

BetonKalender 2025

Inhaltsverzeichnis

Injektionen im Tunnelbau

Conrad Boley, Yashar Forouzandeh, Paul Pratter und Götz Tintelnot

1 Einleitung

Der französische Ingenieur Charles Berigny setzte im Jahr 1802 erstmals Feststoffinjektionen im Untergrund ein, um die Bodenfestigkeit im Bereich gefährdeter Schleusen zu erhöhen. In der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts fand die Injektionstechnik in Deutschland bei Bau- und Bergbauvorhaben Anwendung. Die erste deutsche Injektionsmaßnahme wurde im Jahr 1864 durchgeführt. Dabei wurde an einem der Rheinpreußen-Bergwerksschächte, bei Homburg, ein Bruch im Bereich der Mauerwerksauskleidung durch das Einbringen von Zementmilch abgedichtet. Die Injektionen wurden von der Oberfläche aus und mithilfe einer kleinen Handpumpe durchgeführt. Im Jahr 1876 setzte T. Hawksley zum ersten Mal eine Zementsuspension für die Abdichtung von Felsklüften unter Erddämmen ein. Ein chemisches Injektionsmaterial, bestehend aus Wasserglas und Kalziumchlorid, wurde erstmals 1887 von Jeziovsky zur Verkittung von Sand eingesetzt. Die Einzelkomponenten des Injektionsmaterials wurden von benachbarten Bohrungen aus in den Baugrund injiziert. Durch die Mischung der beiden Komponenten wurde in situ ein Gelbildungsprozess ausgelöst, der zu einer Bodenverfestigung führte. Natriumsilikat war von der ersten Verwendung im 19. Jahrhundert bis in die frühen 1950er-Jahre ein Synonym für chemische Injektion, da alle in diesem Zeitraum verwendeten chemischen Injektionsmaterialien auf Natriumsilikat basierten. Später wurden zahlreiche silikathaltige Injektionsmaterialien entwickelt und eingesetzt. Zwischen 1930 und 1940 wurden mehrere Injektionsarbeiten mit Natriumbikarbonat, Natriumaluminat, Salzsäure und Kupfersulfat als Reagenzien erfolgreich durchgeführt. In Japan wurde Anfang der 1960er-Jahre ein Injektionsmaterial auf Acrylamidbasis und einige Jahre später ein Polyurethan, das Grundwasser als Reaktanden verwendet, vermarktet. Heutzutage existiert eine Vielzahl an Injektionsmaterialien, die für Injektionen im Tunnelbau von Bedeutung sind. Die Produktpalette reicht von mineralischen Injektionsmaterialien, wie Zement, bis hin zu chemischen Injektionsmaterialien, wie Polyurethanharzen, deren Materialeigenschaften anwendungsfallbezogen eingestellt werden können.

- 1.1 Geschichte und Bedeutung
- 1.2 Begriffe und Bezeichnungen

2 Aktuelle Regelwerke und Empfehlungen

3 Injektionsmaterial

- 3.1 Partikuläre Injektionsmaterialien
 - 3.1.1 Organische Injektionsmaterialien
 - 3.1.2 Mineralische Injektionsmaterialien
- 3.2 Chemische Injektionsmaterialien
 - 3.2.1 Silikate
 - 3.2.2 Acrylate
 - 3.2.3 Polyurethane
 - 3.2.4 Epoxide
- 3.3 Hybridinjektion

4 Injektionstechnik

- 4.1 Injektionslanzen
 - 4.1.1 Art der Lanzen
 - 4.1.2 Anordnung der Lanzen und Beschränkungen
- 4.2 Bohrverfahren
- 4.3 Mischtechnik
- 4.4 Pumpentechnik
- 4.5 Monitoring

Fortsetzung, siehe Seite 2

BetonKalender 2025

Inhaltsverzeichnis

Injektionen im Tunnelbau

Conrad Boley, Yashar Forouzandeh, Paul Pratter und Götz Tintelnot

- 5 Entwurf und Bemessung**
- 5.1 Erforderliche Nachweise
- 5.2 Eigenschaften des Injektionsmaterials
 - 5.2.1 Rheologische Eigenschaften des Injektionsmaterials
 - 5.2.2 Verdünnungseffekt des Injektionsmaterials (Diffusion)
- 5.3 Baugrund-/Gebirgsparameter
 - 5.3.1 Durchlässigkeit
 - 5.3.2 Porosität
 - 5.3.3 Saugspannung
- 5.4 Injektionsverfahren ohne Verdrängung
 - 5.4.1 Injizierbarkeit des Untergrunds
 - 5.4.2 Reichweite und Ausbreitungsverhalten
- 5.5 Injektionsverfahren mit Verdrängung
- 5.6 Düsenstrahlverfahren
 - 5.6.1 Anwendbarkeit und Einwirkungsbereich
 - 5.6.2 Mechanische und hydraulische Eigenschaften

- 6 Anwendungen im Tunnelbau**
- 6.1 Tunnelvortrieb
- 6.2 Sanierung
- 6.3 Nachhaltigkeit und Dauerhaftigkeit
- 6.4 Deponie- und Recyclingfähigkeit

Literatur

Zusammenfassung

Materialien für Injektionen im Tunnelbau reichen von mineralischen Baustoffen, wie Zement, bis hin zu chemischen Injektionsmaterialien, wie Polyurethanharzen, deren Materialeigenschaften durch Einstellung der Mischung der Komponenten gesteuert werden können. Infolge der Injektion in Lockergestein oder geklüfteten Fels lassen sich die physikalischen Eigenschaften des Baugrundes, insbesondere die Festigkeit, die Steifigkeit und die Durchlässigkeit, gezielt beeinflussen. Im vorliegenden Beitrag wird die Boden- und Felsverbesserung durch Injektionen mit Fokus auf Anwendungen im Tunnelbau beschrieben. Es werden Hinweise für die Wahl an die Aufgabenstellung angepasster Materialien mitgeteilt. Ebenso wird auf die Möglichkeiten der rechnerischen Modellierung von Injektionen in Lockergestein und Fels eingegangen. Abschließend werden Aspekte der Nachhaltigkeit, Dauerhaftigkeit und Recyclingfähigkeit von injizierten Böden thematisiert

(Änderungen vorbehalten)