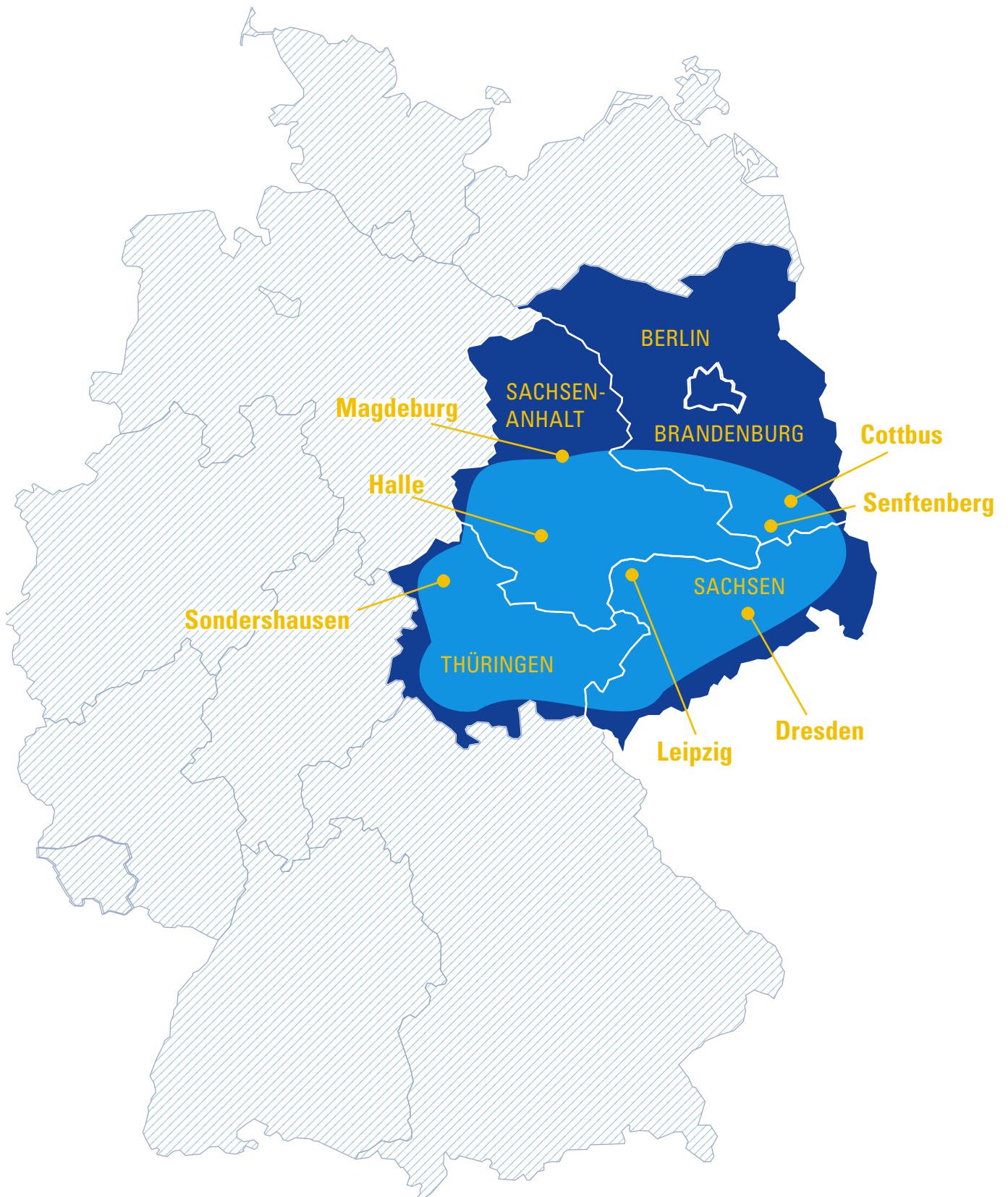




# SICHERHEIT NACH DEM BERGBAU

Verdichtung von Kippenböden

## Die Sanierungsgebiete der LMBV



# DAS UNTERNEHMEN LMBV

## AUFGABEN, HERAUSFORDERUNGEN UND ZIELE

Seit über zwei Jahrzehnten saniert die LMBV im Auftrag von Bund und Ländern die Hinterlassenschaften des DDR-Braunkohlenbergbaus in den Revieren der Lausitz und Mitteldeutschlands. Im Ergebnis dieser Tätigkeit entstehen sicher gestaltete Landschaften, die neue wirtschaftliche und naturräumliche Perspektiven bieten – für die Menschen, die hier leben und arbeiten, aber auch für die über einen langen Zeitraum bergbaulich genutzten Areale. Die Braunkohlesanierung in Ostdeutschland ist eine Erfolgsgeschichte, denn nirgendwo sonst auf der Welt ist eine industrielle Landschaft in diesen Dimensionen über Jahrzehnte von Menschenhand umgestaltet und für künftige Generationen nutzbar gemacht worden.

Als Projektträgerin der Bergbausanierung ist die LMBV verantwortlich für die Sicherung von Kippenflächen durch Bodenverdichtungsmaßnahmen, die Profilierung und Gestaltung der Böschungsbereiche der Tagebaurestlöcher, die Sanierung nicht mehr genutzter Braunkohlenveredlungsanlagen und Altlastenverdachtsflächen sowie die Wiederherstellung eines sich weitestgehend selbst regulierenden Wasserhaushaltes. Die Kippenverdichtung bildet bei der Wiedernutzbarmachung und Rekultivierung ein zentrales Element, denn erst durch sie wird der Boden für nachfolgende Nutzungen sicher.

## SICHERHEIT GEHT VOR – AUCH IN ZUKUNFT

Unser Unternehmen ist sich der Verantwortung im Rahmen der Braunkohlesanierung gegenüber den Menschen in beiden Revieren deutlich bewusst. Auch in Zukunft werden wir unser Know-how, unsere Technologien und unsere Erfahrung gemeinsam mit vielen Partnern dazu einsetzen, die Landschaften nach dem Bergbau sicher und attraktiv zu gestalten.

# PRINZIP UND TECHNOLOGIEN DER KIPPENBODENVERD

## Wodurch entstehen Rutschungen?

Als **Rutschung** bezeichnen die Geotechniker eine geometrische Lageveränderung an einer Böschung oder an einem Böschungssystem infolge von Schwerkrafteinwirkung.

Eine besondere Form der Rutschung ist das **Setzungsfließen**, das im Bereich von geschütteten Böschungen infolge einer spontanen Verflüssigung des Bodens auftritt. Voraussetzung für dieses Phänomen ist ein gleichförmiger sandiger Kippenboden, der locker gelagert und durch hoch anstehendes Grundwasser gesättigt ist.

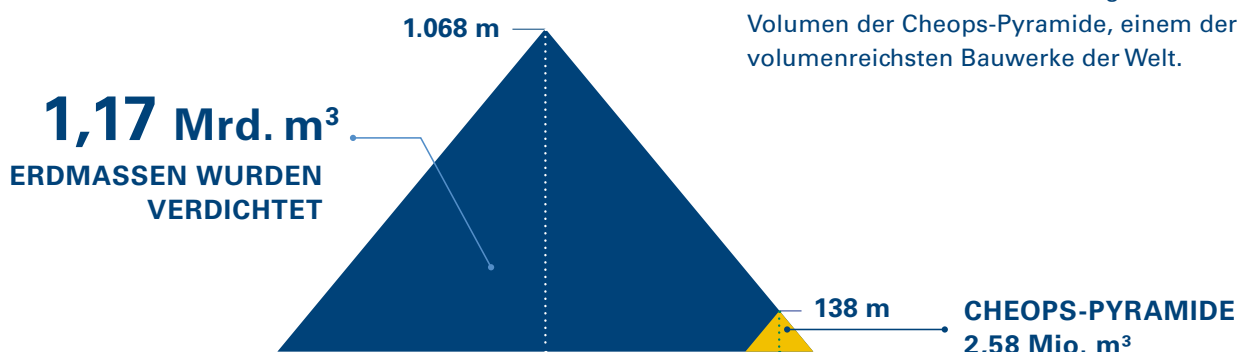
Die spontane Verflüssigung wird durch ein Initial - eine Erschütterung oder manchmal auch durch Eigenlast - ausgelöst. Das Bodengefüge bricht dann zusammen, der Porenwasserdruck im Boden steigt, das Korngefüge des Kippenbodens verliert seine Festigkeit und fließt förmlich davon.

Größere Rutschungen an Abraumkippen und Böschungen gab es bereits mit Beginn der Industrialisierung Anfang des 20. Jahrhunderts. Der Gefahr, Bodenbewegungen ausgesetzt zu sein, begegneten Bergleute somit von Anfang an. Eine großräumige bergmännische „Wasserhaltung“, die Zurückhaltung des Wassers aus den Gruben, sorgte für mehr Stabilität in den Kippen. Mit dem Fortschreiten des Grundwasseranstiegs in den Braunkohlesanierungsgebieten haben sich in den vergangenen Jahren nach dem Grundbruch von Spreetal im Jahr 2010, insbesondere im Nordraum des Lausitzer Reviers, neue geotechnische Herausforderungen durch weitere Geländeeinbrüche und Setzungsfließen ergeben.

Dies hatte zur Folge, dass durch die zuständigen Behörden erneut großflächige Sperrungen von über 20.000 Hektar vorgenommen werden mussten – überwiegend auf Kippenflächen, die bereits zur Nutzung freigegeben waren.

## VERDICHTETE MASSEN IM VERGLEICH

Die Grafik verdeutlicht die Dimensionen der durch die LMBV zwischen 1990 und 2017 verdichteten Erdmassen im Vergleich zum Volumen der Cheops-Pyramide, einem der volumenreichsten Bauwerke der Welt.



# ICHTUNG







## Welche Sanierungsmethoden werden angewendet?

Um die Gefahr von Verflüssigungen zu mindern, müssen die Strukturen im Boden verändert werden. Dazu ist ein Eingriff in das Korngefüge der Erde notwendig. Die bisherigen Sanierungserfahrungen zeigen, dass dynamische Verdichtungsverfahren effektiv und wirtschaftlich sind. Bei der Wahl des Verdichtungsverfahrens sind verschiedene Rahmenbedingungen zu berücksichtigen wie Geologie, Hydrologie, Vegetation und Bebauung. Bei der Verdichtung von Innenkippen sind die bereits hohen Grundwasserstände bzw. die

geplanten Endwasserstände in den Restlöchern zu beachten. Hier sind die Grenzen für die Anwendung bestimmter Verfahren eng gesteckt, so sind oft Modifizierungen der Verdichtungsverfahren erforderlich.

Die verschiedenen Verdichtungsverfahren, die in der Bergbausanierung Anwendung finden, werden nachfolgend vorgestellt. Die Verfahren lassen sich nach ihrer Einwirkungstiefe in den Boden einteilen:

## VERDICHTUNGSTECHNOLOGIEN IM VERGLEICH

Tiefenverdichtung	Oberflächennahe Verdichtung	Oberflächenverdichtung
<p> Tiefenverdichtungsverfahren kommen in geotechnisch sensiblen Bereichen zum Einsatz. Dabei soll eine Sicherheit vor Rutschungen geschaffen werden, indem die Lagerungsdichte der Bodenpartikel bis zu einer größeren Tiefe erhöht wird. Dies betrifft künstlich aufgeschüttete Böden, die infolge von Grundwasserwiederanstieg setzungs-, verflüssigungs- bzw. sackungsgefährdet sind.</p> <p>  </p>	<p> Oberflächennahe Verdichtungsverfahren werden in der Sanierung von Kippenflächen meist in Ergänzung zur Tiefenverdichtung eingesetzt. Die Tiefenverdichtung verliert technisch bedingt an der Erdoberfläche an Wirkkraft. Deshalb erzielen bei geringen Tiefen andere, oberflächennahe Verfahren bessere Verdichtungsergebnisse.</p> <p> </p>	<p> Die Oberflächenverdichtung kommt vor allem nach Tiefenverdichtungen oder der schonenden Sprengverdichtung zum Einsatz. Mit Walzenfahrzeugen kann die Erdoberfläche zwischen einem und fünf Metern Tiefe verdichtet werden. In der Bergbausanierung kommt sie zum Einsatz, wenn die Tragfähigkeit des Bodens für Nutzungen sichergestellt werden muss. Sie ist Voraussetzung für weitere Sanierungs- und Baumaßnahmen.</p>
<p><b>VERFAHREN:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Rütteldruckverdichtung</li> <li>• Rüttelstopfverdichtung</li> <li>• Sprengverdichtung</li> <li>• schonende Sprengverdichtung</li> </ul>	<p><b>VERFAHREN:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Fallgewichtsverdichtung</li> <li>• Impulsverdichtung</li> <li>• leichte Rütteldruckverdichtung</li> </ul>	<p><b>VERFAHREN:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>• Polygonwalzenverdichtung</li> <li>• Stampffußwalzenverdichtung</li> <li>• Glattwalzenverdichtung</li> </ul>



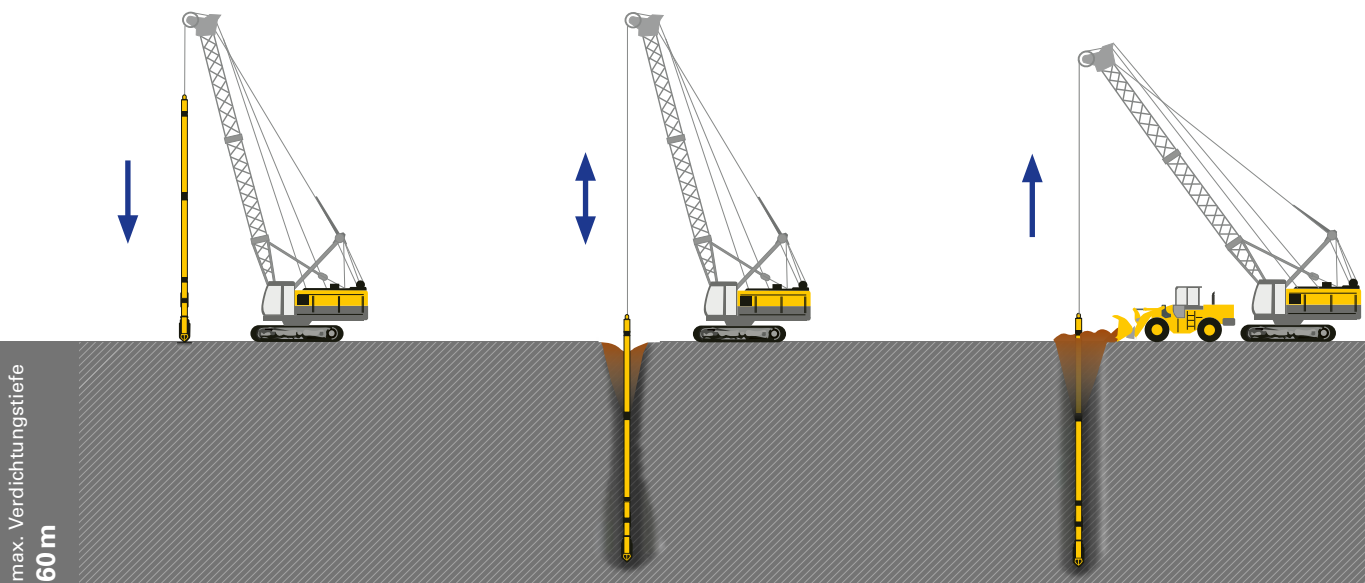
# RÜTTELDRUCKVERDICHTUNG

Die **Rütteldruckverdichtung (RDV)** ist eine effektive Methode um grobkörnige, lockere Böden bis in große Tiefen gleichmäßig zu verdichten. Das Verfahren ist besonders zur Stabilisierung erdfechter und wassergesättigter und somit setzungsfließgefährdeter Kippenböden geeignet.

Diese Verdichtungstechnologie kommt speziell in der Bergbausanierung im Kippenfeld und an den Uferbereichen von Tagebaurestlöchern zum Einsatz. Der lange Seilbaggerarm des Rüttlers hat im Vergleich zu anderen Verdichtungsgeräten einen größeren Abstand zum Ansatzpunkt der Verdichtung. Setzungsfließgefährdete Bereiche können damit aus sicherer Entfernung erreicht werden. Der Rüttler sowie die Hilfsgeräte für die Massenzugabe bewegen sich stets auf bereits verdichtetem, sicherem Boden.

Die Technologie ist zur Baugrundstabilisierung und Herstellung von Stützkörpern bis zu 60 Metern Tiefe geeignet. Dabei werden seilgeführte Lanzen unter Zugabe von Wasser in den lockeren Kippenboden eingefahren. Der Verdichtungsprozess erfolgt beim Ziehen der Lanze in definierten Intervallen. Es entstehen Bodensäulen mit einem Durchmesser von bis zu fünf Metern.

Um die Rüttellanze herum entsteht ein Absenkungstrichter, der mit Bodenmaterial aufgefüllt wird. Aus vielen einzelnen Bodensäulen, die nach einem vorgegebenen GPS-basierten Raster erstellt werden, entsteht ein stabiler Stützkörper im Boden. Verdichtungserfolg und -qualität sind bei dieser Methode gut plan- und entsprechend der Sanierungsanforderungen steuerbar.



## SCHRITT 1

**Einfahren** – Der vibrierende Rüttler wird mit dem Trägergerät am Ansatzpunkt aufgesetzt und dringt durch das Eigengewicht bis zur geplanten Verdichtungstiefe in den Boden ein – bei Bedarf unterstützt von der Spülkraft des Wassers oder durch die Zugabe von Luft.

## SCHRITT 2

**Verdichten** – Nach dem Einfahren der Rüttellanze beginnt der Verdichtungsprozess. Die Verdichtung erfolgt beim Herausziehen der Rüttellanze in vorgegebenen Stufen von üblicherweise 0,5 - 1 Metern von unten nach oben. Dazu verweilt der Rüttler in der vorgegebenen Tiefe für eine Zeit von rund 30 bis 90 Sekunden.

## SCHRITT 3

**Nachfüllen** – Um den Rüttler bildet sich ein Absenkungstrichter. Dieser wird mit dem im Umfeld des Rüttelloches vorhandenen Boden verfüllt.



## RÜTTELDRUCKVERDICHTUNG IN GREIFENHAIN (Lausitzer Revier)

2008 wurde mit der Rütteldruckverdichtung entlang der gesamten Kippenböschung begonnen. Auf einer Länge von sieben Kilometern wird seitdem ein bis zu 174 Meter breiter versteckter Rütteldamm hergestellt. Hierbei werden 21 Millionen Kubikmeter Kippen stabilisiert.

Vorausgegangen waren Sprengverdichtungen in den Jahren 1999 bis 2008.

Sobald die Rütteldruckverdichtung abgeschlossen ist, erfolgt die oberflächennahe Verdichtung mit Hilfe von Fallgewichten sowie die endgültige Gestaltung der gekippten Böschungen.



### SCHRITT 4

**Abschließen** – Der Rüttelprozess kann nahezu bis an die Geländeoberfläche durchgeführt werden. Der verbleibende Trichter wird mit Hilfe eines Radladers mit Erdreich vollständig aufgefüllt. Die Erdoberfläche wird anschließend glatt gezogen.

### SCHRITT 5

**Nachbehandeln** – Die Oberfläche wird abschließend mit Fallgewichts- oder Impulsverdichtung oder mit schweren Walzen nachbehandelt. Abschließend erfolgt die endgültige Gestaltung mittels Erdbau.



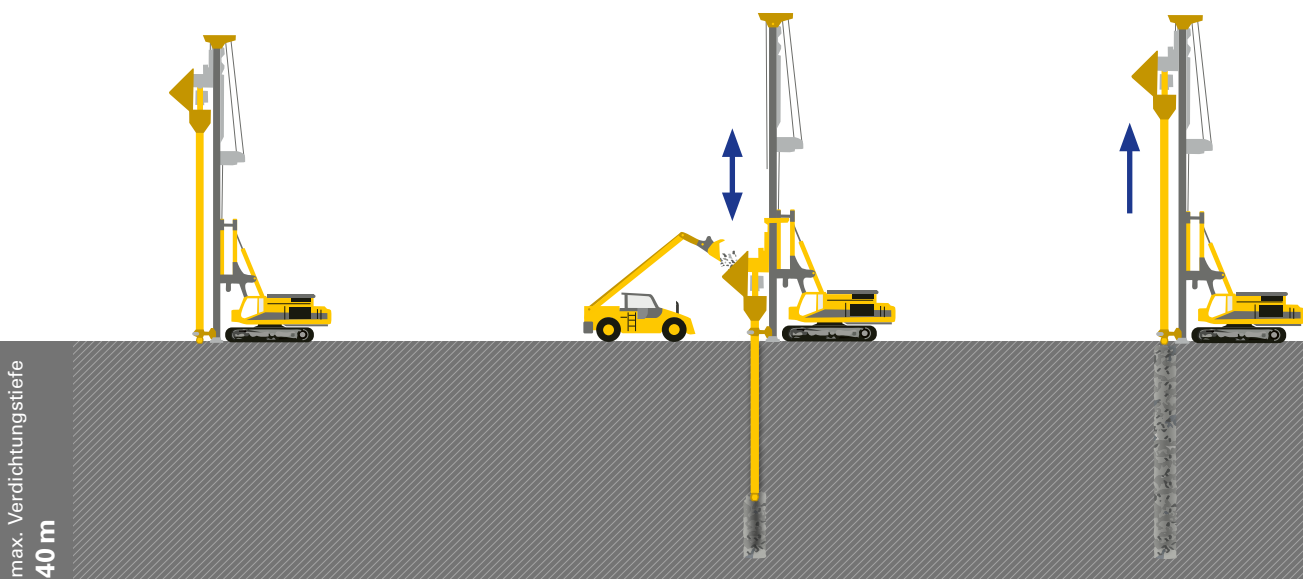
# RÜTTELSTOPFVERDICHTUNG

Die **Rüttelstopfverdichtung (RSV)** gilt als klassische Methode, um die Tragfähigkeit von weichen und feinkörnigen Kippenböden zu erhöhen. Sie wird vor allem dort eingesetzt, wo wassergesättigte Böden intensiv verdichtet werden müssen. Bei diesen Bodengegebenheiten käme die Rütteldruckverdichtung nicht zum Tragen. Das Verfahren der Rüttelstopfverdichtung ist häufig die Grundlage für weitere Bau- und Infrastrukturmaßnahmen.

Bei der Rüttelstopfverdichtung werden mit einem Schleusenrüttelgerät Kies oder Schotter in die Bodensäulen eingebracht. Die so entstehenden Stützkörper erreichen Tiefen von bis zu 40 Metern und dienen zusätzlich noch der Entwässerung

der direkten Umgebung. Das Material wird dabei schrittweise in den Boden gefüllt, welcher durch die Verdichtung und seitliche Verdrängung mehr Stabilität erhält. Der Säulendurchmesser, das Rastermaß und die Materialzugabemengen der RSV müssen entsprechend der lokalen Bodeneigenschaften und Verdichtungsanforderungen angepasst werden.

Die Rüttelstopfverdichtung kann mit seilgeführten Rüttellanzes aber auch mit einer so genannten Mäkler-geführten Rüttellanze ausgeführt werden. Erstere wurde speziell für die bergbauliche Sanierung verflüssigungsfähiger Kippen entwickelt. Letztere wird gewählt, wenn keine derartigen Gefahren vorliegen.



## SCHRITT 1

**Vorbereiten** – Die Rüttlertragraupe mit dem Mäkler, einer Führungseinrichtung am Gerät, wird über dem Ansatzpunkt ausgerichtet. Ist die Anlage hydraulisch abgestützt, schwenkt der Raupenkran seinen Ausleger über den Ansatzpunkt, die seilgeführte Rüttellanze mit Schleusenrüttler arbeitet dabei analog der Rütteldruckverdichtung.

## SCHRITTE 2 + 3

**Füllen** – Der Materialkübel wird abgelassen und von der Arbeitsebene aus mit Stopfmaterial beladen, meist mit einem Radlader. Der Kübel wird am Mast hochgefahren und entleert seinen Inhalt in die Schleuse.

**Einfahren** – Der vibrierende Rüttler verdrängt und durchfährt den Boden mit geschlossener Materialschleuse durch sein Eigengewicht bis zur geplanten Tiefe.

## SCHRITTE 4 + 5

**Verdichten** – Nach Erreichen der vorgesehenen Tiefe wird der Rüttler etwas angehoben. Das Stopfmaterial wird nun unter Druckluft in den entstandenen Hohlraum eingepresst. Beim Wiederversenken wird dieses in den Boden gedrückt und verdichtet. Der Stopfprozess kann bis fast an die Geländeoberfläche durchgeführt werden.

**Abschließen** – Die Rüttelstopfsäule wird nach und nach bis zur geplanten Höhe aufgebaut, dabei muss der Kübel der Rüttellanze ständig mit Material gefüllt werden.



## RÜTTELSTOPFVERDICHUNG AM HARTHKANAL

(Mitteldeutsches Revier)

Im Bereich des Harthkanals, der künftigen Gewässerverbindung zwischen Zwenkauer See und Cospudener See im Leipziger Neuseenland, erfolgten umfangreiche Maßnahmen zur Baugrundverbesserung.

Von März 2015 bis Februar 2016 wurden mit Hilfe des Mäkler-geführten Rüttelstopfverfahrens insgesamt 13.400 Rüttelstopfsäulen auf einer Fläche von rund 70.000 Quadratmetern in eine Tiefe von 19 bis 25 Meter eingebracht. Dies war notwendig, um die Tragfähigkeit des ehemaligen Kippenbereichs für die anschließenden Baumaßnahmen vorzubereiten.

Die Herstellung von zusätzlich rund 2.700 Kiesbohrpfählen in einer Tiefe von ca. 19 Metern diente der Drainage des Untergrundes während der Bautätigkeit.





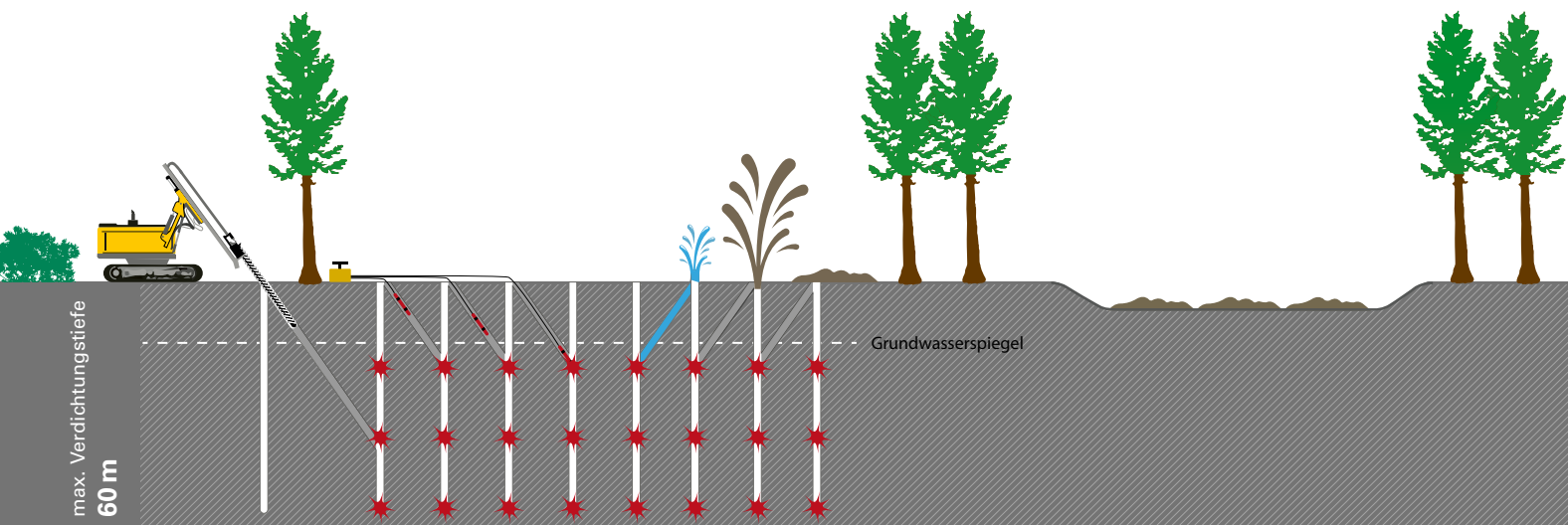
# SPRENGVERDICHTUNG

Die **Sprengverdichtung** ist ein äußerst wirksames Sanierungsverfahren zur großflächigen Stabilisierung von Kippenbereichen. Die Technologie wird bei großen Verdichtungstiefen bis zu 60 Metern und wassergesättigten, grobkörnigen und sandigen Mischböden angewendet.

Mit Hilfe dieses Verfahrens werden im Rahmen der Braunkohlesanierung aber auch gezielt Setzungsfleßen ausgelöst, Bodenüberhöhen in Restlöchern beseitigt sowie Probelastungen von Kippen durchgeführt. Über vertikale oder horizontale Bohrlöcher werden Sprengladungen in die Kippe eingebracht und unterirdisch gezündet. Die Sprengung erfolgt ausschließlich unterhalb des Grundwasserspiegels.

Durch die freigesetzte Energie verdichten sich die Bodenpartikel und verdrängen Wasser und Luft aus dem Boden. Deutliches Zeichen dafür sind die zum Teil meterhohen Wasserfontänen, die nach einer Sprengung aus den Bohrlöchern oder an anderer Stelle herausschießen.

Die Sprengverdichtung ist im Vergleich zu anderen Verdichtungsverfahren eine kostengünstige Methode, ist aber nicht überall einsetzbar. Die Erschütterungen und die Auswirkungen auf die Umgebung müssen berücksichtigt werden. Zu vorhandenen Bauwerken, Gebäuden oder anderen besonderen Objekten muss ein ausreichender Abstand vorhanden sein. Das Verfahren wird stets durch ein Monitoring begleitet.



## SCHRITT 1

**Vorbereiten** – Das Gelände im Bereich der vorgesehenen Sprengung sowie der Zufahrten werden freigemacht. Mit einem Bohrgerät werden Sprenglöcher in den Kippenboden gebohrt und mit Sprengstoff bestückt.

## SCHRITT 2

**Sprengen** – Das unterirdische Zünden der Sprengladungen verdichtet den Kippenboden im Umfeld der Sprengung. Durch verzögerte Zündungen zwischen einzelnen Bohrlöchern oder Ladungen innerhalb eines Bohrloches kann das Ergebnis der Sprengung positiv beeinflusst werden.

## SCHRITT 3

**Verdichten** – Durch die Energie der Sprengung wird der wassergesättigte Boden lokal verflüssigt. Bodengas und Wasser werden aus dem Boden gepresst. Die Bodenkörner lagern sich anschließend dichter ab, so dass sich der Boden im Bereich der Sprengung senkt.



## **SPRENGVERDICHTUNG IM BEREICH DER RESTLOCHKETTE (Lausitzer Revier)**

---

Die setzungsfließgefährdeten Randbereiche der Innenkippen des ehemaligen Tagebaus Koschen wurden zu Beginn der 1990er Jahre mit Hilfe der Sprengverdichtung stabilisiert.

Aufgeteilt in vier Phasen wurden über 55 Hektar Kippenflächen bearbeitet. Die Kippenoberfläche senkte sich zwischen einem bis zwei Metern. Die Stabilisierung war die Voraussetzung für die weitere Sanierung.



# SCHONENDE SPRENGVERDICHTUNG

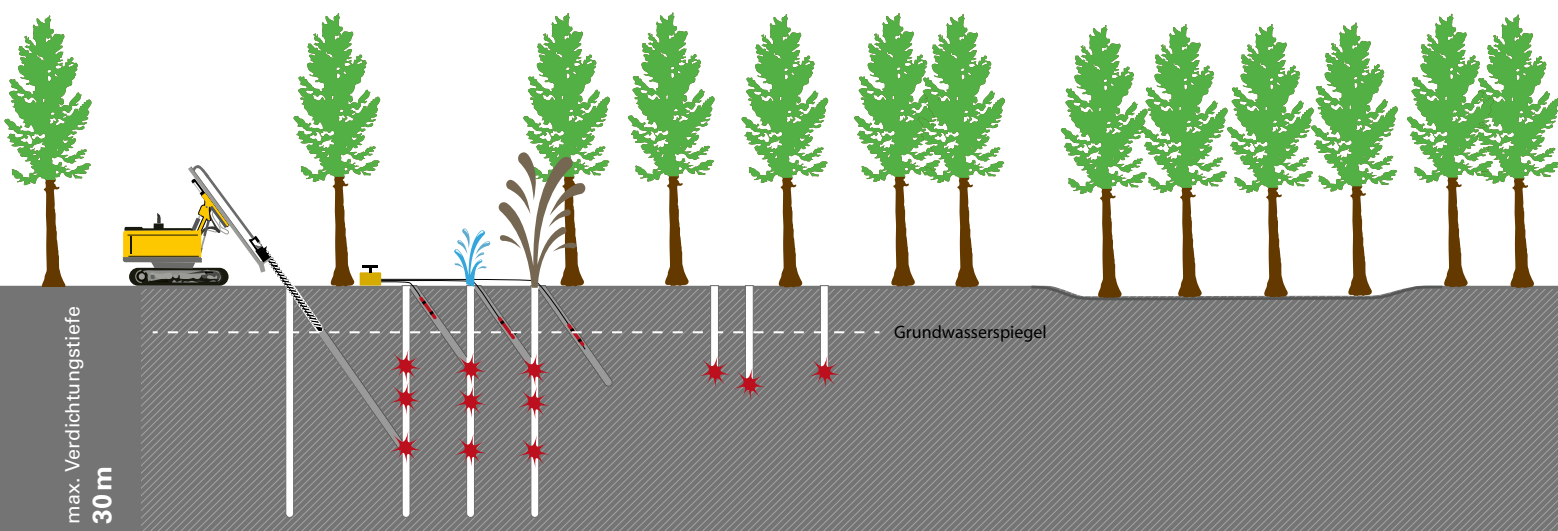
Seit einigen Jahren arbeiten LMBV und Wissenschaftler an der **schonenden Sprengverdichtung (sSPV)**. Dieses Verfahren wird bei hohen bzw. endgültigen Grundwasserständen in sensiblen Kippenbereichen angewendet und erreicht eine Tiefe von bis zu 30 Metern.

Durch eine verbesserte Ladungsverteilung, vordefinierte Gruppensprengungen und Zündverzögerungen kann das Verdichtungsergebnis optimiert werden. Dabei haben sich zwei Varianten der schonenden Sprengverdichtung etabliert:

Die **Oberflächennahe schonende Sprengverdichtung (OnsSPV)** wird in einer Tiefe von fünf bis sechs Metern bei sehr geringen Grundwasserflurabständen eingesetzt. Durch die OnsSPV wird die Oberfläche vorverdichtet und stellt die Tragfähigkeit für das Bohrgerät und weitere Verdichtungsmaßnahmen sicher.

Mit der **Tiefen schonenden Sprengverdichtung (TsSPV)**, welche mit Hilfe maschineller Bohrarbeit in Tiefen von bis zu 30 Metern eingesetzt wird, erfolgt eine schonende Kippenverdichtung. Das Verfahren schließt spontane Bodenverflüssigungen mit Setzungsfließen aus und verbessert die geotechnischen Bedingungen für die meist land- und forstwirtschaftliche Nachnutzung.

Durch die Bodenverdichtung entstehen Sprengmulden, die je nach geplanter Flächennutzung aufgefüllt werden. Bei besonders sensiblen Naturschutzbereichen kann durch Schrägbohren ein direkter Sanierungseingriff auf die zu schützenden Flächen vermieden werden, indem auf die Muldenverfüllung verzichtet wird.



## SCHRITT 1

**Vorbereiten** – Mit einem leichten Bohrgerät werden Sprenglöcher vertikal bzw. bis 30° geneigt in den Kippenboden gebohrt. In diese werden die Sprengladungen eingebracht. Bei sehr flurnahen Grundwasserständen wird mit der OnsSPV der Boden vorverdichtet, um ausreichende Tragfähigkeit für das Bohrgerät herzustellen.

## SCHRITT 2

**Sprengen** – Die Sprengladungen werden gestaffelt unterirdisch zur Detonation gebracht, wodurch der Kippenboden im Umfeld der Sprengung verdichtet wird. Zur Erzielung besserer Verdichtungsergebnisse in der Fläche werden jeweils 3 bis 4 Bohrlöcher in einer Sprenggruppe angeordnet.

## SCHRITT 3

**Verdichten** – Der Boden im Bereich der Sprengung senkt sich durch den Verdichtungseffekt in einem Radius von 10 bis 15 Metern ab. Diese Sprengmulden werden in der Regel mit Erdboden aufgefüllt.



## TEST LEICHTER BOHRTECHNIK IN SEESE-OST

(Lausitzer Revier)

Auf der Innenkippe Seese-Ost wurde der Einsatz von Pistenbullys als leichte Bohrtechnik der schonenden Sprengverdichtung getestet. 350 Sprengbohrlöcher mit 8.550 Bohrm Metern wurden im Zeitraum Oktober 2017 bis März 2018 niedergebracht. Eine Fläche von 19 Hektar wurde bearbeitet. Die Ladungsmengen liegen zwischen 7,5 bis 22 Kilogramm pro Bohrloch. Die Erkenntnisse werden in die Optimierungsprozesse der schonenden Sprengverdichtung einfließen.

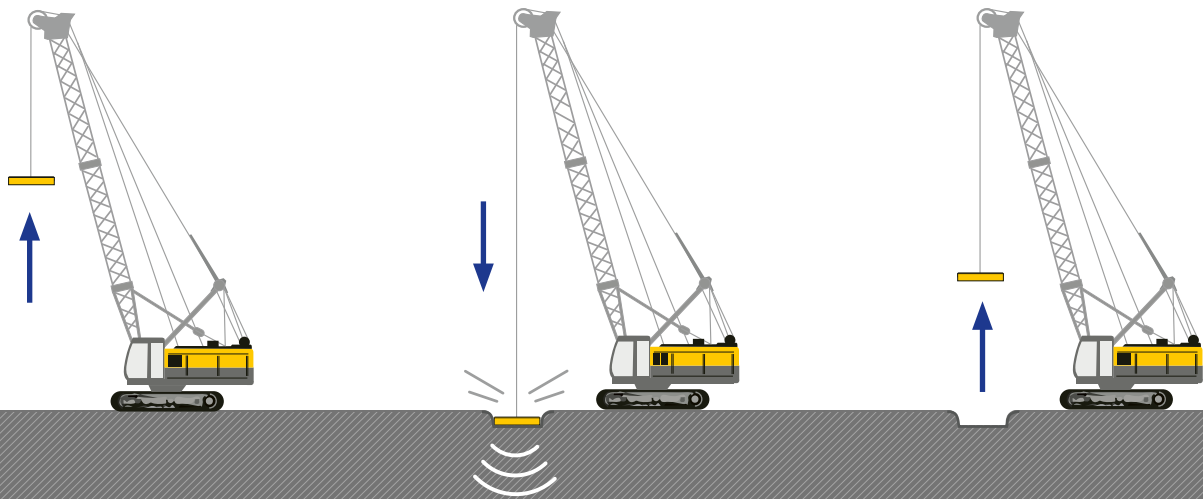


# FALLGEWICHTSVERDICHTUNG

Mit der **Fallgewichtsverdichtung** werden Tiefen von bis zu zehn Metern erreicht. Die Methode eignet sich für grobkörnige und Mischböden, die nicht wassergesättigt und setzungsfließgefährdet sind. An Seilbaggern befestigte und zwischen 6 und 50 Tonnen schwere

Fallgewichte werden wiederholt aus 10 bis 30 Metern Höhe auf den zu verdichtenden Bodenbereich fallen gelassen. Durch häufiges Wiederholen des Vorgangs in mehreren Durchgängen wird der Boden allmählich verdichtet.

max. Verdichtungstiefe  
10 m



## SCHRITT 1

**Vorbereiten** – Das Trägergerät wird über den zu verdichtenden Punkt gefahren und das Fallgewicht auf eine festgelegte Höhe nach oben gezogen.

## SCHRITT 2

**Verdichten** – Das Fallgewicht wird aus einer Höhe von 10 bis 30 Metern auf den Untergrund fallen gelassen. Der Kippenboden wird im Bereich des Einschlagpunktes verdichtet.

## SCHRITT 3

**Wiederholen** – Anschließend wird das Fallgewicht wieder nach oben gezogen und wieder fallen gelassen. Dieser Vorgang wird so oft wiederholt, bis das geplante Verdichtungsziel erreicht ist.

## FALLGEWICHTSVERDICHTUNG IM EHEMALIGEN TAGEBAU WULFERSDORF

(Mitteldeutsches Revier)

Eine circa 14 Hektar große Fläche im ehemaligen Tagebau Wulfersdorf wurde von April 2013 bis Mai 2014 mit Hilfe von zwei parallel arbeitenden Fallgewichtsverdichtungs-Trägergeräten saniert. Die 20 Tonnen schweren Fallgewichte wurden aus 15 bis 20 Metern Höhe zu Boden gebracht. Damit wurde eine Bodenverdichtung von sieben bis zehn Metern sowie eine Verdichtungsleistung von 1,38 Millionen Kubikmetern Erdmassen erreicht.

Eine Oberflächenverdichtung mittels Vibrationswalze schloss sich an, um die Dauerstandsicherheit des Endböschungssystems vor, während und nach dem geplanten Eigenwasseraufgang im Restloch Wulfersdorf herzustellen.





# IMPULSVERDICHTUNG

Die **Impulsverdichtung** ist technologisch zwischen tiefen- und oberflächennaher Verdichtung anzusiedeln. Die Impulsverdichtung eignet sich für grobkörnige Böden und Mischböden, die nicht wassergesättigt und setzungsfließgefährdet sind. Die Tiefenwirkung liegt zwischen 4 und 10 Metern.

Die Impulsverdichtung kann ohne Zugabe von Fremdmaterial für die Herstellung von Drainagen und dichten Bodensäulen im hochverdichteten, sehr tragfähigen Boden eingesetzt werden.

Im Wesentlichen besteht der Impulsverdichter aus drei Komponenten: einer Stahlplatte als „Verdichtungsfuß“, der Schlaghaube und dem hydraulischen Hammer.

Mit einer Schlagfrequenz von rund 40 bis 60 Schlägen pro Minute aus relativ geringer Höhe wird die Verdichtungsenergie auf den Kippenboden gebracht. Die Platte verbleibt dabei in ständigem Kontakt mit dem Untergrund, wodurch ein sicheres und effizientes Arbeiten möglich ist. Durch das Auffüllen der Verdichtungstrichter und die Wiederholung des Vorgangs lassen sich sehr einfach und schnell Bodenverdrängungssäulen hoher Tragfähigkeit herstellen.



## SCHRITT 1

**Verdichten** – Der Impulsverdichter schlägt bis zu 60 mal pro Minute mit dem Verdichtungsfuß in den lockeren Boden. Hier wird kein Fremdmaterial zugeführt, weshalb Verdichtungskrater entstehen.

## SCHRITT 2

**Auffüllen** – Die entstandenen Verdichtungskrater werden mit vorhandenem Material geebnet. Die Oberfläche wird grob abgeschoben.

## SCHRITT 3

**Glätten** – Abschließend wird die lockere Oberfläche mit einer Walze verdichtet.





## **IMPULSVERDICHTUNGSGERÄT**

---

Die Impulsverdichtung wurde im Rahmen der Sanierungstätigkeit der LMBV bislang noch nicht eingesetzt. Sie ist jedoch eine Technologie, die in Zukunft bei der Kippenverdichtung und der Herstellung der geotechnischen Sicherheit auch in der Braunkohlesanierung zum Einsatz kommen könnte.

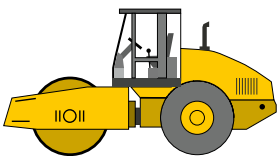


# WALZENVERDICHTUNG

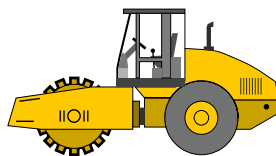
Die Oberflächenverdichtung mittels Walzen ist eine klassische Baugrundverdichtung der Geländeoberfläche, welche in der Bergbausanierung insbesondere die Tragfähigkeit für besondere Nutzungen sicherstellen soll. Diese kommt zum Flächenabschluss bei ausreichend mächtigen erdfeuchten Böden zum Einsatz, um z.B. nach Tiefenverdichtungen bzw. schonendem Sprengen die Tragfähigkeit zu verbessern. Die Tiefenwirkung im erdfeuchten Boden ist auf drei bis fünf Meter begrenzt. Trotzdem ist die abschließende Oberflächenverdichtung eine wichtige Voraussetzung für weitere Sanierungs- und Baumaßnahmen.

Der Einsatz bei Verflüssigungsgefahr ist nicht möglich. Allerdings lassen sich noch lockere, sackungsgefährdete Zonen nach Tiefenverdichtungsmaßnahmen durch die abschließende Oberflächenverdichtung erkennen und beseitigen. Durch den Einsatz von Vibrationswalzen kann der Verdichtungserfolg erhöht werden.

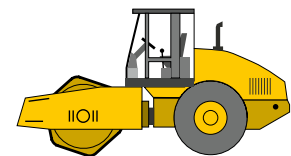
Die heute verfügbaren Walzen sind meist mit einer eigenen Verdichtungskontrolle bzw. einer Bodenzustandsmessung ausgestattet, so dass die Tragfähigkeit der Geländeoberfläche im Sanierungsverlauf direkt beurteilt werden kann.



max. Verdichtungstiefe  
1-2 m



max. Verdichtungstiefe  
1-3 m



max. Verdichtungstiefe  
3-5 m

## GLATTWALZE

Die klassische Glattwalzenverdichtung wird in der Braunkohlesanierung vorrangig für die Untergrunderstellung für wasserbauliche Anlagen und beim Bau von Verkehrsanlagen angewendet. Die Glattwalze schafft flächenhaft gleichmäßige Verdichtungsleistungen, die Verdichtungstiefe ist allerdings begrenzt.

## STAMPFFUSSWALZE

Die am Walzenkörper angebrachten Stampffüße bewirken eine hohe punktuelle Verdichtung. Die zwischen den Stampffüßen liegenden Bodenteile werden so unter eine hohe Horizontalspannung gesetzt, was eine flächenhafte Verdichtung bewirkt. In Kippen- und Mischböden erreichen diese Walzen eine hohe Wirtschaftlichkeit. Nach der Stampffußwalzenverdichtung erfolgt meist eine Nachbehandlung mit Glatt- oder Polygonwalzen.

## POLYGONWALZE

Polygonwalzen haben sich für größere Verdichtungstiefen von drei bis fünf Metern etabliert. Sie werden in der Sanierung zur großflächigen Nachverdichtung von Tiefenverdichtungsflächen als auch zur Verdichtung von Auffüllungen oder nach der schonenden Sprengverdichtung eingesetzt. Wegen ihres hohen dynamischen Energieeintrages sind diese Walzen besonders geeignet auch sehr lockere Bereiche bis in einige Meter Tiefe zu verdichten.

## **WALZENVERDICHUNG IM SANIERUNGSGEBIET LAUCHHAMMER (Lausitzer Revier)**

Eine spezielle Polygonwalze kam 2017 rund um die „Schwarze Keute“ nahe Kostebrau zum Einsatz. Bis zu 40 Mal wurde eine Stelle überfahren mit dem Ziel, die geotechnische Sicherung der Kippenböschungen zu erreichen.

Bei einem Teil der Flächen erfolgte bereits im Jahr 2014 eine Sprengverdichtung als Sockelverdichtung.





## IMPRESSUM

LMBV Lausitzer und Mitteldeutsche  
Bergbau-Verwaltungsgesellschaft mbH

Knappenstraße 1  
01968 Senftenberg

Telefon +49 3573 84-4302  
Telefax +49 3573 84-4610

[www.lmbv.de](http://www.lmbv.de)

### Redaktion:

LMBV Unternehmenskommunikation  
Fachliche Beratung durch Siegfried Breier, LMBV

### Redaktionsschluss:

1. Auflage, 2018

### Gestaltung/Satz:

agreement werbeagentur GmbH

### Fotos:

LMBV, Christian Bedeschinski, Peter Radke,  
TERRA-MIX Bodenstabilisierungs GmbH

Der Inhalt dieser Broschüre ist urheberrechtlich geschützt.  
Jegliche Vervielfältigung, Verbreitung, Nachnutzung oder sonstige  
gewerbliche Nutzung ohne Zustimmung der LMBV sind untersagt.