

# Sicherung und Sanierung von Tagebaukippen

Entwicklung eines neuen Verfahrens

Von Hossein Tudeshki und Thomas Hardebusch

Eine wichtige Aufgabe bei der Lösung von grundbautechnischen und bodenmechanischen Problemen ist die Verdichtung von bindigem und nicht bindigem Verdichtungsgut. In dieses Arbeitsgebiet fallen künstlich ebenso wie natürlich abgelagerte Materialien, also Böden auf Kippen, Halden, Böschungen, Dämmen, Depo- nien und auf Baugrund für infrastrukturelle Einrichtungen. Ein aktuelles Beispiel hierfür ist die Verdichtung setzungsfließgefährdeter Kip- pen und Kippenböschungen im Bereich der ehe- maligen Braunkohlentagebaue in den neuen Bundesländern.

Zur Lösung der oben genannten Problemstel- lungen wurde in der Vergangenheit eine Vielzahl von Möglichkeiten entwickelt, deren Anwend- barkeit vor allem von den physikalischen Eigen- schaften des Verdichtungsgutes wie Kornverteilung, Kornform, Lagerungsdichte und Wassergehalt sowie den geomechanischen und hydrologischen Randbedingungen des Gebietes und des Ver- dichtungszieles abhängt. In der Praxis werden insbesondere die Verfahren Sprengverdichtung, Rütteldruck bzw. Rüttelstopfverdichtung und dynamische Intensivverdichtung angewandt. In jüngerer Zeit wurde vom Autor ein weiteres Ver-

fahren, das so genannte Luft-Impulsverfahren patentiert. Bei diesem Verfahren wird die Ver- dichtung wassergesättigter, lockergelagerter Bö- den durch ferngesteuerte In-situ-Expansion von unter hohem Druck stehender Luft erzielt. Die Kombination des Verfahrens mit gesteuerten Horizontalbohrungen ermöglicht die Sicherung und Sanierung von ökologisch und/oder sicher- heitlich sensiblen Gebieten.

Eine weitere Verfahrensentwicklung stellt das vom Autor patentierte Verfahren der Pulsenden Verdrängung dar. Dieses neuartige Bodenver- dichtungsverfahren wurde ausgehend von den Grundlagen der Luft-Impulsverdichtung weiter- entwickelt, wobei die wesentlichen Verfahrensnachteile vermieden wurden.

## Verdichtungsverfahren – Stand der Technik

Verdichtungsverfahren zählen zu den Baugrund- verbesserungsmaßnahmen, die in der Regel auf eine bessere Standfestigkeit und Tragfähigkeit des Bodens als Grundlage für eine spätere Nut- zung abzielen. Die im Rahmen der Sanierung der setzungsfließgefährdeten Kippen anwendba- ren Verfahren sind in **Tabelle 1** aufgeführt. ▶

Anzeige

## Atlas Copco Bohrhämmer

### Kraftvoller, schneller, zuverlässiger, wirtschaftlicher: Der COP 1532

In seiner Gewichtsklasse ist der COP 1532 ein besonders leistungsstarker hydraulischer Gesteinsbohrhammer für alle Bohranwendungen!

Durch ein neues Schlagwerksystem gelang eine extrem kurze Gesamtkonstruktion.

Die Schlagleistung und die Frequenz können separat eingeregelt werden - so ist es möglich, das Schlagwerk optimal auf die jeweiligen Bohrbedingungen und geologischen Formationen ein- zurichten.

Durch das hydraulische Doppelryckschlag-Dämpfsystem wird der Bohrhämmer bestens vor der Reflexenergie geschützt - das Doppeldämpfungssystem wirkt sich darüber hinaus selbst bei hoher Bohrleistung bohrstahlschonend aus.

Der modulare Aufbau des Bohrhammers vereinfacht Wartungs- und Instandsetzungsarbeiten wesentlich.

Mehr Informationen erhalten Sie direkt bei Atlas Copco.



#### Atlas Copco MCT GmbH

Langemarckstraße 35 D-45141 Essen  
Tel. (0201) 2177-300 Fax (0201) 2177-337  
www.atlascopco.de mdeinfo@atlascopco.com

Verfahren	Einsatzbereich
Sprengverdichtung	wassergesättigte Kippen
Rütteldruckverdichtung (RDV)	wassergesättigte Kippen Feinkornanteil < 15%
Rüttelstopfverdichtung (RSV)	wenn RDV nicht möglich
Dynamische Intensivverdichtung	oberflächennah
Luft-Impulsverfahren	wassergesättigte Kippen

Tabelle 1: Verdichtungsverfahren und Einsatzbereiche

Die Zielsetzung bei den Verdichtungsmaßnahmen auf verflüssigungsfähigen Kippen lautet Beseitigung des Gefährdungspotentials für ein Setzungsfließen. Dies ist die Voraussetzung dafür, dass die durch den Bergbau in Anspruch genommenen Flächen aus der Bergaufsicht entlassen und für eine gefahrlose Nutzung der Öffentlichkeit zurückgegeben werden können.

Die bei der Sicherung der Kippen zu erzielenden Lagerungsdichten nach Beendigung der Verdichtungsarbeiten liegen deutlich unterhalb der in der Bauindustrie für Gründungen zu erreichenden Lagerungsdichten. Die Überprüfung des Dichtezuwachses im Boden erfolgt vor und nach der Verdichtung in erster Linie durch Druksondierungen, bei denen zum Eindringen eines Stabes mit definierten Maßen in den Boden die erforderliche Kraft gemessen wird. Typische Spitzenwiderstandswerte für ausreichend verfestigte Kippen liegen im Bereich von 10 bis 20 MPa, abhängig von Verdichtungsgut und Teufe.

## Konzept des Verfahrens „pulsende Verdrängung“

Das Verfahren „Pulsende Verdrängung“ soll vor allem im Interesse einer technischen und wirtschaftlichen Optimierung der Sicherung von setzungsfließgefährdeten Kippen und Sanierungsaufgaben des deutschen Braunkohlenbergbaus eine zusätzliche Verfahrensalternative bieten.

Die Ziele der Verfahrensentwicklung wurden aus der Analyse der Eigenschaften der bisher eingesetzten Verdichtungsverfahren abgeleitet. Die Aufgabe der neuen Entwicklung ist es, ein Verfahren zur Verdichtung zu entwickeln, bei dem die notwendige Verdichtungsenergie ferngesteuert und dosierbar in den Untergrund eingebracht werden kann.

Die Arbeitsweise des neuen Verfahrens beruht auf der stoßartigen, periodischen Expansion und Kontraktion (Pulsieren) eines elastischen Körpers in dem Verdichtungsgut [Patentschrift P 100 07 707.2]. Das Pulsieren wird dadurch erreicht, dass in einen fluidgefüllten, elastischen Körper eine definierte Menge zusätzlichen Fluids schlagartig eingebracht wird. Die Verdrängung bzw. Beschleunigung der Masse übt einen Stoß auf die elastische Wand des Körpers aus. Die Wand gibt den Stoß an das Verdichtungsgut weiter und expandiert. Nach Erreichen der maximalen Ausdehnung des elastischen Körpers kehrt dieser wieder in seine Ausgangslage zurück. Die Pulsation kann somit stets mit derselben Menge Fluid erzeugt werden. Der zyklische Vorgang wird wiederholt, wobei die Frequenz in Abhängigkeit der bodenmechanischen Gegebenheiten gesteuert werden kann. Dabei führt die periodische Überlagerung der Effekte Stoß, Expansion und Kontraktion zu einer Verdichtung des Gutes.

## Laborversuche (Phase 1)

Zur Überprüfung der Wirksamkeit des Verdichtungsverfahrens wurden einige Laborversuche mit einer ausgewählten Variante des Impulsgebers, dem sog. „water gun“, durchgeführt, der in seiner Arbeitsweise dem bei der Luft-Impulsverdichtung eingesetzten „air gun“ sehr ähnlich ist und wie dieses ebenfalls in der Geophysik in der Meeresseismik eingesetzt wird. Die Vorgabe, ein geschlossenes System zu erreichen, wurde dadurch gelöst, dass der Ansaug- bzw. Auslasstrakt des „water gun“ durch einen Schlauch abgeschlossen wird. Dieser Schlauch ist durch einen metallischen Stopfen in seiner Länge variierbar, und somit ist das Verhältnis zwischen der festen Kammer (Zylinderraum) und der elastischen Kammer (Schlauch) einstellbar. Das gesamte System besteht somit aus einem wassergefüllten Zylinder und einem pneumatisch betriebenen Kolben, der eine definierte Wassermenge innerhalb weniger Millisekunden axial in einen wassergefüllten Schlauch verdrängt. Durch die zylindrische Form des elastischen

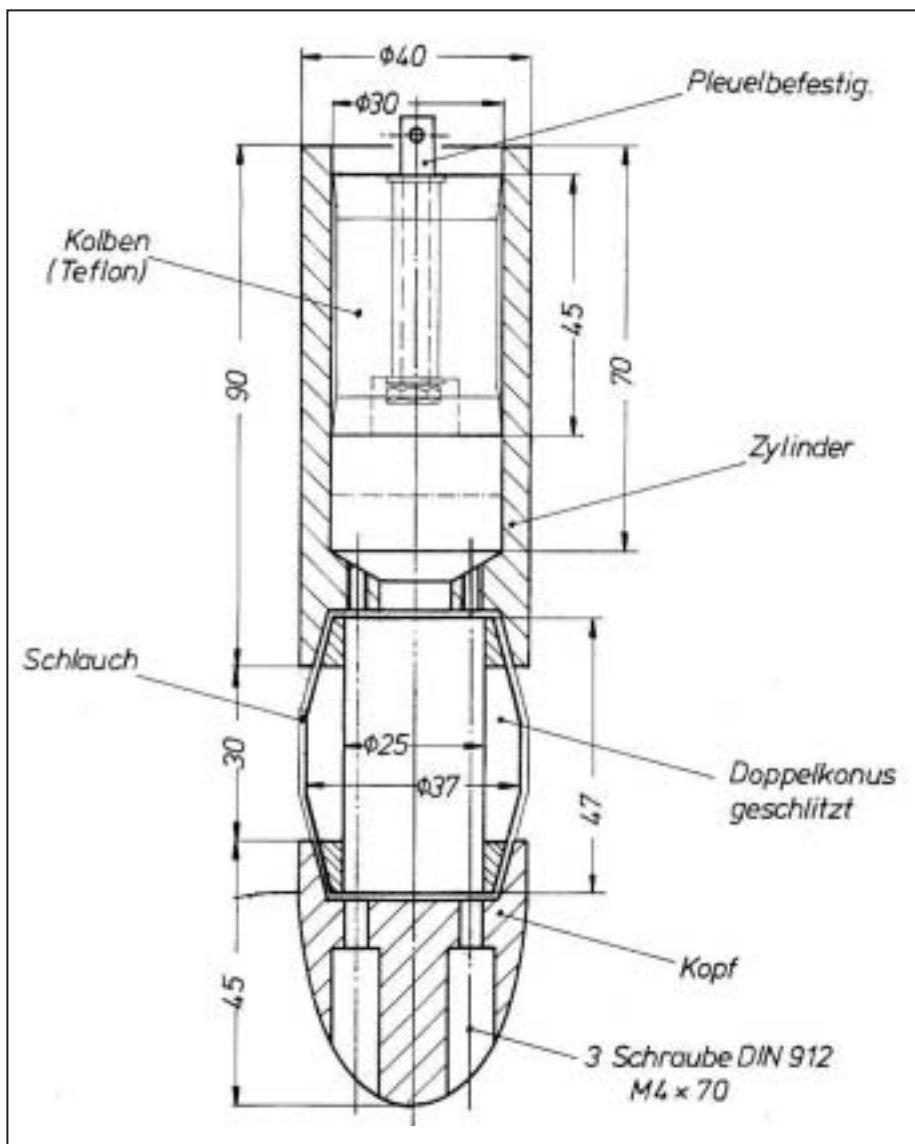


Bild 1: Schwingkolbenverdichter, Prototyp

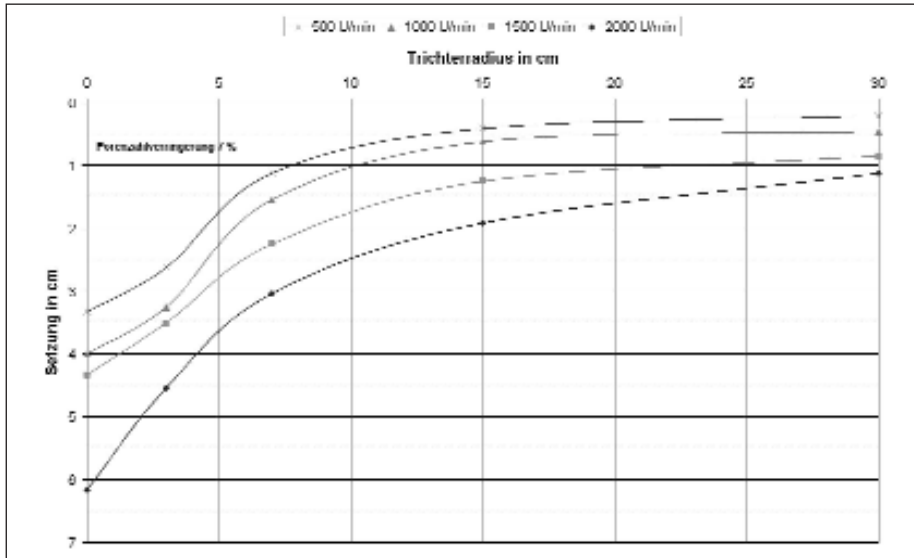


Bild 2: Versuchsauswertung, kurze Membran

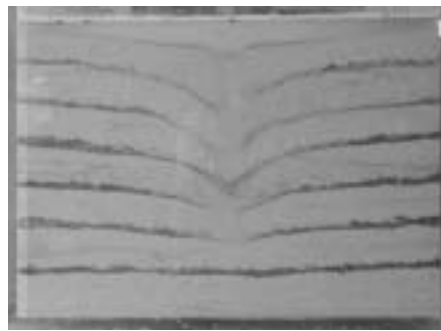
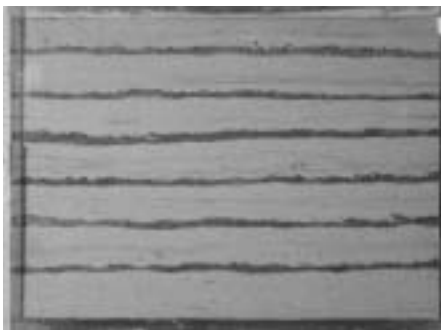


Bild 3: Visualisierung des Verdichtungseffektes bei einer wandnahen Verdichtung



Bild 4: Pulsator mit Doppelmembran

Körpers wird ein radialer Stoß in das Verdichtungsgut eingeleitet.

Bei dem Versuchssand handelt es sich um einen sehr eng gestuften Boden mit einem überwiegenden Kornanteil (64 %) im Bereich des Mittelsandes. Die geomechanischen Klassifikationsversuche und Triaxialversuche zur Bestimmung der Abhängigkeit des Reibungswinkels vom Porenanteil des Versuchsmaterials wurden durch die Lausitzer Bergbau-AG, Abteilung Bodenmechanik, durchgeführt. Der ausgewählte Versuchssand verfügt in jeder Hinsicht über die Eigenschaften setzungsfließgefährdeter Böden. Sein Scherverhalten im triaxialen Mehrstufenversuch unter undrainierten Bedingungen zeigt, dass bei lockerer Lagerung eine hohe Setzungsfließgefährdung gegeben ist.

Zur realitätsnahen Simulation der Bedingungen einer Abraumkippe eines Braunkohlentagebaus wurde dieser Sand für die nachfolgend beschriebenen Laborversuche vorsichtig in die jeweiligen Versuchskästen eingebracht. Dadurch konnte eine lockere Lagerung mit einem Porenvolumen von ca. 41 % bis 44 % im wassergesättigten Zustand erreicht werden.

Sowohl für wassergesättigten als auch für

trockenen Sand ergeben sich sehr gute Verdichtungsergebnisse. Es ist dabei festzustellen, dass in wassergesättigtem Verdichtungsgut ein großes und im trockenen Sand ein kleines Verhältnis zwischen fester und elastischer Kammer die beste Wirkung zeigen. Dies zeugt von den unterschiedlichen Prinzipien der Verdichtung, die in Abhängigkeit des Wassergehaltes wirksam werden:

- Im wassergesättigten Sand fungiert das Porenwasser als Übertragungsmedium der Stoßwelle, die zu einem weiträumigen Zusammenbruch des Korngefüges führt. Die maximale Verdichtung wird bereits nach wenigen aufeinanderfolgenden Einzelpulsen erreicht.
- Die Verdichtung des trockenen Sandes wird durch die direkte Einwirkung der elastischen Wand des Impulsgebers auf das Korngefüge erreicht, wobei durch die Expansion der elastischen Kammer der umgebende Sand verdrängt wird. Dies führt zu einer sehr starken Verfestigung im Nahfeld der Pulsation. Bei Erreichen der maximalen horizontalen Reichweite der Verdichtung setzt eine vertikale Partikelbewegung ein, die durch eine Aufwölbung der Sandoberfläche gekennzeichnet ist.

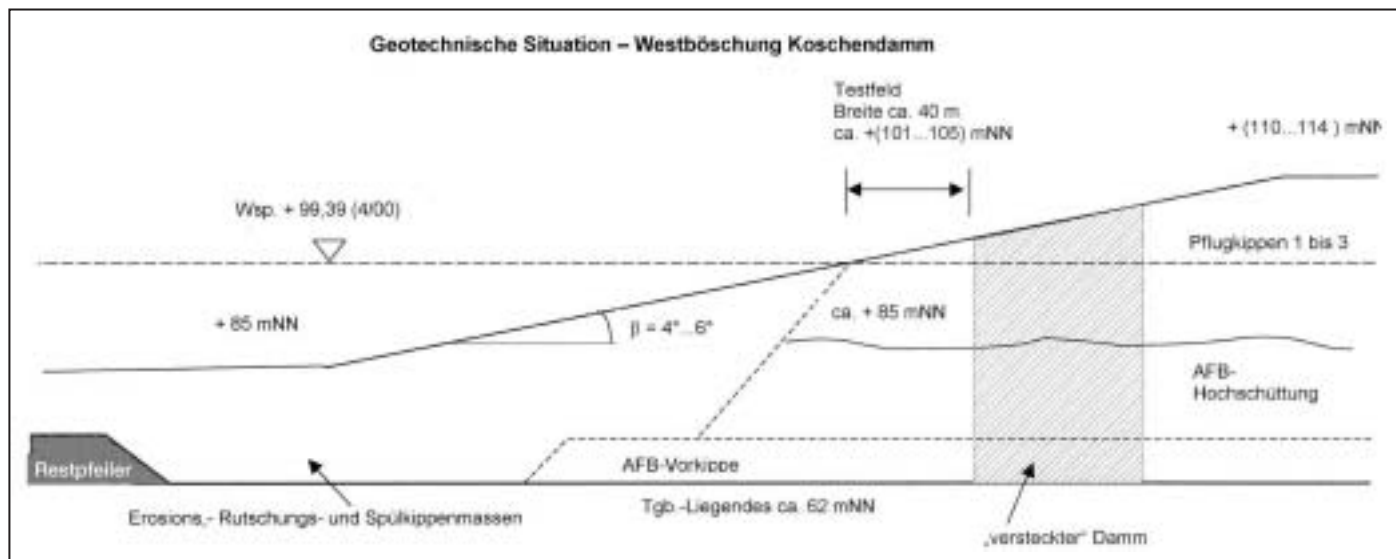
Das Verfahren ist für die Verdichtung von lockerem Sand geeignet, wobei die Verdichtung von wassergesättigtem und trockenem Sand möglich ist. Die Stärke und die Reichweite der Verdichtung hängen sowohl von der Höhe des Arbeitsdruckes als auch von der wirksamen Fläche des elastischen Körpers ab. Eine Mehrfach-Pulsation an derselben Stelle erhöht den Verdichtungsgrad.

## Laborversuche (Phase 2)

Im Rahmen der ersten Versuchsphase war die Pulsation in Form von Einzelpulsen mit ca. 5 Sekunden zeitlichem Abstand vorgenommen worden. Der bodenmechanischen Erkenntnis Rechnung tragend, wonach die größte Verdichtung eines lockergelagerten, nicht bindigen Bodens durch zyklische Scherung mit geringer Amplitude zu erreichen ist, wurden weitere Laborversuche konzipiert. Dabei sollte mittels eines Prototyps die Frequenzabhängigkeit der Verdichtung getestet werden.

## Versuchsanordnung

Der neue Prototyp, im Folgenden als Schwingkolbenverdichter bezeichnet, besitzt einen drehzahlsteuerbaren Antrieb mit einer Leistung von 650 W. Über einen Exzenter und einen Pleuel von ca. 500 mm Länge wird ein Teflon-Kolben angetrieben, der einen Hub von 10 mm erreicht. Unterhalb des Zylinders befindet sich die Gummimembran, die über einen doppelkonischen Käfig gezogen ist (Bild 1).



**Bild 5: Testgelände**

In dieser Konfiguration wird ein in den Expansionskörper verdrängtes Volumen von ca. 7 cm<sup>3</sup> erreicht. Während des Betriebes verdrängt der Kolben zyklisch dieses Wasservolumen aus dem Zylinder, so dass sich eine radiale Dehnung der Gummimembran ergibt.

Zur Simulation des Einfahrvorganges in den Boden kann der Schwingkolbenverdichter vertikal verfahren werden. Weiterhin ist die gesamte Pulsationseinrichtung auf einem schweren Stahlträger montiert, der zur Dämpfung der konstruktionsbedingten Eigenschwingungen des Systems dient.

Der Versuchskasten wurde zur Sichtbarmachung der Verdichtungseffekte aus Plexiglas hergestellt und besitzt die Abmessungen eines Würfels mit 500 mm Kantenlänge. Als Versuchs-

material wurde der bereits bei den vorherigen Versuchsreihen benutzte Sand eingesetzt.

Ebenso wie in der ersten Versuchsphase sollte auch mittels des Schwingkolbenverdichters der Einfluss der Membranlänge auf die Verdichtungsleistung untersucht werden. Daher wurden neben der Schwingungsfrequenz auch drei unterschiedlich lange Membranen mit Längen von 16 mm, 26 mm und 46 mm eingesetzt.

Unter Berücksichtigung im Großmaßstab technisch realisierbarer Drehzahlen bzw. Frequenzen wurden für die Versuchsdurchführung Drehzahlen von 500 U/min bis 2000 U/min, entsprechend 8,33 Hz bis 33,33 Hz, untersucht.

Der Schwingkolbenverdichter wurde mit einer geringen Drehzahl in den Versuchsstand eingefahren. Die Verdichtung erfolgte auf zwei Ebenen für die Dauer von jeweils 45 Sekunden. Vor der Auswertung der Versuche wurde eine kurze Wartezeit eingehalten, um eine Bodenberuhigung zu ermöglichen.

Im Rahmen der Auswertung wurde der Absenkungstrichter vermessen, um eine Reichweitenbestimmung in Abhängigkeit der Parameter Frequenz und Membranlänge zu erreichen.

### Untersuchungsergebnisse

Die Untersuchungsergebnisse zeigen, dass die effektive Reichweite der Verdichtung sehr stark sowohl von der Membranlänge als auch der Frequenz abhängig ist. Bei jeder der drei Membranlängen wurde mit Zunahme der Frequenz eine höhere Reichweite der Verdichtung erreicht. Parallel dazu wurde beim Vergleich der Membranlängen für konstante Frequenzen festgestellt, dass die kurze Membran die größte Verdichtungsreichweite erzielt.

Insgesamt wird in der Verbindung von kurzer Membran mit hoher Frequenz das beste Ergebnis der Verdichtung erreicht. Dies betrifft sowohl

die horizontale als auch die vertikale Verdichtungsreichweite (**Bild 2**).

Zur Visualisierung der Verdichtungseffekte wurde eine Reihe von Versuchen nahe der Außenwand des Versuchskastens durchgeführt. Die Besonderheit war dabei, dass eine Schichtung des Sandes durch das Einbringen von sechs ca. 1 cm dicken, schwarzen Trennschichten aus Granulat präpariert wurde.

Bei der anschließenden Versuchsdurchführung zeigten sich bereits bei geringen Frequenzen starke Fließbewegungen, die im Nahfeld der Membran Konvektionsströmen glichen. Mit Zunahme der Frequenz war dieser Effekt nicht mehr erkennbar, aber es wurde eine deutliche Zunahme der Umlagerungs- und Separationsvorgänge beobachtet. **Bild 3** zeigt den Versuchskasten vor und nach der Versuchsdurchführung.

Die Versuche mit dem Schwingkolbenverdichter zeigten, dass das periodische, hochfrequente Einbringen von Scherkräften zu einer Erhöhung der Verdichtungsleistung gegenüber den statischen Einzelimpulsen der Versuchsphase 1 erzielt.

### Feldversuch

Im Rahmen eines Feldversuches sollten die Wirksamkeit und das Anwendungsspektrum des Verfahrens „Pulsende Verdrängung“ im Rahmen der Sicherung setzungsfließgefährdeter Böschungen sowohl aus technischer als auch aus wirtschaftlicher Sicht getestet werden. Das Untersuchungsprogramm orientierte sich an den im Laboratorium erzielten Ergebnissen, wobei insbesondere die abgeleiteten Gesetzmäßigkeiten aus den Modellversuchen und die Erfahrungen mit dem Prototyp herangezogen werden.

Der Feldversuch wurde in enger Zusammenarbeit mit und in Abstimmung zwischen den beteiligten Partnern, dem Auftraggeber Lausitzer ▶



**Bild 6: Trichtervermessung**



und Mitteldeutsche Bergbau-Verwaltungsgesellschaft (LMBV) mbH, dem zuständigen Bergamt und den durchführenden Firmen Meyer & John GmbH & Co. und Bergbausanierung und Landschaftsgegestaltung (BUL) Sachsen GmbH projektiert.

## Schwingkolbenverdichter – Prototyp

Erste Voraussetzungen für den Feldtest bilden die Entwicklung eines technisch realisierbaren Verdichtungsgerätes und die anschließende Konstruktion eines Verdichter-Prototyps. Als Weiterentwicklung des Verdichtungsgerätes für die Laborversuche wurde für den Feldtest ein Verdichter mit einem doppeltwirkenden Kolben und zwei Membranen vorgesehen (**Bild 4**). Zusammengefasst verfügt die Vorrichtung über folgenden technische Daten:

- Länge ca. 6 m
- Außendurchmesser ca. 400 mm
- Kolbendurchmesser 200 mm
- Kolbenhub 100 mm
- Frequenz regelbar bis 16,67 Hz
- Motorleistung 130 kW
- Membranlänge veränderlich von 200 bis 400 mm
- Verdrängungsmedium in Zylinder und Membranen: Wasser
- Verdrängungsvolumen ca. 3,14 l
- Unterstützungsmedium beim Versenken: Wasser und/oder Luft

Weiterhin ist das neue System mit der Infrastruktur der Baustelle zu verbinden, die in weiten Teilen aus den Elementen der Baustellen der Rütteldruckverdichtung besteht:

- Versenkungslanze, Länge ca. 40 m
- Raupenkran Liebherr LR 1550, 72 m Auslegerlänge, ca. 500 t Eigengewicht
- Spülungs- und Stromleitungen

## Versuchsgelände

Der Feldversuch fand 2001 auf einer Abraumkippe im Lausitzer Braunkohlenrevier, nahe Senftenberg, statt. Das Testgelände auf dem Koschendam, der die Restseen der Tagebaue Skado und Koschen trennt, ist in **Bild 5** dargestellt. Es befindet sich im Vorland eines bereits erstellten versteckten Dammes. Die zu bearbeitende Kippe setzt sich aus der Hoch- und Tiefkippe einer Abraumförderbrücke und den darüber befindlichen drei Spülkippen zusammen; ihre Mächtigkeit liegt bei ca. 41 bis 43 m. Der ursprüngliche Böschungswinkel hat sich durch Erosions- und Rutschungsvorgänge auf einen Wert von 4 bis 6° verringert. Der See- bzw. Grundwasserspiegel befindet sich etwa 5 m unterhalb der Oberfläche.

## Versuchsdurchführung und -auswertung

Das zweiphasige Untersuchungsprogramm sowie das Kontroll- und Messprogramm ist in

enger Verbindung mit der LMBV mbH erarbeitet worden. In der ersten Phase sollten verschiedene Möglichkeiten für das Versenken des Verdichters in den Kippenkörper untersucht werden. Nach Auswahl einer geeigneten Methode waren in Phase 2 aufwändige Versuchsreihen zur Bestimmung der Verdichtungsleistung in Abhängigkeit der Variablen Frequenz, Verdichtungsdauer und Membranlänge vorgesehen.

Bei allen Versuchen traten erhebliche Probleme beim Versenken der Lanze in den Untergrund auf. Es wurden kaum größere Tiefen als ca. 10 m erreicht. Dies ist durch eine Reihe verschiedener Faktoren verursacht worden, die nachstehend erläutert werden.

Das Versenken der Lanze wurde durch Wurzelwerk und sehr standfeste erdfeuchte Deckschichten erheblich behindert. Vor allem eine bindige Schicht, die über die gesamte Testfläche in einer Teufe von 10 m mit rund 6 m Mächtigkeit anstand, stellte ein schweres Hindernis dar. Weiterhin befand sich das Versuchsfeld im Einwirkungsbereich der bereits durchgeführten Verdichtungsarbeiten zur Erstellung des versteckten Dammes, so dass von einer bereits vorhandenen Vorverdichtung des Bodens ausgegangen werden konnte. Generell erwies sich der Untergrund als ungeeignet für die Durchführung eines Feldversuches zur Überprüfung der prinzipiellen Einsetzbarkeit eines neuen Verfahrens.

Technologische Probleme beim Versenken resultierten vorwiegend aus der verbauten äußeren Kontur der Prototyps, die dem statischen Eindringen des Verdichters unter der Einwirkung der Auflast von max. rund 17 t entgegenwirkt, da an den abstehenden Bauteilen der Eindringwiderstand sehr stark zunimmt. Weiterhin wurde durch den unregelmäßigen Außendurchmesser ein stetiger Spülungskreislauf mit abschließendem Austrag des Materials behindert und somit das Sedimentieren des „Bohrkleins“ gefördert.

Es wurden zahlreiche Optimierungen des Spülungssystems vorgenommen, die allerdings nicht zu den erhofften Ergebnissen führten. Der Einsatz einer in die Pulsatorspitze integrierten Erdrakete hat ebenfalls nur bedingt zu Verbesserungen beim Versenken geführt, da das Durchdringen der bindigen Schicht auch mit diesem System nicht erreicht wurde.

Die Überprüfung der Verdichtungsleistung konnte nur eingeschränkt erfolgen. Gründe sind neben der Versenkungsproblematik auch in der Standfestigkeit des Schwingkolbenverdichters zu erkennen. Probleme bereiteten die sichere Befestigung der Membranen sowie die Standfestigkeit der mechanischen Bauteile des Gerätes. Insbesondere die Kupplung und das Getriebe wiesen nach kurzer Einsatzzeit Defekte auf, die einen erheblichen Reparaturaufwand erforderlich machten.

Insgesamt sind durch Drucksondierungen keine direkt messbaren Verdichtungsergebnisse erzielt worden. Aus den spürbar eingeleiteten

Erschütterungen in den Untergrund, den zeitweise messbaren Erhöhungen des Porenwasserdrucks und den Volumina der erzielten Absenkungstrichter kann jedoch gefolgert werden, dass eine Bodenverdichtung im Nahfeld der Pulsationen erreicht wurde (**Bild 6**).

## Ausblick

Aus den Erfahrungen der Laborversuche und des Feldversuchs kann eine Reihe von Optimierungsansätzen für das System der Pulsenden Verdrängung abgeleitet werden:

- Zur Reduzierung des Eindringwiderstandes sollte der Verdichter einen geringeren Durchmesser, eine möglichst glatte Oberfläche und eine optimierte Spitze besitzen.
- Die Leistungsfähigkeit des Spülungssystems sollte erhöht werden und sich z.B. an der Horizontalbohrtechnik orientieren.
- Eine evtl. notwendige Aktivierung des Versenkungsvorganges sollte im Bereich des schneidenden LöSENS (Drehbohrverfahren) gesucht werden.
- Ersetzen des anfälligen mechanischen Antriebs des Kolbens durch eine hydraulische Variante.

Die Entwicklungsarbeiten an dem Verdichtungsverfahren „Pulsende Verdrängung“ werden am Institut für Bergbau der TU Clausthal fortgeführt. Der Bau eines Prototyps mit hydraulischem Antrieb und die Durchführung von Laborversuchen erfolgt in diesem Jahr.

*Prof. Dr.-Ing. habil. H.H. Tudeschki*  
*Dipl.-Ing. T. Hardebusch*  
*Lehrstuhl Tagebau und Internationaler Bergbau*  
*Institut für Bergbau*  
*Erzstraße 20*  
*38678 Clausthal-Zellerfeld*  
*Tel.: 05323/72-2286 (Tudeschki)*  
*05323/72-3178 (Hardebusch)*  
*Fax: 05323/72-2377*