

Tiefenrüttelverfahren

Baugrundverbesserung mit dem
Tiefenrüttler

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 in 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 Versenkentiefe 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 hinsichtlich der Lastenübertragung 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 Böden und in rolligen Böden mit hohem Feinkornanteil hergestellt.

Mit dem dritten Verfahren werden pfahlartige Gründungselemente hergestellt, über die verhältnismässig hohe Lasten abgetragen werden können oder 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.

Überblick

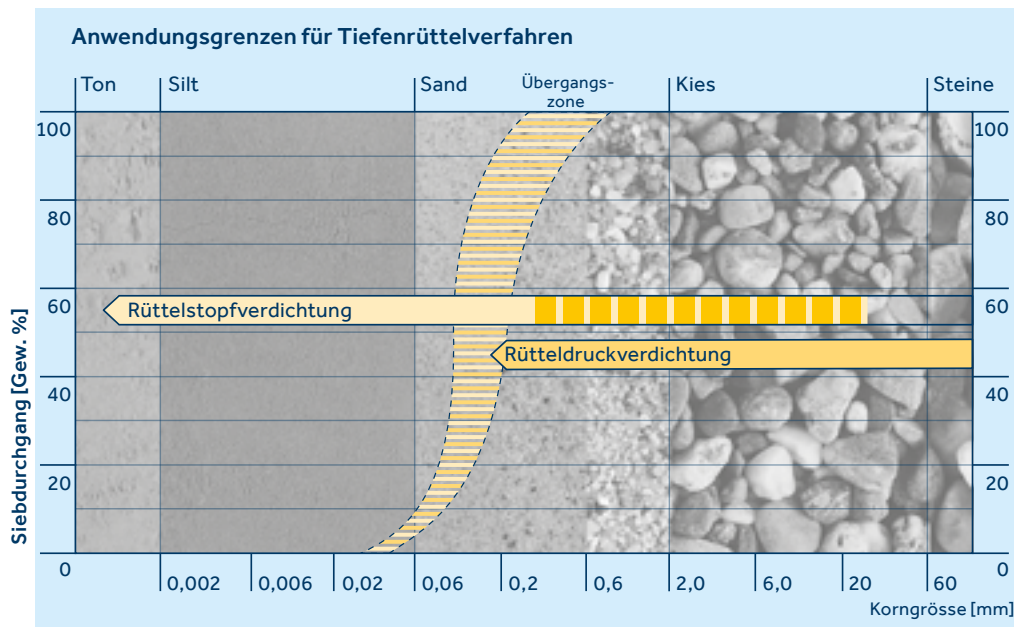
Tiefenrüttelverfahren bieten flexible Lösungen für die Baugrundverbesserung. Sie werden hauptsächlich für Gründungen von Bauten eingesetzt, die auf Baugrund mit geringer Tragfähigkeit errichtet werden. Der Tiefenrüttler ist eine Entwicklung von Keller (Patent aus dem Jahr 1934). Er wurde zunächst nur 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

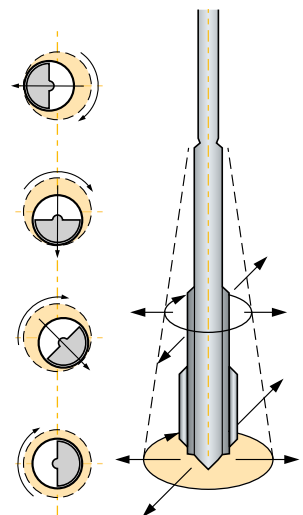
Die Tiefenrüttelverfahren sind vielseitige Methoden zur Baugrundverbesserung, die an verschiedenste Bodenbedingungen und Fundamentanforderungen angepasst werden können. Die Ausführungszeiten sind verhältnismässig kurz, auch wenn grosse Mengen an Boden verbessert werden müssen, und nachfolgende Arbeiten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

Auftraggeber durch wirtschaftlichere Bemessung von Einzel-, Streifen- und Plattenfundamenten weitere Einsparungen zu lukrieren.

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



Funktionsprinzip



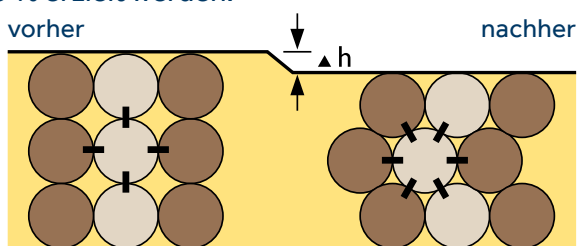
Rütteldruckverdichtung in rolligen Böden

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 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.

Geotechnische 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.

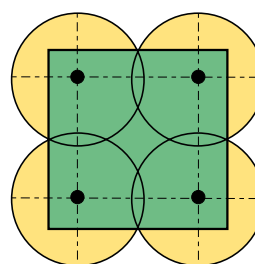
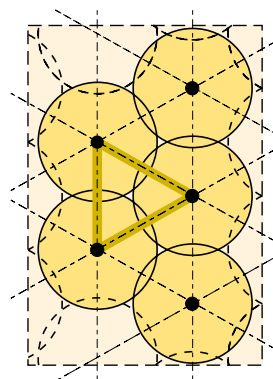


Das Gründungskonzept

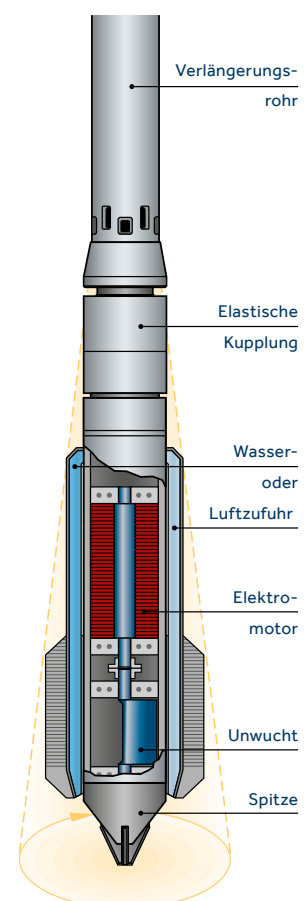
Der Verdichtungsbereich für einen bestimmten Punkt wird von verschiedenen Parametern

bestimmt. Keller verfügt über einen reichen Erfahrungsschatz, um wirtschaftliche Gründungskonzepte 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 abgetragen werden. Durch eine entsprechende Anordnung der Verdichtungszentren lassen sich Bodenkörper beliebigen Ausmasses verdichten. Die erzielte Bodenverdichtung lässt sich anhand verschiedener Sondierungen einfach und wirtschaftlich nachweisen.

Verdichtung unter Flächenlasten



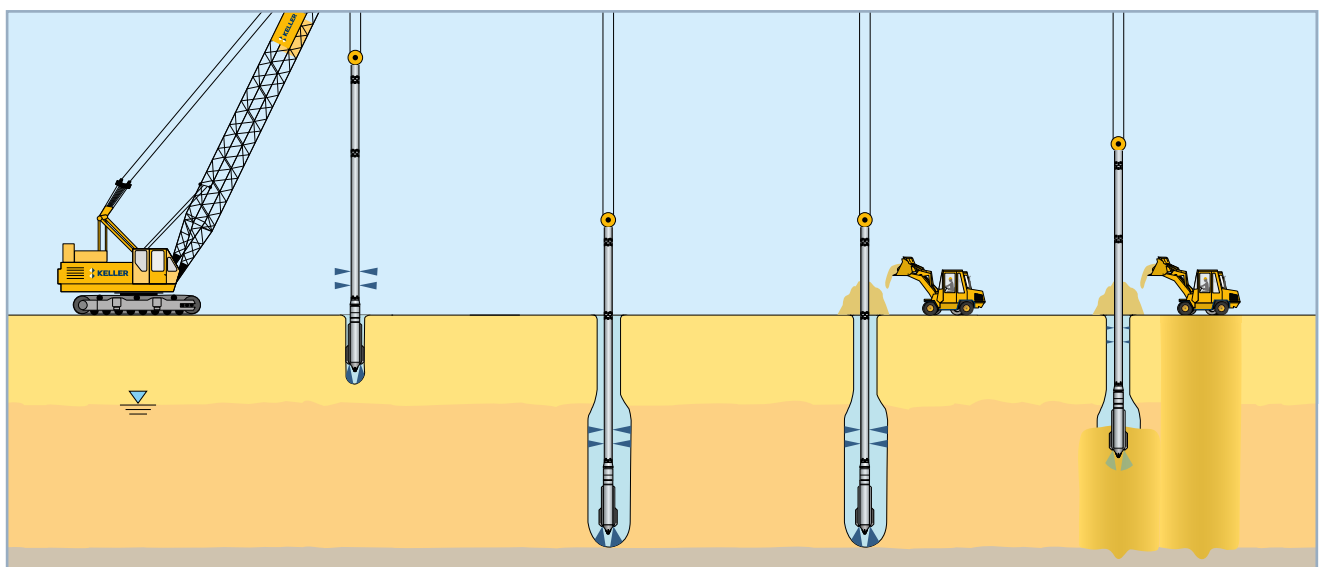
Verdichtung unter Einzelfundamenten



Technische Highlights

Durch die 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 wechselweise hochgezogen und wieder versenkt, sodass 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. Verdichtung

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 zugeführtem Material gefüllt wird. Hierzu sind bis zu 15 % des vorhandenen Bodenvolumens erforderlich.

4. Abschliessende Arbeiten

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

Vorteile der Rütteldruckverdichtung

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

Rüttelstopfverdichtung in bindigen und rolligen Böden mit hohem Feinkornanteil

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 Mäklerrführung 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 abtragen.

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 dem umgebenden ringförmigen Bereich erzielt.

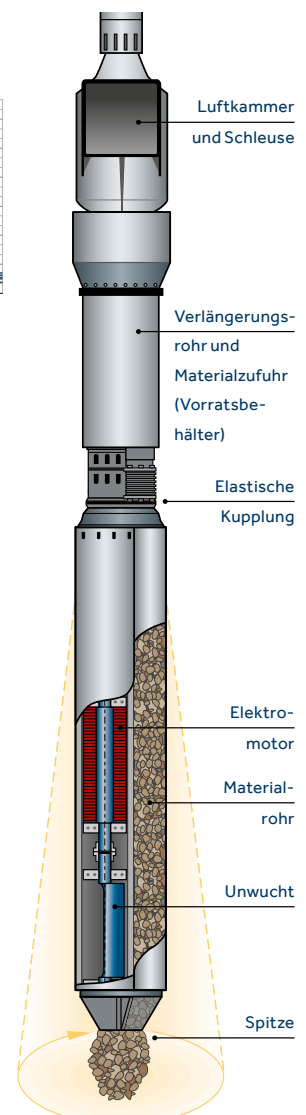
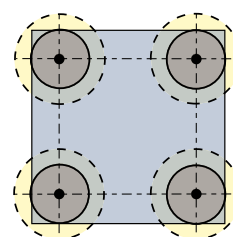
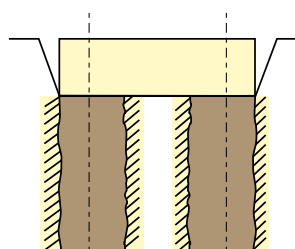
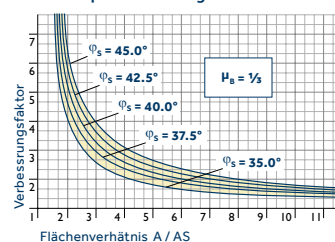
Das Gründungskonzept

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 Berechnungsmethode 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.

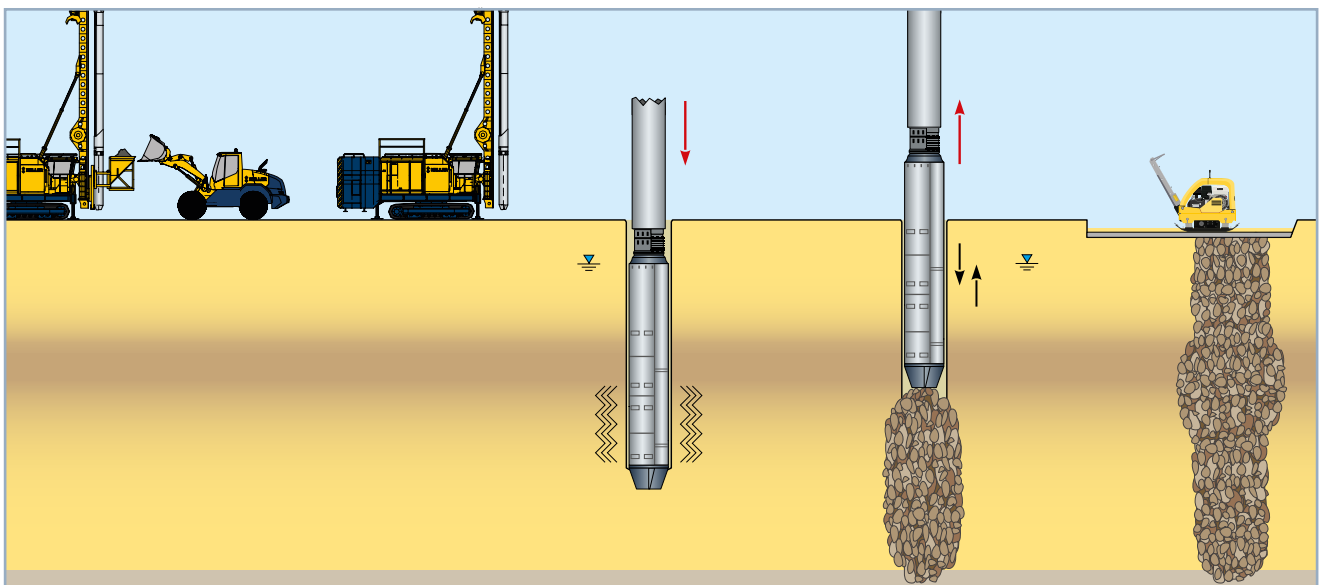
Bemessungsdiagramm für Rüttelstopfverdichtung



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 Materialkübel.

2. Befüllen

Der Materialkübel wird am Mast hochgefahren und entleert seinen Inhalt in die Schleusenkammer. 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 Erreichen der Endtiefe, wird der Rüttler leicht angehoben, sodass das Zugabematerial den entstandenen Hohlraum ausfüllt. Beim Wiederver-senken wird das Material in den Boden gepresst und verdichtet.

5. Abschliessende Arbeiten

Die Rüttel-stopfsäule wird in alternierenden Schritten bis zum geplanten Niveau aufgebaut. Beim Errichten des Feinplanums ist eine Nach-verdichtung der Aushubsohle erforderlich.

Vorteile der Rüttelstopfverdichtung

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

Pfahlartige Gründungselemente



Betonstopfsäulen (BSS)

Geräte und Ausführung

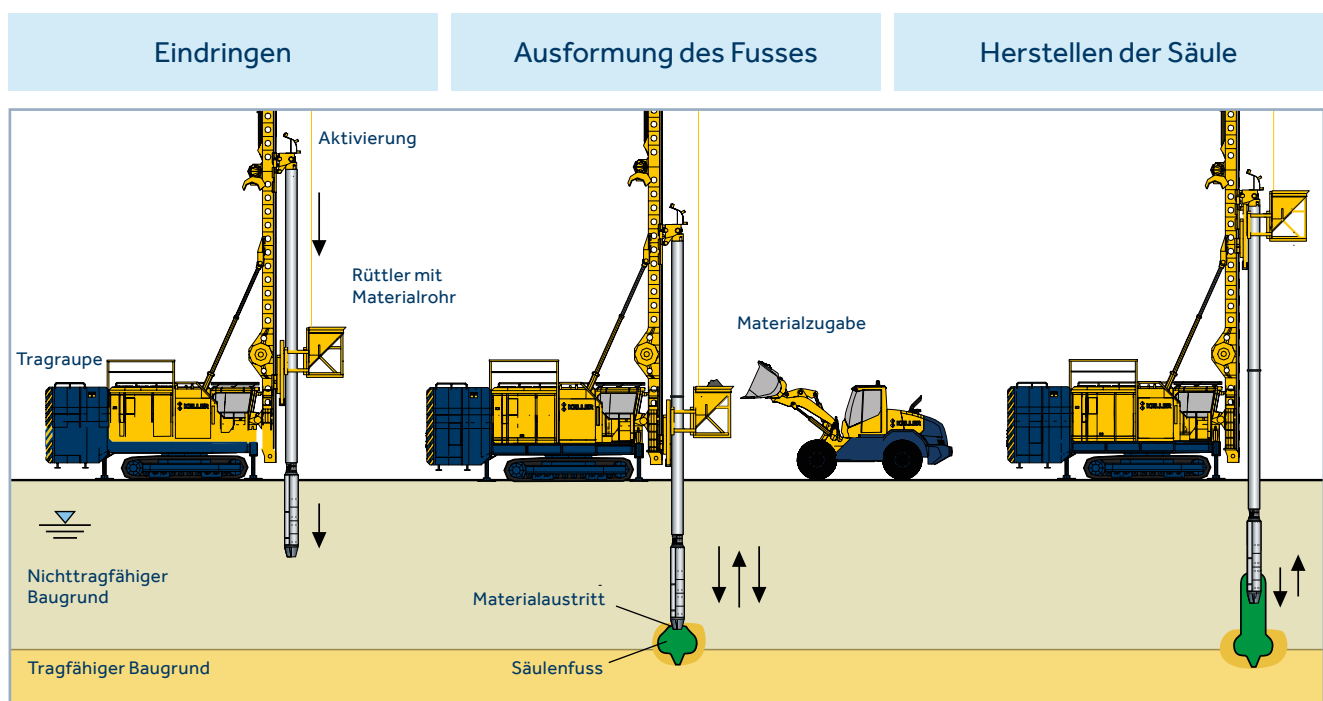
Diese Gründungselemente werden in der gleichen Weise hergestellt wie im Rüttelstopfverfahren beschrieben. Als Zugabematerial wird ein besonders grobkörniger Beton der Festigkeitsklasse C 8/10 bis C 20/25 eingebaut. Dieser verhält sich wie das Kies- oder Schottermaterial und zeigt das gleiche Verdichtungs-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

Bodenmechanische Aspekte

Die Tragfähigkeit der starren Gründungselemente entspricht weitestgehend der von Pfählen.

Das Gründungskonzept

Für Betonstopfsäulen besitzt Keller eine Zulassung. 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 bis zu 900 kN erreicht werden. Betonstopfsäulen lassen sich sehr gut mit der normalen Rüttelstopfverdichtung kombinieren, indem je nach Bedarf im unteren oder oberen Teil der Säulen statt Beton Kies verwendet wird. Dies dient dazu, eine Übergangs- bzw. Pufferzone zu den starren Betonsäulen zu schaffen.



Technische Highlights

- Das Zugabematerial wird stets zur Rüttlerspitze zugeführt, sodass eine durchgehende Säule entsteht.
- Es ist lediglich 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 C 25/30. 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.

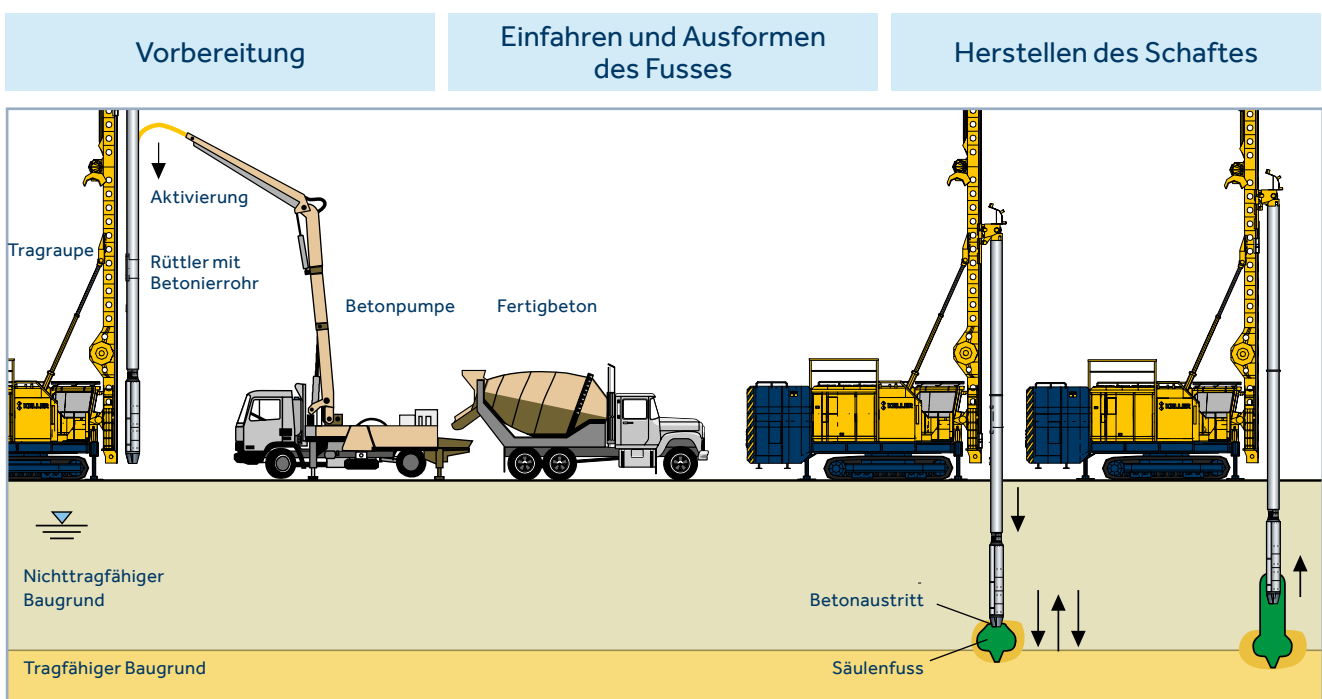
Bodenmechanische Aspekte

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 bei geringen Verformungen erzielt werden.

Das Gründungskonzept

Für Betonrüttelsäulen besitzt Keller eine bauaufsichtliche Zulassung. Betonrüttelsäulen haben im Schaft in der Regel Durchmesser zwischen 40 und 60 cm. Die Belastung kann je nach anstehendem Baugrund und entsprechend einer möglichen Fussverbreiterung bis zu 1000 kN betragen.



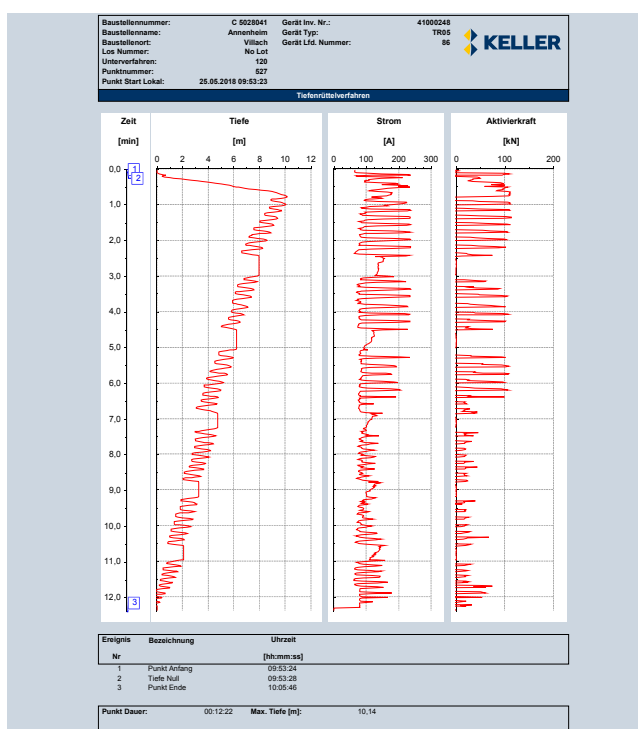
Qualitätskontrolle und -sicherung

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



Die Messwerte

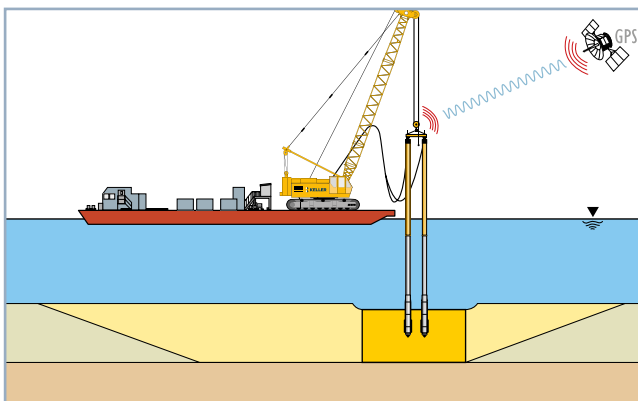
Während des Verdichtungsvorgangs werden eine Reihe unterschiedlicher Baustellen- und Produktionsparameter automatisch erfasst. Werte wie Zeit, Tiefe, Vorschub, Andruck und Stromaufnahme lassen sich grafisch anzeigen und somit kann für jeden ausgeführten Vorgang ein entsprechendes Protokoll ausgedruckt werden.



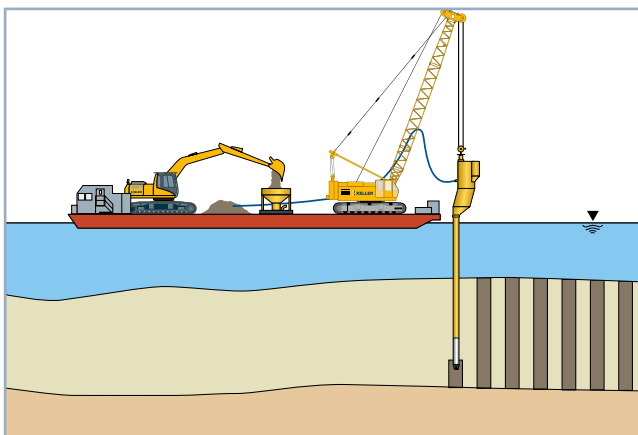
Spezielle Anwendungen

Mehrfachrüttler und Verdichtung unter Wasser

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



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



Rüttelstopfverdichtung – Materialzufuhr von oben

Rüttelstopfsäulen können in bindigen Böden auch durch Zufuhr von oben, ähnlich wie bei der Rütteldruckverdichtung, hergestellt werden. Das Spülmedium hilft beim schnellen Eindringen in den Boden. Es stabilisiert den ringförmigen Spalt um den Rüttler herum, sodass 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-MTS AG

Sonnenbergstrasse 51
5408 Ennetbaden

Route du Rhône 6
Case Postale 50
1963 Vétroz

Grubenstrasse 11
3322 Urtenen-Schönbühl

Sulzwiesenstrasse 14
9404 Rorschacherberg

www.keller-mts.ch

Ihr Grundbauspezialist