

## VI/1 Maß der erforderlichen Verdichtung und Verdichtungstechniken bei schmalen Leitungsgräben

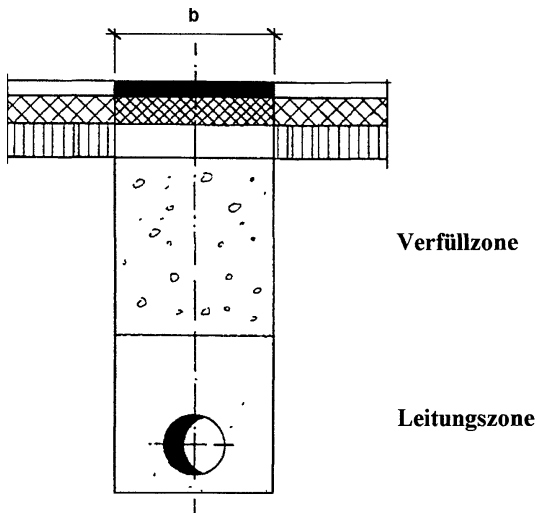
Prof. Dr.-Ing. Hans-Henning Schmidt

### I. Was ist eine schmaler Graben ?

- Nicht verbaut, für kurze Zeit standsicher
- Tiefe  $< 1,25$  m
- Breite  $< 0,5$  m
- Gemäß DIN 4124 nicht betretbar, aber zulässig.

Definition der Grabenbereiche, siehe **Bild 1** .

Schmale Gräben sind bei Bauunternehmern nicht beliebt, da aufgrund der geringen Massen angeblich kein Geld zu verdienen ist. Jedoch ist es das Interesse der Versorgungsunternehmen, beim Rohrleitungsbau den bisherigen hohen Kostenanteil für die Erd- und Oberflächenarbeiten ( $> 60\%$ ) zu senken.



**Bild 1:** Definition der Grabenbereiche

### 2. Was ist die erforderliche Verdichtung ?

Über die erforderliche Verdichtung in Leitungsgräben und deren Nachweis gibt es viele Vorschriften und Regelwerke. Es richtet sich allerdings kaum jemand danach!

- ZTVE-StB 94
- ZTVA-StB 97
- Richtlinien für den Einbau von Beton- und Stahlbetonrohren 8/98; FBS

- DIN-Normen über Klassifizierung von Böden sowie für bodenmechanische Versuche und Vorschriften über deren Eichung (z. B. Dyn. Plattendruckgerät)

Verdichtungsanforderungen ergeben sich aus:

- Anforderungen der Rohrstatik (Bettung der Rohrleitung)
- Forderung, Straßenschäden infolge von Sackungen im Boden zu vermeiden

Was ist Verdichtung?

Erreichen einer möglichst dichten Lagerung des Kornhaufwerks mit einem geringen Porenanteil. Ein bestimmter Wassergehalt ist für eine gute Verdichtung wichtig.

Maß der Verdichtung (Dichte) ist der Verdichtungsgrad  $D_{pr}$  und für bindige Böden der Luftporengehalt  $n_a$ .

- Bezug ist der Proctorversuch im Labor sowie die Dichte- und Wassergehaltsbestimmung im Feld (Graben) [1].
- Erreichbare Dichte und optimaler Wassergehalt sind für jeden Boden anders.
- Aufwendige Versuche im Labor und auf der Baustelle; für kleine Grabenbaustellen kaum zumutbar!

Deshalb indirekte Versuche als Ersatz, siehe auch [2]:

- Leichte Rammsonde
- Plattendruckversuch
- Dynamischer Plattendruckversuch
- CBR-Versuch
- Dynamischer CBR-Versuch
- Clegg Impact Soil Tester
- Taschenpenetrometer

Korrelationen der Meßwerte zu  $D_{pr}$  und Luftporengehalt  $n_a$  sind vorhanden bzw. müssen noch gefunden werden. Für bindige Böden mindestens steifer Konsistenz kann z. B. folgende Beziehung genannt werden:

$$D_{pr} > 97 \% \text{ und Luftporengehalt } n_a \leq 12 \% \rightarrow E_{vd} \geq 22 \text{ MN/m}^2 \text{ [3]}$$

Bzw. Erfahrung und daraus abgeleitete Arbeitsanweisung: Kontrolle und Dokumentation der Arbeit nach Arbeitsanweisung; Methode M 3 nach ZTVE:

- Zu verwendendes Bodenmaterial
- Schütthöhen der Lagen
- Verdichtungsgerät
- Anzahl der Verdichtungsübergänge

Nur im Zweifelsfall bodenmechanische Kontrollversuche!

Die Möglichkeit der schnellen Versuchsdurchführung ist psychologisch sehr wichtig: Wo kontrolliert wird oder werden kann, da wird ordentlich gearbeitet!

### 3. Empfehlungen für den Einbau und die Verdichtung von Böden in schmalen Gräben

- Den ausgehobenen Boden in der Verfüllzone wieder einbauen, um möglichst den ursprünglichen Zustand wieder herzustellen. Nur organische und humose bzw. breiige bin-

dige Böden sind für den Wiedereinbau ungeeignet. Bauunternehmer nehmen allerdings für die Wiederverfüllung gerne Fremdmaterial.

- Zu weiche bindige Böden können mit hydraulischen Bindemitteln (Kalk und Zement) verbessert und so einbaubar gemacht werden.
- Numerische Untersuchungen [3] haben gezeigt, daß bindige (kohäsive) Böden mit mindestens steifer Konsistenz in der Verfüllzone in schmalen Gräben günstig sind, da sie eine Gewölbeausbildung über der Leitungszone ermöglichen und somit ein günstiges Tragwerk ergeben. In diesem Falle muß für die Verdichtung in der Leitungszone kein großer Aufwand mehr getrieben werden.
- Verfülllagendicke  $\leq 30$  cm, bzw.  $\leq$  Grabenbreite
- Zahl der Übergänge mit Vibrationsstampfern:  $\geq 4$
- Für die Leitungszone eignen sich neben hydraulisch gebundene Materialien wie Boden-Mörtel auch normale Sande (0-2 mm). Bei Kunststoffrohren in einer Sandbettung von 5 cm bis 10 cm hat sich gezeigt, daß bei einer Lagendicke von 20 cm über Rohrscheitel und einer Verdichtung mit einem Vibrationsstampfer ( $\geq 60$  kg) bei 4 Übergängen ein Optimum der Verdichtung und auch eine ausreichende Verdichtung in den Zwickeln unter dem Rohr erreicht werden konnte [3].

#### 4. Verdichtungstechniken

Für schmale Gräben und bindige Böden sind Vibrationsstampfer am besten geeignet, da niedrige Frequenz ( $f = 10$  Hz bis 12 Hz) und große Amplitude ( $A = 40$  mm bis 70 mm). Vibrationsstampfer sind infolge linearer Massenbewegungen mittels Pleuelstangen wegeregte Geräte. Im Gegensatz dazu haben krafterrege Vibrationsplatten (infolge rotierender Unwuchten) hohe Frequenzen zwischen 35 Hz und 100 Hz (mehr als die doppelte Eigenfrequenz der Böden) und kleine Amplituden von 1 mm bis 2 mm. Sie sind damit für die Verdichtung nichtbindiger Böden geeignet. Für schmale Gräben sind jedoch noch keine ferngesteuerten Geräte am Markt, so daß sie für die Verdichtung von tieferen Lagen in nicht begehbaren Gräben nicht in Frage kommen.

Handgeführte Vibrationsstampfer haben ein Gewicht von etwa 50 bis 70 kg und können mit einer Fußverlängerung ausgestattet werden. Allerdings sind sie dann nicht mehr so leicht handhabbar.

Besser sind anzubauende Geräte. Hier liegen gute Erfahrungen mit dem Gerät „Lancier GV 1500“ der Fa. Lancier, Münster vor. Es konnte bei einem steifen bis halbfesten Schluffboden (Lehm) bei 30 cm dicken Schüttlagen und 4 Übergängen ein ausreichender Verdichtungsgrad von  $D_{Pr} \geq 97\%$  erreicht werden.

Selbstfahrende Vibrationsräder und Vibrationswalzen mit Bandagenbreiten zwischen 18 cm und 30 cm, wie sie von verschiedenen Baumaschinenherstellern angeboten werden, haben sich bei schmalen Gräben wegen ihrer großen Eigengewichte von 3 bis 5 t als zu schwerfällig dargestellt. Außerdem kam es bei den über dem Graben fahrenden Geräten zu Einbrüchen an den Grabenkanten.

#### 5. Zusammenfassung

- Möglichst den anstehenden Boden für die Verfüllung der Verfüllzone wieder verwenden.
- Bindige Böden mit mindestens steifer Konsistenz und guter Verdichtung sind in der Verfüllzone für das „Tragwerk schmaler Gräben“ besonders günstig.
- Eine ausreichende Verdichtung ist auch bei schmalen Gräben wichtig.

- Verdichtung vorzugsweise mit Vibrationsstampfern (handgeführt oder angebaut) für schmale Gräben vorteilhaft und wirtschaftlich.
- Einbauschüttlagen  $\leq 30 \text{ cm} \leq$  Grabenbreite  $b$ , mindestens 4 Verdichtungsübergänge sind in der Regel optimal.
- In der Leitungszone selbst kommen hydraulisch gebundene Materialien in Frage, die nicht verdichtet werden müssen. Gute Verdichtungserfolge ließen sich auch bei Kunststoffrohren mit einer Sandbettung und einer Sandüberdeckung von etwa 20 cm (verdichtet) erreichen. Dabei ergab sich bei einer Verdichtung der Überdeckung auch eine ausreichende Verdichtung in den Zwickeln.
- Kontrolle der Verdichtung mit Kontrolle und Protokoll der nach Arbeitsanweisung durchgeführten Arbeit bzw. mit indirekten Versuchen.

## 6. Literatur

- [1] Schmidt, H.-H. (1996): Grundlagen der Geotechnik, Teubner-Verlag, Stuttgart.
- [2] Schmidt, H.-H. (1997): Schnellprüfverfahren hinsichtlich Bodenqualität und Verdichtung für Leitungsgräben, 5. Int. Kongress für Leitungsbau, Hamburg, S. 1047-1057.
- [3] Bericht Forschungsvorhaben „Schmale Rohrgräben - Nachweis der Ausführbarkeit und Überprüfung einer ausreichenden Verdichtung der Grabenverfüllung“, Schlußbericht Juni 1999, DVGW, unveröffentlicht.

**Verfasser:** Prof. Dr.-Ing. Hans-Henning Schmidt  
 Smolczyk & Partner GmbH, Stuttgart,  
 Fachhochschule Stuttgart – Hochschule für Technik  
 Untere Waldplätze 14  
 70569 Stuttgart  
 Telefon: (07 11) 131 64 - 0  
 Telefax: (07 11) 131 64 - 64  
 e-mail: [SmolczykPartner@CSI.COM](mailto:SmolczykPartner@CSI.COM)