

# Das Rütteldruckverfahren zur Baugrundverbesserung

Autor(en): **Lüpold, Peter**

Objekttyp: **Article**

Zeitschrift: **Schweizerische Bauzeitung**

Band (Jahr): **88 (1970)**

Heft 28

PDF erstellt am: **11.09.2024**

Persistenter Link: <https://doi.org/10.5169/seals-84559>

## **Nutzungsbedingungen**

Die ETH-Bibliothek ist Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Inhalten der Zeitschriften. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern.

Die auf der Plattform e-periodica veröffentlichten Dokumente stehen für nicht-kommerzielle Zwecke in Lehre und Forschung sowie für die private Nutzung frei zur Verfügung. Einzelne Dateien oder Ausdrucke aus diesem Angebot können zusammen mit diesen Nutzungsbedingungen und den korrekten Herkunftsbezeichnungen weitergegeben werden.

Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Die systematische Speicherung von Teilen des elektronischen Angebots auf anderen Servern bedarf ebenfalls des schriftlichen Einverständnisses der Rechteinhaber.

## **Haftungsausschluss**

Alle Angaben erfolgen ohne Gewähr für Vollständigkeit oder Richtigkeit. Es wird keine Haftung übernommen für Schäden durch die Verwendung von Informationen aus diesem Online-Angebot oder durch das Fehlen von Informationen. Dies gilt auch für Inhalte Dritter, die über dieses Angebot zugänglich sind.

Von Ing. Peter Lüpold in Firma Schafir & Mugglin AG, Zürich

Vortrag, gehalten an der FGBH-Studientagung vom 21./22. Nov. 1969 in Zürich

## 1. Einleitung

Dürfen auf einen Boden in seinem natürlichen Zustand nur geringe Lasten übertragen werden, so ist es naheliegend, mittels einer Baugrundverbesserung annehmbare Fundationsverhältnisse zu schaffen. An eine solche Baugrundverbesserung sind in erster Linie die folgenden Anforderungen zu stellen:

1. Die Lasten aus dem Bauwerk müssen ohne Schaden für dieses an den behandelten Boden abgegeben werden können.
2. Es muss eine dauernde Homogenisierung des Untergrundes stattfinden, damit eine gleichmässige Lastverteilung gewährleistet werden kann.
3. Die Baugrundverbesserung muss kontrollierbar sein.
4. Die Baugrundverbesserung soll wirtschaftlich sein

Ein Verfahren, das diesen Anforderungen nachkommt, ist die Tiefenverdichtung nach dem patentierten Rütteldruckverfahren. Es wurde vor dem Zweiten Weltkrieg in Deutschland entwickelt und 1958 erstmals in der Schweiz mit Erfolg angewendet. Während Prof. Lang in seinem Vortrag (siehe SBZ 1970, Heft 22, Seite 475) die bodenmechanischen Gesichtspunkte einer Tiefenverdichtung behandelte, sollen hier die Anwendungsmöglichkeiten besprochen werden.

## 2. Die Benützung von Schwingungen zur Erhöhung der Lagerungsdichte gewachsener Böden und von Schüttungen

### 2.1 Allgemeines

Während statischer Druck die Reibung im Korngefüge eines Bodens erhöht und dadurch eine Umlagerung erschwert, vermindert eine dynamische Einwirkung diese Reibung wesentlich oder kann sie sogar aufheben und ermöglicht, in Verbindung mit dem Eigengewicht der einzelnen Bodenkörner und unter Einfluss strömenden Wassers praktisch die optimale Lagerungsdichte zu erreichen.

Je nach Angriffsstelle des Verdichtungsgerätes spricht man von einer Oberflächenverdichtung oder von einer Tiefenverdichtung. In beiden Fällen hängt die Verdichtungswirkung in erster Linie vom Verhältnis der Drehzahl des Schwingungsreggers zur Eigenfrequenz des Systems Schwingen-Boden sowie

vom Wassergehalt bzw. dem Sättigungsgrad des Bodens ab. Da bei der Oberflächenverdichtung neben der Einwirkungsdauer auch die Schichthöhe eine Rolle spielt, nimmt die Tiefenwirkung der zur Anwendung kommenden Geräte mit zunehmender Schichtstärke rasch ab. Diese Schwierigkeit, von der Oberfläche aus nur eine beschränkte Schichtstärke behandeln zu können, wird beim Rütteldruckverfahren dadurch umgangen, dass das Verdichtungsgerät im Boden versenkt wird.

### 2.2 Das Verdichtungsgerät

Das Verdichtungsgerät, auch Rüttler genannt, ist etwa 5 m lang und hat einen Durchmesser von etwa 30 cm (Bild 1). Es enthält einen Elektromotor, der mehrere Exzentrerscheiben in Umdrehung versetzt, die in ihrer Funktion als Schlaggewichte eine starke Vibration des Rüttlers hervorrufen. Die Verbindung zu den Verlängerungsrohren, die die notwendigen Zuleitungen für Strom und Wasser enthalten, erfolgt mittels einer elastischen Kupplung. Die ganze Apparatur wiegt je nach Länge 3 bis 6 t und kann z. B. von einem Pneukran aus bedient werden (Bild 2).

### 2.3 Wirkungsprinzip und Verdichtungs Vorgang

Bei der Tiefenverdichtung erfolgt der Verdichtungs Vorgang von unten nach oben, indem der Rüttler mit Hilfe der von ihm erzeugten Schwingungen und unter gleichzeitiger Verwendung von Druckwasser, das an seiner Spitze austritt, auf die gewünschte Tiefe eingespült wird (Bild 3). Je nach natürlicher Lagerungsdichte des Bodens variiert die Eindringgeschwindigkeit zwischen 30 Sekunden bis 2 Minuten. Nach Erreichen der vorgeschriebenen Tiefe wird die Wasserzufuhr gedrosselt, und die eigentliche Verdichtung beginnt.

Da im Bereich des Vibrators die Scherfestigkeit des Bodens durch die Schwingungen weitgehend überwunden wird, findet unter dem Einfluss der bereits genannten Kräfte die Umlagerung des Korngerüsts in eine dichtere Lagerung statt. Ist die gewünschte Lagerungsdichte an der tiefsten Stelle erreicht, wird der Rüttler stufenweise hochgezogen und der Verdichtungs-

Bild 1. Torpedo-Rüttler, System Johann Keller

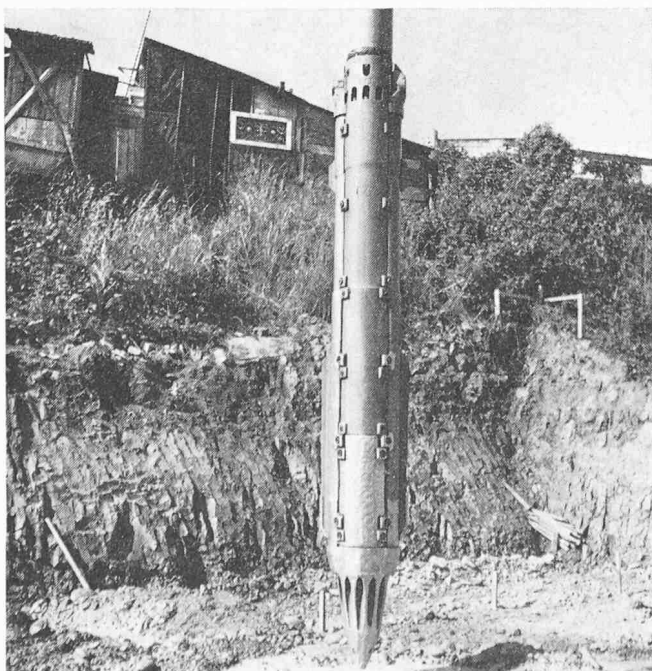
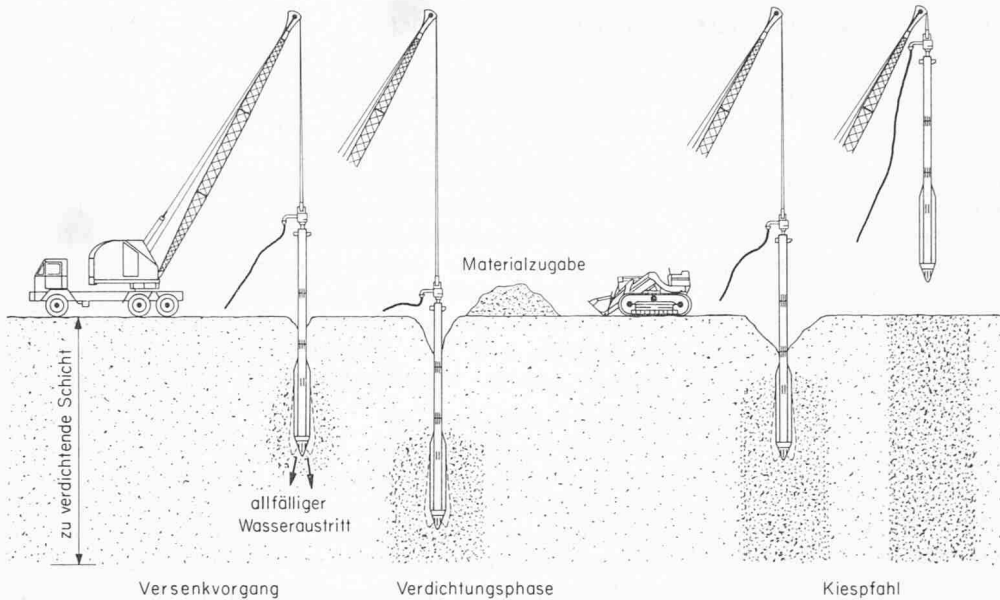


Bild 2. Torpedo-Rüttler mit Traggerät



Bild 3. Verdichtungsvorgang beim patentierten Rütteldruckverfahren



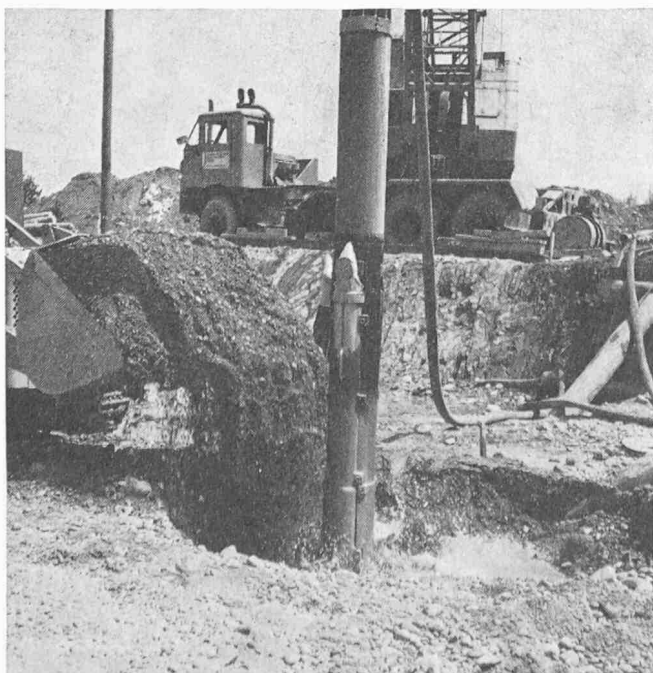
vorgang so oft wiederholt, bis zur vorgeschriebenen Fundamentkote ein zylinderförmig verdichteter Erdkörper entstanden ist. Die Umlagerung erfolgt spannungsfrei, der Erdkörper ist auch gegen Erosion weitgehend unempfindlich, und damit die Verdichtung eine dauernde. Infolge der Porenvolumenverminderung des Bodens entsteht an der Oberfläche ein Trichter (Bild 4), in welchen zum Ausgleich laufend Material zugegeben wird.

Um eine optimale Verdichtung zu erzielen, muss dieses Zubgabematerial diejenigen Komponenten enthalten, die dem gewachsenen Boden fehlen. Die Materialaufnahme beträgt je nach Lagerungsverhältnissen durchschnittlich 0,4 bis 0,8 m<sup>3</sup> pro Meter Verdichtungslänge und erlaubt eine gute Beurteilung der Verdichtungswirkung.

#### 2.4 Anordnung der Rüttelpunkte

Reiht man die einzelnen Rüttelpunkte so aneinander, dass ihre Wirkungsbereiche sich überschneiden (Bild 5), so entsteht ein Verdichtungskörper, welcher eine weitgehend homogene

Bild 4. Trichterbildung und Materialzugabe



Lagerungsdichte aufweist, denn in locker gelagerten Zonen ist der Verdichtungseffekt natürlich sehr viel grösser als in bereits dichter gelagerten Zonen. Der Wirkungsbereich eines Rüttelpunktes hängt stark von der Bodenart ab und liegt im Maximum bei etwa 6 m<sup>2</sup>. Es ist zudem darauf zu achten, dass wirklich eine Vergrößerung der Verdichtungsfläche gegenüber der Fundamentfläche stattfindet (Bild 6).

Enthält ein Boden auch wesentliche Mengen an Feinanteilen wie Silt, so erfolgt durch deren teilweise Ausspülung und durch die Materialzugabe eine Kombination von Verdichtung und Bodenersatz. In diesem Fall muss die Anordnung der Rüttelpunkte enger gewählt werden, da ihr Wirkungsbereich im Mittel bis auf 60% des Maximalwertes zurückgeht.

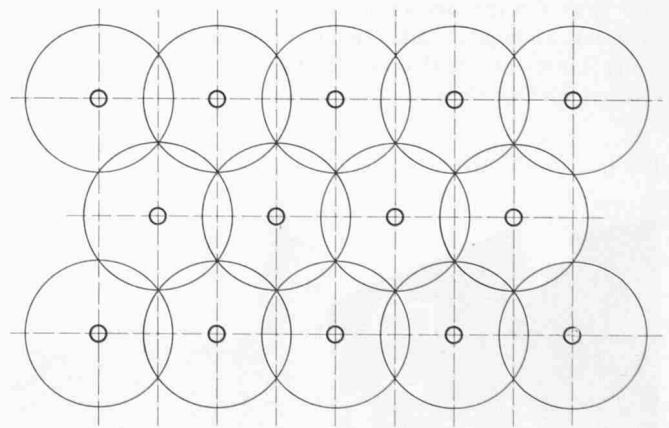


Bild 5. Anordnung der Rüttelpunkte

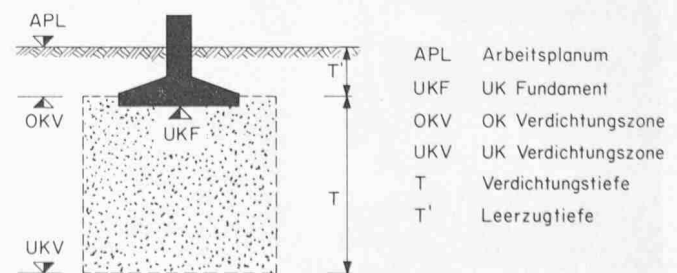


Bild 6. Vergrößerung der Verdichtungsfläche gegenüber Fundamentfläche

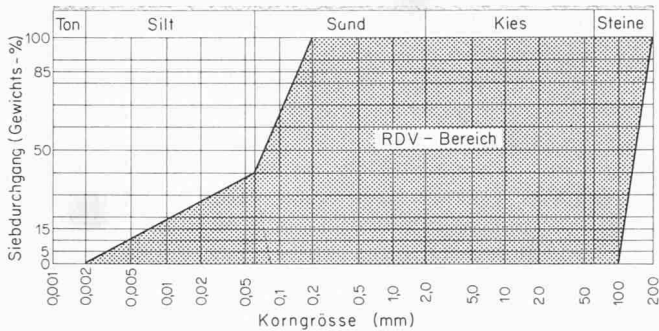


Bild 7. Anwendungsbereich für das Rütteldruckverfahren (RDV)

In bindigen Böden ist der Wirkungsbereich am kleinsten; er kann bis auf 20% des Maximalwertes absinken. In solchen Fällen erfolgt eine mechanische Verdichtung, indem Kiessand oder Schotter säulenförmig in den Boden eingerüttelt wird. In Bild 7 sind die Bereiche der zur Behandlung mit dem Rütteldruckverfahren geeigneten Böden schematisch eingezeichnet.

### 3. Kontrolle der Verdichtungswirkung

#### 3.1 Kontrolle während der Verdichtung

Um die erreichte Lagerungsdichte während des Verdichtungs Vorganges zu kontrollieren, wird am Rüttler ein Tiefenschreiber angeschlossen. Von diesem werden die jeweilige Tiefenlage sowie die Stromaufnahme des Gerätes laufend aufgezeichnet. Da die zunehmende Lagerungsdichte durch eine erhöhte Stromaufnahme gekennzeichnet ist, kann auf Grund der Erfahrung beim Erreichen einer bestimmten Amperezahl auf eine optimale Verdichtungswirkung geschlossen werden. Die Beobachtung dieser Stromaufnahme gestattet, auch bei sehr unregelmässigen Lagerungsverhältnissen eine homogene Lagerungsdichte zu erzielen.

#### 3.2 Kontrolle nach der Verdichtung

Hierfür kommen Setzungsmessungen und Rammsondierungen (Bild 8) in Frage. Gemessene Setzungen an Bauwerken, die auf verdichteten Kiessanden gegründet worden sind, ergaben, dass in der verdichteten Zone  $M_E$ -Werte von über 1500 kg/cm<sup>2</sup> vorhanden sein müssen.

### 4. Anwendung und Wirtschaftlichkeit des Rütteldruckverfahrens

In der Schweiz hat das Rütteldruckverfahren vor allem zwei Anwendungsformen.

#### 4.1 Erhöhung der Tragfähigkeit und Verminderung der Zusammendrückbarkeit

Die erste Anwendungsform hat den Zweck einer Erhöhung der Tragfähigkeit bzw. Verminderung der Zusammendrückbarkeit anstehender Böden und von Auffüllungen, insbesondere auch von solchen, wo die Wasserverhältnisse ein lagenweises Einbringen und Verdichten nicht erlauben.

Die Wirtschaftlichkeit ist vor allem dann gegeben, wenn setzungsempfindliche Bauwerke auf lockeren und unregelmässig gelagerten Kiessanden, die auch siltig oder leicht lehmig

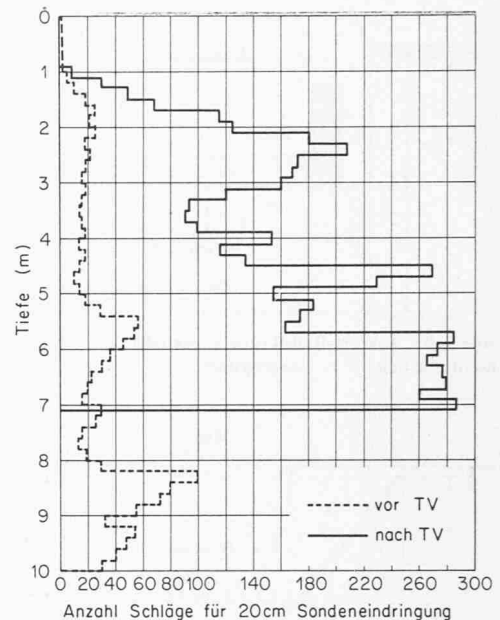


Bild 8. Rammsondierung vor und nach Durchführung der Tiefenverdichtung (TV). Bärgewicht 30 kg, Fallhöhe 20 cm, Spitzenquerschnitt 10 cm<sup>2</sup>

sein dürfen, gegründet werden müssen oder wenn ein tragfähiger Horizont erst in grosser Tiefe ansteht (Bild 9). Weiter ist die Wirtschaftlichkeit dann gegeben, wenn Bauwerke auf Schichten gegründet werden müssen, die nicht durch konzentrierte Lasten beansprucht werden sollten, denn der verdichtete Boden lässt hohe Bodenpressungen und den Verzicht auf kostspielige Flachfundationen zu.

#### 4.2 Verminderung der Wasserdurchlässigkeit

Die zweite Anwendungsform hat zum Zweck, die Wasserdurchlässigkeit von Kies- und Kiessanden und damit die Wasserhaltungskosten herabzusetzen. Verwendet man nämlich als Zugabematerial Sand statt Kies, so erfolgt in Verbindung mit der Verdichtung eine gleichzeitige Verstopfung der Poren. Die sich daraus ergebende Verkleinerung der Wasserdurchlässigkeit ist möglich bis hinab zu  $k$ -Werten von  $10^{-5}$  m/s. Das Verfahren findet vor allem Anwendung zur Verminderung des Wasserandrages bei Bauwerken, die unter dem Grundwasserspiegel gegründet werden, und dort, wo aus wasserwirtschaftlichen Gründen keine grossen Wassermengen aus dem Grundwasserstrom entnommen werden dürfen. Da für die Durchführung der  $k$ -Wert-Verkleinerung keine chemischen Mittel verwendet werden, ist eine Beeinträchtigung der Wasserqualität ausgeschlossen. Der Wasserantrieb in die Baugrube ist abhängig vom ursprünglichen  $k$ -Wert des Bodens, von der Baugrubenform sowie von der Wasserspiegeldifferenz  $\Delta W$ ; er beträgt nach durchgeführter Tiefenverdichtung im Mittel 3 bis 8 l/min und m<sup>2</sup> Baugrubenfläche. Die Ausführung der Tiefenverdichtung erfolgt normalerweise nach einer der drei untenstehend beschriebenen Varianten (Bilder 10 bis 12).

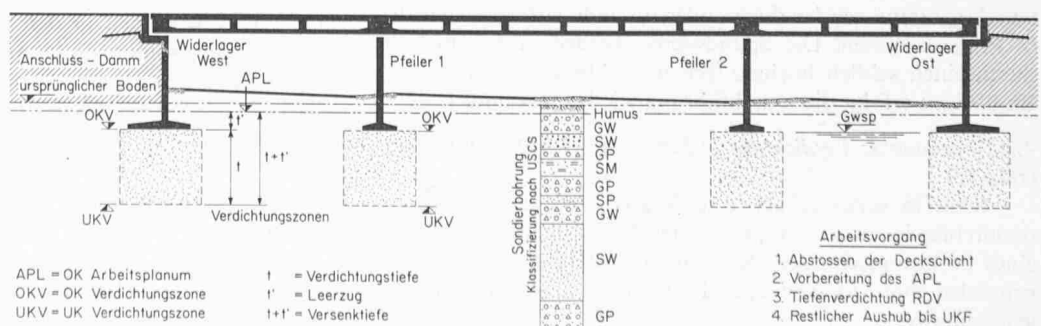


Bild 9. Tiefenverdichtung, Methode RDV, für die Gründung von vier Brückenfundamenten auf unregelmässig gelagertem Untergrund

APL = OK Arbeitsplanum  
OKV = OK Verdichtungszone  
UKV = UK Verleerzone  
t' = Verdichtungstiefe  
t' = Leerzug  
t+t' = Versenkentiefe

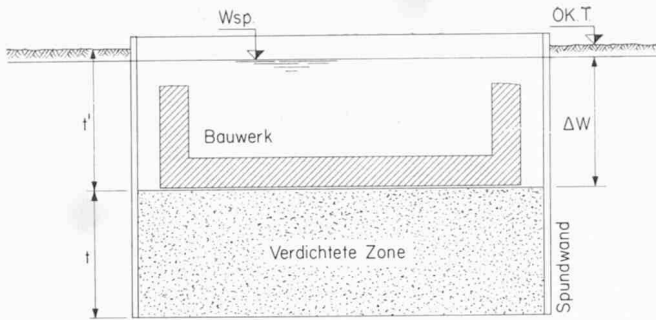


Bild 10.  $k$ -Wert-Reduktion innerhalb von Spundwänden.  $t$  = Verdictungstiefe,  $t'$  = Leerzugtiefe

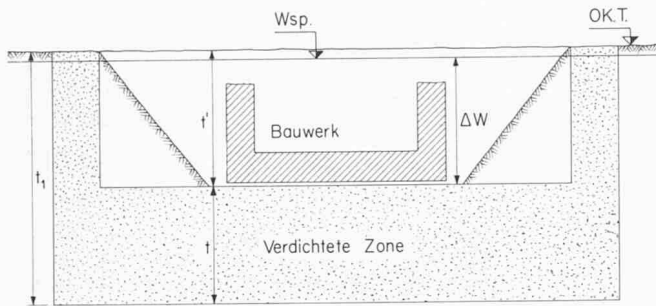


Bild 11.  $k$ -Wert-Reduktion mit seitlich hochgezogenem Dichtungsschirm als Ersatz für die Spundwände

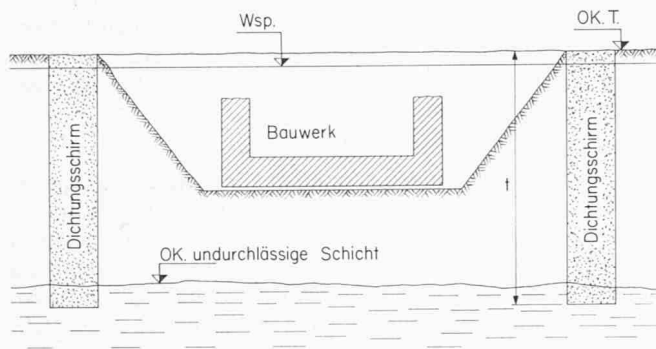


Bild 12.  $k$ -Wert-Reduktion beschränkt sich auf Dichtungsschirm, falls eine praktisch undurchlässige Schicht ansteht

#### 4.2.1 Variante 1: Verdichtung innerhalb von Spundwänden (Bild 10)

Der anstehende Boden wird innerhalb der Spundwände in Form eines Deckels verdichtet. OK Verdichtungszone entspricht der Fundamentkote. Die effektive Verdichtungslänge  $t$  ist abhängig vom anstehenden Material, der Wasserspiegeldifferenz  $\Delta W$  und dem ursprünglichen Durchlässigkeitsbeiwert  $k$  des Bodens. Die Leerziehstrecke  $t'$  entspricht der Differenz zwischen OK Arbeitsplanum und OK Verdichtungszone.

#### 4.2.2 Variante 2: Verdichtung in Form einer Wanne (Bild 11)

Diese Variante kommt in Betracht, wenn keine Spundwände gerammt werden dürfen oder aus anderen Gründen nicht in Frage kommen. Die Spundwände werden in diesem Fall durch einen seitlich hochgezogenen Dichtungsschirm ersetzt. Im übrigen erfolgt die Durchführung wie bei Variante 1.

#### 4.2.3 Variante 3: Verdichtung in Form eines Dichtungsschirmes (Bild 12)

Steht in wirtschaftlich erreichbarer Tiefe eine praktisch undurchlässige Schicht an, so erfolgt die Verdichtung in Form eines Dichtungsschirmes, der in die undurchlässige Zone eingebunden und wie eine Spundwand rund um das Bauwerk gezogen wird.

## 5. Zusammenfassung

Die Tiefenverdichtung nach dem Rütteldruckverfahren ist ein Verfahren zur Bodenverbesserung. Es werden keine Zuschlagsstoffe chemischer Natur verwendet, und eine Verschmutzung des Grundwassers ist daher ausgeschlossen. Das Verhältnis von Arbeitsgerätfäche zu Wirkungsfläche ist klein und damit (bei gleichem Kostenaufwand) die erzielbare Homogenität des behandelten Bodens viel grösser, bzw. die Wahrscheinlichkeit des Auftretens unbehandelter Zonen wesentlich geringer, als dies bei anderen Verfahren der Fall ist. Die so behandelten Böden weisen bei gleicher Bodenpressung bedeutend geringere Setzungen bzw. bei gleichen zulässigen Setzungen eine wesentlich höhere Tragfähigkeit auf. Durch geeignete Wahl des Zugabematerials wird eine starke Herabsetzung des Wasserandranges in die Baugrube erreicht. Somit werden mit der Tiefenverdichtung die folgenden Verbesserungen eines Bodens erzielt:

1. Verminderung des Porenvolumens in der Grössenordnung von 5 bis 10% und Erhöhung des Raumgewichtes.
2. Erhöhung der Scherfestigkeit.
3. Erhöhung des  $M_E$ -Wertes.
4. Verkleinerung des  $k$ -Wertes.
5. Erhöhung der Sicherheit gegen Grundbruch.

Adresse des Verfassers: P. Lüpold, 8307 Effretikon, Im Gassacher 16.

## Holzforschung und Holzgewerbe

Von Prof. Dr. Hermann Tromp, Institut für forstliche Betriebswirtschaftslehre an der ETH Zürich<sup>1)</sup> DK 691.11.001.6

Die Wachstums-Aussichten des holzverarbeitenden Gewerbebezweiges hängen auf lange Sicht davon ab, ob und wie die Branche sich wissenschaftlich und technisch auf der Höhe der Zeit halten kann. Die Praxis hat es selbst in der Hand, ob sich die Erkenntnisse der Forschung wirtschaftlich positiv auswirken.

Die Grundlagenforschung, die keinen direkten kommerziellen Gewinn erstrebt, wird in der Regel ganz vom Staat bezahlt; der Aufwand für die Zweckforschung wird ganz vom Unternehmen getragen, wobei jedoch der gewerbliche Einzelbetrieb nicht in der Lage ist, eine solche Forschung zu finanzieren. Die angewandte Forschung, die bereits auf von der Praxis anwendbare und auswertbare Ergebnisse abzielt, dabei aber auch noch Grundlagen zu erforschen hat, wird von Staat und Privatwirtschaft getragen. Die schweizerische Holzforchung wird zu 35% vom Staat finanziert; in Deutschland, Frankreich und Grossbritannien ist der staatliche Anteil wesentlich grösser.

Bei der betriebswirtschaftlichen angewandten Forschung ist dem Gewerbe die Übernahme eines Teils der Kosten zumutbar, da es sich hier um nicht allzu teure Aufträge handelt. Die naturwissenschaftliche und bautechnische angewandte Forschung ist aber sehr teuer und der zur Verfügung gestellte gewerbliche Beitrag kann nur symbolischen Charakter haben. Da diese Forschungen in der Schweiz bisher eher vernachlässigt wurden, sollte eine vermehrte Finanzierung durch die Öffentlichkeit gefordert werden. Die Bestrebungen, an der ETH in Lausanne ein solches Forschungszentrum zu gründen, sind daher voll zu unterstützen; den fachtechnischen Schulen sollte ebenfalls Gelegenheit geboten werden, mehr bautechnische Forschungsarbeiten durchzuführen. Aus einer Publi-

<sup>1)</sup> Nach einem Referat, gehalten anlässlich der freien Besichtigung des an die Binzstrasse 39, Zürich-Wiedikon verlegten Instituts für mikro-technologische Holzforchung ETHZ am 16. Februar 1970.