

Deutschland

Professor Dr. Gerhard Zapf – ein Wegbereiter der Pulvermetallurgie in Deutschland

F. Kerbe, M. Schneider

Gerhard Zapf (1909–1999) zählt zu den Pionieren der Pulvermetallurgie in Deutschland und darüber hinaus. Insbesondere nach 1955 führte er über mehr als zwei Jahrzehnte als Geschäftsführer das Sintermetallwerk Krebsöge in Radevormwald durch Einführung neuer Fertigungstechnologien und einer breiten Palette neu entwickelter legierter metallischer Sinterwerkstoffe zu einem bedeutenden Produktionsstandort der Pulvermetallurgie.



Bild 1 Gerhard Zapf

In seinem Skaupy-Vortrag am 23. November 1983 zur Geschichte der Sinterstahlfertigung in Deutschland hat Hermann Silbereisen als Laureat rückblickend darauf verwiesen, dass bereits Prof. Dr. phil.

Dr. h. c. Franz Skaupy 1929 in seiner Monographie „Metallkeramik“ vorausschauend auf die Chancen der Sintertechnik orientierte.

Unter Hinweis auf den von ihm geprägten Begriff „Metallkeramik“ schrieb F. Skaupy im Vorwort seiner Monographie:

„Dies geschieht auch in der Erwartung, dass sich im Laufe der Zeit die keramische Herstellungsart von Metallkörpern einer größeren Zahl von Fällen der üblichen Herstellungsweise überlegen zeigen wird, so dass schließlich die Metallkeramik ein wichtiges Teilgebiet der Metallurgie sein wird.“

Rückblickend konnte Hermann Silbereisen konstatieren, dass sich diese Voraussage bestätigte [1].

Inzwischen wurden die in der Keramik üblichen Verfahrensschritte genutzt, auf pulverisierte Metalle übertragen und damit erreicht, dass größere Mengen an Formteilen metallkeramisch – nach heutiger Termi-

nologie pulvermetallurgisch – wirtschaftlich produziert werden.

Dieser Entwicklungsweg, den die Pulvermetallurgie etwa seit Mitte des 20. Jahrhunderts beschritt, war geprägt durch die Arbeiten von Hermann Silbereisen, Prof. Richard Kieffer, Dr. phil. Werner Hotop, Bernhard Berghaus, Prof. Dr.-Ing. habil. Dr.-Ing. h. c. Werner Schatt und schließlich durch Prof. Dr. rer. nat. Dr. h. c. mult. Günter Petzow und seine Schule.

In dieser Reihe maßgebender Wegbereiter der Pulvermetallurgie (PM) in Deutschland und darüber hinaus gebührt Prof. Gerhard Zapf ein unbestrittener Ehrenplatz.

Der Lebensweg von G. Zapf

Kindheit und Ausbildung

In Schkölen, einem Landstädtchen in der ehemaligen Preußischen Provinz Sachsen, nordöstlich der Universitätsstadt Jena gelegen, wurde am 12. November 1909 Georg Heinz Gerhard Zapf geboren.

Von Ostern 1921 bis Ostern 1930 besuchte er die Oberrealschule in Naumburg/Saale, die er mit Reifezeugnis vom 25. Februar 1930 abschloss. (Bild 1) [2, 3].

Am 30. April 1930 nahm er an der Friedrich-Schiller-Universität zu Jena ein Studium der Physik und Chemie auf und setzte dieses ab dem Wintersemester 1930 als Chemiestudium fort.

Im Januar 1931 und Juni 1933 legte er das erste bzw. zweite Verbandsexamen für Chemiker ab. Ab Juni 1933 bis Januar 1935 arbeitet er unter Leitung von Prof. Dr. Adolf Sieverts am Chemischen Laboratorium der Universität Jena an seiner Dissertation zum Thema „Das System Molybdän – Stickstoff und Eisen – Chrom – Wasserstoff“.

Für die mündliche Verteidigung dieser Promotionsarbeit am 19. Februar 1935 hatte er als Hauptfach Chemie und als Nebenfächer Physik und Mineralogie gewählt und schloss diese mit dem Gesamturteil „summa cum laude“ ab.

Auf Basis des von der Hohen Mathematisch-Naturwissenschaftlichen Fakultät der Universität Jena erteilten Doktor-Diploms vom 19. Dezember 1936 war er fortan berechtigt, den Grad eines Dr. phil. nat. zu führen [4, 5].

Friedmar Kerbe
Verein für Regional- und Technikgeschichte
e. V.
07629 Hermsdorf (Thüringen)
E-Mail: fkerbe@gmx.de

Dr.-Ing. Markus Schneider
GKN Powder Metallurgy GmbH,
42477 Radevormwald
E-Mail: Markus.Schneider@gknpm.com



Bild 2 Trockenpressautomat Nr. 5 von Otto Assmann

Nach Abschluss seiner Promotion verblieb Gerhard Zapf noch von März bis August 1935 am Chemischen Laboratorium bei Prof. A. Sieverts und arbeitete vorwiegend an Metall-Gas-Systemen. Eines Tages überreichte ihm A. Sieverts die vor kurzem erschienene Monographie „Metallkeramik“ von F. Skaupy mit der Bemerkung: „Hier befassen Sie sich mit dieser Technologie, daraus wird einmal was werden!“ [1].

Betriebsjahre bei den Sintermetallwerken Bernhard Berghaus

Zum 1. September 1936 trat Gerhard Zapf seine erste Stelle in der Industrie an. Bei den Berlin-Lübecker Maschinenfabriken Bernhard Berghaus übernahm er dort die Werkstoffstelle. Ab 1939 erfolgte im bescheidenen Umfang der Fertigungsstart von Sinterstahlteilen.

Das aus der Berlin-Lübecker Maschinenfabrik entstandene Sintermetallwerk Bernhard Berghaus wurde kriegsbedingt im Dezember 1942 nach Mitterberghütten im Salzburger Land verlagert. Einem Bericht des British Intelligence Objectives Subcommittee (BIOS) [6] zu Folge wurden dort pulvermetallurgisch Gewehrteile hergestellt. G. Zapf war von Anfang an technischer Direktor. Er schien das „geistige Zentrum“ gewesen zu sein. Außerdem arbeitete er wohl auch an der Erzeugung von Elektrolyt-Eisen und der Chlorierung von Eisen.

Eine seiner damals besonderen technischen Leistungen war die Entwicklung und die Produktionseinführung des so bezeichneten

Abziehverfahrens (Withdrawal-Verfahren) zur Formgebung kompliziert gestalteter Sinterstahlbauteile. Bei dieser Entwicklung erwies sich eine wertvolle Rückbesinnung an seine Studienzeit von Nutzen. In den Semesterferien hatte er während eines Betriebspraktikums in der Hermsdorf-Schomburg-Isolatoren Gesellschaft (HESCHO) in Hermsdorf/Thüringen gesehen, wie auf Trockenpress-Automaten, ausgerüstet mit unterteilten Werkzeugen, formschwierige keramische Röhrensockel aus Steatit in großen Stückzahlen auf eine gleichmäßige Dichte gepresst wurden. Es waren die von Otto Assmann in der HESCHO entwickelten Trockenpress-Automaten des späteren Typs TPA [7]. (Bild 2) Die Übertragung dieses sogenannten Matrizen-Abziehverfahrens auf die Pressformgebung von Bauteilen aus Metallpulvern zählt als Beginn der Sinterstahlfertigung in Deutschland und in der HESCHO nahm in den 1940er Jahren – dem BIOS-Report zu Folge – unter Hermann Silbereisen eine Versuchsanstalt für Pulvermetallurgie des Oberkommandos des Heeres (OKH) ihren Betrieb auf. Alle entwicklungs- und produktionsseitigen Arbeiten waren im „Dritten Reich“ in einem „Sonderring Pulvermetallurgie“ unter Leitung von Prof. Richard Kieffer, Metallwerk Plansee GmbH in Reutte/Tirol, konzentriert. Darin wurde die Sektion IV „Pulvermetallurgische Waffenteile“ von Gerhard Zapf geleitet und in Sektion IX „Entwicklung von Eisenpulver-Werkstoffen“ fungierte er als Repräsentant beim „Hauptausschuss Waffen“ [6]. Im Rahmen der Repatriierung von „Volksdeutschen“ aus Österreich nach Deutschland, die in der amerikanischen Besatzungszone im Januar 1946 begann, schied G. Zapf am 15. Februar 1946 aus dem Sintermetallwerk Bernhard Berghaus aus und musste wegen seiner Tätigkeit in der Rüstungsindustrie Österreich verlassen. Aus einem Zeugnis, das später der von der Österreichischen Bundesregierung am 1.9.1949 eingesetzte „Öffentliche Verwalter der Sintermetallwerke Bernhard Berghaus in Mitterberghütten, Land Salzburg, Österreich“ auf Ersuchen von G. Zapf ausstellte, erfuhr seine Betriebstätigkeit folgende offizielle Bewertung [8]: „Herr Gerhard Zapf war bei der Firma Sintermetallwerke Bernhard Berghaus Mitterberghütten von derer Gründung im Dezember 1942 bis zum 15. Februar 1946 als technischer Direktor

und Prokurist tätig. Er war während dieser Zeit alleiniger Leiter des Werkes Mitterberghütten und gleichzeitig auch Prokurist der Hauptniederlassung in Berlin. Dr. Zapf hat das Werk Mitterberghütten der Sintermetallwerke vollständig aufgebaut. Es oblag ihm die Pachtung des notwendigen Geländes, die Umbauplanung vorhandener Gebäude für die Zwecke des Werkes, die Montage der Betriebseinrichtungen sowie der Aufbau und die Ingangsetzung eines Betriebes, der in der Zeit seiner höchsten Aktivität eine Belegschaft von ca. 1500 Mann hätte erreichen sollen. Herr Dr. Zapf hatte auch alle mit den durch die Kriegsverhältnisse bedingten raschen Werksausbau zusammenhängenden administrativen Arbeiten zu erledigen. Nach Kriegsende von der Besatzungsbehörde zunächst auf seinem Posten bestätigt, gelang es ihm, das Werk den gegebenen Verhältnissen entsprechend auf Friedensproduktion umzustellen und eine Produktion in bescheidenem Umfang wieder in Gang zu bringen.“

G. Zapfs Schaffensjahre in Schweden

Des Landes verwiesen, führte G. Zapfs weiterer Weg über eine Zwischenstation beim Berghaus-Trust in Zürich weiter nach Schweden. Zum 1. Januar 1947 trat er in die schwedische Firma Husqvarna Vapenfabriks AB (Waffenfabrik) ein und übernahm als Leiter die Metallurgische Entwicklungsabteilung sowie die Patent- und Lizenzabteilung. Dank seiner Erfahrung aus der Produktion von Sinterstahl-Waffenteilen im Zweiten Weltkrieg in Deutschland realisierte er eine breite Produktpalette an Sinterteilen auf Eisen- und Stahlbasis und führte legierte Sinterstähle mit Nichteisenmetallen als Legierungszusätze ein.

In diese Schaffensperiode fiel ab den 1950er Jahren auch sein Mitwirken an der Gründung von CODIRP (Comité de Direction des Recherches en Métallurgie des Poudres), einer Art „Lenkungsausschuss für die Forschung in der Pulvermetallurgie“ diverser vorwiegend europäischer Firmen. Ausgehend von der französischen Métafram S.a.r.l. und der schwedischen Husqvarna Vapenfabriks AB, die anstrebten, den gängigen Fertigungsablauf für Sinterstahl-Bauteile technologisch und kostenseitig zu optimieren, gründeten sie die CODIRP zusammen mit den Firmen Nuova Merisinter

S.p.A., Turin; Krebsöge GmbH, Radevormwald; Aplicaciones de Metales Sinterizados S. A. (AMES), Barcelona; Aliages frittés Métafram S.a.r.l., Grenoble; und Sumitomo Electric Industries Ltd., Itami/Japan.

Erster Präsident war Thure Öberg von Husqvarna Vapenfabriks, abgelöst 1956 durch Albano Albano-Müller von Krebsöge und 1964 folgte G. Zapf in der Präsidentschaft. Es herrschte in dieser Art Syndikat ein sehr produktiver Austausch zu technischen Neuerungen aller Fertigungsprozesse, zu Produktionskapazitäten und Marktanteilen, noch ohne die sich anbahnende Konkurrenz und Wettbewerb. Sie entwickelten sich zu echten Technologieführern. Ohne Beitragspflicht fühlten sich alle Mitglieder jährlich zu zwei technischen Berichten verpflichtet. Daran waren u. a. Dr.-Ing. Lothar Albano-Müller, Dr. rer. nat. Volker Arnhold und Dr.-Ing. Paul Beiss beteiligt.

Die CODIRP-Treffen lassen sich bis in das Jahr 1991 im Mai in Neapel und im Oktober in Nara/Japan verfolgen. Danach führten diverse Firmenübernahmen und Managerwechsel letztlich zu deren Ende.

G. Zapf und die Sintermetallwerk Krebsöge GmbH

In seiner bisherigen Betriebsstätigkeit hatte er auch erste Kontakte mit der Firma Sintermetallwerk Krebsöge GmbH im Ortsteil Krebsöge von Radevormwald (Nordrhein-Westfalen). Bei dieser Firma übernahm er Mitte 1955 nach seiner Rückkehr nach Deutschland die Geschäftsführung. Wohnhaft war die Familie nunmehr in „Krebsöge 23“. Wie Zeitzeugen zu berichten wussten, konnte er von seinem Wohnsitz aus auch des Nachts den Hub der Trockenpressen im Werk verfolgen [9].

Das Werk war aus der Schwelmer Eisenwerke Müller & Co. hervorgegangen, die zum 1. September 1943 ihre gesamte sogenannte SK-Abteilung (Kapillarmetall) nach Krebsöge verlagerte. Dank seiner technischen und wissenschaftlichen Kompetenz, richtungsweisenden Ideen und Initiativen führte G. Zapf das Unternehmen in den folgenden fast 25 Jahren kontinuierlich zu einem Marktführer auf dem Gebiet der Pulvermetallurgie in Deutschland und darüber hinaus.

Ein sichtbares Zeichen dieser erfolgreichen betrieblichen Entwicklung war die Gründung folgender Tochterunternehmen mit

jeweils eigenem Erzeugnisprofil und Werkzeugbau:

- 1960 Metallwerk Unterfranken in Bad Brückenau (mit speziellem Testlabor für hochpräzise Lager, 90 % der Fertigung von Sinterteilen für den Fahrzeugbau, insbesondere für den VW Käfer)
- 1970 Sintermetallwerk Lübeck (rotations-symmetrische Komponenten in großen Stückzahlen)
- 1975 das Sintermetallwerk Schwelm.

Ab 1975 wurden Beteiligungen in den USA, Kanada und Südafrika aufgebaut und branchennahe konkurrierende Betriebe aufgekauft. Insgesamt verfügte man über 10 Elektroerosionsmaschinen für den Werkzeugbau. Das Werk Krebsöge selbst fungierte als Zentrum für Produktionsmanagement, Forschung und Entwicklung (ca. 40 Beschäftigte) und Verkauf. Produziert wurde vorwiegend für den deutschen Markt und mit ca. 16 % Exportanteil. Die Bedürfnisse des Inlandmarktes lagen bei Gewährleistung einer hohen Zähigkeit und Festigkeit der Sinterteile, erreichbar durch Einsatz von Fe-Cu-, Fe-Ni- und Fe-Cu-Ni-Legierungen, gesintert im Molybdän-Hochtemperaturesinterofen [10, 11].

G. Zapf führte neue Technologien in die pulvermetallurgische Fertigung ein. Dazu zählen das kaltsostatische Pressen großer Filterrohre auf einer ASEA Quintus-Anlage (bis zu 6000 bar, 350 mm Durchmesser und 1400 mm Länge), Heißformgebung großdimensionierter Maschinenbauteile hoher Festigkeit, spezielle Vakuum-Sinteraggregate und das PM-Schmieden, letzteres in enger Verbindung mit dem Schmiedewerk in Hückeswagen, insbesondere für sintergeschmiedete Stellite.

1975 erteilte die Universität Karlsruhe G. Zapf einen Lehrauftrag zu „Sinterwerkstoffen für industrielle Anwendungen“ in Ergänzung zu den Vorlesungen von Prof. Dr.-Ing. Fritz Thümmel. Dem folgte 1976 eine Berufung zum Honorarprofessor. Anfang 1977 trat G. Zapf altersbedingt als Geschäftsführer des Sintermetallwerks Krebsöge GmbH zurück und übernahm den Posten eines Vorstandsvorsitzenden.

Das wissenschaftliche Werk von Gerhard Zapf

Resultierend aus seinen in jahrzehntelanger Tätigkeit in der Pulvermetallindustrie gewonnenen wissenschaftlich-technischen

Erkenntnissen und Erfahrungen konnte Gerhard Zapf auf eine reiche Publikations- und Vortragstätigkeit verweisen. Mit ca. 80 Publikationen und einer Vielzahl von Patenten bereicherte und prägte er in der 2. Hälfte des 20. Jahrhunderts nachhaltig die Entwicklung der Pulvermetallurgie im nationalen und internationalen Maßstab. Bereits zu Beginn seiner Tätigkeit bei der Firma Sintermetallwerk Krebsöge GmbH im Jahre 1955 konnte er im Rückblick wichtige Entwicklungen in der PM-Industrie bewerten. So hatte er 1953 über technische Sinterwerkstoffe aus dem System Fe-Cu berichtet und gezeigt, dass Sinterstähle aus diesem Pulvergemisch in einem Doppelpressverfahren hergestellt Festigkeiten erreichen können, die sich denen von gewalzten Stählen annähern. Als Anwendungsbeispiele verwies er auf Getriebe für Waschmaschinen und Bauteile für Nähmaschinen und Motorräder [12–16].

Im November 1955 berichtete er in einem Vortrag über „Forschung und Fortschritt bei der Herstellung und Anwendung von Sinterwerkstoffen“ anlässlich einer 4. Tagung zu „Gaswärme in der Fertigung“ in Essen und zeigte am Beispiel typischer Applikationen wie Gleitlager, Metallfilter und Formteile die Leistungsfähigkeit der Pulvermetallurgie [17]. (Bild 3)

Aufbauend auf der Entwicklung von PM-Pressverfahren zur Herstellung formschwieriger Sinterteile berichtete G. Zapf noch in seiner Zeit in Schweden 1955 über gesinterte Maschinenbauteile, deren Entwicklung in Deutschland 1925 ihren Anfang nahm.

In diese Frühzeit der Pulvermetallurgie fällt auch 1959 die Arbeit von G. Zapf „Das Sinterteil in der verarbeitenden Industrie“, demonstriert am Beispiel des Einbaues von Sintergleitlagern [18], und die Entwicklung eines Verfahrens zur Herstellung von Formteilen aus Sintermessing [19].

Mit der Entwicklung eines neuen Gleitlagerwerkstoffs auf Basis von Sinterbronze mit eingesintertem Molybdändisulfid MoS_2 zeigten G. Zapf und Ulrich Völker die Spezifik in der Herstellung dieses Verbundwerkstoffs. Sie besteht aus einer innigen Mischung von vorreduziertem Elektrolyt-Kupferpulver mit sehr reinem Zinnpulver und Molybdändisulfid (MoS_2), welche unter Schutzgas heißgepresst und bei einer Sinter Temperatur unterhalb der Zerfallstemperatur des MoS_2 gesintert wird. Mit dem



Bild 3 a–e Applikationen für eine Vielzahl von Sinterbauteilen: **a), b)** diverse Sinterbauteile; **c)** poröse Bauteile; **d)** SIKA-Werkstoff-Komponenten zur Filtration von Mineralölprodukten; **e)** Sintergleitlager

neuen Werkstoff wurden interessante Applikationen erschlossen. Unter Beachtung der Einbaumethoden sind extreme Lagerungsfälle bei höheren Temperaturen realisierbar, bei denen übliche Schmiermittel nicht mehr einsetzbar sind. Das betrifft Transportrollen in Trocknungsanlagen, Gestänge und Klappen in Öfen, Warmlager von Walzstraßen, Bauteile im Maschinenbau und Hochvakuumanlagen. Insgesamt haben Gleitlager aus porösen Sinterwerkstoffen besonders im Bereich niedriger und mittlerer Gleitgeschwindigkeit bedeutende Vorteile. Schon bei niedriger Geschwindigkeit kommt es nach sehr kurzer Anlaufzeit zur Ausbildung eines zusammenhängenden Schmierfilms und zur Einstellung eines niedrigen Reibwertes. Sie sind über einen längeren Zeitraum wartungsfrei und erfordern keine Nachschmierung, sofern beim Einbau auf einen entsprechenden Schmiermittelvorrat

geachtet wird, erreichbar mit geeignetem Tränköl, z. B. durch Vakuumtränkung der Lager [20, 21].

Zu Beginn der 1960er Jahre zog Gerhard Zapf im technikhistorischen Rückblick folgende Zwischenbilanz [22]: „Noch vor zwei Jahrzehnten haben wir nur verhältnismäßig einfache Bauteile mit geringer Festigkeit und Belastbarkeit auf pm-Wege hergestellt. Inzwischen sind jedoch die Festigkeit und besonders die Zähigkeit der bekannten Sinterwerkstoffe so erheblich verbessert worden, dass sie hohen und höchsten Beanspruchungen aussetzbar sind. Die Entwicklung einer besonderen pm-Legierungstechnik ist soweit fortgeschritten, dass legierte Sinterstähle, die man in ihren Güteeigenschaften mit unlegierten und niedrig legierten Einsatz- und Vergütungsstählen vergleichen kann, produktionsmäßig hergestellt werden. Weiter sind rostfreie

Stähle sowie Sinterstähle mit besonderen elektrischen und magnetischen Eigenschaften entstanden. Auch hochwertige Sinterlegierungen aus Nichteisenmetallen und Sinterwerkstoffe mit wertvollen Sondereigenschaften wurden entwickelt. Parallel zur Verbesserung der Werkstoff-Eigenschaften sind erhebliche Verbesserungen in der Fertigungstechnik und der Erforschung der Anwendungsgebiete erfolgt. Auch außerordentlich komplizierte Formkörper können heute in engen Toleranzen hergestellt werden. Breite Anwendungsgebiete haben sich durch systematische Anwendungsanalyse der einschlägigen Industrien inzwischen erschlossen.“

Der erreichte Entwicklungsstand ermöglichte zusammen mit dem Fachverband Pulvermetallurgie (FPM) eine Herausgabe sogenannter Werkstoffleistungsblätter für Sinterwerkstoffe [23]. Wegen der Bedeu-

tung der Porosität für die Gebrauchseigenschaften und der Abhängigkeit der Festigkeit von der Dichte wurde der Porenraum als Ordnungsprinzip gewählt und die Werkstoffe in sechs Dichteklassen eingeteilt („Sint A“ bis „Sint F“) und jeder Klasse die Hauptanwendungsgebiete zugeordnet. Sie definieren damit klare Gütekriterien für Produzenten und Anwender.

Zusammen mit Rudolf Reinstadler folgten 1964 Untersuchungen über Fe-Ni-Legierungen mit dem Ziel an sowohl nach dem Einfach- wie auch nach dem Doppelpressverfahren hergestellten Legierungen mit 0–10 % Ni-Zusatz die Dichteabhängigkeit von Brinellhärte, Zugfestigkeit und Bruchdehnung zu ermitteln. Zwischen diesen Kennwerten wurde im Falle beider Pressverfahren ein linearer Zusammenhang festgestellt [24].

Zusammenfassend stellte Gerhard Zapf 1965 in mehreren Abhandlungen den Entwicklungsstand gesinterter Nichteisenmetalle für den Maschinenmarkt dar [25–27].

Forschungsarbeiten 1965–1975

Das umfangreiche Forschungs- und Entwicklungsprogramm von G. Zapf und seinen Mitarbeitern in den Jahren von 1965 bis 1975, im Auftrag der Forschungsgemeinschaft Pulvermetallurgie e.V., Schwelm, realisiert, ist in zahlreichen Forschungsberichten des Landes Nordrhein-Westfalen dokumentiert [28] und wird nachstehend ergänzend dargestellt. So fällt in diesen Zeitraum die bedeutsame Entwicklung von Zahnrädern aus Sinterwerkstoffen [29]. (Bild 4)

Ausgehend von einer zunehmenden Bedeutung pulvermetallurgisch hergestellter weichmagnetischer Sinterwerkstoffe führte die Firma Sintermetallwerk Krebsöge GmbH seit Jahren entsprechende Entwicklungen durch und berichtete ab 1959 darüber in den CODIRP-Sitzungen [30, 31]. Für die auf dieser Basis seither in Produktion befindlichen Erzeugnisse eröffneten sich folgende drei Applikationsmöglichkeiten:

- Werkstoffe mit extrem niedriger Koerzitivkraft für den Relaisbau
- Werkstoffe mit mittelhoher Induktion, niedriger Koerzitivkraft und erhöhtem elektrischen Widerstand für den Zählerbau
- Werkstoffe für die Fernmeldetechnik, bei denen es weniger auf eine niedrige Koer-

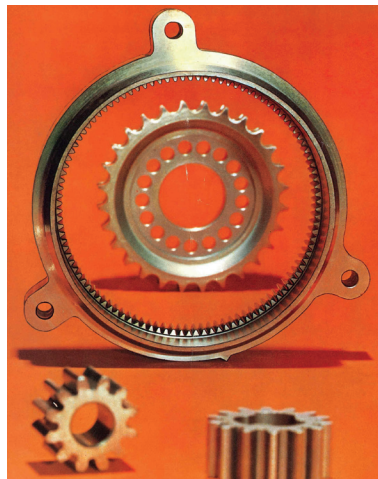


Bild 4 Zahnräder aus Sinterwerkstoffen

zitivkraft als vielmehr auf eine hohe magnetische Induktion und besonders gute Korrosionsbeständigkeit ankommt.

Entsprechende Werkstoffe, hergestellt auf Basis von Elektrolyt-Eisenpulver im Einfachpressverfahren und gesintert unter Wasserstoff bei 1400 °C für 4 h, besitzen eine Koerzitivkraft in der Größenordnung von 1–0,75 Oe. Zusätze von Carbonyl- zum Elektrolyt-Eisenpulver haben keinen nennenswerten Einfluss auf die magnetischen Kennwerte, da sie nicht als Kristallisationskeime wirken. Diese im Einfachpressverfahren erzielten Werkstoffe eignen sich für Relais, bei denen zwar eine hohe Schalthäufigkeit vorliegt und eine hohe Ansprechempfindlichkeit gefordert wird, die Schaltleistung aber nicht übermäßig hoch ist. Dagegen ist bei Forderung nach sehr niedriger Koerzitivkraft und hoher magnetischer Induktion das Doppelpressverfahren notwendig.

Die dabei auftretenden Schwierigkeiten bestehen vor allem darin, dass durch das Einbringen von Verunreinigungen über Schmiermittel oder Molybdän entweder die magnetische Induktion verschlechtert oder die Koerzitivkraft heraufgesetzt wird.

Lösungsansätze dafür zeigten Untersuchungen über den Einfluss der Partikelgröße des eingesetzten Reineisens, der Sintertemperatur und Sinterzeit auf die physikalischen Eigenschaften, insbesondere auf die Koerzitivkraft weichmagnetischer Sinterwerkstoffe.

Die rasante Zunahme im Einsatz von Sinterteilen aus Sintereisen, -stahl, -messing und -bronze in den verschiedensten Bau-



Bild 5 Vorsprung durch Pulvermetallurgie

teilkonfigurationen erforderte eine ständige anwendungsbezogene Forschung zu immer höherer Zug- und Dauerfestigkeit sowie Zähigkeit. So untersuchten G. Zapf, U. Völker und R. Reinstadler schon 1962 Fertigungsmethoden zur Erzeugung hochfester Sinterteile. Eine erste umfassende Untersuchung über die Biegegewichseigenschaften wurde von G. Zapf 1966 veröffentlicht.

Dem folgten Untersuchungen zu den Werkstoffeigenschaften z. B. des E-Moduls. So wurden zusammen mit Jörg Niessen Sinterstähle mit einem E-Modul >12.000 kp/cm² und einer Warmstreckgrenze >25 kp/mm² bei 400 °C entwickelt. Über die Dauerfestigkeit von Sinterwerkstoffen wurde 1966 umfangreich berichtet. In einem Stichversuch konnte eine Steigerung der Dauerfestigkeit durch Einsatzhärten festgestellt werden, im untersuchten Fall um fast 300 %.

Über die Entwicklung produktionsgerechter Verarbeitungsverfahren binärer und ternärer Fe-Mn-Legierungen hoher Festigkeit wurde im August 1974 zusammen mit Gerhard Hoffmann und Kirit Dalal berichtet, ebenso von ihnen über mit einer Vorlegierung hergestellte hochfeste und vergütbare Mn-legierte Sinterstähle [32].

In Fortsetzung wurde 1971 der Einfluss von Vorspannungen auf das Verhalten bei schwingender Beanspruchung untersucht, konkret von vier für die PM-Industrie typischen verfahrenstechnischen Schritten. Das betraf:

- Die Gleitschleifbehandlung, bei der durch eine Oberflächenverdichtung Druckeigenspannungen aufgebracht werden, die z. B. bei gesinterten Ni-Stählen eine Festigkeitssteigerung von 16 % brachten
- Im Ergebnis der üblicherweise angewendeten Kalibrierungsgrade war ein Festigkeitsabfall zu verzeichnen

- Die höchste Festigkeitssteigerung ergab sich bei der Einsatzhärtung
- Bei der Herstellung von Sinterteilen komplexer Konfiguration treten Querschnittsübergänge auf, die so zu gestalten sind, dass kein Abfall der Dauerfestigkeit eintritt.

Gemeinsam mit B. D. Hahn berichtete Zapf im Rahmen des 2. Europäischen Symposiums über Pulvermetallurgie 1968 in Stuttgart über neuere Entwicklungen von Cu- und Ni-legierten Sinterstählen unter besonderer Berücksichtigung ihrer technischen Anwendung. Zusammen mit J. Niesen wurden im Januar 1972 die Ergebnisse über Untersuchungen verschiedener Herstellungsverfahren auf die physikalischen und mechanischen Eigenschaften infiltrierter Sinterisenwerkstoffe publiziert [33].

1975 erfolgten auf Basis vorangegangener Arbeiten Entwicklungen von mittels Warmpressverfahren hergestellter Sinterteile mit einem Elastizitätsmodul $E > 170\,000\text{ N/mm}^2$ und optimaler Warmstreckgrenze, Dauerfestigkeit und Kerbschlagzähigkeit.

Ein Einfluss der Verfahrensparameter auf die ermittelten Kennwerte wurde in Beziehung zur Gefügeausbildung gesetzt. Von großem Einfluss war die Art der Legierungselemente und Legierungsträger. Optimale Ergebnisse wurden bei Verwendung fertig legierter oder gemischt legierter Pulver unter Einsatz spezieller Vorlegierungen als Legierungsträger erzielt. Durch die Vorlegierung der Pulver umging man das Problem einer Entmischung von Pulvergemischen, derzeit industriell als Standardverfahren („Distaloy“-Verfahren) angewendet. Die Rolle von Kohlenstoff bei der Legierungsbildung wurde detailliert untersucht. Ein Anwendungsbeispiel dieser Entwicklung war ein Parksperrenrad für Pkw.

In einem umfangreichen Gemeinschaftsprojekt zur Untersuchung des Einflusses der Ausgangsstoffe und der Herstellungsverfahren auf die Rückschlagsicherheit von Sintermetalleinsätzen in Flammensperren wurden nahezu alle in Frage kommenden Parameter geprüft.

Als ein wesentliches Hilfsmittel erwies sich dabei die Einführung von zwei neuen Kenngrößen: Grenzdruck und Dämpfungskonstante. Die an diesen Parametern gemessenen extremen Sicherheitsanforderungen sind nur realisierbar, wenn die Einsätze aus relativ engen Pulverfraktionen, einer Min-

destdichte von $5,5\text{ g/cm}^3$ und Wasserstoff-sinterung gefertigt werden.

Von besonderer praktischer Bedeutung zur Erhöhung der mechanischen Werkstoffkennwerte erwies sich das Verfahren einer sogenannten „Ausscheidungshärtung“ (precipitation hardening), d. h. einem Verfestigungsmechanismus, der nicht über martensitische Umwandlung oder Kaltverfestigung funktioniert. Er beinhaltet das Lösungsglühen eines Mischkristalls, um eine Übersättigung des Mischkristalls (bei hoher Temperatur) mit einer Atomart zu erreichen. Durch ein nachfolgendes Abschrecken wird der übersättigte Zustand „eingefroren“ und infolge einer Alterungsbehandlung scheiden sich Teilchen aus dem ehemals übersättigten Mischkristall aus und blockieren so die Versetzungen. Damit wird eine Zunahme von Härte, Zugfestigkeit und Streckgrenze erreicht. Bei Stählen spielt dieser Verfestigungsmechanismus auf Grund einer martensitischen Umwandlung und Kaltverfestigung kaum eine Rolle.

Eine Ausnahme ist Sinterstahl, der Cu-legiert ist. Bei ihm nutzt man Kupfer dank seines niedrigen Schmelzpunktes und einer mischkristallbildenden Wirkung. Ab ca. 4 % Cu kann sich dieses wieder ausscheiden, z. B. durch eine Wasserdampfbehandlung um 500 °C , was zu einer leichten Ausscheidungshärtung führt.

Zwecks Herstellung hochfester Sinterstähle wurden gemeinsam mit L. Albano-Müller und Prof. F. Thümmel unter den Bezeichnungen MCM und MVM Master-Vorlegierungen mit dem Ziel entwickelt, die sauerstoffaffinen Elemente Mn, Cr und V über Karbide hinzuzulegieren und damit deren Oxidation zu verhindern. Diese Vorlegierungen wurden bei der Firma GfE, Gesellschaft für Elektrometallurgie mbH in Nürnberg, durch Schmelzen hochgekoelter Ferrolegierungen in Induktionsöfen und nachfolgender Vermahlung hergestellt. Die Bezeichnung MCM steht für Mn-Cr-Mo und die für MVM für Mn-V-Mo.

Für zahlreiche Applikationen war die Entwicklung eines Verbindungsschweißens von Sinterstählen zur Herstellung großflächiger Bauteile wichtig, insbesondere für den Anlagen- und Maschinenbau. Dafür wurden spezielle schweißbare Sinterstähle entwickelt und Verfahren zur Aufhärtung der vom Schweißen thermisch beeinflussten Schweißzonen [34].

Etwa ab Mitte der 1970er Jahre erlangten Fragen einer Rohstoff- und Energieeinsparung in der Pulvermetallurgie und insbesondere in der metallverarbeitenden Industrie eine zunehmende Bedeutung und wurden damit Gegenstand zahlreicher Publikationen von G. Zapf [35, 36, 37]. Er wies nach, dass im Vergleich zur spangebenden Fertigung bei vergleichbaren Formteilen der Rohstoffverbrauch um 40–60 % und der Energieaufwand um 30–50 % niedriger liegen.

G. Zapfs späte Schaffensjahre

In einem Interview mit Prof. Dr. Henry H. Hausner im Jahre 1976 gab G. Zapf einen umfassenden Rückblick über sein Schaffen, über die Entwicklung des Sintermetallwerkes Krebsöge GmbH und den FPM [38]. Dem folgten mehrere historische Beiträge über die Entwicklung der Pulvermetallurgie der letzten Jahrzehnte [39, 40, 41]. Auch im Ruhestand blieb Zapf der Pulvermetallurgie treu. In dem Bestreben seinen reichen Erfahrungsschatz an nachfolgende Generationen weiterzugeben hielt er von 1981 bis 1983 Schulungen über Pulvermetallurgie beim Bildungswerk des Vereins Deutscher Ingenieure e. V. (VDI) ab. Mit einer umfangreichen Abhandlung zur Pulvermetallurgie schuf er aus jahrzehntelanger Erfahrung ein Werk, sein Lebenswerk, das ohne Zweifel zum Standardwerk der Pulvermetallurgie zählen dürfte [42].

Ehrungen

Für sein umfangreiches Schaffen wurden G. Zapf höchste Ehrungen zuteil. 1973 wurde ihm dafür anlässlich einer Pulvermetallurgietagung in Toronto eine Goldmedaille verliehen. Dem folgte 1978 die Verleihung des Großen Verdienstkreuzes des Verdienstordens der Bundesrepublik Deutschland. Anlässlich seines 70. Geburtstages fand am 17. November 1979 im Rittersaal auf Schloss Burg eine Ehrung der besonderen Art statt: Die Sintermetallwerk Krebsöge GmbH und die Fakultät für Maschinenbau der Universität Karlsruhe hatten zu einem Ehrenseminar geladen. Vor mehr als 170 Gästen würdigte Prof. F. Thümmel die erfolgreiche, mehr als 20 Jahre währende technologische, betriebswirtschaftliche und wissenschaftliche Tätigkeit des Jubilars in Krebsöge. Gerhard Zapf habe sich besonders zu einer Zeit als Promotor erwiesen, als viele

Konstrukteure, aber auch maßgebende Vertreter der Anwenderindustrie dem Einsatz pulvermetallurgisch produzierter Bauteile mit großen Ressentiments begegneten.

Die Entwicklung der Pulvermetallurgie sei untrennbar mit dem Namen Gerhard Zapf verbunden. Das würdigten auch namhafte Vertreter aus Wissenschaft und Industrie mit aktuellen Beiträgen zum Entwicklungsstand und den Perspektiven der Pulvermetallurgie [43, 44, 45]. (Bild 5)

Zu Ehren des Jubilars widmeten ihm K.-J. Euler und J. May von der Working Group of Practical Physics, Gesamthochschule Kassel, ihre aktuellen Untersuchungen über „Electric Resistivity of Cu-Al Powder Compacts Depending on the Temperature“ [46].

Mit weiteren Beiträgen ehrten ihn Dr. rer. nat. Georg Schlieper und Prof. F. Thümmel sowie Gerhard Hoffmann und Kirit Dalal [47, 48]. Die Metal Powder Industries Federation (MPIF) verlieh am 25. Juni 1980 an G. Zapf in Washington D. C. den „Powder Metallurgy Pioneer Award“. In seiner Laudatio hob der Vorsitzende des Preiskomitees, Samuel Bradbury, die jahrzehntelangen Verdienste des Jubilars in der nationalen und internationalen Pulvermetallindustrie hervor [49]. Es war dies die zweite Auszeichnung eines Europäers. (Bild 6)

Ebenfalls anlässlich seines 80. Geburtstages fand für den Jubilar am 15. November 1989 an der Universität Karlsruhe ein Festkolloquium statt, organisiert von Prof. Fritz Thümmel, Direktor des Instituts für Werkstoffkunde, zusammen mit dem Ausschuss und dem FPM. Die Laudatio hielt Prof. Dr. Fritz Aldinger, Leiter der Zentralforschung der Hoechst AG [50]. (Bild 7)

Für seine unermüdliche Mitarbeit in zahlreichen Verbänden und Gremien wurden G. Zapf ebenso verdiente Ehrungen zuteil, so im FPM und der Forschungsgemeinschaft für Pulvermetallurgie, im Wissenschaftsrat der Allianz für Industrie und Forschung e. V. (AiF) und als Co-Autor des Journal of Powder Metallurgy.

Neben all den öffentlichen Ehrungen war ihm die Wertschätzung seitens seiner Mitarbeiter und Kollegen wohl eine besondere Anerkennung. Er war für sie einfach ein väterlicher Freund und als Liebhaber von Rosen und gutem Wein, als Freizeitgärtner und nicht zuletzt als Familienmensch wird er ihnen in dankbarer Erinnerung bleiben.



Bild 6 Jubilar Prof. Gerhard Zapf mit Urkunde, umgeben von Samuel Bradbury (l.) und Jack M. Williams, Präsident der Metal Powder Industries Federation (r.)

Am 28. Dezember 1999 vollendete sich das schaffensreiche Leben von Gerhard Zapf. Auf dem Evangelischen Stadtfriedhof in Remscheid fand er seine letzte Ruhestätte. Im vergangenen Jahr 2024 jährt sich sein 115. Geburtstag und sein 25. Todestag.

Danksagung

Für vielfältig erwiesene Unterstützung, Bereitstellung von Archivalien und sachdienlichen Befragungen danken die Autoren herzlich Alexander Zapf (Enkelsohn, Remscheid), Prof. Dr. rer. nat. Winfried Josef Huppmann (†), Eschen, Liechtenstein, Dr. rer. nat. Jürgen Schmidt, Boehlerit GmbH & Co. KG, Kapfenberg, Österreich, Dr. Werner Bauer, Karlsruher Institut für Technologie (KIT), Marianne Bach, Schkölen/Thüringen und Moritz Arnhold, Friedrich-Schiller-Universität Jena.

Literaturverzeichnis

- [1] Silbereisen, H.: Zur Geschichte der Sinterstahlfertigung in Deutschland. Mitteilungen aus dem Ausschuss für Pulvermetallurgie. Powder Metallurgy Int. **16** (1984) [2] 65–68; [3] 138–144
- [2] Geburtsurkunde. Standesamt Schkölen, Kreis Zeit, Ausfertigung vom 11. September 1952
- [3] Bach, M.: Vor-Ort-Recherchen in Schkölen 2024/25
- [4] Friedrich-Schiller-Universität Jena. Bescheinigung vom 3. August 1953
- [5] Zapf, G.: Molybdän und Stickstoff. Diss. Universität Jena 1935, Lübeck 1936
- [6] BIOS-Final Report No. 78 „Some Aspects of German Powder Metallurgy“. (Preliminary Assessment). British Intelligence Objectives Sub-Committee, London-H.M. Stationery Office



Bild 7 Prof. Dr. Fritz Aldinger, Vorsitzender des Ausschusses Pulvermetallurgie, beglückwünscht G. Zapf, links Frau Zapf, rechts oben Thomas Zapf, Sohn des Jubilars

- [7] Kerbe, F.: Die Entwicklung der Pulvermetallurgie in Deutschland. Keram. Z. **74** (2022) [6] 32–35
- [8] Zeugnis der Sintermetallwerke Bernhard Berghaus; undatiert
- [9] Neumaier, H. H.: Sintermetall Krebsöge. Geschichte, Geschichten und Menschen. Bergischer Geschichtsverein, Abteilung Radevormwald, Heft 29 (2011)
- [10] Albano-Müller, L.: Life work of Prof. Dr. Gerhard Zapf. Schreiben vom 17. März 1980 an MPIF, Metal Powder Industries Föderation, Princeton/NJ, USA
- [11] Festschrift Krebsöge 50 Jahre, 1993
- [12] Zapf, G.: Technische Sinterwerkstoffe aus dem System Eisen-Kupfer. Bericht Nr. 26 des Ausschusses für Pulvermetallurgie vom 23. Oktober 1953
- [13] Zapf, G.: Technische Sinterwerkstoffe aus dem System Eisen-Kupfer. Stahl und Eisen **74** (1955) [6] 338–347
- [14] Zapf, G.; Sieper, Ch.: Die Entwicklung und das Einsatzgebiet gesinterter Maschinenbauteile. Maschinenbautechnik **6** (1957) [11] 580–589
- [15] Zapf, G.: Gesinterter Maschinenteile. VDI-Z. **97** (1955) [3] 89–96, [4] 89–120
- [16] Zapf, G.: Das Sinterenteil als Bauelement in der verarbeitenden Industrie. Maschinenbaumarkt **62** (1956) 86, Sonderdruck
- [17] Zapf, G.: Forschung und Fortschritt bei der Herstellung und Anwendung von Sinterwerkstoffen. Vortrag auf der 4. Tagung „Gaswärme in der Fertigung“. Haus der Technik, Essen, Nov. 1955, 118–130
- [18] Zapf, G.: Der Einbau von Sintergleitlagern. Maschinenmarkt **65** (1959) [13], Sonderdruck
- [19] Zapf, G.: Entwicklung eines Verfahrens zur Herstellung von Formteilen aus Sintermessing. Forschungsber. des Wirtschafts- und Verkehrs-

- ministeriums des Landes Nordrhein-Westfalen. Nr. 542. Köln und Opladen 1958
- [20] Zapf, G.; Völker, U.: Gleitlagerwerkstoffe mit eingesintertem Molybdändisulfid, Maschinenmarkt **66** (1960) [91], Sonderdruck
- [21] Zapf, G.; Völker, U.: Das Verhalten ölgetränkter Sinterwerkstoffe bei kleinsten Gleitgeschwindigkeiten und bei Mangelschmierung. Maschinenmarkt **66** (1960) [47]
- [22] Zapf, G.: Fortschritte bei der Herstellung und Verwendung von Sinterwerkstoffen. Sonderdruck Nr. 34 zur Jahreshauptversammlung des Wirtschaftsverbandes Stahlverformung. 27. April 1962, 10 S.
- [23] Werkstoff-Leistungsblätter (WLB) Hrsg. Fachverband Pulvermetallurgie. Berlin, Köln 1974
- [24] Zapf, G.; Reinstadler, R.: Untersuchungen über Eisen-Nickel-Sinterlegierungen; undatiert, ohne Quellenangabe. 24 S.
- [25] Zapf, G.: Werkstücke aus Sinterstoffen. Klepzig Fachber. **71** (1963) [1] 1–8, Sonderdruck
- [26] Zapf, G.: Sinterverfahren bei Metallen. VDI-Ber. Nr. 68, 97–104
- [27] Zapf, G.: Gesinterte Nichteisenmetalle. Teil I–III. Maschinenmarkt **71** (1965) [14] 15–22; [33] 19–25; [40] 20–26
- [28] Forschungsber. des Landes Nordrhein-Westfalen. Hrsg. im Auftrag des Ministerpräsidenten Heinz Kühn vom Minister für Wissenschaft und Forschung Johannes Rau, Köln und Opladen: Nr. 1403: Zapf, G.; Völker, U.; Reinstadler, R.: Entwicklung Fertigungsverfahren zur Erzeugung hochfester Sinterteile (1965); Nr. 1745: Zapf, G.; Niessen, J.; Reinstadler, R.: Untersuchung über die Wärmebehandlung legierter Sinterstähle mit Kupfer und Nickel als Legierungselemente (1966); Nr. 2106: Zapf, G.; Niessen, J.: Einfluß des Herstellungsverfahrens auf die physikalischen Eigenschaften von binären Eisen-Nickel-, Eisen-Kupfer- und ternären Eisen-Kupfer- und Nickellegierungen bei Anwendung des Doppelpreßverfahrens (1970); Nr. 2277: Zapf, G.; Niessen, J.: Untersuchungen über binäre Eisen-Nickel-Sinterlegierungen (1973); Nr. 2270: Zapf, G.; Niessen, J.: Infiltrierte Sinterisenwerkstoffe. Herstellung und Eigenschaften (1973); Nr. 2362: Zapf, G.; Niessen, J.: Rückschlagsicherheit von Flammensperren aus Sintermetallen (1973); Nr. 2430: Zapf, G.; Mahmoud, E. M. Ahmed: Untersuchung an Sinterlegierungen aus dem binären System Eisen-Chrom und dem ternären System Eisen-Chrom-Kupfer (1974); Nr. 2431: Zapf, G.; Gernand, F.: Untersuchungen an Sinterlegierungen aus dem binären System Eisen-Mangan und dem ternären System Eisen-Mangan-Kupfer (1975); Nr. 2492: Zapf, G.; Jost, H.-G.: Einfluß von Chargengewicht, Chargierzeit und Temperaturgradient zwischen Ofenraum und Charge in technischen Sinteröfen auf die Eigenschaften von Sinterwerkstoffen (1975)
- [29] Zapf, G.; Günther, M.: Zahnräder aus Sinterwerkstoffen. Maschinenmarkt **74** (1968) [11] 19–29
- [30] Zapf, G.: Untersuchungen über den Einfluss der Teilchengröße des Eisenpulvers und der Sintertemperatur und der Sinterzeit auf die physikalischen Eigenschaften, insbesondere auf die Koerzitivkraft von weichmagnetischen Sinterwerkstoffen auf der Basis von Reineisen. Undatiertes Manuskript
- [31] Zapf, G.: Weitere Versuche zur Herstellung weichmagnetischer Werkstoffe auf Basis von Reineisen mit extrem niedrigen Koerzitivkraftfeldstärken. Undatierte Berichte 94: 30 765:1; 94: 30 765:2; 94: 30 765:3 im Zeitraum 1959–1964
- [32] Zapf, G.; Hoffmann, G.; Dalal, K.: Mit einer Vorlegierung hergestellte hochfeste und vergütbare manganlegierte Sinterstähle. Archiv Eisenhüttenwesen **46** (1975) [5] 347–352; Entwicklung produktionsgerechter Verarbeitungsverfahren binärer und ternärer Eisen-Mangan-Sinterlegierungen hoher Festigkeit. Manuskript, August 1974, 114 S.
- [33] Zapf, G.; Niessen, J.: Untersuchung verschiedener Eigenschaften infiltrierter Sinterisenwerkstoffe. Januar 1972, 58 S.
- [34] Schweißen von Sinterstählen; undatiertes Manuskript zur Veröffentlichung im „Maschinenmarkt“
- [35] Zapf, G.: Das Sinterformteil – Herstellung und Eigenschaften – und sein Einsatz. Einsparung von Rohstoffen und Energie in der verarbeitenden Industrie. Manuskript 46 S., 6 S. Anlagen
- [36] Zapf, G.: Optimale Rohstoff- und Energienutzung bei der Verwendung von Sinterbauteilen; undatiertes Manuskript 17 S.
- [37] Zapf, G.: Optimum of Materials and Energy Utilization in the Powder Metallurgy Produktion of Automotive Struktural Parts. Powder Metallurgy Int. **10** (1978) [3] 143–147
- [38] Hausner, H.H.: Interview with Dr. Gerhard Zapf. The Int. J. of Powder Metallurgy & Powder Technol. **12** (1976) [3] 173–176
- [39] Zapf, G.: Werkstoffeigenschaften von Sinterformteilen. In: VDI, Werkstofftechnik Jahrbuch 76
- [40] Zapf, G., Dalal, K.: Introduction of high oxygen affinity elements manganese, chromium, and vanadium in the powder metallurgy of P/M parts. In: Modern Developments in Powder Metallurgy **10** (1977) 129–152, New York, MPIF/APMI
- [41] Zapf, G.: Sintered components in the past 25 years. KREBSÖGE Informationen. Powder Metallurgy **25** (1982) [3] 139–145
- [42] Zapf, G.: Kapitel 4: Pulvermetallurgie. In: Handb. der Fertigungstechnik. Hrsg. G. Spur, Th. Stöferle, Bd. 1: Urformen. München, Wien 1981, 823–977. 185, Lit.; enthält außerdem: DIN- und Internationale Normen, Technische Lieferbedingungen. Stahl-Eisen-Prüfblätter, Patente, MPIF-Standard 35 (1976)
- [43] Thümmeler, F.: 70th Birthday of Prof. Gerhard Zapf. Powder Metallurgy Int. **11** (1979) [4] 171
- [44] Ehrenseminar zum 70sten. Wuppertaler Lokales
- [45] Morgan, V.T.: Powder Metallurgy congratulates one of the „Originals“. Powder Metallurgy (1980) [1]
- [46] Euler, K.-J.; May, J.; Electric resistivity of Cu-Al powder compacts depending of temperature. Powder Metallurgy Int. **11** (1979) [4] 181–182
- [47] Schlieper, G.; Thümmeler, F.: High strength heat treatable sintered steels containing manganese, chromium, vanadium and molybdenum. Powder Metallurgy **11** (1979) [4] 172, 174–176
- [48] Hoffmann, G.; Dalal, K.: Development and present situation of low alloyed PM steels using MCM and MVM master alloys. Powder Metallurgy **11** (1979) [4] 177–180
- [49] Metal Powders Industries Federation. Powder Metallurgy Pioneer Award, presented to Dr. Gerhard Zapf. Washington D.C., June 25, 1980
- [50] Esper, F.J.: Karlsruher Festkolloquium für Professor Zapf. Mitt. aus dem Ausschuß für Pulvermetallurgie. pm **22** (1990) [2] 57–58