

# Schmiedeteile aus AFP-Stählen

## Erfahrungen bei der Anwendung in Kraftfahrzeugen

Von Gerhard Mäscher und Jens Schmidt, Wolfsburg

**Ausscheidungshärtende ferritisch-perlitische Stähle (AFP-Stähle) gewinnen für die Automobilindustrie zunehmend an Bedeutung. Gefördert wurde die Entwicklung dieser Stähle und der erforderlichen Fertigungsverfahren durch die Konkurrenz mit gegossenen Bauteilen. Der Beitrag erläutert die Kriterien für den Einsatz der AFP-Stähle, beschreibt die zugehörigen Entwicklungsschritte und macht insbesondere deutlich, daß der heutige Entwicklungsstand nur durch eine enge Zusammenarbeit aller Beteiligten erreicht werden konnte.**

### Entwicklung von gesenkgeschmiedeten Bauteilen bei Volkswagen

Gesenkgeschmiedete Bauteile werden in Pkw und leichten Lkw überwiegend im Motor und im Fahrwerk verwendet. Aus der Palette der Motorteile sind für die folgenden Betrachtungen vor allem Kurbelwellen und Pleuel interessant. Beide Bauteile zeichnen sich dadurch aus, daß die mechanischen Belastungen, denen sie durch den Motorbetrieb ausgesetzt werden, aus den möglichen Betriebszuständen der Motoren sehr gut abgeleitet und auch experimentell relativ einfach und genau ermittelt werden können. Die möglichen Betriebszustände und somit auch die möglichen mechanischen Belastungen sind relativ sicher begrenzt.

Die Belastbarkeit dieser Bauteile kann, zum Beispiel in Wöhlerversuchen, einfach und sehr schnell ermittelt werden. Da darüber hinaus umfangreiche Vergleichsdaten für diese Bauteile vorliegen, sind sie für die Optimierung bezüglich Belastbarkeit und Herstellkosten besonders gut geeignet.

Dies ist ein wichtiger Grund dafür, daß in der Volkswagen AG die erste Substitution eines vergüteten Schmiedeteils durch ein Bauteil aus einem mikrolegierten, schmiedeperlitischen Stahl an der Kurbelwelle für den luftgekühlten Boxermotor vorgenommen wurde. Die Serienfertigung dieses Bauteils begann 1972.

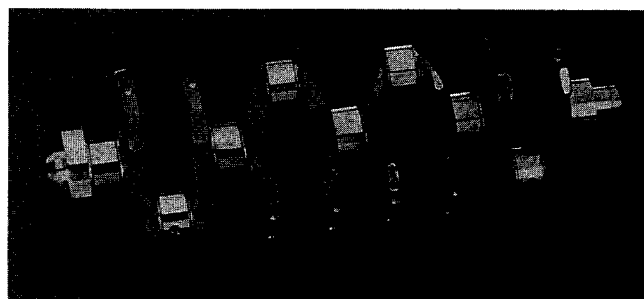
Fahrwerkteile sind dadurch gekennzeichnet, daß die möglichen Belastungen hier nicht so gut bestimmt werden können wie bei den Motorteilen. Die moderne Meßtechnik hat auf diesem Gebiet zwar einen Stand erreicht, der es ermöglicht, relativ einfach und genau die Belastung der Bauteile bei den „üblichen“ Fahrzuständen zu ermitteln. Sehr selten zu erwartende extreme Fahrzustände, die nicht zu einer unmittelbar offenkundigen Schädigung der Bauteile und damit zu deren Austausch durch neue Teile führen würden, lassen sich auf diese Weise bisher jedoch noch nicht ausreichend sicher erfassen und beurteilen. Auf entsprechend aufwendige Fahrversuche kann daher nicht verzichtet werden. Bei VW wurde daher die Substitution von Fahrwerkteilen erst später in Angriff genommen und als erstes Bauteil dieses Bereichs 1981 das Schwenklager des „Golf“ umgestellt.

Für alle hier betrachteten Bauteile gilt, daß ihr Gewicht und ihre Gesamtherstellungskosten minimal sein sollen. Die spezifische Belastbarkeit des Bauteilwerkstoffs

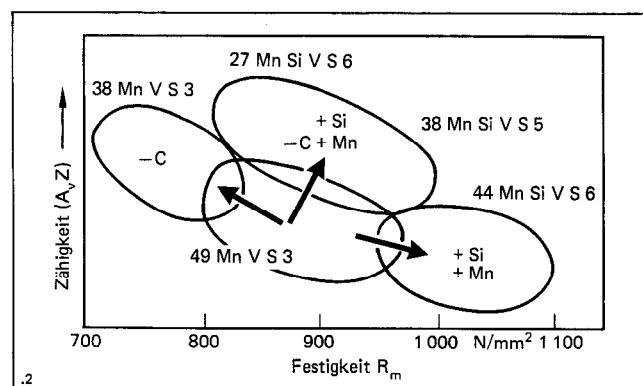
muß daher verbessert werden, ohne daß die Herstellkosten steigen.

Die naheliegende Lösung, die Belastbarkeit durch Verwenden von Werkstoffen mit höherer Zugfestigkeit zu steigern, kann jedoch bei diesen Bauteilen ausgeschlossen werden, wenn die hierfür erforderliche Zugfestigkeit 1000 MPa nennenswert überschreiten müßte. Es ist bekannt [1], daß bei gekerbten Bauteilen mit Formzahlen  $\alpha_k \geq 4$ , wie für viele gesenkgeschmiedete Bauteile typisch, eine Erhöhung der Zugfestigkeit des Bauteilwerkstoffs auf Werte größer 1000 MPa eine nennenswerte Verbesserung der Belastbarkeit schwingend belasteter Bauteile nicht ergibt.

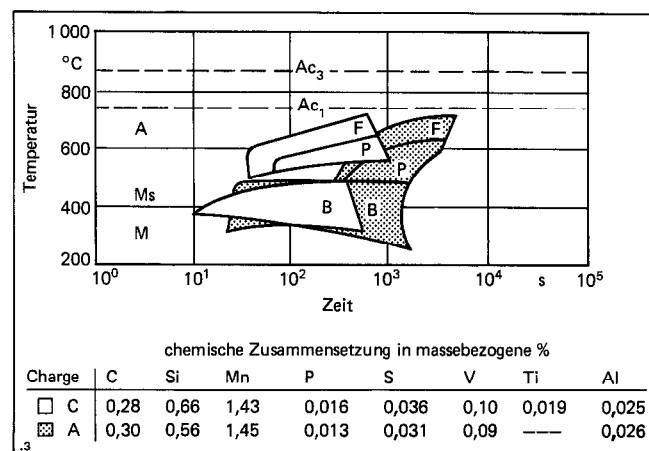
Dagegen ist in diesen Fällen wegen der üblicherweise höheren Werkstoffkosten und der höheren Kosten für die Zerspaltung mit überproportionalen Steigerungen der Gesamtherstellkosten zu rechnen.



**Bild 1. Kurbelwelle 1,8-l-Ottomotor, Masse 15,8 kg.**



**Bild 2. Entwicklungen bei mikrolegierten perlitischen Stählen.**



**Bild 3. ZTU-Schaubild für den Stahl 27 MnSiV 6 mit und ohne Titan.**

Überarbeitete Fassung eines Vortrags, der am 5. 11. 1990 auf der Tagung „Entwicklung bei Schmiedeteilen für den Fahrzeug- und Maschinenbau“ im Haus der Technik in Essen gehalten wurde.

Das Ziel, leichtere, höher belastbare und wirtschaftlichere Bauteile zu entwickeln, ist daher durch Optimierung der Form der Bauteile, der Fertigungsverfahren und der Werkstoffe zu erreichen. Das dafür erforderliche Handwerkszeug steht zur Verfügung. Es kann durch sehr enge Zusammenarbeit zwischen den Unternehmen der Automobilindustrie und den Partnern in der Schmiede-, Stahl- und Gießereindustrie optimal genutzt werden. Dieser Prozeß ist in vollem Gange.

## Entwicklungsschritte und aktuelle Beispiele

Schwerpunkt dieser Veröffentlichung sind die ausscheidungshärtenden ferritisch-perlitischen Stähle (AFP-Stähle). Dabei soll jedoch der Rahmen etwas weiter gespannt werden, so daß auch die unlegierten, schmiedeperlitischen Stähle eingeschlossen werden.

Im Hause Volkswagen begann die Ära der schmiedeperlitischen Stähle mit der Kurbelwelle für den luftgekühlten Boxermotor und dem Stahl 49 MnVS 3. Substituiert wurde der Werkstoff Ck 45, vergütet. Der „mikrolegierte“ Stahl war notwendig, weil außer der Zugfestigkeit, die auch mit einem unlegierten Stahl erreicht werden konnte, für eine Schraubverbindung eine erhöhte Dehngrenze unumgänglich war.

Da diese Forderung bei den Kurbelwellen der wassergekühlten Reihenmotoren nicht mehr bestand, wurde die Entwicklung für diese Bauteile, auch unter dem Druck der Konkurrenz mit den sehr viel kostengünstigeren gegossenen Kurbelwellen, bis zum unlegierten Stahl ähnlich C 50 weitergeführt. Eine beispielhafte Kurbelwelle zeigt **Bild 1**.

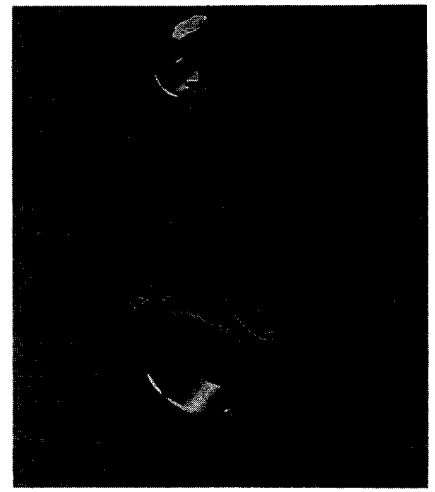
Bedingt durch das relativ grobkörnige Gefüge hatten die Werkstoffe der ersten schmiedeperlitischen Bauteile nur eine geringe Duktilität und Zähigkeit. Dies wirkte sich aber bei den Kurbelwellen nicht nachteilig aus, da an diese Werkstoffeigenschaften, wegen der Art der Belastungen durch den Motorbetrieb, keine hohen Anforderungen gestellt werden.

Die Situation änderte sich jedoch, als die Frage gestellt wurde, ob sich auch das Schwenklager für den „Golf“, das aus Ck 45 hergestellt und vergütet wurde, aus einem schmiedeperlitischen Stahl herstellen läßt. Da dieses Bauteil im Fahrbetrieb auch schlagartigen Belastungen ausgesetzt sein kann, sind hinsichtlich der Zähigkeit dieses Werkstoffs sehr viel höhere Anforderungen zu erfüllen, so daß der Stahl 49 MnVS 3 nicht mehr in Frage kam.

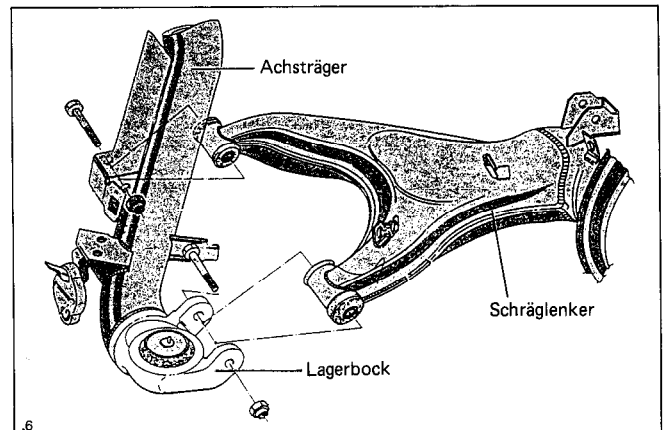
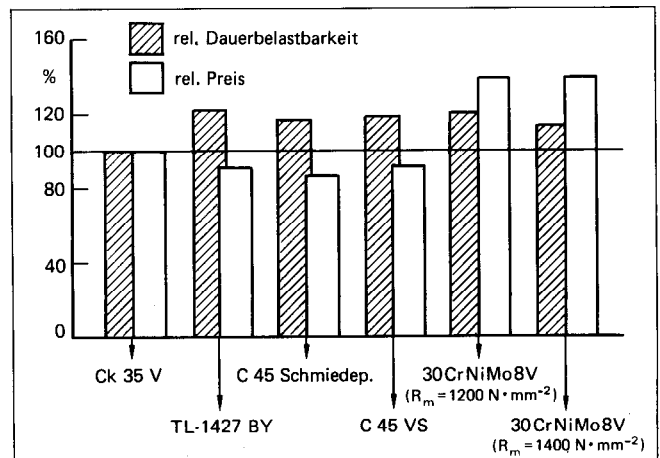
Das Entwicklungsziel wurde erreicht mit einem unlegierten Stahl ähnlich C 35, der bei einer Zugfestigkeit von 730 bis 830 MPa und einer Bruchdehnung  $\geq 45\%$  wegen des höheren Ferritgehaltes im Gefüge und der kleineren Korngröße bessere Duktilität und Zähigkeit aufwies. Maßgebend war in diesem Punkt jedoch eine ausreichende Bauteilzähigkeit. Die kleinere Korngröße wurde durch die Optimierung des Schmiedeprozesses einschließlich der Abkühlung der Bauteile nach dem Schmieden erreicht. Deswegen wird hier von einem „schmiedeperlitischen“ Stahl gesprochen. In Verbindung mit einer gezielten Formoptimierung wurde die erforderliche Belastbarkeit des Bauteils erzielt und in umfangreichen Versuchen nachgewiesen.

Das vergütete Bauteil konnte technisch völlig gleichwertig sehr viel kostengünstiger substituiert werden. Die parallel durchgeführte Entwicklung eines gegossenen Schwenklagers aus schwarzem Temperguß mit Kugelgraphit führte technisch zu einem gleichwertigen Ergebnis. Der verbleibende Kostenvorteil reichte jedoch zum damaligen Zeitpunkt für eine so grundlegende Umstellung nicht aus.

**Bild 4. Pleuel  
1,8-l-Ottomotor,  
Masse 0,89 kg.**



**Bild 5. Vergleich der  
Versuchsvarianten,  
Dauerbelastbarkeit  
und Preis.**



**Bild 6. Hinterachse Passat syncro.**

Der vorläufig letzte Entwicklungsschritt führte zur Entwicklung von AFP-Stählen mit Zugfestigkeiten von 800 bis 1000 MPa und Dehngrenzen von 500 bis 600 MPa, deren Duktilität bis an den vergüteten 34 CrS 4 heranreicht [2; 3]. **Bild 2** zeigt die einzelnen Entwicklungsstufen bei mikrolegierten perlitischen Stählen.

Der Stahl 27 MnSiVS 6 BY erhält seine Festigkeit durch Mischkristallverfestigung (Silicium, Mangan) und durch Ausscheidungshärtung (Vanadium).

Bei den bereits klassischen schmiedeperlitischen Stählen wurde die erforderliche Festigkeit hauptsächlich durch einen höheren Perlitgehalt (Kohlenstoff, Mangan, höhere Abkühlungsgeschwindigkeit) erreicht.

Der Stahl 27 MnSiVS 6 BY ist zum Beispiel geeignet für Achsschenkel, die bisher aus 34 CrS 4 V hergestellt wurden. Er kann ebenso für hochbeanspruchte Pleuel anstelle des bisher verwendeten Ck 35 V eingesetzt werden. Sofern der Stahl zusätzlich mit Titan mikrolegiert wird, ist er auch für das Schmieden mit schnellaufenden Hämmern geeignet. **Bild 3**

zeigt das vorläufige ZTU-Schaubild für den Stahl 27 MnSiVS6 mit und ohne Titan. Durch Zulegieren von Titan werden die Bereiche des Ferrits und Perlits deutlich zu kürzeren Abkühlungsdauern verlagert. Der Zusammenhang zwischen relativer Dauerbelastbarkeit und relativem Rohteilpreis für das in **Bild 4** gezeigte Pleuel wird in **Bild 5** aufgezeigt. Versuche mit einem geschmiedeten Lagerblock, **Bild 6**, aus 16 MnCr 5 V, der durch CO<sub>2</sub>-Schweißung mit einem Lagerrohr verbunden wird, verliefen ebenfalls positiv. Der Stahl bietet somit die Möglichkeit, auch niedriglegierte vergütete Stähle zu ersetzen. Aus der Schweißbarkeit des 27 MnSiVS 6 BY können verschiedene Möglichkeiten zur Bauteiloptimierung abgeleitet werden. So lassen sich zukünftig auch solche Bauteile wirtschaftlich schmieden, die bisher wegen ihrer komplizierten Form überhaupt nicht oder nicht wirtschaftlich geschmiedet werden konnten oder die wegen eines unvermeidlich ungünstigen Werkstoffflusses in den kritischen Bereichen nicht die optimalen Eigenschaften erreichten. Die Entwicklung ist also keineswegs abgeschlossen. Lockende und lohnende Ziele stehen noch aus. So wird bei Volkswagen die Chance gesehen, alle vergüteten gesenkgeschmiedeten Bauteile durch Bauteile aus schmiedeperlitischen Stählen und AFP-Stählen zu ersetzen. Für die aktuellen Modelle wurde dieses Ziel erreicht, **Bild 7**.

Die bisherigen Erfahrungen mit dieser Technik sind uneingeschränkt positiv. Damit soll jedoch nicht gesagt werden, daß die Umstellungen immer reibungslos verliefen. Die Probleme, die aufgetreten sind, zum Beispiel hinsichtlich der Zerspanbarkeit der Werkstoffe, konnten jeweils schnell gelöst werden, in den meisten Fällen bereits während der Entwicklungsphase.

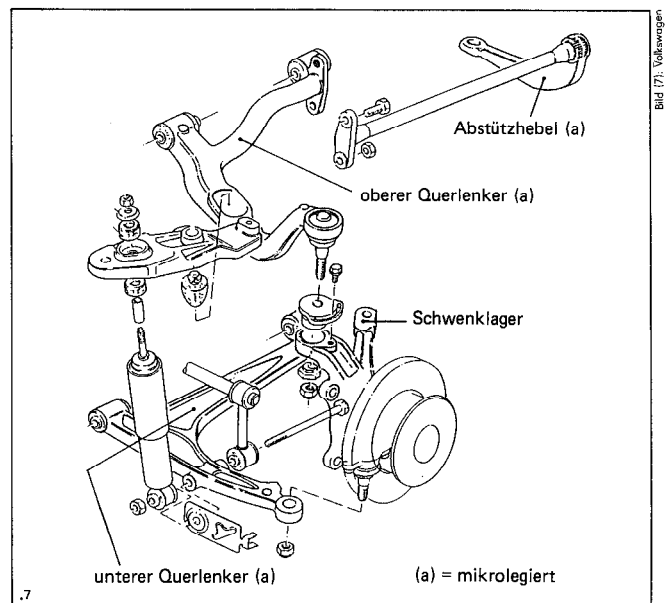
In der laufenden Serie sind nennenswerte Probleme nicht aufgetreten. Dieses Ergebnis spricht uneingeschränkt für die Partner aus der Schmiede- und der Stahlindustrie. Noch wichtiger ist jedoch, daß bei Kunden Ausfälle nicht aufgetreten sind. Da mittlerweile viele Millionen Bauteile aus schmiedeperlitischen Stählen und AFP-Stählen ohne Probleme im Einsatz sind, ist die Leistungsfähigkeit dieser Technik nachhaltig unter Beweis gestellt.

## Konkurrenz zwischen gesenkgeschmiedeten und gegossenen Bauteilen

Die Rohteile vieler der hier angesprochenen Bauteile lassen sich sowohl durch Schmieden als auch durch Gießen herstellen. Typische Beispiele sind Kurbelwellen, Pleuel und Schwenklager. Der Vorteil der Gußteile liegt häufig in der größeren Freiheit bei der Gestaltung der Form der Bauteile und in den oft erheblich niedrigeren Herstellkosten.

Der Vorteil der Schmiedeteile war bisher in der üblicherweise höheren Belastbarkeit der Bauteile, des als sicherer geltenden Fertigungsverfahrens und den sehr umfangreichen Erfahrungen bei der Herstellung hochbeanspruchter Bauteile zu sehen.

In der jüngeren Vergangenheit ist es den führenden Gießereien jedoch gelungen, durch Weiterentwicklung der Gußwerkstoffe, insbesondere der Werkstoffe mit Kugelgraphit, und der Fertigungsverfahren sowie durch beanspruchungs-, gieß- und prüfgerechte Gestaltung bei verschiedenen Bauteilen, die in großen Stückzahlen hergestellt werden, die bisher vorhandenen technischen Nachteile gegenüber den geschmiedeten Bauteilen zu kompensieren [4; 5]. Die zuvor genannten Vorteile der gegossenen Bauteile konnten somit ungeschmälert wirksam werden.



**Bild 7. T4-Vorderachse mit BY-behandelten Schmiedeteilen.**

Durch die Entwicklung der AFP-Stähle in Verbindung mit der kontrollierten Abkühlung aus der Schmiedewärme (BY-Behandlung) ist es aber gelungen, den Kostenvorteil der Gußteile bei einigen Bauteilen soweit zu reduzieren, daß beide Fertigungsverfahren hier wieder echte Alternativen wurden.

Insgesamt hat sich der Wettbewerb zwischen Guß- und Schmiedeteilen äußerst positiv ausgewirkt, weil notwendige Entwicklungen beschleunigt wurden.

Da diese Entwicklungen außer den technischen und qualitativen Vorteilen, die sich für die erzeugten Produkte ergeben haben, kurz- und langfristig zu erheblichen Kostenreduzierungen führen, haben alle Unternehmen, die sich erfolgreich an diesen Entwicklungen beteiligt haben, ihre Wettbewerbsfähigkeit entscheidend verbessert.

Weil die Wettbewerbsposition der einzelnen Unternehmen auf dem technisch zunehmend ausgeglicheneren Welt-Automobilmarkt in wachsendem Maße durch die Kostensituation bestimmt werden wird, ist eine Weiterführung der Entwicklung auch auf dem hier diskutierten Gebiet unerlässlich.

Es wird mittlerweile nicht mehr bestritten, daß auf Märkten mit scharfem Wettbewerb die zulässigen Kosten langfristig von den erzielbaren Preisen bestimmt werden. Die beteiligten Unternehmen aus der Schmiede-, Stahl-, Gießerei- und Automobilindustrie sind sicherlich gut beraten, wenn sie die erforderlichen Entwicklungen mit der gebotenen Konsequenz in einem harten, aber dennoch partnerschaftlichen und fairen Wettbewerb fortführen.

## Zusammenfassung und Ausblick

Seit fast zwanzig Jahren werden mikrolegierte, schmiedeperlitische Stähle und AFP-Stähle im Hause Volkswagen mit großem Erfolg eingesetzt. Diese Entwicklung hat bisher dazu geführt, daß auch niedriglegierte, vergütete Stähle substituiert werden können. Sie diene und dient auch weiterhin dem Ziel, hochbeanspruchte Bauteile durch Optimierung der Werkstoffe und der Fertigungsverfahren bei mindestens gleicher, häufig aber auch höherer Belastbarkeit kostengünstiger herzustellen.

Damit wurden die Wettbewerbsfähigkeit des Werkstoffes Stahl und das Herstellungsverfahren Schmieden gegenüber alternativen Lösungen entscheidend verbessert.

Die Entwicklung ist nicht abgeschlossen. Sie wird weiterverfolgt mit dem Ziel, bei verringertem Gewicht und höherer Belastbarkeit der Bauteile die gesamten Herstellkosten weiter zu reduzieren.

Dieses Ziel wird immer wieder, allerdings nur kurzfristig, erreicht werden, wenn alle beteiligten Unternehmen auch weiterhin konstruktiv, partnerschaftlich und fair im Sinne einer Wertschöpfungsgemeinschaft zusammenarbeiten, damit dem Abnehmer unserer gemeinsamen Arbeit, dem Autokäufer, auf Dauer in jeder Hinsicht wettbewerbsfähige Produkte angeboten werden können.

## Schrifttum

- [1] *Wiegand, H.; Tolasch, G.*: Über das Zusammenwirken einzelner Faktoren zur Steigerung der Biege-wechselfestigkeit einsatzgehärteter Proben. HfM 22 (1967), Nr. 3, S. 213–220.
- [2] *Engineer, S.; Gulden, H.; Klein, H. W.; Schüler, V.*: Entwicklung von mikrolegierten perlitischen Edelbaustählen mit verbesserten Zähigkeitseigenschaften. Proceedings of the Information Day on Microalloyed Engineering Steels. June 30, 1988 — Düsseldorf, Commission of the European Communities.
- [3] *Mäscher, G.; Schmidt, J.; Wolff, J.*: Stahl 27 MnSiVS 6 — alternative Werkstofflösung für duktile Schmiedeteile. HfM 43 (1988), Nr. 3, S. 171–175.
- [4] *Mäscher, G.*: Stand der Anwendung höherfester Stähle im Automobilbau. VDI-Berichte 428, S. 127–135. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1981.
- [5] *Mahnig, F.; Trapp, H. G.; Walter, H.*: Schwing- und Betriebsfestigkeit gegossener Fahrzeugteile. VDI-Berichte 268. Düsseldorf: VDI-Verlag, 1978.

---

## Die Autoren

*Dipl.-Ing. Gerhard Mäscher, Jahrgang 1945, studierte von 1967 bis 1971 an der heutigen Fachhochschule Osnabrück Maschinenbau und Werkstofftechnik. Seit 1971 ist er bei der Volkswagen AG in Wolfsburg im Zentrallaboratorium der Forschung und Entwicklung beschäftigt, seit 1985 als Leiter der Abteilung Metallische Werkstoffe.*

*Dipl.-Ing. Jens Schmidt, Jahrgang 1936, seit 1954 bei Volkswagen, Werkstoffprüfer 1957, Maschinenbautechniker 1959, Leiter der Unterabteilung Werkstoffentwicklung in der Abteilung Metallische Werkstoffe.*

---