

Die Entwicklung des Werkstoffs Gußeisen*).

Von F. Grosser.

In der Technik hat die Entwicklung eines Werkstoffes zu seiner immer größeren Vervollkommnung stets eine große Rolle gespielt. So auch bei „Gußeisen“, dessen größter Konkurrent „Stahl“ immer gewesen ist und auch bleiben wird. Bis zum Beginn der hüttenmännischen Großprozesse in den 60er Jahren des vorigen Jahrhunderts war Gußeisen ein Universalwerkstoff der Technik. Seine Anwendung wurde bevorzugt im Maschinenbau, im Bauwesen, im Verkehrswesen und im häuslichen Leben. Durch die Einführung des Thomaskonverters und des Siemens-Martin-Ofens zur Massenerzeugung von Stahl wurde Gußeisen immer mehr verdrängt und begann im Maschinenbau und Verkehrswesen nur noch eine untergeordnete Rolle zu spielen. Diese Entwicklung wurde unterstützt durch die Konstruktionslehre in den 80er Jahren. Diese schuf, von den elastischen Eigenschaften der Werkstoffe und deren Verhalten bei zügiger Beanspruchung ausgehend, eine Bewertungsskala, bei der dem dehnungsarmen Gußeisen nur eine untergeordnete Rolle zukam.

Mehrere Gesichtspunkte waren maßgebend, daß die oben gekennzeichnete Entwicklung einer zunehmenden Ausschaltung des Gußeisens nicht den erwarteten Verlauf nahm.

1. Mit Hilfe der Wissenschaft war es möglich, die Festigkeitseigenschaften des Gußeisens erheblich zu verbessern und treffsicher zu erreichen.
2. Die klassische Elastizitätstheorie versagte teilweise, und eine neue Konstruktionslehre konnte neuen Fuß fassen.

*) Die vorliegenden Seiten wiederholen den Vortrag, der am Montag, den 10. Dezember 1951, im Hörsaal des Kunstwissenschaftlichen Instituts der Justus-Liebig-Hochschule in Gießen anlässlich der Ehrenpromotion des Verfassers gehalten wurde.

3. Die Leichtbauweise konnte sich durchsetzen.
4. Die gesunde Konkurrenz der Werkstoffe unter sich und die damit verbundene sinnvolle Einsatzlenkung der Werkstoffe selbst.

Welchen Entwicklungsverlauf nahm nun der Werkstoff Gußeisen? Im 14. Jahrhundert wurde erstmalig in kleinen Holzkohlenhochöfen Gußeisen direkt aus Erz erschmolzen und man nannte diesen Guß Gußeisen aus erster Schmelzung. Die Beurteilung der Qualität dieses Gußeisens erfolgte in Ermangelung wissenschaftlicher Methoden allein nur nach dem Bruchaussehen mit dem Auge. Alle Maßnahmen, die getroffen werden mußten, waren empirischer Natur. Schätzungsweise betrug die Zugfestigkeit $6-10 \text{ kg/mm}^2$ (im Mittel etwa 8 kg/mm^2). Mit der Einführung des Gießereischachtofens im Jahre 1794, auch Kupolofen genannt, konnte ein weiterer Fortschritt im Gießereiwesen erzielt werden. Ungefähr 100 Jahre später, also um die Jahrhundertwende, wurde die Chemie in die Gießereitechnik eingeführt, um bezüglich der chemischen Zusammensetzung des Gußeisens Aufschluß zu erhalten. Untersucht wurden insbesondere die Begleitelemente C, Si, Mn, P, S. Die Erfahrung zusammen mit der Chemie ermöglichten es nun, die einzelnen Gußstücke rechnerisch immer mit derselben Analyse zu gießen. Das Gußeisen wurde also nicht mehr allein nach dem Bruchaussehen, sondern auch nach der Analyse beurteilt. Als Folge hiervon konnte eine Mindestzugfestigkeit von 12 kg/mm^2 garantiert werden. Aber nicht nur der gegossene Werkstoff wurde analysiert, sondern auch vor allem das Roheisen, das bei der zweiten Schmelzung verwendet wurde.

Brachte uns die Chemie die Kenntnisse des Einflusses der einzelnen Eisenbegleiter, insbesondere des Kohlenstoffes und Siliziums auf die mechanischen Festigkeiten des Eisens, so verdanken wir der Metallographie den Einfluß des Gefügebauaufbaues in Abhängigkeit dieser Elemente auf die Festigkeit des Gußeisens.

Diese wissenschaftliche Grundlagenforschung genügte allein aber noch nicht, um zielsicher und bewußt einen perlitischen Gefügebau im Gußeisen zu erzeugen. Erst Sipp und Diefentäl gelang es in mühevoller Forschungsarbeit festzustellen, daß

die Höhe der Summe der Elemente C + Si maßgebend für den perlitischen Aufbau des Gefüges sind, um damit ein Gußeisen höherer Festigkeit zu erhalten. Zu dieser Zeit konnte bereits ein Gußeisen mit 18-24 kg/mm² Zugfestigkeit garantiert werden.

Wir können wohl mit Recht sagen, daß durch die Einführung der Chemie und Metallographie der Werkstoff Gußeisen in seinen Güteeigenschaften derart gesteigert wurde, daß die verloren gegangenen Verwendungsgebiete nicht nur zurückerobert werden konnten, sondern sogar neue gewonnen wurden. Die Forschungsergebnisse von Sipp und Diefentäler führten zu dem allgemein bekannten Lanz-Perlit-Patent, das wiederum einen neuen Impuls allen wissenschaftlichen Forschern auf dem Gebiete des Gußeisens gab. Im Vordergrund der zukünftigen Forschungen standen von jetzt ab die allseitigen Bestrebungen nach vollkommener struktureller Beherrschung der metallischen Grundmasse und Beeinflussung des Graphits nach Menge und Größe mit Hilfe der modernen Metallurgie, der inzwischen verfeinerten metallographischen und chemischen Prüfungsmethoden, der Einführung von Gußeisendiagrammen, der systematischen Stahlschrottverschmelzung und der Einführung der Schmelzüberhitzung.

Zuerst zu erwähnen sind die Fortschritte auf dem metallurgischen Gebiet. Sie brachten ein Maß von Treffsicherheit, wie es bisher in der Geschichte des Gußeisens nicht bekannt war. Diese spiegelt sich wieder in der Aufstellung der sogenannten Gußeisendiagramme, aus denen hervorgeht, daß zur Erzielung eines hochwertigen Gußeisens verschiedene Möglichkeiten vorhanden sind. Diese Diagramme besagen, daß ein systematischer Zusammenhang zwischen Kohlenstoff, Silizium und der Wandstärke eines Gußstückes bestehen. Die Ausbildung der Gefügebilder Perlit, Ferrit, Zementit und Graphit stehen in Abhängigkeit zu der Erstarrungs- und Abkühlungsgeschwindigkeit eines Gußstückes. Die letzteren stehen aber wieder in Beziehung zur Wanddicke der Gußstücke — eine altbekannte Erfahrungstatsache, die durch die Aufstellung der Gußeisendiagramme in der Praxis von grundlegender Bedeutung geworden ist, weil damit die Treffsicherheit systematisch erhöht wurde.

Erst die Auffindung der Beziehungen zwischen C + Si einerseits und zur Wandstärke andererseits stellten einen weiteren Erfolg der wissenschaftlichen Forschung dar, der für die Praxis von ungeheurer Bedeutung sein sollte. Es sind hier von verschiedenen Forschern eine Vielzahl von Diagrammen aufgestellt worden.

Nicht unerwähnt möchte ich lassen, daß die Felder reiner Perliterzeugung eine Vergrößerung erfahren durch Zusätze von Ni und Cr + Ni, also damit eine Vergrößerung der Treffsicherheit weiter erreicht wird.

Die Betrachtung der Gußeisendiagramme könnte ferner zu der Meinung führen, daß die Herstellung hochwertigen Gußeisens nunmehr eine ganz einfache Sache sei. Leider ist dies nicht der Fall; denn wir haben noch eine Komponente nicht berücksichtigt. Die Praxis hat nämlich gezeigt, daß ein Gußeisen mit perlitischer Grundmasse nicht immer höchste Festigkeitseigenschaften ergeben hat. Um höchste Festigkeitseigenschaften zu erzielen, ist es nicht nur wünschenswert, eine perlitische Grundmasse bewußt zu erzeugen, sondern es ist vor allem notwendig, die Abscheidung des Graphits nach Menge und Größe zu beeinflussen. Die Beeinflussung der Menge des Kohlenstoffes galt als erstes Problem zu lösen. Man fand, daß es möglich ist, durch Zusatz von Stahlschrott beim Erschmelzen des Gußeisens im Kupolofen die Menge des Kohlenstoffgehaltes zu beeinflussen. Je höher der Stahlzusatz, desto niedriger der Kohlenstoffgehalt im Endprodukt. Dieses Ziel zu erreichen war in der Praxis nicht einfach, weil der Führung des Schmelzofens besondere Bedeutung zukam. Hier galt es, die wissenschaftlichen Erkenntnisse beim Verbrennungs- und Schmelzvorgang exakt anzuwenden. Nur der wissenschaftlich vorgebildete Ingenieur war in der Lage, diese Frage zu lösen.

Die Schrottverschmelzung brachte gleichzeitig eine Erhöhung der Schmelztemperatur mit sich, die für die Ausbildung des Graphits von grundlegender Bedeutung sein sollte. Aufschlußreiche Forschungsarbeiten, die für die Praxis mehr als wertvoll waren, sind auf diesem Gebiete von Professor Piwoarsky, dem Pionier der neuzeitlichen Gußeisenforschung durchgeführt

worden. Diese Überhitzung brachte eine Verfeinerung des Graphits mit sich, die wiederum eine Erhöhung der Festigkeiten zur Folge hatte.

Diese kurz geschilderte Qualitätsentwicklung führte bereits im Jahre 1928 zu einer Normung in 4 Güteklassen mit 14, 18, 22 und 26 kg/mm² Zugfestigkeit. Im Jahre 1942 konnte eine weitere Güteklasse mit 30 kg/mm² Zugfestigkeit hinzugefügt werden. Das Gußeisen wurde nunmehr in 3 Gruppen eingeteilt, nämlich

1. in normales Gußeisen mit 12-22 kg/mm²,
2. in hochwertiges Gußeisen mit 22-30 kg/mm²,
3. in Sondergüten mit über 30 kg/mm².

Das sorgfältig erschmolzene, hochwertige Gußeisen ist hinsichtlich seiner Festigkeit in Gebiete vorgestoßen, von denen man glaubte, daß sie allein nur dem weichen Flußeisen bzw. der geschweißten Stahlkonstruktion sowie dem normalen Stahlguß vorbehalten seien.

Wie bereits gesagt, sind die Festigkeitseigenschaften von Gußeisen nicht von der perlitischen Grundmasse allein abhängig, sondern vor allem auch von der Größe und Gestalt der Graphitabscheidung. In den Ihnen genannten Qualitäten hatte die Graphitabscheidung eine mehr oder weniger große lamellare Form. Die Größen dieser Lamellen sind so verschieden, daß es bis heute noch nicht gelungen ist, eine einheitliche Normung und damit eine Klassifizierung für die Güte eines Gußeisens bezüglich der Abscheidungsform des Graphits zu finden. Im Gegensatz zu dieser Art steht der knötchenförmige mehr rundliche Graphit, wie er in Form kugeliger Sphärolithen auftritt.

Bereits im Jahre 1937/38 gelang es C. A. de y, der sich mit der Abscheidungsform des Graphits bei höher gekohlten Eisen-Kohlenstoff-Legierungen forschungsmäßig befaßte, Sphärolithen bewußt zu erzeugen und die Bedingungen für die Abscheidung des Graphits in dieser Form festzulegen. Seine Forschungsarbeiten führten zu einer dementsprechenden Patenterteilung. Auch das Ausland befaßte sich eingehend mit den Vorgängen der Graphitisierung, und man kann sagen, daß fast ein Wettrennen begann,

um die Abscheidung des Graphits in Kugelform bzw. als Sphärolithen zielbewußt und treffsicher zu erzeugen. Vor allem haben auf diesem Gebiet die Amerikaner und Engländer gearbeitet. Die Forscher beider Länder gingen verschiedene Wege. Während die Engländer über das Element Zerk ihr Ziel erreichten, fanden die Amerikaner im Magnesium dasjenige Element, welches zum Erfolge führen sollte. Beide Verfahren sind in großem Umfange geschützt. Wenn auch in der Praxis noch nicht alle Schwierigkeiten, insbesondere bei der Erzeugung größerer Gußstücke, behoben sind, so kann man doch wohl schon heute sagen, daß der Tag nicht mehr allzu fern sein wird, wo auch die Maschinenbauindustrie für Spezialzwecke in größerem Umfange von diesem neuen Werkstoff Gebrauch machen wird. Es wird von Interesse sein, zu erfahren, welche Festigkeiten mit diesem neuen stahlähnlichen Werkstoff erreicht werden können. So beträgt z. B. im

Gußzustand	geglühten Zustand
die Zugfestigkeit 67-74 kg/mm ² ,	46-54 kg/mm ² ,
die Streckgrenze 49-53 kg/mm ² ,	35-42 kg/mm ² ,
die Dehnung 2,5-5,5 %,	17-23 %,
die Brinellhärte 225-265.	140-180.

Beachtenswert ist, daß das sphärolithische Gußeisen bereits im Gußzustand eine geringe Dehnung aufweist.

Nicht nur allein der Festigkeit wegen ist der Abscheidungsform des Graphits so große Bedeutung zugemessen, sondern auch vor allem wegen der anderen arteigenen Eigenschaften des Werkstoffes Gußeisen. Von diesen Eigenschaften, für die die Abscheidungsform des Graphits verantwortlich zu machen ist, sind als wichtigste zu nennen

1. die hohe Dämpfung,
2. die Abweichungen vom Hookschen Gesetz,
3. die geringe Kerbempfindlichkeit,
4. die guten Verschleißigenschaften.

Am Anfang dieser Ausführungen wurde bereits darauf hingewiesen, daß nach der Konstruktionslehre der 80er Jahre der Werkstoff allein nach dem statischen Zerreißversuch beurteilt wurde.

Aus einem Verschiebungsbruch beim Zerreißversuch z. B. wurde auf einen zarten, aus einem Trennungsbruch auf einen spröden Werkstoff geschossen. Die klassische Festigkeitslehre von H o o k setzte einen ungestörten Spannungsflu voraus und basierte auf den elastischen Eigenschaften des Materials. Ergänzt wurden diese Versuche durch Schlagzhigkeitsversuche an gekerbten und ungekerbten Stben. Traten in der Praxis an irgendwelchen Maschinenteilen Brüche auf, so mußte man feststellen, daß die klassische Festigkeitslehre größtenteils versagte; denn von allen Brüchen waren 90% verformungslose Trennungsbrche, also sogenannte Dauerbrüche. Nur ca. 10% waren Gewaltbrüche, gekennzeichnet durch eine mehr oder weniger große Verformung an der Bruchstelle. Umgekehrt konnte wieder festgestellt werden, daß Konstruktionsteile aus Gußeisen jahrzehntelang hielten, ohne zu Bruch zu gehen. Die Kunde, daß in Amerika gußeiserne Kurbelwellen im Automobilbau mit Erfolg verwendet wurden und auch noch heute verwendet werden, ließ die Konstrukteure aufhorchen. Neue Erkenntnisse brachen sich Bahn. Man stellte fest, daß beim statischen Zugversuch die an einem sauber gedrehten Stab gewonnenen Festigkeitswerte nicht allein das Kriterium für einen Werkstoff darstellen, sondern das vielmehr dem Einfluß der Gestalt des Konstruktionselements eine überragende Bedeutung zukam, so daß der Begriff „Gestaltfestigkeit“ heute bereits Allgemeingut jeden Konstrukteurs geworden ist. Richtungweisend in dieser Beziehung sind die von Prof. Thum aufgestellten Grundsätze gewesen. Er erkannte als erster

- die Bedeutung des ungestörten Kraft- und Spannungsflusses,
- die durch Kerben hervorgerufenen, örtlichen Spannungsspitzen,
- die Notwendigkeit von Entlastungsbergngen usw.

Diese Erkenntnisse wiesen dem Konstrukteur neue Wege. Er lernte bald, wie notwendig es sei, das Alte über Bord zu werfen und neue Konstruktionselemente zu entwickeln, die die Gesetze des ungestörten Kraftflusses berücksichtigten. Grundlegend wurde festgestellt, daß die alten Konstruktionen meistens falsch und viel zu schwerfällig waren. Eine neue Leichtbauweise setzte sich durch, die den Erkenntnissen der Thum'schen Forderungen entsprachen und den Anforderungen des Maschinenbaues voll und ganz

gnügten. Beispielsweise ist der aufgelöste Querschnitt nicht so günstig, wie der geschlossene Hohlquerschnitt. Dieser führte zu einer größeren Formfestigkeit mit geringerem Gewicht als die alte Bauweise mit einer Unzahl von Verrippungen. In der Praxis unterliegt der größte Teil aller Maschinenteile nicht einer statischen, sondern einer dynamischen Beanspruchung. Aus diesem Grunde sind die gewonnenen Erkenntnisse der Dauerfestigkeitswerte am Konstruktionselement beim Modellversuch von ganz besonderer Bedeutung. Mechanisch hochgezüchtete Werkstoffe, wie Stahl, haben nur dort einen Sinn, wenn ungestörter Spannungsfluß gewährleistet ist und Kerbwirkungen nicht zu erwarten sind. So z. B. haben fertige Kurbelwellen aus legiertem Stahl bei einer Zugfestigkeit von 60-150 kg/mm nur eine Dauerfestigkeit bei wechselnder Verdreh- und Biegebeanspruchung von 7,5-9,0 kg/mm². Bei einem hochwertigen Gußeisen beträgt unter gleichen Bedingungen die Dauerfestigkeit ca. 6,5 kg/mm, bei einer Zugfestigkeit von nur 32-36 kg/mm, sie liegt also nur um ein geringes tiefer als bei dem hochgezüchteten legierten Stahl, weil letzterer gegen geringste Verletzungen der Oberfläche bedeutend empfindlicher ist als Gußeisen, bei dem der Graphit bereits natürliche Kerben bildet.

Als weiteren Vorteil von Gußeisen nannte ich die guten Verschleißigenschaften. Es ist festgestellt worden, daß der Verschleiß in einer bestimmten Abhängigkeit steht, zu der Ausbildung der Grundmasse und der Ausscheidungsform des Graphits. Ist die Grundmasse rein perlitisch, d. h. enthält sie weder Ferrit noch Zementit, so erreichen wir die günstigsten Eigenschaften gegenüber Verschleiß. Dicke starke Graphitblätter in perlitischer Grundmasse eingebettet, ergeben ein günstigeres Resultat als fein verteilter Graphit in derselben Grundmasse. Der Graphit wirkt gewissermaßen als Schmiermittel, so daß es selten zu einer reinen, trockenen Reibung und damit zu dem sogenannten Fressen der Maschinenteile kommt.

Betrachten wir den letzten Punkt, die gesunde Konkurrenz unter den Werkstoffen selbst und ihren sinnvollen Einsatz, so können wir sagen, daß wir in dem Werkstoff Gußeisen ein Material haben, welches uns infolge seiner guten Gießeigenschaften und seines Formfüllungsvermögen die Möglichkeit gibt, schwie-

rigste und verwickeltste Gußstücke abzugießen. Hier möchte ich z. B. nennen den Guß für Zylinderblocks und Zylinderdeckel für Automobile und Dieselmotoren.

Diese Eigenschaften, verbunden mit den geschilderten Forschungs- und Entwicklungsarbeiten hochwertigen Gußeisens, haben dazu beigetragen, daß der Werkstoff Gußeisen nicht zu verdrängen war, im Gegenteil sich sogar neue Gebiete erobern konnte.