

**inocermic**

inocermic Gesellschaft für innovative Keramik mbH  
Marie-Curie-Str. 17  
07629 Hermsdorf

**Entwicklung umweltgerechter, rezyklierbarer  
und umweltschonend hergestellter keramischer  
Gehäuse für Multi-Chip-Module als funktionelle  
Alternative zu Kunststoff- und Metallhäusungen**

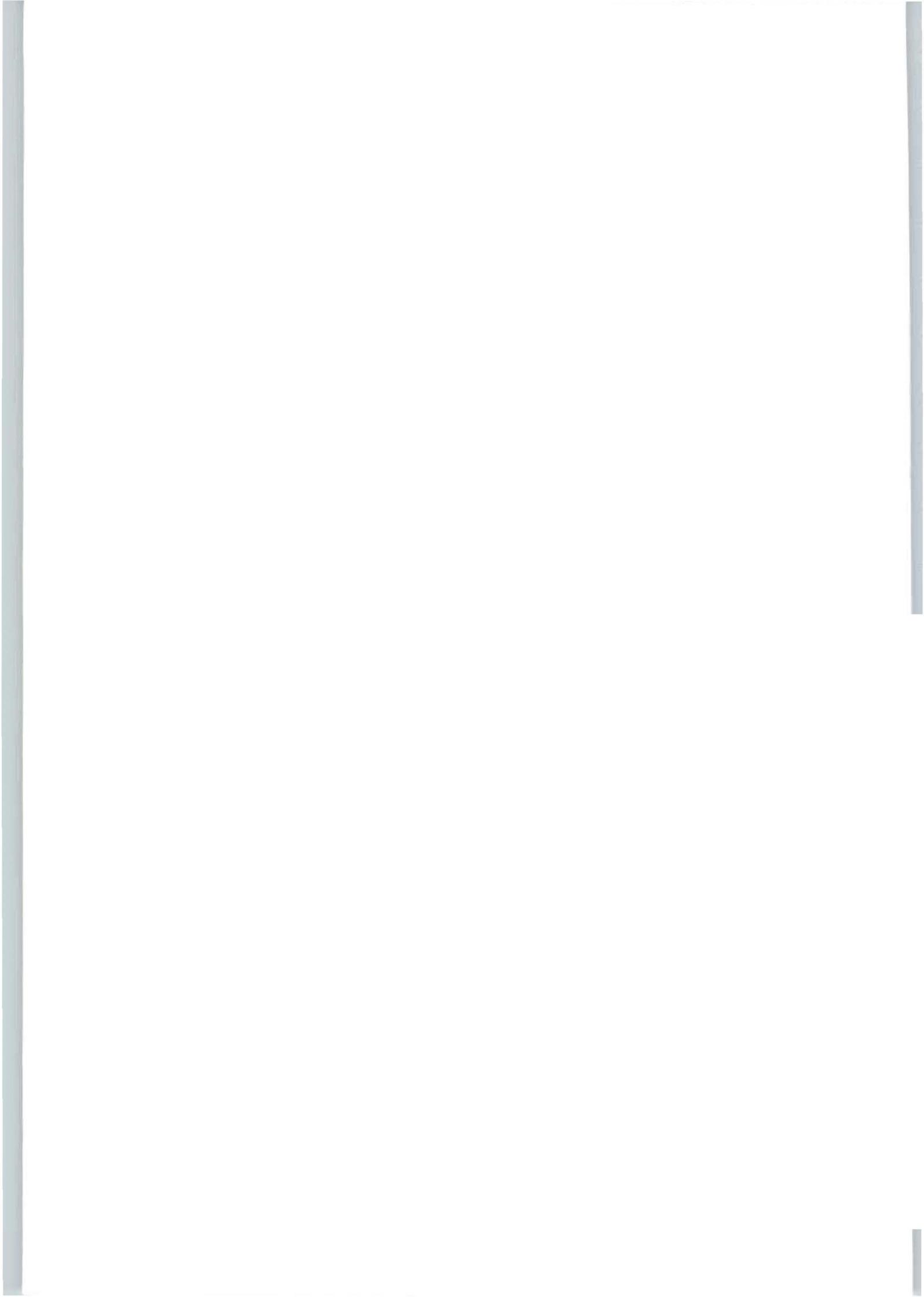
Abschlußbericht

über ein Entwicklungsprojekt gefördert unter dem Az: 06340 von der  
Deutschen Bundesstiftung Umwelt

Hermsdorf, 05.02.98

  
Dr. B. Voigtsberger  
Geschäftsführer

  
G. Polten  
Bearbeiter



**Projektkennblatt**  
der  
**Deutschen Bundesstiftung Umwelt.**



Az	<b>06340/</b>	Referat	<b>(21/0)</b>	Fördersumme	<b>400.000,00 DM</b>
Antragstitel	<b>Entwicklung umweltgerechter, rezyklierbarer und umweltschonend herstellbarer keramischer Gehäuse für Multi-Chip-Module als funktionelle Alternative zu Kunststoff- und Metallhäusungen</b>				
Stichworte	Verfahren, Recycling Keramik				
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)		
<b>2 Jahre 6 Monate</b>	<b>05.05.1995</b>	<b>31.10.1997</b>			
Zwischenberichte	30.04.1997,				
Bewilligungsempfänger	inocermic GmbH Industriegelände PF 23 34 07623 Hermsdorf			Tel	036601 / 63902
				Fax	036601 / 63921
				Projektleitung	Frau Dr.Voigtsberger
				Bearbeiter	G.Polten
Kooperationspartner	Prolog Consult 91217 Hersbruck				

### **Zielsetzung und Anlaß des Vorhabens**

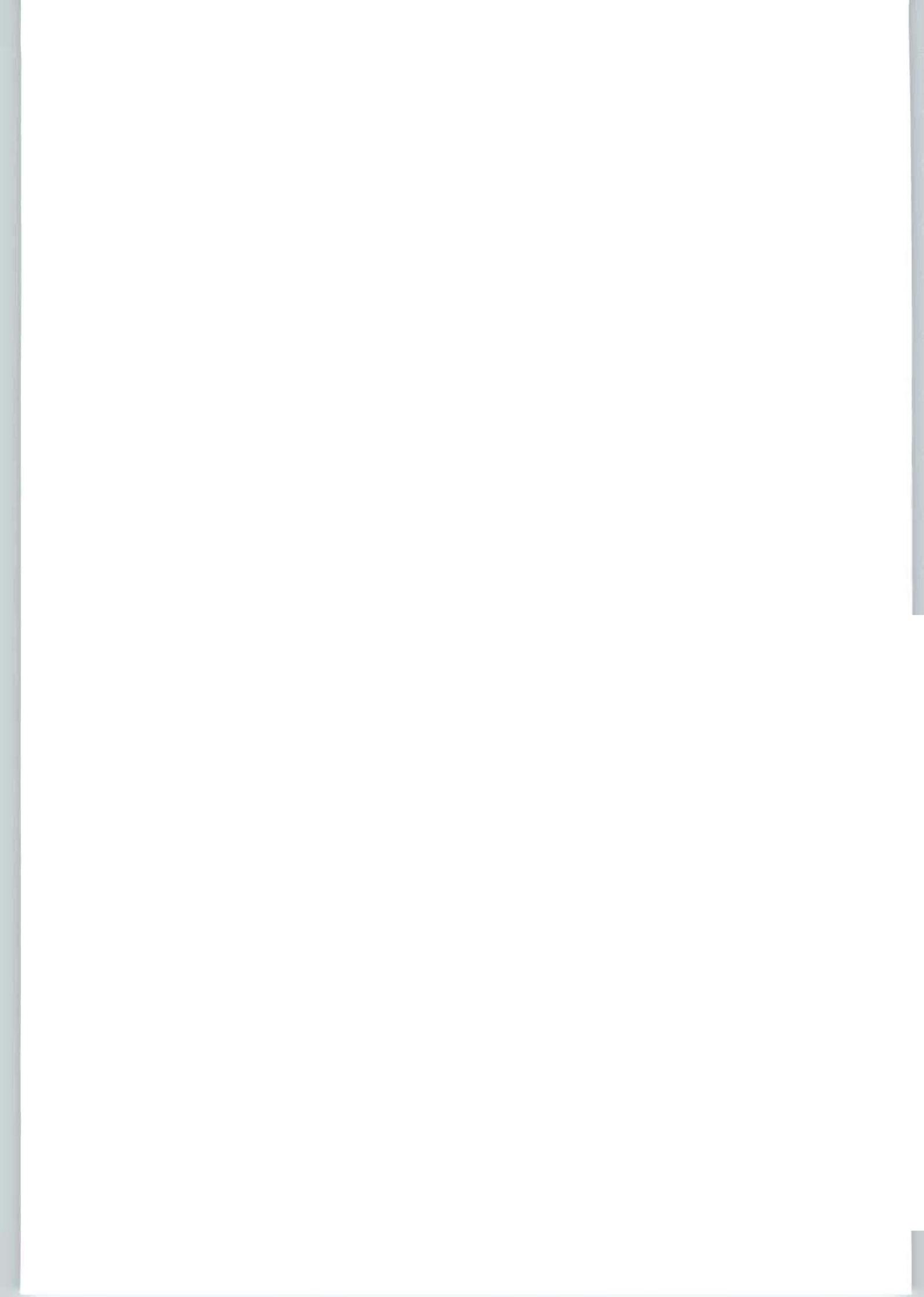
Ziel des Vorhabens war die Erstellung einer umweltgerechten Fertigungstechnologie für die Produktion von umweltfreundlichen kundenspezifischen Keramikgehäusen für Multi-Chip-Module (MCM). Das Produkt MCM-Gehäuse soll über alle Lebensphasen (Herstellung, Gebrauch, Recycling bzw. Entsorgung) einen möglichst geringen negativen Einfluß auf Natur und Mensch ausüben. Ausgehend von dem Mengenproblem und der Umwelttoxizität beim Elektronikschrottaufkommen sollte ein Beitrag zur Vermeidung, Verminderung und Recycelbarkeit geleistet werden.

### **Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden**

In Projektphase I wurde eine umweltgerechte Fertigungstechnologie für MCM-Gehäuse aus dunkelgefärbter Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Keramik bis zu einer Dimension von 2,5 x 2,5 Zoll<sup>2</sup> entwickelt. Die Formgebung der Gehäuse erfolgte durch Niederdruckspritzgießen. Dafür mußte die gesamte Prozeßkette von der Aufbereitung, dem Plastifizieren, dem Spritzguß, dem Entbindern, dem Sintern und der Finishbearbeitung auf die Einzelgeometrien der kundenspezifischen Gehäuse angepaßt werden.

In Prozeßphase II war entsprechend Aufgabenstellung die Technologieentwicklung von MCM-Gehäusen bis 4 x 4 Zoll<sup>2</sup> geplant. Nach neuesten Erkenntnissen war der Bedarf von großen Gehäusen aufgrund der schnellfortschreitenden Miniaturisierung in der Elektronik und Projektstreichungen im militärischen Bereich nicht mehr vorhanden. Dies führte zu einer Projektänderung in Form einer Erweiterung der Einsatzwerkstoffe für MCM-Gehäuse. Eine kurzfristig an die inocermic GmbH gestellte Forderung zur Entwicklung einer Glaskeramik-Kappe für einen optoelektronischen Bewegungssensor in MCM-D-Technologie wurde in die Projektbearbeitung aufgenommen. Weiterhin wurde das leckdichte Fügen von Gehäuse und Substrat gemäß Standards unter Berücksichtigung wirtschaftlicher und umweltbelastender Aspekte untersucht.

Kooperationspartner im Projekt waren Siegert TFT GmbH, Hermsdorf und Prolog Consult, Hersbruck. Siegert TFT hat verfahrens- und erzeugnistechische Leistungen vorrangig in Fügetechnik und Prüfleistungen erbracht. Prolog Consult war für Koordinations- und Projektmanagement zuständig und hat Verbindungen zu industriellen Anwendern vorbereitet.



## **Ergebnisse und Diskussion**

Für die Werkstoffe eingefärbte  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Keramik und Glas-Keramik (Borosilikatglas-Tonerde) wurden Technologien für die umweltverträgliche Herstellung von MCM-Gehäusen und Rahmen entwickelt. Die Formgebung der kundenspezifischen Gehäuse und Rahmen erfolgte mittels Niederdruckspritzgießen. Dafür mußte die gesamte Prozeßkette entwickelt werden. Ausgehend von den Grundtechnologien für die Herstellung von  $\text{Al}_2\text{O}_3$ - und Glaskeramik-Gehäusen wurden durch Modifizierung der Technologien kundenspezifische Teile hergestellt.

Zum Fügen von Gehäuse und Bauelementeträger wurden für beide Werkstoffe Versuche unter Beachtung der Ökologie mit guten Ergebnissen durchgeführt.

Löt- und Klebeverbindungen von Gehäusen mit Substraten erfüllten die Forderungen nach DIN 45941 bzw. MIL 883.

Im Projekt konnte nachgewiesen werden, daß keramische Werkstoffe sowohl in der Herstellung, als auch in ihrer Applikation in der Mikroelektronik zu umweltfreundlichen Produkten führen.

Die Forderung nach:

- Einsatz umweltfreundlicher Werkstoffe
- umweltfreundliche Fertigung von MCM-Gehäusen
- Recyclbarkeit der Gehäuse
- Wiederverwendbarkeit und Weiterverwendbarkeit
- Reduzierung der Materialvielfalt

konnten erfüllt werden.

Damit konnte ein Beitrag für eine umweltfreundliche Hausung von MCM's geleistet werden.

## **Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation**

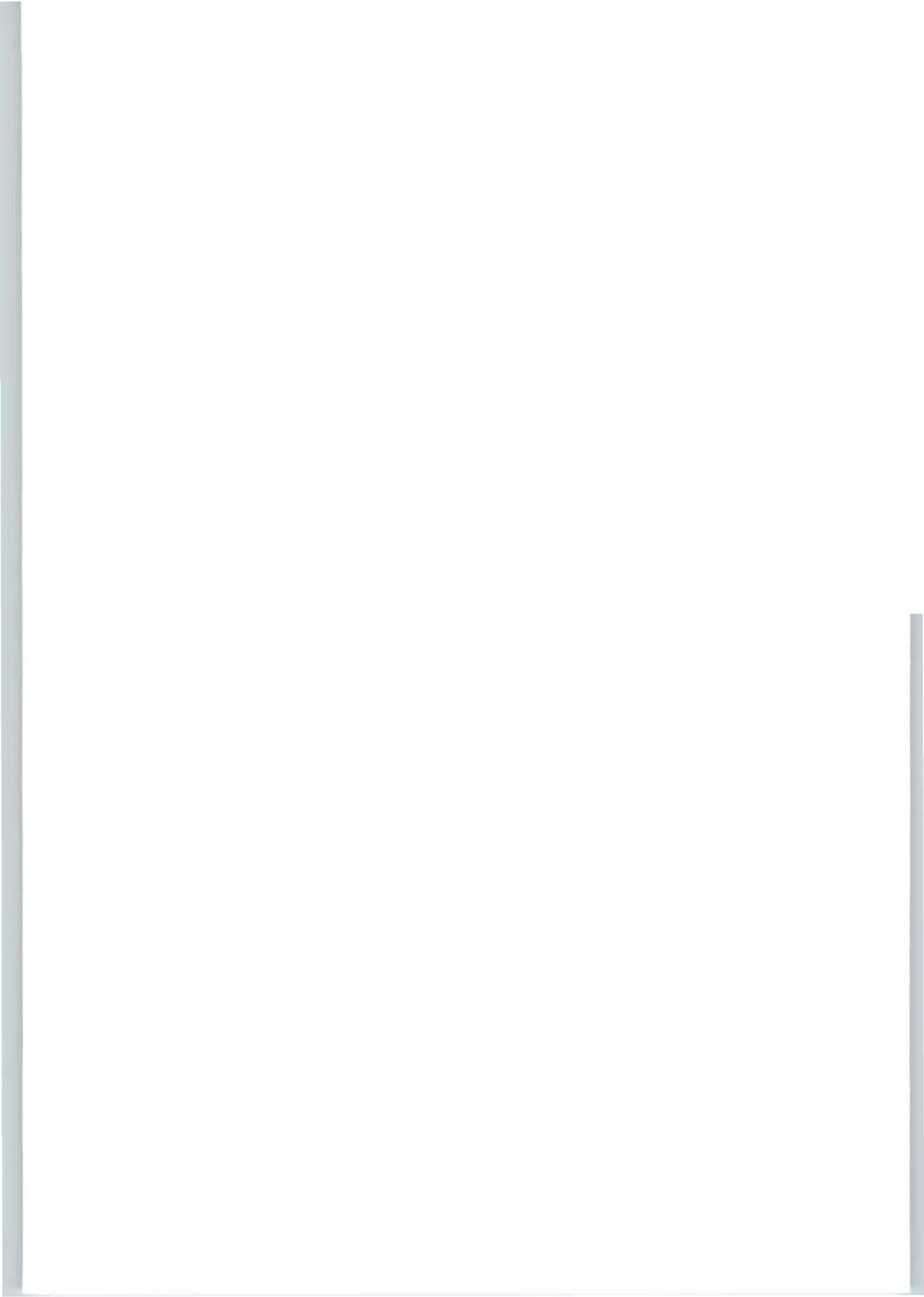
Im Rahmen des Projektes erschien in der Zeitschrift Galvanotechnik: Leiterplatten und Umwelttechnik des Leuze Verlages ein Artikel über die inocermic GmbH mit Bezug auf MCM. Auf Messen, wie Hannover Messe, Innovationsmesse Leipzig, Biotechnica Hannover, Bioapplica Jena und einigen regionalen Veranstaltungen und Ausstellungen wie z.B. bei der IHK Gera, wurden MCM-Gehäuse ausgestellt.

## **Fazit**

Für die Herstellung von MCM-Gehäusen und deren Fügen mit dem Bauelementeträger wurden umweltfreundliche Technologien erarbeitet. Über das Formgebungsverfahren Niederdruckspritzgießen konnten kundenspezifische MCM-Gehäuse und Rahmen mit oder ohne Bohrungen oder sonstigen Durchbrüchen für Medienein- und -auskopplungen bis  $2,5 \times 2,5 \text{ Zoll}^2$  hergestellt werden. Für die Hausung von elektronischen Schaltungen auf Glas oder Glaskeramik-Trägern wurde eine komplette Herstellungstechnologie für Glaskeramik-Gehäuse entwickelt.

Lösung für leckdichte Fügungen von Gehäuse und Substrat wurden entwickelt und können angeboten werden. Die Ergebnisse des Produktes ermöglichen der inocermic GmbH umweltfreundliche MCM-Gehäuse anzubieten bzw. nach Kundenwunsch herzustellen.

Die Zielstellung, einen Beitrag für den Umweltschutz zu leisten, wurde erreicht.



## Inhaltsverzeichnis

1. Verzeichnis der Abbildungen
2. Zusammenfassung
3. Einleitung
4. Technische Beschreibung des Niederdruckspritzgießverfahrens
5. Einsatzwerkstoffe
6. Versuchsdurchführung und Ergebnisse zum Niederdruckspritzguß (Projektphase I)
  - 6.1 Plastifizieren
  - 6.2 Niederdruckspritzgießen
  - 6.3 Bindemittelentfernung
  - 6.4 Sintern
  - 6.5 Finishbearbeitung
7. Versuchsdurchführung und Ergebnisse zum Niederdruckspritzgießen (Projektphase II)
  - 7.1 Plastifizieren
  - 7.2 Niederdruckspritzgießen
  - 7.3 Entbindern
  - 7.4 Sintern
  - 7.5 Finishbearbeitung
  - 7.6 Auswertung der Ergebnisse zum Niederdruckspritzen von MCM-Gehäusen
8. Versuchsdurchführung verschiedener Verschlußvarianten
  - 8.1 Lötvarianten
  - 8.2 Klebevarianten
9. Prüfstruktur zur Bestimmung der inneren Atmosphäre im Gehäuse
10. Qualifizierungstest für Glaskeramik-Kappe für optoelektronische Systeme auf Glasträgern
11. Produktbezogene ökologische Bewertung der keramischen MCM-Gehäuse
  - 11.1 Bewertung im Herstellungsprozeß
  - 11.2 Bewertung in der Weiterverarbeitung und im Einsatz
  - 11.3 Recycling
  - 11.4 Zusammenfassende Prozeßbeschreibung der Eingangs- und Ausgangsgrößen
12. Fazit
13. Literaturverzeichnis

## 1. Verzeichnis der Abbildungen

- Abb.1 Vergleich von MCM-Technologien bezüglich Packungsdichte, Systemgeschwindigkeit und Zuverlässigkeit
- Abb.2 Verfahrensschema keramischer Niederdruckspritzguß
- Abb.3 Fließschema für die Herstellung von Glaskeramik-Komposit-Pulver
- Abb.4 Materialkennwerte von dunkel eingefärbter  $\text{Al}_2\text{O}_3$ - und Glaskeramik
- Abb.5 Zeichnung der Glaskeramik-Kappe für den optoelektronischen Bewegungssensor
- Abb.6 Gehäuse und Rahmen aus dunkel eingefärbter  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Keramik
- Abb.7 Glaskeramik-Gehäuse und Sensor mit flexiblem Anschluß
- Abb.8 Glaskeramik-Gefüge, Sintertemperatur  $950\text{ }^\circ\text{C}$ , Hz 10 min
- Abb.9 Glaskeramik-Gefüge, Sintertemperatur  $1050\text{ }^\circ\text{C}$ , Hz 120 min
- Abb.10 Layout der verwendeten DMS-Struktur
- Abb.11 Schnittbild der Systemkonstruktion zum Messen der Fügspannungen
- Abb.12 Meßergebnisse der Verspannung in Abhängigkeit vom Kleber bzw Metall-Keramik-Verbund
- Abb.13 Teststruktur zur Bestimmung der inneren Gehäuseatmosphäre
- Abb.14 Gesamtaufbau des Drehgebers von Carl Zeiss Jena
- Abb.15 Vergleich der Elektronikbaugruppe für Drehgeber

## 2. Zusammenfassung

Das Ziel des Vorhabens „Erstellung einer umweltgerechten Fertigungstechnologie für die Produktion von umweltfreundlichen Gehäusen für die Multil-Chip-Modul-Technologie“ wurde erfüllt. Mit dem Niederdruckspritzgießverfahren wurden kundenspezifische Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>- und Glaskeramik-Gehäuse hergestellt.

Untersucht wurden auch verschiedene Verschußvarianten und ihr Einfluß auf den physikalischen Zustand der Schaltung. Prüfungen zu prozeßbedingten Zusatzspannungen, verursacht durch die Verbindung zwischen Gehäuse und Substrat im Haussungsprozeß und Bestimmung der inneren Atmosphäre im Gehäuse, wurden durchgeführt.

Die Prüfergebnisse, die der DIN 45941 und MIL 883 entsprechen, bestätigen die Richtigkeit der Lösungen.

Die ökologische Bewertung der Ergebnisse entspricht der Zielstellung für eine umweltfreundliche Herstellungs- und Verschußtechnologie. Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>- und Glaskeramik-Gehäuse zeichnen sich in allen Lebensphasen der Erzeugnisse als umweltverträglich und 100 % rezyklierbar aus.

Zu Glaskeramik-Gehäusen sind weitere Optimierungen zur Verbesserung der Lecksicherheit erforderlich.

Partner des Projektes waren Siegert TFT GmbH Hermsdorf und Prolog Consult Hersbruck.

Siegert TFT führte Untersuchungen zur Klebeverbindung einschließlich der Untersuchungen zum Demonstrator Glaskeramik-Kappe für optoelektronische Systeme durch.

Prolog Consult war für Projektmanagement und Markt zuständig.

Das Projekt wurde durch die Deutsche Bundesstiftung Umwelt, unter Az: 06340 gefördert.

### 3. *Einleitung*

Weltweit schreitet die Belastung der Umwelt durch die industrielle Produktion fort. Materieller Wohlstand und hohe Lebenserwartung bei ständigem Bevölkerungswachstum sind die Triebkräfte für stetig steigend Produktionszahlen. Dabei wird meist der sehr hohe Verbrauch nicht erneuerbarer Rohstoffe, die Übernutzung erneuerbarer Rohstoffe und die Überschreitung der Absorptionsfähigkeit des Ökosystems nicht beachtet.

Deshalb sollte die Forderung für alle Neuentwicklungen zu umwelt- und rezyklierge-rechten Produkten konsequenter durchgesetzt werden.

Die Prämissen sollten wie folgt gesetzt werden:

- Einsatz schadstofffreier Werkstoffe und Hilfsmaterialien
- Entwicklung neuer umweltgerechter Produkttechnologien
- weniger Material- und Energieeinsatz
- neue Lösungen.

Dabei sollte die Recyclingsfähigkeit nach der Produktlebensdauer folgenden Forde-rungen genügen:

- Möglichkeit der leichten stofflichen Trennung nach der Lebensdauer
- Wiederverwertbarkeit der eingesetzten Stoffe
- Entsorgungsfähigkeit der eingesetzten Stoffe.

Forderungen der Kreislaufwirtschaft, auch für elektronische Produkte zutreffend, sind auf Dauer ein optimierter Mix von Produkt- und Materialrecycling [1-7].

Diese Aspekte beachtend, erfolgte die Zielstellung für das vorliegende Projekt.

Multi-Chip-Module (MCM's) werden überall dort in steigenden Stückzahlen aufgebaut, wo es um Miniaturisierung bei hoher Packungsdichte und Kombination verschiedener Verdrahtungstechnologien geht.

Projektziel war ein Beitrag für die umweltgerechte Hausung von MCM-Technik, durch die Entwicklung keramischer umweltfreundlicher und recycelbarer Gehäuse.

Die Erarbeitung einer umweltrelevanten Technologie zur Herstellung kundenspezi-fischer Gehäuse für MCM-Anwendungen bis zu Dimensionen von ca. 100 x 100 mm<sup>2</sup> waren Ziel der Entwicklung. Beachtet werden sollten folgende Umweltaspekte:

- Einsatz umweltverträglicher keramischer Werkstoffe
- Recycelbarkeit der Produkte
- Wiederverwendbarkeit.

Der Einsatz oxidischer Werkstoffe im Vergleich zu Kunststoffen ist 100 %ig recycelbar. Auf den Einsatz von umweltbedenklichen Flammenhemmern (Bromverbindungen und Antimontrioxid) kann verzichtet werden. Eventuell aber nicht beabsichtigte Deponie von keramischen Gehäusen ist problemlos möglich [8,9].

Produktionsrückstände und -ausfälle bis einschließlich Formgebung durch Spritzguß können unmittelbar der Wiederverwertung zugeführt werden. Fertige Gehäuse können über eine thermische Behandlung und anschließendes Mahlen ebenfalls einer Wiederverwertung zugeführt werden.

Diese Zielstellung sollte durch Einsatz des Spritzgießverfahrens zur Formgebung der keramischen Gehäuse realisiert werden. Dabei kann der Spritzguß nicht isoliert betrachtet werden, sondern die gesamte Prozeßkette von der Materialaufbereitung einschließlich Plastifizieren, der Spritzguß, das Entbindern, das Entfernen des Bindemittels nach der Formgebung und das Sintern gehören immer als Einheit zum keramischen Spritzgießen.

In der Zielstellung waren auch Untersuchungen zur umweltfreundlichen Verschlußtechnologie von Substrat und Gehäuse enthalten. Untersucht werden sollte das Löten und Kleben als Fügeverfahren unter den Anforderungen der Mikroelektronik und unter Beachtung der Möglichkeiten der Kreislaufwirtschaft [6,10,11]. Dabei lag der Schwerpunkt beim Kleben, als Möglichkeit der Verminderung der Stoffvielfalt, der besseren Wiederverwendung bzw. Weiterverwertung der Gehäuse.

Ziel der Projektphase II war bei Projektbeginn die Technologieentwicklung für MCM-Gehäuse bis 4 x 4 Zoll<sup>2</sup>. Konkrete Anfragen lagen z.B. von den Firmen Diehl, Röthenberg und Lewicki, Oberdischingen vor.

Während der Vorbereitungen zur Projektphase II wurde festgestellt, daß für größere Gehäuse der Bedarf nicht mehr vorhanden war.

Die Innovationen in der Verbindungstechnik (Dünnschicht- und Dickschichttechnologie), die Steigerung der Bauelementedichte im Chip und dreidimensionaler Aufbau haben zur Subminiaturisierung elektronischer Schaltungen geführt. MCM-Lösungen in COS-Technologie (Chip on Silicon) auf der Basis eines Silizium-Substrates und andere Techniken erzielen eine drastische Erhöhung der Packungs- und Integrationsdichte bei gleichzeitiger Reduzierung der Fläche für die Schaltung.

Die Abb.1 zeigt einen Vergleich von MCM-Technologien bezüglich Packungsdichte, Systemgeschwindigkeit und Zuverlässigkeit [23].

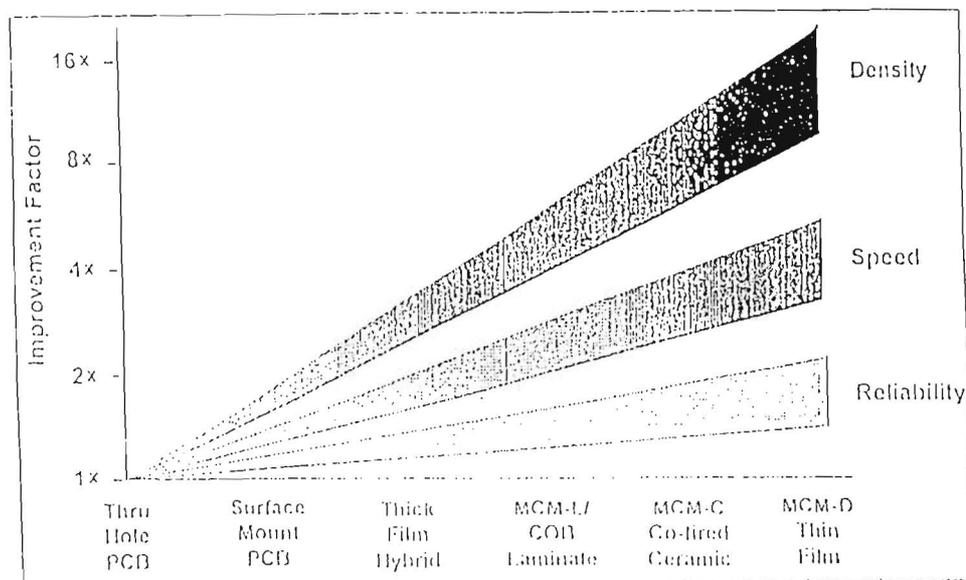


Abb.1: Vergleich von MCM-Technologien bezüglich Packungsdichte, Systemgeschwindigkeit und Zuverlässigkeit [23]

Einsparungen im Verteilungshaushalt der Bundesrepublik Deutschland haben ebenfalls dazu geführt, daß der Bedarf von großen MCM-Gehäusen für militärische Projekte nicht mehr vorhanden ist.

Auf Grund der geschilderten Situation und einer Anforderung von der Carl Zeiss GmbH, Jena in Zusammenarbeit mit CIS, Erfurt und Siegert TFT, Hermsdorf wurde eine Projekterweiterung bezüglich des Werkstoffes Glaskeramik in Abstimmung mit der Deutschen Bundesstiftung Umwelt vorgenommen.

Unter Federführung der Carl Zeiss Jena GmbH wurde ein Bewegungssensor (Längen- und Winkelmeßsensor) im Rahmen eines Thüringen Projektes entwickelt. Für den in MCM-Ausführung gebauten optoelektronischen Sensor war eine Lackabdeckung vorgesehen. Im Verlauf der Entwicklungsarbeiten wurde festgestellt, daß häufig Arbeitstemperaturen von  $-25\text{ }^{\circ}\text{C}$  bis  $+75\text{ }^{\circ}\text{C}$  und teilweise noch größere Temperaturbereiche, gefordert wurden.

Dieser Temperaturwechselbereich kann mit Lack- oder Siliconabdeckung nicht realisiert werden. Das Häusungskonzept mußte geändert werden. Nur eine hermetische Kappe konnte dieses Problem lösen.

Auf den fertig konzipierten Sensor, aufgebaut mit neuesten Verbindungstechniken (Dünnschichttechnologie) auf Glassubstraten, mußte eine dem thermischen Ausdeh-

nungskoeffizienten von  $3,5 - 4,0 \cdot 10^{-6} \text{K}^{-1}$  des Borofloatglases angepaßte Kappe in kurzer Zeit entwickelt werden.

Erkenntnisse mit dem Werkstoff Glaskeramik waren in der Inoceramic GmbH nicht vorhanden.

Mit der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin wurde ein kompetenter Partner für Glaskeramikmaterialien gefunden.

#### 4. Technische Beschreibung des Niederdruckspritzgießverfahrens

In Abb.2 ist das Verfahrensschema des keramischen Niederdruckspritzgießens dargestellt.

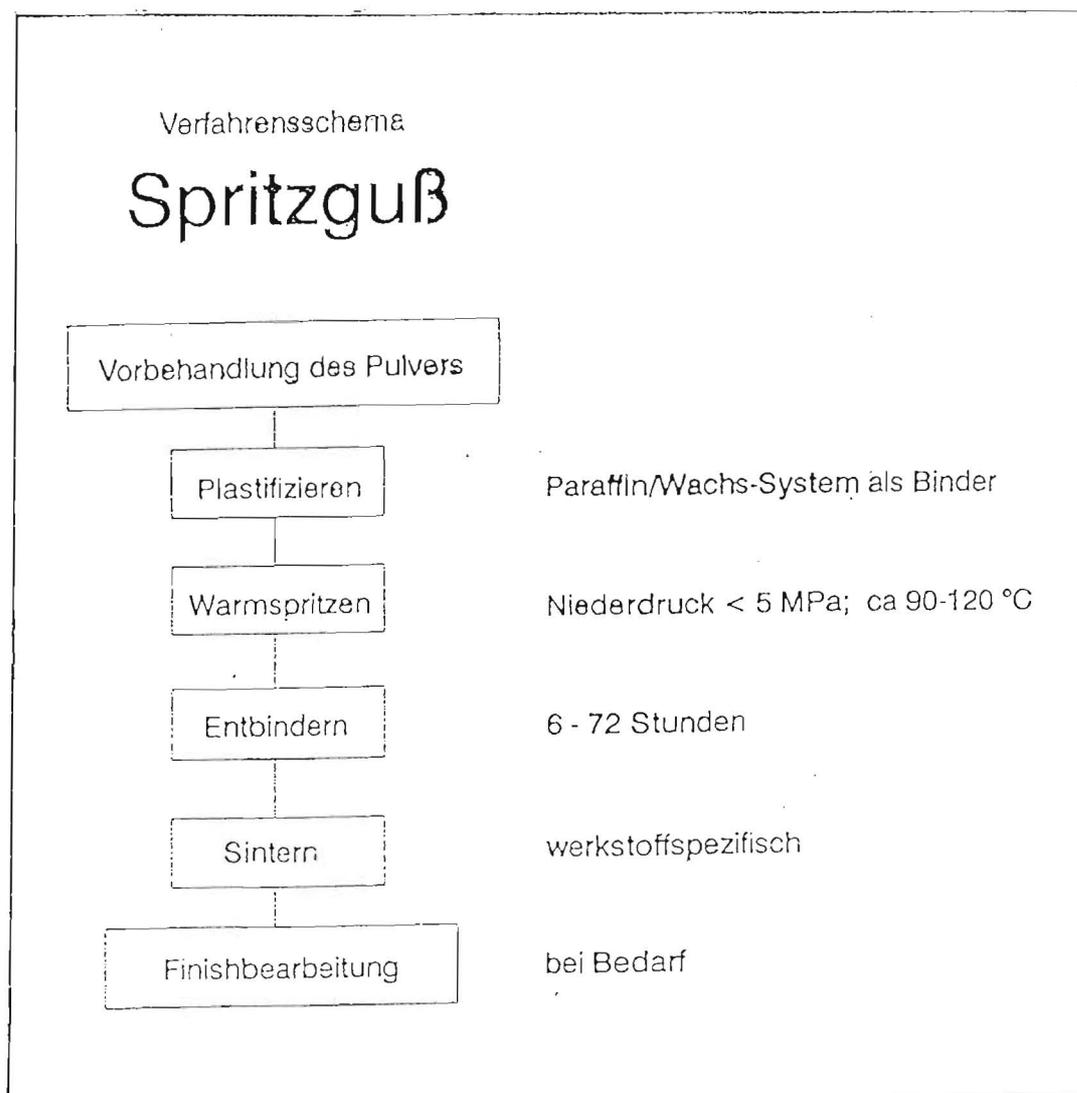


Abb.2: Verfahrensschema keramischer Niederdruckspritzguß

### *- Pulveraufbereitung und -vorbehandlung*

Voraussetzung für reproduzierbare Spritzgießergebnisse sind engtoleriertere Pulverkennwerte für die Ausgangswerkstoffe.

Kornverteilung und Oberflächenbeschaffenheit der eingesetzten Pulver müssen in engen Grenzen eingehalten werden, um reproduzierbare Ergebnisse bezüglich Sinterdichte, Gefügeausbildung und Einhaltung der Geometrie zu erhalten.

Als Pulverkennwerte werden die Kornverteilung mittels Sedimentationsanalyse und die spezifische Oberfläche mittels BET-Analyse bestimmt.

### *- Plastifizieren*

Bei diesem Arbeitsgang werden dem Ausgangsmaterial die Bindemittel zur Erzielung eines niedrigviskosen, spritzgießfähigen Schlickers homogen zugemischt.

Wichtige Anforderungen an die Bindemittel sind:

- gutes Fließverhalten bei Verarbeitungstemperaturen ohne thermische Zersetzung oder sonstige Veränderungen der Bindemittel
- Formstabilität der Grünlinge, einschließlich guter Formstabilität beim Entbindern
- leichte Entfernbarkeit der Bindemittel während des Entbinderns
- rückstandslose Entfernung beim Sintern.

Die Herstellung des Spritzgießschlickers erfolgt in beheizbaren Misch- oder Knetmaschinen. Wichtig für den Erhalt homogener Spritzschlicker ist das Aufbringen hoher Scherkräfte beim Plastifizieren.

Das Anlegen von Vakuum oder Schutzgas beim Plastifizieren erweist sich als günstig, weil atmosphärische Einflüsse ausgeschlossen werden.

### *- Spritzgießen*

Die Niederdruckspritzgieß-Formgebung erfolgt auf Anlagen, die den thermoplastischen, niedrigviskosen Schlicker pneumatisch und/oder hydraulisch aus einem temperierten Vorratsbehälter in das Spritzwerkzeug drücken. Die verwendete Anlage KSE2 arbeitet mit Drücken bis maximal 6 MPa. Die Arbeitstemperaturen werden durch Bindemittel und Formteilgeometrie bestimmt.

Beim Spritzguß sind in Abhängigkeit vom Werkstoff, dem Bindemittelgehalt und der Formteilgeometrie folgende Parameter aufeinander abzustimmen:

- Schlickertemperatur
- Temperatur Spritzpumpe
- Werkzeugtemperatur
- Temperatur der Anspritzplatte
- Spritzdruck
- Einspritzgeschwindigkeit
- Einspritzzeit
- Arbeitsdruck Druckluft.

Wesentlich für den Erfolg des Spritzgießens ist die Werkzeuggestaltung (Lage und Gestaltung des Angußes, Werkzeugtrennebenen zur Entlüftung).

Die optimale Abstimmung der o.a. Parameter ist für die Formfüllung und die Entformbarkeit der Spritzlinge (Grünlinge) aus dem Werkzeug entscheidend.

#### *- Entbindern (Entfernen des Bindemittels)*

Wegen des hohen Bindemittelgehaltes (15 - 40 ma%) beim Niederdruckspritzgießen ist ein separates Entbindern vor dem Sintern angebracht.

Prinzipielle Möglichkeiten für das Entbindern sind:

- thermische Zersetzung der organischen Bestandteile
- Verdampfung
- kapillarisches Absaugen des Binders mittels saugfähiger Unterlagen oder Pulvereinbettungen
- Extraktion.

Das Entbindern ist ein temperatur- und zeitabhängiger Vorgang, der durch die Bindemittel und die Grünlingsgeometrie bestimmt wird. Entbindert wird bis auf einen Restbindemittelgehalt von 2...4 ma% in Abhängigkeit von der Spritzlingsgeometrie, um noch ein Handling der entbinderten Teile (Bräunling) zu ermöglichen.

#### *- Sintern*

Das Sintern erfolgt werkstoffspezifisch als Funktion von Temperatur und Zeit.

Beim Sintern von Gehäusen wird ein dichtes, feinkörniges Gefüge angestrebt.

### *- Finishbearbeitung*

Die Fügeflächen der Gehäusedeckel werden durch Läppen in Ebenheit und Oberflächengüte (Abtrag der Brennhaut) verbessert.

## **5. Einsatzwerkstoffe**

Ein erprobter Werkstoff für die Häusung von Hybridschaltkreisen ist Aluminiumoxid. Dieser Werkstoff wird meist dunkel eingefärbt, damit die Gehäuse nicht durchscheinend sind. Die Einfärbung des Aluminiumoxids erfolgt mit Metalloxiden ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{MnO}_2$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{SiO}_2$ ). Ein weiterer Vorteil dieses Werkstoffes ist die Senkung der Sintertemperaturen um  $300\text{ °C}$  auf  $1400\text{...}1450\text{ °C}$ .

Die gute Verarbeitbarkeit und die Möglichkeit zur Fertigung von leckdichten Gehäusen war durch jahrelangen Einsatz für Hybridgehäuse bekannt.

Als weiterer Gehäusewerkstoff wurde Glaskeramik eingesetzt. Dieser Werkstoff wurde notwendig, weil kurzfristig die Aufgabe Häusung von MCM's auf Glassubstraten an die Projektbearbeitung herangetragen wurde. Für das Glaskeramiksубstrat als Verbindungsträger konnte kein  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Gehäuse wegen des nicht passenden thermischen Ausdehnungskoeffizienten eingesetzt werden. Für eine heliumleckdichte Häusung mußte ein thermisch angepaßtes Gehäuse entwickelt werden.

In Zusammenarbeit mit der Bundesanstalt für Materialforschung und -prüfung (BAM), Berlin, wurde ein glaskeramisches Komposit-Pulver auf der Basis Borosilikat-Glas und Korund gefunden, das den thermischen Anforderungen an das Glaskeramiksубstrat genügt.

Die entsprechenden Mengen Glas-Keramik-Komposit-Pulver wurde von der BAM bezogen. Die Herstellung des Glas-Keramik-Pulvers erfolgt entsprechend Fließschema wie in Abb.3 gezeigt.

Beide Werkstoffe (Aluminiumoxid, Glaskeramik) sind umweltfreundlich und könnten, obwohl nicht beabsichtigt, gemäß den Festlegungen des Abfallgesetzes als Hausmüll deponiert werden.

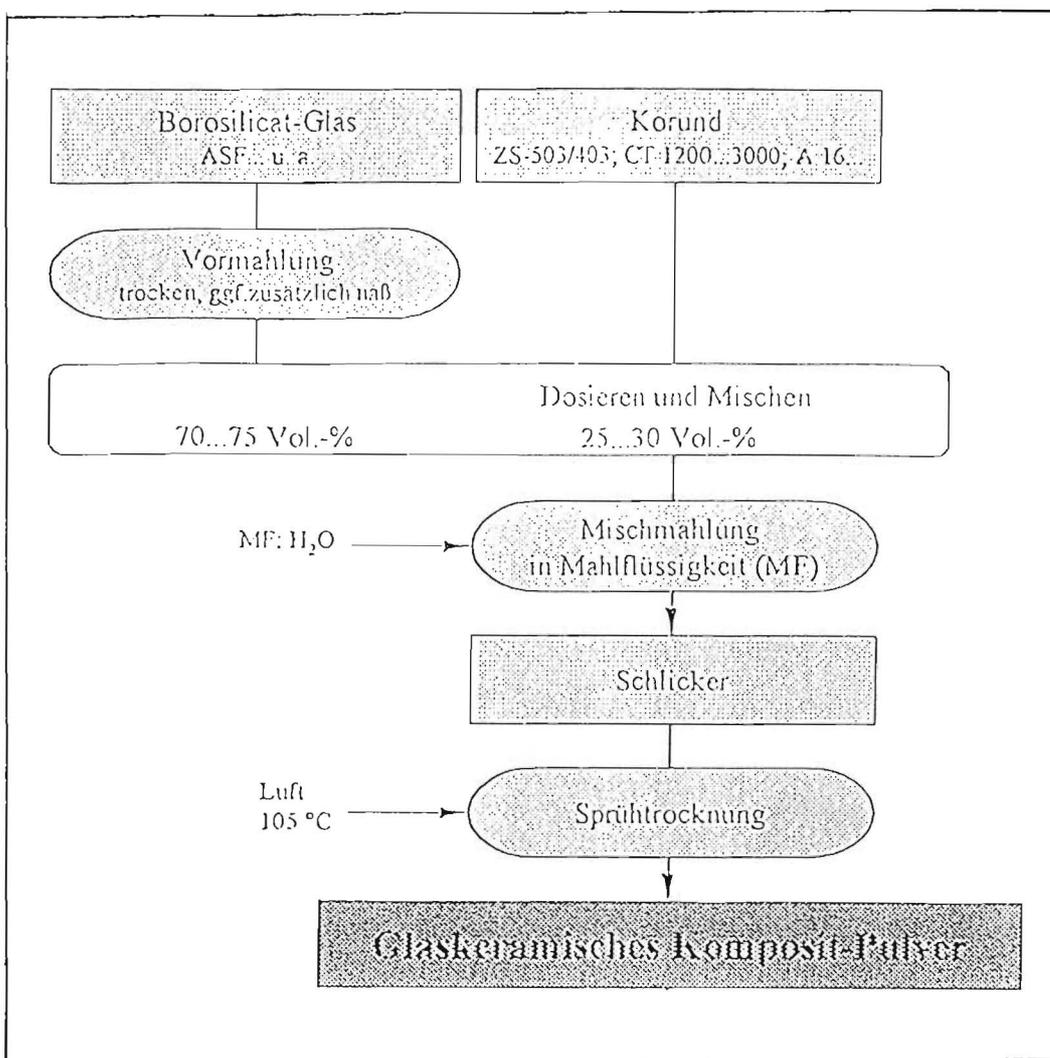


Abb.3: Fließschema für die Herstellung von Glaskeramik-Kompositpulver

Eigenschaften	Werkstoff Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	Werkstoff Glaskeramik
Relative Dielektrizitätskonstante bei 1 MHz	9,5	7-8
Verlustfaktor bei 1 MHz	-	1,5 - 2,5
Thermischer Ausdehnungskoeffizient in 10 <sup>-6</sup> K <sup>-1</sup>	7,5	3 - 7
Thermische Leitfähigkeit in Wm <sup>-1</sup> K <sup>-1</sup>	20	2 - 5
Wasseraufnahme in %	< 0,05	< 0,05
Biegefestigkeit in N/mm <sup>2</sup>	290 - 310	~ 180
G-Modul in GPa	340	~ 90

Abb.4: Materialkennwerte von Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> und Glaskeramik

## **6. Versuchsdurchführung und Ergebnisse zum Niederdruckspritzguß (Projektphase I)**

### **6.1 Plastifizieren**

Als Werkstoff wurde mit Metalloxiden ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ,  $\text{TiO}_2$ ,  $\text{MnO}_2$ ,  $\text{SiO}_2$ ) dotierte Tonerde eingesetzt. Der  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Gehalt beträgt ca. 94 %.

Die Pulverkennwerte sind folgende:

BET-Oberfläche:  $A_o = 2,0 - 2,1 \text{ m}^2/\text{g}$

Sedimentationsanalyse:  $d_{50} = 3,8 - 4,2 \text{ }\mu\text{m}$ .

Die Einhaltung der granulometrischen Kennwerte ist für die Reproduzierbarkeit der Spritzgießergebnisse oberste Voraussetzung.

Als Bindemittel wurden Hartparaffin 56/58, LE-Wachs 262 und als Netzmittel Ölsäure eingesetzt.

Der Bindemittelgehalt beträgt 12,9 ma% und der Netzmittelgehalt 0,5 ma%.

Die Herstellung des homogenen niedrigviskosen Spritzschlickers erfolgt in einer beheizten Kugelmühle (Heißmischer) bei 120 °C.

Hartparaffin, Polyethylenwachs und Ölsäure werden in den Mischer gefüllt und aufgeschmolzen.

Das Ausgangspulver wird zuvor 2h bei 250 °C im Muffelofen geglüht, auf 120 °C abgekühlt und anschließend in den Heißmischer eingefüllt. Danach wird der Heißmischer auf < 20 mbar evakuiert und mind. 8h gemischt. Zur intensiveren Mischung und damit besseren Homogenisierung des Spritzschlickers werden  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Kugeln ( $\varnothing 20 \text{ mm}$ ) eingesetzt.

Nach 8h Mischzeit wird der Spritzschlicker entnommen und direkt in die Spritzgießmaschine eingefüllt oder abgegossen und zur Erstarrung abgekühlt.

Erstarrter Schlicker kann jederzeit bei Bedarf separat auf einer Heizplatte aufgeschmolzen und in die Spritzgießmaschine zur Verarbeitung eingefüllt werden.

### **6.2 Niederdruckspritzgießen**

Der niedrigviskose thermoplastische Spritzschlicker befindet sich in einem temperierten Bevorratungsgefäß in der Niederdruckspritzgießmaschine KSE2.

Vor dem Spritzgießbetrieb wird der Spritzschlicker bei 100 °C mindestens 20 min bei < 100 mbar evakuiert.

Die Vorförderung in die eigentliche Spritzpumpe erfolgt pneumatisch und das Einspritzen in das Werkzeug über zwei hydraulische Kolben. Im Werkzeug, welches auf einer gekühlten Platte aufliegt, erstarrt der Schlicker zum Formling (Grünling) und kann anschließend entformt werden.

Das Einspritzen des Schlickers in das Werkzeug erfolgte über eine durch die Spritzpumpe indirekt temperierte Kupferdüse. Beim Spritzguß größerer Gehäuse, wie im Projekt realisiert, kam es zu Spritzfehlern durch teilweise Erstarrung des Spritzschlickers am äußeren Ende der Kupferdüse und anschließend ungenügendem Aufschmelzen dieser erstarrten Anteile im Werkzeug. Bei kleinen Gehäusen werden durch Erhöhung der Werkzeug- und Spritzplattentemperatur die in der Kupferdüse erstarrten Anteile des Spritzschlickers wieder aufgeschmolzen, so daß Spritzgießfehler vermieden werden. Zur Vermeidung dieser Fehler bei größeren Gehäusen wurde eine konstruktive Änderung der Kupferdüse vorgenommen, so daß diese durch Einbau von leitfähigen Elementen aus Keramik direkt elektrisch beheizt werden kann.

Diese konstruktive Änderung der Niederdruckspritzmaschine gewährleistet eine geregelte Düsentemperatur und verbessert damit die Homogenität der gespritzten Gehäuse. Jede Gehäusegeometrie erfordert spezielle Spritzgießbedingungen, d.h. für jedes Gehäuse mußte eine eigene Spritzgießtechnologie erarbeitet werden.

Die Spritzgießparameter für den Deckel 46 x 46 mm<sup>2</sup> sind folgende:

- Spritzdruck	6	MPa
- Einspritzgeschwindigkeit	1,8	Einstellung
- Einspritzzeit	20	sec
- Schlickertemperatur im		
• Bevorratungsbehälter	100	°C
• Spritzsystem	107	°C
- Werkzeugtemperatur	25...35	°C
- Temperatur der Kühlplatte	32	°C
- Düsentemperatur	ca.65	°C
- Arbeitsdruck Druckluft	0,7	MPa.

### 6.3 Bindemittelentfernung (Entbindern)

Nach dem Spritzgießen erfolgt das Entfernen des Bindemittels in einem elektrisch beheizten Kammerofen. Das Bindemittel diente nur als temporärer Hilfsstoff für die

Plastifizierung des Ausgangsrohstoffes als Voraussetzung für die thermoplastische Formgebung.

Das Entfernen des Bindemittels erfolgt durch thermische Zersetzung und teilweise durch kapillarisches Absaugen durch die Unterlage.

Die entstehenden Crackprodukte werden direkt katalytisch vollständig verbrannt. Zum Entbindern werden die Spritzlinge auf hochporöse Tonerde-Kaolin-Platten aufgelegt. Die Platten müssen nach jeder Benutzung bei 550 °C zur Regeneration getempert werden, um infiltrierte Bindemittel zu entfernen. Diese Regenerierung der Auflageplatten erfolgt ebenfalls in einem elektrisch beheizten Kammerofen mit katalytischer Nachverbrennung.

Ergebnisse von thermographischen Untersuchungen zur Bindemittelentfernung in Abhängigkeit von Zeit und Temperatur können nicht für die Festlegung von Entbinderprogrammen herangezogen werden. Bei thermographischen Untersuchungen wird der Einfluß der Spritzteilgeometrie nicht berücksichtigt, so daß die Erstellung von Entbinderprogrammen auf empirischen Untersuchungen beruht.

Für die Entbinderung des Gehäuses 46 x 46 mm<sup>2</sup> ist folgendes Zeit-Temperatur-Programm optimal:

240 min	RT	→	90 °C
300 min	90 °C	→	150 °C
210 min	150 °C	→	170 °C
240 min	170 °C	→	200 °C
180 min	200 °C	→	230 °C
180 min	230 °C	→	250 °C.

Anschließend erfolgt unregelmäßige Ofenabkühlung.

Mit diesem Programm werden fehlerfreie Gehäuse mit einem Restbindemittelgehalt von ca. 2 ma% erhalten.

Der Restbindergehalt ist gewollt und gestattet die weitere Handhabbarkeit des entbinderten Gehäuses für das Umsetzen in den Sinterofen. Völlig entbinderte Teile würden bei geringster Berührung zerfallen. Jede Gehäusegeometrie erfordert insbesondere bedingt durch Wandstärkenunterschiede ein eigenes Zeit-Temperatur-Programm für die formstabile Entbinderung.

Das Entbindern ist ein zeitaufwendiger Prozeßschritt beim keramischen Spritzguß, der demzufolge auch kostenintensiv wirkt. Verkürzungen der Entbinderzeiten würden die Effektivität des Spritzgießens wesentlich verbessern, deshalb wird weltweit an der

Verbesserung dieses Verfahrensschrittes gearbeitet. Neue Bindemittelsysteme wurden entwickelt, ohne bisher einen großen Fortschritt zu erreichen [15-17].

Im Rahmen des vorliegenden Projektes wurden Prinzipversuche zum Mikrowellen-Entbindern von Gehäusen durchgeführt. Dazu wurde ein Mikrowellenofen, der gewöhnlich für Veraschungen eingesetzt wird, benutzt. Diese MW-Muffel arbeitet auf dem Prinzip der Mikrowellen-Hybridheizung, d.h., die Mikrowellen heizen eine ankoppelnde Kavität, in der die zu entbindernden Spritzlinge angeordnet sind und den Spritzling auf.

Die Aufheizung des Spritzlings (Gehäuse) erfolgt somit gleichzeitig durch Konvektion und Wärmestrahlung von der Kavität und durch eine MW-induzierte Volumenerwärmung.

An wenigen Gehäusen könnten sehr erfolgversprechende Ergebnisse erzielt werden. Hierzu ist ein Nachfolgeprojekt beim BMBF zur weiteren Untersuchung und Umsetzung auf größere Stückzahlen beantragt worden.

#### 6.4 Sintern

Das Sintern der entbinderten Teile erfolgt in elektrisch beheizten Kammeröfen.

Als Sinterunterlagen eignen sich Tonerdeplatten ohne  $\text{SiO}_2$ -Anteile.  $\text{SiO}_2$ -haltige Sinterplatten führen bei der dunkel eingefärbten  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Keramik zu Entfärbungen des Werkstoffes (helle Flecke).

Für die Gehäuse und Rahmen wurde folgendes Sinterschema erarbeitet:

2 K/min	→	200 °C
1 K/min	→	550 °C
3 K/min	→	1460 °C Haltezeit 180 min.

Bei 200 °C wird die Aufheizgeschwindigkeit 2 K/min auf 1K/min herabgesetzt.

Der Grund dafür ist der Restbindergehalt von ca. 2 ma%, der bis 550 °C restlos zersetzt wird. Auftretende innere Spannungen bei schneller Aufheizung können zu Rissen oder Poren in der Keramik führen. Die Abkühlung des Ofens erfolgt ungerichtet.

Wichtig für die Sinterung sind ebene Unterlagen.

## 6.5 Finishbearbeitung

Die Fügeflächen von Gehäusen und Rahmen für die heliumleckdichte Hermetisierung von MCMs oder Hybriden werden fast ausschließlich geläppt. Das Läppen führt zur Verbesserung der Ebenheit und zu einer gezielten Rauigkeit der Fügeflächen für die Verbesserung der Haftfestigkeit der Lote und Kleber.

Das Läppen der Gehäuse erfolgt auf einer Einscheiben-Läppmaschine vom Typ Wensky K3 R50 der Fa.Wolters.

Das beidseitige Läppen der Rahmen wurde auf einer AC500 ebenfalls von der Fa.Wolters durchgeführt. Als Läppmittel kam SiC der Körnung 320, für die Einscheibenmaschine und Borkarbid F400 für die Zweiseibenmaschine zum Einsatz. Die Läppzeiten bei 0,2 mm Läppaufmaß betragen Teile spezifisch zwischen 2 - 6 min. Der Rahmen 52,3 x 15,2 mm<sup>2</sup> wurde beispielsweise mit folgenden Kennwerten geläppt:

Vorlast:	Einstellung 6
Hauptlast:	Einstellung 15
Läppzeit:	6 min
Drehzahl:	40 % Einstellung
Schleifmittel:	Borkarbid F400

Für alle Gehäuse und Rahmen wurden spezifische Kennwerte zum Läppen erarbeitet. Gehäuse und Rahmen werden nach dem Läppen im Ultraschallbad gereinigt und danach getrocknet.

## 7. Versuchsdurchführung und Ergebnisse zum Niederdruckspritzguß (Projektphase II)

### 7.1 Plastifizieren

Vor der Spritzformgebung muß das Glaskeramikpulver mit dem Bindemittel homogen gemischt werden, um einen niedrigviskosen thermoplastischen Schlicker bei Verarbeitungstemperaturen um 100 °C zu erhalten.

Die Pulverkennwerte waren wie folgt:

- Sedimentationsanalyse:	$d_{95}$	= 7,82 µm
	$d_{50}$	= 2,78 µm
	$d_5$	= 0,42 µm
- BET-Oberfläche	$A_0$	= 4,3 m <sup>2</sup> /g

Diese Pulverkennwerte wurden der BAM aufgrund der Erfahrungen mit anderen Werkstoffen vorgegeben. Nach umfangreichen Versuchsserien zur Plastifizierung einschließlich dem formstabilen Spritzguß, Entbindern und Sintern wurde ein Bindemittelsystem aus Paraffin und Wachs mit einem Netzmittelzusatz als optimaler Plastifikator gefunden. Die Homogenisierung des Spritzschlickers erfolgte analog der Herstellung des  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Schlickers. Das glaskeramische Pulver wurde 2h bei 250 °C gegläht. Zwischenzeitlich wurden Hartparaffin und Wachs aufgeschmolzen. Nach Zugabe der Ölsäure und des auf 150 °C abgekühlten Ausgangspulvers wurde der Heißmischer auf < 20 mbar evakuiert und mindestens 8h gemischt.

Danach wurde der Spritzschlicker entnommen und direkt zur Verarbeitung in die Spritzgießmaschine eingefüllt oder zur Erstarrung abgegossen. Bei Bedarf wird der erstarrte Schlicker auf einer Heizplatte verflüssigt und in die Maschine gefüllt.

## 7.2 Niederdruckspritzguß

Der Verfahrensablauf zum Spritzgießen von Glaskeramik ist identisch dem für  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Schlicker. Angepaßt werden mußten die für jeden Werkstoff und jedes Spritzteil spezifischen Spritzgießparameter.

Die Spritzgießkennwerte für die Glaskeramikkappe (19,8 x 7,9 mm<sup>2</sup> - Sensorkappe) sind folgende:

- Spritzdruck	6	MPa
- Einspritzgeschwindigkeit	3,2	Einstellung
- Einspritzzeit	12	sec
- Schlickertemperatur im		
• -Bevorratungsbehälter	108	°C
• - Spritzsystem	115	°C
- Werkzeugtemperatur	30...40	°C
- Temperatur der Kühlplatte	35	°C
- Arbeitsdruck Druckluft	0,4	MPa

Die Düsentemperatur beim Spritzsystem für Glaskeramik ist bisher nicht separat einstellbar, sondern wird durch Schlickertemperatur und Temperatur der Kühlplatte bestimmt.

Die Düsenheizung als eine Innovation im Rahmen des Projektes konnte noch nicht auf alle Spritzgießsysteme übertragen werden.

Bei kleinen Spritzgießteilen, wie dem Glaskeramikgehäuse, sind die Vorteile der Düsenheizung nicht gravierend.

### 7.3 Entbindern

Das Entbindern erfolgte wie bei  $Al_2O_3$ -Spritzlingen in einem elektrisch beheizten Kammerofen mit direkter katalytischer Verbrennung der durch die thermische Zersetzung der Bindemittel entstehenden Crackprodukte zu  $CO_2$  und  $H_2O$ .

Glaskeramikgehäuse nach Zeichnung, gem. Abb.5 müssen zum Beibehalt der Spritzgießgeometrie in  $Al_2O_3$ -Pulver eingebettet werden, ansonsten werden stark deformierte Gehäuse nach dem Entbindern erhalten.

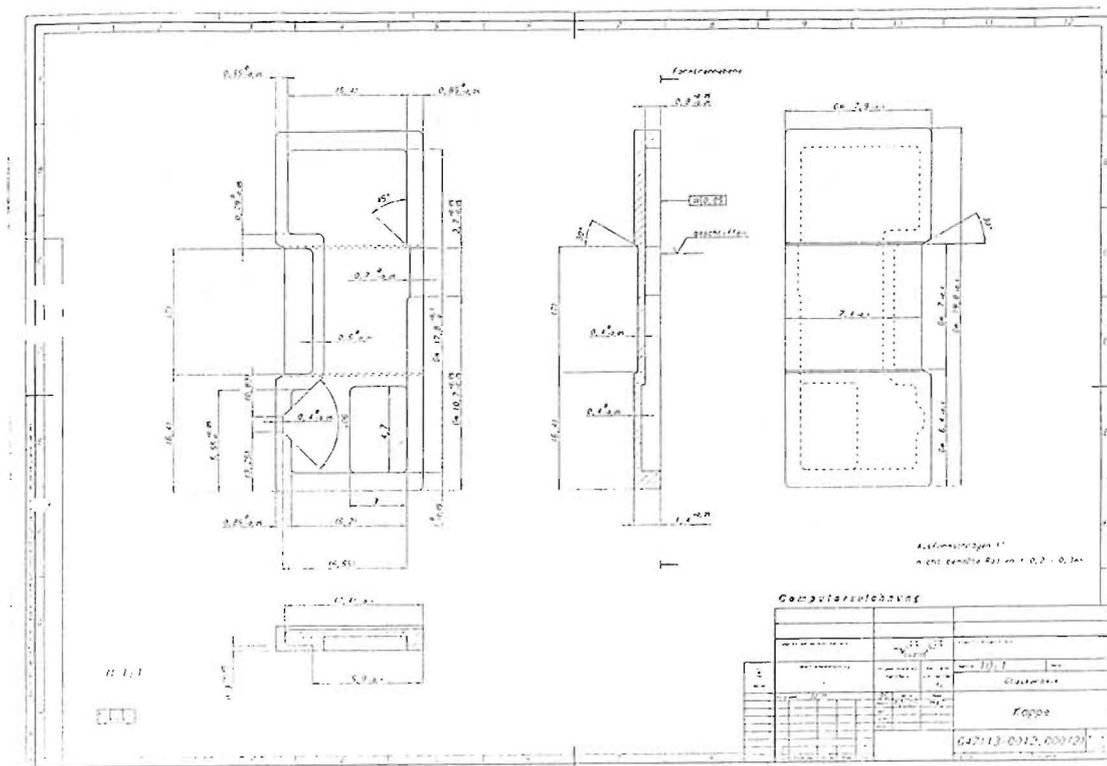


Abb.5: Zeichnung der Glaskeramik-Kappe für optoelektronischen Bewegungssensor

Das Temperatur-Zeit-Profil für die Entbinderung:

120 min	RT	→ 40 °C
1800 min	40 °C	→ 150 °C
600 min	150 °C	→ 170 °C
600 min	170 °C	→ 200 °C
300 min	200 °C	→ 230 °C
300 min	230 °C	→ 250 °C

Die Abkühlung erfolgt ungerichtet im Ofen.

Nach der Entbinderung beträgt der Restbindergehalt ca. 2 ma%. Die Teile lassen sich gut handhaben.

Ein intensives Putzen nach dem Ausbetten der entbinderten Teile ist nicht notwendig. Die entbinderten Gehäuse sind lediglich auf der Planfläche (Auflagefläche für die Sinterung) von größeren Anhaftungen zu säubern.

#### 7.4 Sintern

Die entbinderten Glaskeramik-Kappen werden im elektrisch beheizten Kammerofen N 41/H der Firma NABERTHERM gesintert. Als Sinterunterlagen haben sich Kaolin-Tonerde-Platten bestens bewährt. Eine direkte Wärmeeinstrahlung auf die zu sinternenden Kappen sollte durch entsprechende Einbauten zwischen Heizung und Sintergut vermieden werden. Ohne diese Maßnahme treten größere Dichteschwankungen auf, die sich durch große Toleranzen in der Geometrie zeigen.

Folgendes Sinterschema war für die Kappe 19,8 x 7,9 mm<sup>2</sup> optimal.

300 min	RT → 200 °C
600 min	200 → 500 °C
180 min	500 → 800 °C
80 min	800 → 955 °C 60 min Haltezeit

Die Abkühlung des Ofens erfolgt ungerichtet.

#### 7.5 Finishbearbeitung

Die Fügeflächen wurden auf der Einscheibenläppmaschine K3 R50 geläppt.

Die Maschinenkennwerte für das Läppen des Sensorgehäuses sind folgende:

- Maschinendrehzahl	65	min <sup>-1</sup>
- Läppzeit	3,45	min
- Belastung	ohne	
- Beladung /Läuferscheibe	42	Stck.
- Läppmittel	SiC F600	

Nach der Finishbearbeitung werden die Gehäuse im Ultraschallbad gereinigt und anschließend getrocknet.

### 7.6 Auswertung der Ergebnisse zum Niederdruckspritzgießen von MCM-Gehäusen

Zur Herstellung der Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>- und Glaskeramik-MCM-Gehäusen mußten Technologien für deren Herstellung durch Niederdruckspritzgießen entwickelt werden.

Für jedes Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Gehäuse bzw. Rahmen wurden Spritzgießparameter, Entbinderung, Sinterung und Finishbearbeitung an die Grundtechnologie angepaßt.

Für den Glaskeramik-Spritzguß mußte die gesamte Technologie einschließlich der Schlickeraufbereitung entwickelt werden, weil mit diesem Werkstoff bisher nicht gearbeitet wurde.

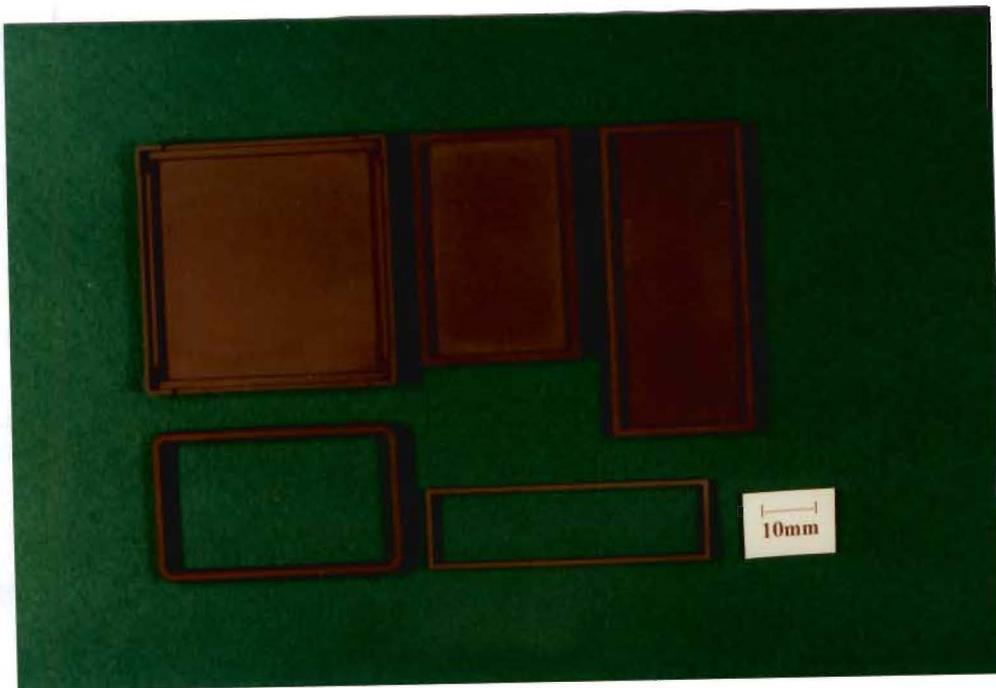
Im Rahmen der Projektdurchführung wurden folgende Rahmen und Gehäuse für MCM-Anwendungen entwickelt und gefertigt.

#### a) Gehäuse aus dunkel eingefärbter Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Keramik

Geometrische Abmessungen [mm x mm x mm]	Einsatz
34,4 x 19,4 x 3,9	Prüfungen bei Sievert TFT, Hermsdorf
37,2 x 18,4 x 3,2	VDO, Schwalbach
41,4 x 26,0 x 3,0	eigene Metallisierungs- und Klebeversuche
58,0 x 26,4 x 3,6	Carl Zeiss, Oberkochen
46,0 x 46,0 x 5,2	Diehl GmbH, Röthenbach

b) Rahmen aus dunkleingefärbter  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Keramik

Geometrische Abmessungen [mm x mm x mm]	Einsatz
45,7 x 28,0 x 3,5	Carl Zeiss, Oberkochen
51,8 x 15,0 x 1,6	Lewicki micro electronic, Oberdischingen

Abb.6: Gehäuse und Rahmen aus dunkleingefärbter  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Keramik

## c) Gehäuse aus Glaskeramik

Geometrische Abmessungen [mm x mm x mm]	Einsatz
19,8 x 7,9 x 1,4	Carl Zeiss Jena; CIS Erfurt
22,1 x 13,0 x 5,3	eigene Untersuchungen
34,2 x 16,9 x 2,8	eigene Untersuchungen

In Abb. 7 sind verschiedene Gehäusevarianten für den Bewegungssensor gezeigt. Für Untersuchungen wurden Gehäuse mit Fenster oder Bohrung hergestellt. In selbiger Abb. ist auch ein funktionsfähiger Sensor einschließlich flexiblem Leiterband zum elektrischen Anschluß des Meßmoduls gezeigt.

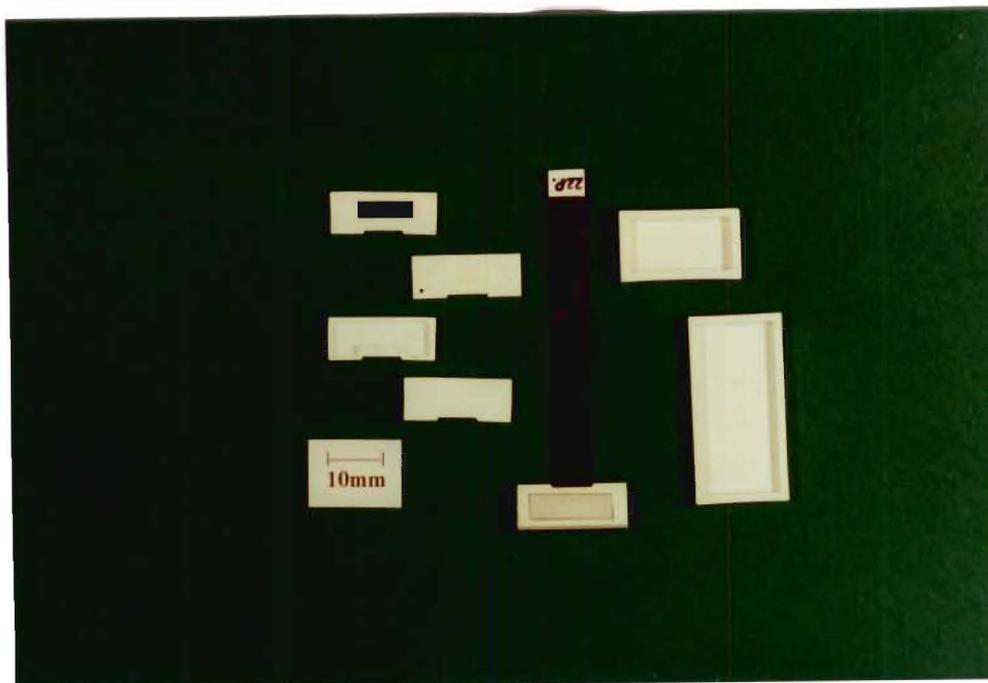


Abb.7: Glaskeramik-Gehäuse und Sensor mit flexiblem Anschluß

Die hergestellten Keramikgehäuse und -rahmen zeigen ein dichtes Sintergefüge, so daß diese Hausungselemente erfolgreich für heliumleckdichte Hausungen eingesetzt werden konnten. Das Gehäuse  $58,0 \times 26,4 \times 3,6 \text{ mm}^3$  für den militärischen Einsatz vorgesehen, hat ohne Beanstandungen den MIL-Standard 883D (Umwelttests, mechanische und elektrische Tests) erfüllt.

Das Gehäuse  $46,0 \times 46,0 \times 5,2 \text{ mm}^3$  befindet sich noch in der MIL-Standard-Prüfung. Die Gehäuse für VDO waren für die Hausung von MCM's zur Optimierung der Kraftstoffeinspritzung im Automobilbau vorgesehen. Eine Projektänderung bei VDO führte zu einer „LOW COST“-Variante ohne Keramikgehäuse. Durchgeführte Untersuchungen (Einlagerungen von Spritzgußgehäusen in Kraftstoff) zur Prüfung der Kraftstoffverträglichkeit von dunkel eingefärbter  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Keramik ergaben keinerlei korrosiven Angriff auf die Keramik.

Die geforderten Heliumleckraten von  $< 5 \times 10^{-8} \text{ Torr ls}^{-1}$  wurden bei  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Gehäusen eingehalten. Bei Glaskeramikgehäusen gab es infolge der nachträglich angepaßten Kappengeometrie an das MCM mit Wandstärken bis 0,3 mm teilweise Probleme mit der Einhaltung der geforderten Heliumleckrate. Eine zusätzliche, aber nur in diesem speziellen Fall durchgeführte Tränkung in Epoxidharz ergab eine vollständige Hermetisierung.

Die Prüfergebnisse für Glaskeramik-Kappen mit gleichmäßiger Wandstärke ab 1,0 mm erfüllen die Forderungen der Standards. Die vielseitigen Einflüsse auf ein feinkörniges dichtes Sintergefüge werden in den Abb.8 und 9 am Einfluß der Sintertemperatur und der Haltezeit dargestellt.

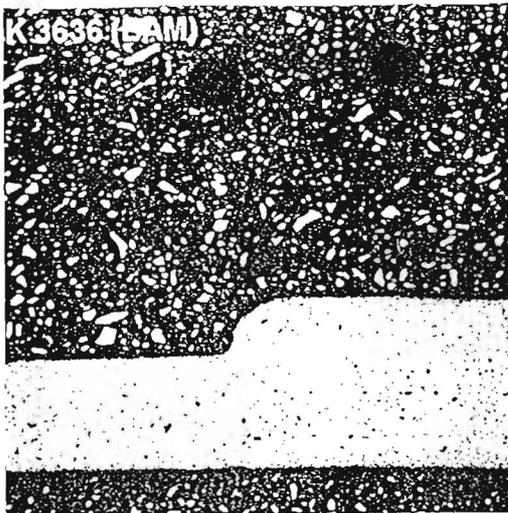


Abb. 8: Glaskeramik-Gefüge,  
Sintertemperatur 950°, Hz 10 min

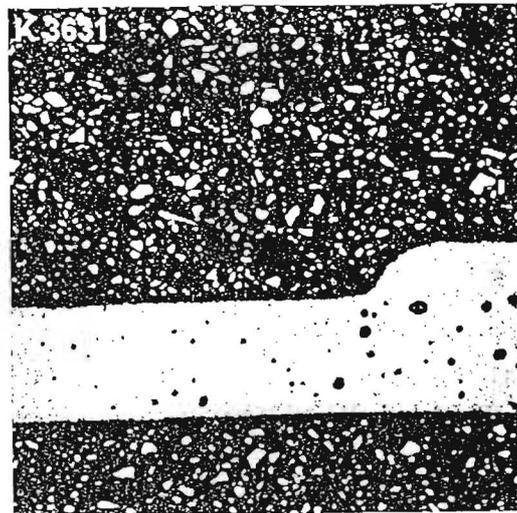


Abb. 9: Glaskeramik-Gefüge  
Sintertemperatur 1050°, Hz 120 min

## 8. Versuchsdurchführung zu verschiedenen Verschlußvarianten

Zum hermetischen Verschließen von Substrat und Keramikgehäuse eignen sich Löt- und Klebverfahren [10,11]. Beide Verschlußtechniken wurden untersucht.

### 8.1 Lötvarianten

#### -Versuchsdurchführung

- a) Lötversuche mit Au-bedruckten Substraten und Gehäusen  
Goldpaste der Fa. Ferro wurde mittels Siebdruck auf Substrat und Gehäuse aufgebracht. Die eingesetzten Lote waren bleifrei auf der Basis Sn, Ag, Au.  
Ergebnisse: SnAg 95/5-Lot      Ablegieren der Au-Schichten beim Löten  
                  AuSn 80/20-Lot      Ablegieren der Au-Schichten beim Löten  
                  SnAg 96,5/3,5-Lot    Ablegieren der Au-Schichten beim Löten  
Insgesamt negative Versuchsergebnisse.

- b) Lötversuche von mit dotiertem Ag bedruckten Substraten und Gehäusen  
Die Ag-Metallisierung erfolgte durch Siebdruck und anschließendes Einbrennen entsprechend Herstellervorgaben.  
Als Druckpasten wurden eingesetzt:

AgPd	Du Pont
AgIn	Demetron
AgPt 3754	Ferro.

Als Lotwerkstoff wurde das Standardlot Sn62 Pb Ag2 eingesetzt.

Ergebnisse: Metallisierung der Fügeflächen mit	
AgPd	Schlechte Benetzung - undichte Fügung
AgIn	Abreißen der Ag-Schichten bei geringen Scherkräften
AgPt	gute Benetzung, gute Haftfestigkeit

Die optimalen Prozeßkennwerte zum Löten mit AgPt-bedruckten Substraten und Gehäusen mittels SnPbAg-Lot sind wie folgt:

- Metallisierung der Substrate und Gehäuse
 

Siebgewebe:	250 - 325 mesh
Beschichtung:	20 µm
Einbrennen:	850 °C; 10 min Haltezeit (Angaben des Hersteller)
Paste:	Ferro AgPt 3754
  
- Vorbehandlung der beloteten Deckel
 

Zum Entfernen des Flußmittels waschen mit  $\text{Cl}_4\text{CH}_3$  (Trichlorethan) oder  $\text{H}_3\text{CO}_3\text{H}_5$  (Essigester)
  
- Lötprozeß
 

Substrat und Deckel beim Verschließen mit in Abhängigkeit der Fügefläche belasten

Löttemperatur:	305 - 320 °C
Haltezeit:	20...30 s bei Löttemperatur
Gesamtdauer:	60 - 75 s
  
- Heliumlecktest
 

Leckraten  $< 0,6 \cdot 10^{-8}$  Torr  $\text{Is}^{-1}$

c) Lötversuche bei VDO mit metallisierten Keramikgehäusen

Die Keramikgehäuse waren mit Ag bzw. Ag- mit Sn-Verstärkung mittels Siebdruck metallisiert worden.

Die Lötversuche wurden mit einer Wellenlötanlage bei 340 °C durchgeführt. Die Keramiksubstrate waren im Lotbereich vergoldet.

Die nur mit Ag-beschichteten Gehäuse zeigten keine bzw. eine leichte Aufschmelzung bei Verwendung von Flußmittel SM 20/10 Alpha Grillo.

Die Lötungen mit AgSn-vorbeschichtetem Gehäuse zeigten bei Verwendung von Flußmittel SM 20/10 eine gute Aufschmelzung und waren bei Dichtheitsprüfungen in Wasser bei 100 °C und bei Heliumlecktest's dicht.

## 8.2 Klebevarianten

Für die Versuchsdurchführung prozeßbedingter Zusatzspannungen durch die Verbindung Substrat mit Kappe im Hausungsprozeß wurden Substrate mit einer Dehnmeßstruktur (DMS-Struktur) gemäß Abb.10 versehen.

Die DMS-Strukturen wurden in Dünnschichttechnik aufgebracht. Dieses Verfahren sichert eine schlupffreie Verbindung zwischen Substrat und der Meßstruktur. Die dünnen Schichten erzeugen keine Parallelkräfte zum Substrat.

Die DMS-Struktur wurde vor dem Verschlußprozeß kalibriert und die Substratbiegung durch den Verschlußprozeß bestimmt.

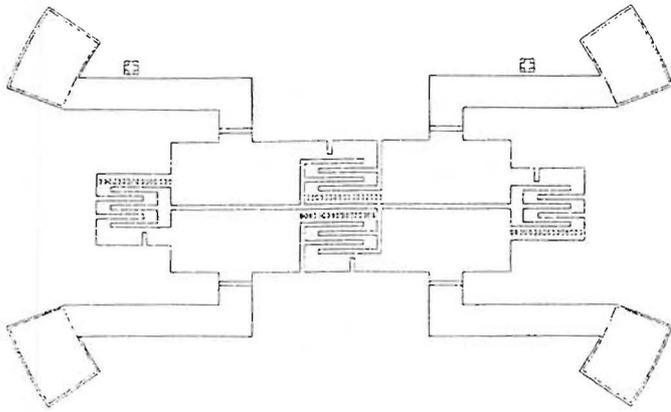


Abb.10: Layout der verwendeten DMS-Struktur

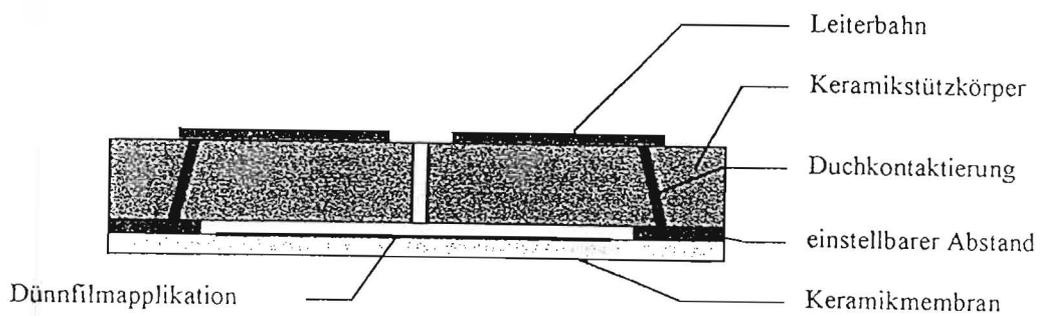


Abb.11: Schnittbild der Systemkonstruktion zum Messen der Fugespannungen

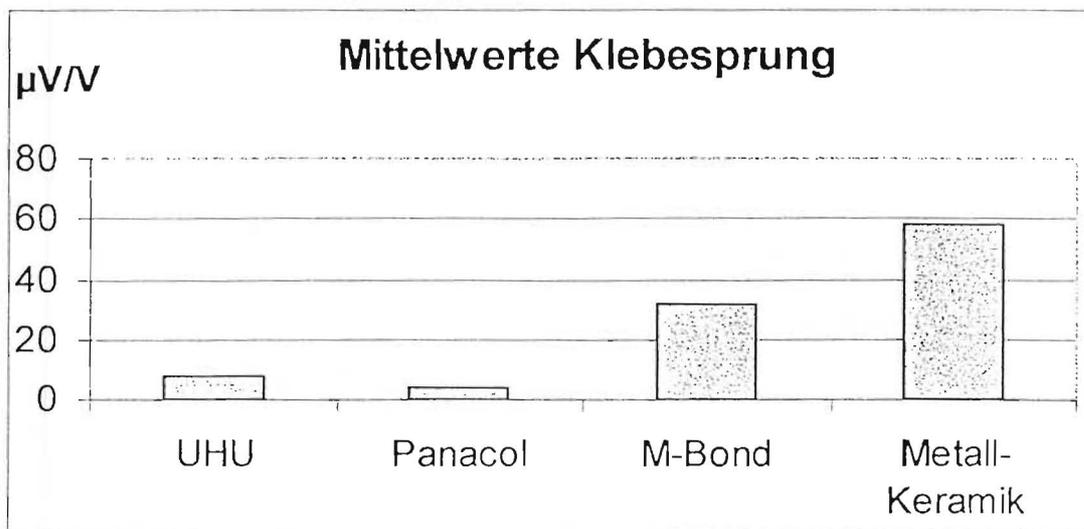


Abb.12: Meßergebnisse der Verspannung in Abhängigkeit von Kleber bzw. Metall-Keramik-Verbund

Die Klebversuche wurden nur mit unterschiedlich steifen, heißhärtenden Klebern durchgeführt. Es zeigen sich bei homogenen Keramikverbindungen Verspannungen in Abhängigkeit der Kleberhärte und korrelierend zur Härtetemperatur. Der Keramik-Metall-Verbund ist deutlich stärker verspannt.

Mit diesen Untersuchungen konnte ein Verfahrensweg zur Bestimmung hausungsbedingter Substratverspannungen aufgezeigt werden. Die Ergebnisse sind qualitativ und es bedarf weiterer Untersuchungen zur quantitativen Messung und der Verifizierung der Auswirkungen diese Verspannungen auf die Systemzuverlässigkeit.

### 9. Prüfstruktur zur Bestimmung der inneren Atmosphäre im Gehäuse

Zur Bestimmung der inneren Gehäuseatmosphäre nach dem Verschluß des Gehäuses wurde eine Prüfstruktur entwickelt.

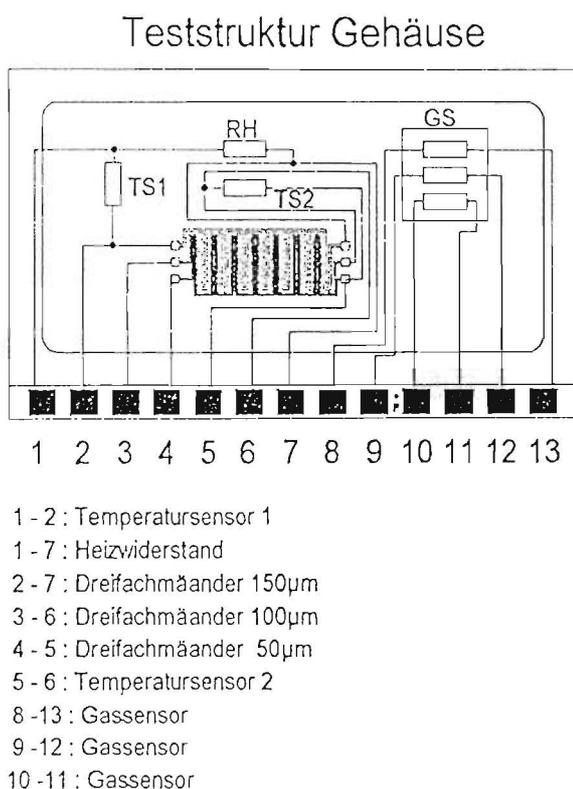


Abb.13: Teststruktur zur Bestimmung der inneren Gehäuseatmosphäre

Diese Prüfstruktur enthält folgende Komponenten:

#### Heizwiderstand

Der Heizwiderstand ermöglicht eine lokale Erwärmung des Substrates.

#### Temperatursensoren

Über die Temperatursensoren kann die heizleistungsabhängige Temperaturverteilung im Gehäuse bestimmt werden. Somit werden die konstruktionsbedingten Grenzleistungen für die Keramikbaugruppen bestimmt.

Die Temperatursensoren dienen weiter dazu, die echte Substrattemperatur im Klimatest zu verfolgen.

### **Gassensor**

Der SnO<sub>2</sub>-Gassensor reagiert in seinem Verhalten sehr empfindlich auf Veränderungen der Oberfläche. Damit können Kleberausscheidungen und Umdestillationen von organischen Komponenten im Gehäuse qualitativ bewertet werden.

### **Polungsteststruktur**

Die Polungsteststruktur, drei ineinandergewickelte Widerstandsmäander aus CrNi, kann zur Taupunktbestimmung im Gehäuse genutzt werden. Unter angelegtem elektrischen Potential werden unter Betauung Elektrolyseeffekte an dem negativ gepolten Mäander festgestellt. Die dadurch erzeugte Widerstandsänderung induziert die Betauung.

## **10. Qualifizierungstest's für die Glaskeramik-Kappe**

Die Glaskeramik-Kappe mit dem an das Borofloatglas und Silizium angepaßten thermischen Ausdehnungskoeffizienten von  $3,5 - 4 \cdot 10^{-6}$  konnte in den durchgeführten Prüfungen die Schlüssigkeit eines einheitlichen System- und Materialkonzept's bestätigen. Die Richtigkeit des genannten Vorgehens wurde in vergleichenden Untersuchungen mit Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Keramik und Metallkappen nachgewiesen. Hierfür wurden im Grundaufbau identische Proben folgenden Qualifizierungstests unterworfen:

### **Temperaturschocktests**

Der Temperaturschocktest dient der qualitativen Bewertung des Materialverbundes. Aus diesem Grund wurden Systeme aus unterschiedlichen Materialkombinationen vergleichend untersucht.

Probenensemble: Glasschaltungsträger,  
Glaskeramikkappe, Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Keramikkappe, Metallkappe  
Verklebung jeweils mit H77 von Polytec

Testbedingungen: Temperaturschocktests -196°C bis +125°C, 5 Zyklen  
Verweilzeit an den Ecktemperaturen jeweils 30 min,  
Übergangszeit 15 sec

### *Ergebnisse:*

Die Muster mit Metall- und Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-Keramikkappen wiesen durch das Glas verlaufende Risse auf, die zu einer Zerstörung der Module geführt hätten. Bei den mit Glaskeramikkappen verklebten Mustern kam es lediglich zu örtlichen Muschelbrüchen im Übergangsbereich der Kappen und zu einzelnen Abhebungen im Bereich großflächiger Lotpads.

### **Dichtigkeitstest**

Nach diesen positiv verlaufenen Vorversuchen mußte die Dichtigkeit der Einheit Kappe-Klebefuge und Glasträger untersucht werden, um Aussagen zur Langzeitzuverlässigkeit des Systems gegen Feuchtebelastung zu erhalten. Probleme sind hierbei die Degradation der Klebverbindungen und die Dichtigkeit des Keramikmaterials bei den genannten extrem dünnen Wandstärken. Die Beständigkeit der Klebverbindungen wurde in Pressure-Cooker-Tests an Versuchsaufbauten bewertet, bei denen nach einer Belastung von 12 h bei 121°C keine Ablösungen der Kleberschicht vom Glassubstrat festgestellt werden konnte. Die eigentlichen Dichtheitsuntersuchungen wurden mit Heliumlecktests durchgeführt.

- Probenensemble: mit Glaskeramik-Kappen verklebte Glas-Schaltungsträger,  
Klebstoff H77 von Polytec
- Testbedingungen: 1. Helium-Lecktest im „Null“zustand  
Temperaturwechselbelastung -33 °C bis +125 °C, 10 Zyklen  
2. Helium-Lecktest  
Pressure-Cooker-Test 12h, 121°C  
3. Helium-Lecktest

#### *Ergebnisse:*

Mit den bisher beschriebenen Untersuchungen lassen sich graduelle Unterschiede zwischen technologischen Varianten feststellen, bzw. erfahrungsbasierte Voraussagen über das Langzeitverhalten solcher Systeme unter Belastungsbedingungen treffen. Für den kommerziellen Einsatz ist jedoch das Bestehen genormter Zuverlässigkeitsprüfungen entscheidend. Im Rahmen einer Erstmusterprüfung wurden die kompletten optoelektronischen Mikrosysteme der Prüfung für Hybridbaugruppen nach DIN 45941 im Temperaturbereich zwischen -25°C und +85 °C unterzogen. Diese beinhaltet im einzelnen folgende Teiltests:

- Sichtprüfung
- elektrische Endprüfung bei Raumtemperatur
- elektrische Endprüfung bei oberer Ecktemperatur (+85°C)
- Temperaturwechseltest -25°C und + 85°C, 1000 Zyklen, danach elektr.Endprüfung
- Lagerung in feuchter Wärme 40°C, 93 % rel.Feuchte, 21 Tage, danach elektrische Endprüfung
- Temperaturlagerung an der unteren Ecktemperatur (-25°C), 1000 h, danach elektrische Endprüfung
- Temperaturlagerung an der oberen Ecktemperatur (+85°C), 1000 h, danach elektrische Endprüfung
- Lebensdauertest 2000 h bei 85°C unter Betriebsspannung 7 Volt, danach elektrische Endprüfung

Diese DIN-Prüfung wurde von dem Mikrosystem mit einer aufgeklebten Glaskeramik-Kappe bestanden. Abb.14 zeigt den Gesamtaufbau eines Drehgebers von CZ Jena. Rechts im Bild der mit der Glaskeramik-Kappe gehauste Sensor.

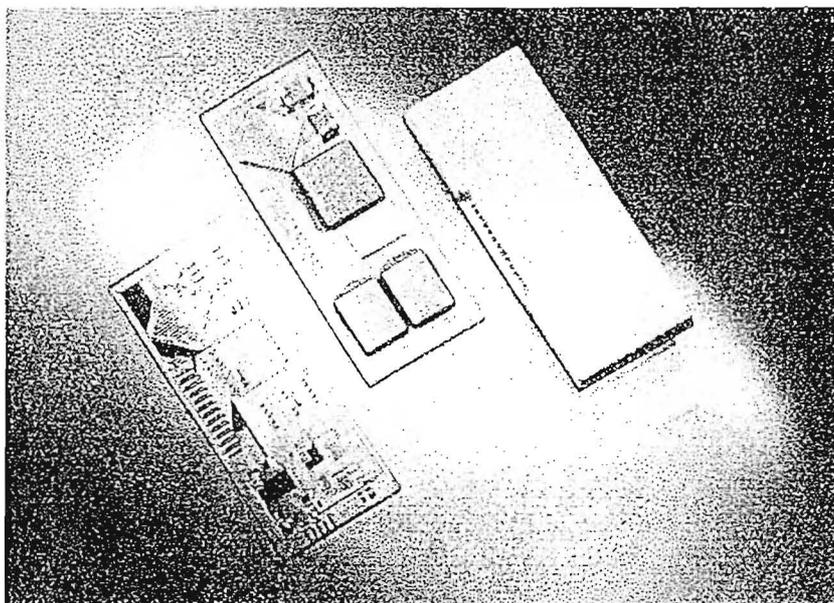


Abb.14: Gesamtaufbau des Drehgebers von CZ Jena

## 11. Produktbezogene ökologische Bewertung der innovativen keramischen MCM-Gehäuse

Bei der Entwicklung umweltgerechter Multi-Chip-Modulgehäuse ist Bedingung, daß über alle Lebensphasen des Erzeugnisses keine oder möglichst geringe negative Einflüsse auf die Natur oder den Menschen ausgehen. Im Vergleich hierzu stehen die bisher bekannten Aufbautechniken auf Leiterkartenbasis, in Dickschichttechnik, in Metallkeramikgehäusen, Kunststoffumhüllungen und abgeleitete Kombinationen der genannten Technologien. Hierbei stehen im Vordergrund immer schwer trennbare Vielstoffsysteme. Bei Deponierung gehen viele Wert- und Reststoffe verloren. Bei der Verbindungstechnik sind kritische Anteile toxischer Metalle vorhanden. Aus den Polymerwerkstoffen können die halogenierten Verbindungen frei oder umgesetzt werden und weitere Schadstoffe sind zu beachten [18 - 21].

Die folgenden Betrachtungen sind für  $\text{Al}_2\text{O}_3$  sowie die Glaskeramik gültig und werden zusammengefaßt behandelt.

### 11.1 Bewertung im Herstellungsprozeß

- **Produktrohstoffe**

Die  $\text{Al}_2\text{O}_3$ -Keramik geht von einem hohen Anteil  $\text{Al}_2\text{O}_3$  aus und enthält einen geringen Zusatz weiterer Metalloxide (Pkt.5) von Eisen, Mangan, Titan und Silizium.

Die Glaskeramik basiert auf Borosilikatglas ( $\text{B}_2\text{O}_3$ ,  $\text{K}_2\text{O}$ ,  $\text{SiO}_2$ ) und Korund ( $\text{Al}_2\text{O}_3$ ) im Verhältnis 70/30. Es ist davon auszugehen, daß von den Metalloxiden keine toxischen Wirkungen ausgehen und die gesinterten Erzeugnisse umweltneutral sind.

Es werden im Sinterprozeß keine Nebenprodukte gebildet.

- **Hilfsstoffe**

Die als Bindemittel für den Bearbeitungsprozeß eingesetzten Produkte sind:

- Paraffin
- Wachs
- Ölsäure.

Hierbei handelt es sich um reine Kohlenwasserstoffe, die bei der Entbinderung durch katalytische Abgasbehandlung in  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$  umgewandelt werden.

Verbleibende Restmengen der Binder nach der Entbinderung werden bei der oxidischen Sinterung ebenfalls zu  $\text{CO}_2 + \text{H}_2\text{O}$  umgesetzt.

- **Masseaufbereitung**

Die Masseaufbereitung erfolgt durch Trocken- oder/und Naßmahlung und Sprühtrocknung in geschlossenen Systemen, so daß keine Stäube frei werden können.

Der Herstellungsprozeß erfordert insgesamt keine weiteren Hilfsstoffe und erzeugt ebenfalls keine Nebenprodukte, somit werden auch keine Produkte in die Umwelt getragen.

### 11.2 Bewertung in der Weiterverarbeitung und im Einsatz

- **Modulaufbau**

Die Gehäuseteile in  $\text{Al}_2\text{O}_3$ - oder Glaskeramik bieten sehr gute Möglichkeiten zum Modulaufbau mit Trägersystemen am gleichen Werkstoff und damit Reduzierung der Materialvielfalt.

- Bei der Verschußtechnik wurde als Prinziplösung eine Klebetechnologie erarbeitet. Diese Technologie wird allen klimatisch-mechanischen Anforderungen gerecht. Die Verschußtechnik über Metallisierungsvarianten der Gehäuseteile und Löttechnik zu realisieren führt nicht zur Verringerung der Materialvielfalt und wurde deshalb nicht weiter eingesetzt.
- Der für die Anwendungserprobung der Glaskeramik-Gehäuse gewählte Bewegungssensor führt zu einer Subminiaturisierung  
Der Flächenbedarf für die gleiche technische Lösung ist nur noch 1/10, s.Abb.15.

	Produkt des Marktführers		MOH 9	
Flächenbedarf	2100 mm <sup>2</sup>		160 mm <sup>2</sup>	
Gewicht	17 g		0,7g	
Material	FR4 Leiterplatte (Harz)	30 %	Glas	50 %
	Verplastete Bauelemente	40 %	Glaskeramik	30 %
	Si	5 %	Si	15 %
	Keramikbauelemente	10 %	Epoxydkleber	5 %
	Metallgemisch (Sn Pb Cu Al Ni Au)	15 %	Metallgemisch (Sn Cu Pb Au Al)	5 %

Abb.15: Vergleich der Elektronikbaugruppe für Drehgeber

- Auch bei extremen klimatischen Belastungen (hohe Temperatur und hohe Luftfeuchtigkeit) ist die Emissionsfreiheit gesichert. Keramische Werkstoffe gehen keine chemische Reaktion ein.

### 11.3 Recycling

Um die in elektronischen Produkten enthaltene hohe Wertschöpfung zu erhalten, sollte das Recycling durch Wiederverwendung, Wiederverwertung oder Weiterverwertung, gekennzeichnet sein [6, 22].

- Herstellungsprozeß

Die thermischen Massen können in jedem Bearbeitungsstand wiederaufbereitet werden. Gesinterte Teile können durch Vermahlung dem Ausgangsrohstoff zugesetzt werden, für gleiche oder andere keramische Erzeugnisse.

- Finalerzeugnisse

Die Gehäuse können durch thermischen Schock (über die Einsatzgrenzen hinaus) von den bestückten Substraten gut getrennt werden. Der Wiedereinsatz derartig zurückgewonnener Gehäuse wurde bereits technisch praktiziert.

Aufbereitete Restmassen und Ausfallteile von Spritzguß können direkt in die Wiederverwendung eingeführt werden. Neben dem direkten Wiedereinsatz der Gehäuse ist die Wiederverwertung oder Weiterverwertung durch Aufmahlen der Gehäuse ohne Zugabe weiterer Hilfs- oder Zusatzstoffe möglich.

Eine evtl. Deponierung kann umweltneutral erfolgen.

Da die keramischen Gehäuseteile sich chemisch neutral verhalten, ist eine Trennung von Werkstoffen möglich und eine chemische und/oder biotechnologische Aufarbeitung perspektivisch denkbar.

Die thermische oder mechanische Stofftrennung ist gegeben.

#### 11.4 Zusammenfassende Prozeßbeschreibung der Eingangs- und Ausgangsgrößen bei der Herstellung von keramischen MCM-Gehäusen (Sachbilanz)

Eingangsgrößen:

Ausgangsmaterial:	Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> mit geringen Dotierungen von MnO <sub>2</sub> , Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , SiO <sub>2</sub> , TiO <sub>2</sub> , Glaskeramik (Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , K <sub>2</sub> O, B <sub>2</sub> O <sub>3</sub> , SiO <sub>2</sub> )
Hilfsstoffe:	Paraffin, Wachs, Ölsäure
Energie:	Strom
Medien:	keine

Ausgangsgrößen:

Produkte:	MCM-Gehäuse aus Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> oder Glaskeramik
Emissionen:	CO <sub>2</sub> , H <sub>2</sub> O
Nebenprodukte:	keine

Die Umweltauswirkungen bei der Herstellung von MCM-Gehäusen aus Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub> oder Glaskeramik sind gemäß der von der Society for Environmental Toxicology and Chemistry (SETAC) 1991 erarbeiteten Liste der zu beachtenden Auswirkungen gering [2].

## 12. Fazit

Die Projektziele zur Erstellung einer umweltgerechten Fertigungstechnologie von MCM-Gehäusen aus Aluminiumoxid, sowie eine umweltverträgliche Hausungstechnologie unter Verwendung von Klebern konnten nachgewiesen werden. Für ursprünglich im Projekt vorgesehene MCM-Gehäuse bis 6 x 6 Zoll<sup>2</sup> war durch fortschreitende Miniaturisierung kein Bedarf mehr vorhanden. Eine Projektänderung im Sinne einer Werkstoffweiterung auf Glaskeramik für MCM-Gehäuse wurde nach dringendem Bedarf der Firma Carl Zeiss Jena in Abstimmung mit der Deutschen Bundesstiftung Umwelt vorgenommen.

Eine Technologie für die Herstellung von Glaskeramik-Gehäusen und die dazugehörige Klebetechnologie wurden erarbeitet. Dringender Bedarf an Glaskeramik-Kappen konnte bereitgestellt werden.

Die Herstellungstechnologie von Glaskeramik-Gehäusen größerer Dimensionen erfordert bei Bedarf weitere Technologieentwicklung.

Die Keramiktechnologie zur Herstellung von Gehäusen und Rahmen für hermetische Hausungen ist eine umweltfreundliche Technologie und deren Produkte sind in allen Lebensphasen den Forderungen der Kreislaufwirtschaft angepaßt.

### 13. Literatur

- /1/ Griese, H., Pötter, H.:  
Potentiale der Elektronik für ein nachhaltiges Wirtschaften  
IZM Proceedings 1995/1996, [25], 1-8
- /2/ Middendorf, A., Nissen, N.F.:  
Umbewertung von elektronischen Produkten  
IZM Proceedings 1995/96, [56], 1-11
- /3/ Müller, J.:  
Was tun mit dem Elektronikschrott?  
IZM Proceedings 1995/96 [59], 1-4
- /4/ Hautz, A.:  
Elektronikschrottreycling: mehr Risiken als Chancen?  
EP 12/1995, 17 - 19
- /5/ Helbach, M., Wassenberg, B., Lyko, H., Lyko, M.:  
Neue Entwicklungen des Elektronikschrottreyclings  
EP 10/1995, 16 - 20
- /6/ Griese, H., Müller, J.; Nissen, N.F., Sietmann, R.:  
Umweltbezogene Anforderungen an das zukünftige Leiterplattendesign  
IZM Proceedings, 1995/96 [23], 1 - 11
- /7/ Nissen, N.F., Middendorf, A.:  
Vereinfachter Ansatz zur Umweltbewertung bestückter Leiterplatten  
IZM Proceedings 1995/96, [68], 1 - 11
- /8/ Distler, W.:  
Keramik-Multilayer: Technologie mit Recyclingvorsprung  
Elektronik 3/1994, 30 - 33
- /9/ Distler, W., Bechthold, F.:  
Keramik-Technologie eröffnet Recyclingchancen  
Elektronikindustrie 5/1994, 48 - 54
- /10/ Dietz, K.:  
Alternative Löt- und Klebwerkstoffe  
Tagungsband - Intern. Fachmesse für SMT/Electronic Systems and  
Solutions / Hybrid 07. - 09. Mai 1996, 43 - 52
- /11/ Heßland, A., Schäfer, H.:  
Kleben - eine zukunftsweisende Aufbau- und Verbindungstechnik in der  
Mikroelektronik? Tagungsband - Intern. Fachmesse für SMT/Electronic  
Systems and Solutions/Hybrid 07.-09.Mai, 125 - 131

- /12/ Güther, M., Liebich, R.:  
Spritzgießen keramischer Werkstoffe  
Silikatechnik 40/1989, Heft 2, 62 -65
- /13/ Sterzel, H.J.:  
Spritzgießen komplexer keramischer Teile. Keramische Werkstoffe,  
Juli 1995, Kapitel 3.4.8.2, 1 - 22
- /14/ Lenk, R.:  
Heißgießen von Keramik. Keramische Werkstoffe, Jan. 1995,  
Kapitel 3.4.8.1, 1 - 21
- /15/ Harley, M.:  
Polymers for Ceramic and Metal Powder Binding Applications,  
CERAMIC INDUSTRY Nov. 1995, 51 - 55
- /16/ Fertigmassen für den Spritzguß, cfi-Berichte DKG, 72  
(1995) Nr.4, 194 - 195
- /17/ Bayceram PIM-Hauptzielgruppe Porzellanindustrie,  
Keramische Zeitschrift 48  
[1] 1996, 34 - 36
- /18/ Genenger, U., Koepf-Bank, H.-J.:  
Die produktbezogene Ökobilanz,  
Umwelt Bd.26 (1996) Nr. 11/12, 66 - 67
- /19/ Schilling, R.:  
Anwendung und Komponenten der Ökobilanz,  
EP 11/95, 57 - 59
- /20/ Jugel, A.;  
Möglichkeiten der wirtschaftlichen Entsorgung von Elektronikschrott,  
Productronic 10, 1992, 76 - 79
- /21/ Haepf, H.-J., Melchiorre, M., Jakob, R.:  
Innovative Verfahren zur mechanischen Aufbereitung von Leiterplatten,  
Umwelt Bd.26 (1996) Nr. 11 - 12, 54 -57
- /22/ Kreislaufwirtschaftsgesetz, Bundesanzeiger Verlags GmbH, Bonn 1994
- /23/ Bauer, R.: Multichip-Module (MCM) konstruktiv-technologische Konzeptionen: Seminar-Vortrag zum Thema: Innovative Aufbau- und Verbindungstechniken für elektronische Baugruppen v. 29.04.97 TU-Dresden
- /24/ Reuber, C.:  
Multichip-Module: Integration der Integrierten,  
Elektronik 22/1995, 48 - 57

- /25/ Radlik, W.:  
Multichip-Module in Dünnschichttechnik - durch Miniaturisierung von der Baugruppe zur Komponente, Tagungsband: Intern.Fachmesse für SMT/ Electronic Systems and Solutions/Hybrid 07. - 09.Mai1996, 147 - 153
- /26/ Reichl, H., Wolf, J.:  
Electronic Packaging und Multichip-Module:  
IZM Jahresbericht 1995, 35 - 41
- /27/ Kostelnik, J., Röhrs, G.:  
Die „Neue Leiterplatte - TWIN flex“ - ein umweltgerechtes Leiterplattenkonzept, Jahresbericht TU Dresden IET, 23 - 36
- /28/ Schiller, W. Bechthold, F., Brode, W.:  
Glaskeramische Folien für LTCC-Multilayer-Substrate mit einer Funktionsebene in Dünnschichttechnik  
Tagungsband: Kongreß für SMT / Electronic Systems and Solutions/ Hybrid 07. - 09.Mai 1996, 199 - 201
- /29/ Prospekt:  
Optical Encoder Systems by Carl Zeiss - Encoder - Kit R
- /30/ Prospekt:  
Optical Encoder Systems by Carl Zeiss - Encoder Kit L
- /31/ inoceramic GmbH - ein leistungsfähiger Dienstleister auf dem Gebiet der technischen Keramik und der Verbundwerkstoffe, Galvanotechnik - Leiterplatten- und Umwelttechnik, 6 (1996) Bd. 87, S. 1944 - 1945

