FMI

FRÄS-MISCH-INJEKTIONSVERFAHREN



www.eberhardt-bau.de

BODENVERFESTIGUNG

Eberhardt
Bauunternehmen

01

EINFÜHRUNG

02

Funktionsweise des FMI-Verfahrens

Bodenlösung durch Fräsen

Bindemittelzugabe und In-situ-Vermischung

Homogenisierung und Verfestigung

03

Anwendungsbereiche des FMI-Verfahrens

Hochwasserschutz

Verkehrswegebau

Baugrundsicherung und Schadstoffimmobilisierung

Fundamentierung

04

Technische Details und Darstellung

05

Qualitätssicherung und Dokumentation

FMI: FRÄS-MISCH-INJEKTIONSVERFAHREN

01. EINFÜHRUNG

Das Fräs-Misch-Injektionsverfahren (FMI) ist ein tiefreichendes In-situ-Mischverfahren zur Bodenverbesserung, Bodenverfestigung und Baugrundabdichtung. Es ist der tiefreichenden Bodenstabilisierung zuzuordnen und als Nassmischverfahren einzuordnen, da das Bindemittel als Suspension eingebracht wird. Charakteristisch ist die nicht verdrängende Wirkungsweise, bei der der anstehende Boden unmittelbar als Zuschlagstoff des entstehenden Boden-Bindemittel-Körpers genutzt wird.
Das Verfahren wird insbesondere zur Herstellung vertikaler, wandartiger Dicht- und Stabilisierungselemente eingesetzt. Durch die simultane Bodenlösung, Bindemittelzugabe und Durchmischung entstehen homogene und weitgehend fugenarme Boden-Bindemittel-Körper für Dichtwände, Baugrundverbesserungen und Stabilisierungsmaßnahmen im Spezialtiefbau.









02. FUNKTIONSWEISE DES FMI-VERFAHRENS

Bodenlösung durch Fräsen

Eine auf Raupenfahrwerk montierte Bodenfräse mit Fräsbaum und umlaufender Fräskette löst und zerkleinert den Boden mechanisch, ohne ihn vollständig auszutragen. Der Fräsvorgang erfolgt in der Regel entlang eines Voraushubs zur Führung des Prozesses und zur Aufnahme des Rücklaufmaterials.

Bindemittelzugabe und In-situ-Vermischung

Parallel zum Fräsvorgang wird die Bindemittelsuspension über Düsen am Frässchwert in den gelösten Boden eingebracht. Als Bindemittel wird überwiegend Zement verwendet, gegebenenfalls ergänzt durch weitere Zuschläge. Zusammensetzung und Menge werden projektspezifisch festgelegt.

Homogenisierung und Verfestigung

Durch die Durchmischung des gelösten Bodens mit der Suspension entsteht ein homogener und fugenarmer Wand- oder Streifenkörper. Nach dem Fräsvorgang härtet das Gemisch zu einem verfestigten Erdbetonkörper aus. Bereits erhärtete Bereiche können im Fest-in-Fest-Verfahren mit Überschnitt angefräst werden, um dichte Anschlüsse sicherzustellen.







03. ANWENDUNGSBEREICHE DES FMI-VERFAHRENS

Das FMI-Verfahren eignet sich grundsätzlich für ein breites Spektrum unterschiedlicher Baugrundverhältnisse. Technische und wirtschaftliche Grenzen bestehen insbesondere bei stark plastischen Böden sowie bei ausgeprägten Grobanteilen.

Hochwasserschutz

Herstellung durchgehender Dichtwände zur Begrenzung von Grund- und Sickerwasserströmungen in Dämmen, Deichen und anderen wasserbaulichen Bauwerken. Das Verfahren eignet sich für Neuabdichtungen sowie für die Sanierung bestehender Erdbauwerke.

Verkehrswegebau

Baugrundverbesserung und Stabilisierung von Dämmen, Gleisanlagen sowie verfestigten Wand- und Streifenelementen bei Anforderungen an hohe Tragfähigkeit, geringe Verformungen und reduzierte Wasserdurchlässigkeit. Der Einsatz im Gleisbereich erfolgt auf Grundlage der jeweils erforderlichen eisenbahnrechtlichen Zulassung beziehungsweise einer Zustimmung im Einzelfall durch das Eisenbahn-Bundesamt.

Baugrundsicherung und Schadstoffimmobilisierung

Herstellung von Dicht- und Abschirmelementen auf belasteten Standorten zur Begrenzung der Schadstoffausbreitung sowie zur Stabilisierung von Baugruben und Reduzierung unkontrollierter Wasserzutritte.

Fundamentierung

Herstellung verfestigter Streifen- oder Blockbereiche zur Verbesserung der Gründungsverhältnisse, Reduzierung von Setzungen und Erhöhung der Tragfähigkeit. Je nach Bauaufgabe kann das Verfahren Tiefgründungen ergänzen oder lokale Bodenverbesserungen wirtschaftlich ersetzen.

Vorteile des FMI-Verfahrens

Das FMI-Verfahren bietet gegenüber säulenförmig oder abschnittsweise arbeitenden Bodenmischverfahren folgende technische, wirtschaftliche und ökologische Vorteile.

- **Hohe Löse- und Schneidleistung:** Die umlaufende Fräskette schließt dicht gelagerte oder verfestigte Bodenschichten über die gesamte Schwertlänge kontinuierlich auf. Gegenüber paneel- oder säulenweise arbeitenden Bodenmischverfahren entsteht dadurch ein sofortiger gleichmäßiger Bodenaufschluss.
- **Intensive vertikale Durchmischung:** Die gelösten Bodenschichten werden über die gesamte Schwertlänge homogen mit der Bindemittelsuspension vermischt.
- **Hohe Dichtwirkung:** Die gleichmäßige Materialverteilung und definierte Überschnitte reduzieren hydraulische Schwachstellen im fertigen Dichtwandkörper.
- **Hohe Ausführungsleistung:** Der kontinuierliche Fräs- und Mischprozess ermöglicht einen hohen Baufortschritt und die wirtschaftliche Herstellung langer Wandabschnitte.
- **Ressourcen- und CO_2-Einsparung:** Der anstehende Boden wird unmittelbar in situ verbessert und verbleibt weitgehend im Baugrund. Dadurch werden Aushub, Abtransport und Entsorgung reduziert.
- **Erschütterungsarme Herstellung:** Das Fräsverfahren ermöglicht Arbeiten in sensiblen Bereichen und in unmittelbarer Nähe bestehender Bauwerke und bietet damit Vorteile bei Umbau- und Modernisierungsmaßnahmen.

www.eberhardt-bau.de

04. Technische Details und Darstellung

GERÄTETECHNIK DES FMI-VERFAHRENS

Zentrales Arbeitsgerät ist der Tiefenstabilisierer TC565-2 mit kettengeführtem Frässchwert. Für die dargestellten Anwendungen wird ein 15 m langes Frässchwert verwendet. In Arbeitsstellung erreicht die Anlage eine Gesamtlänge von rund 28,05 m bei einer Breite von etwa 3,30 m.

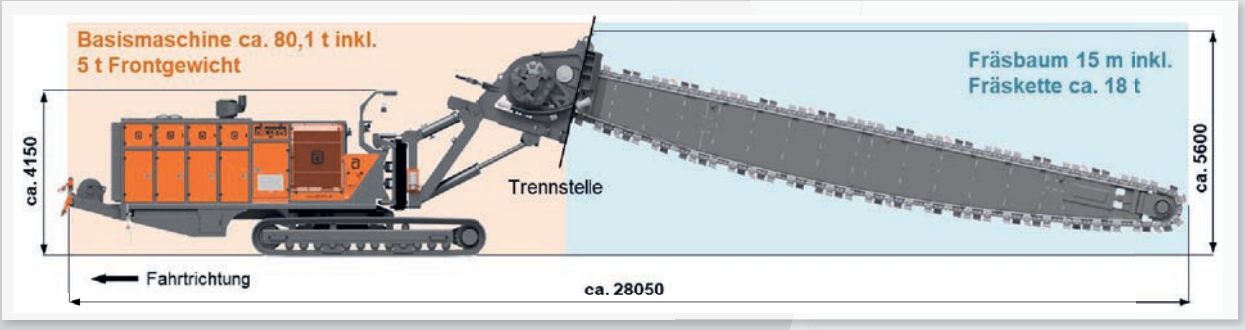


Abb. 1: Arbeitskonfiguration des Tiefenstabilisierers TC565-2 mit 15 m Frässchwert.

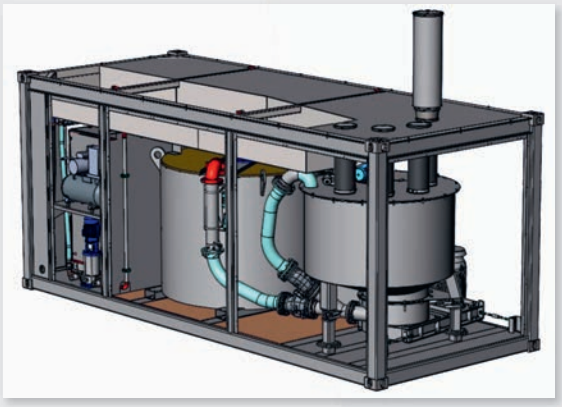
Die Basismaschine weist eine Länge von rund 14,6 m auf. Das Gesamtgewicht der Anlage beträgt abhängig von der jeweiligen Konfiguration etwa 85 bis 100 t.



Abb. 2: Basismaschine des TC565-2.

Mischanlage

Die Bindemittelsuspension wird beim FMI-Verfahren extern in einer Chargenmischanlage aufbereitet und der Fräse kontinuierlich zugeführt. Die Anlage sorgt für eine gleichmäßige Vermischung von Wasser, Bindemittel und möglichen Zusatzstoffen sowie für die Zwischenlagerung der fertigen Suspension. Je nach Anlagenkonfiguration sind Chargenleistungen von bis zu etwa 45 m^3/h möglich.

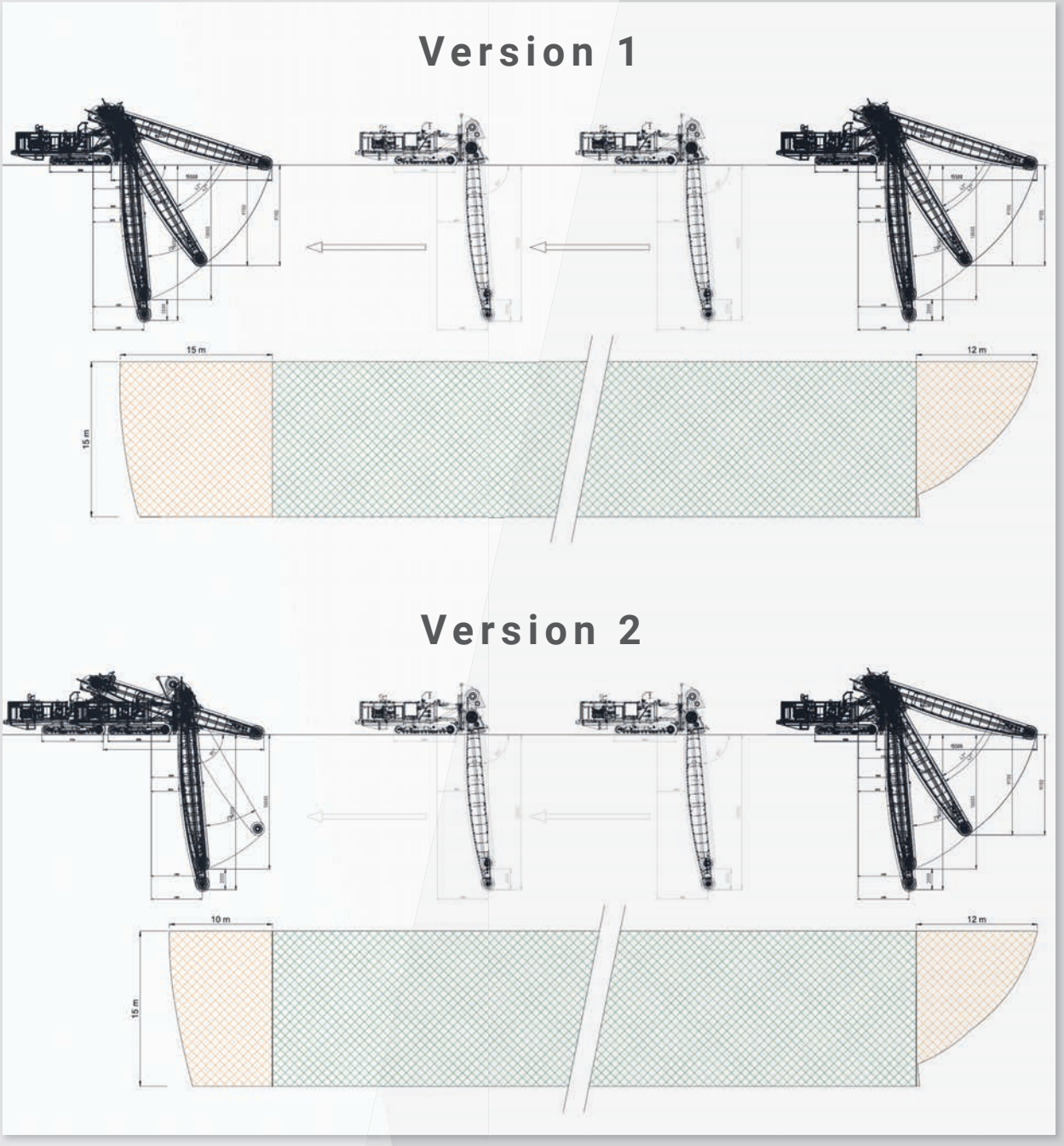


Pumpentechnik und Suspensionsförderung

Die aufbereitete Suspension wird von der Mischanlage über Pumpen und Schlauchleitungen zur Fräse gefördert und dort in den Boden eingebracht. Je nach Pumpen- und Leitungskonfiguration sind Förderlängen von bis zu etwa 1.500 m möglich.

Für eine gleichmäßige Herstellung sind insbesondere eine kontinuierliche Förderung, ein stabiler Leitungsdruck und die Abstimmung mit dem Fräsvorschub entscheidend.

VERFAHRENSPHASEN: ÜBERGANGS- UND PRODUKTIONSZONEN

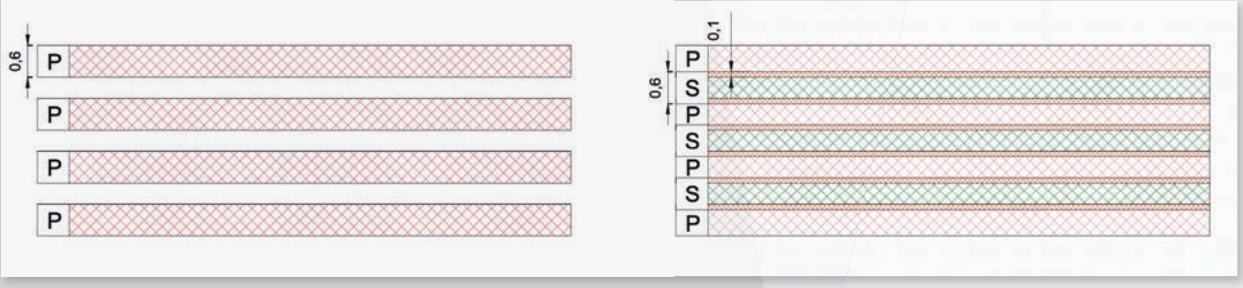


Der Fräsablauf gliedert sich in zwei verfahrenstechnisch unterschiedliche Bereiche:

- Übergangszonen (Run-in / Run-out, orange): Diese Bereiche dienen dem Ein- und Austauchen des Werkzeugs und gehören nicht zum voll wirksamen Querschnitt des späteren Baukörpers. Je nach Gerätekinematik kann der Austauchbereich beispielsweise mit 15 m (Version 1) oder 10 m (Version 2) Länge ausgebildet werden.
- Produktionszone (Main Trenching, grün): In diesem Herstellbereich entsteht der maßgebende Boden-Bindemittel-Körper, für den die geforderten Kennwerte hinsichtlich Festigkeit, Dichtigkeit und Homogenität anzusetzen und nachzuweisen sind.

Hinweis: Die dargestellten Fräsabläufe und Maßangaben beziehen sich auf ein Frässchwert mit 15 m Länge.

FEST-IN-FEST-VERFAHREN UND BLOCKAUFBAU



Breitere oder blockartige Verfestigungskörper entstehen nicht flächig in einem einzigen Arbeitsgang, sondern durch die systematische Aneinanderreihung einzelner Fräsbahnen.

- Verzahnung im Querschnitt: Der Gesamtquerschnitt wird in Primär- und Sekundärlamellen gegliedert. Bei einer nominellen Lamellenbreite von 0,60 m erfolgt im Fest-in-Fest-Verfahren ein beidseitiger Überschnitt von jeweils 0,10 m, wodurch ein zusammenhängender und hydraulisch dichter Verbund entsteht

- Verzahnung in Längsrichtung: Nach Arbeitsunterbrechungen muss die hergestellte Fräsbahn beim Wiederanfahren auf einer Länge von mindestens 0,50 m erneut angefräst werden, um einen dichten und tragfähigen Anschluss sicherzustellen.



05. QUALITÄTSSICHERUNG

EIGNUNGSPRÜFUNG



Hans Eberhardt GmbH

Hoch-, Tief- und Rohrleitungsbau
Spezialtiefbau

Industriestraße 24
94315 Straubing
Tel: 09 421 / 3 22 57
Fax: 09 421 / 5 07 13
info@eberhardt-bau.de
www.eberhardt-bau.de
info@eberhardt-bau.de

Eignungsprüfung tiefreichende Bodenverbesserung

Datum:	xxxxxx
Projektnummer:	xxxxxxx
Baumaßnahme:	xxxxxxxxx xxxxxxxxx xxxxxxxxx
Auftraggeber:	xxxxxxxxx xxxxxxxxx xxxxxxxxx

Da die maßgebenden Materialkennwerte erst in situ im Baugrund entstehen, ist beim FMI-Verfahren eine prozessbegleitende Qualitätssicherung erforderlich. Vor Beginn der Ausführung werden Eignungsprüfungen durchgeführt, um Bindemittelrezeptur, Herstellparameter und die erreichbaren Materialeigenschaften unter den projektspezifischen Randbedingungen festzulegen.

ÜBERWACHUNG DER HERSTELLPARAMETER

Während der Ausführung werden die wesentlichen Prozessparameter kontinuierlich erfasst und überwacht. Hierzu zählen insbesondere Lage und Tiefe des Fräswerkzeugs, Fräs- und Vorschubgeschwindigkeit, Bindemittelzugabe sowie weitere maschinen- und verfahrensspezifische Kenngrößen. Ergänzend dient die laufende Kontrolle des Rücklaufmaterials als wichtiger Indikator für einen stabilen und gleichmäßigen Herstellprozess.

PROBENAHME UND PRÜFUNGEN



Zur Kontrolle der erreichten Materialeigenschaften werden Frischproben und Proben aus dem erhärteten Boden-Bindemittel-Körper entnommen und geprüft. Im Mittelpunkt stehen dabei insbesondere Homogenität, einaxiale Druckfestigkeit und Durchlässigkeit. Die Prüfergebnisse dienen dem Nachweis, dass die projektspezifischen Anforderungen im ausgeführten Bauteil erreicht werden.

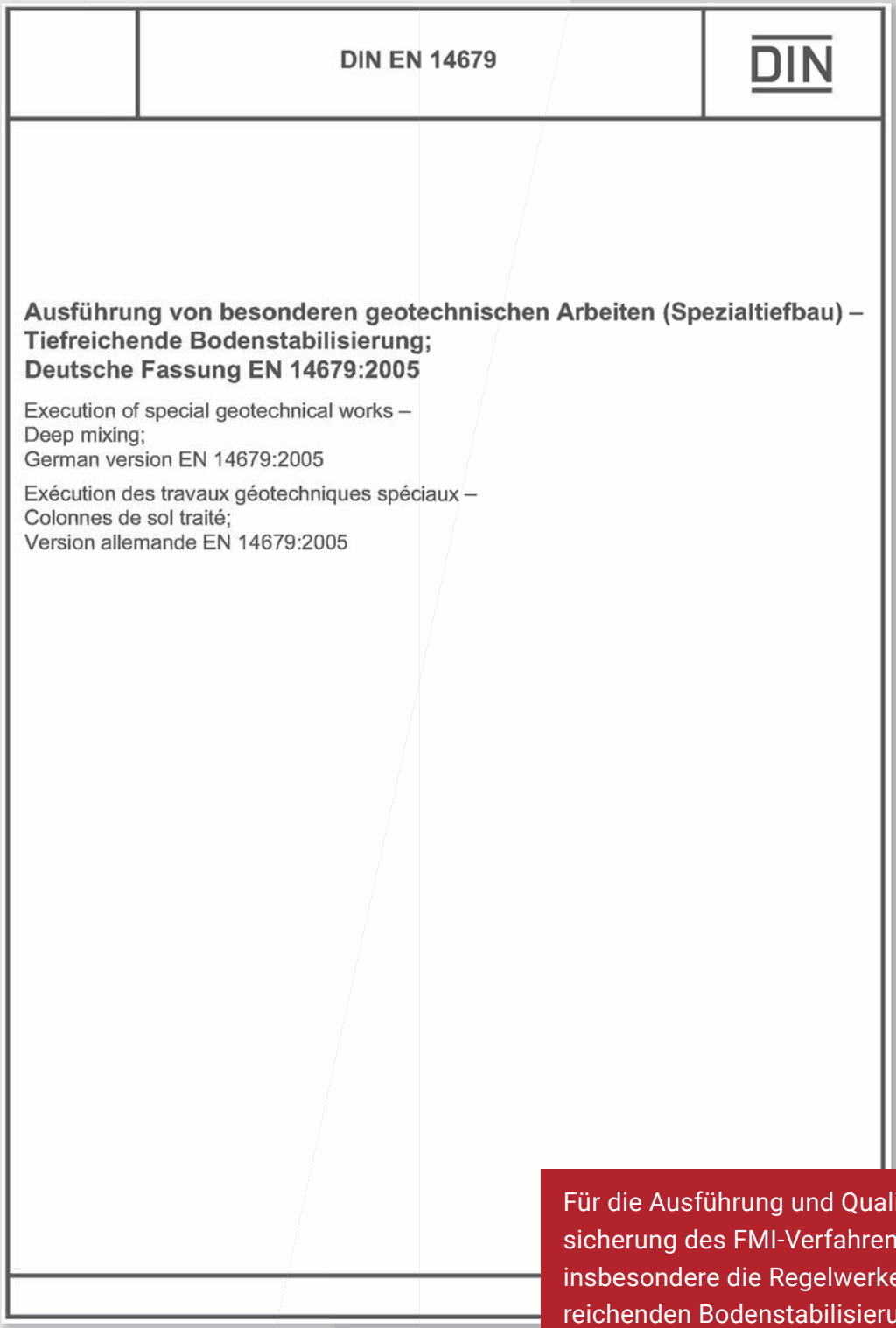




DOKUMENTATION

Alle Herstell-, Prüf- und Vermessungsdaten werden in einer projektbezogenen Dokumentation zusammengeführt. Diese dient dem Nachweis der tatsächlichen Geometrie, der Einhaltung der Ausführungstoleranzen sowie der erreichten Materialeigenschaften und bildet damit die Grundlage für eine vollständige und nachvollziehbare Qualitätssicherung.

REGELWERKE



DIN EN 14679

DIN

Ausführung von besonderen geotechnischen Arbeiten (Spezialtiefbau) – Tiefreichende Bodenstabilisierung; Deutsche Fassung EN 14679:2005

Execution of special geotechnical works – Deep mixing; German version EN 14679:2005

Exécution des travaux géotechniques spéciaux – Colonnes de sol traité; Version allemande EN 14679:2005

Für die Ausführung und Qualitätssicherung des FMI-Verfahrens sind insbesondere die Regelwerke zur tiefreichenden Bodenstabilisierung und zu angrenzenden Spezialtiefbauverfahren maßgebend. Hierzu zählen vor allem die DIN EN 14679 für tiefreichende Bodenstabilisierung sowie je nach Anwendungsfall ergänzende Regelwerke aus dem Bereich Injektion und Spezialtiefbau.

www.eberhardt-bau.de







Hans Eberhardt GmbH
Industriestraße 24 • 94315 Straubing
Telefon: +49 (0) 9421 32257
info@eberhardt-bau.de

www.eberhardt-bau.de