

## **VI/2 Fehler- und Beanspruchungsbetrachtung bei der Grabenverfüllung**

**Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Frohmuth Wellner und Dr.-Ing. Jürgen Vogel**

### **1. Allgemeines**

Nach der Durchführung von Leitungsbaumaßnahmen in Gräben und eventueller Wiederherstellung des Straßenoberbaus treten immer wieder Bauschäden infolge von Setzungen bzw. Sackungen aufgrund fehlerhaften Einbaus, unzureichender Verdichtung oder mangelnder Eignung des Grabenverfüllmaterials auf. Nach derartigen Schäden sind häufig Sanierungsarbeiten in erheblichem Umfang notwendig, bei denen der Straßenoberbau aufgebrochen und nach dem Nachverdichten des Unterbaus wieder hergestellt werden muß. Hierdurch können erhebliche Zusatzkosten im Vergleich zu den Gesamtkosten der Baumaßnahme auftreten.

### **2. Allgemein anerkannte Regeln der Technik**

Für den Aushub und die Wiederverfüllung von Leitungsgräben sind von der Forschungsgesellschaft für Straßen- und Verkehrswesen, Köln, die ZTV A-StB 97 („Zusätzliche technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Aufgrabungen in Verkehrsflächen, Ausgabe 1997“) und die ZTVE-StB 94 („Zusätzliche technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau, Ausgabe 1994“) herausgegeben worden. Diese beiden Regelwerke sind bei nahezu allen Leitungsgrabenbauarbeiten zu beachten und bilden einen Teil der allgemein anerkannten Regeln der Technik für derartige Baumaßnahmen. Als weitere technische Regelwerke sind häufig die ZTV Asphalt-StB 94 sowie die ZTVT-StB 95 („Zusätzliche technische Vertragsbedingungen und Richtlinien für Tragschichten im Straßenbau“) anzuwenden.

Vor dem Beginn der Ausschachtungsarbeiten von Leitungsgräben gilt generell, daß der vorhandene Straßenoberbau schonend aufzubrechen ist. Die Kanten der Aufbruchstellen von bituminösen Oberbauten und von Betonoberbauten sowie von Rasenflächen sind gradlinig, bei Betonoberbauten außerdem rechtwinklig zueinander auszuführen.

Nach Verfüllung und Verdichtung der Leitungsgräben ist der Straßenoberbau derart wiederherzustellen, daß die neue Befestigung der ursprünglichen sowohl technisch als auch optisch gleichwertig ist. Grundsätzlich gilt bei allen Oberbauten, daß nach der Wiederherstellung der ungebundenen Tragschichten Abtreppungen der bituminösen oder der gebundenen Tragschichten vorzunehmen sind, d. h., daß diese um ein gewisses Maß über die Breite des Grabens hinaus aufzubrechen sind. Durch diese Vorgabe soll verhindert werden, daß eventuell aufgelockerte Randzonen auftreten können. Die freigelegten Randzonen der ungebundenen Tragschicht sind anschließend nachzuverdichten. Auf die erforderlichen Prüfungen des Oberbaus, z. B. Schichtdicken und Verdichtung, soll an dieser Stelle nicht näher eingegangen werden, diesbezüglich wird auf die jeweils gültigen Regelwerke verwiesen.

Vorgaben für den Einbau und die Verdichtung des Verfüllmaterials sind in den „Zusätzlichen technischen Vertragsbedingungen und Richtlinien für Erdarbeiten im Straßenbau“ (ZTVE-StB 94) unter Abschnitt 8 „Baugruben und Leitungsgräben“ enthalten. Dabei sind Empfehlungen für die Wahl der Schütthöhe beim Verdichten in Abhängigkeit von der Bodengruppe sowie Verdichtungsanforderungen wiedergegeben. Angaben für das Prüfen der Bodenverdichtung enthält Abschnitt 14 der ZTVE-StB 94.

### 3. Verdichtungseigenschaften von Böden

Da Fehler bei der Grabenverfüllung häufig auf unzureichende Verdichtung oder mangelnde Kenntnisse über die bodenmechanischen Eigenschaften des Verfüllmaterials zurückzuführen sind, sollen zunächst einige grundlegende Zusammenhänge erläutert werden.

Die Verdichtungsfähigkeit eines Bodens ist wesentlich von seiner Kornzusammensetzung abhängig. Grundsätzlich gilt, daß grobkörnige Böden und Böden mit geringen Feinkornanteilen in der Regel problemlos zu verdichten sind, während mit zunehmendem Feinkornanteil des Bodens eine ausreichende Verdichtung nur mit erhöhtem Aufwand zu erreichen ist.

Bei grobkörnigen Böden hängt die Verdichtbarkeit von der Ungleichförmigkeit der Korngrößenverteilung, die durch die Ungleichförmigkeitszahl  $U$  definiert ist, ab. Weitgestufte („gut abgestufte“) Korngemische sind gut verdichtbar, da größere Hohlräume zwischen den Einzelkörnern mit jeweils kleineren Körnern gefüllt werden können. Dadurch kann ein dichteres Gefüge und eine höhere Lagerungsdichte erreicht werden als bei enggestuften Korngemischen. Bei der Verdichtung sehr gleichkörniger Sande kann es z. B. nützlich sein, zwischen den Sandlagen dünne Zwischenlagen aus sandigem Lehm einzubringen.

Zusätzlich von der Korngrößenverteilung bzw. der Ungleichförmigkeit hängt die Verdichtbarkeit grobkörniger Böden von der Kornrauhigkeit ab. Böden mit glatten, runden Einzelkörnern sind leichter zu verdichten als solche mit kantigen Einzelkörnern.

Für die Verdichtung bindiger Böden bildet der Wassergehalt des Bodens beim Einbau (Einbauwassergehalt) einen wesentlichen Faktor. Bei geringen Wassergehalten ist der Boden wegen dessen sehr festen Zusammenhalts („Kohäsion“) kaum oder nur äußerst schwer zu verdichten. Mit zunehmendem Wassergehalt nimmt die Festigkeit bindiger Böden ab, wodurch die Verdichtung einfacher wird. Bei zu hohem Wassergehalt wird durch die Verdichtungsarbeit jedoch statt einer bleibenden Zusammendrückung vorwiegend eine kurzfristige Erhöhung der Porenwasserdruckspannungen erreicht.

Eine optimale Bodenverdichtung ist bei einem bestimmten Wassergehalt, dem „optimalen“ Wassergehalt, gegeben. Dieser Wassergehalt kann im Proctorversuch, der vom Amerikaner R. R. Proctor in den 30er-Jahren entwickelt und nach ihm benannt wurde, ermittelt werden. Mit dem Proctorversuch wird die Verdichtungsfähigkeit eines bestimmten Bodens in Abhängigkeit vom Wassergehalt festgelegt. Die auf der Baustelle tatsächlich erreichte Verdichtung wird mit „Proctordichte“ ( $D_{pr}$ ) bezeichnet. Sie muß im Falle von Leitungsgrabenverfüllungen bestimmte Maße aufweisen (siehe ZTVE-StB 94), kann in situ auch über 100 % liegen.

### 4. Ausführung und Kontrolle der Verdichtung

Für das Verfüllen und das Verdichten von Leitungsgräben können eine Vielzahl von Baugeräten eingesetzt werden, deren Auswahl von den Randbedingungen der Baumaßnahme, speziell von der Geometrie des Leitungsgrabens und der Art der Rohrleitung sowie insbesondere den Bodenverhältnissen abhängt.

Der Einbau und die Verdichtung des Verfüllmaterials ist auf den jeweils verwendeten Grabenverbau abzustimmen. Generell gilt, daß eine ausreichende Verbindung zwischen Verfüllmaterial und Grabenwand unabhängig von der Verbauart sichergestellt sein muß. Beim waagerechten Verbau sind die Verbauteile abschnittsweise derart zu entfernen, daß das Verfüllmaterial unmittelbar anschließend lagenweise eingebaut und direkt gegen die freigelegte

Grabenwand verdichtet werden kann. Verbauplatten oder -tafeln müssen ebenfalls vor dem Verfüllen gezogen werden. Beim senkrechten Verbau dürfen die Verbauteile (z. B. Kanaldielen) dagegen zunächst belassen und erst nach der vollständigen Verfüllung gezogen werden. Ein nach dem Ziehen verbleibender Hohlraum ist durch geeignete Maßnahmen, z. B. durch Einschlämmen oder Injektion von Bindemitteln zu beseitigen.

Bezüglich der Anforderungen an den zu erreichenden Verdichtungsgrad bzw. den Verformungsmodul des Verfüllmaterials gelten die Regelungen der ZTVE-StB 94. Da die Spannungen im Boden z. B. infolge Verkehrsbelastung mit zunehmender Tiefe abnehmen, werden auch die Anforderungen tiefenabhängig differenziert. Die höchsten Anforderungen gelten für den Bereich der Verfüllzone bis 50 cm unterhalb der Unterkante des Straßenoberbaus (Planum).

Bei den im Rahmen von Verdichtungskontrollen durchzuführenden Prüfungen ist zu unterscheiden zwischen Eignungsprüfungen, Eigenüberwachungsprüfungen und Kontrollprüfungen.

Im Rahmen der Eignungsprüfung wird die Eignung des vorgesehenen Bodenmaterials für die Verwendung als Verfüllmaterial nachgewiesen. Hierfür sind z. B. die Körnungslinie des Materials zu ermitteln und Proctorversuche zur Ermittlung der Proctordichte und des optimalen Wassergehalts durchzuführen.

Eigenüberwachungsprüfungen und Kontrollprüfungen sind baubegleitend vorzunehmende Prüfungen. Hierfür können grundsätzlich die folgenden Versuche verwendet werden:

- direkte Prüfung mittels Entnahme von Sonderproben (Entnahmezylinder)
- Dichtebestimmung durch Ersatzverfahren (Ballon bzw. Densitometer, Sand, Gips)
- Rammsondierungen
- Drucksondierungen
- statische Plattendruckversuche
- dynamische Plattendruckversuche
- flächendeckende dynamische Verdichtungskontrolle
- radiometrische Sondierungen

## **5. Fehler und bauschadensrelevante Faktoren bei der Grabenverfüllung**

Bei den Fehlern und Faktoren, die zu späteren Setzungen bzw. Sackungen nach der Durchführung von Leitungsbaumaßnahmen führen können, ist grundsätzlich zwischen „materialbedingten“, d. h. auf die bodenmechanischen Eigenschaften des Verfüllbodens zurückführbare Faktoren und „menschlichen“ Faktoren, d. h. unzureichende oder mangelhafte Bauausführung, zu unterscheiden. Zusätzlich ist die Wahl der Verdichtungsgeräte, die sich in Abhängigkeit von den vorliegenden Randbedingungen der Baumaßnahme als ungeeignet erweisen können, als weiterer wesentlicher schadensrelevanter Faktor zu berücksichtigen.

Folgende materialbedingte Faktoren bilden häufig Fehler bei der Grabenverfüllung:

- zu „grobes“ oder zu „feines“ Verfüllmaterial
- zu geringe Ungleichförmigkeitszahl  $U$ , d. h. zu eng gestufte Kornverteilung
- zu hohe organische Anteile oder Steine im Verfüllmaterial
- falsche Einbauwassergehalte (zu trockener oder zu feuchter Einbau)

Falsche Einbauwassergehalte haben großen Einfluß auf die erreichbare Verdichtung (Proctordichte  $D_{pr}$ ) des Bodens und können auch den ausführungstechnischen fehlerrelevanten Fakto-

ren zugeordnet werden, da Über- oder Unterschreitungen des mit dem Proctorversuch ermittelten „optimalen Wassergehaltes“ in der Baupraxis mitunter aus verschiedenen Gründen in Kauf genommen werden.

Weiterhin bilden häufig die folgenden ausführungstechnischen Faktoren Fehler bei der Grabenverfüllung:

- zu große Schütthöhe des Verfüllmaterials vor dem Verdichten
- falsche Vorgehensweise beim Entfernen des Verbaus mit der Folge von Auflockerungen oder Lageänderungen der verlegten Rohrleitung
- unzureichende Verdichtung (zu wenig Verdichtungsübergänge) und / oder örtliche Fehlstellen
- Verfüllung und Verdichtung bei ungeeigneten Witterungsverhältnissen (z. B. Frost)

Allgemein bildet die Unterschreitung des zu erreichenden Verdichtungsgrades bzw. des mindestens einzuhaltenden Verformungsmoduls den weitaus häufigsten Mangel bei Grabenverfüllarbeiten. Als besonders schadensrelevant hat sich die Verdichtung der Rohrzwickel, Schachtanschlüsse und anderer enger Bereiche sowie die Verdichtung bei Kreuzungen von Rohrtrassen erwiesen, da eine ordnungsgemäße Verfüllung und Verdichtung dort nur mit relativ großem Aufwand durchführbar ist.

Abschließend soll erwähnt werden, daß zu den bauschadensrelevanten Fehlern bei der Grabenverfüllung auch Beschädigungen der verlegten Rohrleitung gehören. Hierbei kann es sich z. B. um Ribbildungen oder lokale Zerstörungen infolge direkter oder indirekter Einwirkung des Verdichtungsgerätes auf die für diese Belastung statisch nicht ausgelegten Rohrleitungen handeln. Unzulässige Beanspruchungen können insbesondere bei punktförmiger und dynamischer Einwirkung während der Verdichtungsarbeiten auftreten, sie werden begünstigt durch nicht ausreichende Auflagerung oder Bettung der Rohrleitung.

Zusätzlich sind mögliche Lageänderungen der Rohrleitung durch einseitige Beanspruchung während der Verdichtung zu beachten. Außerdem kann bei bestimmten Rohren durch Beschädigung der Leitungsumhüllung infolge direkter maschineller Einwirkung der Korrosionsschutz zerstört werden.

**Verfasser:** Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Frohmüt Wellner  
Universität Hannover  
Fachgebiet Konstruktiver Straßenbau  
Appelstraße 9 A  
30167 Hannover  
Telefon: (05 11) 7 62 – 37 20  
Telefax: (05 11) 7 62 – 38 62  
e-mail: [Wellner@mbox.ivh.uni-hannover.de](mailto:Wellner@mbox.ivh.uni-hannover.de)  
und  
Dr.-Ing. Jürgen Vogel  
Dr.-Ing. Meihorst und Partner Beratende Ingenieure für Bauwesen GmbH  
Gehägestraße 46  
30655 Hannover  
Telefon: (05 11) 9 09 56 – 0  
Telefax: (05 11) 9 09 56 – 11  
e-mail: [meihorst@t-online.de](mailto:meihorst@t-online.de)