

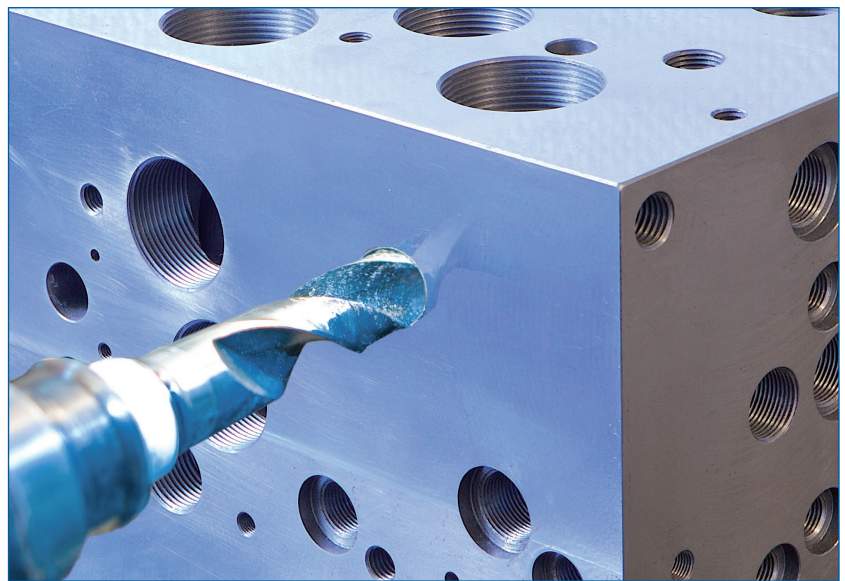
# GOPAG® C 500 F

## Gusswerkstoff für den Maschinenbau mit höherer Festigkeit und Bruchdehnung bei sehr homogener Härteverteilung

### 1 Einleitung

Den Anforderungen der Konstrukteure und der Fertigungstechniker im Bauteil zu entsprechen, ist für den Gießer eine besondere Herausforderung. Durch höhere Festigkeit und Bruchdehnung kann der Konstrukteur ein leichtes Bauteil mit hoher Funktionalität gewährleisten. Diese Materialeigenschaften lassen sich aber in der Regel schlechter oder aufwendiger spangebend bearbeiten und erhöhen die Kosten in der Fertigung oft erheblich.

In der Automobilindustrie wurden durch den Kostendruck schon lange Lösungen implementiert, die den Weg in modifizierte Werkstoffe eingeschlagen haben. So wurde vor ca. 20 Jahren in Schweden mit einem höheren Siliciumgehalt bei Gusseisen mit Kugelgraphit gearbeitet und 1998 gab es die Schwedische Norm SS 140725, in der die Werkstoffe 450-15 und 500-10 aufgeführt wurden. Der hochsilizierte Werkstoff 500-10 fand auch Einzug in die internationale Norm ISO 1083 unter der Bezeichnung ISO1083/JS/500-10. Bei den deutschen Herstellern im Automobilbau wurden Bauteile auf den neuen Werkstoff umgestellt. Die Wege der einzelnen Hersteller waren dabei unterschiedlich und einige ließen sich neue Werkstoffe auch patentieren. Die Basis des Werkstoffs mit höherem Siliciumgehalt ist im neuen Entwurf prEN 1563:2010 für Gusseisen mit Kugelgraphit auch als genormter Werkstoff GJS 500-14 aufgenommen worden. Festigkeit und Bruchdehnung werden ohne teure Legierungselemente verbessert.



In einer Veröffentlichung in der Zeitschrift fluid 6/2010 wurden die Vorteile des Werkstoffs GOPAG® C 500 F an einem Hydraulikblock aus der Sicht eines Anwenders geschildert. So konnte das Vormaterial von Gontermann-Peipers optimal in die vorhandene Prozesskette eingegliedert werden. Die Vorteile durch deutlich schnelleres Bohren, geringeren Werkzeugverschleiß und hohe Prozesssicherheit brachten das Unternehmen Power Hydraulik dazu, diesen neuen Werkstoff GOPAG® C 500 F auch für Hydraulikblöcke mit einem Nenndruck bis 420 bar einzusetzen.



Die Grundlagen für Gusseisen mit Kugelgraphit mit einem höheren Siliciumgehalt und seinem bisherigen Einsatz in der Industrie werden in den nächsten Kapiteln dargestellt.

Prof. Dr.-Ing. habil. Klaus Herfurth, freiberuflicher Ingenieur, Solingen  
Ralf Gorski, Geschäftsführer, Gontermann-Peipers GmbH, Siegen  
Dipl. Ing. Klaus Beute, Projektleiter Behälterfertigung, Gontermann-Peipers GmbH, Siegen  
Marcus Hering, Qualitätsstellenleiter Werk Hain, Gontermann-Peipers GmbH, Siegen

## 2 Erhöhung der Festigkeit bei Gusseisen mit Kugelgraphit durch stärkere Nutzung der Mischkristallverfestigung

### 2.1. Mischkristallverfestigung durch höhere Siliciumgehalte

Die Mischkristallverfestigung ändert die mechanischen Eigenschaften von kristallinen Festkörpern durch den Einbau von Einlagerungs- oder Substitutionsatomen; es bilden sich Einlagerungs- oder Substitutionsmischkristalle. Kristalline Festkörper mit einer Fernordnung der Atome haben eine regelmäßige Kristallstruktur. Werden Fremdatome in die Kristallstruktur ein-

gebaut, so wird das Kristallgitter verzerrt. Atome mit ähnlichem Atomradius nehmen einen Substitutionsplatz im Kristallgitter ein, deutlich kleinere Atome einen Zwischengitterplatz. Die Verzerrung des Kristallgitters behindert die Gleitbewegungen im Kristall. Im Ergebnis dieser im atomaren Bereich ablaufenden Prozesse wird die Festigkeit erhöht und die Plastizität verringert.

Bei den Gusseisenwerkstoffen, den Eisen-Kohlenstoff-Silicium-Legierungen, ist das Silicium im kubisch-raumzentrierten Gitter des  $\alpha$ -Mischkristalls (Ferrit) auf Substitutionsplätzen eingelagert; Siliciumatome ersetzen Eisenatome im Kristallgitter. Der Kohlenstoff befindet sich in den  $\alpha$ -Mischkristallen auf Zwischengitterplätzen.

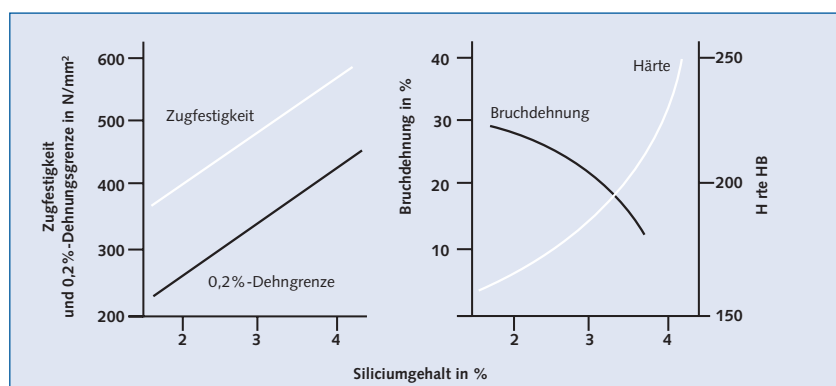
### 2.2. Mischkristallverfestigung bei Gusseisen

Die Mischkristallverfestigung beim Gusseisen mit Kugelgraphit durch Silicium ist eine bekannte Tatsache. **Bild 1** zeigt den Einfluss des Siliciumgehalts auf die mechanischen Eigenschaften von ferritischem Gusseisen mit Kugelgraphit /1/. Mit steigendem Siliciumgehalt nehmen Zugfestigkeit, 0,2%-Dehngrenze und Brinellhärte zu. Die Bruchdehnung verringert sich dagegen. Mit zunehmendem Siliciumgehalt wird die Übergangstemperatur zu höheren Temperaturen verschoben /2/.

Beim Gusseisen mit Kugelgraphit als einem Fe-Si-C-Werkstoff mit einem Siliciumgehalt von ca. 2,6 % kommt die Mischkristallverfestigung als eigenschaftsbildender Mechanismus bereits zum Tragen.

Beim ferritischen Gusseisen mit Kugelgraphit nach EN 1563 werden bei Probenahme aus getrennt gegossenen Probekörpern bei Zugfestigkeiten von 350 bis 400 N/mm<sup>2</sup> Bruchdehnungen von 15 bis 22% erreicht. In Zusammenhang mit der Werkstoffsorte EN-GJS-500-7C mit mindestens 500 N/mm<sup>2</sup> und 7 % Bruchdehnung entstand vor etwa 15 Jahren ein interessanter Gedanke: Diese

Bild 1: Abhängigkeit von Zugfestigkeit, 0,2%-Dehngrenze, Bruchdehnung und Härte bei ferritischem Gusseisen mit Kugelgraphit vom Siliciumgehalt /1/



Gusseisensorte hat eine metallische Grundmatrix aus einem bestimmten Mengenverhältnis von Ferrit und Perlit. Dieses Mischgefüge der metallischen Grundmasse kann in der Produktion nicht immer stabil eingestellt werden. Die Folge ist eine relativ hohe Schwankung der Brinellhärte, die zu Schwierigkeiten bei der spangebenden Bearbeitung führen kann. Es entstanden Entwicklungsarbeiten mit dem Ziel, die Werkstoffsorte EN-GJS-500-7C durch höhere Siliciumgehalte mit einer rein ferritischen Grundmatrix herzustellen, um geringere Schwankungen der Brinellhärte zu erreichen. Durch höhere Siliciumgehalte wird die Perlitbildung

bei der eutektoiden Umwandlung unterdrückt, und es stellt sich eine stärkere Mischkristallverfestigung ein.

Lange Zeit galt eine weitere Mischkristallverfestigung durch höhere Siliciumgehalte wegen der gleichzeitigen Tendenz zur Versprödung als nicht nutzbar. Neuere Untersuchungen /3 bis 7/ zeigen jedoch, dass mit höheren Siliciumgehalten sehr interessante Kombinationen der mechanischen Eigenschaften erreicht werden können. Im Folgenden werden diese Ergebnisse von Forschungs- und Entwicklungsarbeiten dargestellt.

### 2.3. Forschungs- und Entwicklungsarbeiten der jüngeren Vergangenheit (Sandguss)

In Zusammenhang mit der Herstellung von Großgussteilen mit Wanddicken von 60 bis 200 mm sollte eine Gewichtsreduzierung durch eine höherfeste Sorte des Gusseisens mit Kugelgraphit entwickelt werden /4/. Untersucht wurde der Einfluss von Legierungselementen (Cu, Mn, Ni, Mo, Si, Nb), von Impfmitteln und Impfbildung sowie der

Abkühlungsbedingungen. Die Probe-stücke wurden aus einem keilförmigen Versuchsblock mit den Abmessungen 100 bis 600 x 1000 x 500 mm herausgearbeitet. Überprüft wurden die Ergebnisse an einem Pressenrahmen für eine Innenhochdruck-Umformmaschine mit Wanddicken von 60 bis 200 mm an Proben aus angegossenen Probestücken.

Zum Erfolg führte ein Gusseisen mit Kugelgraphit mit folgender chemischer Zusammensetzung: 3,10 % C, 3,75 % Si, 0,22 % Mn, 0,016 % P, 0,005 % S und 0,044 % Mg. Es entstand ein Gusseisen mit Kugelgraphit mit einer rein ferritischen Grundmatrix ohne Wärmebehandlung.

Folgende mechanische Eigenschaften wurden erreicht: Bei Angussproben 517 - 521 N/mm<sup>2</sup> Zugfestigkeit, 413 - 417 N/mm<sup>2</sup>, 0,2%-Dehngrenze, 14,0 - 14,5 % Bruchdehnung, 20 % Brucheinschnürung, und 171,6 - 173,3 kN/mm<sup>2</sup> Elastizitätsmodul. Bei Proben aus dem Testblock 485 - 505 N/mm<sup>2</sup> Zugfestigkeit, 393 - 395 N/mm<sup>2</sup> Dehngrenze, 10 - 16 % Bruchdehnung, 8,5 - 15 % Brucheinschnürung in Abhängigkeit von der Lage im Testblock. Angegeben werden auch die Zugfestigkeit, die Dehngrenze, die Bruchdehnung und die Brucheinschnürung im Temperaturbereich von -80 °C bis +300 °C (**Bild 2**).

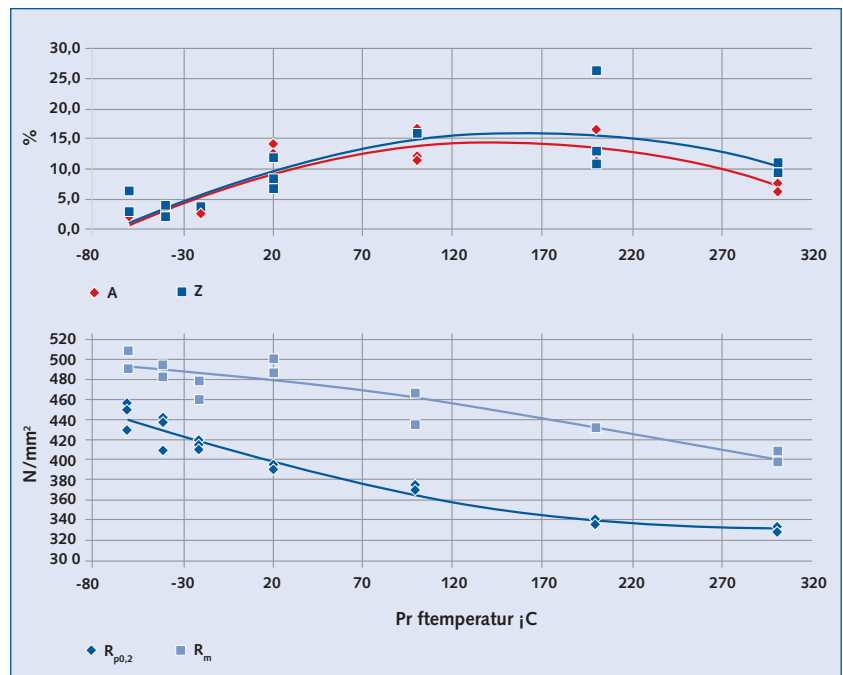
Bei der spangebenden Bearbeitung von Kraftfahrzeugbauteilen aus der ferritisch-perlitischen Werkstoffsorte EN-GJS-500-7 mit einem Siliciumgehalt von 2,25 % wurden wegen des relativ großen Bereichs der Brinellhärte (170 bis 230 HB) Schwierigkeiten beim Drehen, Fräsen und Bohren beobachtet. Als Ursache dafür wurden Schwankungen im Perlitanteil infolge unterschiedlicher Abkühlungsgeschwindigkeiten in den Gussteilen bei der eutektoiden Umwandlung angesehen. Forschungs- und Entwicklungsarbeiten von Gusseisen mit Kugelgraphit und höheren Siliciumgehalten von (3,66 bis 3,85 %) führten zum Erfolg /3, 5/. Es entstand eine Werkstoffsorte des Gusseisens mit Kugelgraphit mit einer rein ferritischen metallischen Grundmasse mit folgenden mechanischen Eigenschaften: Zugfestigkeit mindestens 500 N/mm<sup>2</sup>, mindestens 360 N/mm<sup>2</sup> 0,2%-Dehngrenze, mindestens 10 % Bruchdehnung und einem Härtebereich von 185 bis 215 HB. Infolge der gleichmäßigeren Härteverteilung in den Gussteilen (plus/minus 20 HB) verringerte sich der Verschleiß der Spanwerkzeuge und die Schnittgeschwindigkeit konnte erhöht werden. Zusätzlich verringerte sich auch der Geräuschpegel bei der spangebenden Bearbeitung. Die Kosteneinsparung bei der spangebenden Bearbeitung wurde mit 10 % angegeben. Als optimale chemische Zusammensetzung wurden folgende Werte angegeben: 3,3 % C, 3,75 %Si, max. 0,3 % Mn, max. 0,05 %P, max. 0,03 % S und 0,02 bis 0,08 % Mg. Als Empfehlung für eine neue Sorte von Gusseisen mit Kugelgraphit wurden folgende Werkstoffkennwerte genannt: Zugfestigkeit mind. 500 N/mm<sup>2</sup>, 0,2%-Dehngrenze mind 360 N/mm<sup>2</sup>, Bruchdehnung A5 mind. 10 %, Brinellhärte 185 bis 215. Die neue Sorte des Siliciumreichen Gusseisens mit Kugelgraphit GJS-500-10 mit ferritischer Matrix wurde in der Schwe-

dischen Norm SS14 07 25 „Spheroidal graphite cast iron – SS cast iron 0725“. 1998-03-18 genormt.

R. Larker /6/ beschäftigte sich mit mischkristallverfestigtem ferritischem Gusseisen mit Kugelgraphit für den Einsatz solcher Gussteile in hydraulisch betätigten Einrichtungen. Bei diesen gegossenen Bauteilen muss eine sehr hohe Fertigungsgenauigkeit bei der spangebenden Bearbeitung erreicht werden. Angegeben werden Werte für die Zugfestigkeit, 0,2 %-Dehngrenze und Bruchdehnung in Abhängigkeit vom Siliciumgehalt im Bereich von 2,25 bis 4,2 % Si mit den bekannten Tendenzen, dass die Festigkeit und Härte mit steigendem Siliciumgehalt zunimmt und die Duktilität (Bruchdehnung) dagegen

abnimmt. Für die Neuentwicklung einer Werkstoffsorte mit ferritischer Grundmasse wird ein Siliciumgehalt von 3,7 % bevorzugt. Infolge der viel geringeren Schwankungen der Brinellhärte über dem Gussteilquerschnitt (**Bild 3**) von ± 2,6 bei Verwendung der Werkstoffsorte GJS-500-10 im Vergleich zu der Werkstoffsorte GJS-500-7 mit ± 10 verbesserte sich die Spanbarkeit um 20 bis 30 %. Gewarnt wird vor dem Auftreten von Chunky-Graphit. Diese unerwünschte Graphitform beeinträchtigt erheblich die günstigen mechanischen Eigenschaften bei der Werkstoffsorte GJS-500-10.

**Bild 2:** Einfluss der Prüftemperatur auf die Werkstoffkennwerte des Zugversuchs /4/



**Bild 3:** Swivel housing: Verteilung der Brinellhärte über dem Gussteilquerschnitt bei Verwendung von GJS-500-7 oder GJS-500-10 /6/

<p>Swivel housing for Rotator IR 10; 36 kg casting in ISO 1083/JS/500-7 „SS 0727“ conventional ferritic-pearlitic ductile iron Gable: 201, 207, 201, 207, 212 212 179, 192, 212 HBW Flange: 197, 201, 197, 192, 187</p>	<p>Swivel housing for Rotator IR 10; 36 kg casting in ISO 1083/JS/500-10 „SS 0725“ 100% ferritic ductile iron Gable: 187, 187, 187, 187, 187, 187, 187, 187 HBW Flange: 192, 192, 192, 192 HBW</p>	<p>Hardness variation reduces by -75%, from ±10 HBW to ±2.6 HBW</p> <p>Machability increase by 20-30%.</p>
---	--	--

Die Werkstoffsorte GJS-500-10 wurde in die internationale Normung mit der Bezeichnung ISO 1083/JS/500-10 (2004) aufgenommen.

J. Kikkert /7/ beschäftigte sich ausgehend von der Werkstoffsorte GJS-500-10 mit der Entwicklung der Werkstoffsorten GJS-450-18, GJS-500-14 und GJS-600-10 durch Verwendung höherer Siliciumgehalte von 3,5 bis 5,4 % Si im Gusseisen mit Kugelgraphit. **Bild 4** vermittelt einen Eindruck vom Einfluss des Siliciumgehalts auf die Zugfestigkeit und die 0,2%-Dehngrenze. Bis 4,5 % Silicium wirkt die Mischkristallverfestigung. Die Bruchdehnung (**Bild 5**) verringert sich bis 4,5 % Silicium nur wenig, fällt jedoch bei höheren Siliciumgehalten stark ab. Aus **Bild 6** kann die Dauerfestigkeit für ein Schwenklager aus verschiedenen Sorten von Gusseisen mit Kugelgraphit entnommen werden, wobei die siliciumreiche Werkstoffsorte GJS-600-10 günstig abschneidet. Es ergibt sich die Schlussfolgerung, dass die durch Silicium verursachte Mischkristallverfestigung bis zu Zugfestigkeiten von mehr als 600 N/mm<sup>2</sup> genutzt werden kann. Die Darstellung von Brinellhärte und 0,2%-Dehngrenze (**Bild 7**) lässt deutlich erkennen, dass die Schwankungen der Brinellhärte bei den ferritischen Werkstoffsorten GJS-500-14 und GJS-600-10 deutlich geringer sind als bei den traditionellen Werkstoffsorten GJS-500-7 und GJS-600-3. J. Kikkert /7/ schlägt deshalb für die Europäische Normung die Werkstoffsorten GJS-450-18, GJS-500-14 und GJS-600-10 vor (**Tabelle 02 - Seite 6**) und spricht in diesem Zusammenhang von der zweiten Generation des Gusseisens mit Kugelgraphit.

Tabelle 01: Mechanische Eigenschaften der Werkstoffsorte GOPAG® C 500 F für verschiedene Stranggussabmessungen

Mechanische Eigenschaften		
Abmessung t (mm)	60 < t ≤ 120	120 < t ≤ 400
Zugfestigkeit R <sub>m</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	490	470
Streckgrenze R <sub>p0,2</sub> (N/mm <sup>2</sup> )	370	360
Dehnung A (%)	12	10

Bild 4: Abhängigkeit der Zugfestigkeit und der Dehngrenze von Gusseisen mit Kugelgraphit vom Siliciumgehalt /7/

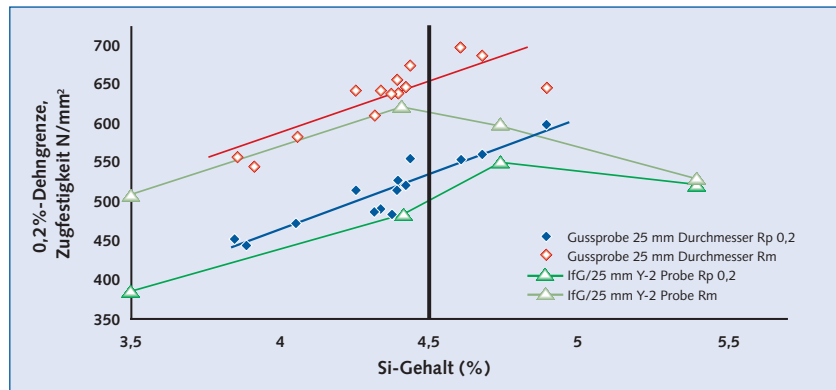


Bild 5: Abhängigkeit der Bruchdehnung von Gusseisen mit Kugelgraphit vom Siliciumgehalt /7/

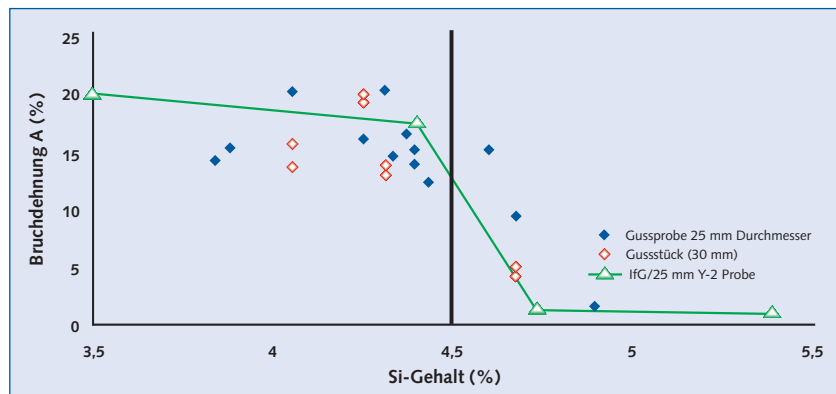


Bild 6: Dauerfestigkeit für ein Schwenklager für die Werkstoffsorte GJS-600-10 im Vergleich mit anderen Werkstoffsorten /7/

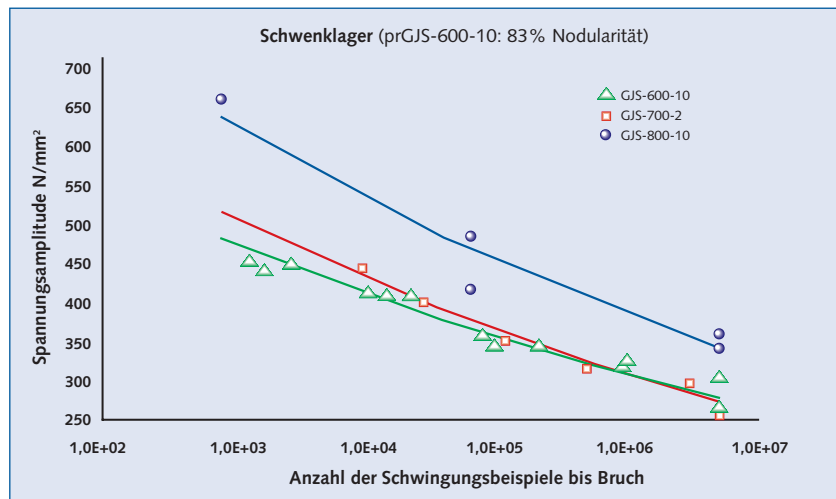
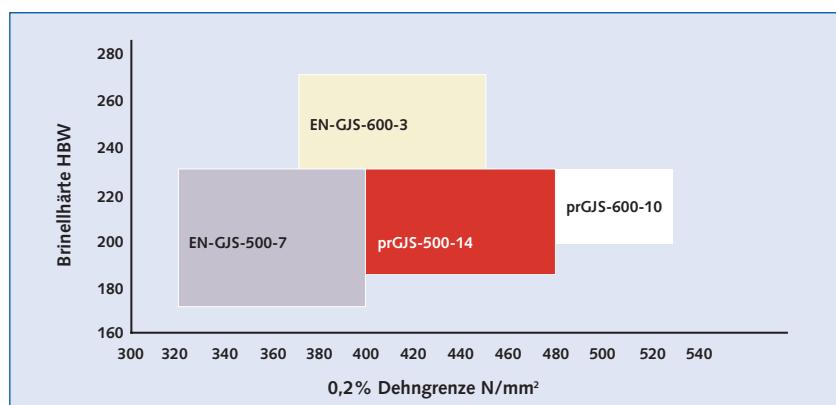


Bild 7: Abhängigkeit der Brinellhärte von der 0,2%-Dehngrenze für die Werkstoffsorten GJS-500-7 und GJS-600-3 bzw. GJS-500-14 und GJS-600-10



### 3. Forschungs- und Entwicklungsarbeiten Gontermann-Peipers (Strangguss)



Alle bisher beschriebenen Untersuchungsergebnisse wurden bei der Herstellung der Gussteile mit dem Sandgussverfahren ermittelt. Beim Stranggießen von Gusseisen mit Kugelgraphit liegen andere Bedingungen bei der Erstarrung und der weiteren Abkühlung vor als beim Sandgussverfahren. Strangguss aus Gusseisen wird nach dem horizontalen Stranggießverfahren hergestellt. Der Verfahrensablauf, die verfahrensbedingten Besonderheiten und die erreichbaren mechanischen Eigenschaften, verbunden mit einem Vorschlag für die Europäische Normung (EN) sind in den Arbeiten /8, 9/ ausführlich beschrieben worden. Strangguss-Abschnitte bestimmter Länge werden von Gontermann-Peipers entweder unbearbeitet oder spanend vorbearbeitet ausgeliefert. Auch eine allseitige spanende Bearbeitung auf nahezu Fertigmaß nach Kundenwünschen wird von Gontermann-Peipers angeboten. Dadurch werden zusätzliche Arbeitsgänge bei den Kunden vermieden.

Gontermann-Peipers (GP) stellte in Zusammenhang mit der Weiterentwicklung von Strangguss aus Gusseisen mit Kugelgraphit mit Mischkristallverfestigung die Werkstoffsorte GOPAG® C 500 F (GP-geschützter Firmenname) mit ferritischer Matrix im Gusszustand vor, im Vergleich mit GJS-500-7C. **(Bild 8).** Bild 8a zeigt das Mikrogefüge von GOPAG® C 500 F mit ferritischer Matrix und Bild 8b das Mikrogefüge von GJS-500-7C mit einer Matrix aus Ferrit und ca. 30 % Perlit. Durch den höheren Siliciumgehalt wird die Entstehung von Perlit weitgehend unterdrückt und damit auch der im Perlit vorhandene sehr harte Zementit. Diese Werkstoffsorte GOPAG® C 500 F entspricht den Vorgaben in Europäischen Normen für Gusseisen mit Kugelgraphit, welche als GJS-500-14C bezeichnet wird. Für die chemische Zusammensetzung dieser Werkstoffsorte werden folgende unverbindliche Richtwerte angegeben: 2,80 bis 3,80 % C, 3,30 bis 3,90 % Si, 0,025 bis 0,075 % Mg, max. 0,1 % Cu.

Diese Angaben zur chemischen Analyse sind in Übereinstimmung mit den Gusseisennormen DIN EN 1561 und DIN EN 1563 unverbindliche Richtwerte des Herstellers.

Die Probenahme für die Ermittlung der mechanischen Eigenschaften erfolgt direkt aus dem Strang **(Bild 9)**, gekennzeichnet mit dem Buchstaben „C“ /8/. In den Spannungs-Dehnungs-Kurven für die Werkstoffsorte GOPAG® C 500 F im Vergleich zu einem typischen, im Hydraulikbereich eingesetzten, Schmiedestahl **(Bild 10)** zeichnet sich nach der 0,2%-Dehngrenze der plastische Bereich mit der Bruchdehnung deutlich ab. Die erreichten mechanischen Eigenschaften für die neue Werkstoffsorte sind in **Tabelle 01 - Seite 4** für verschiedene Strangguss-Formate dargestellt.

Für die neue Werkstoffsorte GOPAG® C 500 F zeigt sich deutlich, dass die mechanischen Eigenschaften im Produktionsmaßstab in engen Toleranzen hergestellt werden können, wobei insbesondere das kleine Toleranzfeld für die Bruchdehnung auffällt.

Bild 8: Gefüge von Gusseisenstrangguss: a) GOPAG® C 500 F  
b) Mikrogefüge GJS-500-7C

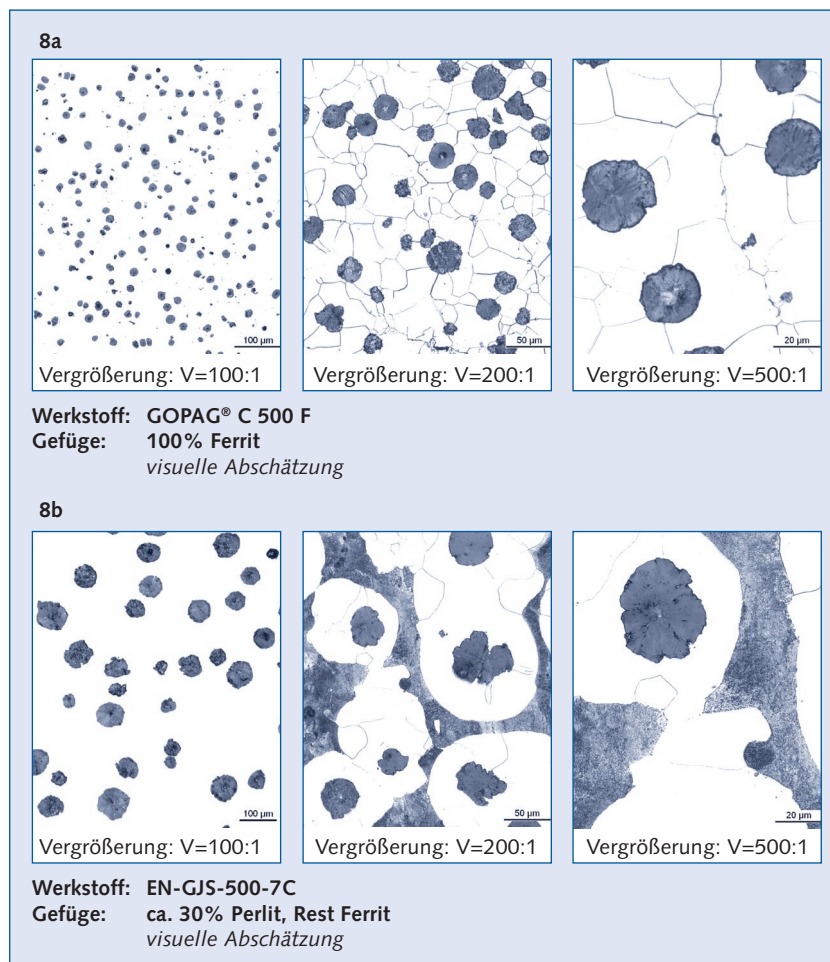


Bild 9: Probenahme für die Ermittlung der mechanischen Eigenschaften bei Gusseisen-Strangguss

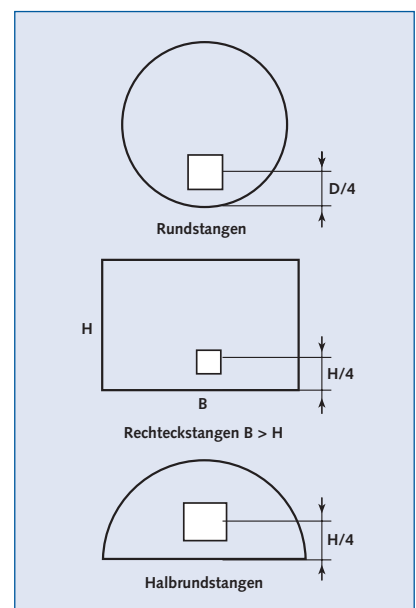


Bild 10: Spannungs-Dehnungs-Kurve für GOPAG® C 500 F im Vergleich zu einem typischen im Hydraulikbereich eingesetzten Schmiedestahl

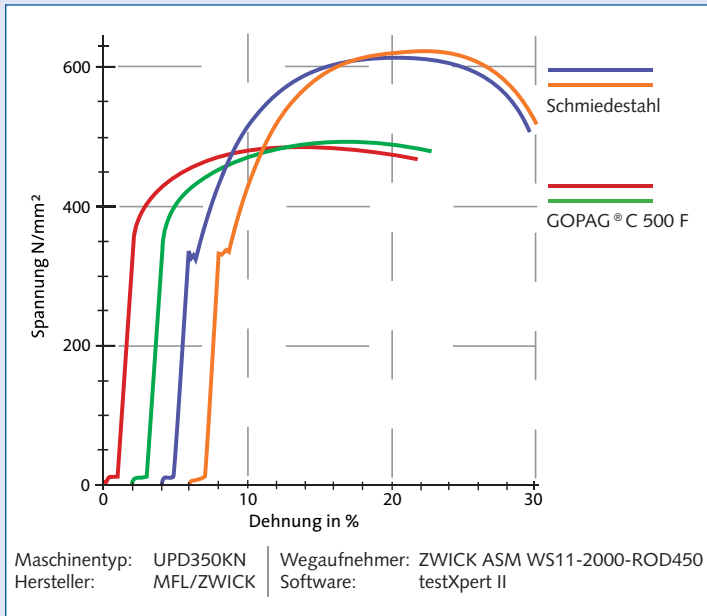


Tabelle 02: Mechanische Eigenschaften, Auszug der prEN 1563:2009

prEN 1563:2009 – Mechanical properties measured on test pieces machined from cast sample for solid solution strengthened ferritic grades					
Material designation		Relevant wall thickness	0,2 % proof stress	Tensile strength	Elongation
Symbol	Number	$t$ mm	Rp0,2 N/mm <sup>2</sup> min.	Rm N/mm <sup>2</sup> min.	A % min.
EN-GJS-450-18	5.3107	$t \leq 30$	350	450	18
		$30 \leq t \leq 60$	340	430	14
		$60 < t \leq 200$	a	a	a
EN-GJS-500-14	5.3109	$t \leq 30$	400 (360) <sup>1)</sup>	500 (500) <sup>1)</sup>	14 (10) <sup>1)</sup>
		$30 \leq t \leq 60$	390 (360) <sup>1)</sup>	480 (490) <sup>1)</sup>	12 (9) <sup>1)</sup>
		$60 < t \leq 200$	a (350) <sup>1)</sup>	a (470) <sup>1)</sup>	a (7) <sup>1)</sup>
EN-GJS-600-10	5.3110	$t \leq 30$	450	600	10
		$30 \leq t \leq 60$	430	580	8
		$60 < t \leq 200$	a	a	a

a To be agreed between the manufacturer and the purchaser  
<sup>1)</sup> ISO 1083/JS500-10/U

Die hervorragende Prozessfähigkeit für GOPAG® C 500 F gemessen an der Zugfestigkeit, der 0,2%-Dehngrenze, Bruchdehnung und Brinellhärte zeigen die **Bilder 11, 12, 13 und 14**.

Die Kennwerte für die 0,2%-Dehngrenze, die Zugfestigkeit und die Bruchdehnung in Abhängigkeit von der Brinellhärte für GOPAG® C 500 F werden in **Bild 15** veranschaulicht.

Die Härteverteilung über den Strangquerschnitt geht aus **Bild 16** hervor. Der Härtebereich ist bei dem Werkstoff GJS-500-7 mit 185 bis 220 HBW 5/750 wesentlich größer als bei dem Werkstoff GJS-500-14C (GOPAG® C 500 F) mit 172 bis 188 HBW 5/750. Der Härteunterschied beträgt im ersten Fall vom bisherigen 500er Material 35 HBW und im zweiten Fall bei dem neuen Werkstoff 16 HBW.

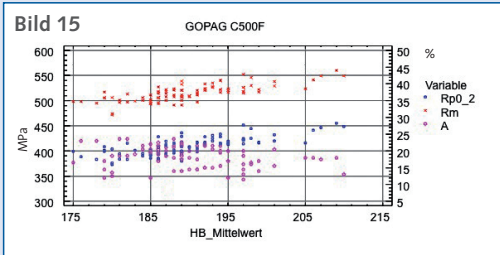
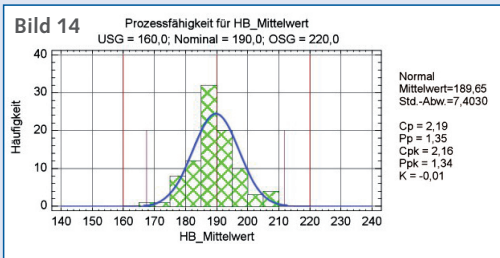
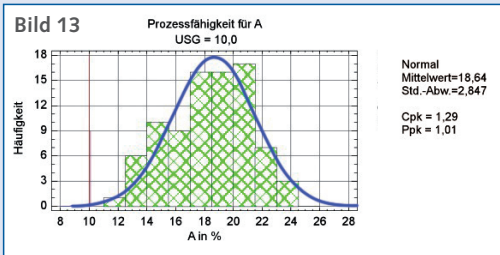
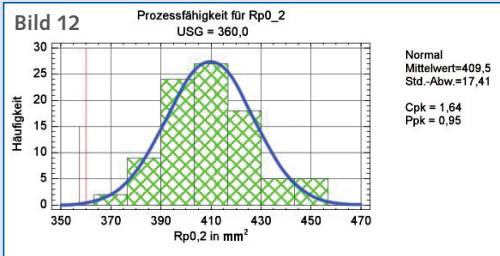
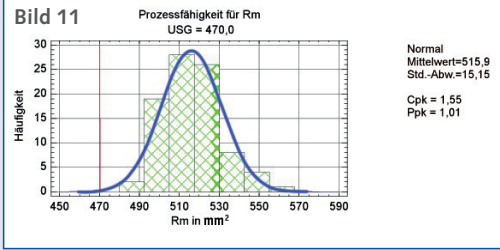


Bild 11: Darstellung der Prozessfähigkeit für die Zugfestigkeit Rm in N/mm<sup>2</sup> für GOPAG® C 500 F

Bild 12: Darstellung der Prozessfähigkeit für die 0,2%-Dehngrenze Rp0,2 in N/mm<sup>2</sup> für GOPAG® C 500 F

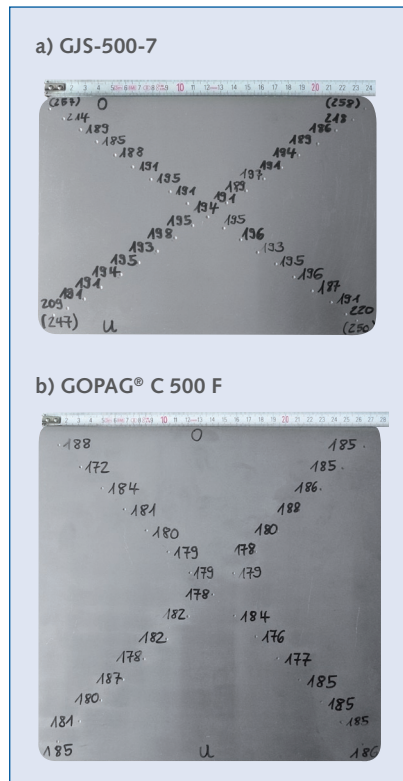
Bild 13: Darstellung der Prozessfähigkeit für die Bruchdehnung A in % für GOPAG® C 500 F

Bild 14: Darstellung der Prozessfähigkeit für die Brinellhärte HBW für GOPAG® C 500 F

Bild 15: 0,2%-Dehngrenze, Zugfestigkeit und Bruchdehnung in Abhängigkeit von der Brinellhärte für GOPAG® C 500 F



Bild 16: Härteverteilung über dem Querschnitt



Damit zeigt sich, dass eine Mischkristallverfestigung mit höheren Siliciumgehalten so wie bei Sandguss auch bei Strangguss zu einem überwiegend ferritischen Mikrogefüge mit hoher Festigkeit und hoher Bruchdehnung führt. Die Werkstoffsorte GJS-500-14C kann ohne Perlitanteile mit einer höheren Bruchdehnung hergestellt werden und hat mit ca. 0,8 ein exzellentes Streckgrenzen/Zugfestigkeits-Verhältnis.

Ein wesentlicher Anteil von Strangguss aus Gusseisen mit Kugelgraphit wird für Hydraulik-Steuerblöcke (Bild 17) verwendet. Die Firma Power-Hydraulik GmbH /11/ hat mit dem genannten Werkstoff bereits seit langem beste Erfahrungen gemacht. Für höhere Innendrücke im Bereich von 350 bis 420 bar war der Werkstoff GJS-500-7C nicht mehr geeignet. Gonterman-Peipers hat im Jahr 2009 den neuen Gusseisen-Strangguss mit der Bezeichnung GOPAG® C 500 F vorgestellt. Damit kann nun Schmiedestahl auch bei höheren Innendrücken substituiert werden.

Bei einer äußerlichen Betrachtung solcher Hydraulik-Steuerblöcke sind nur eine Reihe von Bohrungen zu erkennen. Im Inneren enthalten sie ein umfangreiches miteinander verflochtenes Kanalsystem (Bild 18). Dieses Kanalsystem wird durch Bohren hergestellt. Etwa ein Drittel des Ausgangsgewichts der Hydraulik-Steuerblöcke wird dabei herausgebohrt. Als weitere Bearbeitungstechnologien werden Rundschleifen oder Zirkularfräsen, Reiben, Honen und Gewindeschneiden eingesetzt. Notwendig ist für diese umfangreichen Ausbohrarbeiten eine sehr gute Zerspanbarkeit des Werkstoffs. Diese wurde zusammen mit Weidemann Hydraulik an verschiedenen Werkstoffen intensiv getestet. Die neue Werkstoffsorte von Gontermann-Peipers GJS-500-14C (GOPAG® C 500 F) zeichnet sich durch eine sehr gute Zerspanbarkeit aus /11//12/. Das bezieht sich auf alle wichtigen Zerspanungsparameter, Spindeldrehzahlen, Vorschübe,



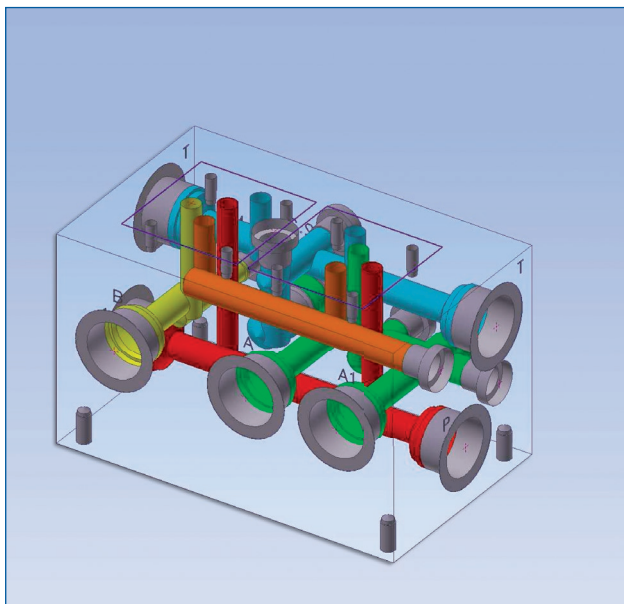
Bild 17: Hydraulik-Steuerblock aus Strangguss Gusseisen mit Kugelgraphit



Schnittkräfte und das günstige Spanbruchverhalten. Bearbeitungszeiten, Werkzeugstandzeiten und Maschineninstandhaltung und auch die Oberflächenrauigkeit der durch Spanen (Bohren) und weitere Feinbearbeitungen erreichbaren Oberflächengüten konnten deutlich verbessert werden.

Die homogene metallische Matrix des Mikrogefüges im gesamten Hydraulikblock und die Schmierwirkung des im Werkstoff enthaltenen Graphits verbessern die Zerspanbarkeit wesentlich (Bild 19).

Bild 18: Innere Kanäle in einem Hydraulikblock-Steuerblock Weidemann Hydraulik



Blockzylinder für Blechbiegemaschine 2500 t aus GOPAG® C 500 F Kokillenguss

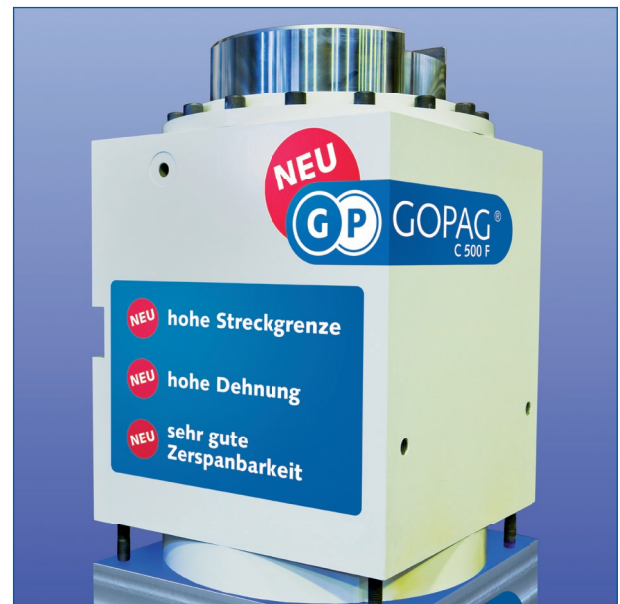
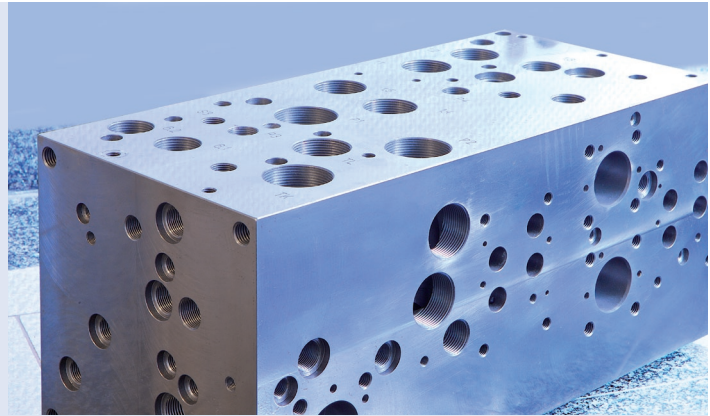
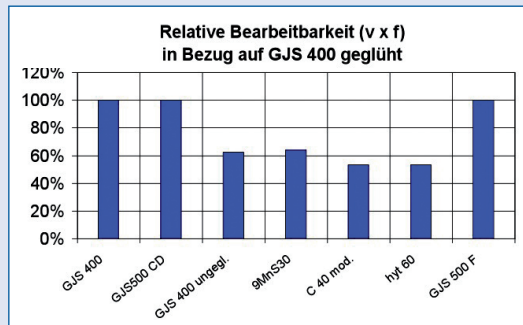


Bild 19: Relative Bearbeitbarkeit verschiedener Werkstoffe Gontermann-Peipers Bohrversuche



Bei der spangebenden Bearbeitung der Hydraulikblöcke aus GOPAG® C 500 F im Vergleich zu solchen aus Schmiedestahl /10//14/ werden folgende Vorteile hervorgehoben: Schmiedestahl wird in der Regel roh mit einer schlecht bearbeitbaren Schmiedehaut angeboten. Die Rohlinge von Gontermann-Peipers werden dagegen auf Wunsch vorbearbeitet geliefert und für das Erreichen des Endmaßes muss nur noch ein Schlichtspan abgenommen werden. Erreicht wird dabei eine Oberflächenrauigkeit von  $R_z = 0,4$  Mikrometer. Im Vergleich zum Schmiedestahl ist die Gratbildung an den Kanten der ineinanderlaufenden Bohrungen im Inneren des Hydraulikblocks bei solchen aus GOPAG® C 500 F deutlich geringer, wodurch aufwendige Handarbeit für die Gratentfernung minimiert wurde.

Es wurden an der Hochschule Aachen Bruchmechanikennwerte  $K_{Ic}$  von 98 bis 101  $MPa \times m^{0,5}$  ermittelt, der bisher eingesetzte legierte Schmiedestahl lag bei 84 bis 93  $MPa \times m^{0,5}$ . Die Bruchmechanik ist bei der Auslegung von hochbeanspruchten Bauteilen ein heute gängiges Verfahren zu deren Berechnung.

Auch bei einem Berstversuch konnte der hochsilizierte Werkstoff gegenüber Stahl 11MnPB30+C einen deutlich besseren Wert aufweisen. Dazu wurden bei hydraulischen Steuerblöcken aus beiden Materialien Blindstopfen aufgeschraubt und ein Anschluss M 16 wurde mit einem Prüfanschluss (ETG88) versehen. Beim GOPAG® C 500 F wurde nach 9036 ms ein Druck von 4971 bar erreicht bevor das Bauteil versagte. Bei dem legierten Stahl wurde nach 9164 ms ein Bauteilversagen bei 4261 bar nachgewiesen. Diese Vergleiche zeigen deutlich die Potenziale und Möglichkeiten des Werkstoffes.

## 4. Zusammenfassung

Gontermann-Peipers ist es mit der Entwicklung von GOPAG® C 500 F mit ferritischer Matrix gelungen, einen sehr hochwertigen Werkstoff aus Strangguss auf den Markt zu bringen.

Die bei Sandguss aufgezeigte Verbesserung der Eigenschaften von Gusseisen mit Kugelgraphit durch Mischkristallverfestigung mit einem höheren Siliciumgehalt führen auch beim Strangguss von Gusseisen mit Kugelgraphit zu analogen positiven Ergebnissen. Durch die stärkere Mischkristallverfestigung entsteht eine ferritische Matrix. Im Vergleich zu GJS-500-7 wird bei gleicher Zugfestigkeit bei GOPAG® C 500 F die Bruchdehnung verdoppelt und der Härtebereich über den Strangquerschnitt halbiert. Gegen-

über dem Werkstoff GJS-500-7C wird die Zerspanbarkeit wesentlich verbessert. Das führt bei der umfangreichen spangebenden Bearbeitung von Hydrauliksteuerblöcken zu hohen Kosteneinsparungen.

Mit der Entwicklung der Werkstoffsorte GOPAG® C 500 F von Gontermann-Peipers ist es möglich geworden, Gusseisen-Strangguss für Hydraulik-Steuerblöcke für Druckstufen von 350 bis 420 bar einzusetzen. Der bisher für diese hohen Druckstufen eingesetzte Schmiedestahl kann damit durch Gusseisen-Strangguss GOPAG® C 500 F substituiert werden. Durch die Entwicklung der Legierungspreise wird dieser Werkstoff in Zukunft eine höhere Bedeutung erhalten.

### Literatur

- /1/ BCIRA-Broadsheet 211-2 (1982), vgl. Hasse, S.: *Duktiles Gusseisen*, Verlag Schiele & Schön, Berlin 1996, S. 49
- /2/ *Ductile Iron*, QIT 1990, vgl. Hasse, S.: *Duktiles Gusseisen*, Verlag Schiele & Schön, Berlin 1996, S. 51
- /3/ Björkegren, L.E., Hamberg, B., Johannesson, B.: *Mechanische Eigenschaften und Bearbeitbarkeiten von mit Silicium verfestigten ferritischen Gusseisen mit Kugelgraphit Giesserei-Praxis (1999) Nr. 1, S. 11 - 17*
- /4/ VDG-Fachbericht 083 (2001), *Innovative Giesserei, Fertigungstechnologie für endabmessungsnah gegossene Maschinebauteile aus Grauguss (GG) und Gusseisen mit Kugelgraphit (GGG), Teilprojekt „Hochfeste GGG-Gussteile mit ausreichender Duktilität“*
- /5/ Björkegren, L.E., Hamberg, K.: *Silicon Alloyed Ductile Iron with Excellent Ductility and Machinability. Proc. 2003 Keith Millis Symposium on Ductile Cast Iron, Hilton Head, SC, Oct. 2003, pp. 70 - 90*
- /6/ Larker, R.: *Solution Strengthened Ferritic Ductile Iron ISO 1083/JS/500-10 Provides Superior Consistent Properties in Hydraulic Rotators. Proc. 2008 Keith Millis Symposium on Ductile Cast Iron, Oct. 2008, Las Vegas Nevada, AFS/DIS, ISBN 978-0-87433-6, pp. 169 - 177*
- /7/ Kikert, J.: *Mischkristallverfestigtes ferritisches Gusseisen mit Kugelgraphit. Vortrag Deutscher Gießereitag 2009, 14. und 15. Mai 2009 in Berlin*
- /8/ Herfurth, K.: *Gusseisen-Strangguss für eine innovative Teilefertigung konstruieren+giessen 30 (2005) Nr. 3, S. 2 - 17*
- /9/ Herfurth, K.: *Gusseisen-Strangguss, Qualitätsbewertung konstruieren+giessen 33 (2008) Nr. 2, S. 11 - 20*
- /10/ Vollrath, K.: *Hervorragende Bearbeitbarkeit und abgestimmte Logistikkette – bei Hochdruck-Hydraulikblöcken bietet Guss entscheidende Vorteile O+P (2010) H. 4*
- /11/ Vollrath, K.: *Bei Hochdruck-Hydraulik-Blöcken bietet Guss entscheidende Vorteile Fluid (2010) H. 6*
- /12/ Gorski, R., Dörfer, F.: *Guss ist nicht gleich Guss, Konstruktion & Engineering Nov. 2009*