

Eigenschaftskriterien von Al-Mg-Si Knetlegierungen für Automobilanwendungen

Aluminium kann im Automobilbereich nicht nur in Rennsportanwendungen gefunden werden, sondern zunehmend auch im Serieneinsatz auf der Straße. Dabei verfolgen die großen Automobilhersteller einen Top-Down Approach. Zuerst werden Neuerungen im Premium-Segment eingeführt. Nachdem diese sich im Praxis-Einsatz dem besonders kritischen Premiumkunden beweisen konnten, werden Leichtbaulösungen bei entsprechender Kosteneffizienz in einer Modellpalette mit höheren Produktionszahlen eingesetzt.

Um den Weg in die Serie zu finden, muss neben dem Kostenfaktor aber eine Vielzahl technischer Anforderungen erfüllt werden, die bei Rennsportanwendungen nur geringe Relevanz hat. So sind in diesem Bereich die langfristige (mehrjährige) Korrosionsresistenz ebenso wenig ein Thema wie effiziente Fügeverfahren, die eine gute Reparierbarkeit bieten.

In seriennahen Rennwagen wie dem Audi TT cup, kommen jedoch Werkstoffe zum

Einsatz, die auch die oben genannten Anforderungen erfüllen und hohe Festigkeiten sowie hervorragende Oberflächenqualität aufweisen.

Besonders wärmebehandelbare Al-Mg-Si Legierungen (6xxx) werden immer öfter in den Automobilanwendungen eingesetzt, da mit diesen Legierungen Lösungen für Leichtbau im Fahrzeug besonders gut umgesetzt werden können. Dazu zählen vor allem die genormten und in der Branche gebräuchlichen Legierungen 6005, 6016, 6013 und 6063 (alternativ dazu oft auch eine 6061). Dabei ist es für Strukturlösungen essentiell, gute Umformbarkeit mit hoher Festigkeit in der Anwendung, exzellente Korrosionsresistenz und Schweißbarkeit zu vereinen^[1]. Für Außenhautanwendungen und dekorative Anwendungen ist darüber hinaus eine perfekte Materialoberfläche des Bleches unabdingbar.

Besonders beim Einsatz in der Karosserie spielt die Aushärtbarkeit des Bleches eine Rolle. Während das Material im T4* Zustand (* steht für schnell aushärtbar^[2])

möglichst gut umformbar sein sollte, um auch markante Strukturen beim Pressen fehlerlos abbilden zu können^[3], sollte es beim nachfolgenden Aushärten beim Kathodischen Tauchlackieren der Fahrzeugkarosserie (KTL) einen signifikanten Festigkeitssprung vollziehen, um so eine steife und hochbelastbare Struktur des Automobils sicher zu stellen.

Diese beiden Eigenschaften verhalten sich jedoch in der Regel indirekt proportional, d.h. steigert man die Festigkeit, büßt man an Umformbarkeit ein und umgekehrt.

Um dieses Verhalten und die Mechanismen dahinter besser verstehen zu können, wurden unterschiedliche Legierungen im industriellen Maßstab produziert und auf das oben erwähnte Anforderungsprofil untersucht.

Tabelle 1 zeigt die Zusammensetzungen mit den dazugehörigen, industriell gebräuchlichen Legierungsnummern. Ein der Zahl vorangestelltes AA bedeutet „Aluminum Alloy“, welche (auch) in der USA genormt ist.



Legierung	Al (wt%)	Si (wt%)	Fe (wt%)	Cu (wt%)	Mn (wt%)	Mg (wt%)	Cr (wt%)	Zn (wt%)	Si/Mg
AA6016	Bal.	1,03	0,17	0,08	0,08	0,32	0,01	0,01	3,2
AA6005A	Bal.	0,81	0,19	0,04	0,17	0,50	0,01	0,01	1,6
AA6063	Bal.	0,64	0,19	0,02	0,02	0,55	0,01	0,02	1,4
AA6013	Bal.	0,75	0,27	0,75	0,50	0,98	0,01	0,02	0,8

Tabelle 1: Beispielhafte Zusammensetzungen unterschiedlicher Legierungsklassen zur Untersuchung auf die Eigenschaftskriterien

Alter	Biegewinkel (°) verschiedener Legierungen			
	AA6016	AA6005A	AA6063	AA6013
1 Monat	156	134	159	84
2 Monate	152	128	155	83
3 Monate	151	126	147	77

Tabelle 2: Biegewinkel für die untersuchten 6xxx Blechlegierungen im Zustand lösungsgeglüht T4* (schnell aushärtend) nach einem bis sechs Monaten

Neben den mechanischen Eigenschaften in den unterschiedlichen T4* und T6* Zuständen (2 % Vordehnung, ausgelagert bei 185 °C für 20 min) wurden auch der r-Wert, die Umformigenschaften (mittels Grenzformänderungskurve, Biegewinkeltest, Erichsen Test, Kreuzformtest), die Oberflächenqualität und das Korrosionsverhalten untersucht.

Besonders interessant dabei ist das Verhalten des Halbzeugs über die Zeit. Bei längeren Lagerzeiten während des Transports oder beim Kunden können sich die Materialeigenschaften wie Festigkeit und Umformbarkeit verändern. Im Allgemeinen wird von den Automobilkunden eine Lagerstabilität von 6 Monaten gewünscht, um trotz Variationen beim Verarbeitungszeitraum gleichmäßige Materialeigenschaften und damit Prozessparameter sicherstellen zu können. Dabei wird ein Eigenschaftskorridor vorgegeben, innerhalb dem das Vormaterial bleiben muss.

Die Abbildungen 1 bis 3 verdeutlichen die Entwicklung der mechanischen Eigenschaften über die Zeit. So zeigt sich, dass die Streckgrenze einer Legierung 6063 durch Kaltauslagern in 6 Monaten um

mehr als ein Viertel zunimmt, während die Festigkeit bei der 6016 nur knapp 12 Prozent steigt, bei einer ähnlichen Festigkeit am Ende des Betrachtungszeitraums. Die Endfestigkeit im warm ausgelagerten Zustand ändert sich deutlich weniger, wie Abbildung 2 zeigt.

Ein Indiz für die Umformbarkeit und die Crash-Performance im Bauteil ist die Dehnung. Auch hier zeigt sich, dass durch eine Stabilisierung des Gefüges auf den T4* Zustand die Werte über einen Zeitraum von 6 Monaten nur sehr gering streuen.

Die Dehnung hat allerdings nur begrenzte Aussagekraft, wenn es um die Umformbarkeit geht. Hier wird oft der Biegewinkel als eine einfache Kenngröße herangezogen. Gut umformbare Bleche haben einen hohen Biegewinkel, weniger gute zeigen schon bei geringen Biegewinkeln Anrisse und Brüche. Tabelle 3 zeigt diese Werte und deren Entwicklung im Zeitraum von 6 Monaten ab Produktion. Während die Legierungen 6016 bzw. 6063 einen guten Biegewinkel haben und dieser sich über die Zeit auch nur geringfügig ändert, zeigt sich bei der Legierung 6013 ein deutlich anderes Bild. Die ohnehin schon geringe Umform-

barkeit dieses Blechmaterials sinkt nach einem halben Jahr um weitere 10 Prozent.

Eine genaue metallographische Analyse ergibt dann auch ein unterschiedliches Bild dieser Legierungen, wie Abbildung 4 zeigt. Während die Porenbildung bei der Legierung 6063 im Inneren des Materials erfolgt, zeigen sich diese bei der Legierung 6013 an der Oberfläche und beschleunigen den Anriss. Die Unterschiede in der Bruchfläche sind ebenfalls deutlich zu sehen, teilweise auch den unterschiedlichen Phasen geschuldet.

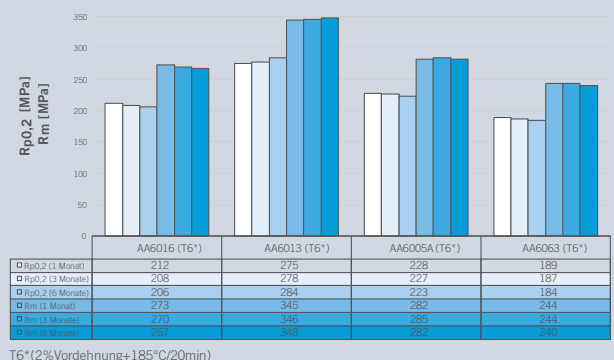
Fazit

Eine Untersuchung typischer Al-Mg-Si-Blechlegierungen für Automobilanwendungen im Hinblick auf die Eigenschaftskriterien, die für die Automobilbranche von entscheidender Bedeutung sind, führt zur Anregung von folgenden Anwendungsvorschlägen:

- Die Legierungen AA6016 und AA6005A zeigen ein ausgewogenes Eigenschaftsprofil für Außenhautanwendungen. Sie weisen eine hervorragende Biegefähigkeit, mittlere Festigkeit im Zustand T4*, hohe Betriebsfestigkeit (T6*), gute Korrosionsbeständigkeit sowie höchste Oberflächenflächenqualität in Bezug auf Roping auf.
- Die Legierung AA6063 eignet sich bestens für dekorative Innenteile, an die höchste Ansprüche hinsichtlich der Umformbarkeit bei hoher Tiefziehbeanspruchung gestellt werden. Durch



Abbildung 1: Streckgrenze $R_{p0,2}$ für die untersuchten 6xxx Blechlegierungen im Zustand lösungsgeglüht T4* (schnell aushärtend) nach einem bis sechs Monaten.



T6* (2% Vordehnung + 185°C/20min)

Abbildung 2: Streckgrenze $R_{p0,2}$ und Zugfestigkeit R_m für die untersuchten 6xxx Blechlegierungen im Zustand lösungsgeglüht und warm ausgelagert T6* (schnell aushärtend) nach einem bis sechs Monaten.

geringfügige, klar definierte Änderungen der chemischen Zusammensetzung und/oder der Herstellroute könnte die Festigkeit dieser Legierung erhöht werden, wodurch sie auch für Außenhautanwendungen geeignet wäre.

- Die hochfeste Legierung AA6013 würde sich für Strukturbauteile, an die nur mittlere Ansprüche hinsichtlich Umformbarkeit gestellt werden, geradezu anbieten; leider ist diese Legierung aufgrund ihres hohen Cu-Gehalts jedoch anfällig für interkristalline Korrosion; diese könnte durch eine spezielle Wärmebehandlung (z.B. 205°C/30 min) auf ein erträgliches Maß verringert werden.
- Der Einfluss einer Lagerung bei Raumtemperatur nach der Herstellung des Blechs ist bei den meisten Eigenschaften nur von geringer Bedeutung. Insbesondere AA6016 weist eine hohe Langzeitlagerstabilität auf. Diese Kriterien wurden für den Einsatz von AA6016, AA6005A, AA6063 und AA6013 in der Automobilbranche unter Berücksichtigung ganzheitlicher Aspekte wie Festigkeitseigenschaften, Umform- und Korrosionsverhalten sowie der im Betrieb erreichbaren Oberflächenqualität erstellt.

Aufgrund des begrenzten Platzes im Alureport sind die hier dargestellten Ergebnisse ein kurzer Auszug einer umfangreichen Veröffentlichung in einem wissenschaftlichen Journal^[4]. Detaillierte Versuchsabläufe und deren Ergebnisse können dort eingesehen werden. ■

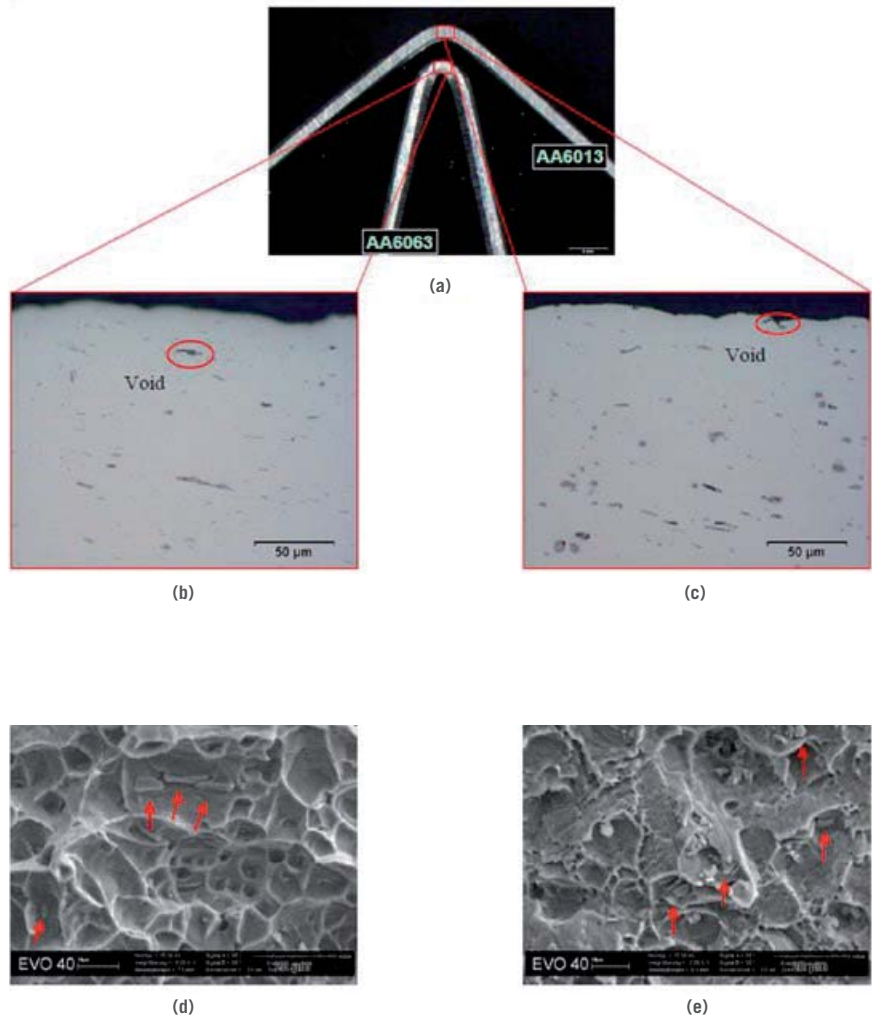


Abbildung 4 a bis e: Gefügeuntersuchungen an gebogenen Proben von 6013 und 6063 (a) mit Prüfung auf Porenentstehung im Material bei der gut umformbaren 6063 (b) und an der Oberfläche bei der weniger gut umformbaren 6013 (c) Zustand lösungsgeglüht T4* (schnell aushärtend). Die Untersuchung der Bruchfläche im Rasterelektronenmikroskop zeigt kleine Al-Fe-Si Phasen in der 6063 (d, rote Pfeile) und Al-Fe-Si-Mn-Cu Phasen (e, rote Pfeile) in der im T4* Zustand festeren 6013.

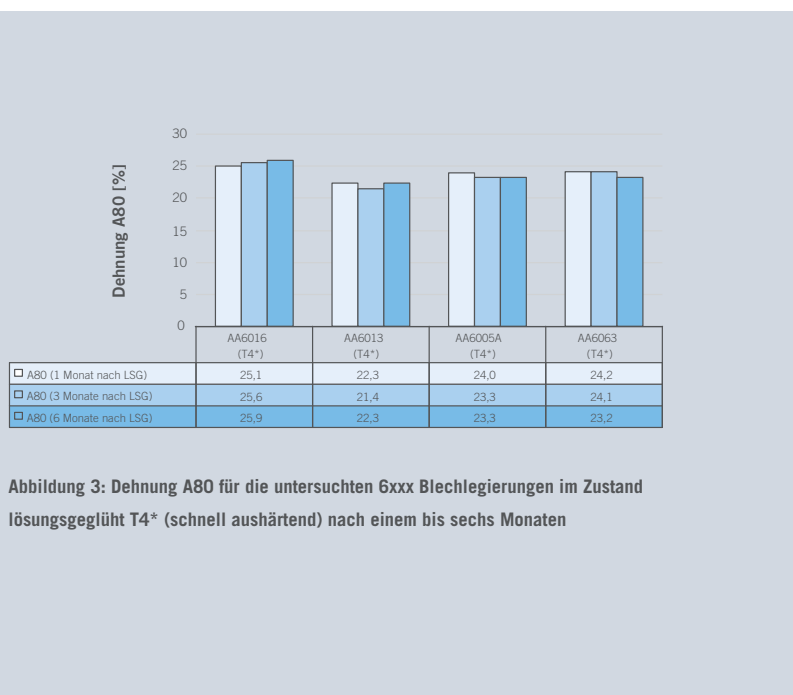


Abbildung 3: Dehnung A80 für die untersuchten 6xxx Blechlegierungen im Zustand lösungsgeglüht T4* (schnell aushärtend) nach einem bis sechs Monaten

LITERATURVERZEICHNIS
 [1] Elend, L.E.; Haverkamp, C. "Materials in Car Body Lightweight Design". In Proceedings of the Materialien im Karosseriebau Automotive Circle International, Bad Nauheim, Germany, 11–12 May 2011, zusätzlich Karosserie-Außenhaut, Alureport 1.2014
 [2] Pogatscher, S.; Antrekowitsch, H.; Leitner, H.; Pöschmann, D.; Zhang, Z.L.; Uggowitzner, P.J. Influence of interrupted quenching on artificial aging of Al-Mg-Si alloys. Acta Mater. 2012, 60, 4496–4505.
 [3] Hecht, J.; Hoffmann, A. „Audi Ultra Strategy - Lightweight Design Technologies in Competition“. In Proceedings of the Materialien im Karosseriebau Automotive Circle International, Bad Nauheim, Germany, 7–8 May 2013.
 [4] Prillhofer, R., et al. „Property Criteria for Automotive Al-Mg-Si Sheet Alloys“. Materials 2014, 7, 5047-5068; doi:10.3390/ma7075047, ISSN 1996-1944, www.mdpi.com/journal/materials