



Die BAUER Spezialtiefbau GmbH wurde mit der Sanierung der Bahnstrecke zwischen Neukirchen und Vilseck von der DB Netz AG beauftragt.

Bahndammsanierung mittels Mixed-in-Place-Verfahren

Von April bis August 2019 sanierte und modernisierte die Deutsche Bahn die Bahnstrecke zwischen Neukirchen (bei Sulzbach-Rosenberg) und Vilseck im Nordosten Bayerns. Für die Instandsetzung von insgesamt drei Bahndämmen beauftragte die DB Netz AG die BAUER Spezialtiefbau GmbH, die von Mitte Mai bis Mitte Juni in Tag- und Nachtschicht rund 2.700 Lamellen im Mixed-in-Place (MIP)-Verfahren herstellte. Zudem wurden ca. 50.000 m² Geogitter verlegt sowie rund 10.000 t Zement verbaut – eine zusätzliche logistische Herausforderung.

Abb.: BAUER Gruppe

Rund 1,6 Mrd. Euro investierte die Deutsche Bahn nach eigenen Angaben 2019 in Bayern für mehr Qualität im Schienennetz. Ab April wurde die Bahnstrecke zwischen Neukirchen (bei Sulzbach-Rosenberg) und Vilseck saniert. Die Bahnstrecke 5060 ist eine Abzweigung der Verbindung Nürnberg-Schwandorf, die bei Neukirchen in Richtung Weiden führt. Die etwa 50 km lange Strecke ging bereits 1875 in Betrieb und wurde im Jahre 1973 durch umfangreiche signaltechnische Erneuerungen zur Hauptbahn klassifiziert. Seit 2016 durfte der Streckenabschnitt nicht mehr mit Neigetechnik oder von Güterzügen befahren werden, da es aufgrund der durch die hohen Geschwindigkeiten und schweren Lasten entstehenden Erschütterungen zu Setzungen in den unteren Schichten des Dammaufbaus kam. Die BAUER Spezialtiefbau GmbH wurde zur Sanierung des Bahndamms von der DB Netz AG mit der Herstellung von Gründungselementen mittels Mixed-in-Place-Verfahren beauftragt. Die Ausführung erfolgte dabei auf Grundlage der erhaltenen „Zulassung zur Betriebsprüfung für das BAUER Mixed-In-Place-Verfahren (MIP-Verfahren) als Fahrwegtiefergründung“.

Das Mixed-in-Place-Verfahren

Beim Mixed-in-Place-Verfahren (MIP) werden durch In-situ-Vermischungen des anstehenden Bodens mit einer Ze-

mentsuspension bodenstabilisierende Elemente hergestellt. Dabei werden das Korngerüst bzw. der Boden durch das Abbohren einer Dreifachschnecke aufgebrochen, umgelagert und die Porenräume mit der am unteren Ende der Schnecke austretenden Bindemittelsuspension verfüllt. Nach dem Erreichen der Endtiefe wird durch das wechselseitige Drehen der einzelnen Schnecken und bei gegebenemfalls gleichzeitigem Auf- und Abbewegen des gesamten Schneckenstrangs das Boden-Bindemittelgemisch homogenisiert (Abb. 1). Dieses Verfahren, das von der BAUER Spezialtiefbau GmbH entwickelt wurde, kam erstmalig 1988 zum Einsatz. 1992 wurde es durch Bauer patentiert und erhielt 2002 die bauaufsichtliche Zulassung durch das Institut für Bautechnik in Berlin. Dank des seitdem weltweit gesammelten Know-hows ist die Anwendbarkeit des Mixed-in-Place-Verfahrens nahezu in allen Bodenformationen gewährleistet. Es kommt bei der Sanierung und Abdichtung von Deichen, bei der Umschließung von Baugruben sowie bei Baugrundverbesserungen zum Einsatz. Durch die Zulassung der Deutschen Bahn zur Betriebsprüfung wurde das Bauverfahren dieses Jahr erstmals bei der Herstellung von Fahrwegtiefergründungen auf einem Bahndamm eingesetzt. Im Vergleich zu den ursprünglich für das Projekt ausgeschriebenem Rüttelstopfsäu-

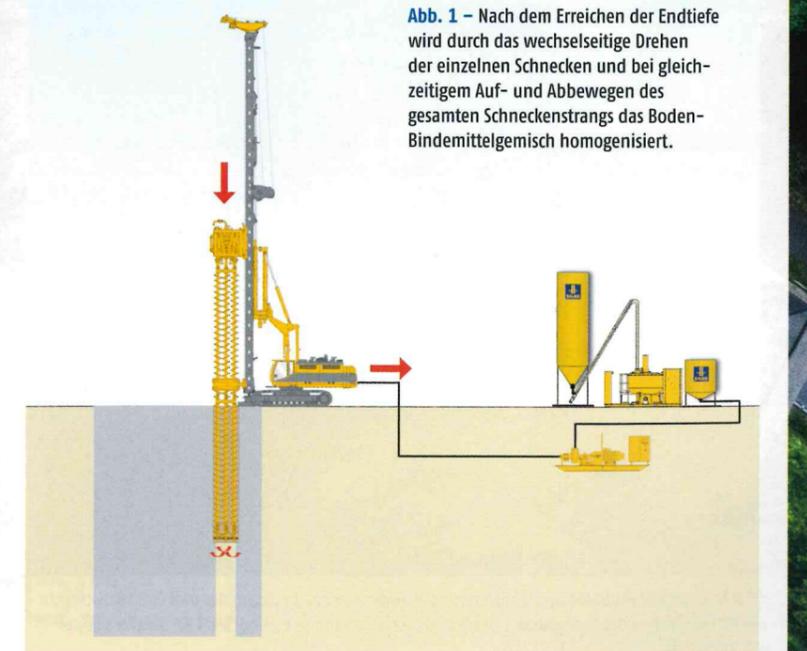


Abb. 1 – Nach dem Erreichen der Endtiefe wird durch das wechselseitige Drehen der einzelnen Schnecken und bei gleichzeitigem Auf- und Abbewegen des gesamten Schneckenstrangs das Boden-Bindemittelgemisch homogenisiert.



Abb. 2 – Zum Einsatz kamen zwei MIP-Bohrgeräte des Typs RG 19 mit einem Schneckendurchmesser von 370 mm und einer Bohrtiefe von maximal 12,6 m.



Abb. 3 – Zur Prüfung der auftretenden Verformung der Dämme wurde in jedem der drei Dammabschnitte jeweils ein Vertikalinklinometer eingebaut. Die Bohrungen wurden mit einer KLEMM KR 806 im Doppelsystem abgeteuft.

len brachte das MIP-Verfahren entscheidende Vorteile für die Sanierung der Dammabschnitte mit sich: Aufgrund der erschütterungsarmen Herstellung mittels Drehbohren wurde der Dammaufbau geschont und die Lärmemission deutlich geringer gehalten. Durch die Verwendung des anstehenden Bodens als Baustoff konnten zudem Ressourcen gespart und somit auch die Kosten für das Bauvorhaben deutlich gesenkt werden.

Bodenverhältnisse

Im Rahmen der geotechnischen Untersuchung der Bodenverhältnisse nahmen der Auftraggeber und das beauftragte Ingenieurbüro umfangreiche Erkundungen des Dammkörpers mittels Kernbohrungen, Kleinrammbohrungen, Drucksondierungen und Rammsondierungen vor. Hauptbestandteil der Dammkörper war überwiegend bindiges Material, das an den Dammkronen von sandigem bzw. leicht kiesigem Material überlagert wurde.

Bauablauf

Innerhalb einer Gesamtbauzeit von elf Wochen stellte Bauer in nur sechs Wochen unter Einsatz von vier MIP-Spezialgeräten rund 2.700 Einzellamellen auf den drei zu bearbeitenden Dammabschnitten her, was einer Fläche von ca. 42.000 m² entspricht. Um den straffen Zeitplan einhalten zu können, arbeitete das Team in Tag- und Nachtschicht im 24-Stunden-Betrieb, auch an Feiertagen und Wochenenden. Zum Einsatz kamen zwei MIP-Bohrgeräte des Typs RG 19 mit einem Schneckendurchmesser von 370 mm und einer Bohrtiefe von maximal 12,6 m (Abb. 2) sowie eine RG 25 S und eine RG 27 S mit einem Schneckendurchmesser von 550 mm und einer maximalen Bohrtiefe von 23,4 m. Nach dem Ausbau der Gleise und des Gleisschotter wurden rund 1,8 m der Bahndammkrone abgetragen und eine Arbeitsplattform für die MIP-Spezialgeräte hergestellt. Die Abtragung der Dammkrone war einerseits erforderlich, um eine ausreichende Arbeitsbreite für die Geräte zu sichern, andererseits, um den Damm durch das Einsatzgewicht der MIP-Maschinen nicht zusätzlich zu belasten. Um eine ausreichende Tragfähigkeit des Arbeitsplanums sicherzustellen, wurde mithilfe einer Fräse Bindemittel in die oberen Bereiche der Arbeitsebene eingebracht und anschließend verdichtet. Nach dem Aufbau der Spezialgeräte und der notwendigen Mischanlagen konnte mit der Produktion der MIP-Lamellen begonnen werden, wobei die Einmessung der einzelnen Lamellen mit-

Die Anwendbarkeit des MIP-Verfahrens ist nahezu in allen Bodenformationen gewährleistet. Es kommt z. B. bei der Sanierung von Deichen oder für Baugrundverbesserungen zum Einsatz.

tels GPS-Positionierung erfolgte. Die einzelnen, kreissegmentförmig angeordneten Scheiben wurden mittels GPS-Positionierung angefahren und im Anschluss nacheinander rückschreitend abgeteuft. Während der Herstellung der einzelnen MIP-Elemente wurden die notwendigen Herstellparameter, wie Einbaumengen, Bohrtiefen und Drehgeschwindigkeiten, ständig überwacht und automatisch aufgezeichnet. Nach der Herstellung der einzelnen MIP-Elemente wurden die Oberkanten jeweils auf die notwendige Höhe abgezogen und das überschüssige MIP-Material mithilfe von Baggern und Transportschleppern zu nahegelegenen Bereitstellungsflächen gebracht.

Eignungsprüfung

Während der gesamten Planung und Ausführung des Bauvorhabens griff ein umfangreiches Qualitätssicherungsprogramm.

Im Zuge der Ausführungsplanung wurde im Beisein von Fachgutachtern aus einer Vielzahl von Baggerschürfen Bodenproben aus den einzelnen Dammabschnitten entnommen. Anhand dieser Bodenproben ermittelte man im Rahmen von aufwendigen Eignungsversuchen die Zusammensetzung der Bindemittelsuspension sowie deren Mindesteinbaumenge. Die Bodenproben wurden mit verschiedenen Zementsuspensionen in den betriebseigenen Laboren der BAUER Spezialtiefbau GmbH verarbeitet und die dafür notwendigen Probekörper hergestellt. Anhand dieser Probekörper ermittelte das Bohrteam im Anschluss die Druckfestigkeit nach 7 bzw. 28 Tagen. Gemäß der Ausführungsplanung mussten dabei charakteristische Zylinderdruckfestigkeiten von ≥ 2 MPa nachgewiesen werden. Beim Produktionsstart wurden innerhalb festgelegter Probefelder mehrere Probee-

lemente hergestellt und anhand dieser die Herstellparameter – wie Einbaumenge oder Mischzeit – ermittelt bzw. angepasst. Des Weiteren überprüfte Bauer die Homogenität der hergestellten, noch frischen MIP-Lamellen visuell an Proben aus unterschiedlichen Stichtiefen.

Prüfung der Suspension, der mechanischen Eigenschaften und Homogenität

Bei der Ausführung des MIP-Verfahrens werden dem Gerätefahrer die maßgebenden Herstellparameter permanent über die eingebaute Elektronik angezeigt. Hierzu zählen der Suspensionsdurchfluss, die Suspensionsmenge, die Drehzahl der Schneckenantriebsmotoren, der Tiefenverlauf und die Bohrabweichung bzw. Vertikalität. Auch bei der Bahndammsanierung wurden alle hergestellten MIP-Elemente hinsichtlich ihrer Lage und Endtiefe automatisch vermessen und



Kompakte Informationen:
www.bbr-online.de
www.facebook.de/bbrfachmagazin



Jeder Aufgabe gewachsen!
Bohrlängen bis 1800 m und
Rohrdimensionen bis 1200 mm Ø

- Horizontalbohrungen in allen Bodenklassen, einschließlich Felsbohrungen
- Verlegung von Schutzrohren und Rohrleitungen aller Art
- Onshore-/Offshore-Verbindungen im Küstenbereich
- Dükerungen
- Arbeiten im Grundwasserbereich, Drainagen, Bewässerungen
- Versorgung unterirdischer Bauwerke
- Bodeninjektionen zur Stabilisierung von Hohlräumen im Erdreich

Heinrich-Niemeyer-Straße 50 - 48477 Hörstel-Riesenbeck
Tel.: (0 54 54) 93 05 - 0 - www.beermann.de

aufgezeichnet. Mithilfe von jeweils zwei Neigungssensoren in den Seelenrohren der äußeren Schnecken konnte die Lage der Dreifachschnecke in x- und y- Richtung vermessen werden. Dazu wurden die äußeren Schnecken mittels Näherungsschaltern am Schneckenstrang nacheinander in zwei Messpositionen (180°-Umschlagsmessung) gebracht. Die Lage der Dreifachschnecke auf Bohrendtiefe wurde dem Gerätefahrer in Echtzeit visualisiert. Gemäß den Vorgaben der Zulassung musste die Prüfung der Homogenität an 6 % der hergestellten MIP-Lamellen nachgewiesen werden. Die Entnahme der Frischmörtelproben erfolgte durch den Einsatz eines speziell entwickelten Tiefenentnahmegerätes. Die Proben wurden aus dem äußeren Drittel des MIP-Körpers entnommen und im Anschluss visuell überprüft und dokumentiert. Des Weiteren wurde die Homogenität über den Einbau eines Liners in eine frisch hergestellte MIP-Lamelle überprüft. Zu diesem Zweck tauchte man einen Liner auf eine Tiefe von ca. 9 m unter der Oberkante des MIP-Elements ein und sicherte diesen mittels Ballast gegen Auftrieb. Der Liner bestand aus einem Außen- und Innenrohr, wobei es sich um Brunnenrohre mit einem Durchmesser von 125 bzw. 175 mm handelte.



Abb. 4 – Zur Aufnahme von Zugkräften und zur besseren Lastverteilung auf die MIP-Gründungselemente wurde ca. 50.000 m² Geogitter in zwei Lagen auf den drei Dammschnitten verlegt.

Das Innenrohr füllte sich während des Abteufens mit dem Boden-Suspensionsgemisch. Nach zwei Tagen Aushärtezeit konnte das Rohr mithilfe eines Baggers aus der Lamelle gezogen werden. Durch das Öffnen des Liners konnte die Homogenität in unterschiedlichen Tiefen nachgewiesen werden. Zum Nachweis der mechanischen Eigenschaften wurden in jeder Produktionsschicht und pro Gerät insgesamt vier Probekörper aus dem Gemisch des komplett fertiggestellten Schlitzes entnommen und in dem auf der Baustelle geführten Probenbuch dokumentiert. Anhand der entnommenen Proben

wurde die Druckfestigkeit nach einer Aushärtezeit von 7, 28 und 56 Tagen überprüft. Zur Sicherstellung der notwendigen Lieferqualitäten der eingesetzten Suspensionsbestandteile Zement und Bentonit wurden von jeder Lieferung Rückstellproben genommen und eingelagert. Die Suspensionseigenschaften wurden während der Herstellung der MIP-Suspension ständig überwacht und entsprechende Messungen, wie etwa die Bestimmung der Suspensionsdichte, durchgeführt. Die tatsächlich erforderliche Suspensionseingangsmenge ergab sich nach den ersten Stichen und immer fortwährend bei der Aus-

führung der Arbeiten. Unter Beachtung der ermittelten Druckfestigkeiten wurden die durch die Eignungsprüfung ermittelten Mischrezepturen nach intensiver Abstimmung und Freigabe durch den von der Bahn zugelassenen Fachgutachter konstant optimiert.

Messprogramm, Schwingung und Setzung

Gemäß der Ausschreibung mussten während der gesamten Bauphase die Setzung der einzelnen Dammschnitte sowie die möglicherweise auftretenden Schwingungen an den Bestandsbauwerken überprüft werden. Die Überwachung des Dammbereichs und der betroffenen Bauwerke erfolgte mittels tachymetrischer Messungen und Schwingungsmessgeräten. Die Überwachungsmesspunkte, bestehend aus Spreizdübel/Montageflansch, Ver-

betrug hierbei 152 mm. Nach Einbringung der Inklinometerrohre wurde der Ringraum mit Zementsuspension verfüllt und das Bohrgestänge gezogen. Die Nullmessung der drei Inklinometer erfolgte kurz vor Inbetriebnahme der Strecke. Im weiteren Verlauf sind die Inklinometer über einen Zeitraum von fünf Jahren nach Inbetriebnahme mindestens einmal jährlich zu messen und auszuwerten.

Geogitter

Zur Aufnahme von Zugkräften und zur besseren Lastverteilung auf die MIP-Gründungselemente wurden in zwei Lagen ca. 50.000 m² Geogitter auf den drei Dammschnitten verlegt (Abb. 4). Für die Längs- und Querbahnen kam das Geogitter Typ Fortrac R 400/80-30 T der Firma Huesker zum Einsatz. Das aus PET gefertigte Gitter weist in Ausrollrichtung eine Zugfes-

Handarbeit. Die visuelle Überprüfung der überbauten Geogitterbahnen sowie die anschließenden Zugversuche zum Nachweis des in der Bemessung angesetzten Abminderungsfaktors A2 erfolgte im akkreditierten Labor der Firma Huesker.

Fazit

Durch das hochproduktive und qualitativ hochwertige Mixed-in-Place-Verfahren konnte die Tiefgründung der Bahndämme innerhalb des aufgrund der notwendigen Gleissperrungen sehr strengen Terminplans erfolgreich durchgeführt werden. In Rekordzeit wurden über 10.000 t Zement angeliefert und verarbeitet – eine logistische Meisterleistung. Sämtliche erforderlichen Qualitätskriterien konnten ebenfalls vollumfänglich nachgewiesen werden. Vor dem Hintergrund, dass die ersten Verformungsmessungen nach Wiederinbetriebnahme der Bahnstrecke erfreuliche Messwerte zeigten, kann von einer technisch und terminlich erfolgreichen Sanierungsmaßnahme gesprochen werden (Abb. 5).

Autoren

Maximilian Wesolowski
Daniel Watt
BAUER Spezialtiefbau GmbH
Newtonstr. 3
85221 Dachau
Tel.: 08131 514-0
maximilian.wesolowski@bauer.de
daniel.watt@bauer.de
www.bauer.de/bst/

Bei der Ausführung des MIP-Verfahrens werden dem Gerätefahrer die maßgebenden Herstellungsparameter permanent über die eingebaute Elektronik angezeigt.

bindungsadapter und Miniprismen, wurden an je vier Eckpunkten eines Durchlasses bzw. an Pfeilern und Widerauflagern der Brücken angebracht. Zur Überwachung des Dammbereichs stellte Bauer in Abständen von 25 m in Längsrichtung Messquerschnitte her, bestehend aus sechs Messpunkten. Die Schwingungsmessung erfolgte, sobald sich eines der vier Bohrgeräte einem der Bauwerke auf 50 m annäherte. Dabei wurden alle 10 m Messungen der Schwingung durchgeführt. Es stellten sich keine Setzungen bzw. Schwingung ein.

Inklinometer

Gemäß der erteilten Zulassung sind auch nach der vorgenommenen Sanierung und der Wiederinbetriebnahme der Bahnstrecke die auftretenden Verformungen der Dämme zu überprüfen. Hierfür wurde in jedem der drei Dammschnitte jeweils ein Vertikalinklinometer eingebaut, welches eine Einbindung von je 3 m unter der nächstgelegenen MIP-Lamelle aufweist (Abb. 3). Zum Einsatz kamen Inklinometerrohre des Typs „ABS-50“ des Systems „Glötzl“. Die Bohrungen wurden mit einer KLEMM KR 806 im Doppelkopfsystem abgeteuft. Der gebohrte Durchmesser

betrag von mindestens 400 kN/m auf, besitzt eine Maschenweite von 30 x 30 cm und ein Flächengewicht von 1,2 kg/m². Als Dammschüttmaterial des geogitterbewehrten Bodenpolsters war ein Baustoffgemisch mit der Korngröße 0/32 aus gebrochenem Granitgestein (KG 1 oder KG 2) einzubauen. Um Beschädigungen am Geogitter bei der Verlegung, dem Bodeneinbau und der anschließenden Verdichtung nachzuweisen zu können, wurde vor Beginn der Verlegearbeiten ein Einbaubeschädigungsversuch unter Aufsicht von spezialisierten Fachgutachtern durchgeführt. Um bei diesem Versuch vergleichbare Randbedingungen wie im realen Bauablauf sicherzustellen, kamen dabei dieselben Gerätschaften und Baumaterialien wie für den späteren, tatsächlichen Einbau der Geogitterlagen zum Einsatz. In einem Probefeld wurden zwei Geogitterbahnen entsprechend der Vorgaben auf einem Planum aus Frostschutzmaterial 0/32 verlegt und anschließend mit einer 15 cm starken Schicht aus Frostschutzmaterial 0/32 überbaut und verdichtet. Um Beschädigungen durch den Ausbau weitestgehend ausschließen zu können, erfolgte dieser unter größter Sorgfalt in mehreren Schritten und in

Abb. 5 – Durch das produktive und qualitativ hochwertige Mixed-in-Place-Verfahren konnte die Tiefgründung der Bahndämme innerhalb des sehr strengen Terminplans erfolgreich durchgeführt werden.



- Bohrgestänge und Zubehör für Bergbau, Steine, Erden, Bauindustrie (Standard- oder Sonderanfertigungen)
- PCD Bohrkronen und Flügelmeißel
- Schneckenbohrgestänge und Bohrköpfe
- Verrohrungen für Brunnenbohrungen
- Reibschweißungen bis ca. 12 000 mm²

B.u.G.
Bohr- und Gesteinswerkzeuge GmbH

Zum Düker 20
44579 Castrop-Rauxel
Telefon: (0 23 05) 89 04 21
Telefax: (0 23 05) 89 04 23
http://www.bohr-bug.de
E-Mail: info@bohr-bug.de