

Kniele Baumaschinen GmbH, 88422 Bad Buchau, Deutschland

**SONDERDRUCK
BWI 02/16**

Labor-Intensivmischer mit integriertem Rheometer und Tribometer

Der Kniele KKM-RT 15/22.5 kombiniert einen Labor-Intensivmischer mit einem Rheometer, welches die rheologischen Eigenschaften des Mischgutes entweder in relativen oder aber in absoluten Einheiten liefert. Eine Mischersonde zur Feuchtebestimmung und eine Dosiereinheit für die Zugabe flüssiger Komponenten erweitern den Leistungsumfang und ermöglichen automatisierte Parameterstudien zur Mischungs-entwicklung.

- Christian Baumert und Harald Garrecht, Institut für Werkstoffe im Bauwesen der Universität Stuttgart, Deutschland; Harald und Alexander Kniele, Kniele Baumaschinen GmbH, Deutschland ■

Anforderungskatalog an den neuen Labormischer

Mischvolumen und Materialwahl

Um klassische Frischbetonversuche wie die Bestimmung des Ausbreitmaßes, Setzfließmaßes, VdZ-Trichter, LCPC-Box etc. durchführen zu können, müssen ca. 5-6 l Frischbeton bereitgestellt werden. Um aus derselben Charge Probekörper zur Bestimmung mechanischer Kennwerte herstellen zu können, sind zusätzlich mehrere Liter Material erforderlich. Durch die Festlegung auf ein

Frischbetonvolumen von maximal 15 l besteht jedoch gleichzeitig die Möglichkeit, die in der Laborpraxis benötigten kleinen Mengen in einem kompakten und bedienerfreundlichen Mischer herzustellen. Um die Reinigung des Mixers zu erleichtern und auch Anwendungen außerhalb betontechnologischer Untersuchungen zu ermöglichen, ist der Mischer nahezu vollständig aus korrosionsbeständigem Edelstahl gefertigt.

Materialaustrag und Reinigung des Mixers

Bei einer Füllmenge von maximal 15 l ergibt sich bei Betonanwendungen eine Masse des Mischgutes von ca. 35 kg. Selbst bei leichter Baukonstruktion des abnehmbaren Mischbehälters könnte der gefüllte Behälter von einer Person nur schwer bedient werden. Folglich wird der bewährte Konus mit Öffnung am unteren Ende genutzt. Wird die Verschlussklappe geöffnet, fällt das Mischgut dem Einfluss der Schwerkraft folgend, nahezu vollständig in den bereit gestellten Behälter und kann von hier für die weitere Nutzung verfahren werden. Sehr fließfähige Betone neigen beim Öffnen der Verschlussklappe dazu, durch den entstehenden schmalen Spalt mit hoher Geschwindigkeit auszutreten. Durch Anordnung einer umlaufenden Gummischürze um die Ablassklappe wird das Material in den bereit gestellten Behälter gelenkt. Auch die Reinigung des Mixers gestaltet sich dadurch ebenso einfach wie schnell. Nach dem Ablassen des Mischgutes wird die Klappe geschlossen, der Konus mit Wasser gefüllt und die Mischwerkzeuge werden mit hoher Werkzeuggeschwindigkeit betrieben. Dabei lösen sich die Ablagerungen an den Mischwerkzeugen und werden nach erneutem Öffnen der Verschlussklappe mit dem Wasser ausgetragen. Um Ablagerungen im Bereich der Verschlussklappe zu begrenzen, wurde der Umlenkmechanismus der Verschlussklappe weiter nach oben, und damit außerhalb des Verschmutzungsbereichs verlagert.

Mischwerkzeug

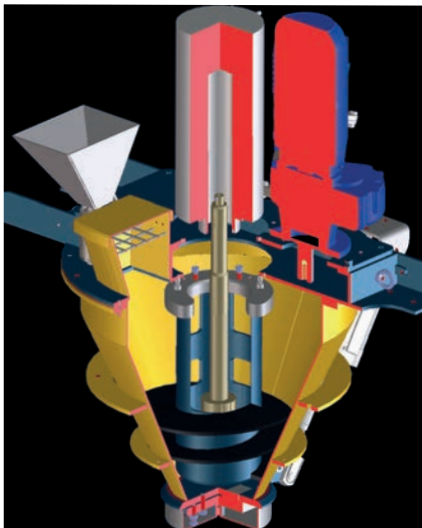
Zur Erhöhung der Mischintensität wurden Detailverbesserungen am bewährten Mischwerkzeug des Konusmischers vorgenommen. Mit der Anordnung von kurzen Stiften an den Außenkanten der Mischpaddel werden die Desagglomeration von Feinstoffen und die Vereinzelung feiner Fasern deutlich verbessert und beschleunigt. Um den erhöhten Belastungen standzuhalten, wurden die hochbelasteten Bereiche mit einer geeigneten Beschichtung versehen.

Antriebe und Funktion als Rheometer (relative Messwerte)

Der Konusmischer KKM von Kniele ist durch einen äußeren Abstreifer und ein inneres, zentrisch angeordnetes Mischwerkzeug gekennzeichnet. Dabei kommen dem äußeren Abstreifer vornehmlich die Funktionen der Grobvermischung und die Zuführung des Mischgutes zum inneren Mischwerkzeug zu. Der äußere Abstreifer kann dabei mit variablen, aber relativ niedrigen Werkzeuggeschwindigkeiten und mit einer Drehrichtungsumkehr betrieben werden. Das innere Mischwerkzeug hingegen greift nur in ein Teilvolumen des



Gesamtdarstellung des neuen Labor-Intensivmischers KKM-RT 15/22.5 mit integriertem Rheometer und Tribometer



Technische Zeichnung des KKM-RT 15/22.5

Mischgutes ein und ist zudem nicht randgänglich (großer Abstand zur Mischbehälterwandung). Mit einer überschaubaren Motorleistung wird es damit möglich, hohe Werkzeuggeschwindigkeiten ohne verschleißintensive Belastungen durch Verklemmungen der groben Gesteinskörnung mit der Behälterwandung zu erreichen. Die erzielbaren und für die Herstellung von Mörtel bzw. Beton sinnvollen Werkzeuggeschwindigkeiten liegen bei maximal 6 m/s und somit deutlich über denen in klassischen Betonmischern (maximal ca. 1,5 m/s). Während Normalbetone mit hohem Wassergehalt und niedrigem Gehalt an Zusatzstoffen und Zusatzmitteln problemlos bei niedriger Werkzeuggeschwindigkeit hergestellt werden können, ändert sich die Situation bei anspruchsvolleren Betongemischen. Bei geringer Wassermenge und höheren Zugabemengen an Zusatzstoffen und Zusatzmitteln führen Mischregime mit (zeitweise) höheren Werkzeuggeschwindigkeiten zu deutlich besseren Ergebnissen. Dies wirkt sich weniger auf die Fließgrenze (also das Setzfließmaß), sondern mehr auf die für die Verarbeitbarkeit relevante Viskosität aus. Bei hohen Werkzeuggeschwindigkeiten werden die Partikelagglomerate zu einem höheren Anteil aufgelöst, was eine geringere Viskosität des Materials bewirkt. Da die Werkzeuggeschwindigkeit des inneren Mischwerkzeugs über einen sehr großen Bereich variabel ist und dessen Drehrichtung sich ebenfalls umkehren lässt, können die in der Praxis im Einsatz befindlichen Mischsysteme abgebildet werden. Für die Funktion des Mischens bestehen lediglich Anforderungen bezüglich Drehmoment und Drehzahlbereich, welche problemlos und kostengünstig durch konventionelle Asynchronmotor-Getriebeeinheiten abgedeckt werden können.

Um jedoch zusätzlich Messungen zur rheologischen Bewertung des Mischgutes bei niedrigsten Drehzahlen bzw. Drehmomenten durchführen zu können, wurde ein Direktantrieb über einen Synchron-High-Torque-Antrieb realisiert. Damit werden Einflüsse aus Motorschlupf und variable Verluste durch Untersetzung grundsätzlich ausgeschlossen. Die sogenannte fliegende Lagerung des inneren Mischwerkzeugs ohne weitere Lager reduziert die Haft- und Gleitreibungsverluste weiter. Im Zusammenspiel mit einem Frequenzumrichter, der nach dem Direct-Torque-Prinzip arbeitet, ergibt sich ein sehr verlustarmer Antrieb, dessen Leistungsfähigkeit deutlich über dem eines konventionellen Antriebs liegt. Neben dem drehzahlgeführten Betrieb werden dadurch auch der in der Rheologie bevorzugte drehmomentgeführte Betrieb sowie oszillierende Messungen mit schnellen Drehrichtungswechseln möglich. Dank einer sehr hohen Genauigkeit des Frequenzumrichters bei der Berechnung des Drehmomentes kann auf einen Drehmomentsensor verzichtet werden.

Die rheologischen Messungen erfolgen nach dem Searle-Prinzip, bei dem die Scherbelastung durch das innere Mischwerkzeug erzeugt und das dafür erforderliche Drehmoment über den Frequenzumrichter berechnet wird. Da weder das gescherte Volumen noch die Scherflächen exakt bestimmt werden können, liefern die Messungen mit dem Mischwerkzeug Ergebnisse in den relativen Einheiten Drehmoment (Nm) und Drehzahl (UPM). Diese Ergebnisse sind somit nur für die jeweilige Mischung und Füllstand aussagekräftig und lassen sich nicht auf andere Rheometer übertragen, die mit relativen Messwerten arbeiten.

Funktion als Rheometer zur Bestimmung von Messwerten in absoluten Einheiten

Um die rheologischen Eigenschaften in den absoluten Einheiten Pa und Pa·s berechnen zu können, muss die Scherbelastung über definierte Oberflächen eingebracht werden. Für Betonanwendungen haben sich zwei koaxiale Zylinder bewährt, zwischen denen das Material geschert wird. In den meisten Fällen wird dabei der äußere Zylinder fixiert und der innere Zylinder rotiert gemäß vorgegebenem Geschwindigkeitsregime. Das dazu erforderliche Drehmoment kann dann auf die bekannte Scherfläche bezogen werden und ermöglicht die Berechnung in absoluten Einheiten. Für die Umsetzung bei dem Labormischer wurden dazu zwei Schnellwechselsysteme für den zwangsläufig erforderlichen Wechsel der Mischwerkzeuge auf die



■ Dr.-Ing. Christian Baumert; 2007-2012 wissenschaftlicher Mitarbeiter am Fachgebiet Werkstoffe im Bauwesen der Technischen Universität Darmstadt mit dem Schwerpunkt Massivbautechnologie; seit 2012 leitender wissenschaftlicher Mitarbeiter am Institut für Werkstoffe im Bauwesen der Universität Stuttgart mit dem Forschungsschwerpunkt Mischtechnik und neue Betontechnologie. christian.baumert@iwb.uni-stuttgart.de



■ Prof. Dr.-Ing. Harald Garrecht; ab 1998 Professur für Baustoffe, Bauphysik und Baukonstruktion an der Hochschule Karlsruhe - Technik und Wirtschaft; 2006-2012 Professur für Werkstoffe im Bauwesen an der Technischen Universität Darmstadt am Institut für Massivbau; seit 2012 Professur für Werkstoffe im Bauwesen am Institut für Werkstoffe im Bauwesen und wissenschaftlicher Direktor an der Materialprüfungsanstalt MPA der Universität Stuttgart. harald.garrecht@mpa.uni-stuttgart.de



■ Dipl.-Ing. Harald Kniele, Bauingenieurstudium an der Universität Stuttgart 1982-1988, seit 1992 Geschäftsführer der Firma Kniele Baumaschinen GmbH. hk@kniele.de



■ Dipl.-Ing. Alexander Kniele, Maschinenbaustudium an der Universität Stuttgart 1991-1995, seit 1995 Geschäftsführer der Firma Kniele Baumaschinen GmbH. ak@kniele.de

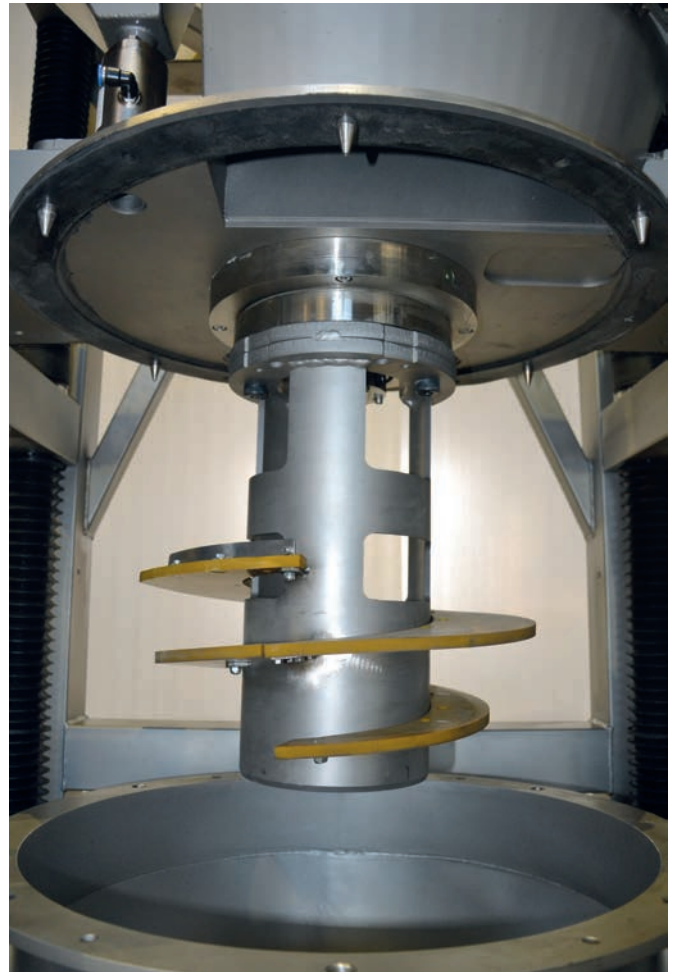
koaxialen Zylinder entwickelt. Das innere Schnellwechselsystem ermöglicht das Einhängen bzw. das Aushängen der Werkzeuge durch eine Drehbewegung. Die kraftschlüssige Verbindung zum Antrieb erfolgt mittels einer hydraulischen Schnellspannhülse, die über eine Schraube betätigt wird. Das äußere Mischwerkzeug kann ebenfalls über eine Drehbewegung ein- bzw. ausgehängt werden und wird über eine Schraubverbindung kraftschlüssig mit dem äußeren Antrieb fixiert.

Die komplette obere Antriebseinheit ist nach oben verfahrbar, um unmittelbar nach dem Mischvorgang den Wechsel der Werkzeuge in einer ergonomisch sinnvollen Höhe zu ermöglichen. Die Antriebseinheit wird nachfolgend wieder abgesenkt, bis die unteren Grundflächen der Messzylinder in den Beton eintauchen. Der innere Messzylinder rotiert dann mit der vorgegebenen Drehzahl und das dafür erforderliche Drehmoment wird erfasst. Da es sich dabei um den durch die Bodenfläche des Messzylinders verursachten Drehmomentanteil handelt, wird dieser bei den nachfolgenden Messungen in Abzug gebracht. Somit fließt nur das für die Rotation der Mantelfläche des Zylinders benötigte Drehmoment in die Berechnungen ein. Die

Rheologische Messwerkzeuge und Details:



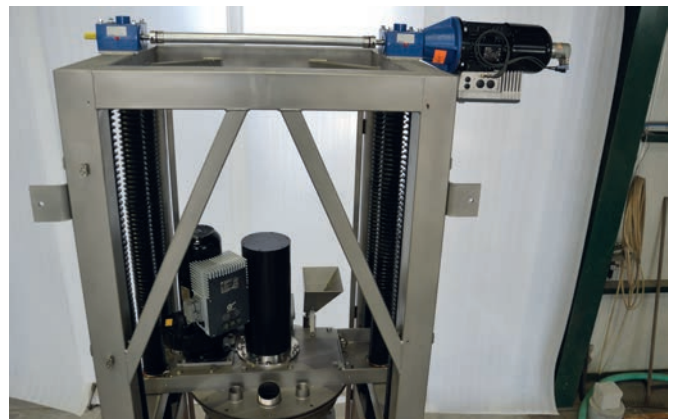
Rührwerk



Rheometer



Sondeneinbau



Hubvorrichtung

Antriebseinheit wird weiter abgesenkt und der Verfahrweg, also die Höhe der mit Beton umgebenen Mantelfläche, aus den Daten des Drehgebers der Verfahreinheit bestimmt. Die während der nachfolgenden rheologischen Messungen ermittelten Drehzahlen und Drehmomente können damit auf eine bekannte Scherfläche (Zylinderdurchmesser und Eintauchtiefe h) bezogen und in absoluten Einheiten ausgegeben werden. Für die rheologischen Messungen selbst stehen drei unterschiedliche Modi zur Verfügung, die frei programmiert werden können.

1.) Im drehzahlgeführten Modus werden die Drehzahlen des inneren Zylinders vorgegeben und die dafür erforderlichen

Drehmomente gemessen. Über geeignete rheologische Modelle können aus den Rohdaten Drehzahl, Fließgrenze und Scherfläche die Fließgrenze und die Viskosität in absoluten Einheiten berechnet werden.

2.) Im drehmomentgeführten Modus wird der Drehmomentverlauf vorgegeben und die Drehzahl des Antriebs erfasst. Da der verbaute Antrieb über einen hochauflösenden Drehgeber verfügt, wird die Fließgrenze über einen abrupten Drehzahlanstieg erkennbar.

3.) Bei oszillierenden Messungen erfolgt ein sinusförmiger Drehrichtungswechsel mit steigender Amplitude. Auch in diesem

Modus kann zwischen einem drehmomentgeführten Betrieb oder einer vorgegebenen Auslenkung gewählt werden. Durch den verbauten Synchron-Direktantrieb verfügt der Antriebsstrang über die dafür erforderliche geringe Masse und Steifigkeit. Unter Berücksichtigung des Trägheitsmomentes des Antriebsstranges können aus diesen Messungen rheologische Kennwerte ermittelt werden.

Die in der Rheologie eingesetzten Messsysteme nach z.B. DIN 53019-1 [1] sind allerdings nicht ohne Anpassungen und Kompromisse für Mörtel und Betone einsetzbar. An den nicht profilierten Oberflächen würde durch die Ausbildung einer Leimschicht eben jene Leimschicht geschert und nicht das eingefüllte Material. Zudem erfordert der Zuschlag eine größere Spaltbreite. Auch bei Rheometern für Leime (z.B. Rheotest RN 4.1) werden deshalb feine Profilierungen in die Oberfläche des Messwerkzeugs gefräst. Bei Rheometern für Beton finden teilweise Flügel-Drehkörper Verwendung, bei denen die Annahme getroffen wird, dass diese das Material zylindrisch scheren. Untersuchungen nach [2] belegen jedoch, dass diese Annahme nicht zutreffend ist. Beim Kniele-KKM-RT 15/22.5 wurden deshalb die beiden zylindrischen Messwerkzeuge mit vertikalen Vertiefungen versehen, die den Schlupf verhindern, ohne die Strömungsverhältnisse massiv zu beeinflussen.

Beim Betrieb eines Rheometers für Mörtel bzw. Beton müssen zwei Entmischungsphänomene Berücksichtigung finden. Durch Sedimentation infolge Schwerkraft besteht grundsätzlich die Gefahr, dass die Zuschläge aufgrund ihrer höheren Dichte unterhalb des Messwerkzeugs absinken. Die Messungen erfolgen dann nicht an einem homogenen Material, sondern an einem zuschlagarmen Teilvolumen mit abweichenden rheologischen Eigenschaften.

Wird ein Rheometer nach dem Searle-Prinzip (Antrieb des inneren Werkzeugs) betrieben, erfolgt eine Wanderung der Partikel in Abhängigkeit von deren Größe und Dichte in den Randbereich. Eine Vorscherschphase ist für die rheologische Messung zwingend erforderlich, um die im Ruhezustand des Mischgutes aufgebaute Struktur abzubauen. Die Vorscherschphase kann aber ggf. Entmischungen bewirken und verfälschte Messwerte während des Messablaufs nach sich ziehen. Beide Entmischungserscheinungen werden bei wiederholten Versuchen an einer Charge verstärkt.

Um beiden Phänomenen aktiv entgegenzuwirken und somit wiederholte Messungen an einer Charge zu ermöglichen, wurde das äußere Messwerkzeug um eine Zusatzfunktion erweitert. Entlang der äußeren Mantelfläche wurde eine Wendel angebracht. Durch die Motortriebeeinheit des äußeren Abstreifers rotiert diese Konstruktion und transportiert das Material aus dem unteren Bereich des Konus nach oben, wo es in den Spalt zwischen den Messwerkzeugen gelenkt wird. Damit wird eine Umwälzung und Homogenisierung des Mischgutes innerhalb des Konus bewirkt. Da auf diese Weise eine relevante Mischwirkung erzielt werden kann, besteht darüber hinaus die Möglichkeit, auch mit montierten Messwerkzeugen dem Mischgut Zusatzmittel mit der dafür erforderlichen Mischintensität einzumischen. Das nachträgliche Untermischen der Zusatzmittel und die Messung der dadurch veränderten rheologischen Parameter in absoluten Einheiten können somit in einer Maschine ohne Wechsel der Werkzeuge durchgeführt werden.

Funktion als Tribometer

Um die Pumpfähigkeit eines Betons am Mischgut bestimmen zu können, kann der KKM-RT 15/22.5 auch als Tribometer genutzt werden. Hochleistungsbetonpumpen erzeugen in der Pumpleitung Strömungsgeschwindigkeiten von mehreren m/s. Dabei bildet sich an der Innenoberfläche der Pumpleitung eine dünne Leimschicht aus, auf der der Rüttelbeton als „Propfen“ gleitet. Um diese Randbedingungen bei tribologischen Messungen nachzustellen, rotiert ein Zylinder im Mischgut mit entsprechender Geschwindigkeit. Wesentlicher Unterschied zu den rheologischen Messungen ist, dass der Zylinder eine Rauigkeit wie die Innenoberfläche der Pumpleitung aufweist. Die Ausbildung des Gleitfilms wird hier gezielt herbeigeführt. Durch die Nenndrehzahl von 500 UPM kann der High-Torque-Antrieb auch die Verhältnisse der leistungsfähigsten Betonpumpen abbilden.

Mischersonde

Um auch unter Verwendung von Ausgangsstoffen mit veränderlicher Eigenfeuchte den Wasserbindemittelwert steuern und kontrollieren zu können, wurde eine Miniatur-Mischersonde in die Verschlussklappe integriert. Zudem liefert die Mischersonde zusätzliche Informationen über die Mischgüte, da infolge voranschreitender Homogenisierung der Flüssigkeiten und Trockenstoffe die Schwankungen der ausgegebenen Feuchtwerte der Sonde abnehmen.

Steuerung

Die Steuerung basiert auf einer Soft-SPS und wird über einen Touchpanel-PC von Beckhoff realisiert. Damit steht ein bewährtes und robustes industrielles System zur Verfügung, an das über alle relevanten Bussysteme Komponenten eingebunden werden können. Die problemlose Datenübertragung ist sichergestellt, da Beckhoff das Betriebssystem Microsoft Windows einsetzt.

Optionen: Kamera und Flüssigdosiereinrichtung

Um den Mischvorgang beobachten und dokumentieren zu können, wurde der Einbau einer Mischerkamera berücksichtigt. Durch ein pneumatisches Quetschventil ist die Optik der Kamera während der Zugabe von staubigen Trockenstoffen vor Verschmutzung geschützt. Die Anzeige erfolgt über den für die Bedienung des Mixers ohnehin vorhandenen Touchpanel-PC. Eine weitere Option ist eine Flüssigdosiereinrichtung, die eine hochgenaue und individuell regelbare Zugabe von Flüssigkeiten ermöglicht. Wird beispielsweise den Trockenstoffen einer Mischung während des Mischvorgangs kontinuierlich Wasser zugegeben, lässt sich aus dem Drehmomentverlauf die ideale Wassermenge, die als Übergang vom Kornhaufwerk zur granularen Suspension definiert ist, ablesen. Ebenso kann die Wassermenge auf einen bestimmten Drehmomentwert dosiert werden und somit die Funktion als Konsistenzmischer genutzt werden. Werden Zusatzmittel dosiert, lassen sich auch hier wichtige Erkenntnisse ableiten, insbesondere wenn die rheologischen Messungen durchgeführt werden. ■

■ Literatur

- [1] DIN 53019-1:2008-09: Viskosimetrie - Messung von Viskositäten und Fließkurven mit Rotationsviskosimetern - Teil 1: Grundlagen und Messgeometrie, Beuth-Verlag
- [2] Ovarlez G. et al.: Flows and heterogeneities with a vane tool: MRI measurements. J Rheol, 55 (2011), Seiten 197-223

WEITERE INFORMATIONEN


Baumaschinen GmbH

Kniele Baumaschinen GmbH
Gemeindebeunden 6
88422 Bad Buchau, Deutschland
T +49 7582 9303 11 · F +49 7582 9303 30
info@kniele.de · www.kniele.de

