Fraunhofer Institut
Produktionstechnik und
Automatisierung

Schlußbericht

Verbundprojekt „Industrieplattform Modulare Mikrosysteme MSTMASCHII“ Zusammenfassung der Teilberichte

Stuttgart, 20. Juni 2002

Projektleitung:

Dipl.-Volkswirt Klaus Zimmer (VDMA)
Dr.-Ing. Volker Großer (Fraunhofer IZM)
Dr.-Ing. Wolfgang Schäfer (Fraunhofer IPA)

Bearbeitung:

Dipl.-Ing. Kourosh Amiri Jam (Fraunhofer IZM)
Dipl.-Ing. Gerd Bauer (Fraunhofer IPA)
Dipl. Inf. Kai Benndorf (Fraunhofer IZM)
Dr.-Ing. Johann Dorner (Fraunhofer IPA)
Dipl.-Ing. Johannes Evers (Fraunhofer IPA)
Dipl.-Betriebsw. Gabriele Haase (Fraunhofer IPA)
Dr.-Ing. Volker Großer (Fraunhofer IZM)
Dipl.-Ing. Volker Hillmann (Fraunhofer IZM)
Dr.-Ing. Eberhard Kaulfersch (Fraunhofer IZM)
Dipl.-Ing. Ludger Krahn (Fraunhofer IZM)
Dipl.-Ing. Thomas Lenz (Fraunhofer IPA)
Dipl.-Ing. Falk Luczak (Fraunhofer IZM)
Dipl.-Ing. Peter Matuscheck (Fraunhofer IPA)
Prof. Dr. Bernd Michel (Fraunhofer IZM)
Ingénieur ESIM Myriam Le Nagard (Fraunhofer IPA)
Prof. Dr. Herbert Reichl (Fraunhofer IZM)
Dr.-Ing. Wolfgang Schäfer (Fraunhofer IPA)
Dipl.-Ing. Florian Schindler-Saefkow (Fraunhofer IZM)
Dipl.-Ing. Andreas Schüle (Fraunhofer IPA)
Dipl.-Ing. Matthias Schünemann (Fraunhofer IPA)
Dipl.-Ing. Achim Stock (Fraunhofer IPA)

Erstellung von Expertisen:

Prof. Dr.-Ing. H. Murrenhoff, Dipl.-Ing. G. Günther (RWTH Aachen, Institut für fluidtechnische Antriebe und Steuerung, IFAS, Aachen)

Dr.-Ing. A. Bräuer, Dr.-Ing. C. Wächter (Fraunhofer Institut Angewandte Optik und Feinmechanik)

Prof. Dr.-Ing. Wolfgang Schinköthe, Dipl.-Ing. Andreas Grotz (Universität Stuttgart, Institut für Konstruktion und Fertigung in der Feinwerktechnik)

Prof. Dr.-Ing. habil. E. Kallenbach, Dr.-Ing. V. Zöppig, Dipl.-Ing. B. Tolkemit (Steinbeis-Transferzentrum Mechatronik Ilmenau)

Fraunhofer Institut Produktionstechnik und Automatisierung

Das Projekt wurde begleitet durch die Mitglieder der Industrieplattform Modulare Mikrosysteme:

Dieses Forschungs- und Entwicklungsprojekt wurde mit Mitteln des Bundesministeriums für Bildung und Forschung (BMBF) gefördert (Förderkennzeichen) und vom Projektträger VDI/VDE-IT Technologiezentrum Informationstechnik GmbH in Teltow betreut.

Inhaltsverzeichnis

1	**Ausgangssituation und Zielsetzung**	**6**
2	**Struktur des Berichts**	**8**
3	**Zusammenfassung der Teilberichte**	**8**
3.1	Teilprojekt Schulung	8
3.2	Teilprojekt Öffentlichkeitsarbeit	9
3.3	Teilprojekt Roadmap	9
3.4	Teilprojekt Kommunikationsplattform im Internet	12
3.5	Teilprojekt Technologien und Bausteine	12
3.6	Teilprojekt Schnittstellen	12
3.7	Teilprojekt Standardisierung und Qualifizierung	14
3.8	Teilprojekt Betreiberorganisation	15
4	**Kunststofftechnologie**	**17**
4.1	Stand der Technik	17
4.1.1	Produkte	17
4.1.2	Technologien	18
5	**Konzept für Match-X Bausteine**	**20**
5.1	Anforderungen	20
5.2	Lösungsansatz	20
5.3	Materialien	21
5.3.1	LCP	23
5.3.2	PA / PBT	23
5.4	Prozesse	24
5.5	Vorversuche Metallisierung, elektrischer Bus	26
6	**Industrielle Umsetzung**	**28**
7	**Fazit**	**30**
8	**Ausblick**	**30**
9	**Literatur**	**31**

1 Ausgangssituation und Zielsetzung

Mitglieder des industriellen Lenkungsausschusses im wissenschaftlichen Vorprojekt „Mikrosystemtechnik im Maschinen- und Anlagenbau“ (BMBF-Vorhaben im Förderprogramm Mikrosystemtechnik) gründeten nach Projektabschluß die Nutzergruppe Mikrosystemtechnik im VDMA. Das Ziel der Nutzergruppe besteht in der industriellen Umsetzung des MST-Baukastens. Die Nutzergruppe umfaßt aktiv mitwirkende Unternehmen, IZM, IPA und VDMA. Zwischenzeitlich gehören der Nutzergruppe 25 Mitglieder an.

Die Industrieplattform „Modulare Mikrosysteme“ setzt sich zum Ziel das Baukastensystem zu entwickeln und auf dem Markt einzuführen.

Der Industrieplattform gehören sowohl Systemanwender, Systemhersteller als auch Bausteinhersteller an, so daß der Kundenregelkreis in diesem Gremium vollständig abgebildet werden kann.

Nachfolgend ist der Nutzen bzw. der Input hinsichtlich der Beteiligung von Unternehmen an der Industrieplattform aufgeführt:

	Nutzen aus Industrieplattform	Input in Industrieplattform
System-anwender	- Lösung von Problemstellungen - Kontakte (Systemhersteller) - Modellrechnungen	- Bedarf an modularen Mikrosystemen - anwendungsspezifische Problemstellungen
System-hersteller	- Erkennen des Marktbedarfs - Interne Steigerung der Mengengerüste - Kontakte (Systemanwender, Bausteinhersteller)	- Bedarf an Bausteinen - Infos zu Liefermöglichkeiten/ -fähigkeiten - Infos zu aktuellen Entwicklungen
Baustein-hersteller	- Bausteinlösungen - interne Steigerung der Mengengerüste - Bausteinbedarf verifizieren	- technisches und wirt-schaftliches Angebot zur Realisierung von Bausteinen - Infos zu aktuellen Bausteinentwicklungen, -

	- Kontakte (Systemhersteller)	liefermöglichkeiten

Dementsprechend definieren sich die Zielstellungen von Systemanwender, Systemhersteller und Bausteinhersteller:

System-anwender	• verbesserte/neue Produkte • innovative Entwicklungen • Reduktion der Prozeßkosten
System-hersteller	• neue Kundenkreise ansprechen und gewinnen • Erweiterung des Geschäftsfeldes
Baustein-hersteller	• neue Produktpalette generieren • neue Absatzmärkte erkennen und gewinnen

Aus den Zielen von Systemanwendern, Systemherstellern und Bausteinherstellern definiert sich für die Industrieplattform eine übergeordnete Gesamtzielsetzung – die begleitende Umsetzung des Baukastensystems und damit verbunden die Verfügbarkeit einer hinreichend großen Anzahl von modularen Bausteinen.

Das Projektziel des Vorhabens ist die Überführung des Baukastensystems aus dem vorliegenden Konzeptstadium in am Markt verfügbare Produkte.

Die Industrieplattform ist das industrielle Informations- und Kontaktforum, das die Baukastenentwicklung und –erweiterung vorantreibt. Ferner werden vordringliche und notwendige Aktivitäten definiert und koordiniert, um modulare Mikrosysteme verstärkt und auf breiter Basis in die industrielle Anwendung zu tragen. So sollen Initial-Bausteine durch die Industrieplattform erkannt und initiiert werden. Die ersten Mitglieder der Industrieplattform sind die Mitglieder der Nutzergruppe Mikrosystemtechnik im VDMA.

Für den Aufbau der Industrieplattform sind die Interessen der Industriemitglieder maßgebend. Auf der Grundlage der geleisteten Vorarbeiten wird der VDMA die Arbeiten der Industrieplattform moderieren. Die Arbeiten der Industrieplattform können nur gelingen, wenn möglichst viele Industrieunternehmen aus unterschiedlichen Industriebranchen (z.B. Maschinen- und Anlagenbau, Elektrotechnik und Elektronik, Sensorik, Chemie, Automobilbau, etc.) mitwirken.

2 Struktur des Berichts

Um die modulare Mikrosystemtechnik aus der Konzeption und der ersten Realisierung von Demonstratoren in ein für die Industrie anwendbares System zu überführen wurden sowohl technologische als auch marketingtechnische Arbeitspakete im vorliegenden Projekt bearbeitet. Innerhalb der einzelnen Arbeitspakete wurden umfangreiche Arbeiten durchgeführt, deren Dokumentation in einem Bericht dessen Rahmen und letzendlich das Handling für den interessierten Leser erheblich erschweren würde. Deshalb ist der Schlußbericht in einzelne Teilberichte entsprechend den Arbeitsschwerpunkten aufgeteil, für die jeweils ein seperater Bericht erstellt wurde. In dieser Zusammenfasung der Teilberichte wird im nachfolgenden Kapitel jeweils eine kurze Zusammenfassung des jeweiligen Berichtes gegeben. Die detaillierten Projektergebnisse sind dann in den einzelnen Teilberichten enthalten.

In der Struktur der Teilberichte spiegelt sich auch die Arbeitsteilung gemäß der Teilvorhaben wieder.

3 Zusammenfassung der Teilberichte

3.1 Teilprojekt Schulung

Neben der Bearbeitung technologischer Fragestellungen innerhalb des Projektes ist es auch notwendig die modulare Mikrosystemtechnik den potenziellen Anwendern und Herstellern modularer Mikrosysteme näherzubringen, um sie über das Baukastensystem zu informieren, und damit auch den zukünftigen Markt für die modulare Mikrosystemtechninik zu erschließen. Hierzu wurden Schulungsunterlagen in Form eines Buches, das auch zum Selbststudium genutzt werden kann, als auch ein Foliensatz erstellt. Die Schulungsunterlagen richten sich sowohl an Entscheider in den Unternehmen als auch Entwickler von Mikrosystemen. Die Anhand der Schulungsunterlagen werden die Vorteile eines modularen Baukastensystems erläutert, als auch ein Überblick über die Architektur, Schnittstellen und verfügbare Technologien, sowie möglich Anwendungen gegeben.

3.2 Teilprojekt Öffentlichkeitsarbeit

Für das modulare Baukastensystem wurden im wissenschaftlichen Vorprojekt „Mikrosystemtechnik für den Maschinen- und Anlagenbau“, bearbeitet von 1995 bis 1998 die technischen Grundlagen für ein modulares Baukastensystem für den Maschinen- und Anlagebbau entwickelt. Es wurden u. a. die Systematik eines Baukastens erarbeitet, sowie erste Definitionen für die notwendige Standardisierung innerhalb eines Baukastensystems im VDMA Einheitsblatt 66305 festgelegt, sowie Technologien für die Realisierung von Bausteinen dwes modularen Baukastensystems entwickelt. An einzelnen Demonstratoren wurde die Machbarkeit nachgewiesen, sowie die Vorteile eines Baukastensystems für Mikrosysteme veranschaulicht.

Im vorliegenden Projekt „Industrieplattform für modulare Mikrosysteme“ stellte sich neben der technologischen Weiterentwicklung die Herausforderung dieses Thema einem breiten Nutzerkreis zugänglich zu machen, und damit der modularen Mikrotechnik zum Durchbruch zu verhelfen.

Um dies zu erreichen ist es wichtig, die technologischen Vorraussetzungen zu schaffen, das heißt funktionsfähige Systeme zu entwickeln und die Fertigungstechnologien bereitzustellen. Darüber hinaus ist es wichtig durch geeignete Marketinginstrumente und Öffentlichkeitsarbeit den Bekanntheitsgrad des modularen Baukastensystems zu steigern.

Das Ziel des Teilprojektes Öffentlichkeitsarbeit besteht darin diese Marketinginstrumente zu entwickeln und bereitzustellen, sowie durch aktives Marketing, z.B. durch Veröffentlichungen, Messen und weitere Maßnahmen den Bekanntheitsgrad der modularen Mikrosystemtechnik zu steigern.

3.3 Teilprojekt Roadmap

Aufgabenstellung

Eine detaillierte, marktübergreifende und produktunabhängige Analyse und Bewertung mittelfristig zu erwartender Trends und Entwicklungsrichtungen von Technologien, Fertigungstechniken und industriellen Fertigungsstrukturen zur Fertigung feinwerk- und mikrotechnischer Systeme und Komponenten im industriellen Umfeld soll Bausteinhersteller und Bausteinanwender in die Lage versetzen, strategische Entscheidungen auf fundierte Technologie- und Entwicklungsprognosen zu stützen und damit Zukunftssicherheit sowohl bei eigenen Entwicklungen als auch bei der Weiterentwicklung des modularen mikrotechnischen Baukastensystems und seiner Schnittstellen zu gewährleisten. Dabei wird ein Prognosezeitraum von fünf bis sieben Jahren zugrundegelegt

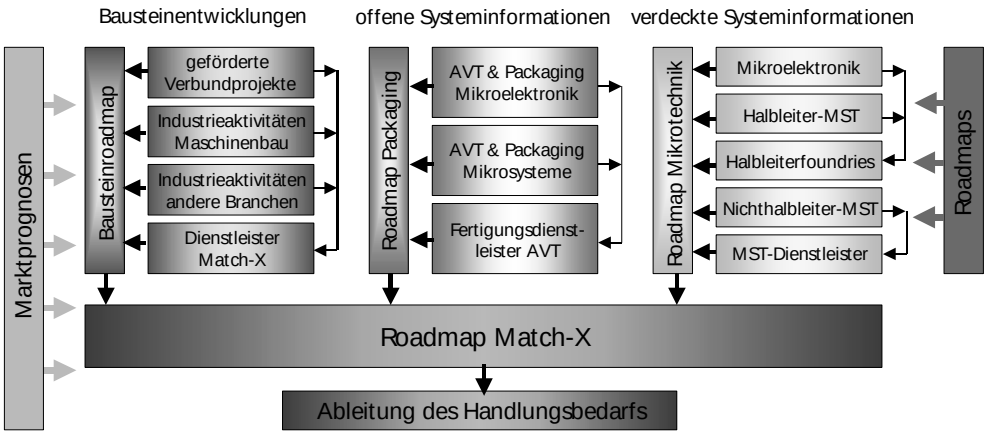
Methodik

Ein modulares Baukastensystem zur Realisierung miniaturisierter intelligenter Systeme ist nur dann wirtschaftlich erfolgreich, wenn potentiellen Anwendern eine kritische Anzahl an einsetzbaren Bausteinen zur Verfügung steht. Aufgrund im Vergleich zu anderen, massenmarktorientierten Industrien relativ geringen Nachfragemacht des Maschinen- und Anlagenbaus ist es unwahrscheinlich, daß diese Bausteine alle vollständig ausschließlich für das Baukastensystem entwickelt werden. Es gilt vielmehr, bereits existierende und zu erwartende mikrotechnische Lösungen anderer Branchen auf die Anforderungen des Maschinen- und Anlagenbaus zu portieren (sog. Spin-Off-Lösungen). Dazu ist es notwendig, Markt- und Produktentwicklungen anderer Branchen abschätzen zu können. Dazu wurde eine Roadmap Märkte und Produkte erstellt, in der, ausgehend von globalen Trends, wie sie im Delphi-Bericht zur globalen Zukunftsentwicklung von Wissenschaft und Technik und in anderen Technikvorausschauprojekten identifiziert wurden, und unter Zuhilfenahme von verschiedenen Marktstudien, Prognosen für konkrete Märkte und Produkte getroffen wurden.

Zur Abschätzung der industriellen Verfügbarkeit von Technologien, Prozessen und Dienstleistern wurde eine technologisch orientierte Roadmap Mikrotechnik erstellt. Für den Bereich der Mikroelektronik konnte dabei auf einen etablierten Roadmapping-Prozeß mit hohem technologischen Detaillierungsgrad und detaillierter Diskrimination der Zeithorizonte zurückgegriffen werden, der die Experteneinschätzungen der Mehrheit der weltweit führenden Mikroelektronikunternehmen abbildet und zugleich das Instrument der Technikvorausschau der Halbleiterindustrie darstellt (International Technology Roadmap for Semiconductors, aktueller Stand: 2001). Einige für das mikrotechnische Baukastensystem potentiell einflußstarke Trends und Tendenzen werden hier zusammengefaßt dargestellt und in ihren Auswirkungen kommentiert.

Ein derartiger technologisch orientierter Roadmapping-Prozeß existiert weder für die halbleiterbasierte noch für die nichthalbleiterbasierte Mikrosystemtechnik. Ein Ansatz dazu, initiiert auf der 3rd International Conference on Commercialization of Microsystems San Diego 1998 und fortgeführt unter der Federführung der SEMI Semiconductor Equipment and Materials International, erbrachte bislang nur lückenhafte Ergebnisse, wurde nach Kenntnisstand der Autoren dieser Studie nicht publiziert und scheint zum derzeitigen Zeitpunkt (März 2002) relativ inaktiv. Ein weiterer Roadmap-Ansatz, erarbeitet und in veröffentlicht von NEXUS Network of Excellence in Multifunctional Microsystems (aktueller Stand, 2000, Draft) ist stark produktorientiert, seine Zwischenergebnisse wurden insbesondere in der Roadmap Märkte und Produkte berücksichtigt

Methodik der Roadmap Match-X



Da ein eigenständiger Roadmapping-Prozeß aus Aufwandsgründen nicht realisierbar war, wurden eigene Recherchen zu Stand, Tendenzen und Zeithorizonten der Technologieentwicklung durchgeführt. Dabei wurde insbesondere untersucht, welche technologischen Entwicklungen der Mikrostrukturierungstechnik technische Herausforderungen der industriellen Umsetzung des Baukastensystems positiv oder negativ beeinflussen.

Für die Roadmap Aufbau- und Verbindungstechniken finden sich vergleichbare Voraussetzungen. Während Anforderungen, Entwicklungshorizonte und Technologiegrenzen für die Mikroelektronik und die Elektronikfertigung detailliert herausgearbeitet und gut dokumentiert sind (NEMI National Electronics Manufacturing Technology Roadmap, aktueller Stand: 2000), existiert nach unserem Kenntnisstand keine durhgängige, allgemein akzeptierte Roadmap für Packaging, Aufbau- und Verbindungstechnik von Mikrosystemen. Auch hier wurden eigene Recherchen zu Stand, Tendenzen und Zeithorizonten der Technologieentwicklung durchgeführt.

Während die Ergebnisse der technologischen Roadmap Mikrotechnik unmittelbar nur die verdeckten Systeminformationen betreffen, damit zwar die Machbarkeit einzelner Bausteine beschreiben, aber im wesentlichen nur für die Bausteinhersteller interessant sind, betreffen die Ergebnisse der technologischen Roadmap zur Aufbau- und Verbindungstechnik offene Systeminformationen, damit direkt die Architektur des Baukastensystems und seine Schnittstellen und beeinflussen daher die zukünftige Entwicklung des Baukastensystems erheblich.

Anschließend wurde eine Bausteinroadmap erstellt, in der der aktuelle Entwicklungsstand und zeitliche Entwicklungshorizonte von konkreten modularen mikrosystemtechnischen Bausteinen, vorwiegend nach Angaben der jeweils beteiligt Hersteller und Konsortien, zusammengefaßt wurden. Diese Roadmap ist insbesondere für Anwender interessant, die an einem zeitnahen Zugriff auf konkrete, definierte Bausteine interessiert sind.

Abschließend wird vordringlicher aktueller Handlungsbedarf bei der Weiterentwicklung des modularen mikrotechnischen Baukastensystems Match-X und seiner Schnittstellen identifiziert.

3.4 Teilprojekt Kommunikationsplattform im Internet

Ein wichtiges Anliegen der Unternehmen der Industrieplattform ist es, eine umfassende Transparenz hinsichtlich der Entwicklung und des Standes des Baukastensystems sowie der verfügbaren Bausteine zu schaffen. Die Vermittlung von umfassenden Informationen zu aktuellen Trends auf dem Gebiet der Mikrosystemtechnik und den damit verbundenen Möglichkeiten trägt ebenso zur Entwicklung des Baukastensystems bei.

Die zur Bearbeitung des Arbeitspaketes Informations- und Kontaktforum erforderlichen Komponenten wurden in Form eines Kommunikationswerkzeuges entwickelt, welches im Internet unter der Adresse www.match-x.org bereit gestellt wird.

3.5 Teilprojekt Technologien und Bausteine

In diesem Teilprojekt wurden im Wesentlichen die Technologien basierend auf Keramik, LTCC, und der Leiterplattentechnologie, FR4, weiter entwickelt. Dazu wurden verschiedene Demonstratoren realisiert. Dies sind ein Temperatursensorsystem in FR4, ein Fluiddemonstrator ebenfalls in FR4 und als mechanisches System eine Feldmühle zur Messung elektrostatischer Felder in Produktionsanlagen.

Darüber hinaus wurde die Machbarkeit einer weiteren Technologie für die Realisierung von Match-X Bausteinen untersucht. Abgeleitet von der MID-Technologie (Moulded Interconnect Devices) wurden Untersuchungen zur Realisierung der für Match-X erforderlichen Durchkontaktierung in Kunststoff durchgeführt.

3.6 Teilprojekt Schnittstellen

Match-X ist ein Baukasten für Mikrosysteme, der modular aufgebaut ist. Der Baukasten besteht aus einzelnen mikrotechnischen Funktionsbausteinen, die zu anwendungsspezifischen und kundenspezifischen Gesamtsystemen kombiniert werden können. Die unterschiedlichen mikrotechnischen Bausteine von Match-X, die jeweils eine Teilfunktion des Gesamtsystems erfüllen, können in unterschiedlichen Systemkonfigurationen mit der gleichen Baustein - Funktionalität eingesetzt werden. Der Match-X-Baukasten besteht im wesentlichen aus dem VDMA-Einheitsblatt 66305 und dem Match-X Bausteinkatalog.

Anwendungsbereich VDMA-Einheitsblatt 66305

Das VDMA-Einheitsblatt 66305 definiert die Schnittstellen zwischen einzelnen Match-X-Bausteinen, um die Kompatibilität der Bausteine zueinander zu gewährleisten. Die Definitionen umfassen sowohl geometrische als auch funktionale Schnittstellen der Bausteine. Diese Definitionen werden soweit notwendig durch technologieabhängige Gestaltungsregeln der Gehäuse bezüglich der Verbindung von Bausteinen ergänzt.

Der Anwender von Bausteinen kann anhand der im VDMA-Einheitsblatt 66305 definierten Struktur des Match-X-Baukastens (Abschnitt 5) die Bausteine bestimmen, die für die Realisierung eines Gesamtsystems erforderlich sind. Die Struktur ist bezüglich der Funktionalität der Bausteine festgelegt, so dass der Anwender auf Grund der erforderlichen Teilfunktionen für das System die erforderlich Bausteine bestimmen und auswählen kann.

Der Hersteller von Bausteinen des Match-X-Baukastensystem muß die Definitionen des VDMA-Einheitsblattes 66305 einhalten, damit der Baustein innerhalb des Match-X-Baukastens mit anderen Bausteinen kompatibel ist und vom Anwender zur Konfiguration von Match-X-Systemen eingesetzt werden kann.

Bei der Ausarbeitung dieses VDMA-Einheitsblattes sind vorhandene normen, wie z.B. der Mikroelektronik und der Systematisierung im Maschinenbau, soweit diese für die Anwendung und Herstellung mikrotechnischer Bausteine sinnvoll sind, beachtet bzw. eingearbeitet worden.

Zweck

Zweck des VDMA-Einheitsblatts 66305 ist die Sicherstellung der Kompatibilität von Match-X-Bausteinen unterschiedlicher Hersteller zueinander. Dies geschieht durch die Definition der Schnittstellen zwischen den Match-X-Bausteinen und, wo notwendig, den Fertigungstechnologien. Somit wird der Anwender in die Lage versetzt, aus den Funktionsbausteinen Gesamtsysteme konfigurieren zu können.

Geltungsbereich

Das VDMA-Einheitsblatt 66305 ist als offenes Dokument zu betrachten, welches dem derzeitigen Entwicklungs- bzw. Ausarbeitungsstand des Match-X-Baukastens entspricht. Das VDMA-Einheitsblatt 66305 wird entsprechend der fortschreitenden Entwicklung den jeweils neuesten Erkenntnissen und Anforderungen zur Zeit jährlich angepasst und erweitert. Über die Erweiterung und Veröffentlichung des VDMA-Einheitsblattes 66305 entscheidet regelmäßig ein hierfür benanntes Gremium. Gültig ist immer die letzte aktuell veröffentlichte Version des VDMA-Einheitsblattes 66305.

In Ergänzung zu den Arbeiten der Fraunhofer Institute IZM und IPA wurden weitere Forschungseinrichtungen und Institute durch Expertisen beauftragt. Dies waren: Für die Definition der optischen Schnittstellen das Fraunhofer Institut Angewandte Optik und Feinmechanik in Jena. Für die Definition der fluidischen Schnittstellen das Institut für fluidtechnische Antriebe und Steuerung, IFAS der RWTH Aachen. Die Institute Institut für Konstruktion und Fertigung in der Feinwerktechnik der Universität Stuttgart und das Steinbeis-Transferzentrum Mechatronik in Ilmenau für die Ausarbeitungen zur mechanischen Schnittstelle.

3.7 Teilprojekt Standardisierung und Qualifizierung

Das Qualifizierungshandbuch enthält die qualitative Beschreibung der qualitätsbestimmenden Merkmale (Erkennungsmerkmale, Funktionsmerkmale, etc.) eines Match-X-Bausteins bzw. eines Match-X-Systems. Dies dient zur Sicherstellung der Kompatibilität eines Match-X-Bausteins/ -Systems gemäß des im VDMA-Einheitsblatt 66305 spezifizierten Match-X-Baukastensystems.

Durch die Einhaltung der Vorschriften in diesem Qualifizierungshandbuch hat der Hersteller eines Match-X-Bausteins die Sicherheit, dass sein Produkt (bzw. Baustein) Match-X-konform ist. Dazu wird dem Hersteller ein Qualitätsleitfaden an die Hand gegeben. Weiterhin wird definiert, welche Informationen in der zugehörigen Dokumentation zur Verfügung zu stellen sind, damit der Anwender den Match-X-Baustein in einem Match-X-Bausteinstapel integrieren kann.

Dieses Qualifizierungshandbuch dient darüber hinaus dazu, dem Anwender die Sicherheit zu verschaffen, dass er Match-X-konforme Bausteine anhand der hier definierten Erkennungsmerkmale eindeutig identifizieren kann. Weiterhin wird der Anwender anhand eines Qualitätsleitfadens in die Lage versetzt, aus einzelnen Match-X-Bausteinen ein funktionierendes Match-X-System zusammenstellen zu können.

Anwendungsbereich/ Geltungsbereich

Dieses Qualifizierungshandbuch beschreibt die Erkennungsmerkmale eines Match-X-Bausteins/ -Systems sowie die Vorgehensweise zur Sicherstellung der Funktionsfähigkeit eines Match-X-Systems in bezug auf Match-X spezifische Merkmale.

Es definiert nicht die individuell erforderlichen Testprozeduren und -verfahren, um die funktionsspezifische Zuverlässigkeit eines Match-X Bausteins / Systems zu gewährleisten. Die funktionsspezifische Zuverlässigkeit eines Match-X-Bausteins/ -Systems ist durch den Hersteller zu gewährleisten. Die Zuverlässigkeit wird quantitativ durch die Verfahrensanweisung charakterisiert. Die Verfahrensanweisung umfasst die Ablaufbeschreibungen der Bearbeitungsprozesse, definiert die Verantwortlichkeiten für die jeweils zuständigen Bereiche, und reguliert den Dokumentenfluss. Eine solche Verfahrensanweisung ist in diesem Qualifizierungshandbuch nur teilweise enthalten. Dieses Qualifizierungshandbuch dient zur Einführung eines Qualitätsmanagements von Match-X Systemen und definiert die Zuständigkeiten. Dar-

aus soll der Hersteller oder der Anwender von Match-X Bausteinen bzw. Match-X Systemen die Verfahrensanweisungen für sich ableiten und konkrete Arbeitsanweisungen für sein Unternehmen schaffen.

Hinsichtlich ihrer technologischen Basis wird die Mikrosystemtechnik sowohl bei der Herstellung von Funktionselementen als auch bei der Verknüpfung der Komponenten von den Fertigungsprozessen der Mikroelektronik dominiert. Mikrosysteme – selbst wenn ihre wesentliche Funktion eine optische, mechanische oder fluidische ist – sind ohne mikroelektronische Komponenten kaum denkbar. Deshalb zielt diese erste Version des Qualifizierungshandbuchs hauptsächlich auf die Qualifizierung der elektrischen Schnittstellen. Die Qualifizierung erfolgt auf Basis der aktuellen Erkenntnisse über die umgesetzten Bausteine.

3.8 Teilprojekt Betreiberorganisation

Der Aufbau von Match-X-Gehäusen mit den genannten Technologien führt auch zu Einschränkungen bei der Gestaltung und Realisierung von Bausteinen und der Anwendung von Bausteinen. Dies sind insbesondere:

- der Schichtaufbau schränkt die erreichbaren Genauigkeiten und Reproduzierbarkeit bei der Gestaltung dreidimensionaler Strukturen ein, die insbesondere bei optischen Bausteinen gefordert sind

- die Umgebungsbedingungen, bei denen Match-X Systeme aus FR4 eingesetzt werden können sind eingeschränkt, z.B. Temperatur agressive Umgebungseinflüsse

- die LTCC-Technologie ist im Vergleich zur FR4 Technologie sehr kostenintensiv, der wirtschaftliche Einsatz ist deshalb nur gegeben, wenn die spezifischen Eigenschaften der LTCC-Technologie, z.B. hohe Temperaturfestigkeit, gefordert sind.

Um die angeführten Einschränkungen bei der Realisierung von Match-X Bausteinen zu kompensieren , ist eine weitere Gehäusetechnologie notwendig, die insbesondere folgende Einschaften besitzt: präzise dreidimensionale Strukturier- und Reproduzierbarkeit, gute Beständigkeit gegenüber Umwelteinflüssen, kostengünstige Herstellung bei mittleren Stückzahlen. Kunstsoffbasierte Schaltungsträger, wie sie z.B. in der Automobilindustrie eingesetzt werden, sind als MID-Bauteile (Moulded Interconnect Device) bekannt, und werden dort aus eben den genannten Eigenschaften dort eingesetzt. Innerhalb des Projektes „Industrieplattform modulare Mikrosysteme“ wurden die Einsatzmöglichkeiten dieser Technologie für den modularen Baukasten Match-X untersucht.

Die nachfolgende Tabelle stellt die drei unterschiedlichen Technologien gegenüber zum Vergleich hinsichtlich ihrer Eigenschaften.

Abbildung 1:

Vergleich Bausteintechnologien

	LTCC	FR4	LCP
Miniaturisierung und Integrationsdichte	**relativ hoch**	**moderat**	**moderat**
Maßhaltigkeit und Reproduzierbarkeit	**problematisch**	**hoch**	**relativ hoch**
Planarität der Kontaktoberflächen (BGA/LGA)	**erreichbar**	**sehr gut**	**gut**
Widerstandsfähigkeit gegen Umgebungseinflüsse	**sehr gut**	**gering**	**gut**
Realisierbarkeit mehrlagiger Umverdrahtung	**realisierbar**	**realisierbar**	**kaum möglich**
Realisierbarkeit von 3D-Funktionsstrukturen	**möglich**	**möglich**	**sehr gut**
Technologieverfügbarkeit bei Dienstleistern	**verfügbar**	**sehr gut**	**Einzelprozesse**
Kosten für mittlere Seriengrößen	**moderat**	**niedrig**	**niedrig**
technologische Herausforderung	**Schrumpfung**	**gering**	**Metallisierung**

4 Kunststofftechnologie

Kunststoff ist ein Werkstoff der in den verschiedensten Anwendungen der Mikrotechnik eingesetzt wird. Es ist ein vielseitiger Werkstoff, der in unterschiedlichsten Formen und mit unterschiedlichen Eigenschaften am Markt verfügbar ist. Weiterhin läßt sich Kunststoff für die Mikrotechnik mit unterschiedlichen Verfahren bearbeiten, z.B. Mikrospritzgießen und –Prägen, spanender Bearbeitung, sowie mittels Laser. Auf Grund der vielfältigen Möglichkeiten, die sich durch den Einsatz von Kunststoff in der Mikrotechnik, auch für das Match-X Baukastensystem erschließen, wird im folgenden der Stand der Technik erfaßt und beschrieben. Um den Anforderungen von Match-X gerecht zu werden beschränkt sich die Darstellung des Stand der Technik auf die für Match-X relevanten Produkte und Verfahren. Dies sind die Möglichkeiten der MID-Technologie, die die Kombination von dreidimensional gestaltbaren Strukturbauteilen und der Integration elektrischer Leiterbahnen ermöglichen.

4.1 Stand der Technik

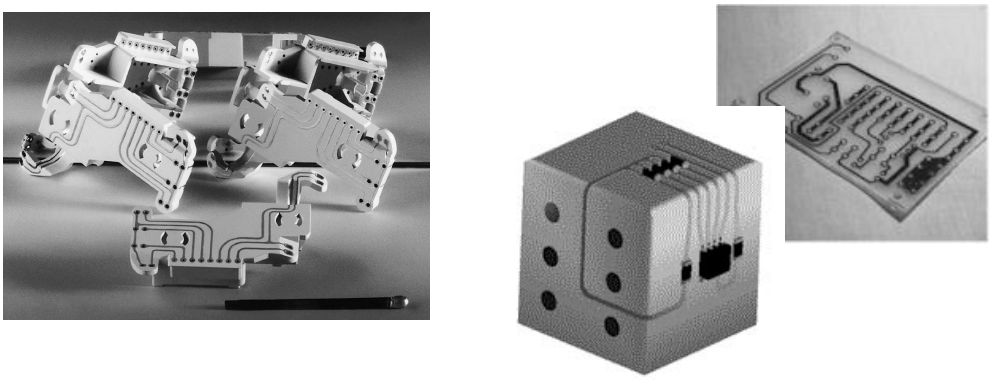
4.1.1 Produkte

Als Ausgangsmaterialien verwendeten Kunststoffe sind bereits durch die MID-Technologie (**M**oulded **I**nterconnect **D**evices) bekannt und in verschiedenen Anwendungen, z.B. Automobilindustrie und Telekommunikationstechnik in Form von 3D-Leiterplatten erfolgreich im Einsatz (vgl. Abb. 2). Bei den Kunststoffen handelt es sich dabei um temperaturbeständige Thermoplaste, die durch Spritzguss- und Prägeverfahren zu 3D-Package-Elementen geformt werden können. Die Kunststoffe sind in metallisierbarer Form verfügbar. Neuere Entwicklungen bei den Materialien und Fertigungsverfahren erlauben die selektive Metallisierung der Kunststoffe, die z.B. durch Lasereinsatz unterstützt wird./1/

Als kunststoffbasiertes 3D-Packaging Element wird bereits das als PSGA (Polymer Stud Grid Array) bekannte Produkt realisiert (vgl. Abb.3). Hierbei werden Kunststoff-Noppen (SGA) zusammen mit dem Kunststoff-Gehäuseteil abgeformt und metallisiert. Dieses Packaging-Bauteil dient als Umverdrahtung für einen ungehäusten Chip. Die Realisierung eines 3D-Packaging, wie es für ein Gehäuse kompatibel zum modularen Baukastensystem erforderlich ist, d.h. Realisierung von Leiterbahnen über ein hohes Aspektverhältnis der 3D-Gehäuseteile, ist derzeit mit der PSGA-Technologie nicht verfügbar.

Abbildung 2:

Beispiele MID Produkte

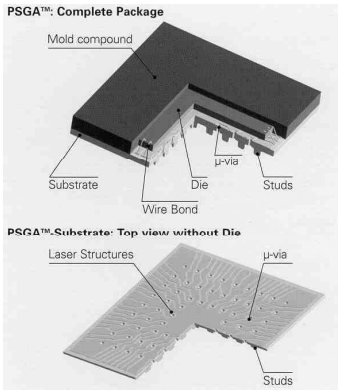


Quelle: Buss-Werkstofftechnik,GmbH & Co KG, MIDID

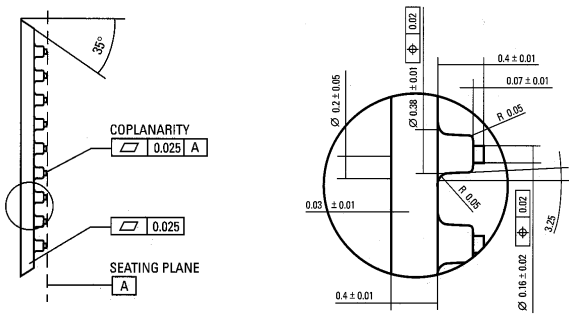
Bei diesen Produkten ist ein Stand der Technik erreicht, der es erlaubt sowohl feinste Strukturen abzuformen, sowie Durchkontaktierungen im Material von wenigen Millimetern zu realisieren. Hierzu sind derzeit aufwändige und kostenintensive Verfahren notwendig. Für den Einsatz dieser Technologie für das modulare Baukastensystem sind hinsichtlich der Realisierung der Metallisierung bei hohen Aspektverhältnissen, z.B. bei erforderlichen Durchkontaktierungen weitere Entwicklungen erforderlich. Bei weiterer Miniaturisierung, Verringerung der Leiterbahnbreiten und Erhöhung der Packungsdichte, sind neue Lösungsansätze gefordert. Des weiteren ist diese Technologie dahingehend weiter zu entwickeln, die Kosten für die Herstellung der Kunststoff-Packaging Elemente für das modulare Baukastensystem zu senken.

Abbildung 3:

Beispiele MID Produkte



Polymer Stud Grid Arrays PSGA:



Quelle: Siemens AG

4.1.2 Technologien

Die MID – Technologie bedeutet das Spritzgießen dreidimensionaler Schaltungen aus Kunststoffen. Dabei kommt insbesondere dem Prozess der Herstellung der elektrischen Leiterbahnen große Bedeutung zu. Hier werden im wesentlichen fünf verschiedene MID-Herstellungsverfahren unterscheiden, die in Kombination mit der dreidimensionalen

Strukturierung des Kunststoffes durch Mikrospritzgießen, Prägen oder spanende Bearbeitung erfolgt.

- Beim **Heißprägen** werden Leiterbahnen durch Prägen einer Kupferfolie auf die Oberfläche des Kunststoffspritzgießteils geprägt. Durchkontaktierungen lassen sich mit Füllen von Bohrungen mit Leitpaste realisieren.

- Mit dreidimensionalen Fotomasken können beim **Maskenbelichtungsverfahren** Leiterbahnen nasschemisch auf Kunststoffoberflächen erzeugt werden. Durchkontaktierungen können erzeugt werden.

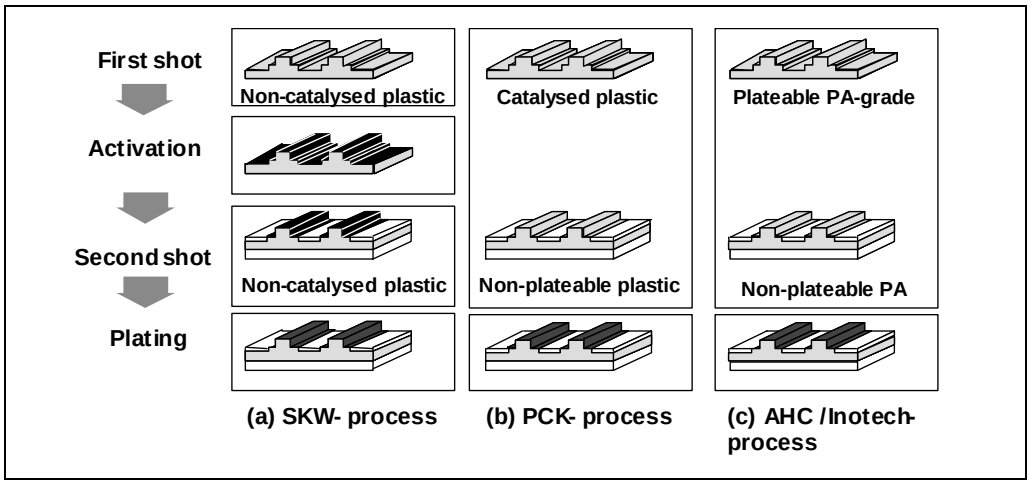
- Mit der **Laser-Direkt-Strukturierung** werden Leiterbahnen durch Freischneiden einer kupferbeschichteten Kunststoffoberfläche erzeugt.

- Beim **Zweikomponentenspritzgießen** werden eine metallisierbare und eine nicht metallisierbare Werkstoffkomponente in zwei Arbeitsschritten aufeinandergespritzt. Nach dem Spritzgießen wird die Oberfläche des metallisierbaren Kunststoffess aktiviert und die gewünschte Kupferschichtdicke chemisch oder elektrolytisch aufgebracht. Abb. 4 zeigt drei Verfahrensvarianten bei der Herstellung von MIDs mittels Zweikomponentenspritzguß /2/

- Auch durch **Hinterspritzen von Leiterbildfolien**, die mit herkömmlicher Leiterplattentechnologie oder duch Siebdruck strukturiert wurden, können 3D-Schaltungsträger aus Kunststoff erzeugt werden. Die Folie wird, falls nötig, vor dem Einlegen in das Werkzeug durch Warmformen der Kontur der Werkzeugkavität angepasst.

Abbildung 4:

Technologien zur Herstellung selektiv metallisierter Kunststoffbauteile mittels ZweikomponentenSpritzgießen /2/



5 Konzept für Match-X Bausteine

Aufbauend aus den bekannten Technologien wurde ein Konzept für die Umsetzung und Realisierung von Match-X Bausteinen aus Kunststoff erarbeitet und verschiedene Lösungsansätze zur technologischen Umsetzung diskutiert. Hier wurden Fragestellungen bezüglich Materialauswahl, Gehäusegestaltung, Technologien für die Metallisierung bearbeitet. Die Lösungsansätze berücksichtigen die Anforderungen, die an Gehäusekomponenten von Match-X Bausteinen gestellt werdennund die im folgenden aufgelistet sind.

5.1 Anforderungen

- Die Gehäusekomponenten müssen dreidimensional und hochgenau herstellbar sein. Dabei ist die Reproduzierbarkeit von großer Bedeutung
- Realisierung von Bausteinen mit elektrischen Durchkontaktierungen auch mit hohen Aspektverhältnisse (mechanische Bausteine)
- Einsatz von Materialien, die Folgeprozesse bei der Bausteinherstellung (Aufbringen von Lötbumps, Verlöten der Bausteine zu Match-X Stapel) erlauben
- Einsatz der Match-X Bausteine auch bei rauhen Umgebungsbedingungen
- Wirtschaftliche Herstellung nicht nur bei Massenfertigung, sondern auch bei kleinen bis mittleren Stückzahlen muß möglich sein

5.2 Lösungsansatz

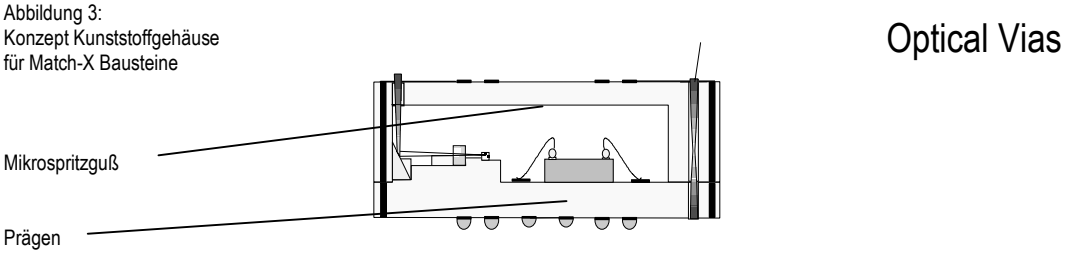
Um eine wirtschaftliche Lösung der kunststoffbasierten Gehäusetechnologie zu erreichen, wird das Gehäuse in Komponenten aufgeteilt, die gegebenenfalls mit unterschiedlichen Fertigungsverfahren hergestellt werden.

Der Deckel des Gehäuses kann z.B. im Mikrospritzgussverfahren hergestellt werden. Dieser Teil ist anwendungsunabhängig in großer Stückzahl herstellbar. Es sind lediglich für unterschiedliche Bausteingrößen unterschiedliche Deckelelemente herzustellen, sowie die Modulschnittstellen zu berücksichtigen. Der anwendungsspezifische Teil, Carrier, insbesondere bei optischen und mechanischen Bausteinen kann im Prägeverfahren oder mittels mechanischer Bearbeitung hergestellt werden. Bei dieser Aufteilung wird ausgenutzt, dass Bauteile in größeren Stückzahlen mit dem Mikrospritzgussverfahren kostengünstig herstellbar sind, wobei durch Prägeverfahren oder mechanische Bearbeitung ebenfalls

dreidimensionale Strukturen mit hoher Genauigkeit für optische und mechanische Anwendungen auch in kleinen Stückzahlen wirtschaftlich hergestellt werden können.

Die Abbildung 5 zeigt die Aufteilung in zwei Gehäusekomponenten, die mit unterschiedlichen Verfahren, dem Mikrospritzgießen und dem Heißprägen herzustellen sind.

Abbildung 3:
Konzept Kunststoffgehäuse
für Match-X Bausteine



5.3 Materialien

Die Herstellung der Gehäusekomponenten erfolgt u.a. auch mittels Spritzgießen. Für die Verarbeitung mittels Mikrospritzgießen sind prinzipiell alle thermoplastischen und duroplastischen Kunststoffe sowie Elastomere geeignet. In der Mikrospritzgusstechnik geht es um Bauelemente und Strukturen im Mikrometerbereich. Die Formfüllung und die erforderliche Maßhaltigkeit bei der Herstellung solcher Mikrostrukturen ist spritzgusstechnisch praktisch nur mit thermoplastischen Kunststoffen möglich, da diese ein gutes Fließverhalten zeigen und z.T. eine sehr geringe Schwindung aufweisen. In Tabelle 1 sind Kunststoffe, die für den Mikrospritzguß eingesetzt werden, aufgeführt und hinsichtlich der wichtigsten Anforderungen Abbildungsgenauigkeit, Füllverhalten und Entformungsverhalten bewertet.

Nicht alle in Tabelle 1 aufgeführten Kunststoffe sind für die Herstellung von Match-X Kunststoffgehäusen geeignet, insbesondere dann, wenn es darum geht durch Metallisierung einen elektrischen Bus zu realisieren. Hierzu ist eine engere materialauswahl zu treffen, die in Tabelle 2 aufgeführt ist. Tabelle 2 zeigt Kunststoffe, die im Mikrospritzgußverfahren verarbeitbar sind, und entsprechend der MID-Technologie zusätzlich mit unterschiedlichen Verfahren metallisierbar sind.

Die in Tabelle 2 aufgeführten Kunststoffe sind darüber hinaus auch auf ihre Eignung hinsichtlich der Güte der Metallisierung (Haftfestigkeit), sowie Strukturierbarkeit im Spritzguß und Eignung für weitere Verarbeitungsprozesse (Temperaturbeständigkeit u. ä.) bewertet.

Tabelle 1:

Im Mikrospritzguss verwendete Kunststoffe

und

Eingnung von Thermoplastmaterialien für die Mikroabformung (++ sehr gut, + gut, o mittel, -- schlecht /3/

Kunststoff	Abbildungs-genauigkeit	Füllverhalten	Entformungs-verhalten	Typische Füllstoffe (ohne Zuordnung)
POM (Hostaform)	++	++	+	Glaskügelchen
LCP (Vectra)	O	+	+	Kevlar
PC (Makrolon)	+	+	--	PTFE
PBT-HI GF15	+++	+	+	Kohlefasern
PBT	++	+	+	Glasfasern
PPE	+	++	+	
PA	++	+	+	
PAI	--	O	--	
PEI	O	O	--	
PSU	+	+	--	
PEEK	++	--	--	
PMMA (Degalan, Plexiglas)	+	o	--	
PP	+	O	+	
PS	+	+	--	
COC	+	+	o	
PC/ABS				
TPU				
PPO				
PA66				
TP-Polyester				

Tabelle 2:

Materialvergleich

Quelle: Untersuchungsergebnisse bei Siemens 1999

	Mindestanforderung	PEI	PA	PPA	SPS	PES	LCP
Pop Corning	**Erfüllen Jedec Level 1***	**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**+**
Metallisierbarkeit	**Haftung >0,6N/mm**	**+**	**-**	**+**	**+**	**+**	**+**
Strukturierbarkeit	**100/100µm Strukturen**	**+**	**-**	**+**	**+**	**+**	**+**
TS Bondbarkeit	**Stage Temp 150°C**	**+**	**+**	**+**	**-**	**+**	**+**
Gesamt		**-**	**-**	**-**	**-**	**-**	**+**

*0,4mm starke Plättchen wurden 168 Stunden bei einer Temperatur von 85°C und einer relativen Feuchte von 85% gelagert und anschließend temperaturbelastet (tauchen in 260°C Silikonöl, tauchen in Zinn/Blei, IR reflow simuliert)

Darüber hinaus sind in den letzten Jahren erhebliche Anstrengungen unternommen worden, um die Materialeigenschaften zu verbessern und zu erweitern. Insbesondere wurde hier eine Verbesserung hinsichtlich der Prozessvereinfachung bei der Herstellung von MID-Komponenten, sowie die Erweiterung und Entwicklung neuer Prozesse erreicht.

5.3.1 LCP

Aus Tabelle 2 ist ersichtlich, dass der Kunststoff LCP (Liquid Crystal Polymer) die Anforderungen sehr gut erfüllt. LCP ist ein niedrigviskoser Kunststoff, der sich sehr gut im Mikrospritzguß verarbeiten läßt. LCP wird derzeit sehr häufig in der Steckerproduktion verarbeitet, insbesondere bei optischen Steckverbindern, bei denen es auf sehr hohe Genauigkeiten und hohe Reproduzierbarkeit ankommt.

LCP ist in verschiedenen Formen mit unterschiedlichen Materialeigenschaften verfügbar:

- LCP ist sowohl als metallisierbare als auch als nicht metallisierbare Materialkomponente als Granulat für den Mikrospritzguß erhältlich, so daß es möglich ist mittels Zweikomponentenspritzguß Schaltungsträger zu spritzen

- LCP ist in Platten als Halbzeug für die spanende Bearbeitung verfügbar

- Neuere Entwicklungen gehen dahin, LCP-Folien herzustellen, die entsprechend mit Leiterbahnen versehen werden können. Die strukturierte LCP-Folie (Folienleiter) kann dann im Mikrospritzgußverfahren hinterspritzt werden, um eine dreidimensionale Struktur zu erreichen

LCP kann bei der Firma TICONA /4/ in den beschriebenen Formen bezogen werden.

5.3.2 PA / PBT

PA (Polyamid) und PBT (Polybutylenterephthalat) wurden ebenfalls für die MID-Technologie weiterentwickelt. Die Firma LPKF hat hierzu Kunststoffderivate entwickelt, die mittels Laserstrahlung aktivierbar sind /5/.

Bei den herkömmlichen Kunststoffen konnten diese nur als ganzes metallisiert werden und mußten anschließend aufwändig strukturiert werden. Bei der neuentwicklung wird mit einem Laser die Leiterbahnstruktur auf die Kunststoffoberfläche „geschrieben“. Dieses sogenannte cracken bewirkt eine Änderung der Materialeigenschaften, so dass an den beschrieben Stellen eine Metallisierung möglich ist. Der beschrieben Kunststoffträger kann dann in einem Galvanikbad metallisiert werden. Die Materialien unter der Bezeichnung PA6/6TMID und PBTMID sind bei der Firma LPKF /6/ zu beziehen.

Die beiden Kunststoffderivate zeichnen sich durch folgende Eigenschaften aus:

	PA6/6T Standardtyp (Ultramid T Kr 4350)	PA6/6TMID	PBT Standardtyp (Pocan B 1305)	PBT Standardtyp (Ultradr B 4520)	PBTMID
Elektrische Eigenschaften					
Spez. Oberflächenwiderstand [Ω]	3,0 E12	5,0 E12	1,0 E 15	1,0 E13	1,0 E13
Spez. Durchgangswiderstand [Ω*m]	1,0 E12	1,0 E13	1,0 E13	1,0 E13	1,0 E13
Permittivitätszahl εr	3,99	3,55	3,4	3,4	5,38
Dielektr. Verlustfaktor tanδ (100Hz)	0,0132	0,0127	0,002	0,002	0,0036
Mechanische Eigenschaften					
Bruchdehnung [%]	11,5	> 10	20	> 50	> 10
Zugfestigkeit [MPa]	100	70	55	60	53
E-Modul (Zug) [Mpa]	3200	3400	2800	2600	3150
Dichte [kg/m^3]	1160	1158	1300	1300	1380
Shore-Härte	84	84	k.A.	k.A.	83
Haftfestigkeit der Metallisierung [N/cm]	-	> 10	-	-	8
Verarbeitungstechnische Eigenschaften					
Schmelztemperatur [°C]	295	295	225	223	227
Schmelztemperatur (Spritzgießen) [°C]	330	330	260	265	255

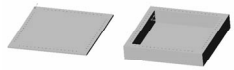
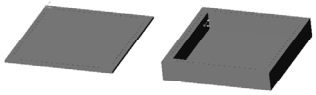
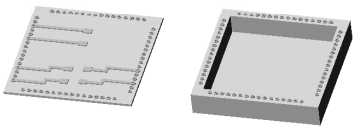
Ein weiterer Hersteller von strahlenvernetzbarem PBT ist die Degussa AG /7/.

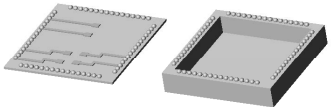
Die Materialien LCP und PA, PBT sind hinsichtlich ihrer Eigenschaften geeignet, um Gehäusekomponenten für Match-X Bausteine zu realisieren. Auf Grund der Verfügbarkeit der Materialien (Stand August 2001) wurden für die in Kapitel 3.5 beschriebenen Vorversuche das LCP der Fa. TICONA mit dem Handelsnamen VECTRA E 820 i Pd verwendet.

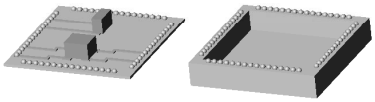
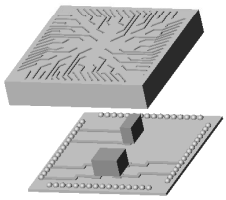
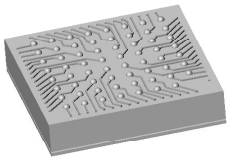
5.4 Prozesse

Ausgehend von dem Material LCP wurde eine Prozesskette aufgestellt, die die einzelnen fertigungsschritte aufzeigt, die notwendig sind, um einen kompletten Match-X Baustein herzustellen. Tests zwischen den einzelnen Fertigungsschritten zur Überprüfung der Qualität wurden in diesem Ablaufschema nicht berücksichtigt, sondern sind bei einer

späteren industriellen Umsetzung an den relevanten Stellen zu integrieren. Die prinzipiellen Fertigungsschritte sind in der Tabelle 3 dargestellt und stichwortartig beschrieben. Sie können je nach eingesetztem Material und Fertigungsverfahren zum Teil davon abweichen.

		LCP-Deckel	**LCP-Carrier**
	1	Abformen des Grundkörpers einschließlich der Mikrovias für interne Verbindungen durch Präzisionsspritzgußtechnologie	Abformen des Grundkörpers einschließlich der Mikrovias für interne Verbindungen durch Heißprägen
	Schritte 2 und 3 sind nicht erforderlich, wenn metallisierbare Derivate von z.B. LCP verwendet werden		
	2	Vorbehandlung der Kunststoffoberfläche durch Anätzen	Vorbehandlung der Kunststoffoberfläche durch Anätzen
	3	Bekeimen mit Haftvermittler (z.B. auf der Basis von Palladium) und stromloses Abscheiden der Kupfermetallisierung, galvanisches Abscheiden von Kupfer	Bekeimen mit Haftvermittler (z.B. auf der Basis von Palladium) und stromloses Abscheiden der Kupfermetallisierung, galvanisches Abscheiden von Kupfer
	4	Laserstrukturierung der Leiterbahnen bei selektiv metallisierbarem PA oder PBT	Laserstrukturierung der Leiterbahnen bei selektiv metallisierbarem PA oder PBT
	Schritte 5 bis 9 sind nicht erforderlich, wenn strahlenvernetzbares PA / PBT verwendet wird		
	5	Abscheiden einer dünnen Zinnschicht (1µm) als Ätzmaske	Abscheiden einer dünnen Zinnschicht (1µm) als Ätzmaske (Tauchprozeß)
	6	Laserstrukturierung der Zinnschicht und des oberen Teils der Kupferschicht zur Realisierung von innerer und äußerer Umverdrahtung	Laserstrukturierung der Zinnschicht und des oberen Teils der Kupferschicht zur Realisierung von innerer und äußerer Umverdrahtung
	7	Ätzen der verbliebenen Kupferschicht mit einem industrieüblichen Ätzmittel (z.B. CuCl)	Ätzen der verbliebenen Kupferschicht mit einem industrieüblichen Ätzmittel (z.B. CuCl)
	8	Entfernen der restlichen Zinnschicht	Entfernen der restlichen Zinnschicht
	9	Abscheiden lötbarer/bondbarer Metallisierung je nach zu montierenden Komponenten	Abscheiden lötbarer/bondbarer Metallisierung je nach zu montierenden Komponenten
	10	Siebdrucken des Lötstoplacks	Siebdrucken des Lötstoplacks



	11	Drucken der Lötbumps für das Ball Grid Array des internen Busses aus höherschmelzendem Lotwerkstoff (z.B. 5Sn95Pb)
	12	Reflowlötformen der Lötbumps des Ball Grid Array des internen Busses
	13	Flip-Chip-Bonden (oder anderes Fügeverfahren) der mikrosystemtechnischen Komponenten in den TB-BGA-Träger
	14	Drahtbonden der elektrischen Verbindungen
	15	Abdecken der aktiven Komponenten mit Glob-Top-Material
	16	Aufeinandersetzen von TB-BGA-Träger und TB-BGA-Deckel
	17	Verbinden von Träger und Deckel durch Reflowlötprozeß
	18	Drucken der Lötbumps für das Ball Grid Array der externen Schnittstelle sowie ggf. der für die Fluidschnittstelle notwendigen Strukturen aus Standard-Lotwerkstoff (z.B. 63Sn37Pb)
	19	Reflowlötformen der Lötbumps des Ball Grid Array des externen Busses

5.5 Vorversuche Metallisierung, elektrischer Bus

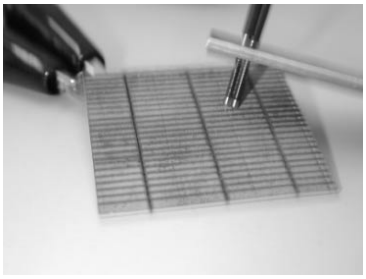
Der entscheidene Fertigungsschritt bei der Herstellung der Match-X Gehäusekomponenten ist die Realisierung der Mikrovias und die Sicherstellung der elektrischen Leitfähigkeit des internen elektrischen Busses bei hohen Aspektverhältnissen. Dies insbesondere deshalb von Bedeutung, da bei Erreichen hoher Aspektverhältnisse die Vorteile bei der dreidimensionalen

Strukturierung von Gehäusekomponenten gegenüber der LTCC und FR4 – Technologie voll ausgeschöpft werden können.

Hierzu wurden erste Vorversuche am Fraunhofer IPA mit bereits zur Verfügung stehenden Mittel, d.h. Herstellung der Vias durch Bohren und Metallisierung mit Kupfer mit der am Institut verfügbaren Galvanik durchgeführt.

Hierzu wurde eine Testplatte mit abgestuften Dicken von 1,12 mm bis 4mm und Bohrungsdurchmessern von 0,15 mm bis 0,5 mm hergestellt und eine Widerstandsmessung durchgeführt. Abbildung 4 zeigt die gemessenen Werte.

Abbildung 4:
Ergebnisse der Leitfähigkeitsmessung der Durchkontaktierungen

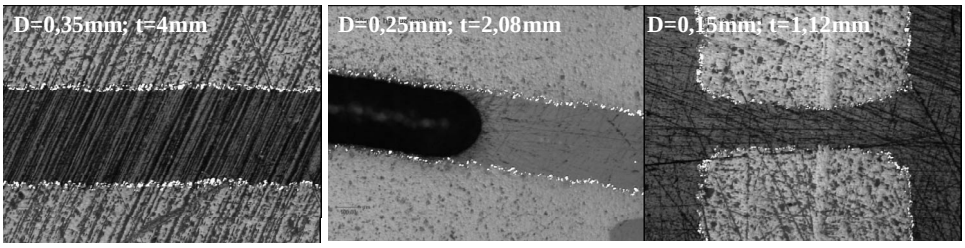


		Widerstandsmessungen [milli Ohm]			
		Lochdurchmesser [mm]			
Reihe	lattenhöhe [mm	0,5	0,35	0,25	0,15
1	4	816,3	803,1	-	-
2	3,88	816,0	808,6	-	-
3	3,76	811,6	708,0	-	-
4	3,64	820,8	810,9	-	-
5	3,52	832,2	805,9	-	-
6	3,4	828,3	818,3	-	-
7	3,28	827,9	820,3	-	-
8	3,16	830,8	819,4	-	-
9	3,04	833,1	818,4	-	-
10	2,92	833,7	802,5	523	-
11	2,8	833,6	819,9	-	-
12	2,68	835,9	810,9	62	-
13	2,56	832,9	700,0	-	-
14	2,44	836,3	811,9	-	-
15	2,32	839,1	809,0	535	-
16	2,2	837,0	826,9	720	-
17	2,08	838,5	487,0	9180	-
18	1,96	836,6	817,4	414	-
19	1,84	841,0	765,0	-	-
20	1,72	837,9	817,9	539	-
21	1,6	835,5	824,2	739	-
22	1,48	836,2	821,7	711	-
23	1,36	835,5	807,0	767	-
24	1,24	831,2	826,5	776	-
25	1,12	833,3	835,0	814,4	-

Aus den Meßergebnisse in der Tabelle läßt sich ableiten, dass eine Leitfähigkeit bei einem Bohrungsdurchmesser von 0,35 mm erreicht werden kann. Eine abschließende Aussage bis zu welchem Aspektverhältnis dies möglich ist konnte im Rahmen des Projektes nicht geklärt werden.

Eine Analyse der metallisierten Vias durch ein Schliffbild, das unter einem Mikroskop ausgewertet wurde (siehe Abb.5) zeigt, dass bei geringer werdendem Durchmesser die Benetzung der Bohrung abnimmt.

Abbildung 5: Schliffuntersuchungen an metallisierten Vias



Optimierungspotenziale liegen hierbei insbesondere bei einer verbesserten Prozessführung, z.B. Temperatur, Abscheidedauer, bzw. Verbesserung der geometrischen Gestaltung und Lage der Vias.

6 Industrielle Umsetzung

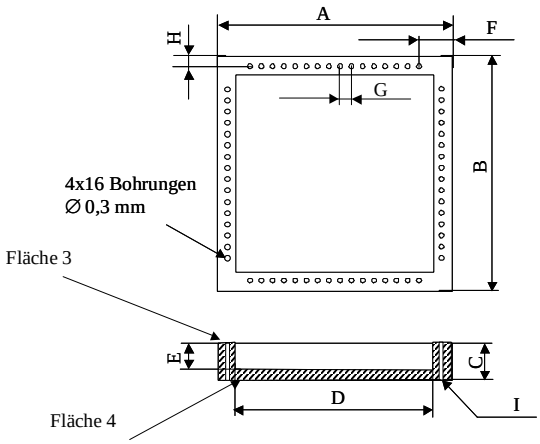
Neben der Durchführung der Vorversuche zur Metallisierung wurde auch die Machbarkeit hinsichtlich der Herstellung der Gehäusekomponenten mittels Mikrospritzgießen untersucht. Dies war jedoch nur durch Diskussion mit Unternehmen, die Mikrospritzguß anbieten möglich. Eigene Untersuchungen und Versuche konnten nicht durchgeführt werden, da die Kosten für Versuchswerkzeuge die im Projekt zur Verfügung stehenden Mittel bei weitem übersteigen. Deshalb wurden Hersteller von Mikrospritzguß-Bauteilen aus LCP hinsichtlich folgender Punkte befragt (Basis war jeweils ein Match-X Standardbaustein wie er in Abbildung 6 dargestellt ist)

- Herstellkosten von Werkzeug und Bausteinen
- Erreichbare Durchmesser der Vias

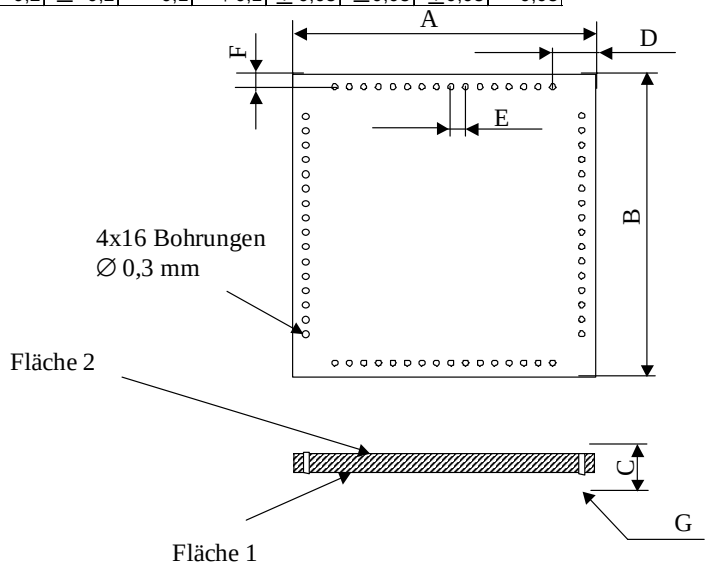
Die Ergebnisse der Diskussion wurden auf Basis des aktuellen Stand der Technik ermittelt. Prinzipiell ist die Herstellung der dargestellten Gehäusekomponenten im Mikrospritzguß machbar. Der Durchmesser der Vias sollte jedoch 0,2 mm nicht unterschreiten. Geringere Durchmesser führen dazu, dass durch den Einspritzdurck im Werkzeug die Drähte zur Realisierung der Durchkontaktierungen verbogen werden, was letztendlich zu Kurzschlüssen im Baustein führt.

Abbildung 6:

Abmessungen eines Bausteins, der durch Mikrospritzguß gefertigt werden soll



Einheit	A	B	C	D	E	F	G	H	I
[mm]	12,5	12,5	3,5	10,5	2,5	1,75	0,6	0,55	0,3
[mm]	± 0,2	± 0,2	± 0,2	- 0,1	+0,1	±0,05	±0,05	±0,05	+0,05



Einheit	A	B	C	D	E	F	G
[mm]	12,5	12,5	1	1,75	0,6	0,55	0,3
[mm]	± 0,2	± 0,2	± 0,2	±0,05	±0,05	±0,05	+0,05

Die Kosten für ein Werkzeug liegen zwischen 23 T€ und 88 T€ je nach Technologie, wobei bei den Preisspannen zu unterscheiden ist:

Werkzeug zu 23 T€ mit Si-Formeinsatz als 2fach- Werkzeug mit wesentlich geringerer Standzeit und dem Werkzeug zu 88 T€ als 4 fach-Werkzeug mit hoher Standzeit.

Die Kosten für die Bauteile liegen zwischen 0,25 € und 0,40 € je Baustein.

Eine Abschätzung der zu erreichenden Kosten für Werkzeug und Bauteil ist derzeit nur schwer möglich, da es hinsichtlich der Gestaltung noch Verbesserungspotenzial gibt. Eine vorsichtige Schätzung ist wohl der Mittelwert aus den genannten Kosten von 50 T€ für das Werkzeug und 0,30 € für die Komponenten eines Bausteins ohne Metallisierung.

Die Diskussion mit den Unternehmen hat auf jeden Fall gezeigt, dass die Kunststoff-Technologie durchaus Potenzial besitzt als weitere Bausteintechnologie die LTCC- und die FR4 Technologie zu ergänzen.

7 Fazit

Der endgültige Nachweis der Machbarkeit der Kunststofftechnologie als weitere Bausteintechnologie konnte im Rahmen diese Projektes nicht erbracht werden. Jedoch zeigen die Gespräche und Diskussionen mit Experten der Spritzgußtechnologie, dass das beschriebene Konzept durchaus realisierbar ist, jedoch noch einige Entwicklungsarbeit notwendig ist, insbesondere bei der Gestaltung des Gehäuses hin zu einer spritzgußgerechten Gestaltung, sowie der Verbesserung der Metallisierbarkeit und Herstellung des elektrischen Bussystems.

Für die Umsetzung des Konzeptes als marktfähiges Produkt für den Match-X Baukasten stößt auch bei Anwendern und Herstellern von Match-X-Bausteinen auf großes Interesse. Insbesondere Hersteller von mechanischen und optischen Bausteinen sehen hier Vorteile gegenüber der LTCC- und FR4- Technologie.

Es erscheint deshalb sinnvoll die Entwicklungen hin zur Kunststofftechnologie als weitere Bausteintechnologie fortzusetzen.

8 Ausblick

Die Umsetzung des hier beschriebenen Lösungsansatzes einer Bausteintechnologie basierend auf der MID-Technologie wurde im Rahmen eines Projektantrages aufgegriffen. Das Verbundprojekt „Modulare optische und mechanische Mikrosysteme aus Kunststoff“ beschäftigt sich mit der Entwicklung von Bausteinen, die in der beschriebenen Kunststofftechnologie realisiert werden. Schwerpunkte im Projekt sind neben der Entwicklung der Kunststofftechnologie die Realisierung optischer und mechanischer Match-X-Systeme und Match-X-Bausteine, die die Vorteile der Kunststofftechnologie für diese Systeme nutzen. Das Verbundprojekt wurde beim Projektträger VDI/VDE-IT eingereicht.

Ziel ist nach Ende des Verbundprojektes die Kunststofftechnologie bis zu einem Stand entwickelt zu haben, der es erlaubt, diese wie die LTCC- und FR4-Technologie als weitere Bausteintechnologie am Markt zur Herstellung von Match-X Bausteinen in kleinen, mittleren Stückzahlen, sowie in Massenfertigung anzubieten.

9 Literatur

/1/ IIR Deutschland GmbH (Hrsg.): Werkstoffe in der Elektronik, Nürtingen, 14. Sept. – 15. Sept. 2000.

/2/ Wera Leonhard; Ellen Maaßen: LCP selektiv metallisieren. Neue Anwendungsfelder für die MID-Technik. In metalloberfläche mo Galvanotechnik 53 (1999) Nr.3, S.20-22

/3/ Vollrath, K.
Mikrospritzgießen von Kunststoffen.
Gummi Fasern Kunststoffe, Band 52 (1999) Heft 3, Seite 182-184

/4/ Ticona GmbH, Industriepark Höchst, D-65926 Frankfurt, Tel.: 069 – 30 58 47 32, Fax: 069 – 30 58 47 35

/5/ Gerhard Naundorf; Horst Wißbrock: Feinstrukturierte Metallisierung von Polymeren. In metalloberfläche mo Beschichten von Kunststoff und Metall 54 (2000) Nr.11

/6/ LPKF Laser & Electronics AG, Osterriede 7, 30827 Garbsen, Tel.: 05131 – 7095 - 0, Fax: 05131 – 7095 – 90, e-Mail: lpkf@lpkf.de; Internet: www.lpkf.de

/7/ Degussa AG, Internet: www.degussa.de