



Tiefenrüttelverfahren

Baugrundverbesserung mit dem
Tiefenrüttler

Geotechnische Lösungen für die Bauindustrie

Übersicht über die Tiefenrüttelverfahren



Der Baugrund

Die Baugrundverhältnisse werden typischerweise in einem geotechnischen Bericht beschrieben. Wenn die Eigenschaften des Baugrundes die Anforderungen des Bauwerkes nicht erfüllen, bieten die Tiefenrüttelverfahren eine wirtschaftliche Lösung für die Baugrundverbesserung und können in nahezu jeder Tiefe ausgeführt werden.

Der Tiefenrüttler

Der zylindrisch geformte Tiefenrüttler ist etwa 3 bis 4 m lang und ca. 2 t schwer. Das Herzstück des Rüttlers ist eine elektrisch angetriebene Unwucht, die den Rüttler in horizontale Schwingungen versetzt. Der Rüttler wird mit Aufsatzrohren verlängert und so an die vorgesehene Versenktiefe angepasst und dabei von Kränen oder speziell entwickelten Trägergeräten (z. B. der Tragraupe Typ Keller) geführt.

Die Verfahren

Der Tiefenrüttler wird für drei unterschiedliche Verfahren eingesetzt, die sich sowohl hinsichtlich der Baugrundverbesserung als auch der Lastübertragung unterscheiden. Das Gründungskonzept wird deshalb von Keller häufig in enger Zusammenarbeit mit dem geotechnischen Sachverständigen und dem Tragwerksplaner entwickelt.

Bei der Rütteldruckverdichtung werden grobkörnige Böden mit einem vernachlässigbaren Feinkornanteil verdichtet, indem die Bodenpartikel dynamisch in eine dichtere Lagerung gebracht werden.

Mit dem Rüttelstopfverfahren werden lastabtragende Säulen aus Schotter oder Kies in bindigen und in rolligen Böden mit hohem Feinkornanteil erzeugt.

Mit dem dritten Verfahren werden pfahlartige Gründungselemente hergestellt, die verhältnismäßig hohe Lasten tragen können, wenn eine ausreichende dauerhafte seitliche Abstützung der Stopfsäulen nicht gewährleistet ist.

Die Ausführung

Bei allen Verfahren beginnt der Rüttelvorgang mit dem Eindringen des oszillierenden Tiefenrüttlers in den Boden bis zur gewünschten Verbesserungstiefe. Anschließend wird der Rüttler aus dem Boden herausgezogen und je nach angewendetem Verfahren von unten nach oben Boden verdichtet, eine Stopfsäule aufgebaut oder ein pfahlartiges Gründungselement hergestellt.

Übersicht

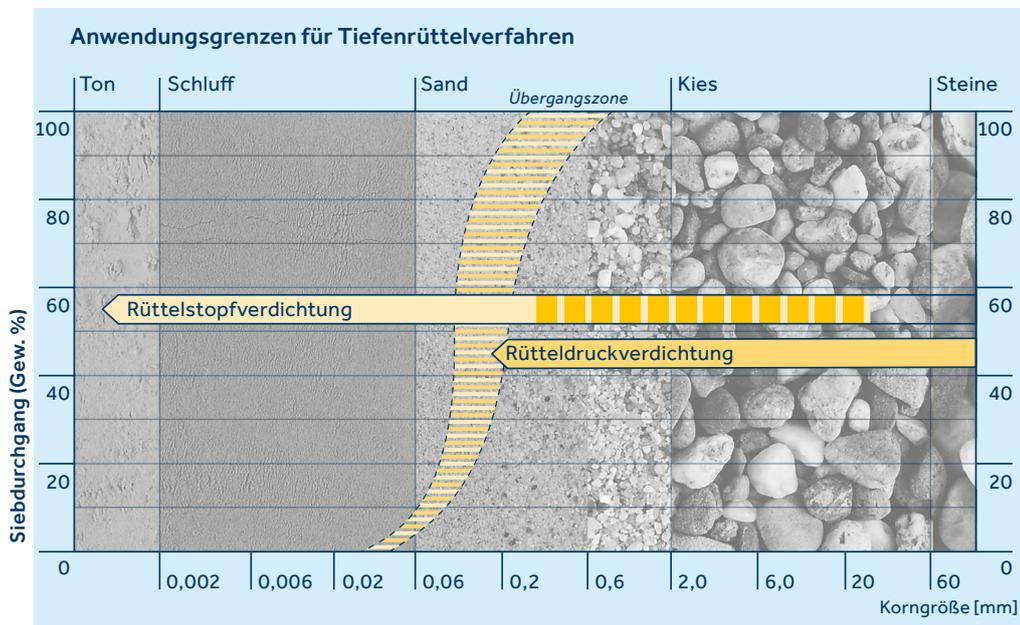
Tiefenrüttelverfahren bieten flexible Lösungen für die Baugrundverbesserung. Sie werden hauptsächlich für Gründungen von Bauten eingesetzt, die auf Baugrund mit geringer Tragfähigkeit errichtet werden. Der Tiefenrüttler ist eine Entwicklung von Keller (Patent aus dem Jahr 1934). Er wurde zunächst nur zum Verdichten grobkörniger Böden wie z.B. Sand und Kies eingesetzt. Heute ist Keller in der Lage, durch Einsatz einer Vielzahl von Tiefenrüttlern und Verfahren verschiedenste grob-, gemischt- und feinkörnige Böden zu verbessern.

Die Vorteile

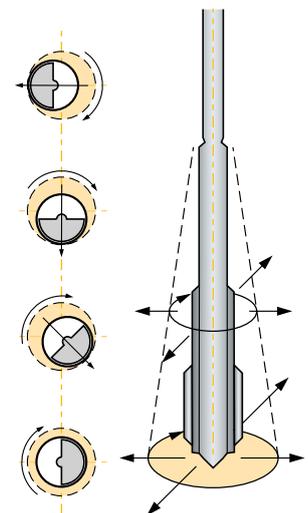
Die Tiefenrüttelverfahren sind vielseitige Methoden zur Baugrundverbesserung, die an verschiedenste Bodenbedingungen und Fundamentanforderungen angepasst werden können. Die Ausführungszeiten sind verhältnismäßig kurz, auch wenn große Mengen an Boden verbessert werden müssen, und nachfolgende Arbeiten können meistens in kurzem zeitlichen Abstand durchgeführt werden. Die Baugrundverbesserung ermöglicht dem Bauunternehmer, übliche Funda-

mente für Flächengründungen zu verwenden, so dass weitere Einsparungen möglich sind.

Ein weiterer Vorteil liegt in der Umweltverträglichkeit, da natürliche und vor Ort vorhandene Materialien verwendet werden können. Darüber hinaus ist der Bodenaustrag bei diesem Verfahren vergleichsweise gering.



Funktionsprinzip



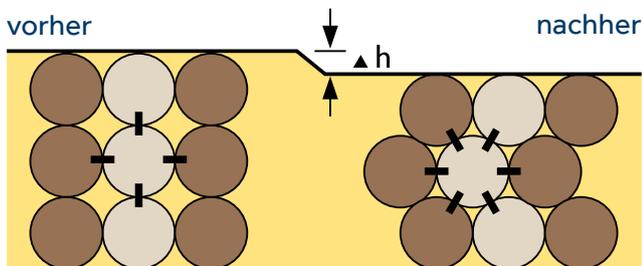
Rütteldruckverdichtung in rolligen Böden

Geräte und Ausführung

Die Verdichtung von rolligen Böden erfolgt am wirtschaftlichsten mit Rüttlern, die mit einer vergleichsweise niedrigen Frequenz oszillieren, um so eine optimale Verdichtung der Bodenpartikel zu erzielen. Der Rüttler wird üblicherweise an einem Kran oder Bagger hängend eingesetzt. Das Eindringen des Rüttlers, aber zu einem gewissen Grad auch das Verdichten, werden durch Wasserspülung mit unterschiedlichen Drücken unterstützt. Die Aufsatzrohre und die Düsen bilden ein wesentliches Element des gesamten Rüttlerstranges. Die Verdichtung erfolgt vom tiefsten Eindringpunkt von unten nach oben in festgelegten Schritten und Zeitintervallen. Das Verdichtungsergebnis hängt vom Wirkungsgrad des Rüttlers und den Bodenbedingungen ab.

Bodenmechanische Aspekte

Unter dem Einfluss der Schwingungen des Rüttlers werden die Bodenkörner innerhalb des Einflussbereichs in eine dichtere Lagerung gebracht. Die Größe dieses Einflussbereichs hängt von der Bodenbeschaffenheit, dem Gerät und Verfahren ab. Je nach Bodenbeschaffenheit und Verdichtungsintensität kann eine Verminderung des Bodenvolumens von bis zu 15 % erzielt werden.

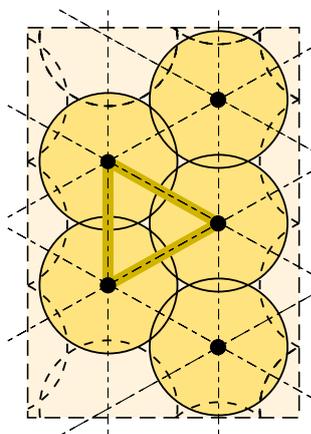


Das Gründungskonzept

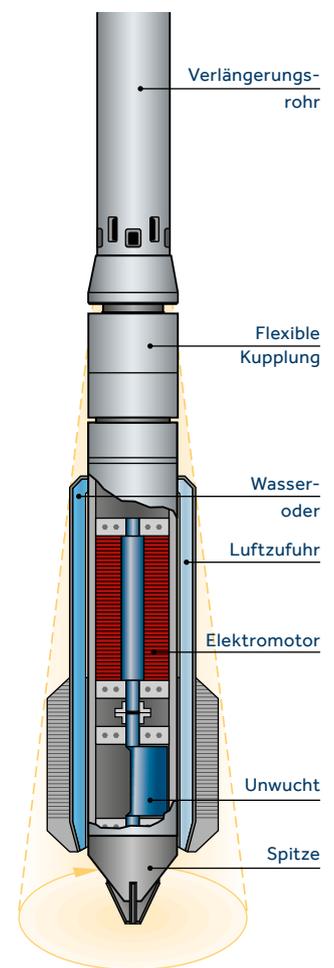
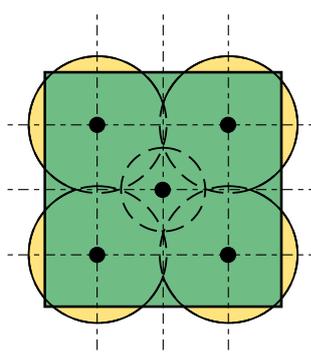
Der Verdichtungsbereich für einen bestimmten Punkt wird von verschiedenen Parametern bestimmt. Keller verfügt über einen reichen Erfahrungsschatz, um ein sehr wirtschaftliches Gründungskonzept zu erstellen. Die optimale

Anordnung der Verdichtungspunkte wird üblicherweise durch ein Testfeld vor Ort ermittelt, bei dem unterschiedliche Rastermaße und Verfahrensweisen getestet und ausgewertet werden. Nach der Verdichtung können große Lasten mit Flächenpressungen von bis zu 1 MN/m^2 sicher getragen werden. Durch eine entsprechende Anordnung der Verdichtungscentren lassen sich Bodenkörper beliebigen Ausmaßes verdichten. Die erzielte Bodenverdichtung lässt sich anhand verschiedener Sondierungen einfach und wirtschaftlich nachweisen.

Verdichtung unter Flächenlasten



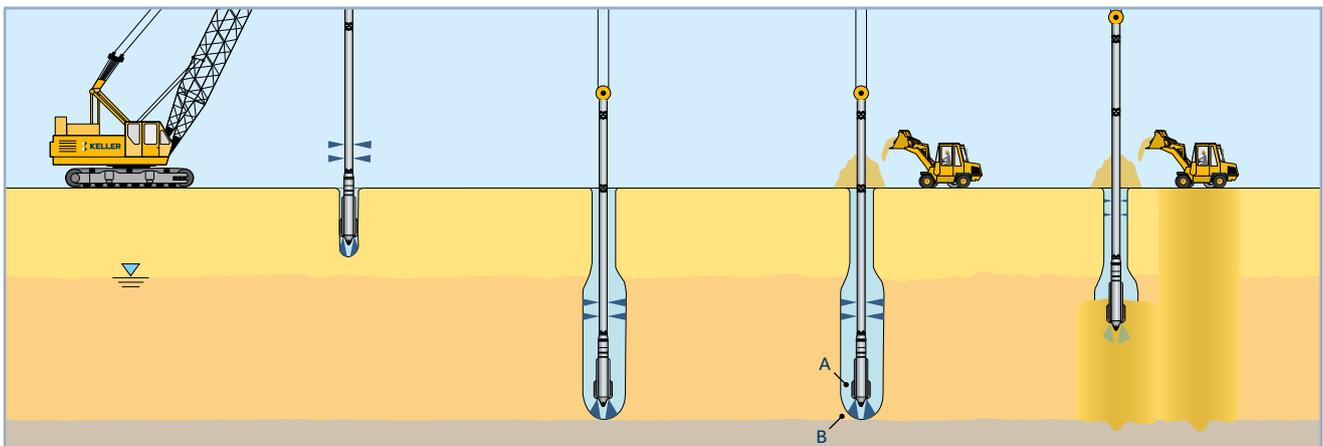
Verdichtung unter Fundamenten



Technische Highlights

Durch Rütteldruckverdichtung werden rollige Böden mit einem vernachlässigbaren Feinkornanteil verdichtet, indem die Bodenpartikel in eine dichtere Lagerung gebracht werden.

Das Verfahren



1. Einfahren

Der vibrierende Rüttler dringt bei maximalem Wasserdruck bis zur geplanten Tiefe in den Boden ein und wird im Wechsel hochgezogen und wieder heruntergefahren, so dass der rollige Boden bewegt und Feinkorn entfernt wird und so ein ringförmiger Spalt um den Rüttler herum entsteht. Nach dem Erreichen der vorgesehenen Tiefe wird der Wasserfluss reduziert.

2. Verdichten

Die Bodenverdichtung erfolgt stufenweise von der maximalen Einfahrtiefe nach oben. Dabei entsteht aus dem Bodenmaterial ein zylindrischer Körper von bis zu 5 m Durchmesser. Die Steigerung des Verdichtungsgrades zeigt sich durch einen steigenden Energieverbrauch des Rüttlers.

3. Verfüllung

Um den Rüttler herum bildet sich ein Trichter, der mit angefahrenem Material (A) oder vorhandenem Material (B) gefüllt wird. Hierzu sind bis zu 15% des behandelten Bodenvolumens erforderlich.

4. Abschließende Arbeiten

Nach erfolgter Verdichtung wird die Oberfläche neu eingeebnet und mit einer Rüttelwalze verdichtet.

Vorteile der Rütteldruckverdichtung

- Geringere Fundamentsetzung
- Verbesserte Tragfähigkeit, die geringere Fundamentgrößen ermöglicht
- Verbesserte Steifigkeit
- Verbesserte Scherfestigkeit
- Möglicherweise geringere Durchlässigkeit
- Geringeres Verflüssigungspotenzial
- Möglichkeit der Hangabsicherung
- Möglichkeit der Errichtung in Aufschüttungen
- Möglicher Einsatz von Flächengründungen
- Verhindert erdbebeninduzierte seitliche Ausbreitung

Rüttelstopfverdichtung in rolligen Böden mit hohem Feinkornanteil und in bindigen Böden

Geräte und Ausführung

Für die Errichtung von Rüttelstopfsäulen wird häufig der Schleusenrüttler eingesetzt, bei dem grobkörniges Zugabematerial mit Druckluftunterstützung an der Rüttlerspitze austritt. Wegen der erforderlichen speziellen Ausrüstung wurde die Keller-Tragraupe mit Mäklführung entwickelt, die einen zusätzlichen Andruck beim Versenken und Verdichten gewährleistet. Beim Rüttelstopfverfahren wird in alternierenden Schritten gearbeitet. Der beim Herausziehen des Rüttlers an der Rüttlerspitze in den entstandenen ringförmigen Spalt austretende Kies wird beim Wiedereinfahren des Rüttlers verdichtet und in den Boden gepresst. Auf diese Weise werden von unten nach oben Stopfsäulen errichtet, die im Verbund mit dem umgebenden Boden die Lasten tragen.

Bodenmechanische Aspekte

Soweit in gemischt- und feinkörnigen Böden durch horizontale Schwingungen und Bodenverdrängung eine Verdichtung erreicht werden kann, was in erster Linie vom Sättigungsgrad abhängt, ist diese Art der Bodenverbesserung wie das Rütteldruckverfahren zu bewerten. Beim Rüttelstopfverfahren in seiner reinen Form wird dagegen davon ausgegangen, dass der umgebende Boden selbst nicht verdichtet wird. Die Verbesserung wird durch die höhere Steifigkeit und den größeren Scherwiderstand der eingebrachten Rüttelstopfsäule sowie des ringförmigen Bereichs erzielt.

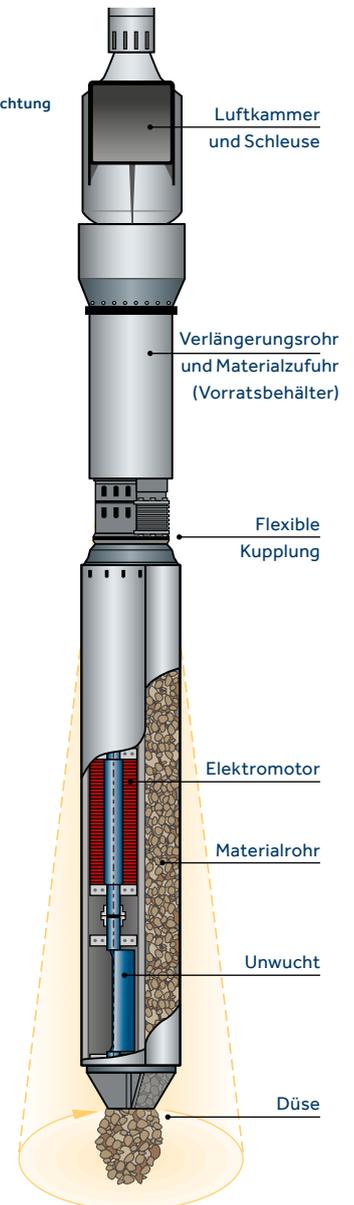
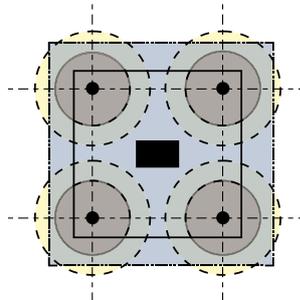
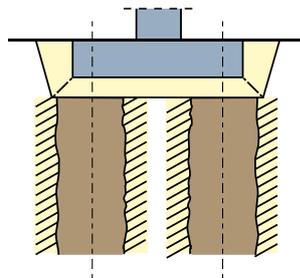
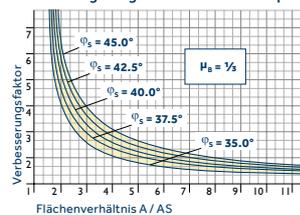
Das Gründungskonzept

Während sich die Bodeneigenverdichtung durch Sondierungen verhältnismäßig einfach nachweisen lässt, kann der Verbesserungseffekt bei der Stopfverdichtung nur durch Belastungsversuche vor Ort geprüft werden.

Keller hat jedoch eine zuverlässige Berechnungs-

methode entwickelt, in die die Geometrie der Stopfsäulen sowie der Reibungswinkel des Zugabematerials einfließen. Gründungstechnisch wird ein durch Stopfverdichtung verbesserter Boden wie normaler Baugrund behandelt. Die zulässige Sohlpressung liegt nach erfolgter Stopfverdichtung etwa zwischen 150 und 400 kPa.

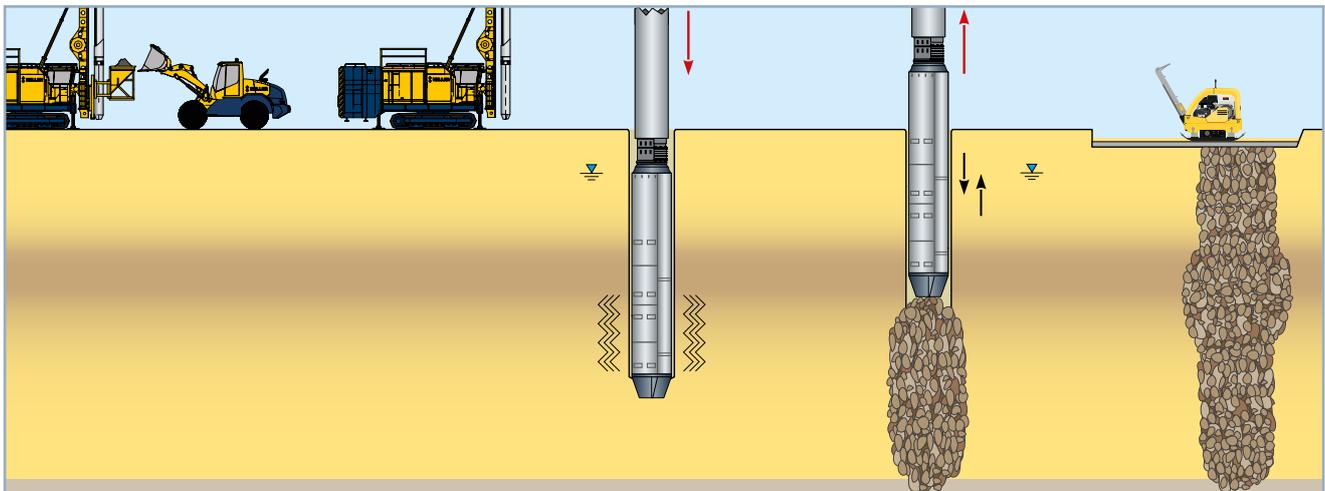
Bemessungsdiagramm für Rüttelstopfverdichtung



Technische Highlights

Mit dem Rüttelstopfverfahren werden lastabtragende Säulen aus Schotter oder Kies in bindigen sowie rolligen Böden mit hohem Feinkornanteil errichtet.

Das Verfahren



1. Vorbereiten

Mit der Tragraupe wird der Rüttler über dem eingemessenen Punkt ausgerichtet und das Gerät hydraulisch abgestützt. Ein Radlader belädt den Materialkühler.

2. Befüllen

Der Materialkühler wird am Mast hochgefahren und entleert seinen Inhalt in die Schleusenammer. Nach dem Schließen der Schleusenklappe unterstützt die Druckluft den Materialfluss zur Austrittsstelle an der Rüttlerspitze.

3. Einfahren

Der Rüttler verdrängt den Boden und wird, unterstützt durch die Druckluft und die Aktivierkraft der Tragraupe, bis zur geplanten Tiefe abgesenkt.

4. Verdichten

Nach dem Erreichen der Endtiefe wird der Rüttler leicht angehoben, so dass das Zugabematerial den entstandenen Hohlraum ausfüllt. Beim Wiederversenken wird das Material in den Boden gepresst und verdichtet.

5. Abschließende Arbeiten

Es wird die Rüttelstopfsäule in alternierenden Schritten bis zur geplanten Höhe aufgebaut. Beim Errichten des Feinplanums sind eine Nachverdichtung der Aushubsohle und der Einbau einer lastverteilenden Ausgleichsschicht erforderlich.

Vorteile der Rüttelstopfverdichtung

- Geringere Fundamentsetzung
- Verbesserte Tragfähigkeit, die geringere Fundamentgrößen ermöglicht
- Verbesserte Steifigkeit
- Verbesserte Scherfestigkeit
- Schnelle Entwässerung bei übermäßiger Porenwasserbildung
- Geringeres Verflüssigungspotenzial
- Möglichkeit der Hangabsicherung
- Möglichkeit der Errichtung in Schüttungen
- Möglicher Einsatz von Flächenfundamenten
- Verhindert erdbebeninduzierte seitliche Ausbreitung

Pfahlartige Gründungs- elemente



Betonstopfsäulen (BSS)

Geräte und Ausführung

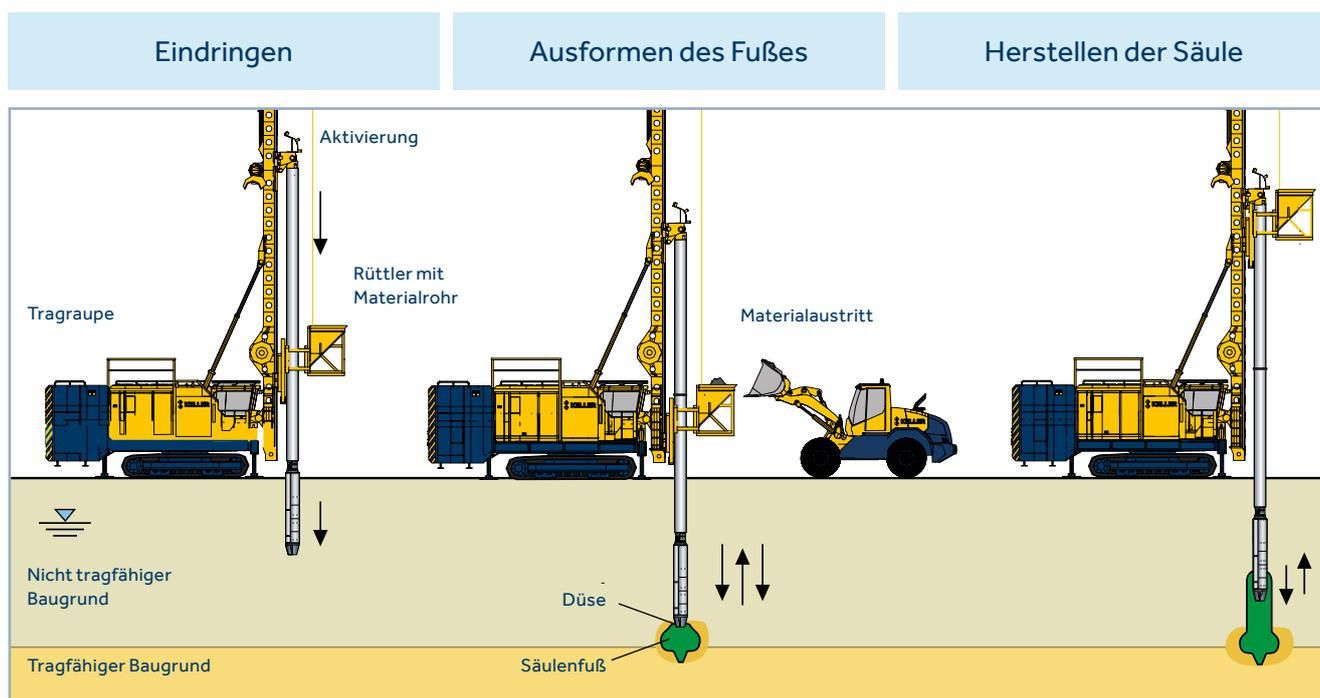
Diese Gründungselemente werden in der gleichen Weise hergestellt wie im Rüttelstopfverfahren beschrieben. Als Zugabematerial wird ein besonders grobkörniger Beton der Festigkeitsklasse C 8/10 bis C 20/25 eingebaut. Dieser verhält sich wie das Kies- oder Schottermaterial und zeigt das gleiche Verdichtungs- und Verdrängungsverhalten.

Bodenmechanische Aspekte

Die Tragfähigkeit der starren Gründungselemente entspricht weitestgehend der von Pfählen.

Das Gründungskonzept

Für Betonstopfsäulen besitzt Keller die Zulassung des deutschen Instituts für Bautechnik. Beim Gründungsentwurf wird für diese Gründungselemente ein äußeres Tragverhalten angegeben, das durch eine Vielzahl von Belastungstests nach DIN 1054 belegt ist. Je nach anstehendem Baugrund und verwendetem Material können zulässige Belastungen von bis zu 900kN erreicht werden. Betonstopfsäulen lassen sich sehr gut mit der normalen Rüttelstopfverdichtung kombinieren, indem je nach Bedarf im unteren oder oberen Teil der Säulen kein Beton verwendet wird. Dies dient dazu, eine Übergangs- bzw. Pufferzone zu den starren Betonsäulen zu schaffen.



Technische Highlights

- Das Zugabematerial wird stets zur Rüttlerspitze zugeführt, so dass eine durchgehende Säule entsteht.
- Dazu ist nur ein einziger Eindringvorgang erforderlich.
- Die Druckluft verhindert ein Einfallen des Bohrlochs selbst bei schwierigen Bodenverhältnissen.

Betonrüttelsäulen (BRS)

Geräte und Ausführung

Betonrüttelsäulen bestehen üblicherweise aus pumpbarem Beton der Festigkeitsklasse C25/30. Hierbei wird der Fuß durch mehrmaliges Heben und Senken des Rüttlers verbreitert, während der Schaft dank der hohen inneren Festigkeit des Betons in einem Durchgang erstellt wird.

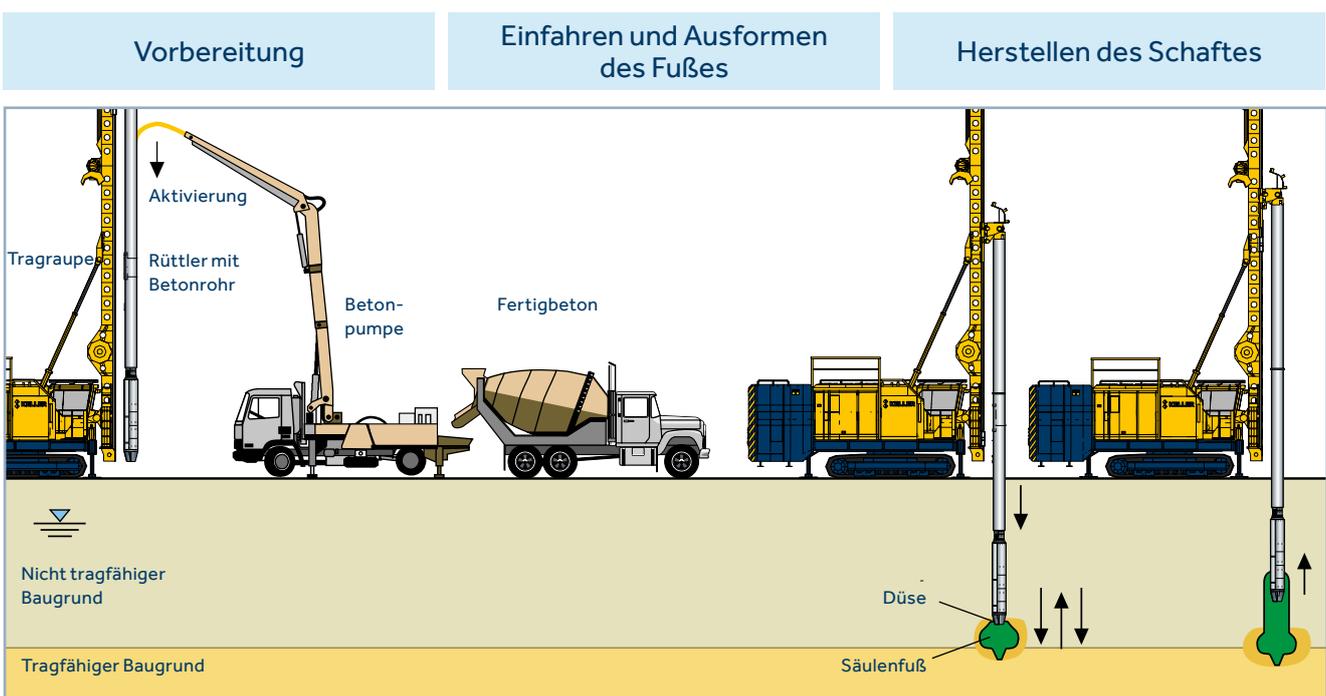
Bodenmechanische Aspekte

Bei den Betonrüttelsäulen wird auf die gezielte Verdichtung des umgebenden Bodens verzichtet. Wie bei den anderen pfahlartigen Gründungselementen kann aber im Fußbereich ein hoher Verbesserungsgrad erzielt und damit eine besonders

hohe Tragfähigkeit und geringe Verformung erzielt werden.

Das Gründungskonzept

Für Betonrüttelsäulen besitzt Keller ebenfalls eine bauaufsichtliche Zulassung. Betonrüttelsäulen sind im Schaft in der Regel mit Durchmessern zwischen 40 und 60 cm schlanker als die anderen pfahlartigen Gründungselemente. Die Belastung kann je nach anstehendem Baugrund und entsprechend einer möglichen Fußverbreiterung bis zu 1000 kN betragen.



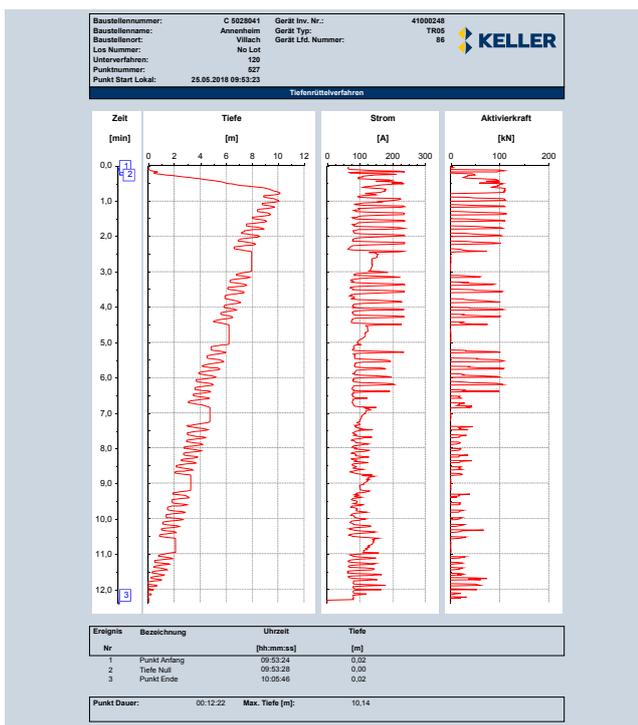
Qualitätskontrolle und -sicherstellung

Zur Sicherstellung und Aufzeichnung einer konstant hohen Verarbeitungsqualität können bei allen Rüttelverfahren elektronische Messvorrichtungen eingesetzt werden.



Die Messwerte

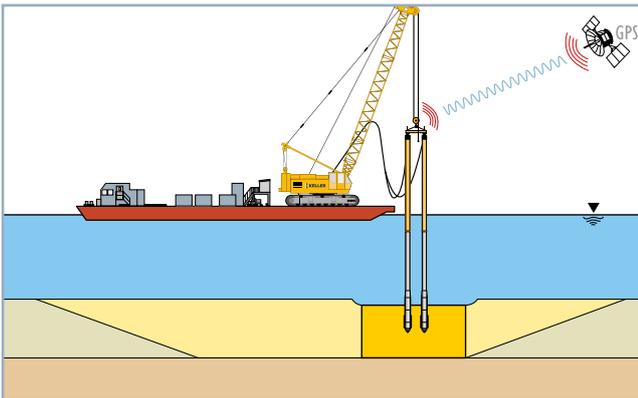
Während des Verdichtungsvorgangs wird eine Reihe unterschiedlicher Standort- und Produktionsparameter automatisch erfasst. Werte wie Zeit, Tiefe, Vorschub, Andruck und Stromaufnahme lassen sich grafisch anzeigen und ausdrucken. Falls erforderlich, kann zudem der Energieverbrauch erfasst werden.



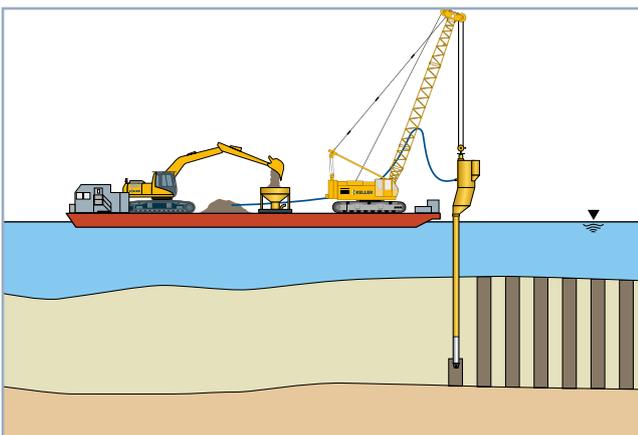
Spezielle Anwendungen

Mehrfachrüttler und Verdichtung unter Wasser

Großflächige Rütteldruckverdichtungen an Land und im Wasser können mit Mehrfachrüttlern ausgeführt werden.



Bei Stopfverdichtungen im Wasser, beispielsweise zur Gründung von Kaimauern oder Brückenpfeilern, werden Säulen durch Zuführung von Schotter von oben über eine spezielle Förderpumpe errichtet.



Rüttelstopfverdichtung – Materialzufuhr von oben

Rüttelstopfsäulen können in bindigen Böden auch durch Zufuhr von oben, ähnlich wie bei der Rütteldruckverdichtung, errichtet werden. Das Spülmedium hilft beim schnellen Eindringen in den Boden. Es stabilisiert den ringförmigen Spalt um den Rüttler herum, so dass das Feinkornmaterial aus dem Boden gefördert und der Schotter von oben nach unten eingebracht werden kann. Diese Methode kann auch zum Vergrößern des Säulendurchmessers eingesetzt werden.



**KELLER GRUNDBAU GMBH**

info.de@keller.com • www.kellergrundbau.de

ZENTRALE

Keller Grundbau GmbH

Kaiserleistr. 8

63067 Offenbach

Tel: +49 69 8051-0

NIEDERLASSUNGEN

Bochum

Franken (Würzburg)

Garching (München)

Hamburg

Isernhagen (Hannover)

Leipzig

Oranienburg (Berlin)

Renchen

Rhein-Main (Frankfurt)

Stuttgart (Unterensingen)
