

# Herstellung von Zuggliedern in aggressivem Grundwasser

Dipl.-Ing. Horst Köster, Stump Spezialtiefbau GmbH, ZN Hannover  
Dipl.-Ing. Klaus Dietz, Dietz Geotechnik Consult GmbH, Hilden

*Für die permanente Verankerung von Stützbauwerken müssen häufig aufwändige Sonderkonstruktionen gewählt werden, da Zugglieder in stark aggressivem Grundwasser, unter anderem gemäß DIN 4125, nicht oder nur eingeschränkt eingesetzt werden dürfen. Am Beispiel der Baustelle Küstenkanal, Stadtstrecke Oldenburg, werden verschiedene Sondermaßnahmen diskutiert und die gewählte Lösungsvariante zum Einbringen der Zugglieder vorgestellt.*

## 1. Einleitung

Das Herstellen von dauerhaften Zuggliedern in beton-aggressivem Grundwasser ist problematisch, da die negativen Einwirkungen auf die Tragfähigkeit nur unzureichend abgeschätzt werden können. In den Regelwerken DIN 4128 für Verpresspfähle und DIN 4125 für Verpressanker sowie in den einschlägigen bauaufsichtlichen Zulassungen sind dazu eindeutige Angaben gemacht worden. In den neuen europäischen Ausführungsnormen wird diese Problemstellung nicht ausreichend behandelt. Dieser Beitrag soll Anregung zur weiteren Diskussion geben.

## 2. Arten von aggressivem Grundwasser

Wasser wird als aggressiv bezeichnet, wenn es Bestandteile enthält, die zu einer Beeinträchtigung der Lebensdauer von Einbauten führen. Es wird zwischen Stahlaggressivität und Betonaggressivität unterschieden. Der Angriffsgrad ist in DIN 4030 beziehungsweise in DIN 1045-2 für Beton und Zement sowie in DIN 50929 für Stahlbauteile definiert.

Durch die konstruktive Ausbildung der Zugglieder, zum Beispiel mit PE-Hüllrohren, sind diese vor Angriff auf den Stahl geschützt. Eine

Herstellung von Zuggliedern ist bei dieser Angriffsform unter Beachtung der konstruktiven Details und einer entsprechenden Qualitätskontrolle in jedem Fall möglich.

Untersuchung	Angriffsgrad		
	schwach angreifend	stark angreifend	sehr stark angreifend
pH-Wert	6,5 – 5,5	< 5,5 – 4,5	< 4,5
kalklösende Kohlensäure CO <sub>2</sub> mg/l	15 – 40	> 40 – 100	< 100
Ammonium NH <sub>4</sub> <sup>+</sup> mg/	15 – 30	> 30 – 60	> 60
Magnesium Mg <sup>2+</sup> mg/	15 – 30	>1000 - 3000	> 3000
Sulfat SO <sub>4</sub> <sup>2-</sup> mg/	200 – 600	> 600 – 3000	> 3000

Bild 1. Grenzwerte zur Beurteilung des Angriffsgrades von Wässern vorwiegend natürlicher Zusammensetzung DIN 4030 (Auszug Tabelle 4)

Beim Vorhandensein von betonangreifenden Wässern sind die Lösungsmöglichkeiten schwieriger, da der abgebundene Zementstein den Verbund von Tragglied zum Untergrund bildet. Die Beeinträchtigung des Zementsteins hat daher unmittelbar Auswirkung auf die äußere Tragfähigkeit der Zugglieder. Abhängig vom Angriffsgrad und der Angriffsart (Bild1) müssen unterschiedliche Lösungswege gewählt werden.

Auf Sulfatangriff kann durch den Einsatz von HS-Zement reagiert werden. Bei kalklösender Kohlensäure steht eine solche Alternative nicht zur Verfügung. Hier müssen konstruktive Lösungswege gesucht werden.

### 3. Einschränkungen und Lösungen bei aggressivem (kalklösende Kohlensäure) Grundwasser

#### 3.1 Lockergestein

Im Lockergestein wurden Versuche von Mans [7] sowie Tryiandafyllidis und Hof [8] durchgeführt, die zeigen, dass der Verlust an Vorspannkraft stark abhängig von der Konzentration der kalklösenden Kohlensäure und der Geschwindigkeit der Umströmung ist. An der benetzten Grenzschicht Zementkörper/Boden treten im Wesentlichen zwei Effekte auf. Zum einen bewirkt der Massenverlust an der Oberfläche des Zementkörpers durch den lösenden Angriff eine Reduzierung der Verspannung zwischen Verpresskörper und Boden, zum anderen führt die Ausbildung einer amorphen Silikatgelschicht vermutlich zu einer Reduzierung des Reibungswiderstandes in der Kontaktfläche. Dabei reicht schon eine äußerst geringe Schädigungstiefe aus, um die Tragfähigkeit des Zuggliedes negativ zu beeinflussen[7].

Bisher stehen keine Gegenmaßnahmen aus dem Bereich der Zementtechnologie zur Verfügung, um auf diese negativen Effekte zu reagieren. Eine konstruktive Gegenmaßnahme wird am Beispiel der Stadtstrecke Oldenburg anschließend vorgestellt.

#### 3.2 Fels

Wie in 3.1 erläutert hat die Umströmung einen großen Einfluss auf die negativen Veränderungen bei einem Angriff durch kalklösende Kohlensäure. Im Fels ist der Kontakt des Verpresskörpers zum Grund(Kluft)-Wasser stark von der Klüftigkeit abhängig. Durch eine entsprechende Vorinjektion ist es möglich, die kalklösende Kohlensäure vom Zementkörper fernzuhalten. An der Neubaustrecke Köln Rhein Main wurde diese Vorgehensweise erfolgreich für die Verankerung der Stützwand Hombach ausgeführt[9].

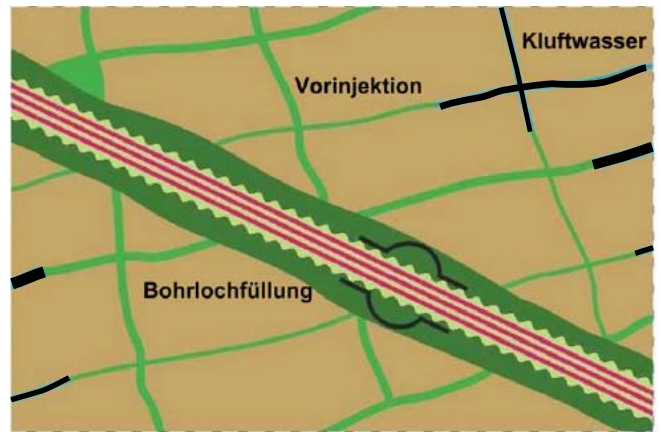


Bild 2. Beispiel für eine Vorinjektion im Fels bei betonaggressivem Kluftwasser[9]

### 4. Projekt Küstenkanal Oldenburg

Als Beispiel für eine konstruktive Lösung zum Einbau von Zugpfählen wird das Projekt Küstenkanal, Stadtstrecke Oldenburg erläutert. Der Küstenkanal verbindet die beiden Bundeswasserstraßen Hunte und Ems. Nach über 70 Jahren war die Spundwand in der Stadtlage Oldenburg nicht mehr standsicher. An mehreren Stellen wurden große Rostlöcher festgestellt, so dass unter Tideinfluss auch Bodenentzug hinter der Spundwand auftrat. Deshalb mussten die Spundwände einschließlich einer neuen Rückverankerung ersetzt werden.



Bild 3. Küstenkanal Stadtstrecke Oldenburg

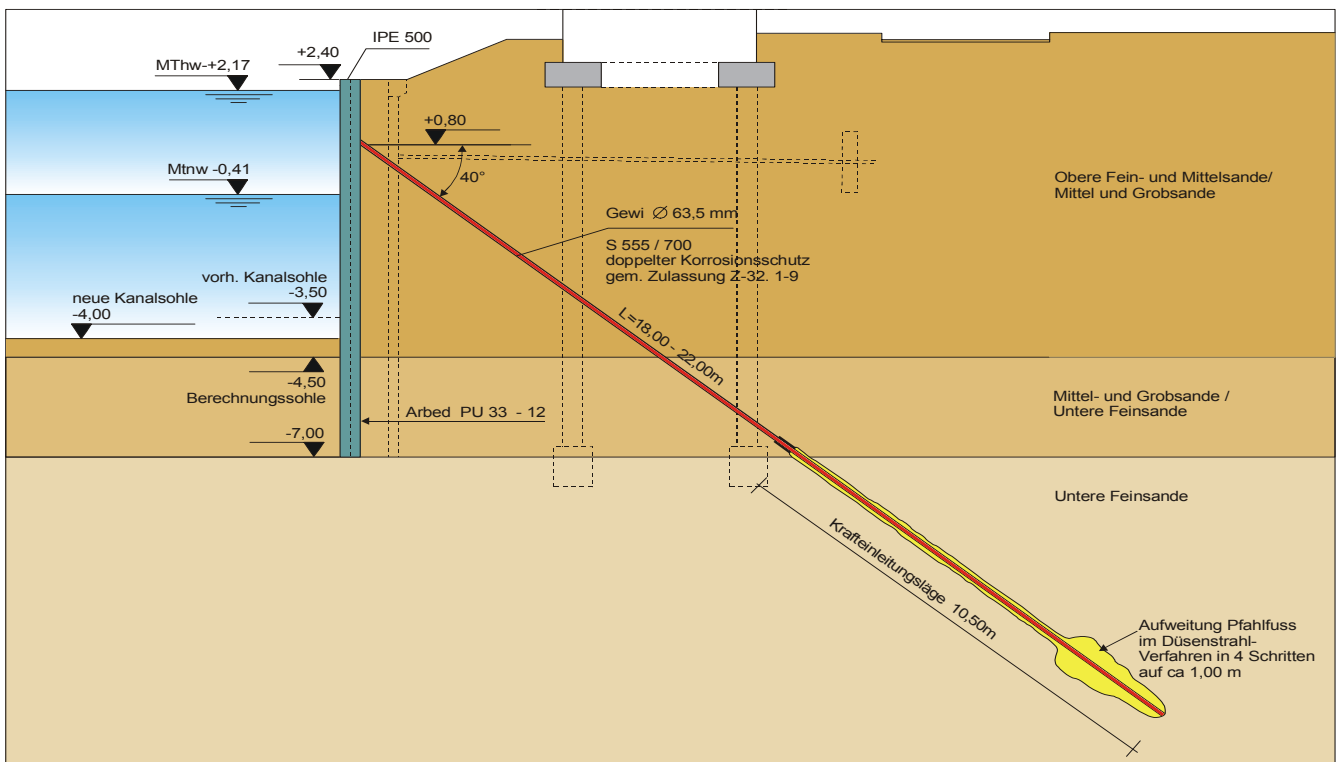


Bild 4. Systemschnitt Stadtstrecke Oldenburg

#### 4.1 Randbedingungen

Im Stadtbereich von Oldenburg wurde der Küstenkanal zwischen 1926 und 1928 als Rechteckquerschnitt mit einer lichten Weite von 27 m erbaut. Als Rückverankerung wurden „tote Männer“ eingesetzt.

Im Zuge der Sanierung wurde auf der Nordseite 1 m vor der alten Spundwand eine neue Spundwand geschlagen. Auf der Südseite liegt die neue Spundwand 5 m landseitig, so dass sich eine Kanalverbreiterung von 32 m ergibt. Außerdem wurde die Kanalrinne um 0,5 m vertieft. Die Verankerung der Spundwände erfolgte mit Zugpfählen gemäß DIN 4128. Zum Einsatz kamen GEWI-Pfähle Durchmesser 63,5mm mit doppeltem Korrosionsschutz gemäß Zulassung Z-32.1-9. Die Länge der Pfähle beträgt in der Regel 18,5 m. Die Krafteinleitung erfolgte in den unteren Feinsanden. Das Grundwasser wurde als stark betonangreifend infolge von kalklösender Kohlensäure gemäß DIN 4030 eingestuft. Bild 4 zeigt einen exemplarischen Schnitt.

Auf der Nordseite konnten die Verankerungsarbeiten nur mit schwimmendem Gerät von der Kanalseite aus durchgeführt werden. Die Arbeiten sind durch den Tideeinfluss erschwert worden.

Für die Arbeiten auf der Südseite wurde ein aufwändiges Ramm- und Bohrerüst errichtet, das im Bauzustand die alte Spundwand abstützte, da die Horizontalanker für die Rammarbeiten zuvor durchtrennt werden mussten.

#### 4.2 Konzept zur Herstellung der Pfähle in aggressivem Grundwasser

Um einen Verlust an Tragfähigkeit durch das aggressive Grundwasser (kalklösende Kohlensäure) auszuschließen, wurde mit Hilfe der DSV-Technik am Pfahlfuß eine Plombe gesetzt, die in der Lage ist, die auftretenden Zugkräfte über die Stirnfläche der DSV-Säule abzutragen (Ausbildung siehe Bild 4). In insgesamt 4 Teilstrecken wurde der Pfahlfuß auf den unteren 2,5 m auf bis zu 1,00 m aufgeweitet.

#### 4.3 Bemessung und Vorversuche

Die Länge der Aufweitungsstrecke wurde so dimensioniert, dass die Prüflast von 1.700 kN mit ausreichender Sicherheit über den Haftverbund Stahl/Zementmörtel abgetragen werden kann.

Die Haftspannung beträgt:

$$1.700 \text{ kN} / 0,5 \text{ m}^2 = 3.400 \text{ kN/m}^2$$



Bei einem Durchmesser der Stirnfläche des DSV-Körpers von 1,00 m ergibt sich unter der Prüflast eine nach oben gerichtete Flächenpressung von 2,1 MN/m<sup>2</sup>. Dieser Wert entspricht einer gängigen Größenordnung bei Großbohrpfählen. Vor Herstellung der Bauwerkspfähle wurden die gewählten DSV-Parameter an 2 Probestpfählen getestet und diese Pfähle einer Probelastung unterzogen.

Bild 5 stellt den Kraft-Verschiebungsverlauf dar. Die Prüflast von 1.700 kN konnte ohne Schwierigkeiten in die anstehenden Feinsande abgeleitet werden. Das Kriechmaß unter doppelter Gebrauchslast lag bei ungefähr 0,2 mm.

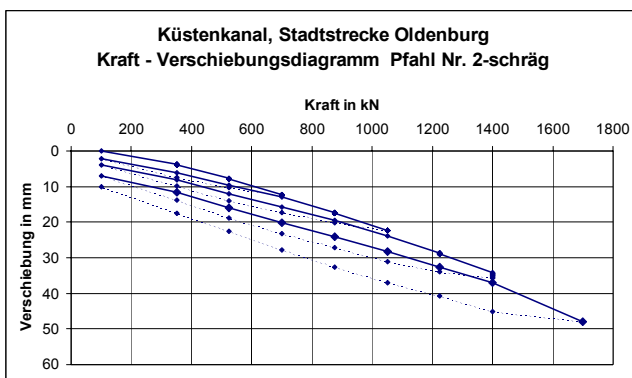


Bild 5. Ergebnis Pfahlprobelastung



Bild 6. Geräteeinheit

#### 4.4 Bauausführung

Insgesamt wurden 704 Pfähle nach dem gewählten Verfahren hergestellt. Die Bilder 6 und 7 geben einen Eindruck von der Baustellensituation wieder. Die Stadtlage der Baustelle erforderte einen hohen logistischen Aufwand, da der Materialtransport nur auf dem Wasserweg erfolgen durfte und die Schiffbarkeit des Kanals erhalten bleiben musste.



An 21 Bauwerkspfählen wurden weitere Zugprüfungen ohne nennenswerte Verformungen erfolgreich durchgeführt.

## 5. Zusammenfassung

Die Herstellung von Zuggliedern, besonders für dauerhaften Einsatz in aggressivem Grundwasser, erfordert große Sorgfalt bei Planung und Ausführung.

Durch geeignete konstruktive Maßnahmen ist es möglich auch unter ungünstigen Randbedingungen Zugglieder sicher und dauerhaft einzubauen. Beispielhaft dafür wird die Baustelle Küstenkanal, Stadtstrecke Oldenburg vorgestellt. Die Autoren danken dem Bauherrn, WSA Bremen, der BAW Außenstelle Küste und dem Auftraggeber, der Firma Johann Bunte, für die Aufgeschlossenheit und gute Zusammenarbeit.

## Quellennachweis

1. DIN 4125, Ausgabe November 1990
2. DIN 4128 Ausgabe März 1983
3. DIN EN 1537 Ausgabe Januar 2001
4. DIN EN 12199 Ausgabe Mai 2005
5. DIN 1045-2 Ausgabe Juli 2001
6. DIN 50929 Ausgabe September 1985
7. Mans, W.; Lange, H-D.: Einfluß aggressiver Wässer und Böden auf das Langzeitverhalten von Verpreßankern und Verpreßpfählen, 1993
8. Triandafyllidis, Th; Hof, C.: Forschungsvorhaben Tragverhalten von Verpressankern unter kalklösender CO<sub>2</sub> – Belastung, Mai 2003 Ruhruniversität Bochum
9. Dietz, K.; Köster, H.; Groß, T.: Sonderanwendungen von Verpresspfählen und Dauerankern, 16.Chr. Veder Kolloquium Graz, April 2001