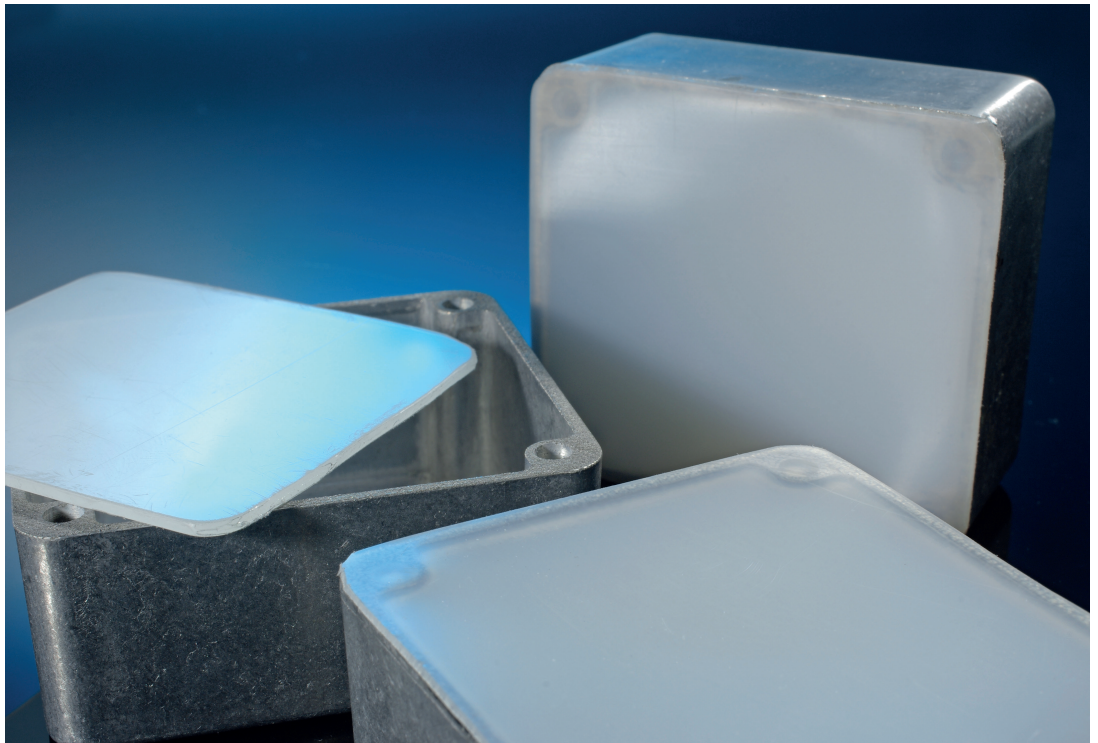


Alternativen zum Kleben und mechanischen Fügen

Thermisches Direktfügen von Kunststoff-Metall-Verbindungen für industrielle Anwendungen

Artungleiche Materialien zu verbinden ist eine besondere Herausforderung für die Fügetechnik. Als Alternative zu den klassischen Fügeverfahren für Hybridbauteile können durch das thermische Direktfügen in Kombination mit geeigneten Oberflächenvorbehandlungen stabile Fügeverbindungen für unterschiedlichste Materialkombinationen erzeugt werden.

Elektronikgehäuse aus Aluminiumdruckguss mit PA-6-Abdeckungen sind ein möglicher Anwendungsfall für das thermische Direktfügen © Fraunhofer ILT



Kunststoff-Metall-Hybridbauteile werden in zahlreichen Branchen wie z.B. der Automobilbranche, der Luft- und Raumfahrt oder der Elektronikbranche vermehrt eingesetzt. Das Verbinden artungleicher Materialien stellt nach wie vor eine besondere Herausforderung für die Fügetechnik dar. Das thermische Direktfügen von thermoplastischen Kunststoffen und Metallen hat sich in den vergangenen Jahren zu einer vielversprechenden Füge-technologie als Alternative zum Kleben oder mechanischen Fügen entwickelt.

Der Fügeprozess gliedert sich dabei in die Prozessschritte der Oberflächenvorbehandlung des metallischen Fügepartners und den thermischen Fügeprozess. Je nach Materialkombination und Anwendungsfall können die verschiedenen Vorbehandlungen und Fügeverfahren die Eigenschaften der Hybridverbindung beeinflussen. Für die Überführung des thermischen Direktfügens in die industrielle Serienanwendung fehlt es derzeit noch an ausreichendem Wissen, wie die verschiedenen Oberflächenvorbehandlungen die Verbundfestigkeit je nach Ma-

terialkombination beeinflussen und wie sich das Alterungsverhalten der Verbindung z.B. bei Temperaturwechseln auf die Verbundfestigkeit auswirkt. Genau diese Einflüsse untersucht das Verbundprojekt AGeD (Untersuchung verschiedener Vorbehandlungs- und Fügemethoden im Hinblick auf das Alterungsverhalten und die Gebrauchseigenschaften beim Thermischen Direktfügen von Metallen und Kunststoffen) des Fraunhofer-Instituts für Lasertechnik ILT und des Instituts für Schweißtechnik und Fügetechnik ISF der RWTH Aachen.

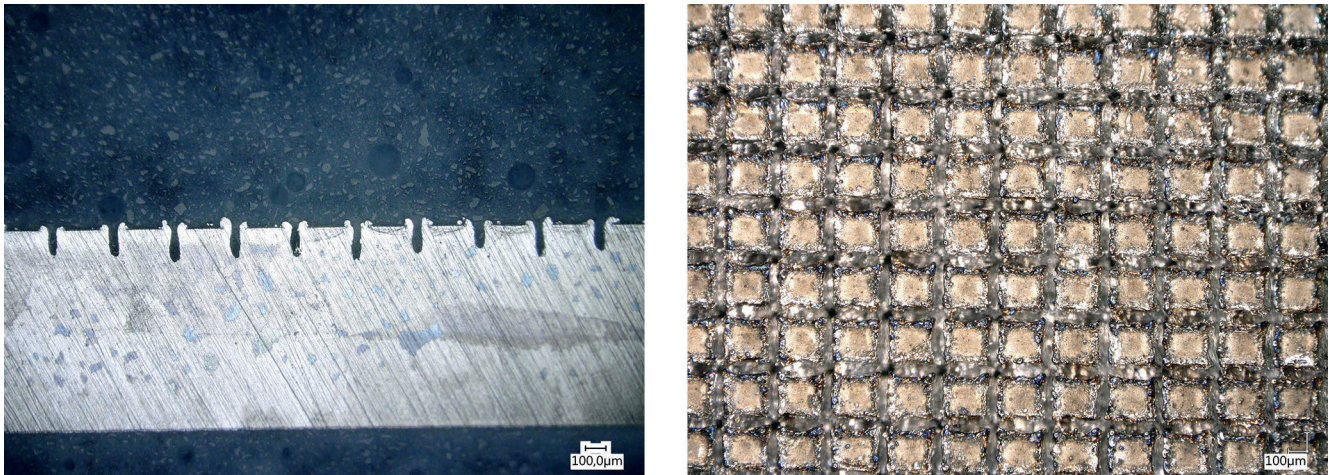


Bild 1. Lasermikrostrukturierte Probe aus DC06-verzinktem Metall im Querschliff (links) und bei der Auflichtaufnahme des Strukturmusters (rechts)

© Fraunhofer ILT

Zusammenspiel aus Oberflächenvorbehandlung und Fügeprozess

Eine geeignete Oberflächenvorbehandlung ist ein entscheidender Faktor, um eine dauerhafte Verbindung zwischen den Fügepartnern beim thermischen Direktfügen zu erzielen. Die Verbundfestigkeit wird durch den energetischen Zustand, die Morphologie, die Geometrie und die chemische Struktur der Oberfläche maßgeblich beeinflusst. Ziel der Oberflächenvorbehandlung ist es, die Oberflächen zu aktivieren bzw. durch geometrische Veränderungen der Oberfläche die Haftung zwischen den Fügepartnern zu erhöhen. Neben chemischen Oberflächenvorbehandlungen wurde in den vergangenen Jahren der Fokus vor allem auf das Korundstrahlen und die Lasermikrostrukturierung zur Erzeugung von Hinterschneidungen der Metalloberfläche gesetzt.

Beim Korundstrahlen wird die Metalloberfläche mit einem Strahlgut bei hohem Druck bestrahlt, um die Oberfläche mithilfe von unregelmäßigen, nicht reproduzierbaren Strukturen aufzurauen. Während beim Korundstrahlen nur in seltenen Fällen Hinterschneidungen entstehen, modifiziert Lasermikrostrukturierung die Metalloberfläche durch Sublimation und Umschmelzen so, dass die Oberfläche vergrößert wird und definierte Hinterschnitte entstehen, die eine mechanische Verkrallung zwischen den Fügepartnern ermöglichen.

Im AGeD-Projekt werden mithilfe eines Singlemode-Faserlasers linienförmige Kavitäten in der Metalloberfläche erzeugt, die einen Hinterschnitt aufweisen.

Dazu wird der Laserstrahl mit einem Laserscanner linear über dem Werkstück abgelenkt. Durch die hohe Intensität der Laserstrahlung wird das Material teilweise verdampft und geschmolzen. Der Dampfdruck treibt die Schmelze aus und diese erstarrt teilweise am Strukturhals. Durch mehrfaches Überfahren der Scankontur bildet sich ein tropfenförmiger Hinterschnitt aus (**Bild 1, links**). Durch gezielte Anordnung der Strukturen und Erhöhung der Strukturdichte, z.B. in einem Kreuzgittermuster (**Bild 1, rechts**), lässt sich die Verbundfestigkeit erhöhen [1].

Zur dauerhaften Verbindung von Kunststoff und Metall im eigentlichen Fügeprozess muss der Thermoplast lokal über die Schmelztemperatur erhitzt werden, um durch Aufbringen eines externen Fügedrucks die Metalloberfläche mit Schmelze zu benetzen und die Oberflächenstrukturen zu füllen. Häufig wird dazu die Metalloberfläche erhitzt und der Kunststoff indirekt über Wärmeleitung aufgeschmolzen. Dafür bieten sich verschiedene Wärmequellen an wie beispielsweise Induktion, Heizelemente oder Laserstrahlung.

Die jeweiligen Fügeverfahren haben ihre spezifischen Vor- und Nachteile, so dass bei der Verfahrensauswahl Prozessanforderungen, Bauteilgeometrie und Materialeigenschaften von großer Bedeutung sind. Beispielsweise ermöglicht das Laserfügen eine flexible Bearbeitung bei kurzen Prozesszeiten, jedoch muss die Zugänglichkeit der Laserstrahlung zur Fügezone gewährleistet sein. Beim Induktionsfügen können auch schlechter zugängliche Bauteile gefügt werden, anderer- »

Die Autorin

Kira van der Straeten, M.Sc., ist Teamleiterin Kunststoffbearbeitung am Fraunhofer-Institut für Lasertechnik ILT, Aachen; kira.van.der.straeten@ilt.fraunhofer.de

Dank

Das IGF-Vorhaben AGeD (IGF-Nr. 20326N) wird gefördert durch das Bundesministerium für Wirtschaft und Energie aufgrund eines Beschlusses des Deutschen Bundestages.

Service

Literatur & Digitalversion

- » Das Literaturverzeichnis und ein PDF des Artikels finden Sie unter www.kunststoffe.de/2020-12

English Version

- » Read the English version of the article in our magazine *Kunststoffe international* or at www.kunststoffe-international.com

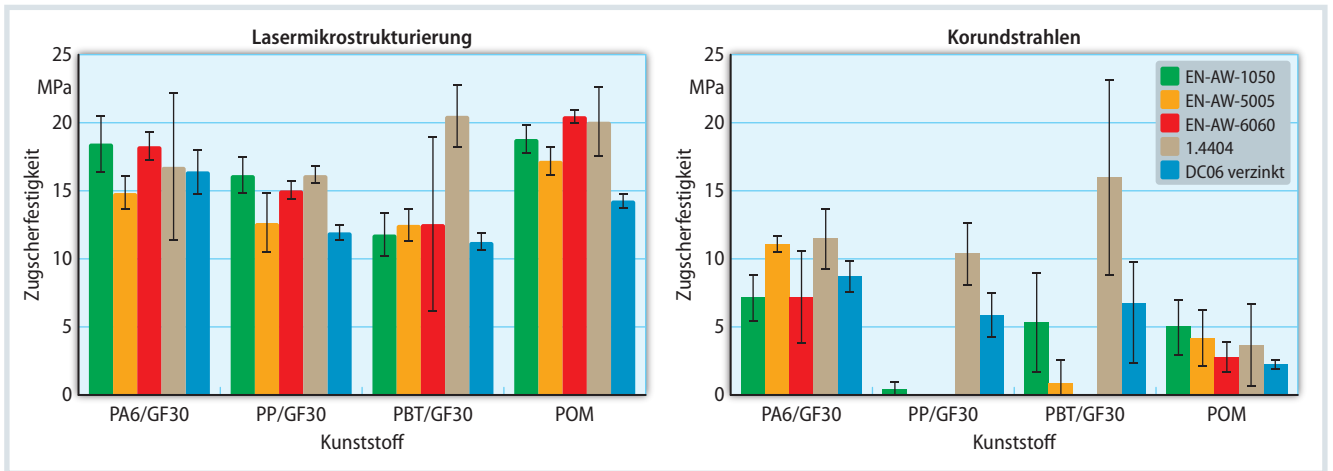
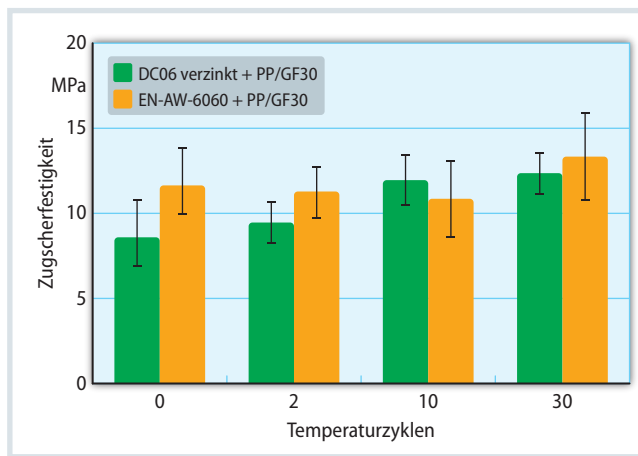


Bild 2. Einfluss der Oberflächenvorbehandlung: Zugshearfestigkeit verschiedener Materialkombinationen nach Lasermikrostrukturierung (links) und Korundstrahlen (rechts) Quelle: Fraunhofer ILT; Grafik: © Hanser

Bild 3. Zugshearfestigkeit der Hybridverbindungen aus glasfaserverstärktem Polypropylen und Stahl (grün) bzw. Aluminium (orange) vor Klimawechseltests und nach unterschiedlich langen Zyklen zwischen 80°C und -40°C

Quelle: Fraunhofer ILT; Grafik: © Hanser



seits sind die Prozesszeiten länger und die Induktoren müssen ggfs. an die Fügezone angepasst und dafür ausgelegt werden. Solange beim Fügeprozess eine vollständige Benetzung der Metalloberfläche und Strukturen mit Kunststoffschmelze gewährleistet ist, sind keine signifikanten Unterschiede der verschiedenen Fügeverfahren zu beobachten.

Materialauswahl beeinflusst die Verbundfestigkeit

Je nach Materialkombination ändern sich die Anforderungen an die Oberflächenvorbehandlung und die vorherrschenden Haftungsmechanismen. Im Rahmen des AGeD-Projekts wurden Proben mit verschiedenen Materialkombinationen aus Metallen (Aluminium und Stahl) und Kunststoffen (PA 6, PP, PBT und POM) bei unterschiedlicher Oberflächenvorbehandlung (Korundstrahlen und Lasermikrostrukturierung) mittels Diodenlaser-

strahlung gefügt und anschließend getestet. Dabei zeigt sich, dass für manche Materialkombinationen schon eine Aufrauung der Oberfläche durch das Korundstrahlen ausreicht, um eine Verbindung zu erzielen (Bild 2). Dies ist u.a. auf die Polarität des Kunststoffs und die Ausbildung spezifischer Adhäsionskräfte zwischen den Fügepartnern zurückzuführen.

Jedoch lassen sich im Allgemeinen durch die Einbringung von reproduzierbaren Hinterschnitten mittels Lasermikrostrukturierung deutlich höhere Verbundfestigkeiten erzielen und auch alle Materialkombinationen miteinander verbinden, unabhängig von der Polarität des Kunststoffs. Dies ist hilfreich, wenn ein möglichst breites Anwendungsfeld für das Verfahren erschlossen werden soll. Zusätzlich ist dies auch vielversprechend für gute Ergebnisse bei Alterungsuntersuchungen, da die mechanische Verkrüftung des Kunststoffs in den Strukturen eine geringere Anfälligkeit der Grenzflächen

gegenüber äußeren Einflüssen vermuten lässt.

Andere Oberflächenvorbehandlungen wie die Bestrahlung mit Atmosphärendruckplasma oder der Einsatz von Haftvermittlern sind nur für wenige Materialkombinationen anwendbar. Die Zugshearfestigkeiten der Hybridverbindung liegen hier deutlich unter den Ergebnissen der Lasermikrostrukturierung.

Klimawechselbeständigkeit des Hybridverbunds

Neben der Wahl geeigneter Verfahren für die Oberflächenvorbehandlung und den Fügeprozess für die jeweilige Materialkombination spielen auch die Einsatzbedingungen eine wichtige Rolle für die spätere industrielle Umsetzung. Durch die unterschiedlichen Wärmeausdehnungskoeffizienten von Kunststoff und Metall können thermisch wechselnde Belastungen einen großen Einfluss auf die Verbundfestigkeit haben.

In ersten Untersuchungen wurden an eine Automobilnorm (VW P1200) angelehnte Klimawechseltests durchgeführt mit Hybridverbindungen aus PP/GF30, gefügt mit laserstrukturiertem Stahl bzw. Aluminium. Dazu wurden die Proben in einem Klimaschrank bei wechselnden Temperaturen zwischen 80°C bei 95% rel. Feuchte und -40°C ausgelagert sowie nach 2, 10 und 30 Zyklen die Verbundfestigkeit geprüft. Die Ergebnisse (Bild 3) zeigen, dass die Verbundfestigkeit der Hybridverbindung durch die Temperaturwechsel nicht signifikant beeinflusst wird. Auch wenn die Ergebnisse nicht auf alle

Materialpaarungen übertragbar sind, bieten sie eine vielversprechende Aussicht für den Einsatz des thermischen Direktfügens in einem breiten Anwendungsfeld.

Fügeverfahren für die Zukunft?

Das thermische Direktfügen stellt bei der Auswahl geeigneter Oberflächenvorbereitungsmethoden und Fügeverfahren eine Alternative zu konventionellen Fügeverfahren wie dem Kleben und Nieten bzw. Schrauben dar. Durch die Erzeugung von Hinterschnitten mittels Lasermikrostrukturierung lassen sich hohe Verbundfestigkeiten nahezu unabhängig von der Materialkombination erzeugen. Aber auch mit einfachen Methoden wie dem Korundstrahlen lassen sich feste Verbindungen für ausgewählte Materialpaarungen erreichen.

Erste Klimawechseltests zeigen vielversprechende Ergebnisse hinsichtlich der Langzeitstabilität der Verbindung. Die Untersuchungen sollen in Zukunft auf weitere Materialkombinationen und unterschiedliche Oberflächenvorbereitungsmethoden ausgeweitet werden.

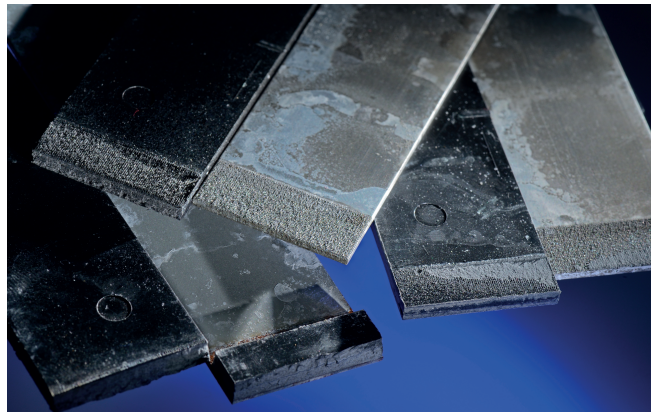


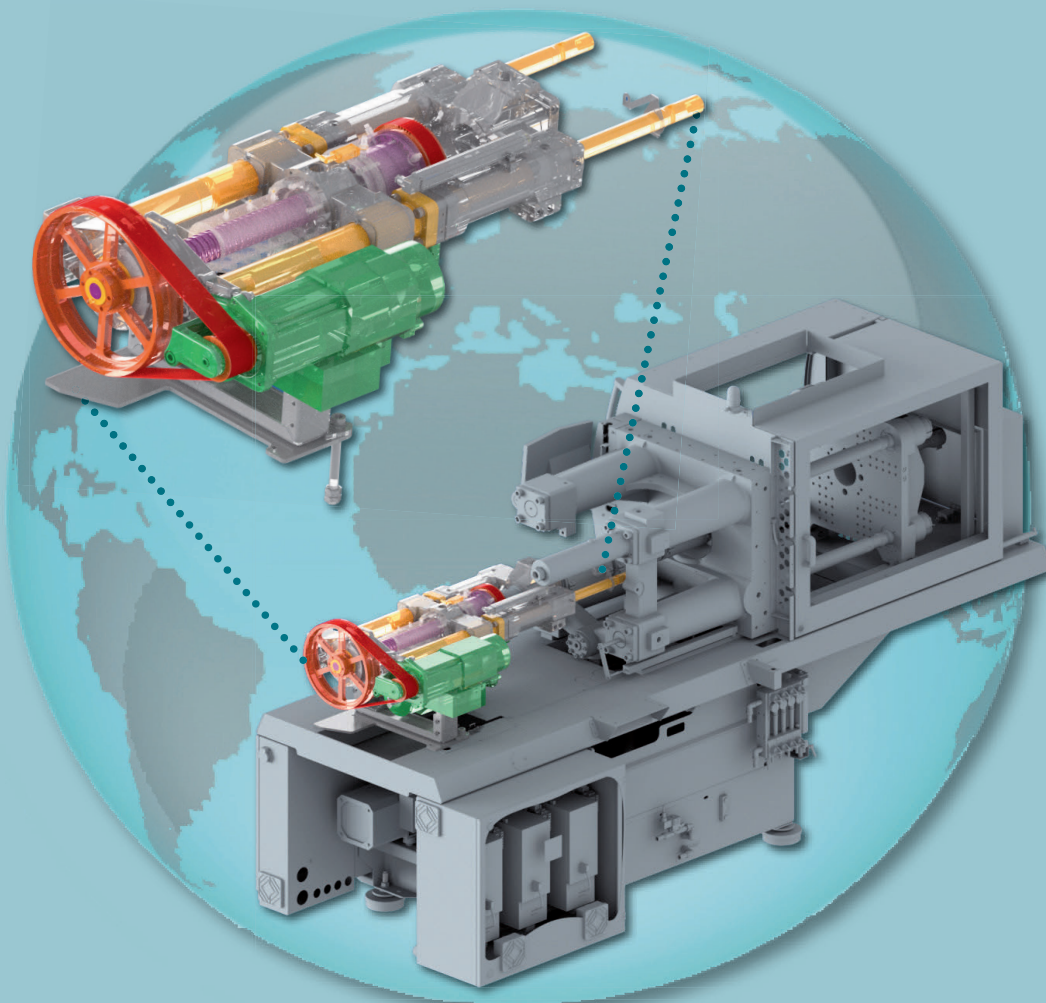
Bild 4. Korrodierte Zugscherproben nach Alterungsuntersuchungen

© Fraunhofer ILT

lungs- und Fügemethoden ausgeweitet werden.

Für Anwendungen im Automobil spielt neben der Temperaturwechselbeständigkeit auch die Korrosionsbeständigkeit der Fügeverbindung eine wichtige Rolle. Die Mediendichtigkeit ist vor allem bei Gehäuseanwendungen z.B. für Elektronikkomponenten von großer Bedeutung. Hierzu sind im Rahmen des Projekts demnächst weitere Untersuchungen geplant, z.B. Korrosionstests gemäß DIN EN

ISO 11997. Um dem Anwender Hilfestellungen bei der Verfahrensauswahl für die jeweilige industrielle Anwendung zu geben, sollen die Projektergebnisse in einen Handlungsempfehlungskatalog überführt werden. Die bisherigen Ergebnisse sind aufgrund hoher Verbundfestigkeiten, guter Langzeitstabilität, schneller Prozesszeiten sowie der hohen Flexibilität bezüglich der Materialauswahl eine gute Ausgangslage für eine rasche Umsetzung in die industrielle Serienfertigung. ■



BOY®

Spritzgiessautomaten

BOY GOES HYBRID



Für die Modellreihen
BOY 60 E – BOY 125 E



E-Drive

www.dr-boy.de