

2 Neuer Lehrstuhl für Gießereitechnik an der Universität Kassel

Vorstellung innovativer Leichtbau- und Forschungskonzepte

Prof. Dr. Martin Fehlbier

2.1 Lehrstuhl für Gießereitechnik an der Universität Kassel – Zentrum für Gussleichtbau und Konstruktion -

Das Fachgebiet für Gießereitechnik-GTK wurde im Oktober 2012 an der Universität Kassel neu gegründet. Unter der Leitung von Univ.-Prof. Dr.-Ing. Martin Fehlbier hat sich mittlerweile ein Forschungs- und Bildungszentrum für Gießereiwesen mit aktuell zehn Mitarbeiterinnen und Mitarbeitern etabliert. Das Fachgebiet Gießereitechnik zählt zum Fachbereich Maschinenbau und ist dort dem Institut für Produktionstechnik und Logistik – IPL zugeordnet. Unter dem Leitfaden „Zentrum für innovativen Gussleichtbau und Konstruktion“ eröffnet die Gießereitechnik jungen Studentinnen und Studenten die Gelegenheit, sich auf dem Gebiet moderner energie- und ressourceneffizienter Werkstoff-, Guss- und Leichtbautechnologien zu vertiefen. Die Lehre umspannt die Bereiche guss- und leichtbaugerechte Konstruktion, virtuelle Produkt- und Prozessentwicklung, Automobil- und Fahrzeugguss, Maschinen- und Anlagenguss bis hin zur Werkstofftechnik und Crashsimulation.

2.2 Forschungsausrichtung

Der aktuelle und zukünftige Schwerpunkt der wissenschaftlichen Ausrichtung in Forschung und Lehre am Fachgebiet Gießereitechnik liegt auf dem Gebiet des innovativen Gussleichtbaus mit einem zusätzlichen konstruktiven Aspekt. Hierzu zählen die Grundlagen der Erstarrung und Gefügebildung, die Charakterisierung von Material-, Prozess- und Gussteileigenschaften, die zielgerichtete Entwicklung neuer Leichtbaugusswerkstoffe und -anwendungen sowie neuer energieeffizienter Gieß- und Fertigungstechnologien bis hin zu deren simulationsgestützter Absicherung und Bewertung.

2.2.1 *Aktuelle und zukünftige Forschungsschwerpunkte*

- Bauteilauslegung
 - Topologie- und Lastfalloptimierung
 - Gewichts- und Spannungsoptimierung
 - hybride, multifunktionale Bauteile / generative Verfahren
- Werkstoffentwicklung
 - Grundlagen der Erstarrung und Gefügebildung
 - Neue Guss-, Form-, Kern- sowie Werkzeugwerkstoffe
 - Werkstoffgradierungen und Beschichtungen
- Prozessentwicklung
 - Gussleichtbau – Optimierung lokaler Bauteileigenschaften
 - Neue Werkzeug-, Kühl- und Sprühkonzepte
 - Intelligente Regelungs- und Temperierkonzepte
 - Messtechnik und Sensorik
 - Rheogießprozesse
 - Energieeffizienz und Stoffströme
- Simulation
 - Bauteilauslegung / guss-, funktions- und belastungsgerechte Konstruktion
 - Prozesssimulation / Bauteilqualität / Verzug
 - Versagensberechnungen (Lebensdauer, Crash, etc.)

2.3 **Ausstattung Fachgebiet Gießereitechnik**

Eine hochmoderne analytische Labor- und Anlagenausstattung gepaart mit modernster Simulations- und Konstruktionstechnik bildet die Grundlage für eine progressive und innovative Forschung. Hierzu gehören u.a. eine 580 t Mg-Warmkammer-Druckgießzelle der Fa. Frech, eine 120 kW Mittelfrequenz-Induktionstiegelofenanlage für die Erschmelzung von Eisen- und Nichteisenwerkstoffen von Otto Junker, eine Idra SSR-Rheogießanlage, ein Fallturm für Crashuntersuchungen sowie zukünftig auch eine ca. 1.400 t Bühler Carat Vakuum-Al/Mg-Kaltkammer-Druckgießzelle, Abbildung 1.

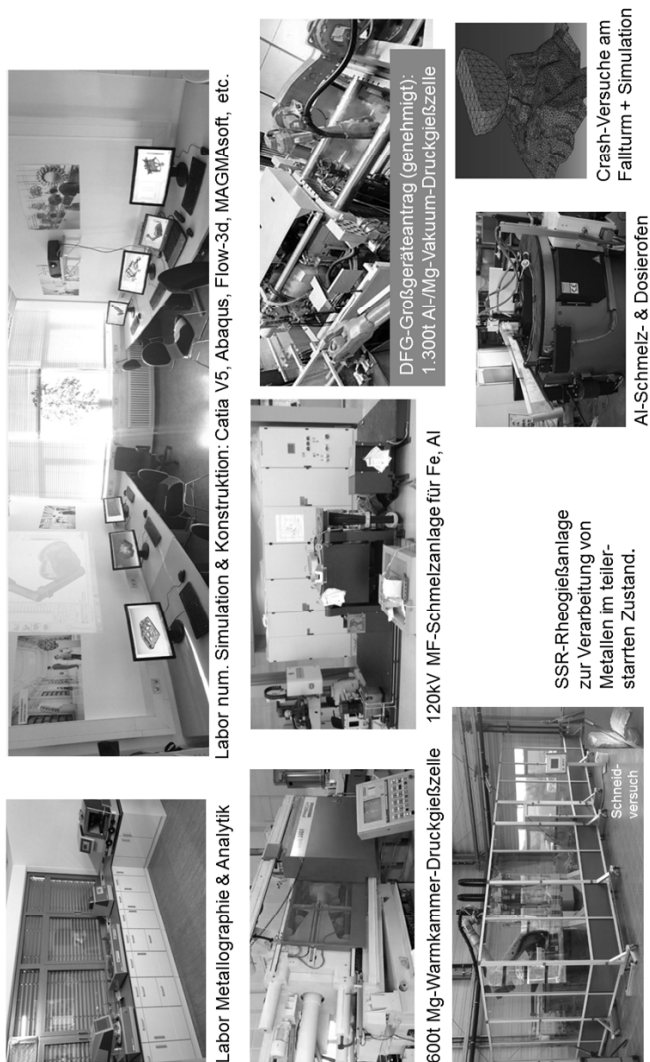


Abbildung 1: Aktuelle Ausstattung im Fachgebiet Gießereitechnik der Universität Kassel. Für nachhaltige Lehre und innovative Forschung steht neben einer Rheogießanlage eine 600 t Mg-Warmkammer-Druckgusszelle der Fa. Frech sowie zukünftig eine 1.400 t Al-/Mg-Vakuum-Druckgießzelle von Bühler zur Verfügung. Darüber hinaus sind hinsichtlich der klassischen Metallographie wie auch für Simulationen umfangreiche Möglichkeiten vorhanden.

2.4 Industrieförderkreis Gießereitechnik

Frei nach dem Motto „Wissenschaft trifft Praxis“ wurde am GTK der „Industrieförderkreis Gießereitechnik – Innovativer Gussleichtbau“ mit aktuell ca. 25 Mitgliedern gegründet. Zielsetzung ist die Etablierung neuartiger Kooperationsbeziehungen zwischen Universität, OEM und Zulieferindustrie, um gemeinschaftlich den wissenschaftlichen Ingenieurnachwuchs, die gezielte Förderung der universitären, gießereibezogenen Hochschulforschung und studentischen Ausbildung sowie die Technologieführerschaft deutscher und europäischer Unternehmen im Gießereisegment langfristig zu sichern und auszubauen. Durch vorwettbewerbliche gemeinschaftliche Forschungsprojekte werden zukunfts-trächtige F&E-Projekte für heute, morgen und übermorgen vorangetrieben, neue Technologien und neue Potentiale erschlossen und Know-how für effiziente und praxisnahe Prozesse generiert.

2.5 Beispiel für den Forschungsschwerpunkt: „Innovativer Gussleichtbau“

2.5.1 *Konstruktive Auslegung von Mg-Strukturbauteilen für Leichtbauanwendungen*

- Motivation: Substitution mehrteilige Stahlkonstruktion durch ein 1-teiliges Mg-Gussbauteil

Die ambitionierten Klimaschutzziele der europäischen Union aus dem Jahr 2007 sehen vor, den Energiebedarf und den Treibhausgasausstoß EU-weit bis zum Jahr 2020 jeweils um 20 Prozent zu senken und zudem den Ausbau des Anteils erneuerbarer Energien auf 20 Prozent des Gesamtenergiebedarfs zu steigern. Um die Senkung der klimaschädlichen Abgase voranzutreiben, wurde vom Europaparlament ein Grenzwert für den CO₂-Ausstoß von 95 g/km für die gesamte Flotte eines Fahrzeugherstellers bis zum Jahr 2021 beschlossen. Werden diese Maximalwerte überschritten, drohen den Herstellern Strafzahlungen von bis zu 4000,- Euro pro Fahrzeug, [Mck13]. Diese Grenzwerte entsprechen einem Verbrauch von 4 Litern Benzin bzw. 3,5 Litern Diesel pro 100 Kilometern, [Kaf13b].

Ein Ansatz der Automobilzulieferer die Klimaziele zu erreichen besteht darin, den Anteil an Elektrofahrzeugen in ihrer Gesamtflotte zu erhöhen und damit den Gesamtausstoß zu senken. Dennoch wird nach aktuellen Prognosen der Anteil an

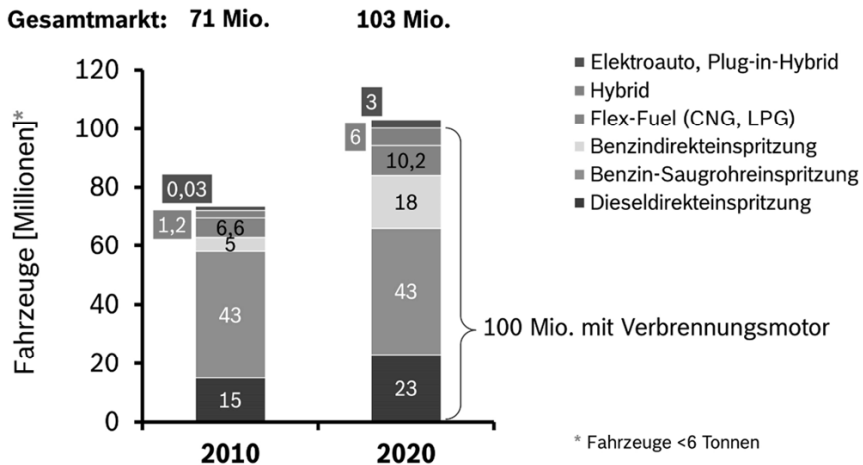


Abbildung 2: Perspektive PKW-Antriebstechniken bis 2020, Bosch 2011

Elektrofahrzeugen, Plug-in, etc. gegenüber dem klassischen Verbrennungsmotor bis 2020 weltweit nur leicht auf 3 Millionen Fahrzeuge zunehmen, während der Anteil an Verbrennungsmotoren im gleichen Zeitraum um 30 Millionen auf über 100 Millionen Fahrzeuge ansteigt, Abbildung 2.

Aus den Zielvorgaben der EU ergeben sich somit deutlich gesteigerte Herausforderungen für den Leichtbau in der PKW-Branche. Um beispielsweise die Zunahme des Fahrzeuggewichtes durch Elektroantriebe zu kompensieren, batteriebetriebene Fahrzeuge wiegen durch das Gewicht der Akkus ca. 250 Kilogramm mehr, muss der Anteil von Leichtbaukomponenten in Fahrzeugen nach einer McKinsey-Studie von 2013 bis 2030 von 30 auf 70 Prozent gesteigert werden, [Mck13]. Durch diese Mehrbelastung des Fahrwerks und der Bremsen müssen diese Komponenten wiederum stärker und somit häufig auch schwerer ausgelegt werden.

Ein Ansatz konsequente Leichtbaukonzepte umzusetzen besteht zum Beispiel in der Substitution mehrteiliger Stahlbauteile durch einteilige Druckgussteile aus Leichtmetallwerkstoffen. Die Zielsetzung der durchgeführten Studie bestand darin, das Potential einteiliger Sitzstrukturen aus Magnesium gegenüber den nach wie vor überwiegend eingesetzten Sitzen aus Stahlblechkonstruktionen zu evaluieren. Zu diesem Zweck wurde die Substitution einer mehrteiligen Sitzrückenlehne aus Stahl durch speziell designte, hochsteife und gewichtsoptimierte einteilige Magnesium-Rückenlehnenstrukturen im Druckguss untersucht. Dabei wurde die Zielrichtung der Studien zum einen hinsichtlich maximalem Leicht-

baupotential und zum anderen hinsichtlich maximal erzielbarer Steifigkeit bei optimiertem Leichtbau ausgerichtet.

2.6 Auslegung und Konstruktion einteiliger Magnesium-Druckgussteile

Eine im Detail nachkonstruierte Originalrückenlehne, Abbildung 3 links, bildet den Ausgangspunkt dieser Forschungsarbeit. Das Bauteil entstammt einem Serienoberklassefahrzeug. Der Sitz wurde in dieser Ausführung als Standardausstattung für die V8 Motorisierung in Leder ausgeliefert und verfügt unter anderem über eine elektrische Kopfstützenverstellung. Die Lehne wurde originalgetreu in ein CAD-Modell überführt. Die Maße der Anschlussstellen zur Kopfstützenaufnahme und zur unteren Sitzstruktur wurden vom Original übernommen, um eine möglichst realistische Simulation durchführen zu können. Die ursprüngliche Stahlblechkonstruktion bestand aus sechs Einzelteilen, wovon vier Teile jeweils gestanzt und anschließend gepresst, über insgesamt sechzehn Schweißnähte gefügt sowie abschließend gereinigt und durch eine Lackierung mit Korrosionsschutz versehen wurden, Abbildung 3 rechts.

Ein erstes Ziel bestand darin Ziel, die 6-teilige Blechrückenlehne für das im Druckgussverfahren in AM60 (EN-MC MgAl6Mn) neu zu konstruieren und auszulegen. Das dadurch entstandene Gussteil soll mindestens den Steifigkeitsanforderungen der gesetzlich vorgegebenen Prüfungen entsprechen. Zu Beginn wurden die Steifigkeitswerte der originalen Blechkonstruktion durch eine entsprechende FEM-Analyse ermittelt, um Referenzwerte zu erhalten. Als Belastungsparameter der FEM-Analyse wurden 890N auf die Kopfstütze entgegen der Fahrtrichtung aufgebracht. Dies entspricht der Kraft, welche das Bauteil mindestens nach der gesetzlich vorgeschriebenen UN/ECE-Prüfung standhalten muss. Falls die Lehne diese Belastung gefahrlos aufnehmen kann, wird die Kraft schrittweise erhöht bis das Versagen durch Rissbildung oder Instabilität im Bauteil eintritt. Analog dazu wurden die FEM-Simulationen mit den Magnesium-Druckgusskonstruktionen durchgeführt.

In den ersten Konstruktionen ging es zunächst darum, eine gießgerechte Geometrie mit den dafür nötigen Auszugschrägen zu erstellen. Die Anschlussstellen zu Sitzstruktur und Kopfstütze sowie die Haken für das Leder und weitere wichtige Aussparungen wurden an den ursprünglichen Stellen der Blechkonstruktion positioniert. Darauf aufbauend wurden Sicken vom oberen Querträger über die Rückwand hinzugefügt, die Kanten der Seitenwände zu den Querträgern ver-

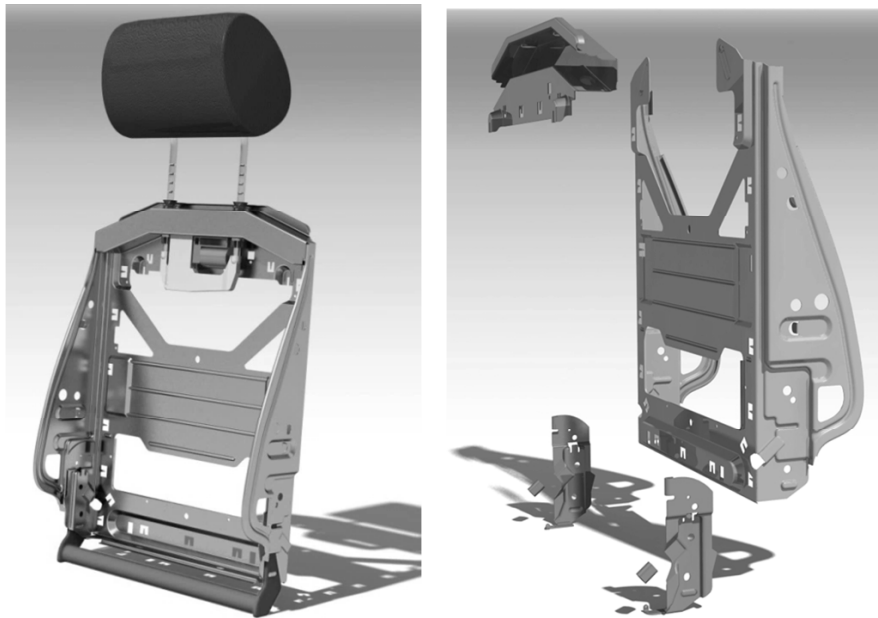


Abbildung 3: Die originale Stahl-Sitzrückenlehnenstruktur bestehend aus 6 Einzelteilen und wiegt 3,25kg.

stärkt und zusätzlich noch auf der Rückseite des Querträgers Rippen eingefügt, Abbildung 4 links. Diese relativ einfachen aber effektiven Maßnahmen lassen die Belastbarkeit gegenüber der Stahlblechkonstruktion (1.188 N) schon weit über den Soll hinaus um 112 % auf 1.520 N ansteigen. Durch diese Änderungen ergibt sich zudem ein 53 % reduziertes Bauteilgewicht von 1,52 kg. Der Vergleich der FEM-Versagenssimulation von Blechlehne mit der Mg-Gusslehne zeigt, dass bei der Belastung von 890 N in der Stahlrückenlehne bereits hohe Spannungsbelastungen vorhanden sind, Abbildung 4 Mitte, während sie in der Magnesium-Druckgussversion allenfalls moderat auftreten, Abbildung 4 rechts.

In weiteren Evolutionsstufen wurden zur Ermittlung der maximalen Festigkeitsauslegung die Gussteile mithilfe von Rippen weiter versteift. Die Grundstruktur des Bauteils, das heißt die Seitenwände und der Querträger wurden zunächst übernommen. Allerdings wurde an den problematischen Stellen Teile der Seitenwand und die Oberkante des Querträgers die Wandstärke von 2 mm auf 3 mm aufgedickt. Eine weitere grundlegende Änderung stellt die Verrippung des ge-

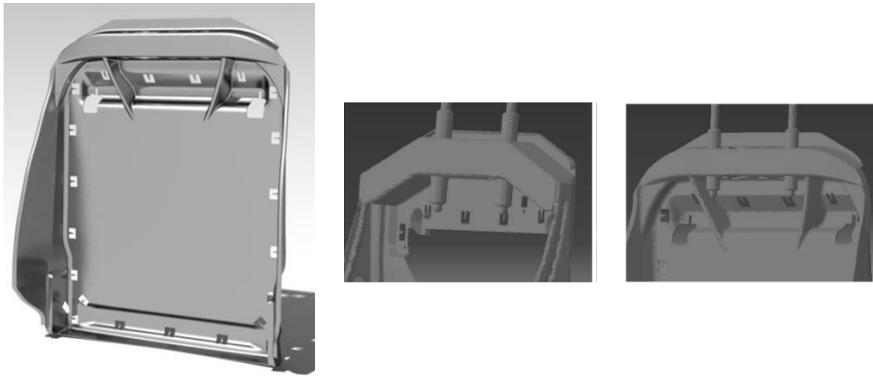


Abbildung 4: Links: Konstruierte Mg-Sitzrückenlehnenstruktur als Druckgussteil (Zwischenstand). Die FEM-Simulation der UN/ECE-Prüfung mit 890 N Belastung auf die Kopfstütze zeigt hierfür bereits eine deutlich höhere Belastbarkeit an (Abbildung rechts) als bei der original Sitzlehne aus Stahl (Abbildung Mitte).

samen Teils auf Vorder- und Rückseite dar, Abbildung 5 – zweite Steifigkeitsoptimierung. Diese Maßnahmen führen zu einer Erhöhung der Steifigkeit um 270 % auf 3.462 N im Vergleich zur ursprünglichen Stahlblechkonstruktion. Das Gewicht stieg dagegen auf 2,23 kg an und liegt damit weiterhin immer noch deutlich unter dem Gewicht der Seriensitzlehne.

Das Mg-Druckgussteil wurde nun in anschließenden Konstruktionsschleifen maximal gewichtsoptimiert ausgelegt. Rippen, welche für einen Kompromiss zwischen Steifigkeit und Gewichtsoptimierung nicht zwingend nötig waren, wurden entfernt. Zudem wurde die Wandstärke trotz ggf. zu erwartender gießtechnisch erforderlicher Anpassungen (Werkzeugtemperierung, etc.) teilweise auf 1 mm reduziert. Gezielt angebrachte Aussparungen verringern das Gewicht zusätzlich. Dadurch konnte eine weitere Gewichtseinsparung von 70 % auf 0,96 kg realisiert werden. Die Belastungsgrenze liegt dabei weiterhin mit 1.246N immer noch weit über dem Zielwert, Abbildung 5 rechts. In Abbildung 5 sind die wesentlichen konstruktiven Ergebnisse dieser Studie mit der Angabe der jeweils maximalen Belastbarkeit und Gewichteinsparung gegenüber der Stahlblechlehne dargestellt.

Referenz Stahlblechlehne	1. Konstruktion	1. Steifigkeits- optimierung	2. Steifigkeits- optimierung	Gewichts- optimierung
				
Fmax = 1.188 N	max 2.520 N + 112 %	max 1.890 N + 59 %	max 3.560 N + 200 %	max 1.246 N + 5 %
m = 3,24 kg	1,52 kg - 53 %	1,45 kg - 55 %	2,23 kg - 31 %	0,96 kg - 70 %

Abbildung 5: Übersicht verschiedener Konstruktionsergebnisse zur Auslegung von Mg-Druckgussteilen bei Optimierung der Steifigkeit bzw. Gewicht und Vergleich gegenüber der Stahlblechrückenlehne, links.

2.7 Zusammenfassung und Diskussion

Die Forschungsstudie zeigt das große und innovative Potential des Gussleichtbaus im Automobilbau auf. Hierbei kommt neben Leichtbauwerkstoffen der gezielten Leichtbaukonstruktion eine hohe Bedeutung zu. Die Zielsetzung, eine bestehende sechsteilige Rückenlehne aus Stahlblech durch ein einteiliges Mg-Druckgussteil bei gleichzeitig erhöhter Steifigkeit und signifikant reduziertem Gewicht zu substituieren, konnte mittels verschiedener Simulationsrechnungen erfolgreich nachgewiesen werden. Es wurden verschiedene Konstruktionskonzepte angewandt, um die Steifigkeit zu erhöhen und das Bauteilgewicht zu reduzieren. Es wurde gezeigt, dass mittels speziell eingebrachter Rippen ein deutlich steiferes Bauteil dargestellt werden kann. Die unterschiedlichen Evolutionsstufen der Lehne wurden mittels der Finite-Elemente-Methode nach der UN/ECE Regelung virtuell geprüft und bewertet.

Die entwickelten Mg-Druckgussteile entsprechen den gesetzlichen Anforderungen und übertreffen diese zum Teil erheblich. Weitere Vorteile einteiliger Gusskomponenten bestehen in einer Verkürzung der Prozesskette durch die optionale Einsparung von Fertigungsschritten, wie Pressen, Stanzen, Schweißen, Reinigen, Lackieren, etc.. Weiterhin ergeben sich dadurch vermutlich auch Einsparungen im Energieverbrauch, ein erhöhtes Recyclingpotential sowie eine gesteigerte Ressourceneffizienz.

Es ist festzuhalten, dass mit dieser Forschungsarbeit eine Leichtbau-Rückenlehne entstanden ist, die die zu Anfang definierten Ziele und Anforderungen übertrifft. Die hier erarbeiteten Ergebnisse zeigen Möglichkeiten auf, mithilfe derer die

Automobilbranche die Gewichtsspirale durchbrechen kann, um den CO₂-Ausstoß weiter zu reduzieren. Finanzielle Aspekte wurden dagegen in dieser Arbeit bislang nicht einbezogen und müssen daher in weiterführenden Arbeiten betrachtet und bewertet werden.

Wissenschaftssymposium Komponente

Ur- und Umformen

Schmall, Th.; Bähr, R.; Fehlbier, M.; Gonter, M. (Hrsg.)

2017, VII, 99 S. 49 Abb., 14 Abb. in Farbe., Softcover

ISBN: 978-3-658-18475-9