diese Dimensionen zeigen, daß in diesem Fall die Grenze der Machbarkeit erreicht ist.

Bei größeren Aushubtiefen oder noch ungünstigeren Verhältnissen (z.B. bei unmittelbar angrenzender höherer und sensiblerer Bebauung) sind daher bei diesen Bodenverhältnissen Baugruben nur noch mit Aussteifung oder Grundwasserabsenkung realisierbar.

Um den durch eine Aussteifung entstehenden Kostenaufwand zu minimieren und Aussteifungen als reine Hilfsmaßnahmen durch Eingliederung in das endgültige Bauwerk zu vermeiden, sei noch die Möglichkeit einer Deckelbauweise (s.Hochhaus MAIN TOWER) erwähnt.

In allen Fällen einer Aussteifung ist allerdings festzustellen, daß der Herstellungsablauf des Bauwerkes behindert wird. Logistisch ist die Rückverankerung immer einer Aussteifung vorzuziehen.

Dipl.-Ing. H. Steiger	2.Koll. Bauen in Boden und Fels Baugrubenumschließungen wasserdurchlässig oder -dicht ?	Seite 8
-----------------------	---	------------

4. Nicht wasserdruckhaltende Verbauwände

Auch wenn eine Baugrube im Grundwasser herzustellen ist, kann dies z.B. mit einer Trägerbohlwand (dem sogenannten Berliner Verbau) allerdings nur in Verbindung mit einer Grundwasserabsenkung erfolgen.

Diese einfache und sehr kostengünstige Verbauart wurde beim Bau der Berliner U-Bahn am Ende des 19. Jahrhunderts erstmals und zwar für Baugruben im Grundwasser eingesetzt, wobei allerdings gegenüber den heutigen Bauvorhaben bei geringeren Baugrubentiefen wesentlich geringere Eingriffe in das Grundwasser notwendig waren. Geeignet ist dieses Verbausystem in wasserdurchlässigen Böden, bei denen ein Absenkerfolg garantiert ist und die anfallende Pumpmenge im Beharrungszustand eine wirtschaftliche Grundwasserhaltung erlaubt.

Die Herstellungsweise hat im Gegensatz zu Bohrpfehl- oder Schlitzwänden größere Auflockerungen zur Folge, das System Trägerbohlwand ist mit großen Anliegesetzungen behaftet. Die zugehörige notwendige Grundwasserabsenkung hat eine Erhöhung der wirksamen Bodenspannungen zur Folge und erzeugt damit im Bereich des Absenkertrichters Setzungen. Einen erhöhten aktiven Erddruck wird man nur sehr fraglich, einen Ruhedruck wird man mit einem solchen System nicht erzielen können, getroffene Rechenannahmen spielen diesbezüglich keine Rolle.

Als ein weiterer Aspekt gewinnt möglicherweise die durch eine Grundwasserabsenkung verursachte Herbeiziehung von Bodenverunreinigungen an Bedeutung

Aus den vorgenannten Sachverhalten leiten sich die Anwendungsgrenzen dieser Bauart ab. Diese sind :

- **die Standsicherheit von Nachbarbebauung darf durch systembedingte Horizontalverformungen nicht gefährdet werden**
- **die Setzungen dürfen an Nachbarbebauung keine unzulässigen Schäden hervorrufen**
- **die Grundwasserabsenkung muß beherrschbar sein, mögliche Kontaminationen und deren Behandlung müssen kalkulierbar sein.**

Unter allen Aspekten rangiert die Standsicherheit an höchster Stelle.

Da Setzungen und deren Einflüsse auf die Standsicherheit und Gebrauchstauglichkeit von betroffenen Nachbarbebauungen nur sehr schwer zutreffend vorberechnet werden können, dienen Prognosen zunächst als Beurteilungskriterien. Es ist verständlich und auch naheliegend, daß heutzutage Systemen mit den geringsten Risikofaktoren allgemein der Vorzug gegeben wird.

Dipl.-Ing. H. Steiger	2.Koll. Bauen in Boden und Fels Baugrubenumschließungen wasserdurchlässig oder -dicht ?	Seite 9
-----------------------	---	------------

Trotzdem sollte die beschriebene Bauweise in der Planung nicht vorschnell durch Entscheidungen zugunsten einer wasserundurchlässigen Bauweise hinfällig werden.

Erst nach Abwägen und rechnerischem Nachweis aller Risikofaktoren sowie nach finanzieller Bewertung sollte dieses System beiseite gelegt werden. In der Vergangenheit wurden durchaus Bauvorhaben mit Grundwasserabsenkungen durchgeführt, ohne daß die damit verbundenen Setzungen zu unverträglichen Schäden an umliegenden Gebäuden führten.

Dipl.-Ing. H. Steiger	2.Koll. Bauen in Boden und Fels Baugrubenumschließungen wasserdurchlässig oder -dicht ?	Seite 10
-----------------------	---	-------------

5. Ausblick

Der Beitrag soll keinesfalls den im Rückblick gesehen sicher nur mühsam erreichten Standard der Ausbildung von wasserundurchlässigen Baugruben als übertrieben darstellen. Dies war oft nur durch hartnäckigen Druck auf die Geldbeutel der Bauherrn zu realisieren.

Bei manchen Projekten ist jedoch festzustellen, daß sicherlich bedingt durch den heute seitens der Bauherren hervorgerufenen großen Termindruck sehr früh Entscheidungen getroffen werden, deren Reichweite und Konsequenzen zeitlich lange vor dem Vorplanungsstadium noch nicht überblickt werden können. Sehr oft ist eine Umkehr in späteren Planungsphasen, nämlich dann wenn alle Änderungen der von Planungsbeginn existierenden Vorstellungen vorgenommen sind, nicht mehr möglich.

Die standsichere Ausführung, natürlich unter Beachtung aller sonstiger Aspekte, ist und bleibt oberstes Gebot.

Von Machbarkeitsgrenzen sollte hierbei ein ausreichender Abstand eingehalten werden, schließlich unterliegen die tatsächlich auftretenden Belastungen und Beanspruchbarkeiten den üblichen Streubreiten des natürlichen Werkstoffes Boden.