

Wirtschaftliche und unkomplizierte Baugrundverbesserung

# Bodenstabilisierung mit hydraulischen Bindemitteln

Die qualifizierte Bodenverbesserung mit hydraulischen Bindemitteln wird immer häufiger bei Projekten jeder Größenordnung eingesetzt. Mit seinem auf Erdbeton basierenden Baukonzept hat das Ingenieurbüro Arcadis aus Darmstadt nun den Innovationspreis der ifv-Bahntechnik erhalten. Bodenstabilisierung mit hydraulischen Bindemitteln bietet eine wirtschaftliche und unkomplizierte Lösung zur nachhaltigen Verbesserung von Böden.

Die Frage, wie ein vorhandener Boden für spezifische Bauwerke stabilisiert und aufbereitet werden kann, wird heute von Ingenieuren unterschiedlich beantwortet: Bodenaustausch, Einsatz von Geogittern oder die Stabilisierung des Erdreichs mit Zement stehen zur Wahl. Bodenaustausch - also das Abtragen des Bodens und seine Deponierung - wird als aufwändige, kostenintensive und nicht gerade ökologische Variante gerne vermieden. Ersatzmaterialien wie Kies oder Schotter müssen zur Baustelle angefahren werden. Das in Mode gekommene Einbringen von Vliesen und Geogittern wiederum ist planungsintensiv und birgt zudem Folgekosten bei Rückbau und Recycling.

Bodenstabilisierung mit Zement, Tragschichtbindern oder Mischungen der Bindemittel dagegen ist wirtschaftlich und unkompliziert. Die Bauweise, die beim ländlichen Wegebau seit langem Standard ist, bietet heute neue, innovative Lösungen für Neubau und Sanierung. Sie kommt etwa bei Eisenbahntrassen und im öffentlichen Straßenbau zum Einsatz (Abb. 1). Die Stabilisierung von Anschlussstrecken, Böschungen, Dämmen und Hinterfüllungen ist ebenso problemlos wie die Befestigung von Deponiekörpern oder die Einbindung von abgelagerten Stoffen.



**Susanne Ehrlinger M.A.**

Freie Journalistin, schreibt seit vielen Jahren über Architektur, Baukonstruktionen, Produkte und Werkstoffe; [www.archtext.de](http://www.archtext.de).



Foto: Arcadis, Darmstadt

Abb. 1: Bodenstabilisierung mit Zement eignet sich für den Bau von ICE Neubau-Strecken ebenso wie für Autobahntrassen.

fen. Auch bei flächigen Großbaustellen, etwa beim Flughafenbau, bei Industrie-, Messe- und Gewerbehallen oder weitläufigen Parkplatzflächen, nutzen Ingenieure heute hydraulische Bindemittel zur Stabilisierung des Baugrunds, denn damit kann man - dem jeweiligen Bauvorhaben entsprechend - optimal und dauerhaft die Widerstandsfähigkeit des Bodens gegen klimatische Beanspruchung oder gegen Erschütterung durch Verkehr erhöhen (Abb. 2). Auch die für Setzungen anfällige, kritische „Übergangszone“ von Erdbau zu Hochbau lässt sich auf diese Weise vereinheitlichen. Durch die Verfestigung mit hydraulischen Bindemitteln lässt sich aus fast jedem natürlich vorkommenden Boden - verwendbar sind Böden fast aller Bodengruppen nach DIN 18 196 - ein homogener und damit berechenbarer Baustoff mit genau definierten Eigenschaften schaffen. Mit Hilfe von Zement wird die Leistungsfähigkeit selbst schlechter Böden gefördert. Der Untergrund wird unempfindlich gegen Feuchtigkeit, dauerhaft tragfähig und frostsicher.

## Innovative Bauweise mit bewährten Methoden

Die positiven, praktischen Erfahrungen und die vielfältigen Untersuchungen an realisier-

ten Bauvorhaben haben dazu geführt, dass die Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen im Oktober 2004 das Merkblatt über Bodenverfestigungen und Bodenverbesserungen mit Bindemitteln überarbeitet hat. Das aktuelle Merkblatt führt erstmals den Begriff „qualifizierte Bodenverbesserung“ ein, d.h. die Verbesserung der Eigenschaften von Böden durch die Behandlung mit Zement und Mischbindern. Damit wird neben Bodenverbesserung und Bodenverfestigung die Bodenstabilisierung mit hydraulischen Bindemitteln beschrieben. Sie wird als „Qualifizierte Bodenverbesserung mit erhöhten Anforderungen, z.B. hinsichtlich des Frost- und Tragfähigkeitsverhaltens“ bezeichnet. Das Konzept zum stabilisierten Erdbau wird nun auch bei der Fortschreibung der Vorschriften der Bahn eingearbeitet.

## Vorteilhafter Neubau von Verkehrsstrassen

Zementstabilisierter Erdbau im Verkehrswegbau der Deutschen Bahn bietet beste Voraussetzungen für ganzheitliche Fahrwege über weite Strecken. Die Deutsche Bahn unterhält allein über 38.000 Streckenkilometer Erdbauwerke quer durch Deutschland. Um sich im Vergleich mit anderen Verkehrsmitt-

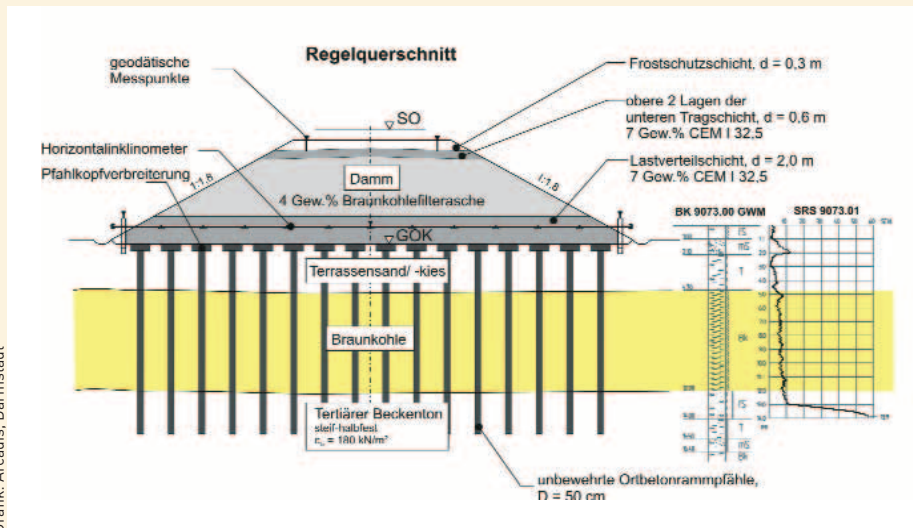


Abb. 3: Über eine Lastverteilschicht aus bindemittelstabilisiertem Boden erfolgt die Lasteinleitung. Hier wird die Dammlast mit Ortbeton-Rammpfählen durch eine Schicht setzungsempfindlicher Braunkohle in den darunter liegenden Beckenton abgetragen.

keln zu behaupten, muss der Betreiber u.a. die dauerhafte und reibungslose Verfügbarkeit der neuen, schnellen Strecken gewährleisten. Besondere Aufmerksamkeit fordern vor allem die Übergänge von Erdbauwerken auf Kunstbauwerke, etwa Brücken oder Dämme mit Unterführungen. Denn an diesen Stellen fallen i.d.R. die Instandhaltungskosten erheblich höher aus als im Bereich der übrigen Trasse.

Bei verschiedenen Streckenführungen der Bahn hat das weltweit tätige Ingenieurbüro Arcadis ([www.arcadis.de](http://www.arcadis.de)) innovative Wege beschritten und nachhaltige und wirtschaftliche Varianten entwickelt. Für ihr Konzept „Erdbauwerke für Hochleistungsstrecken unter Einsatz des Prüfgeräts Dystafit“ haben die Ingenieure nun den Innovationspreis der ifv-Bahntechnik erhalten. Sie setzten das Konzept vor allem bei Dämmen, für Hinterfüllbe-

reiche und zur besseren Koordination von Oberbau und Erdbau ein.

Bei der ICE-Neubaustrecke Erfurt - Halle z.B. gründeten sie den 690 m langen und 13 m hohen Anschlussdamm Ost der Saale/Elster-Talbrücke auf unbewehrten Ortbeton-Rammpfählen. Über diese und eine Lastverteilschicht aus bindemittelstabilisiertem Boden erfolgt die Lasteinleitung. Die Dammlast musste durch eine dicke Schicht setzungsempfindlicher Braunkohle in den darunter liegenden Beckenton abgetragen werden (Abb. 3). Gerade bei organischen Böden kommen so genannte Kriechsetzungen praktisch nie zum Stillstand. Den Nachweis der Lastverteilschicht erbrachte Arcadis mit einem rotationssymmetrischen Modell (2D FE-Berechnung) und berechnete deren Belastbarkeit mit der Finite-Element-Methode. Im Vorfeld der Planungen standen Probebelas-

tungen und Erschütterungsmessungen. Die Setzungen des Damms wurden in acht Messquerschnitten mit Horizontalklinometern gemessen. Durch die Stabilisierung mit Zement und den Einsatz der Ortbeton-Rammpfähle gelang ein steifer Damm auf einer steifen Gründung, der ausschließlich aus den vorhandenen fein- und gemischtkörnigen Bodenarten gebaut wurde. Auf stabilisierendes Fremdmaterial und Geogitter konnte verzichtet werden. Allein mit dem Einsatz von Beton und Zement wurde eine beispielhafte und wirtschaftliche Gründung des Damms erreicht.

## Sanierung bei laufendem Betrieb

Setzungserscheinungen an Verkehrsstrassen können durch Umwelteinflüsse spontan ausgelöst werden; oft treten sie aber auch erst Jahrzehnte nach der Fertigstellung durch die permanente Nutzung auf. Unterspült Hochwasser die Verkehrsbauten, kommt es ad hoc zu massiven Schäden, etwa durch Böschungsbrüche. Als beispielhafte Sanierung ein typisches Projekt: An einer zweigleisigen Bahnstrecke mit einem 100 m langen und 6 m hohen Damm aus dem Jahr 1900 drohte ein Böschungsbruch. Die Ingenieure entschieden sich für eine Instandsetzung des Damms mit parallel verlaufenden Erdbetonscheiben. Mit dem Fräs-Misch-Injektionsverfahren vermischten Bauarbeiter vor Ort den Boden im Erdkörper mit Zementsuspension so intensiv, dass ein homogener stabiler Erdbeton-Körper entstand. Die Anordnung einer mittigen Spundwand sicherte den einseitig laufenden Fahrbetrieb. Zusätzlich ordneten die Ingenieure über den Bodenscheiben eine bindemittelstabilisierte Lastverteilschicht an. Dank dieser Bauweise konnte auf den Austausch der vorhandenen Böden verzichtet werden. Bei den statischen Berechnungen der einzelnen Systemkomponenten folgten die Ingenieure den bekannten technischen Regelwerken (etwa RiL 836, DIN 4084).

## Gezielte Wahl der Zemente

Vor jedem Bauvorhaben wird der betreffende Boden einer Eignungsprüfung unterzogen. Der Zementtyp wird je nach Beschaffenheit des Untergrunds gewählt. Auch klimatische Verhältnisse nehmen Einfluss auf das jeweilige Mischverhältnis oder die Konzentration der Bindemittel. Aus den Untersuchungen er-

Abb. 2: Die Stabilisierung mit Zement erfolgt im gesamten Erdbau: bei Dämmen, als Hinterfüllung und bei Einschnitten.

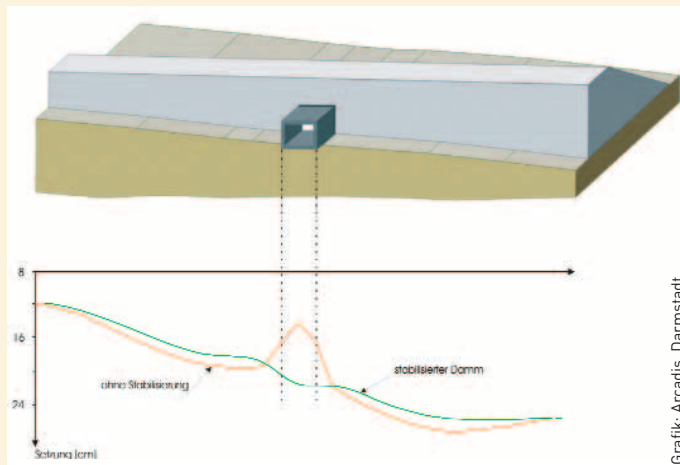
Foto: Arcadis, Darmstadt





Foto: Arcadis, Darmstadt

Abb. 4: Vorteilhaft für Verkehrs- und Erdbauwerke: Die Bodenstabilisierung mit Zement erhöht die Eigensteifigkeit und reduziert den Erddruck.



Grafik: Arcadis, Darmstadt

Abb. 5: Ausgeglichene Setzungsmulden durch stabilisierte Dammbaustoffe.

geben sich Art und Festigkeitsklassen des Zementes und die Höhe des Zementanteils für den jeweiligen Baugrund. Für manche Bauvorhaben bringen neben Zementen auch Flugasche und granuliert Hochfenschlacke mit hydraulischen Eigenschaften gute Ergebnisse. Je genauer die Untersuchungsergebnisse sind, desto eher lässt sich ein wirtschaftlicher Kompromiss hinsichtlich Festigkeit, Raum- und Frostbeständigkeit für das jeweilige Bauvorhaben finden. Auf den Baustellen hat sich das Baumischverfahren (mixed in place) als praktikables und wirtschaftliches Verfahren durchgesetzt. Das vorab bestimmte Bindemittel oder die Bindemittelmischung wird direkt an Ort und Stelle auf den zu stabilisierenden Boden vorgestreut und mit geeigneten Fräsen evtl. unter Zugabe von Wasser eingearbeitet und abschließend mit Walzen verdichtet. Bei kleinen Mengen ist auch „mixed in plant“ sinnvoll.

## Fazit

Qualifizierte Bodenverbesserung bringt bei der Planung und in der Praxis erhebliche Vorteile. Sie ist wirtschaftlich und trägt, eingebunden in intelligente Konzepte, bei hoch-

komplexen Bauaufgaben zur innovativen Lösung bei (Abb. 4). Vorhandenes Schüttmaterial auch geringerer Güte kann mit aufbereitet werden. Bodenstabilisierung reduziert

### Auf einen Blick:

#### Technische Vorteile

- Eigensteifigkeit wird erhöht, Reduzierung des Erddrucks
- Anwendung im gesamten Erdbau: Damm, Hinterfüllung und Einschnitt
- Keine Setzungsunterschiede an Übergängen
- Ganzheitlicher Verkehrsweg

#### Technologische Vorteile

- Verwendbarkeit fast aller Schüttstoffe
- Homogenisierung der Erdbaustoffe
- Immobilisierung von Tonmaterialien
- Beständig gegen Baubetrieb und Witterung
- Qualitative Vorteile
- Hohe Tragfähigkeit
- Besseres dynamisches Tragverhalten
- Homogener Erdbau
- Stille Reserven

#### Wirtschaftliche Vorteile

- Kurze Transporte, wenig Deponien
- Umweltschonender Erdbau
- Weniger Bodenaustausch im Einschnitt
- Verringerung der Unterhaltung (Life-cycle-costs, LCC)

Mehr Informationen zu Zement und Beton unter [www.beton.org](http://www.beton.org)

Setzungsmulden; Setzungsunterschiede verlaufen gleichmäßig und sehr flach (Abb. 5). Im Vergleich zum Bauen mit der RiL 836 etwa, das bei der Bahn AG zu Grunde gelegt wird, erreichen die statischen Berechnungen von zementstabilisierten Erdbaukonzepten deutlich bessere Werte. Betrachtet man den Life-Cycle-Cost, ergeben sich weitere Vorteile in Hinblick auf die langfristige Nutzung. Wird das Einsparungspotenzial an Kosten und Ressourcen genutzt, erreichen Ingenieure eine umfassende Kostenoptimierung ihrer Projekte. Die nachweislich niedrige Schadensanfälligkeit der vorgestellten Bauweise garantiert eine hohe Lebensdauer und verringert zeitliche Ausfälle. Bei Bahn-, Straßen- und Autobahntrassen sollte auch diese Einsparung als geldwerter Vorteil von den ohnehin relativ geringen Unterhaltskosten abgezogen werden. Für die zementgebundenen Bauweisen stehen beim Rückbau einfache Recyclingtechniken zur Verfügung.

Bei der Bodenstabilisierung mit hydraulischen Bindemitteln handelt es sich also um eine sehr nachhaltige Erdbauweise, die der ganzheitlichen Betrachtung durch den Einbezug von Betriebs- und ggf. anfallenden Entsorgungskosten Stand hält.