

In-Process Crack Detection during the Cold Forging of Steels

In cold forging processes, the testing of parts with safety-relevant properties is frequently

performed as a 100 per cent inspection. Due to the limited accessibility of the part during the process, quality control is usually carried out only after the manufacturing operations. This subsequent inspection of the forged workpieces is often highly time-consuming, however. One solution is to use acoustic emission (AE) technology, which is a nondestructive testing method for in-process monitoring during forging.

In-Prozess Risserkennung in der Kaltmassivumformung von Stahlwerkstoffen

Dipl.-Ing. Christian Buse,
Dipl.-Wirtsch.-Ing. Adrian Santangelo und
Prof. Dr.-Ing. Bernd-Arno Behrens, Hannover

In der Kaltmassivumformung erfolgt die Prüfung von Bauteilen mit sicherheitskritischen Merkmalen häufig als 100%-Prüfung. Die notwendige Qualitätskontrolle der Bauteile erfolgt aufgrund der während des Prozesses mangelnden Bauteilzugänglichkeit üblicherweise erst im Anschluss an den Fertigungsprozess. Das nachträgliche Prüfen der umgeformten Werkstücke erfordert allerdings vielfach einen hohen zeitlichen Aufwand. Unterstützung soll hier der Einsatz der Schallemissions-technik (SE-Technik) liefern, einem zerstörungsfreien Prüfverfahren zur In-Prozess Überwachung während der Materialumformung.

Einleitung

Die Kaltmassivumformung eignet sich besonders in der Großserienproduktion zur Herstellung eines vielfältigen Teilespektrums mit hohem Qualitätsanspruch. Hierbei werden vor allem Stahlwerkstoffe eingesetzt, die sich nach der Kaltumformung durch eine sehr hohe mechanische Belastbarkeit und eine hochwertige Oberflächenbeschaffenheit auszeichnen. Aus diesem Grund kommen kalt umgeformte Stahlteile häufig dort zum Einsatz, wo Bauteile einer großen statischen und dynamischen Belastung ausgesetzt sind [1].

In der Produktionsphase dieser kalt umgeformten Bauteile kann es zu Fertigungs- ausfällen bedingt durch Werkstückschädigungen kommen, welche die Wirtschaftlichkeit der Produktion herabsetzen. Aufgrund der fehlenden Werkstückerwärmung vor der Umformung ist das Formänderungsvermögen der eingesetzten Werkstoffe eingeschränkt. Dies kann bei Überschreiten des Grenzformänderungsvermögens zu einer möglichen Rissinitiierung im Werkstück führen. Die Rissbildung hat zur Folge, dass Bauteile nicht mehr das erforderliche Einsatzverhalten auf-

weisen. Gleichzeitig sorgen die hohen Fließspannungen der Werkstückwerkstoffe in Verbindung mit der abhängig vom Umformgrad zunehmenden Kaltverfestigung zu einer erhöhten Werkzeugbelastung. Risse während des Kaltumformprozesses können auch durch Oberflächenfehler im Halbzeug, wie zum Beispiel über Walzungen oder randnahe Schlacken, ausgelöst werden.

Die Qualitätskontrolle kalt umgeformter Bauteile hinsichtlich durch Materialversagen hervorgerufener Bauteilfehler erfolgt auf-

grund der während des Prozesses mangelnden Bauteilzugänglichkeit sowie der zur Prüfung erforderlichen Zeitspanne zumeist nach der Fertigung. Oftmals verstreicht relativ viel Zeit zwischen dem Auftreten einerseits sowie dem Erkennen und Nacharbeiten von Fehlern im Prozess andererseits, sodass die Produktion vermehrter Ausschussteile in diesen Fällen nicht rechtzeitig verhindert werden kann [2].

Zur Sicherung der Qualität von kalt umgeformten Bauteilen ergibt sich daher eine zwingende Notwendigkeit von direkten, schnelleren und genaueren Prüfverfahren sowie Bewertungskriterien, um auftretende Bauteilschädigungen online beziehungsweise während des Kaltumformprozesses detektieren und analysieren zu können.

Methodischer Ansatz

Mit der Zielsetzung, eine Methode zur In-Prozess-Überwachung von Kaltumformprozessen zur Verfügung zu stellen, wurde der Zusammenhang von Schädigungen während der Umformung und den daraus resultierenden gemessenen Schallemissionen untersucht. Die Auslegung der Messkette und Identifikation geeigneter Aufnahmeparameter hinsichtlich der Prozessrandbedingungen sowie der Aufbau eines neuen und kostengünstigen Demonstrators auf Basis der SE-Technik wurden ebenfalls vorgenommen. Im Fokus stand die eindeutige Identifikation der Rissentstehung und -ausbreitung im Bauteil während der Materialumformung.

Der Einsatz der Schallemissionstechnik ermöglicht es, die entstehende, spontane Freisetzung von Energie in Form von elastischen Wellen zu messen, die aus der Bauteilbelastung während des Umformprozesses resultiert. Insgesamt lässt sich mit dem Verfahren nicht der Zustand eines Bauteils feststellen, sondern eine Zustandsveränderung, die während der Schädigung aufgenommen wird. So ist eine dynamische, den zeitlichen Verlauf beschreibende Analyse der Schädigung möglich. Als ein passives, zerstörungsfreies Verfahren, welches keine direkte Zugänglichkeit des Sensors zum Bauteil erfordert, eignet sich die SE-Technik zur integralen Überwachung von Prozessabweichungen bei Massivumformprozessen [3-5].

Experimentelle Untersuchungen im industriellen Umfeld

Zur Qualifizierung des SE-Einsatzes im industriellen Produktionsumfeld wurde ein Kaltmassivumformprozess zur Herstellung von Antriebswellen für die Kraftfahrzeugindustrie aus dem Einsatzstahl 20MnCr5 untersucht. MnCr-legierte Einsatzstähle werden überwiegend für verschleißbeanspruchte Bauteile mit hoher Kernfestigkeit, wie beispielsweise Wellen, Steuerungs- und Getriebeteile sowie Nockenwellen eingesetzt.

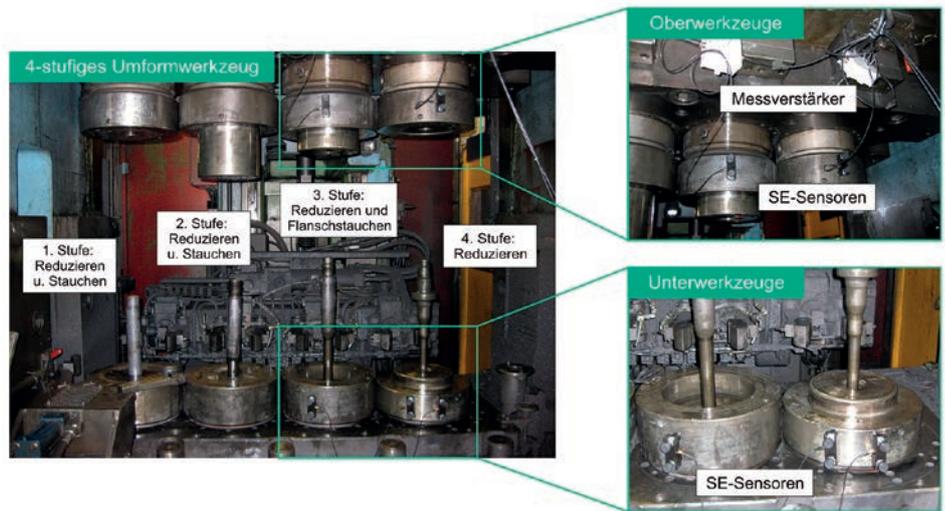


Bild 1: Versuchsaufbau zur Überwachung eines industriellen, mehrstufigen Kaltmassivumformprozesses mit SE-Technik.

In vier aufeinanderfolgenden Umformstufen werden die Bauteile auf einer hydraulischen Presse mit einer maximalen Presskraft von 20.000 kN gefertigt. Der zugehörige Versuchsaufbau ist in Bild 1 dargestellt.

Um die gemessenen Schallemissionen eindeutig der Materialumformung zuordnen zu können, wurden synchron zu den SE-Daten das Drucksignal aus der Pressenhydraulik und das Wegsignal des Stößels erfasst und gespeichert.

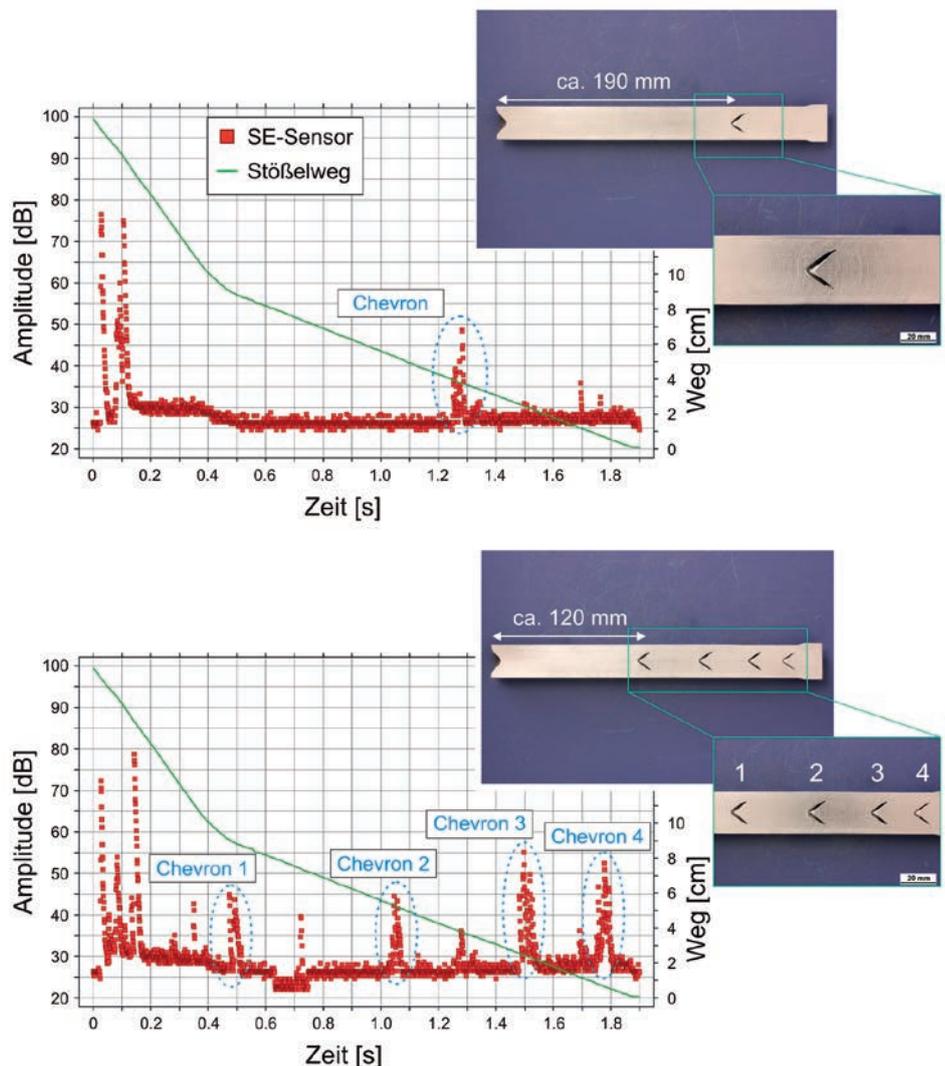


Bild 2: Detektion von Chevron-Rissen durch Auswertung der gemessenen Schallemissionen.

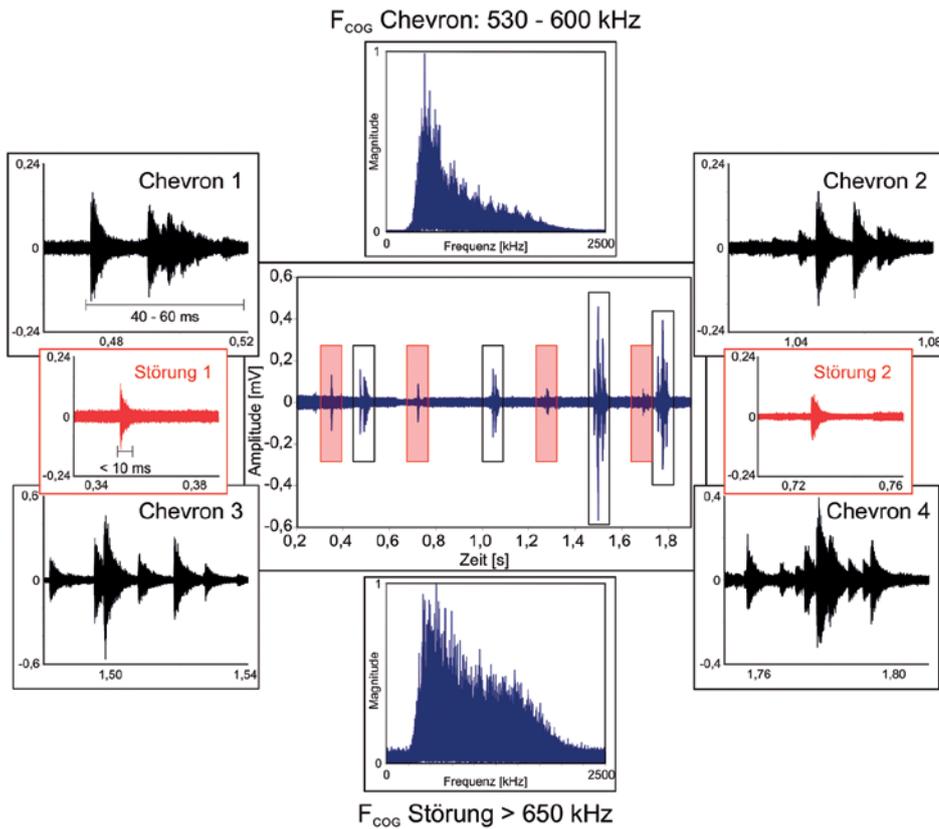


Bild 3: Klassifizierung von Chevron-Rissen und Störgeräuschen.

Während der Umformung können beim Pressen des Wellenflansches in der dritten Umformstufe Schubrisse und in der letzten Reduzierstufe Chevron-Risse (innenliegende, pfeilförmige Risse) auftreten. Aus diesem Grund wurden die letzten beiden Umformstufen mit SE-Sensorik zur Rissdetektion ausgestattet (Bild 1). Im Rahmen dieses Fachbeitrags wird lediglich auf die Detektion von Chevron-Rissen bei fließgepressten Bauteilen eingegangen.

Zur gezielten Rissprovokation während der Umformung wurden die Rohteile im Vorfeld einer gezielten Wärmebehandlung unterzogen, um innerhalb des ferritisch-perlitischen Grundgefüges Bainit zu erzeugen. Die harten bainitischen Gefügebestandteile begünstigen eine Chevronrissbildung.

Um eine zuverlässige Risserkennung gewährleisten zu können, werden Signalverläufe von fehlerfrei umgeformten Bauteilen als Referenz herangezogen. Die Auswertung der aufgezeichneten SE-Signale fehlerfreier Antriebswellen ermöglichte es anschließend, Abweichungen innerhalb des Umformprozesses zu erkennen.

Zur Überprüfung der Bauteile auf innere Schädigungen wurden alle Versuchsteile im Anschluss an die Umformung einer Ultraschallprüfung unterzogen. Informationen über die Schädigung in Form von Art, den Grad sowie die Lage im Bauteil wurden anschließend durch Auffräsen der Bauteile ermittelt.

In Bild 2 sind exemplarisch die Amplituden-

korrelationen über den Weg-Zeit-Verlauf des Stößels für defektbehaftete Antriebswellen in der vierten Umformstufe dargestellt.

Während der Reduzierung in der letzten Umformstufe sind aufgrund von ungünstigen Spannungszuständen Chevron-Risse entstanden [6], die unter mechanischer Belastung zu einer stark verkürzten Lebensdauer der Bauteile führen können und somit zu vermeiden sind. Anhand des gemessenen Stößelwegs und der gemessenen Positionen der Chevron-Risse am Bauteil kann eine eindeutige Zuordnung der SE-Ereignisse zu den einzelnen Schädigungen erfolgen. Auf diese Weise ist überdies eine Verifizierung der detektierten Schädigungsereignisse nach der Umformung möglich. In Bild 2 oben wurde ein markanter Signalausschlag detektiert und entsprechend einem Chevron-Riss zugeordnet, wo hingegen unten im Bild vier Chevron-Risse zu entsprechenden Schallemissionen geführt haben und erkannt werden konnten. Die benachbarten Signalausschläge, beginnend ab zirka 0,3 Sekunden, unterscheiden sich eindeutig von den Schädigungssignalen und sind somit als Störeinflüsse aus der Maschine beziehungsweise Hydraulik einzuordnen. Eine weiterführende Signalanalyse und -klassifizierung, wie in Bild 3 dargestellt, verdeutlicht die Unterschiede in der Wellenform und dem zugehörigen Frequenzspektrum (zum Beispiel Medianfrequenz F_{COG}) von Stör- und Schädigungssignalen.

Entwicklung eines neuen SE-Demonstrators

Parallel zu den durchgeführten Messungen ist ein neuartiger SE-Demonstrator auf Basis eines Breitbandreceivers entwickelt und umgesetzt worden.

Der Aufbau des entwickelten Messsystems ist in Bild 4 gegeben. Die Basis stellt ein Breitbandempfänger (LAN Receiver, vom Hersteller MEDAV) dar. Hierbei handelt es sich um eine kostengünstige Hardwareplattform für Funksignale in einem Frequenzbereich von 100 kHz bis 30 MHz. Bei Verwendung der LAN-Schnittstelle kann eine maximale Signalfrequenz von 500 kHz innerhalb des möglichen Frequenzbereichs erfasst beziehungsweise überwacht werden. Der Receiver ist einseitig für den direkten Anschluss einer Funkantenne ausgelegt. Um den entsprechenden SE-Sensor direkt anschließen zu können, waren einige Änderungen erforderlich: Anpassung der Eingangsimpedanz, Anpassung der Eingangsempfindlichkeit und Bereitstellung der Spannungsversorgung für den Sensor. Hierfür wurde eine Schaltung, die sogenannte Input Adaption, umgesetzt, welche den direkten einkanaligen Anschluss des SE-Sensors für die Risserkennung erlaubt.

Die Funktionalität des neuen SE-Systems sowie die Fähigkeit zur Erkennung von Bauteilschädigungen ist ebenfalls an dem industriellen Kaltumformprozess bestätigt worden. Chevron-

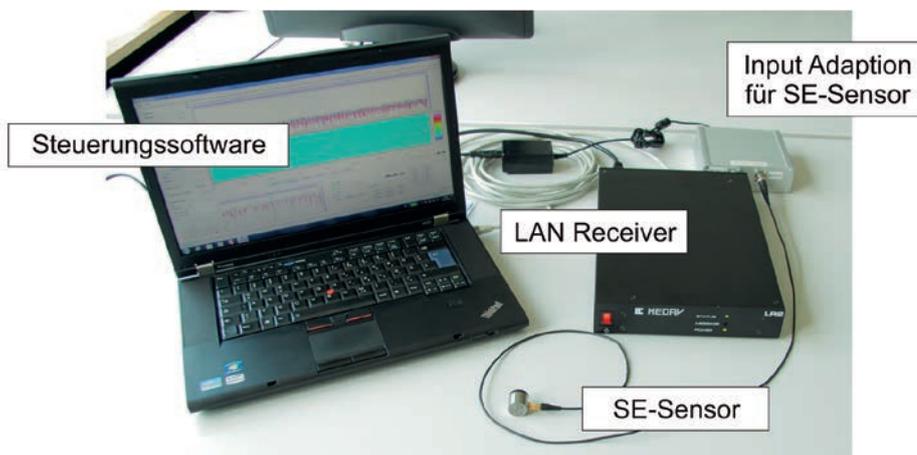


Bild 4: Aufbau und Komponenten des entwickelten, neuen SE-Demonstrators.

Bilder: Autoren

Risse und andere Schädigungen ließen sich auch hiermit während der Umformung verlässlich detektieren.

Zusammenfassung und Ausblick

Die im Rahmen des Forschungsprojekts durchgeführten Untersuchungen zeigen das Potenzial der Schallemissionstechnik zur In-Prozess Risserkennung von Kaltumformprozessen auf. Die durchgeführten Schallemissionsmessungen ergaben, dass die Zuordnung von Schallemissionssignalen zu einer Rissentstehung und -ausbreitung möglich ist. Parallel zu diesen Untersuchungen ist ein neuer SE-Demonstrator auf Basis eines Breitbandreceivers entwickelt und umgesetzt worden. Die Funktionalität des neuen SE-basierten Systems sowie die Fähigkeit zur Erkennung von Bauteilschädigungen ist an einem industriellen Kaltumformprozess bestätigt worden. Chevron-Risse und andere Schädigungen ließen sich während der Umformung reproduzierbar detektieren. Zur Automatisierung und Auswertung des Verfahrens wird zusätzlich ein Prozesssignal (beispielsweise Umformkraft) benötigt, wodurch eine Zuordnung der SE-Daten zur eigentlichen Materialumformung ermöglicht wird.



Dipl.-Ing.
Christian Buse



Dipl.-Wirtsch.-Ing.
Adrian Santangelo



Prof. Dr.-Ing.
Bernd-Arno Behrens

Die SE-Untersuchungen haben auch gezeigt, dass der Einsatz der SE-Methode nicht in allen Fällen zur Prozessüberwachung oder vielmehr zur Risserkennung geeignet ist und wie bei allen akustischen Verfahren die Einflüsse von Störgeräuschen nicht zu vernachlässigen sind. Insbesondere kraftgebundene beziehungsweise hydraulische Pressen erzeugen mitunter starke Störemissionen, die zusätzlich ein sehr stochastisches Verhalten im Auftreten aufweisen. Der Einsatz der SE-Technik ist daher bei weggebundenen Pressen, wie auch die Untersuchungen im industriellen Umfeld gezeigt haben, deutlich zielführender. Um einen Langzeiteinsatz der bisherigen Technologie im Produktionsumfeld zu garantieren, bedarf es einer robusteren Ausführung der Sensorik im Hinblick auf Temperaturbeständigkeit. Zusätzlich muss die Anbringung und Ankopplung beziehungsweise prozesssichere Integration dieser Sensorik direkt in die Umformwerkzeuge hingewiesen werden. ■

Förderhinweis

Das IGF-Vorhaben 16821 N/1 der Forschungsvereinigung Stahlanwendung e. V. (FOSTA), Sohnstraße 65, 40237 Düsseldorf wurde über die AiF im Rahmen des Programms zur Förderung der industriellen Gemeinschaftsforschung und -entwicklung

(IGF) vom Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestags gefördert. Des Weiteren möchten sich die Autoren bei allen beteiligten Industriepartnern für deren engagierten Beitrag bedanken.

Literatur

[1] Hirschvogel, M.; Kettner, P.; Linder, G.; Dahme, M.; Landgrebe, D.; Raedt, H.-W.: Kaltmassivumformung: Präzision in großen Serien. Infostelle Industrieverband Massivumformung e. V., ISBN 3-928726-18-8, 2006.

[2] Beuscher, K.: Moderne Qualitätssicherung in der Gesenkschmiedeindustrie. Konferenz-Einzelbericht: Neuere Entwicklungen in der Massivumformung, Stuttgart, 28.-29.05.1991, S. 277-288.

[3] El-Galy, I.; Pfeiffer, I.; Behrens, B.-A.: Application of acoustic emission to monitor forging processes of magnesium alloys under superimposed hydrostatic pressure. In: Materials Science & Technology Conference and Exhibition, 2009. Warrendale: Association for Iron and Steel Technology, 2009, pp. 2224-2235.

[4] Jayakumar, T.; Mukhopadhyay, C. K.; Venugopal, S.; Mannan, S. L.; Raj, B.: A review of the application of acoustic emission techniques for monitoring forming and grinding processes. In: Journal of Materials Processing Technology 159 (2005), Nr. 1, pp. 48-61.

[5] Behrens, B.-A.; Santangelo, A.; Buse, C.: Acoustic emission technique for online monitoring during cold forging of steel components: a promising approach for online crack detection in metal forming processes. In: Production Engineering 7 (2013), Nr. 4, pp. 423-432.

[6] Avitzur, B.: Analysis of Centre Bursting Defects in Extrusion and Wire Drawing. Journal of Engineering for Industry Vol. 90, No. 1, 1968.

**24 UNTERNEHMEN,
EIN ZIEL...**

**massiver LEICHTBAU
IM AUTOMOBIL**



Kundentagung:
18. + 19. Nov. 2014
Mövenpick Hotel,
Airport Stuttgart

Aktuelle Termine
und weitere Informationen:

www.massiverLEICHTBAU.de

24 Unternehmen aus Massivumformung und Stahlherstellung erarbeiten gemeinsam mit der fka Forschungsgesellschaft

fka Kraftfahrwesen
mbH Aachen die
Leichtbaupotenziale

massivumgeformter Bauteile und die stahlwerkstofflichen Möglichkeiten im Fahrzeugbau. Ziel sind **Gewichtseinsparungen** mit innovativen Komponenten aus Stahl.