



## Soilcrete® (Düsenstrahlverfahren)

Wirkungsvolles und vielseitiges  
Verfahren zur Bodenverfestigung



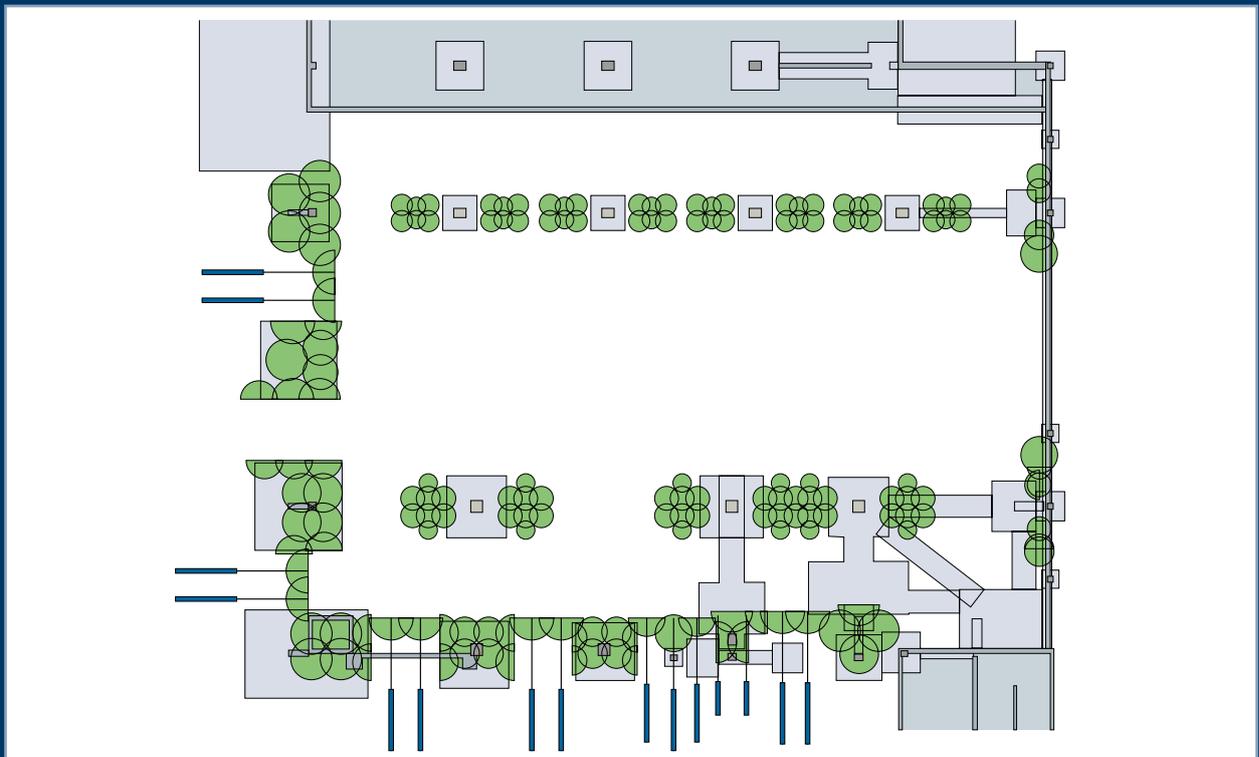
# Soilcrete® – Geschichte

Mit dem Erwerb grundlegender Lizenzen zum Düsenstrahlverfahren und der Einführung der Soilcrete®-Technik 1979 in Europa hat Keller Grundbau neue Wege bei der Baugrundverfestigung beschritten. Heute entspricht das Verfahren der europäischen Norm EN 12716.

## Soilcrete® – Arbeitsablauf

Kleine Unterfangungsarbeiten standen am Anfang des ungewöhnlichen Weges von Soilcrete®. Bis zum heutigen Stand der Technik waren jedoch noch viele Entwicklungsschritte notwendig.

- Das Soilcrete® Verfahren wurde für die unterschiedlichen Bodenarten modifiziert.
- Die Anwendungsmöglichkeiten zur Problemlösung bei unseren Kunden Zug um Zug erweitert.
- Die dafür notwendigen Geräte wurden entwickelt und verbessert.



Sanierung, Modifizierung und Erweiterung bestehender Gründungen



# Die vielseitigste geotechnische Lösung

Soilcrete® (Düsenstrahlverfahren) zählt zu den wirtschaftlichsten und vielseitigsten Verfahren zur Verfestigung und Abdichtung des Baugrundes. Als Pionier in dieser Branche brachte Keller die Technologie im Jahr 1979 auf den europäischen Markt – heute kommt sie weltweit zum Einsatz. Kontinuierliche Forschungs- und Innovationsarbeit, sowie ständige Investitionen in unsere Gerätschaften haben uns zu Markt- und Technologieführern gemacht. Heute bieten wir Lösungen für nahezu alle Anwendungen bei verschiedensten Bodenverhältnissen – von Lockergesteinen bis hin zu steifen Tonen.

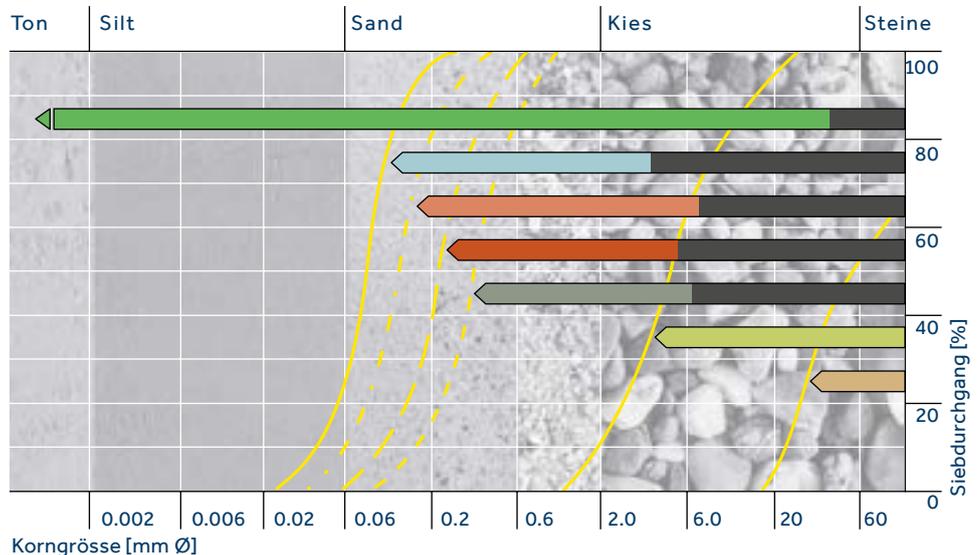
Sehr erfahrene Mitarbeiter, modernste Technik, strenge Qualitätskontrolle und ausserordentliche planerische Erfahrung sind unser Garant für erstklassige Leistungen auch unter anspruchsvollsten Bedingungen. Mit Soilcrete® bieten wir innovative Lösungen für den Tunnelbau, Gründungen von neuen und bereits bestehenden Bauten, die Gründungssanierung historischer Gebäude und die Baugrubensicherung. Dazu zählen auch grundwasserhemmende Bauwerksunterfangungen als verankerbare Schwergewichtswände und Dichtsohlen.

## Anwendungsgrenzen des Düsenstrahlverfahrens

- Soilcrete®
- Kunststofflösungen
- Silikatgele [nv]
- Silikatgele [hv]
- Ultrafeinzemente
- Zementsuspensionen
- Mörtel

nv = niedrigviskos  
hv = hochviskos

◁ günstig  
■ unwirtschaftlich

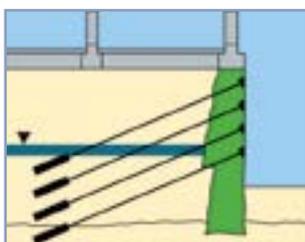




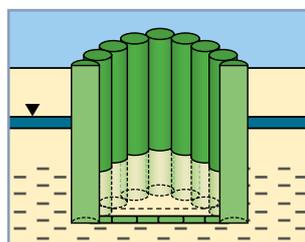
## Anwendungen

Soilcrete® ist das Verfahren für verschiedenste Anwendungen.

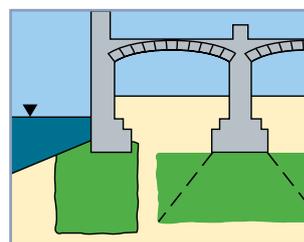
Verfestigung	Abdichtung
Unterfangungen	Dicht- und Lamellenwände
Start- und Zielblöcke im Tunnelbau	Dichtsohlen
Verfestigung von Tunneldecken und -sohlen	Gewölbesohlen
Gründungsverbesserung und -erweiterung	Dichtschirme
Gründungsänderungen	Dammabdichtungen
Baugrubensicherung einschl. Schächte	Ausfachung von Bohrpfehlwänden
Tiefgründungen	Fugenabdichtung



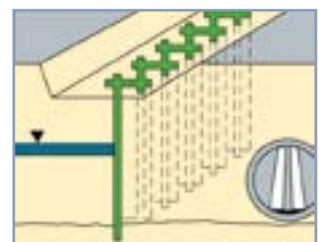
Unterfangungen



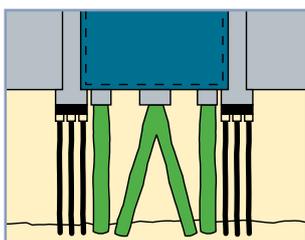
Schachtverbau



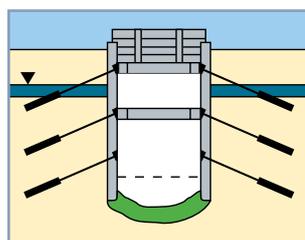
Gründungsverbesserung und -erweiterung



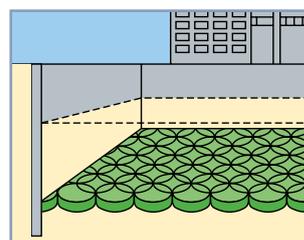
Dicht- und Lamellenwände



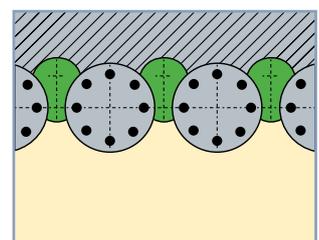
Tiefgründungen



Gewölbesohlen



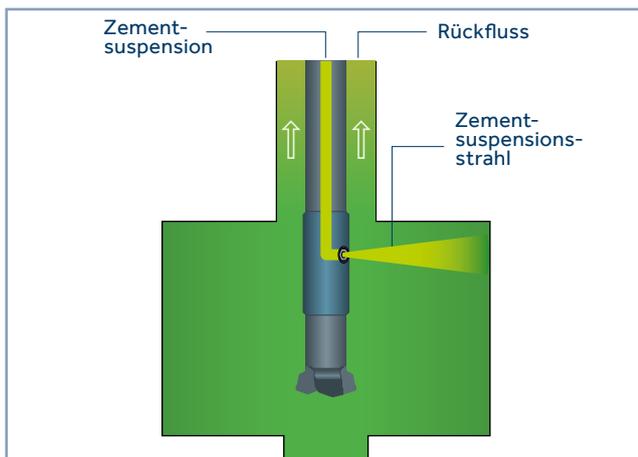
Dichtsohlen



Ausfachung von Bohrpfehlwänden

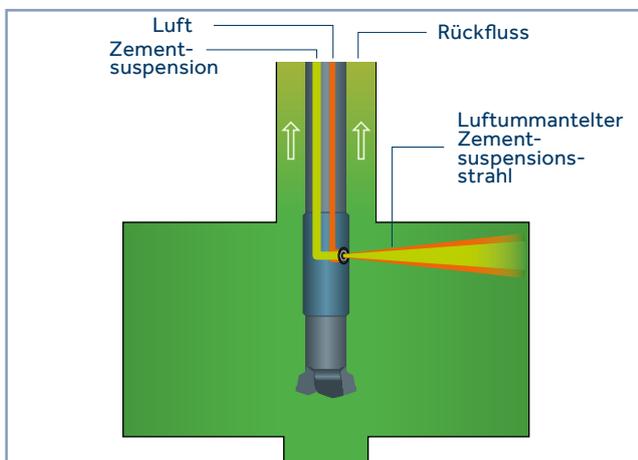
# Soilcrete® Varianten

Soilcrete® wird in drei unterschiedlichen Verfahren hergestellt. Die vorliegenden Baugrundeigenschaften, die geometrische Form und die erforderliche Qualität der Soilcrete®-Körper bestimmen die Auswahl.



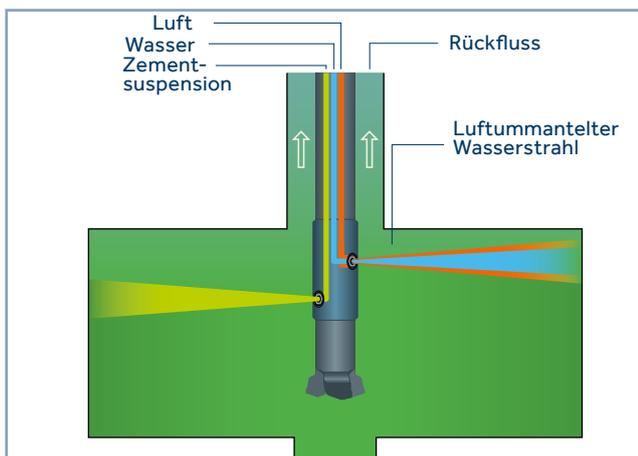
## Soilcrete® - S

(Single-Direktverfahren) benutzt einen Suspensionsstrahl von bis zu 200 m/s Austrittsgeschwindigkeit zum gleichzeitigen Schneiden und Soilcretieren des Bodens ohne Luftummantelung. Das S-Verfahren wird für kleine bis mittlere Säulendurchmesser eingesetzt.



## Soilcrete® - D

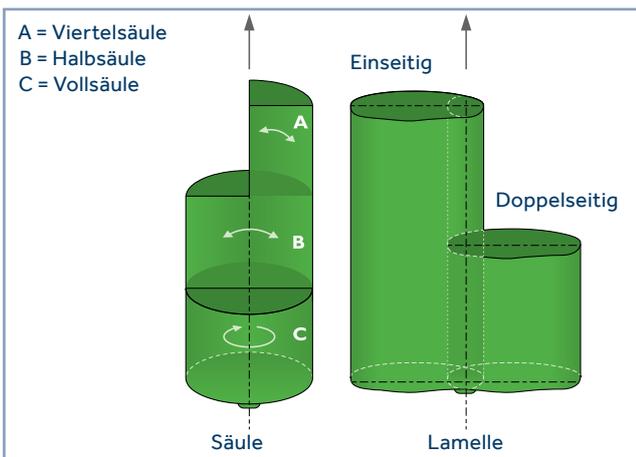
(Double-Direktverfahren) benutzt einen Suspensionsstrahl von bis zu 200 m/s Austrittsgeschwindigkeit zum gleichzeitigen Schneiden und Soilcretieren des Bodens. Zur Erhöhung der Erosionsleistung und damit der Reichweite wird der Strahl über eine Ringdüse zusätzlich mit Druckluft ummantelt. Das D-Verfahren wird für mittelgrosse bis sehr grosse Säulendurchmesser eingesetzt.



## Soilcrete® - T

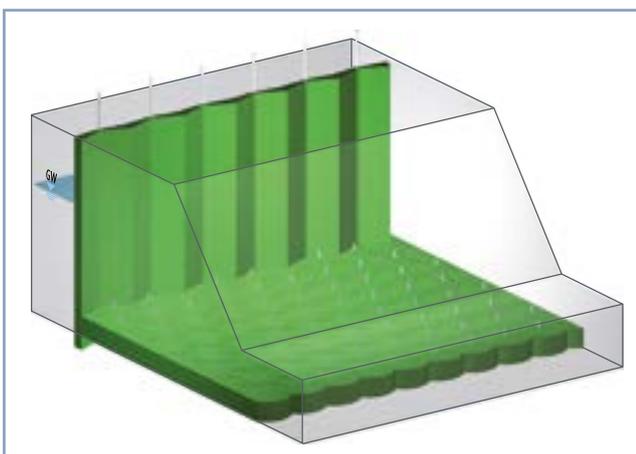
(Triple-Trennverfahren) erodiert den Boden mit einem luftummantelten Wasserstrahl von bis zu 200 m/s Austrittsgeschwindigkeit. Über eine zusätzliche Düse unterhalb der Wasserdüse wird die Zementsuspension zeitgleich zugegeben. Der Pumpendruck dazu beträgt  $\geq 15$  bar. Eine Variante des Verfahrens arbeitet ohne Luftummantelung. Das T-Verfahren wird bevorzugt bei bindigen Böden eingesetzt.

# Soilcrete® Elemente

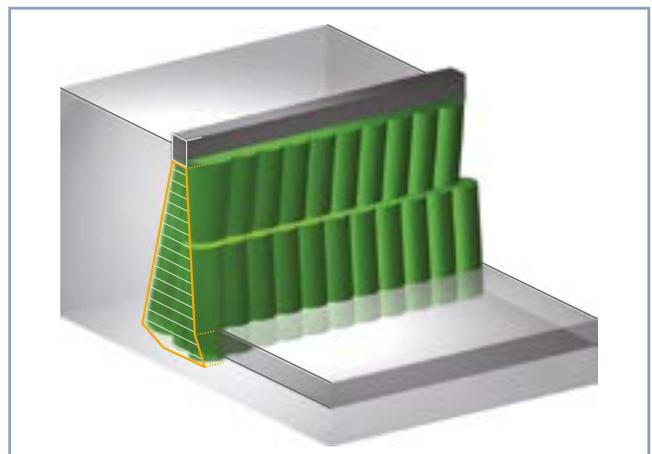


Die geometrischen Grundformen von Soilcrete® werden durch Bewegungen des Bohrgestänges erzeugt:

- Ziehen mit Rotation des Gestänges ergibt Säulen.
- Ziehen und Schwenken des Gestänges ergibt Teilsäulen.
- Ziehen des Gestänges ohne Rotation ergibt Lamellen - bei Anordnung mehrerer Düsen auch Mehrfachlamellen.



Lamellenwand mit Dichtsohle



Unterfangungskörper

# Technologische Lösungen auf Spitzenniveau



## Soilcrete® – Verfahrensbeschreibung

Unter dem Düsenstrahlverfahren „Soilcrete®“ wird eine Bodenvermörtelung verstanden. Mit Hilfe eines energiereichen Schneidestrahles mit hohen Austrittsgeschwindigkeiten aus Wasser oder Zementsuspension wird der im Bereich des Bohrloches anstehende Boden aufgeschnitten bzw. erodiert. In Abhängigkeit von den Bodenbedingungen und Projektspezifikationen wird das Soilcrete® in drei unterschiedlichen Verfahren hergestellt: Single-Direktverfahren mit einem oder mehreren Zementsuspensionsstrahlen; Double-Direktverfahren mit einem oder mehreren luftummantelten Zementsuspensionsstrahlen; Triple-Verfahren mit einem oder mehreren luftummantelten Wasserstrahlen in Kombination mit Zementsuspensionsstrahlen.

Der erodierte Boden wird umgelagert und mit der Zementsuspension (und - beim Dreifach-Verfahren - mit Wasser) vermischt. Überschüssiges Boden-Zement-Wasser-Gemisch wird durch den Bohrlochringraum zum Bohrlochmund gespült. Der Bodenerosions- und Bodenaustauschprozess wird durch Datenerfassungssysteme permanent elektronisch kontrolliert und in Echtzeit

überwacht. Soilcrete®-Körper können durch die Bewegung des Bohrgestänges in verschiedenen geometrischen Formen und Kombinationsmöglichkeiten hergestellt werden.

## Soilcrete® – Eigenschaften

Die Soilcrete®-Festigkeit wird von der Art und Menge des Zementanteils, sowie den verbleibenden Bodenanteilen in der Soilcrete®-Masse bestimmt. Die Abdichtungswirkung von Soilcrete® gegen Wasserzutritt wird durch die Beseitigung des Porenvolumens im Boden während des Austauschs durch die Suspension erreicht. Die im Behandlungsprozess erreichte Homogenität bestimmt den Grad der Durchlässigkeitsreduktion.

Soilcrete®-Abdichtungen setzen den Durchlässigkeitskoeffizienten  $k_f$  je nach Art des Bodens, des eingepressten Materials und der erzielten Homogenität, bis zu mehreren Zehnerpotenzen herab. Eine hohe Qualität der Abdichtung kann durch eine strenge Qualitätskontrolle und der Auswahl geeigneter Materialien und Arbeitsparameter sichergestellt werden. In zahlreichen Anwendungsfällen werden die Festigkeits- und Abdichtungseigenschaften der Soilcrete®-Körper gleichzeitig genutzt.

# Technische Highlights

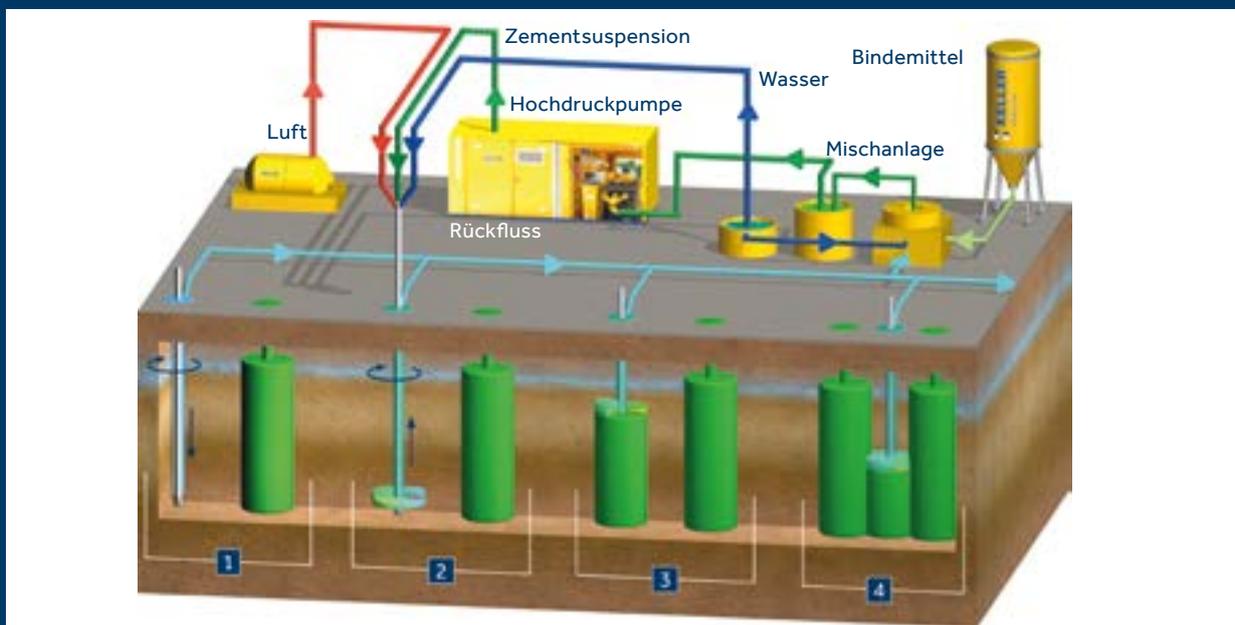
- Zementsuspension oder Wasser im Hochgeschwindigkeits-Schneidstrahl mit Austrittsgeschwindigkeiten von über 200 m/s
- Düsenstrahlen mit einer Erosionsweite von mehreren Metern
- Geeignet für Böden aus organischem Torf und Ton bis hin zu grobem Kies
- Charakteristische einaxiale Druckfestigkeit von bis zu 20 N/mm<sup>2</sup>
- Bohrtiefen von über 50 m sind möglich
- Variable Geometrie der Soilcrete®-Körper
- Ausführung nach EU-Norm EN 12716

## Soilcrete® – Arbeitsablauf

Die Soilcrete®-Baustelleneinrichtung besteht aus Silos für Zement oder Bindemittel und sonstigen Zuschlagstoffen, Mischanlagen, Vorratsbehältern und Hochdruckpumpen. Von dort läuft ein Bündel von zertifizierten Schlauch- und Steuerleitungen zum Bohrgerät am Bohrpunkt.

Seine Aufrüsthöhe des Masts reicht von

2,0 m in Kellerräumen oder Arbeitsschächten und bis zu 35,0 m im Freien. Die Bohrpunkte befinden sich im Regelfall in schmalen, mit Pumpen ausgerüsteten Produktionsgräben. Von dort fördert die Pumpe überschüssiges und später erhärtendes Wasser-Boden-Zementgemisch (Rücklauf) zu Absetzbehältern und / oder -becken. Bei Bedarf kommen weitere Geräte und Anlagen zur Konditionierung und Volumenreduzierung zum Einsatz.



### Bohren

Ein Bohrgestänge wird mit dem Düsenhalter (Monitor) und der Bohrkrone auf die gewünschte Tiefe abgeteuft.

### Schneiden

Das Auflösen des Korngefüges mit einem hochenergiereichen Flüssigkeitsstrahl beginnt an der tiefsten Stelle des Soilcrete®-Elementes. Überschüssiges Wasser-Boden-Zementgemisch fließt über den Bohrlochringraum zutage. Die vorher festgelegten Produktionsparameter werden mittels Datenerfassungssystemen konstant überwacht.

### Soilcretieren

Gleichzeitig mit dem Erodieren des Bodens wird bei allen Verfahrensarten Zementsuspension unter Druck über den Düsenhalter zugeführt. Verfahrensbedingte Turbulenzen führen zur erwünschten gleichmäßigen Durchmischung der Bestandteile, die letztlich den Soilcrete®-Körper bilden.

### Erweitern

Soilcrete®-Körper lassen sich in verschiedenen Formen sowohl „frisch in frisch“ als auch „frisch gegen fest“ beliebig miteinander kombinieren oder verbinden.

# Soilcrete®

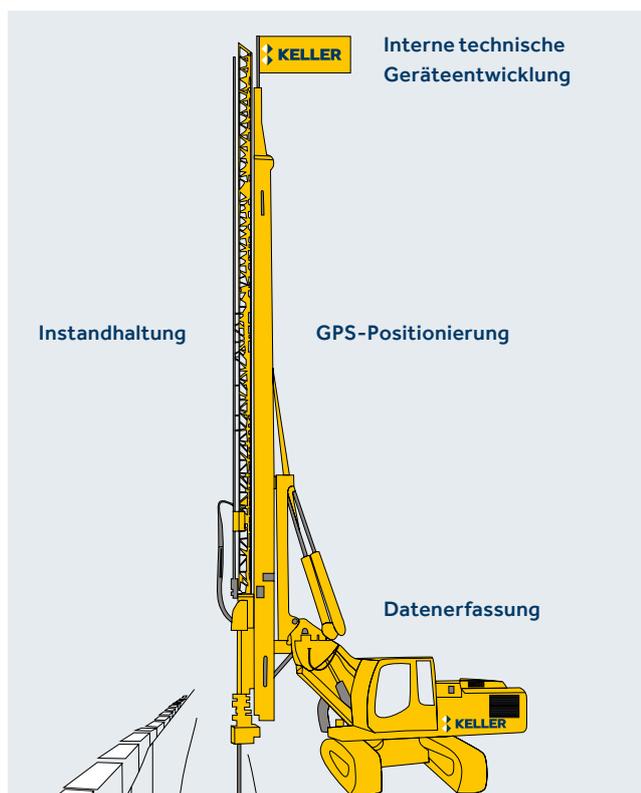
## Qualitätskontrolle

**Wirtschaftlichkeit, Verlässlichkeit und Qualität durch Prozessautomatisierung und -steuerung.**

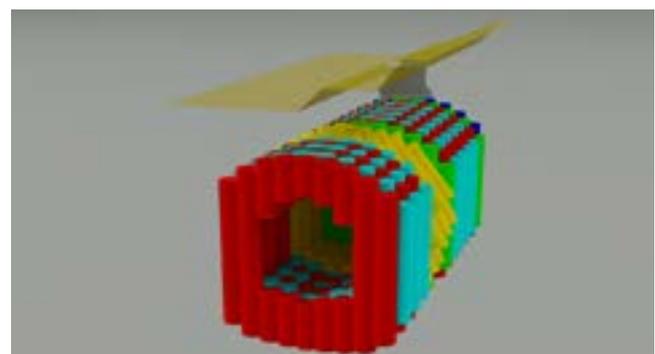
Kosten- und Zeiteffizienz bei gleichzeitig höchster Qualität sind unser Markenzeichen. Zumal wir oftmals den Grundstein für ein Projekt legen, nehmen wir unsere Verantwortung sehr ernst und setzen alles daran, die Erwartungen und Anforderungen unserer Kunden zu erfüllen.

Unser Qualitätsprozessmanagement (QPM) bringt unsere Technik-, Support- und Serviceabteilung in direkten Kontakt mit unseren Mitarbeitern und den Gerätschaften vor Ort. Bei laufendem Bohrbetrieb zeichnen Sensoren die wichtigsten Produktionsparameter wie Tiefe, Druck, Durchfluss, Zieh- und Rotationsgeschwindigkeit und sonstige relevante Daten elektronisch in Echtzeit auf, um die geforderte

Prozessqualität zu gewährleisten. Diese Daten werden anschliessend an die entsprechenden Abteilungen übermittelt. Unsere Ingenieur- und Supportteams kontrollieren diese und nutzen sie als Grundlage zur Entscheidung über konstruktive Anpassungen oder notwendige Wartungsmassnahmen. Durch dieses hohe Mass an Prozessautomatisierung und Kontrolle sind wir in der Lage, Gerätestillstände in Grenzen zu halten, auf unvorhergesehene Bodenbedingungen flexibel zu reagieren und unsere Arbeit hinsichtlich Leistung und Effizienz zu optimieren. Der Nutzen für unsere Kunden: Qualität, Sicherheit und - im Endergebnis - eine sichere Leistung.



M5-Datenerfassung



Visualisierung

## Technik

Wir verfügen über eine eigene Maschinenbauabteilung, die modernste Düsenstrahlgeräte und -werkzeuge bereitstellt. Das erlaubt uns, Bohrgeräte für unterschiedlichste Anforderungen herzustellen, welche zwischen drei und über vierzig Tonnen wiegen können. Jedes Bohrgerät ist mit einem M5-Datenerfassungssystem ausgerüstet. Je nach Bedarf können GPS-Systeme, Manipulatoren für das Gestänge, Mastverlängerungen und spezielle Bohr- und Düsengeräte nachgerüstet werden. Ein Team von Elektrik- und Mechanikexperten kümmert sich um die Fernwartung und die lokale Instandhaltung.

## M5-Datenerfassung

Durch die überarbeitete Norm EN 12716 von 2018 wird die digitale und kontinuierliche Echtzeit-Datenerfassung nun verpflichtend. Seit vielen Jahren nutzen wir mit dem M5 unser eigenes Datenerfassungssystem für alle Keller-Produkte, darunter natürlich auch Soilcrete®. Dabei werden alle wichtigen Ausführungsparameter wie Ziehgeschwindigkeit und Drehzahl des Bohrstrangs, Druck und Durchflussmenge der Medien und Luft, aber auch Drehmoment, Anpressdruck usw. aufgezeichnet. Der M5 Datenlogger ist unser Hauptinstrument zur Kontrolle der Ausführungsparameter jedes einzelnen Elementes.



Durchmesserkontrolle



Probegewinnung und -prüfung

## Visualisierung

Soilcrete® Projekte werden immer komplexer. Um unsere hohen Qualitätsansprüche wahren zu können, sind daher neue Methoden zur Visualisierung der erstellten Elemente gefragt. Hier leistet Keller mit der Entwicklung einer präzisen, hochauflösenden 3D-Darstellung der Soilcrete®-Körper Pionierarbeit. Ermöglicht wird das durch die präzise GPS-Positionierung der Bohransatzpunkte und die Bohrlochverlaufsmessungen.

## Durchmesserkontrolle

Um die Projektanforderungen erfüllen zu können, ist neben Materialfestigkeit und Dichtwirkung auch die Bestimmung des Säulendurchmessers über alle Bodenschichten hinweg von ausschlaggebender Bedeutung. Unser patentierter Acoustic Column Inspector® (ACI®) wurde dazu entwickelt, in grossen Tiefen während des Düsenvorgangs den erreichten Durchmesser zu bestimmen und die Ausführungsparameter zu optimieren. Neben der Online-Optimierung der Herstellungsparameter besteht bei diesem System, einzigartig in der Qualitätskontrolle beim DSV, auch die Möglichkeit den Kontakt zwischen Düsenstrahlkörpern (Vollsäulen, Halbsäulen, Lamellen) und beispielsweise Bohrpfehlen oder Spundwänden nachzuweisen.

## Probegewinnung und -prüfung

Meist ist im Rahmen der projektspezifischen Anforderungen eine gewisse charakteristische Festigkeit gefordert, nicht selten in Kombination mit einer Verminderung der Durchlässigkeit. Zur Probengewinnung für die Verifizierung der Säuleneigenschaften stehen diverse Verfahren zur Verfügung, z.B. Kernbohrungen und Frischproben mit Greifern oder Linern wie auch aus dem Rücklauf. Die Proben werden in zertifizierten Laboren auf Festigkeit und ggf. Durchlässigkeit getestet.

**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](http://www.keller-mts.ch)

Ihr Grundbauspezialist