



Mercedes-Benz Arena

## Soilcrete® (Düsenstrahlverfahren)

Wirkungsvolles und vielseitiges Verfahren  
zur Bodenverfestigung

Geotechnische Lösungen für die Bauindustrie



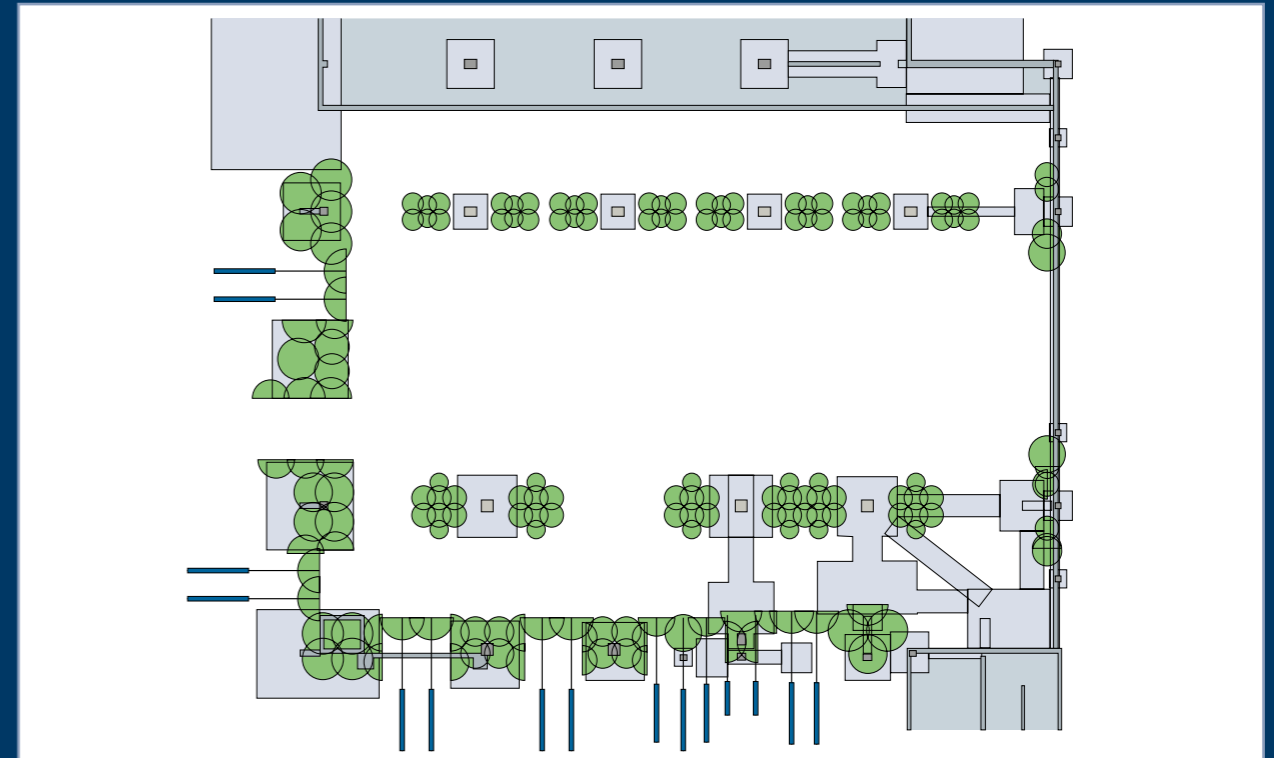
# Soilcrete® – Geschichte

Mit dem Erwerb einer Lizenz für das Düsenstrahlverfahren im Jahr 1979 und dessen Einführung auf dem deutschen Markt unter dem Handelsnamen „Soilcrete®“ drang Keller in neue Bereiche der Baugrundverfestigung vor.

## Soilcrete® – Arbeitsablauf

Kleinere Unterfangungsarbeiten standen am Beginn einer ungewöhnlichen Technik der Baugrundverfestigung. Um den heutigen Stand der Technik zu erreichen, war eine beständige Weiterentwicklung nötig.

- Das Soilcrete®-Verfahren wurde an die Erfordernisse unterschiedlicher Bodentypen angepasst.
- Der Einsatzbereich um Lösungen für verschiedenste Probleme erweitert.
- Die dafür notwendige Technik wurde entwickelt und verbessert.



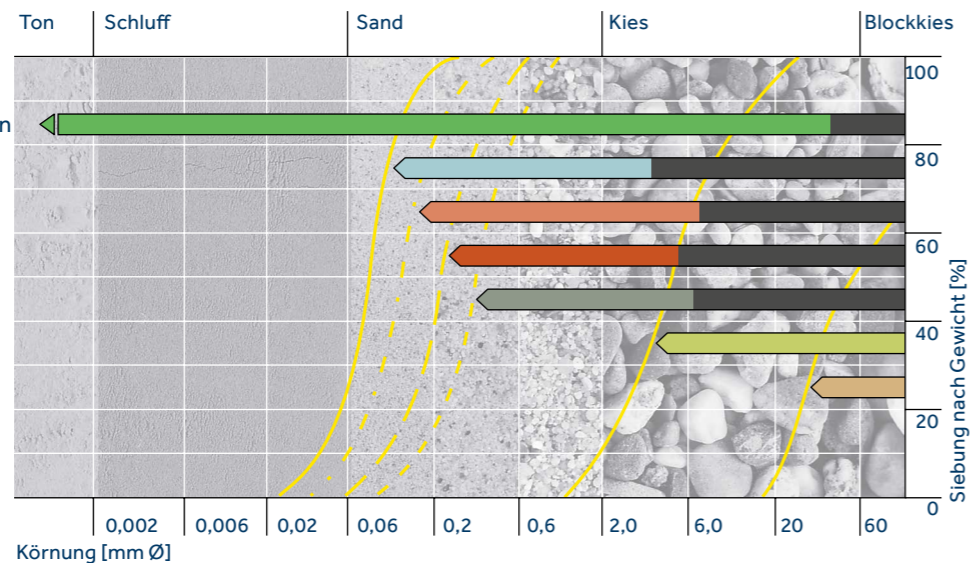
Sanierung, Modifizierung und Erweiterung einer bestehenden Gründung

# Die vielseitigste geotechnische Lösung

Soilcrete® (Düsenstrahlverfahren) zählt zu den wirtschaftlichsten und vielseitigsten Techniken zur Baugrundverfestigung, um lastabtragende Elemente und geotechnische Abdichtungen herzustellen. Als Pionier in dieser Branche brachte Keller die Technologie im Jahr 1979 auf den deutschen Markt – heute kommt sie überall auf der Welt zum Einsatz. Kontinuierliche Forschungs- und Innovationsarbeit haben uns im Zusammenspiel mit Investitionen in unsere Technik zu Markt- und Technologieführern gemacht. Heute bieten wir Lösungen für nahezu alle Anwendungen bei verschiedensten Bodenverhältnissen – von losen Sedimenten bis hin zu steifen Tonen.

Sachkundige Mitarbeiter, modernste Technik, strenge Qualitätskontrolle und außerordentliche planerische Erfahrung sind unser Garant für erstklassige Leistungen auch unter anspruchsvollsten Bedingungen. Mit Soilcrete® verfügen wir über eine innovative Technik für den Tunnelbau, Gründungen für neue und alte Bauten sowie die Restauration historischer Gebäude. Aber auch undurchlässige Unterfangungen für Wände und Dichtsohlen gegen Grundwasser bei Baugruben sind damit möglich.

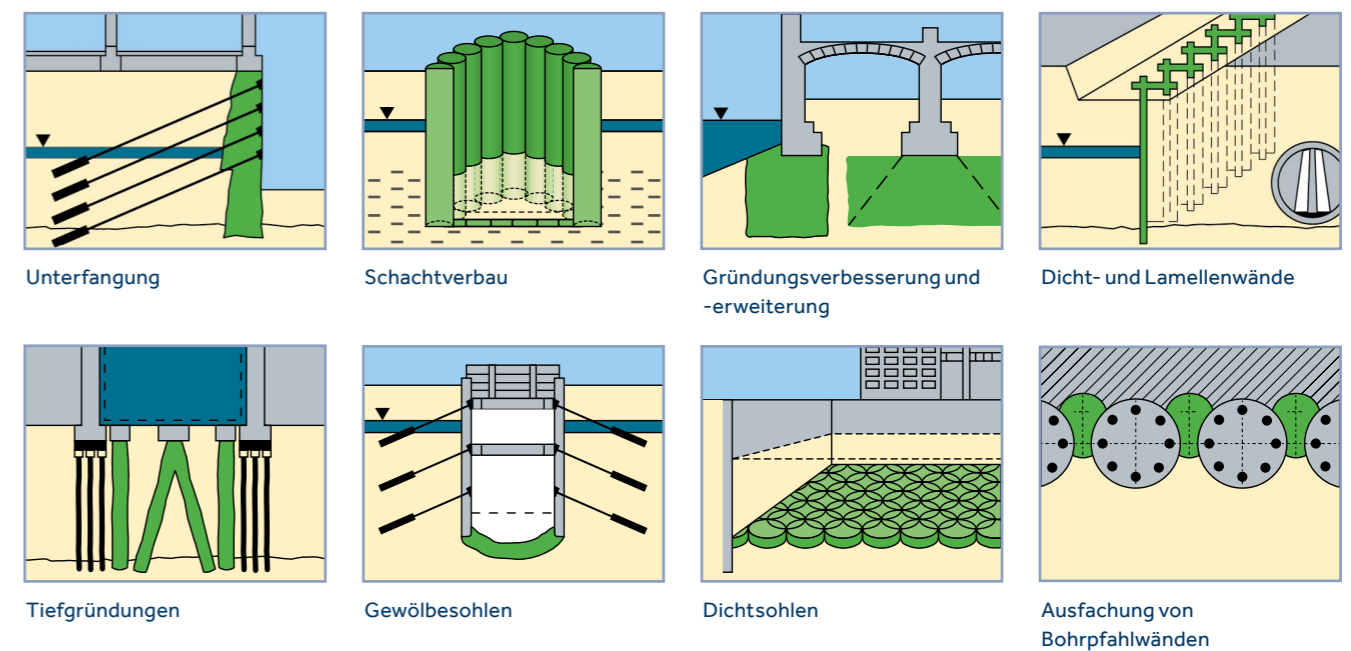
## Praktische Grenzen des Düsenstrahlverfahrens



## Anwendungen

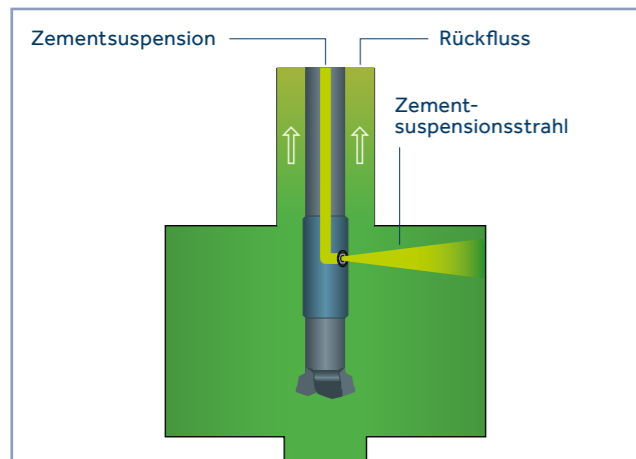
Soilcrete® ist die Methode der Wahl für verschiedenste Anwendungen.

Stabilisierung	Abdichtung
Unterfangung	Dicht- und Lamellenwände
Start- und Zielblöcke im Tunnelbau	Dichtsohlen
Verfestigung von Tunneldecken und -sohlen	Gewölbesohlen
Gründungsverbesserung und -erweiterung	Dichtschirme
Gründungsänderungen	Dammabdichtungen
Baugrubensicherungen einschl. Schächte	Ausfachung von aufgelösten Bohrpfehlwänden
Tiefgründungen	Fugenabdichtungen



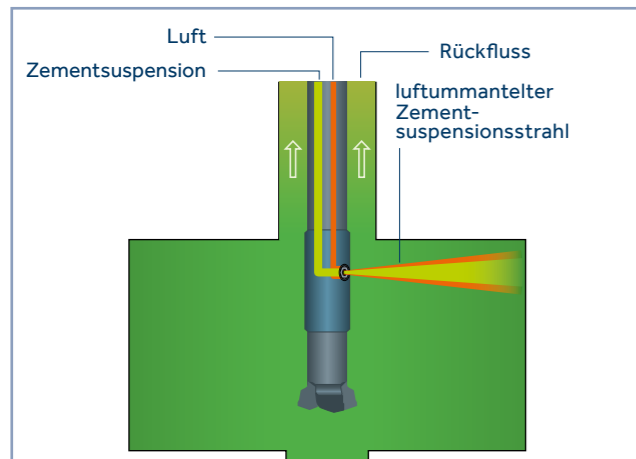
# Varianten des Soilcrete®-Verfahrens

Das Soilcrete®-Verfahren wird in drei Varianten ausgeführt. Die Methode richtet sich dabei jeweils nach den vorliegenden Baugrundeigenschaften, der geometrischen Form und der erforderlichen Qualität der Soilcrete®-Körper.



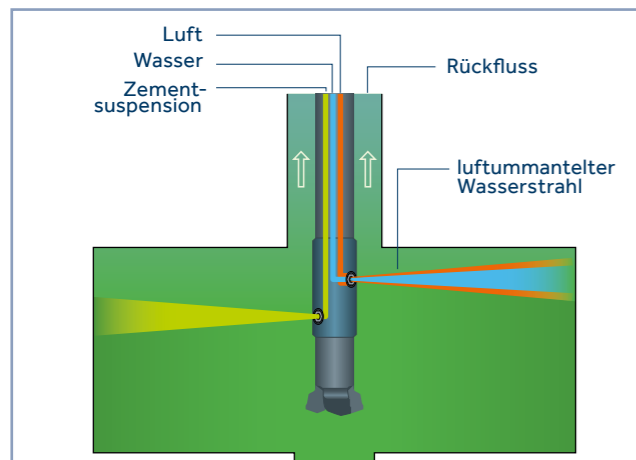
## Soilcrete®-S

Das (Single-Direktverfahren) benutzt einen Suspensionsstrahl von bis zu 200 m/s Austrittsgeschwindigkeit zum gleichzeitigen Schneiden und Bodenmischen ohne Luftummantelung. Das S-Verfahren eignet sich für kleine bis mittlere Säulendurchmesser.



## Soilcrete®-D

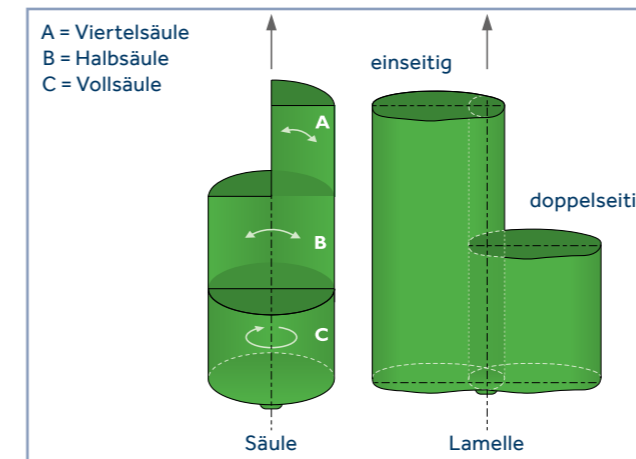
Das (Double-Direktverfahren) benutzt einen Suspensionsstrahl von mindestens 100 m/s Austrittsgeschwindigkeit zum gleichzeitigen Schneiden und Bodenmischen. Zur Erhöhung der Erosionsleistung und damit der Reichweite wird der Strahl über eine Ringdüse zusätzlich mit Druckluft ummantelt. Das D-Verfahren eignet sich für mittelgroße bis sehr große Soilcrete®-Säulen.



## Soilcrete®-T

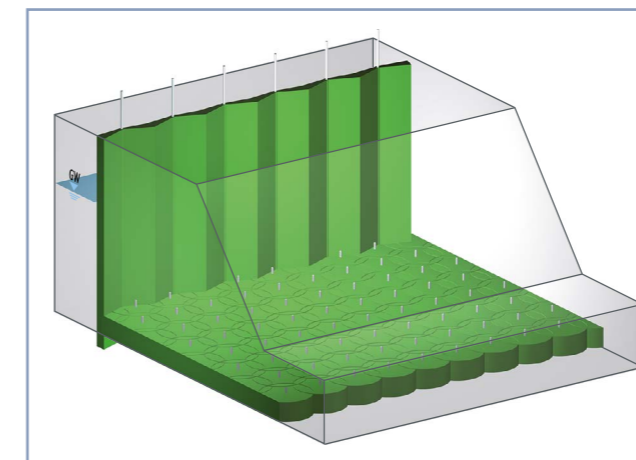
Beim dreifachen Schneidverfahren wird der Boden durch einen Wasserstrahl mit Luftmantel erodiert. Der Strahl erreicht dabei Austrittsgeschwindigkeiten von bis zu 200 m/s. Gleichzeitig wird Zementsuspension über eine zusätzliche Düse eingepresst, die unterhalb der Wasserstrahldüse angeordnet ist. Der Pumpendruck erreicht hier über 15 bar. Bei einer Variante dieses Verfahrens entfällt der Luftmantel. Das T-Verfahren kommt überwiegend bei bindigen Böden zur Anwendung.

# Soilcrete® Ausführungsformen

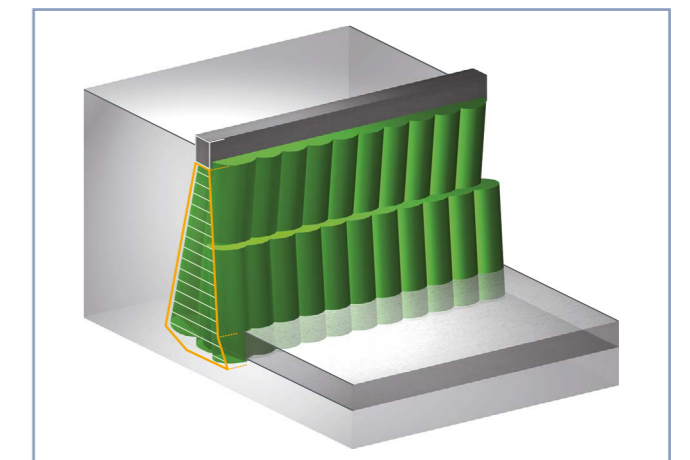


Die geometrischen Grundformen der Soilcrete®-Körper entstehen durch die Bewegung des Bohrgestänges:

- 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

## Exzellenz ist Trumpf



### Soilcrete® – Beschreibung des Verfahrens

Soilcrete® (Düsenstrahlverfahren) ist eine Technik zur Bodenverfestigung und -verbesserung. Der das Bohrloch umgebende Boden wird durch Zementsuspension oder Wasser im Hochdruckverfahren aufgeschnitten bzw. erodiert. Das Soilcrete®-Verfahren kennt drei Varianten, die in Abhängigkeit von den Baugrundeigenschaften und Projektanforderungen zur Anwendung kommen: einfaches Direktverfahren mit einer oder mehreren Düsen; doppeltes Direktverfahren mit einer oder mehreren luftummantelten Düsen; dreifaches Verfahren mit einer oder mehreren luftummantelten Wasserdüsen in Kombination mit Zementsuspensionen.

Der erodierte Boden wird umgelagert und mit der Zementsuspension (und - beim Dreifach-Verfahren - mit Wasser) vermischt. Die überschüssige Mischung wird durch den Bohrlochringraum zum Bohrlochmund gespült. Der Herstellprozess wird durch Prozessdatenerfassung permanent elektronisch kontrolliert und in Echtzeit überwacht. Soilcrete®-Körper können durch die Bewegung des Bohrgestänges in verschiedenen geometrischen Formen erstellt werden, wobei zahlreiche Kombinations- und Erweiterungsmöglichkeiten bestehen.

### Soilcrete® – Eigenschaften

Die einaxiale Druckfestigkeit von Soilcrete® hängt vom Zementgehalt, dem verbleibenden Bodenanteil in der Soilcrete®-Masse und von deren Eigenschaften ab. Die Dichtwirkung von Soilcrete® gegenüber eindringendem Wasser beruht auf der Ausfüllung des Porenvolumens im Boden während des Düsvorgangs. Wie weit die Durchlässigkeit reduziert wird, richtet sich nach der Homogenität, die durch die Behandlung erreicht wird.

Je nach Art des Bodens, des Suspensionsmaterials und der erzielten Homogenität sind Soilcrete®-Dichtwände in der Lage, den Durchlässigkeitskoeffizienten um mehrere Zehnerpotenzen herabzusetzen. Eine hohe Qualität der Abdichtung kann durch eine strenge Qualitätskontrolle und Auswahl geeigneter Materialien und Arbeitsparameter sichergestellt werden. Bei vielen Anwendungen kommen Soilcrete®-Körper gleichzeitig als Trag- und Dichtelemente zum Einsatz.

# Technik-Highlights

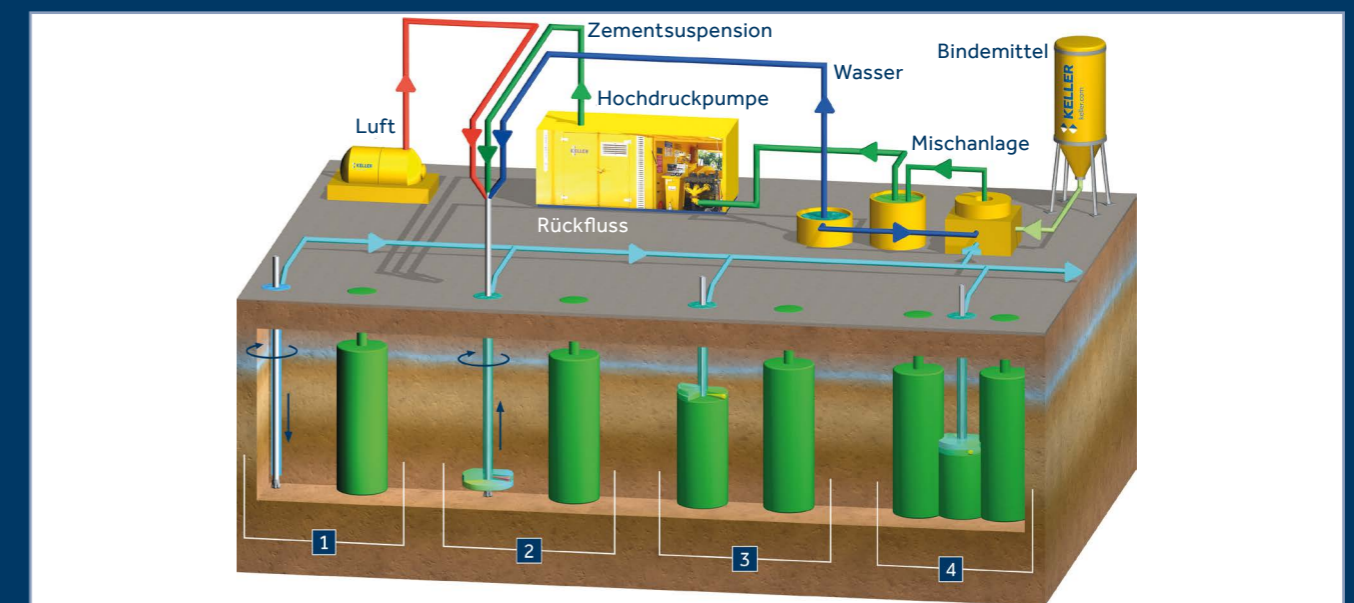
- Zementsuspension oder Wasser im Hochgeschwindigkeits-Schneidstrahl mit Austrittsgeschwindigkeiten von über 200 m/s
- Düsenstrahlen mit einer Erosionsweite von mehreren Metern
- Geeignet für Baugrund aus Torf und Ton bis hin zu grobem Kies
- Charakteristische einaxiale Druckfestigkeit von bis zu 20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

### Soilcrete® – Arbeitsablauf

Die Soilcrete®-Anlagen bestehen aus Silos für Bindemittel, Mischanlagen, Vorratsbehälter und Hochdruckpumpen. Zertifizierte Hochdruckschläuche verbinden das Bohrgerät am Bohrloch mit der Pumpe.

Die Mastlänge des Geräts reicht von weniger als 2 m bei eingeschränkten Bauhöhen bis hin zu 35 m in offenen Bereichen. Die Bohrlöcher befinden sich

normalerweise in kleinen Gräben, von wo das verdrängte Gemisch durch Schlammumpen abtransportiert wird. Von dort aus befördert die Pumpe überschüssiges Gemisch zu Absetzbehältern oder -becken. Bei Bedarf kommen weitere Geräte und Anlagen zur Wiederaufbereitung und Volumenreduzierung zum Einsatz.



#### Bohren

Mit monitorbestückten Bohrgestängen und Bohrköpfen wird auf die gewünschte Tiefe gebohrt.

#### Strahl

Die Erosion des Bodens mit den Mörtel-/Wasserschneidstrahlen beginnt am unteren Ende des Bohrlochs. Überschüssiges Wasser-Boden-Zement-Gemisch wird zur Oberfläche transportiert. Datenerfassungssysteme gewährleisten eine konstante Überwachung aller wichtigen Parameter.

#### Soilcretieren

Parallel zur Bodenerosion wird Zementsuspension entweder in Form des Schneidstrahls selbst oder durch entsprechende Öffnungen im Monitor- oder Bohrkopf eingepresst. Verfahrensbedingte Turbulenzen führen zur erwünschten gleichmäßigen Durchmischung der Bestandteile, die letztlich den Soilcrete®-Körper bilden.

#### Erweiterung

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

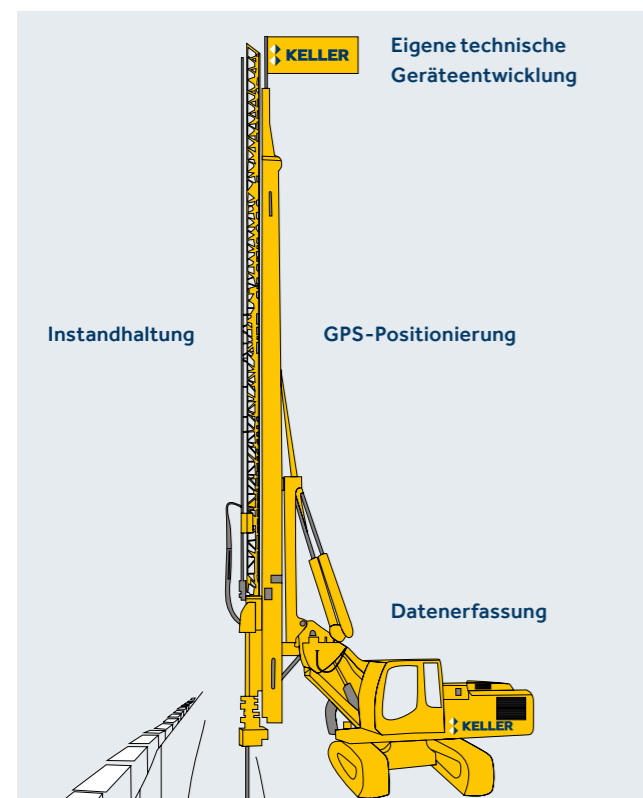
# Soilcrete® Qualitätskontrolle

## Wirtschaftlichkeit, Verlässlichkeit und Qualität durch Prozessautomatisierung und -steuerung

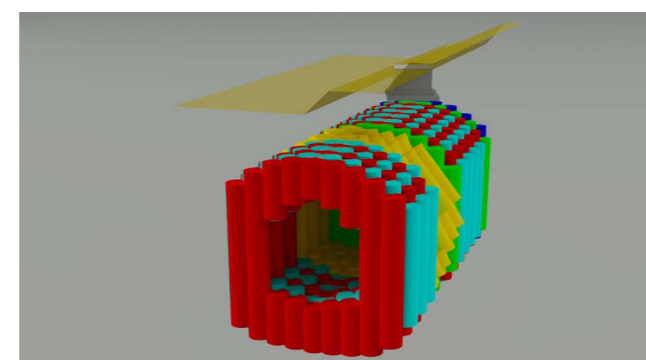
Kosten- und Zeiteffizienz bei gleichzeitig höchster Qualität sind unser Markenzeichen. Wir wissen, dass unsere Kunden ihren Auftraggebern und Projektbeteiligten verpflichtet sind. Wenn wir den Grundstein für ein Projekt legen, nehmen wir unsere Verantwortung sehr ernst. Und wir setzen alles daran, die Erwartungen und Anforderungen unserer Kunden zu erfüllen.

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

Prozessqualität zu gewährleisten. Diese Daten werden dann an die entsprechenden Abteilungen übermittelt. Unsere Ingenieur- und Supportteams kontrollieren diese Daten 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, Geräteausfallzeiten in Grenzen zu halten, auf unvorhergesehene Bodenbedingungen flexibel zu reagieren und unsere Arbeit hinsichtlich Fortschreiten und Effizienz zu optimieren. Der Nutzen für unsere Kunden: Qualität, Sicherheit und – im Endergebnis – eine sichere Performance.



M5-Datenerfassung



Visualisierung

## M5-Datenerfassung

Durch die überarbeitete Norm EN 12716 von 2018 wird die digitale und ununterbrochene 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 Umdrehung des Bohrstrangs, Druck und Durchflussmengen der Medien und Luft, aber auch Drehmoment, Andruck usw. aufgezeichnet. Das M5 ist unser Hauptinstrument zur Verifizierung der Ausführungsparameter jedes einzelnen Elements.



Durchmesserkontrolle



Probengewinnung 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. Dabei trifft die hochgenaue GPS-Positionierung der Bohrpunkte auf eine präzise Neigungsmessung der Bohrlöcher.

## Technik

Wir verfügen über eine eigene Maschinenbauabteilung, die modernste Düsenstrahlgeräte und -werkzeuge bereitstellt. Sie erlaubt uns, Bohranlagen für unterschiedlichste Anforderungen zu erstellen. Die verfügbaren Anlagen wiegen zwischen drei und über vierzig Tonnen. Jede Anlage ist mit einem M5-Datenerfassungssystem ausgerüstet. Je nach Bedarf können GPS-Systeme, Manipulatoren für das Gestänge, Mastverlängerungen und spezielle Bohr- und Düsenwerkzeuge nachgerüstet werden. Ein Team von Elektrik- und Mechanikexperten kümmert sich um die Fernwartung und lokale Instandhaltung.

## Durchmesserkontrolle

Neben Materialfestigkeit und Dichtwirkung ist auch die Bestimmung des Körperdurchmessers über alle Bodenschichten hinweg von ausschlaggebender Bedeutung zur Erfüllung der Projektanforderungen. Unser patentierter Acoustic Column Inspector – ACI® wurde dazu entwickelt, in großen Tiefen und bei laufendem Düsenstrahlbetrieb Durchmesser zu ermitteln und die Ausführungsparameter zu optimieren. Er kann aber auch die Verbindung zwischen den Düsenstrahlelementen und vorhandenen Strukturen wie Spundwänden, Schlitzwänden und anderen Sicherungswänden nachweisen.

## Probengewinnung 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 aus Entnahmegerten, Linerproben und Rücklauf. Die Proben werden in zertifizierten Laboren auf Festigkeit und ggf. Durchlässigkeit getestet.

**KELLER GRUNDBAU GMBH**

info@kellergrundbau.de • 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)