Verträgt sich mit dem Grundwasser – der neue Niederdruckjetting-Pfahl

Franziska Nyffenegger
Wissenschaftliche Mitarbeiterin, Kompetenzbereich Geotechnik und Naturereignisse, BFH

Zohra Barhoumi
Assistentin, Kompetenzbereich Geotechnik und Naturereignisse, BFH

Bauland ist in der Schweiz begrenzt verfügbar. Heute wird deshalb häufig in Zonen mit schlecht tragfähigem, wassergesättigtem Baugrund gebaut. Für Baumassnahmen im Grundwasser gilt es, klare Vorgaben bezüglich des Grundwasserschutzes einzuhalten. Im Rahmen eines Forschungsprojekts haben die BFH und zwei Wirtschaftspartner einen neuen grundwasserverträglichen Niederdruckjetting(NDJ)-Pfahl entwickelt und dessen Unbedenklichkeit für das Grundwasser nachgewiesen.

In der Schweiz ist Bauland knapp. Bauprojekte, die heute realisiert werden, befinden sich häufig in Zonen mit schlecht tragfähigem, wassergesättigtem Baugrund. Werden unter solchen Verhältnissen Bauwerke realisiert, müssen diese mit Pfählen fundiert werden. Für Baumassnahmen im Grundwasser gilt es, Vorgaben einzuhalten, insbesondere bezüglich des Grundwasserschutzes. Die Pfahleinbauten dürfen die Grundwasserqualität und -quantität keinesfalls gefährden. Deshalb sind bei der Wahl des Pfahlsystems das Auswaschverhalten der Stoffe und die Pfahlgeometrie in Abhängigkeit der Tiefe unterhalb des Grundwasserspiegels zu berücksichtigen.

Die im Folgenden beschriebenen Untersuchungen wurden im Rahmen des Innosuisse-Projekts «Entwicklung eines grundwasserverträglichen NDJ-Pfahls» durchgeführt. Die Wirtschaftspartner Ghelma AG Spezialtiefbau und Holcim (Schweiz) AG entwickelten zusammen mit einem Projektteam der BFH als Forschungspartner einen NDJ-Pfahl und untersuchten insbesondere dessen Grundwasserverträglichkeit. Im Vorfeld des Projektes wurde mit Laborversuchen das Auswaschverhalten von Stoffen und die Verfrachtung von Pfahlmaterial getestet. Die Feldversuche des Forschungsprojekts hatten zum Ziel, die Grundwasserverträglichkeit unter realen Bedingungen zu prüfen.

Neues Niederdruckjetting-Pfahlsystem

Der NDJ-Pfahlkörper entsteht durch das Eindrehen einer Stahlstange in den Untergrund bei gleichzeitigem Einbringen des Pfahlmaterials unter Druck über Injektionsdüsen, die am unteren Ende der Stange angebracht sind (Abb. 1a). Das neu entwickelte Pfahlsystem hat entscheidende Vorteile gegenüber herkömmlichen Systemen. Durch das Selbstbohrsystem, bei dem das Gewinderohr gleichermassen verlorene Bohrstange und Bewehrungsstahl darstellt, entfallen das Ziehen der Verrohrung und das Einführen des Stahls. Damit kann die Einbauleistung gegenüber bisherigen Verfahren mit verrohrter Bohrung in der Regel verdoppelt werden. Durch die Rotation beim Bohren und die Injektionsdrücke (bis 250 bar), mit denen das anwendungsspezifische Spezialbindemittel eingebracht wird, erfolgen eine Ablagerung und eine formschlüssige Verzahnung

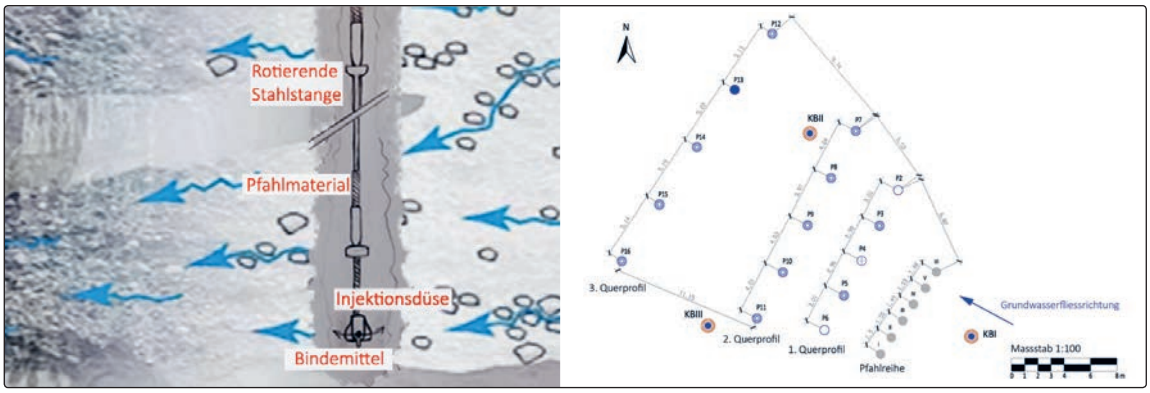

Abb. 1:
a) NDJ-Pfahlsystem (Pfahlmaterial = Gemisch aus Bindemittel, Wasser und Untergrundmaterial)
b) Anordnung von 6 NDJ-Pfählen und 18 Piezometerrohren (P2-P16 in Querprofilen und KBI-III)

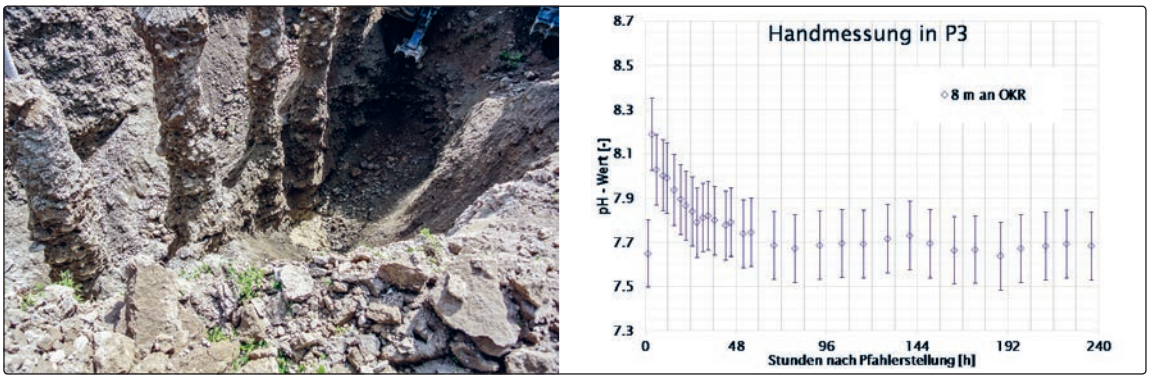

Abb. 2:
a) Freilegung der sechs NDJ-Pfähle bis unter den Grundwasserspiegel
b) Verlauf des pH-Werts (Fehlerindikator ±2%) während 10 h nach Pfahleinbau, Richtwert von 8.2 gemäss Eidgenössischem Departement des Innern (EDI), Bern (TBDV, 2016, Stand 2018)

mit dem Korngerüst. Dies wirkt sich erfahrungsgemäss positiv auf das Verfrachtungsverhalten von Pfahlmaterial und den Auswaschprozess aus.

Im Labor- und Feldversuch erfolgreich

Die Resultate der Untersuchungen im Labor sind positiv ausgefallen, d. h., die Auswaschung der untersuchten Parameter lag in einem tolerierbaren Bereich, und es konnte keine Verfrachtung von Pfahlmaterial festgestellt werden. Das neu entwickelte Pfahlsystem wurde unter realen Bedingungen im natürlichen Strömungsfeld untersucht. Dafür wurde in einem gesättigten Grundwasserschutzbereich Au (Au > für die Nutzung geeignetes Grundwasservorkommen) ein Versuchsfeld mit 18 Grundwasserüberwachungsstellen (Bohrungen mit eingebauten Piezometerrohren, Abb. 1b) eingerichtet. Der sandige Kies mit hoher Durchlässigkeit stellt für die geforderten Nachweise den Extremfall für die Verfrachtung des Pfahlmaterials und die Auswaschung von Stoffen ins Grundwasser dar (konservative Versuchsanordnung).

In einem ersten Schritt wurden die hydrogeologischen Verhältnisse durch ein Grundwassermonitoring und zwei Markierversuche zur Untersuchung des Fliessfelds erkundet. Parallel zu den Arbeiten im Feld wurde die gesamte Versuchsanordnung digital modelliert. Damit konnten die Ergebnisse aus dem Feldversuch verifiziert und nachgebildet werden.

Für den Hauptversuch wurden sechs NDJ-Pfähle in einer Reihe senkrecht zur Grundwasserfliessrichtung (Abb. 1b) erstellt und die Qualität des Grundwassers mittels Messungen bei den Grundwasserüberwachungsstellen kontrolliert.

Im Feld wurden Temperatur, elektrische Leitfähigkeit und pH-Wert gemessen. Weitere zu untersuchende Parameter[1] wurden aufgrund der Anforderungen der behördlichen Richtlinien und der Zusammensetzung des eingesetzten Materials festgelegt und in einem externen Labor analysiert.

Zur Beurteilung der Durchflussverminderung wurden die Pfähle freigelegt (Abb. 2a) und deren Geometrie in Abhängigkeit der Tiefe bis unter den Grundwasserspiegel analysiert. Die vorgefundene Pfahlgeometrie wurde mit den rechnerisch bestimmten Pfahldurchmessern verglichen und somit die Genauigkeit der Berechnungen bestimmt.

Ergebnisse eröffnen neue Möglichkeiten

Veränderungen wurden nur im ersten Querprofil (P2-P6, Abb. 1b) kurzfristig festgestellt. Dies bei den Parametern pH-Wert, Sulfat und DOC (dissolved organic carbon (DOC) > gelöster organischer Kohlenstoff). Es wurden keine Werte gemessen, die nicht mit den entsprechenden Werten aus Erlassen des BAFU vereinbar sind. Der kurzzeitige Anstieg des pH-Werts sowie die geringen Veränderungen von Sulfat und DOC werden als Reaktion des Grundwassers auf die Injektion der Pfähle interpretiert.

Die Verfrachtung von Pfahlmaterial wurde in schlecht kohäsivem, kiesigem Material mit grosser hydraulischer Durchlässigkeit untersucht. Es ist davon auszugehen, dass bei besseren Bedingungen die Auswaschung sowie die Verfrachtung geringer sind.

Abschliessend kann gesagt werden, dass die Fragestellung zu Grundwasserqualität und -quantität in Bezug auf NDJ-Pfähle im Grundwasserschutzbereich Au erfolgreich bearbeitet wurde. Einerseits konnte aufgezeigt werden, dass die Trinkwasserqualität durch die Injektionen nicht negativ beeinflusst wurde. Andererseits wurde gezeigt, dass der erforderliche Durchmesser des Injektionskörpers rechnerisch im Vorfeld der Pfählungsarbeiten ermittelt werden kann. Im Forschungsprojekt konnte nachgewiesen werden, dass der entwickelte neue NDJ-Pfahl für das Grundwasser unbedenklich ist. Daraus ergeben sich zahlreiche neue Anwendungen.

Kontakt
– franziska.nyffenegger@bfh.ch
– zohra.barhoumi@bfh.ch

Informationen
– bfh.ch/isi > Naturgefahren und Geotechnik

[1] **Physikalisch-chemische Parameter:** Leitfähigkeit, pH-Wert
Härteparameter und Kationen: Gesamthärte, Kalzium, Magnesium, Natrium, Kalium
Anionen: Chlorid, Sulfat
N- und P-Verbindungen: Nitrit
Elemente und Schwermetalle: Chrom (gesamt), Chrom-VI (gelöst), Strontium (gelöst)
Organische Summenparameter: DOC