

**Bauverfahren beim Straßenbau auf wenig tragfähigem Untergrund****Teil A2: Bodenersatzverfahren**

FA 89.049

Forschungsstelle: Grundbauingenieure Steinfeld und Partner GbR, Hamburg

Bearbeiter: Grundhoff, T. / Kahl, M.

Auftraggeber: Bundesanstalt für Straßenwesen, Bergisch Gladbach

Abschluss: Oktober 2001

**1. Veranlassung**

In vielen Gebieten Deutschlands – im Bereich von Moor-, Binnensee-, Fluss- und in den Küstengebieten – stehen oberflächennah natürliche, wenig tragfähige Böden flächenverbreitet und oftmals in großer Mächtigkeit an. Ferner existieren unzählige, verhältnismäßig kleine Areale mit wenig tragfähigen Böden. Die im Laufe der Jahrhunderte gewachsenen Siedlungsstrukturen zwingen im Zuge von Infrastrukturmaßnahmen insbesondere beim Neu- und Ausbau von Straßenverkehrswegen dazu, auch solche Gebiete als Baugrund zu nutzen.

Trotz der bereits gesammelten umfangreichen Erfahrungen bei der Gründung von Erdbauwerken auf derartigem Baugrund sind Planer und Bauausführende bei der Realisierung von Straßenbauwerken auf Grund der besonderen Bodeneigenschaften aus ökologischer und ökonomischer Sicht immer wieder gezwungen, individuelle Lösungen zu entwickeln. Im Hinblick auf die Boden-Bauwerks-Interaktion sind die geringe Scherfestigkeit und große Verformbarkeit als wesentliche Merkmale wenig tragfähiger Böden zu nennen. Bei unmittelbarer Belastung eines aus wenig tragfähigen Böden gebildeten Untergrundes, z. B. durch Aufschüttung eines Dammes, muss ohne weitere Maßnahmen mit großen Verformungen (Setzungen, Gefahr von Gelände- oder Grundbruch etc.) an den Erdbauwerken gerechnet werden. Dabei treten diese Verformungen, je nach Art und Ursache, über einen mehr oder weniger langen Zeitraum verteilt auf. Darüber hinaus besteht wegen der besonderen Bodeneigenschaften potenziell immer die Gefahr, dass im Umfeld einer Straßenbaumaßnahme sich befindende Bauwerke zusätzlichen Einwirkungen unterliegen (z. B. Seitendruck), welche bei deren Bemessung nicht berücksichtigt worden sind.

Das Qualitätsmanagement für ein Bauwerk umfasst die Phasen der Planung, der Bauausführung und der Nutzung. Aufgabe des Qualitätsmanagements im ersten Schritt ist, die für die jeweilige Bauaufgabe zeitlich, wirtschaftlich und technisch optimale Lösung unter Berücksichtigung aller Randbedingungen zu finden und umzusetzen. Im zweiten Schritt ist die Nutzung des fertig gestellten Bauwerkes mit einem ökonomisch vertretbaren Unterhaltungsaufwand über eine bestimmte Zeitdauer auf einem befriedigenden Qualitätsniveau sicherzustellen. Um diese komplexe Aufgabe bewältigen zu können, müssen problem- und lösungsorientierte Informationen vorliegen, um in einer Konzeptanalyse zur optimalen Lösung für die Bauaufgabe zu gelangen.

Beim Straßenbau auf wenig tragfähigem Untergrund lautet die Bauaufgabe unter Berücksichtigung der v. g. Aspekte, die aus dem Straßenbauwerk zusätzlich auf den Untergrund einwirkenden Lasten in den tragfähigen Untergrund zu übertragen. Von der technischen Seite steht hierzu eine Vielzahl von praktisch erprobten Bauverfahren zur Verfügung. Je nachdem, wie der wenig tragfähige Boden am Lastabtrag beteiligt ist, unterscheiden sie sich in Konsolidierungsverfahren, Bodenersatzverfahren und Verfahren mit aufgeständerten Gründungspolstern. Der Begriff Bauverfahren erfasst demnach im hier benutzten Sinn

sowohl die Konstruktionsart als auch den Bauprozess des Erdbauwerkes. Bei den Bodenersatzverfahren sind dabei die Hauptgruppen Bodenaustauschverfahren und Bodenverdrängungsverfahren zu unterscheiden.

Vom wirtschaftlichen Standpunkt betrachtet, unterscheiden sich die einzelnen Verfahren nicht nur im Bauaufwand und den damit verbundenen Baukosten, sondern in der Folge auch in dem zur Erhaltung einer notwendigen Gebrauchssicherheit und -fähigkeit ausreichenden Unterhaltungsaufwand.

Weitere Einflussfaktoren können ökologischer, soziologischer oder auch politischer Natur sein. Die Wertigkeit einer Lösung bzw. eines Bauverfahrens im Hinblick auf die Beachtung aller genannten Aspekte ist für jeden Einzelfall erst mit Hilfe einer Nutzwert- oder Kosten-Nutzen-Analyse zu quantifizieren. Basis derartiger Analysen sind immer Informationen in Form von Erfahrungen mit der technischen Realisierung einzelner Bauverfahren sowie deren wirtschaftlicher Randbedingungen.

**2. Aufgabenstellung**

Das von der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen (FGSV) und der Bundesanstalt für Straßenwesen (BASt) initiierte Forschungsprojekt "Bauverfahren beim Straßenbau auf wenig tragfähigem Untergrund" hat das Ziel, zunächst den Stand der Technik zu dokumentieren. Diese Dokumentation soll als Wissensbasis der im Weiteren zu bearbeitenden Entscheidungsrichtlinien für die Wahl eines Bauverfahrens bzw. einer Kombination verschiedener Bauverfahren bei einem konkreten Bauprojekt dienen. Das Teilprojekt A des in fünf Teilaufgaben untergliederten Gesamtprojektes beinhaltet die angesprochene Dokumentation und ist seinerseits wiederum in die drei Unterprojekte "Konsolidierungsverfahren" (Teil A1), "Bodenersatzverfahren" (Teil A2) und "Verfahren mit aufgeständerten Gründungspolstern" (Teil A3) gegliedert.

Das Ingenieurbüro Steinfeld und Partner GbR in Hamburg erhielt den Auftrag zur Bearbeitung des Unterprojektes A2. Gegenstand dieses Unterprojektes war die Dokumentation der Bodenersatzverfahren, welche im Einzelnen folgende Punkte beinhalten sollte:

1. Allgemeine Verfahrensbeschreibung mit Angaben zu Variationsmöglichkeiten über erforderliche Standsicherheits- und Verformungsberechnungen und zum Ansatz von Sicherheitsbeiwerten,
2. Zusammenstellung technisch begründeter Anwendungsgrenzen,
3. Beschreibung besonderer Maßnahmen bei angrenzenden, kreuzenden oder anschließenden Bauwerken,
4. Zusammenstellung der Kosten für die Hauptpositionen der Bauverfahren,
5. Beispielhafter Bericht über ausgeführte Baumaßnahmen,
6. Exemplarische Standsicherheits- und Verformungsberechnungen an ausgewählten Fallbeispielen.

**3. Untersuchungsmethodik**

Schwerpunkt der durchgeführten Untersuchungen war eine Literaturrecherche zu den Punkten 1 bis 4. Ergänzt wurde diese Recherche durch eigene Erfahrungen, die in der Vergangenheit bei der Bearbeitung von Straßenbauprojekten gemacht wurden.

Grundlage der Arbeiten zu Punkt 5 waren Recherchen im eigenen als auch in den Archiven des Straßenneubauamtes West in Heide und des Straßenbauamtes Itzehoe. Hierbei wurden die Unterlagen einer konkreten Baumaßnahme zusammengetragen und vollständig ausgewertet.

Im Rahmen des Punktes 6 wurden unter Zugrundelegung der in Deutschland üblicherweise angewandten erdstatischen Berechnungsverfahren exemplarisch Standsicherheits- und Verformungsberechnungen an Fallbeispielen durchgeführt. Die Randbedingungen hinsichtlich der Baugrund- und Grundwasserverhältnisse sowie der Querschnitt des Straßendamms wurden für diese Berechnungen entsprechend den Vorgaben in der Projektbeschreibung der BASt gewählt.

#### 4. Untersuchungsablauf

Die Bodenersatzverfahren werden vom Erdbau dominiert, was bedeutet, dass das wesentliche Merkmal der Bauausführung die Umlagerung von Bodenmassen ist. Entsprechend umfangreich sind die Modifikations- bzw. Variationsmöglichkeiten der in Frage kommenden Bauverfahren. Verfahrenstechnisch lassen sich die Bodenersatzverfahren, entsprechend der Behandlung des nicht tragfähigen Baugrundes, in Bodenaustauschverfahren und Bodenverdrängungsverfahren unterscheiden.

Bei den Bodenaustauschverfahren sind im Wesentlichen zwei Teilleistungen zu erbringen, der Aushub der Weichschichten und der Einbau des Ersatzmaterials, auf dem später der Straßendamm aufgeschüttet wird. Dem Nachteil des dabei erforderlichen großen Maschinen- und Personaleinsatzes steht jedoch der Vorteil einer genaueren Steuerung der Qualität des Ersatzkörperquerschnittes durch eine nahezu beliebige Anpassung des Ersatzumfanges, der Ersatzmaterialien, der zeitlichen Abfolge von Austauschtiefe und Einbau sowie des Aushubprofils an vorhandene Randbedingungen gegenüber.

Hingegen erfordern die Bodenverdrängungsverfahren – ob durch Sprengung oder Überlastung des wenig tragfähigen Untergrundes – einen wesentlich weniger aufwändigen Maschineneinsatz, da hierbei überwiegend die Teilleistung Einbau zu erbringen ist. Für die Bodenverdrängung wird jedoch je nach Bodenverhältnissen ein umfangreicher Einsatz an Hilfsmitteln (Sprengmittel, Geokunststoffe usw.) benötigt. Hinzu kommt, dass bei dynamischen Verdrängungsverfahren eine ausreichende Qualität des Ersatzkörpers, auch bei Einsatz entsprechender Hilfsmittel, wesentlich schwieriger und weniger zuverlässig zu erreichen ist als bei den Bodenaustauschverfahren.

Die weiteren Betrachtungen zeigen, dass in der Konsequenz des Vorstehenden die Bodenaustauschverfahren außerdem im Zusammenhang mit Sicherungsmaßnahmen in Form eines Verbauens flexibel anwendbar sind beim Ausbau bestehender Straßen sowie bei benachbarten, anschließenden und kreuzenden Bauwerken. Die Gefährdung der Gebrauchsfähigkeit bestehender Bauwerke infolge von Einwirkungen, die durch Änderungen des Gleichgewichtszustandes im Zuge einer Baumaßnahme induziert werden, ist bei den Bodenaustauschverfahren geringer als bei den Bodenverdrängungsverfahren.

#### 5. Untersuchungsergebnisse

Der Abschlussbericht zum Unterprojekt A2 ist untergliedert in die Teile Dokumentation der Bodenersatzverfahren (Kapitel 4 bis 7), Dokumentation einer Baumaßnahme (Kapitel 8) und Doku-

mentation erdstatischer Berechnungen (Kapitel 9). Ergänzt werden diese Abhandlungen durch eine strukturierte Erläuterung der Problematik beim Straßenbau auf wenig tragfähigem Untergrund sowie durch eine Zusammenstellung der notwendigen Baugrunderkundungen und Bodenuntersuchungen.

Der Kostenvergleich der wichtigsten Bodenersatzverfahren zeigt, dass die Bodenverdrängung bei derselben Kubatur des Ersatzkörpers preiswerter ist als der Bodenaustausch. Dies ist im Wesentlichen eine Folge des weniger aufwändigen Maschinen- und Personaleinsatzes.

Die durchgeführten erdstatischen Berechnungen verdeutlichen die Komplexität der zu führenden Nachweise. Die Randbedingungen aller wesentlichen Konstruktionsphasen, der Anfangsphase sowie des Endzustandes, müssen sorgfältig und realitätsnah abgeschätzt werden, damit die maßgebenden Standsicherheits- und Verformungsnachweise geführt werden und auf der sicheren Seite liegende Ergebnisse ergeben. Dies trifft insbesondere auf die rechnerisch anzusetzenden Bodenparameter zu, deren Größenordnungen auf den Ergebnissen der vor Beginn einer Baumaßnahme durchgeführten Baugrunduntersuchungen basieren. Um Fehleinschätzungen dieser Bodenparameter und damit unsichere Rechenergebnisse zu vermeiden, müssen die sich im Laufe eines Bauprozesses ändernden Bodenverhältnisse durch baubegleitende Messungen ständig überprüft und die Bauzustände (z. B. Schüttstufen des Straßendamms) unter Umständen angepasst werden.

Daneben zeigen die Fallbeispiele, welche Vielfalt an Alternativen vorhanden ist, um einen Straßendamm auf wenig tragfähigem Untergrund mittels Bodenersatzverfahren standsicher und verformungsarm zu gründen. Bei einem Teilbodenaustausch sind unter ungünstigen Baugrundverhältnissen mit tief reichenden Weichschichten nennenswerte Restsetzungen nach Fertigstellung eines Straßendamms hinzunehmen. Neben der Setzungsverminderung kann der Teilbodenaustausch jedoch insbesondere bei geringen Dammkörperhöhen, ggf. in Verbindung mit der Verwendung von Geotextilien, auch zu einer Vergleichmäßigung der Setzungen des geschütteten Damms bzw. zu einer Verringerung von Setzungsdifferenzen führen, sie jedoch nicht ausschalten. Im Vergleich zu einem Vollbodenaustausch muss mit erhöhten Unterhaltungskosten gerechnet werden.

Die durchgeführten Setzungsberechnungen für verschiedene Bodenaustauschmaßnahmen zeigen, dass das Verhältnis zwischen der Zusatzlast aus der Damm- sowie der Ersatzkörperschüttung und der Mächtigkeit der im Untergrund verbliebenen Weichschicht entscheidend ist für den Erfolg eines teilweisen Bodenaustausches. Auf Grund der Wichteerhöhung im Austauschbereich können bei zu geringen Austausch Tiefen unter ungünstigen Baugrundverhältnissen größere Setzungen eintreten als ohne Bodenaustausch. Erst nach Überschreitung einer von den speziellen Baugrundverhältnissen und Zusatzlasten aus der Damm- und Ersatzkörperschüttung abhängigen Austausch tiefe nehmen die resultierenden Setzungen ab.

Für die Praxis lässt sich aus den durchgeführten Betrachtungen folgern, dass die Bodenersatzverfahren unter Berücksichtigung eines anzustrebenden Qualitätsniveaus für ein Straßenbauwerk auf wenig tragfähigem Boden sowohl in technischer als auch in wirtschaftlicher Hinsicht in einigen Fällen als Alternative für das Konsolidierungsverfahren oder die Verfahren mit aufgeständerten Gründungspolstern in Frage kommen. Bei tief reichenden Weichschichten werden die technisch sinnvollen Anwendungsgrenzen des Bodenersatzes überschritten und ein Teilbodenaustausch kann zu unzulässig großen Restsetzungen führen. Aus wirtschaftlicher Sicht führt die zunehmende Austausch tiefe wegen einzuhaltender Böschungsneigungen und aus baubetrieblichen Gründen zu überlinear steigenden Kosten. □