

Glasfaserverstärkter Architekturbeton für den Neubau des Kaiser Hofes in Köln

■ Henrik Funke, Andreas Ehrlich und Sandra Gelbrich, Steinbeis-Innovationszentrum FiberCrete, Chemnitz, Deutschland

Gebäudehüllen für Bauwerke werden seit einigen Jahren zunehmend als vorgehängte Fassadenelemente ausgeführt. Diese Bauweise erfordert möglichst dünnwandige, leichte sowie freigeformte Fassadenelemente, sodass klassischer Stahlbeton aufgrund seiner Mindestbetonüberdeckung nicht eingesetzt werden kann. Demgegenüber verfügen stahlfrei bewehrte Betone, wie bspw. Kurzfaserverstärkte und Textilbetone, hier über ein hohes Anwendungspotential. Diese neuen Baustoffe bestehen i.d.R. aus nichtkorrosiven Materialien, wodurch keine klassische Mindestbetondeckung erforderlich ist und somit filigrane Betonstrukturen mit hohem Leichtbaugrad umgesetzt werden können. Als alternative Bewehrungssysteme finden Kurzfasern, textile Matten oder Stäbe aus alkaliresistentem Glas bzw. Carbon Anwendung.

Am geschichtsträchtigen Kaiser-Wilhelm-Ring in Köln entsteht derzeit eine neue exklusive Büroimmobilie – der von MSM Meyer Schmitz-Morkramer Rhein GmbH entworfene Kaiser Hof, welcher ein weiteres architektonisches Glanzlicht in der Domstadt darstellt. Ein Highlight im Zuge des Neubaus ist die raffinierte ca. 5000 m² umfassende Fassaden-Architektur aus faserverstärktem Architekturbeton. Unterschiedlich ausgerichtete Lisenen in der hellen Außenfassade erzeugen ein außergewöhnliches Schattenspiel, das sich im Wechsel des Lichteinfalls permanent verändert. Dabei soll der Kaiser Hof, der die zeitlose Architektur der Nachbargebäude zitiert, einen besonderen visuellen Akzent im Stadtbild setzen. Mit den freigeformten Leichtbauelementen aus Glasfaserbeton werden im Rahmen des Neubaus die Lochfassaden des Gebäudekomplexes elegant verkleidet. Die Anforderungen an den Architekturbeton sind eine besonders glatte Oberfläche mit höchster Sichtbetonklasse (SB 4) und einer matten Optik sowie einer hohen Witterungsbeständigkeit.

Im Auftrag der Art-Invest Real Estate Management wurde die Fassade des Kaiser Hofes in enger Zusammenarbeit von drei Partnern: der Medicke Metallbau GmbH, der Fiber-Tech Products GmbH und dem Steinbeis-Innovationszentrum FiberCrete im „Firmenverbund Arbeitsgemeinschaft Faserbetonfassaden Kaiser Hof Köln“ entwickelt und umgesetzt. Das Steinbeis-Innovationszentrum FiberCrete in Chemnitz erarbeitete die Betonrezeptur, unterstützte bei der Vorbereitung der erforderlichen Zustimmung im Einzelfall (ZiE) und über-

nahm die technologische Beratung. Die Fiber-Tech Products GmbH aus Chemnitz plant und realisiert die Produktion der Faserbetonbauteile, inklusive Formenbau und Lieferung. Die Medicke Metallbau GmbH ist neben der kompletten Werkplanung der Gesamtfassade für die Montage der Glasfaserbeton-Elemente verantwortlich.

Material- und Technologieentwicklung

Frisch- und Festbetoneigenschaften

Die Material- und Technologieentwicklung umfasste den zusammenhängenden Komplex aus der Assemblierung eines angepassten Kurzfaserbetons, die Formgebung des Faserbetons, die Integration von Ankern für die Bauwerksbefestigung sowie die Entformung und Nachbehandlung der Fassadenelemente bis zur Montage am Bauwerk. Im Fokus der Entwicklungen stand hierbei die Abbildung einer ganzheitlichen Prozesskette, beginnend bei der Vermischung der Komponenten für den Glasfaserbeton bis hin zur logistischen Umsetzung. Innerhalb der Materialentwicklung kam der modifizierte weiße Glasfaserbeton BetoLamina®-Cast, entwickelt vom Steinbeis-Innovationszentrum FiberCrete, zum Einsatz. Dieser Werkstoff vereint, neben der geforderten optischen Qualität die Eigenschaften hohe Frühfestigkeit, hohe 28-Tage-Festigkeitswerte sowie hohe Dauerhaftigkeit. Der hochfließfähige Beton BetoLamina-Cast ist als 5-Stoff-System aufgebaut, bestehend aus Portlandzement, Gesteinskörnung, Zusatzstoffen und projektspezifischen Zusatzmitteln. Aufgrund der komplexen Geometrie der Lisenen ist eine hohe Fließfähigkeit bei gleichzeitig hoher Mischungsstabilität des Frischbetons erforderlich, weshalb insbesondere spezielle Produkte BetoLamina St1 und BetoLamina P1 gemeinsam mit der MC-Bauchemie Müller GmbH & Co. KG als Private Label in enger Zusammenarbeit für das Projekt entwickelt worden sind. Ferner standen im Fertigteilwerk für die Vermischung der Komponenten keine Hochleistungs- oder Intensivmischer – wie es bei derartigen Feinbetonen üblicherweise notwendig ist – zur Verfügung. Folglich musste der Beton BetoLamina-Cast für die Mischung in einem einfachen Zwangsmischer modifiziert werden, um eine absolut homogene Frischbetonmischung sicherzustellen. Die Frisch- und Festbetoneigenschaften sind in Tab. 1 angegeben. Mit dem Setzfließversuch nach DIN EN 12350-8 sind ein Setzfließmaß und eine t_{500} -Zeit von 810 mm bzw.



■ Herr Funke ist seit 2010 wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Professur Strukturleichtbau und Kunststoffverarbeitung an der TU Chemnitz und arbeitet im Forschungsbereich Leichtbau im Bauwesen. Seit 2012 entwickelt er faserverstärkte mineralische Baustoffe. Henrik Funke hat zwischen 2004 und 2009 an der Technischen Universität Bergakademie Freiberg Keramik-, Glas- und Baustofftechnik studiert. henrik.funke@stw.de



■ Dr. Sandra Gelbrich hat an der Bauhausuniversität Weimar Bauingenieurwesen studiert und ist seit 2002 wissenschaftliche Mitarbeiterin an der TU Chemnitz. Sandra Gelbrich promovierte 2008 habilitierte 2016. Seit 2009 ist sie Leiterin des Forschungsbereichs Leichtbau im Bauwesen an der Professur Strukturleichtbau und Kunststoffverarbeitung. sandra.gelbrich@stw.de



■ Andreas Ehrlich arbeitete nach seinem Studium des Maschinenbaus an der TU Chemnitz von 1995 bis 2009 bei der Mugler AG Oberlungwitz als Projektleiter in der Infrastruktur für Antennenanlagen und in der Entwicklung von Werkstoffen zur Verkleidung von Antennenanlagen. Seit 2010 ist er als wissenschaftlicher Mitarbeiter an der Professur Strukturleichtbau und Kunststoffverarbeitung der TU Chemnitz im Forschungsbereich Leichtbau im Bauwesen. Im SIZ FibereCrete entwickelt er Schalungen sowie Krafteinleitungen in dünnwandige Bauteile. andreas.ehrlich@stw.de

Tab. 1: Frisch- und Festbetoneigenschaften

	Frischbeton	Festbeton
Setzfließmaß	810 mm	-
Luftporengehalt	1,7 Vol.-%	n. b.
Verarbeitungszeit	70 min	-
Rohdichte	2,31 g/cm ³	2,27 g/cm ³
Druckfestigkeit	-	85,1 MPa (28 d) 113,7 MPa (56 d)
Biegezugfestigkeit	-	14,3 MPa (28 d) 18,9 MPa (56 d)
Dynamischer E-Modul	-	34 GPa

2,2 s bestimmt worden, wodurch der Beton in die höchste Setzfließmaßklasse 3 und in die Viskositätsklasse 2 eingeteilt wird. Der arithmetische Mittelwert der Druck- und Biegezugfestigkeit lag bei 85,1 bzw. 14,3 MPa nach 28 Tagen.

Für die Bestimmung des Frost-Tausalz-Widerstandes wurde der CDF-Test (Capillary Suction, De-icing agent and Freezethaw-test) nach der RILEM Empfehlung TC 117-FDC mit der Schleibinger CDF/CIF-Prüfanlage durchgeführt, wobei als Abnahmekriterium das Merkblatt der Bundesanstalt für Wasserbau (BAW) „Frostprüfung von Beton“ (2012) zur Anwendung kam. Im Ergebnis lag die mittlere Abwitterung und der relative dynamische E-Modul nach 28 Frost-Tau-Wechseln bei 21 g/m² bzw. 100 % und damit weit unter den geforderten Grenzwerten von 1500 g/m² bzw. 75 %. Diese Werte zeigen für den Beton BetoLamina-Cast eine sehr hohe Dauerhaftigkeit bezüglich einer Frost-Tau-Beanspruchung mit Taumitteln. Der Verlauf der Abwitterung während des CDF-Tests sowie der Zustand der Prüfflächen vor und nach Abschluss der Frostwiderstand-Prüfung sind in Abb. 1 dargestellt.

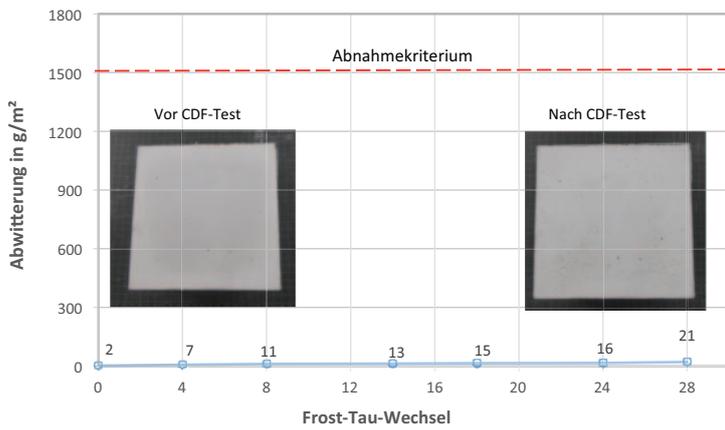


Abb. 1: Verlauf der Abwitterung während Frost-Tau-Prüfung mit Taumitteln

Anhand einer visuellen Beurteilung konnte eine sehr geringe Abwitterung bei den Prüfflächen festgestellt werden. Neben der klassischen Frost-Tausalz-Prüfung an Normköpern erfolgte parallel die Bestimmung der Biegezugfestigkeit einer infolge Frost-Tau-Belastung mit Taumitteln. Es zeigt sich hier ein Abfall der Biegezugfestigkeit um lediglich 9 % im Vergleich zu den unbelasteten Proben.

Befestigungssystem

Für derartige dünnwandige Betonelemente mit Materialstärken zwischen 14 mm und 30 mm sind keine zugelassenen Befestigungssysteme am Markt erhältlich. Dementsprechend erfolgte die Entwicklung von geeigneten Befestigungselementen. Hierzu wurde eine Lösung mit Inserts angestrebt, die an der Schalung vor der Gießformgebung des Betons integriert werden, sodass eine genaue Positionierung sichergestellt ist. Die Konzeption dieser Inserts erfolgte auf Grundlage bionischer Prinzipien, die eine gleichmäßige Einleitung konzentrierter, punktförmig wirkender Kräfte in dünnwandige Beton-Fassadenelemente gestatten. Innerhalb der Entwicklungen sind hinsichtlich Geometrie und Größe unterschiedliche Inserts konstruktiv entworfen, berechnet und mittels Finite-Elemente-Methode simuliert, additiv gefertigt (selektives Lasersintern) und im Rahmen von Auszugsversuchen untersucht und die berechneten Ergebnisse validiert worden. Insbesondere beim konstruktiven Entwurf der Inserts wurden der Verbund zwischen metallischer Krafteinleitung und Textilbetonelement sowie Riss- und Versagensverhalten analysiert. Bei den Auszugsversuchen wurden spezielle Probekörper mit Aufdickungen im Bereich der eingegossenen Inserts in 0°, 45°- und 90°-Richtung unidirektional auf Zug belastet (Abb. 2).

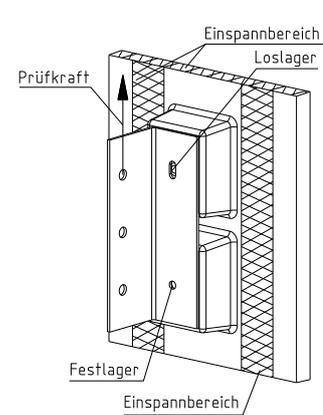
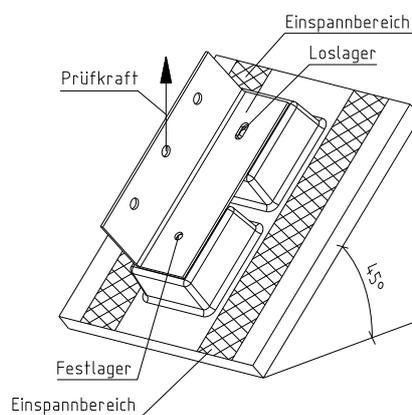
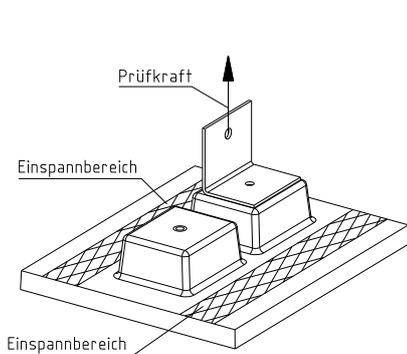
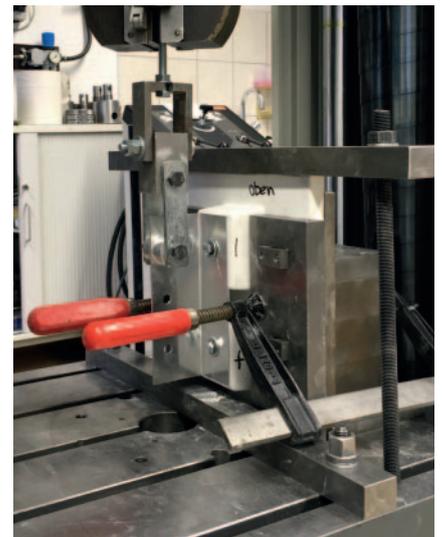
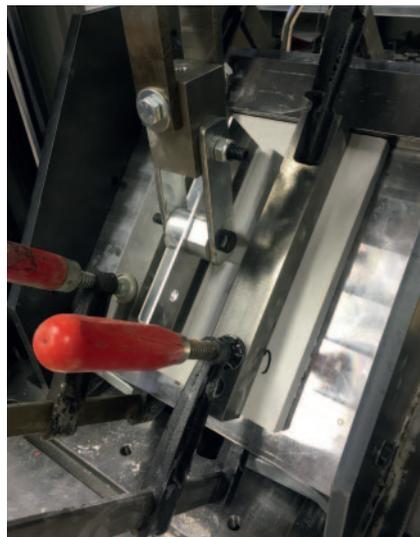
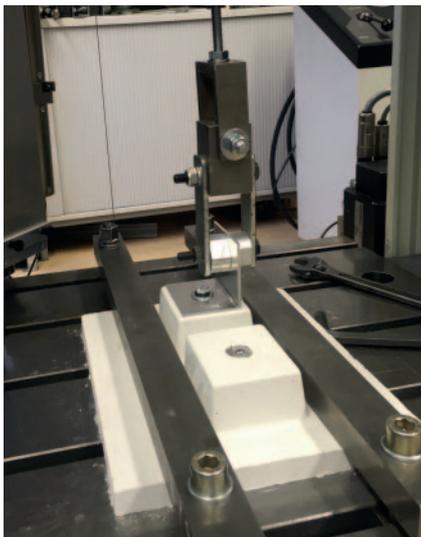


Abb. 2: Winkelabhängige Auszugsversuche für Befestigungssystem

Tab. 2: Vergleich der berechneten und ermittelten Auszugskräfte verschiedener Inserttypen

Inserts				
	Referenzinsert	Variantenform 1	Variantenform 3	Variantenform 4
Ø Teller in mm	30	30	30	30
Schafthöhe in mm	16	16	16	16
Tellerwinkel in Grad	-	30	45	-
Berechnete rel. Auszugskraft in %	100	111	120	100
Auszugskraft in kN	7,8	8,1	8,4	7,6
Ermittelte rel. Auszugskraft in %	100	104	107	97

Die Ergebnisse der experimentellen Auszugsversuche in 0°-Richtung sind exemplarisch in Tab. 2 dargestellt. Hierbei zeigen die Inserts der Variantenform 3 mit kegeligen Tellerformen (siehe Tab. 2, Spalte 2 und 3) mit 8,1 bzw. 8,4 kN signifikant höhere Auszugskräfte im Vergleich zum Referenzinsert (vgl. Tab. 2, Spalte 1). Mit 104 % bzw. 107 % relativer Auszugskräfte wurden innerhalb der experimentellen Untersuchungen analoge Ergebnisse im Vergleich zu den vorausberechneten Auszugskräften ermittelt. Auch die 97 % ermittelte relative Auszugskraft der Variantenform 4 (vgl. Tab. 2, Spalte 4) zeigt eine gute Übereinstimmung mit den berechneten 100 % Auszugskraft im Vergleich zur Referenz. Aus den Ergebnissen der Auszugsversuche wird deutlich, dass das erstellte Berechnungsmodell eine exakte Vorauslegung der Inserts anhand relativer Auszugskräfte gestattet, wodurch der Versuchsaufwand minimiert wird und geeignete Insertgeometrien ausgelegt werden können.

Umsetzung im Fertigungsbetrieb

Insgesamt besteht die Fassadenverkleidung aus 1619 dreidimensional geformten Betonelementen und 137 plattenförmigen Bauteilen, wobei diese aus mehreren unterschiedlichen Typen zusammengesetzt sind. Die Betongießwerkzeuge wurden hinsichtlich der Formgebungstechnologie des Betons und den Anforderungen an die Oberflächengestaltung der Fassadenelemente konzipiert. Ferner wirkten sich die benötigten Stückzahlen der Fassadenelemente und die damit verbundenen Standzeiten der Schalungen auf das Schalungskonzept aus. In Bezug zu dem Wiederholungsgrad an gleichen Betonelementen kamen aus ökonomischen Aspekten zwei Materialien für den Bau der Formen zum Einsatz. Bei Fassadenelementen mit hohem Wiederholungsgrad wurden die Formen aus glasfaserverstärktem Kunststoff gefertigt (Abb. 3, links oben) da hier Standzeiten von 150 Abformungen und

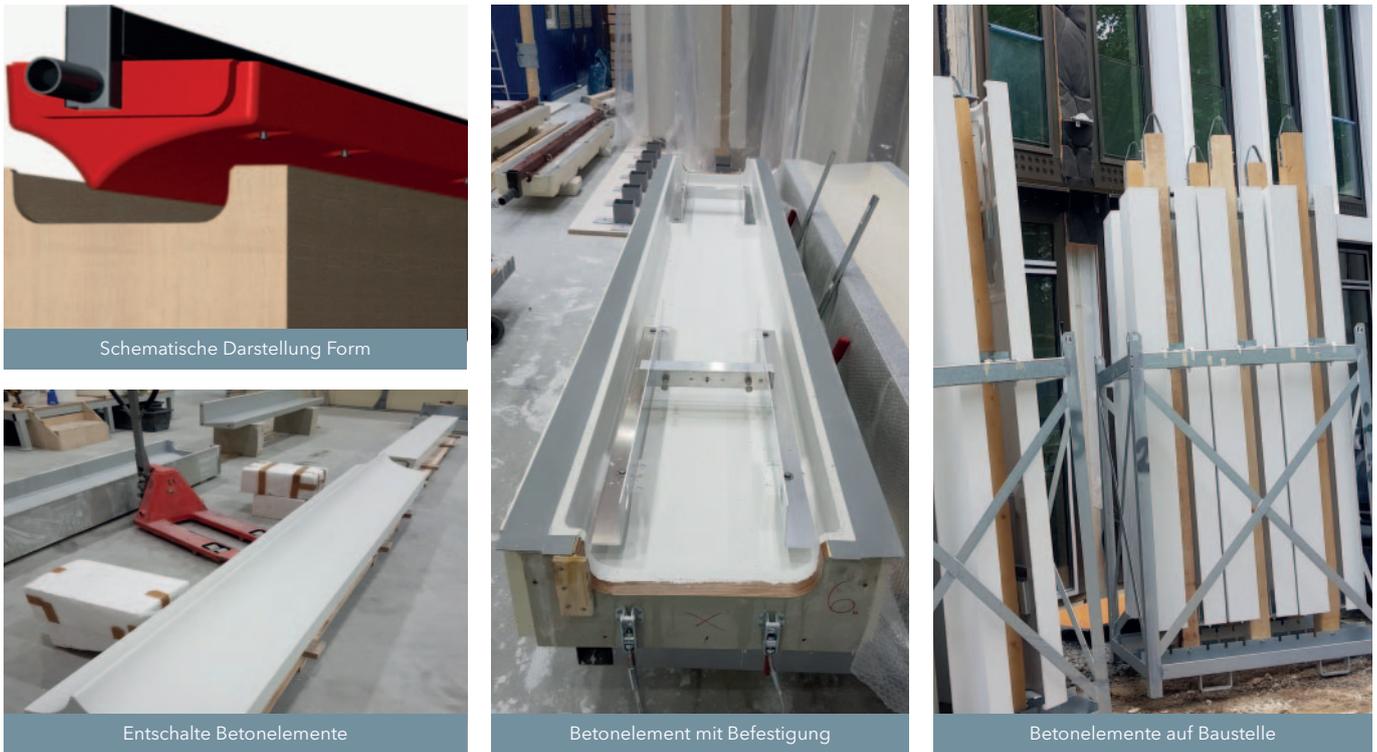


Abb. 3: Bautechnische Umsetzung

mehr umsetzbar sind. Für geringere Stückzahlen wurden die Formen aus weniger kostenintensiven Holzwerkstoffen hergestellt. Für die notwendige Nachbehandlung und Lagerung sowie den sicheren Transport auf die Baustelle wurden die Betonelemente auf speziell entwickelten Gestellen befestigt (Abb. 3, rechtes Bild). Auf der Baustelle erfolgte die fachgerechte Montage der Fassadenelemente.

In Abb. 4 ist ein bereits fertiggestellter Bauabschnitt dargestellt.

Zusammenfassung

Im Zuge des Neubaus des Kaiser Hofes in Köln erfolgte die Fassadenverkleidung aus freigeformten Elementen aus faserver-



Abb. 4: Baufortschritt (Stand: Juni 2018)

stärktem Architekturbeton. Zur Anwendung kam der neue Glasfaserbeton BetoLamina-Cast, der neben sehr guten mechanischen Eigenschaften und der hervorragenden Dauerhaftigkeit eine exzellente Sichtbetonqualität aufzeigt. Der entwickelte Glasfaserbeton weicht von den Bestimmungen der DIN EN 206-1 und der DIN 1045-2 hinsichtlich der Mindestanforderungen an das Größtkorn ($x > 4 \text{ mm}$) ab, womit dieser bauordnungsrechtlich nicht geregelt war. Die in die Betonfertigteile eingelassenen Innengewindehülsen zur Befestigung an der objektspezifischen Unterkonstruktion wurden von der DIN 18516-5 sowie der dort zitierten DIN 18516-3 nicht abgedeckt. Insofern war die Befestigung der Betonfertigteile über die eingelassenen Innengewindehülsen ebenfalls nicht bauordnungsrechtlich geregelt. Demzufolge handelte es sich um eine nicht geregelte Bauart, für die der bauordnungsrechtliche Verwendbarkeitsnachweis der Zustimmung im Einzelfall erforderlich war. Anhand der anwendungsorientierten Entwicklung und Untersuchung des Fassadensystems seitens des Steinbeis-Innovationszentrum FiberCrete in Chemnitz, konnte eine Zustimmung im Einzelfall erlangt werden. Dieses Projekt wurde gemeinsam von folgenden Partnern im „Firmenverbund Arbeitsgemeinschaft Faserbetonfassaden Kaiser Hof Köln“ entwickelt: Steinbeis-Innovationszentrum FiberCrete, Chemnitz, Fiber-Tech Products GmbH, Chemnitz und Medicke Metallbau GmbH, Glauchau. ■



Abb. 5: Detail der Fassade (Juni 2018)

WEITERE INFORMATIONEN

Steinbeis-Innovationszentrum FiberCrete

www.fibercrete.de

Fiber-Tech Products GmbH

www.fiber-tech.de

Medicke Metallbau GmbH

www.medicke.de