Fertigungstechnik - Erlangen

Herausgeber:
Prof. Dr.-Ing. Klaus Feldmann
Prof. Dr.-Ing. Dr.-Ing. E.h. mult. Dr. h.c. Manfred Geiger

Roland Meier

135

Strategien für einen produktorientierten Einsatz räumlicher spritzgegossener Schaltungsträger (3-D MID)

TNZB Erlangen
Abgegeben an:

Roland Meier

Strategien für einen produktorientiertenEinsatz räumlicher spritzgegossener Schaltungsträger (3-D MID)

Herausgegeben von
Professor Dr.-Ing. Klaus Feldmann,
Lehrstuhl für
Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik

FAPS

Meisenbach Verlag Bamberg

Als Dissertation genehmigt von der Technischen Fakultät
der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg

Tag der Einreichung:	18. Januar 2002
Tag der Promotion:	12. Juni 2002
Dekan:	Prof. Dr. rer. nat. A. Winnacker
Berichterstatter:	Prof. Dr.-Ing. K. Feldmann
	Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. G. W. Ehrenstein



Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Meier, Roland:
Strategien für einen produktorientierten Einsatz räumlicher spritzgegossener Schaltungsträger (3-D MID) /
Roland Meier. - Bamberg : Meisenbach, 2002
(Fertigungstechnik - Erlangen ; 135)
Zugl.: Erlangen, Nürnberg, Univ., Diss., 2002
ISBN 3-87525-178-4

ISSN 1431-6226

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt.
Alle Rechte, auch die der Übersetzung, des Nachdrucks und der Vervielfältigung des Buches oder Teilen daraus, vorbehalten.
Kein Teil des Werkes darf ohne schriftliche Genehmigung des Verlages in irgendeiner Form (Fotokopie, Mikrofilm oder ein anderes Verfahren), auch nicht für Zwecke der Unterrichtsgestaltung - mit Ausnahme der in den §§ 53, 54 URG ausdrücklich genannten Sonderfälle -, reproduziert oder unter Verwendung elektronischer Systeme verarbeitet, vervielfältigt oder verbreitet werden.

© Meisenbach Verlag Bamberg 2002
Herstellung: Gruner Druck GmbH, Erlangen-Eltersdorf
Printed in Germany

Vorwort

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Tätigkeit als wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Klaus Feldmann, dem Leiter dieses Lehrstuhls am Institut für Fertigungstechnik und Maschinenbau, danke ich herzlich für die engagierte Förderung bei der Durchführung meiner Arbeit, die wertvollen Anregungen und vor allem für den wissenschaftlichen Freiraum, den er mir zuteil werden ließ.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Gottfried W. Ehrenstein, dem Leiter des Lehrstuhls für Kunststofftechnik der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg, danke ich für die wohlwollende Übernahme des Koreferates.

Meinen Kollegen, insbesondere aus der Lehrstuhlgruppe Elektronikproduktion, sei herzlich für die zahllosen fachlichen Diskussionen und die gute Zusammenarbeit in den Jahren gedankt. Namentlich hervorheben möchte ich Herrn Dipl.-Ing. Michael Eisenbarth, Herrn Dipl.-Ing. Gerry Gion, Herrn Dipl.-Ing. Denis Kozic sowie Herrn Dipl.-Ing. Carsten Weiß, Mitarbeiter am Lehrstuhl für Polymerwerkstoffe, für ihre stete Bereitschaft zur Unterstützung und für die vielen wertvollen Gespräche.

Auch den Partnern der Forschungsvereinigung „Räumliche Elektronische Baugruppen 3-D MID e.V." gebührt mein herzlicher Dank für die ausgezeichnete Kooperation und die Unterstützung meiner Arbeit im Rahmen der Geschäftsführung. Insbesondere möchte ich hier Herrn Dipl.-Ing. Ulrich Hartmann, Herrn Dipl.-Ing. Manfred Hellmich, Frau Dr. Ellen Maaßen, Herrn Dr.-Ing. Frank Pöhlau, Herrn Dipl.-Ing. Ulrich Schütz und Herrn Dipl.-Ing. Volker Zippmann persönlich erwähnen, weiterhin danke ich den Mitgliedern des Forschungsbeirates für die angenehme und erfolgreiche Zusammenarbeit.

Dank möchte ich darüber hinaus meinen Eltern aussprechen, die mich von Jugend an ermutigt und auf meinem Weg gefördert haben. Mein größter Dank gebührt jedoch meiner Partnerin Ulrike, die mich vor allem in der Entstehungszeit dieser Arbeit tatkräftig unterstützte, mich stets motivierte und mit ihrem großen Verständnis ein ausgleichendes Umfeld geschaffen hat.

Erlangen, im Juni 2002 Roland Meier

Strategien für einen produktorientierten Einsatz räumlicher spritzgegossener Schaltungsträger (3-D MID)

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung 1

2 Situationsanalyse der MID-Technologie 5

2.1 Einführung in die Technologie spritzgegossener Schaltungsträger 5

2.2 Technologische Entwicklung der MID-Technologie 8

2.2.1 Entwicklung der Herstellungsverfahren 11

2.2.2 Produktbezogene Trends der Herstellungsverfahren 16

2.3 Märkte und Anwendungsbereiche für MID 18

2.3.1 Einsatzpotentiale in der Automobilindustrie 20

2.3.2 Anwendungen im Bereich Telekom 21

2.3.3 Marktentwicklung im internationalen Vergleich 23

3 Technologie- und innovationsorientierte MID-Entwicklungsstrategien 28

3.1 Leistungszyklusbezogene Technologiebewertung 29

3.1.1 Charakterisierung des Prognosemodells 30

3.1.2 Modellbezogene Charakterisierung der MID-Technologie 31

3.2 Strategien zur Technologieeinführung in Unternehmen 33

3.2.1 Aufgabenfelder zur unternehmensspezifischen Bewertung 33

3.2.2 Positionierung von Unternehmen 36

3.2.3 F&E zur Wissensgenerierung 37

3.2.4 Bedeutung der industriellen Gemeinschaftsforschung 39

3.2.5 Bildung interdisziplinärer Projektteams 42

4 Hemmnisse und Lösungswege zur Umsetzung von MID-Serienapplikationen 44

4.1 Identifikation anwendungsspezifischer Kriterien 45

4.2 Ableitung anwendungsübergreifender Kriterien 49
4.2.1 Produktbezogene Kriterien 50
4.2.2 Produktionsbezogene Kriterien 55
4.2.3 Marktbezogene Kriterien 57

4.3 Lösungswege zur MID-Projektierung 60
4.3.1 Entwicklungsprozessorientiertes Stufenmodell 62
4.3.2 Anwendungsorientiertes Vorgehensmodell 64
4.3.3 Elementmodell 66

5 Aufbau eines Expertensystems zur wissensbasierten Auswahl von MID-Herstellungsverfahren 68

5.1 Funktionsanalyse von MID-Anwendungen 69
5.1.1 Erreichbare Produkt- und Produktionsvorteile 70
5.1.2 Charakterisierung typischer Funktionsmerkmale 73

5.2 Konzeption eines Bewertungssystems 75
5.2.1 Definition eines Beschreibungsmodells 76
5.2.2 Verfahrensbezogene Funktionsbewertung 79

5.3 Umsetzung des Implementationsentwurfs der Datenbank 84
5.3.1 Implementieren der Datenstruktur in das Datenbanksystem MIDIS 84
5.3.2 Erstellung der Benutzeroberfläche 87

5.4 Evaluierung des Expertensystems anhand ausgewählter Applikationen .. 91

6 Einsatzpotentiale federnder leitender Verbindungselemente 94

6.1 Lotfreie Verbindungstechnologien für MID 94

6.2 Eingrenzung des Aufgabenfeldes und Vorgehensweise 97

6.2.1 Konzeption und Entwicklung der Probekörper 99

6.2.2 Materialauswahl und Probekörperherstellung 105

6.2.3 Charakterisierung der Metallisierung 106

6.3 Bewertung des mechanischen und elektrischen Verhaltens 112

6.3.1 Einfluss des Schichtaufbaus 113

6.3.2 Statische Kontaktierung im Kriechversuch 114

6.3.3 Zyklische Kontaktierung 116

6.3.4 Zuverlässigkeitsuntersuchungen 118

6.3.5 Nachgewiesene Schädigungen 123

6.4 Zusammenfassung und Ableitung von Gestaltungshinweisen 126

7 Perspektiven für die MID-Technologie 128

7.1 Einflüsse des Elektronikmarktes 129

7.1.1 Auswirkungen der Bauelementtechnologie 129

7.1.2 Entwicklung des Leiterplattenmarktes 132

7.2 Wachstum durch Substitution 134

7.3 Innovationen mit verbessertem Technologiewissen 136

7.4 Zukünftige Einsatzpotentiale für MID 137

8 Zusammenfassung 140

9 Literaturverzeichnis 142

Inhaltsverzeichnis

1 Einleitung

„Forschung ist die Umwandlung von Geld in Wissen, Innovation ist die Umwandlung von Wissen in Geld.“[1] - Die Umsetzung und Beherrschung von Innovationen erfordert von produzierenden Unternehmen in zunehmendem Maße geeignete Strategien, um den hohen Anforderungen einer wettbewerbsfähigen Positionierung in den globalen Märkten gerecht zu werden.

Diese wachsende Herausforderung stellt sich verstärkt den Herstellern elektronischer Baugruppen. Neben der konventionellen Flachbaugruppenfertigung, die getrieben ist durch neue Bauelementformen, höhere Packungsdichten und immer feiner werdende Anschlussstrukturen, werden vermehrt innovative Produktkonzepte gefordert, die einer weitreichenden Integration geometrischer, mechanischer und elektronischer Funktionen Rechnung tragen. Zur Umsetzung mechatronischer Produkte steht dem Konstrukteur eine Vielzahl konventioneller Verfahren zur Verfügung. Ist deren Leistungspotential zur Erfüllung der geforderten Funktionalität ausgeschöpft, so kann nur durch den Einsatz neuer Fertigungstechnologien die bestehende Marktposition gehalten und weiter ausgebaut werden.

Vielversprechende Ansätze bieten sich durch den Einsatz räumlich spritzgegossener Schaltungsträger (3D-MID), die Nutzung thermoplastischer Basismaterialien zur Bauteilgestaltung sowie deren selektive Metallisierung eröffnen ein breites Feld zur Entwicklung innovativer Mechatronikbaugruppen.

Immer kürzer werdende Produktlebenszyklen sowie stetig steigende Produktanforderungen können aber eine fundierte und erfolgversprechende Markteinführung dieser neuen Fertigungstechnologie beeinträchtigen. Der Konstrukteur sieht sich in seiner Arbeit darüber hinaus dem Spannungsfeld Qualität, Zeit und Kosten ausgesetzt. Im Gegensatz zu konventionellen Leiterplatten bedeutet die Entwicklung eines MIDs immer die Durchführung eines singulären Projektes. Die MID-Entwicklung wird daher von vielen Anwendern mit einem gleichzeitig hohen Risikopotential verknüpft.

Das Ziel dieser Arbeit ist die Ableitung von Strategien, die den kontrollierten und effizienten Einsatz der MID-Technologie in Unternehmen ermöglichen soll. Eine erfolgreiche Einführung der MID-Technologie erfordert von den verantwortlichen Entscheidungsträgern nicht nur eine breite Kenntnis der erreichbaren Rationalisierungspotentiale, vielmehr ist eine ganzheitliche Bewertung zur Leistungsfähigkeit aller relevanten Technologiebereiche verpflichtend. Neben unternehmensübergreifenden Kriterien sind Fragestellungen zur Vorgehensweise in der Produktentwicklung im allgemeinen bis hin zur detaillierten Erarbeitung einzelner Aufgabenbereiche notwendig.

---

[1] Aus: Bayer Geschäftsbericht 1996, S. 15. in [55]

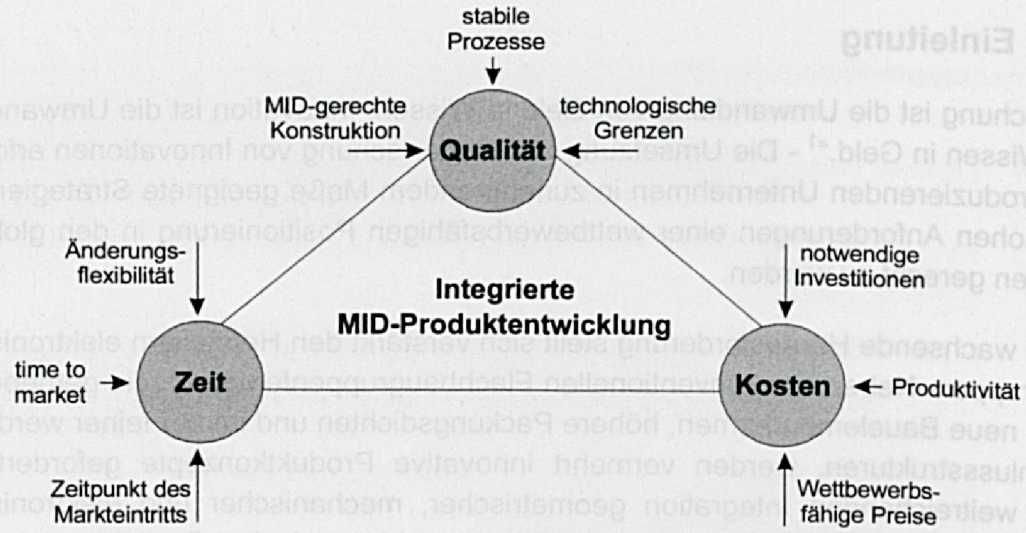


Bild 1: Spannungsfeld für eine integrierte MID-Produktentwicklung (vgl. [98])

Ausgangspunkt dieser Arbeit ist eine Analyse der verfahrens- und produktorientierten Trends der MID-Technologie (Kapitel 2). Dabei wird die Verbreitung von MID-Anwendungen in den unterschiedlichen Branchen elektronischer Systeme diskutiert. Der Einsatz innovativer Verfahren sowie die Verbesserung bestehender Prozesse eröffnet dem Anwender ein breites Feld zur Umsetzung produktorientierter Funktionen. Darüber hinaus werden anhand eines Vergleiches der internationalen Märkte regionalspezifische Besonderheiten herausgestellt.

Aufbauend auf den in der Situationsanalyse verdeutlichten Rationalisierungspotentialen erfolgt eine fundierte leistungszyklusorientierte Bewertung der MID-Technologie. Diese kann als Basis zur Entscheidungsfindung der Technologieeinführung in den Unternehmen herangezogen werden. Weiterhin muss seitens der Unternehmensleitung sichergestellt werden, dass der Einsatz von MID in die bestehenden Strukturen der Entwicklungsabteilungen und der Fertigung integrierbar ist. Anhand unternehmensbezogener Kriterien werden Lösungswege aufgezeigt, die eine produktorientierte Einführung der MID-Technik ermöglicht (Kapitel 3).

Nach einer grundsätzlich positiven Entscheidung des Unternehmens für den Einsatz der MID-Technologie ist es für die betroffenen Entwicklungsabteilungen von elementarer Bedeutung, etwaige Erfolgshemmnisse frühzeitig zu kennen bzw. zu identifizieren und klare Lösungswege in der Technologieeinführung zu verfolgen. Anhand ausgewählter Beispiele werden in Kapitel 4 zunächst produkt- und produktionsorientierte Kriterien angeführt, die bekannte Problemfelder in der Produktrealisierung aufgreifen. Anhand einer detailliert dargelegten Analyse werden alternative Vorgehensmodelle entwickelt und systematisiert. Mit Anwendung dieser Modelle ist es möglich, zukünftig effizienter und erfolgreicher MID-Konzepte in gebrauchsfähige Serienanwendungen zu überführen.

Neben diesen allgemein gültigen Entwicklungsstrategien, die prinzipiell für alle MID-Projektierungen herangezogen werden können, ist es darüber hinaus erforderlich, den Konstrukteur einer MID-Anwendung durch eine produktorientierte Methodik zur Auswahl eines geeigneten Herstellungsverfahrens zu unterstützen. In Kapitel 5 werden die produkt- und produktionsbezogenen Vorteile der MID-Technik evaluiert. Für eine funktionsorientierte Aufstellung der Produktanforderungen wird ein MID-spezifisches Datenmodell entwickelt, das alle relevanten Bereiche räumlicher spritzgegossener Schaltungsträger umfasst. Für die Konzeptionsunterstützung wird ein innovatives Konzept für ein MID-Expertensystem vorgestellt. Die exemplarische Umsetzung erfolgt durch die Integration in das bestehende Datenbanksystem MIDIS.



Bild 2: Ganzheitliche Betrachtung der entscheidungsrelevanten Einflussgrößen zur Einführung der MID-Technologie

Zur Verdeutlichung der bis dahin dargelegten interdisziplinären Aufgabenstellungen einer MID-gerechten Konstruktion werden in Kapitel 6 Ergebnisse eines Forschungsvorhabens vorgestellt, das sich mit der Schnittstellenproblematik von MIDs in Verbindung mit konventionellen elektronischen Baugruppen beschäftigt. Der Einsatz federnder leitender Verbindungselemente ermöglicht prinzipiell die Umsetzung eines montagefreundlichen und gleichzeitig sicheren Kontaktes.

Dabei wird ein umfassender Einblick in die vielfältigen Bereiche einer breit angelegten Qualifizierung dieses einzeln ausgewählten Funktionselementes gegeben. Anhand umfangreicher Untersuchungen zur Zuverlässigkeit der Verbindungsstelle werden Vorschläge zur Gestaltung einer federnd leitenden Verbindungsstelle unterbreitet.

Aus den gewonnenen Ergebnissen lassen sich zukünftige Wachstumschancen für die MID-Technologie insgesamt ableiten (Kapitel 7). Ergänzend zum allgemein zu erwartenden Wachstum des Elektronikmarktes sind es insbesondere die Potentiale zur Substitution, die eine positive Marktentwicklung stimulieren können. Letztlich kann aber nur durch die Umsetzung erfolgreicher Innovationen im Bereich mechatronischer Baugruppen ein rasch ansteigendes Wachstum initiiert werden.

Diese Arbeit verfolgt damit den Anspruch einer ganzheitlichen und vor allem einer produktorientierten Strategieentwicklung zur Einführung der MID-Technologie. Die breite Verfahrensvielfalt sowie die enorme Diversifizierung der bislang veröffentlichten Anwendungen verhindert eine in allen Bereichen detaillierte Bearbeitung aller erdenkbaren Themen. Dennoch behandeln die nun folgenden Kapitel wesentliche Fragestellungen, die den Anwender eine wertvolle Unterstützung bei der Einführung dieser innovativen Technologie bieten und damit zu einer stärkeren Verbreitung von MID-Anwendungen beitragen.

2 Situationsanalyse der MID-Technologie

Die Entwicklung und fertigungstechnische Umsetzung räumlich spritzgegossener Schaltungsträger wird seit Jahren - wie kaum eine andere Technologie - über viele Branchen hinweg beobachtet. Die steigende Teilnehmerzahl bei Informationsveranstaltungen zur MID-Technik belegt das zunehmend wachsende Interesse ganzer Industriezweige, die das enorme Rationalisierungspotential durch den MID-Einsatz für Sicherung und Ausbau der Wettbewerbsfähigkeit ihrer Unternehmen nutzen wollen. In den vergangenen Jahren wurden erste Massenprodukte der MID-Technik erfolgreich am Markt eingeführt. Darüber hinaus gewinnen hochspezialisierte Produkte, bei denen durch den Einsatz von MID-Technik neue Funktionalitäten realisierbar geworden sind, zunehmend an Bedeutung. Trotz dieser insgesamt sehr positiven Entwicklung steht der breite Durchbruch einer vielfältigen Anwendung der MID-Technik in Deutschland noch bevor.

In diesem Kapitel wird nach einer kurzen Einführung zu den Vorteilen der MID-Technologie die aktuelle Situation anhand neuester Entwicklungen im Bereich der Herstellungsverfahren aufgezeigt. Beispiele innovativer Produkte aus unterschiedlichen Einsatzfeldern vertiefen die diskutierten verfahrensbezogenen Trends in der Produktentwicklung. Ein Vergleich zwischen den Märkten in USA, Japan und Deutschland zeigt die länderspezifischen Unterschiede sowie die erwartete zukünftige Entwicklung auf.

2.1 Einführung in die Technologie spritzgegossener Schaltungsträger

Das wesentliche Merkmal der MID-Technologie ist die Integration von mechanischen und elektronischen Funktionen auf räumlich spritzgegossenen Schaltungsträgern [30]. Als Basismaterial werden überwiegend thermoplastische Werkstoffe herangezogen, weiterhin ist es aber auch denkbar, Elastomere, Duroplaste oder Keramiken im Spritzguss zu verarbeiten [28]. Ein weiteres wichtiges Kriterium ist die selektive Oberflächenmetallisierung des Trägerbauteils, die zur Ausbildung einer funktionsfähigen Leiterbildstruktur für elektrische Funktionen verantwortlich ist. Gegenüber Stanzgitterteilen ist diese Metallschicht nicht selbsttragend, so dass die mechanischen Eigenschaften des Bauteils durch den verwendeten Kunststoff selbst bestimmt sind. Im Vergleich zu konventionellen Aufbautechniken bietet die MID-Technologie eine Reihe beträchtlicher Vorteile. Diese lassen sich nach [45] in drei Gruppen gliedern.

Zunächst ist hierbei das hohe Maß an Gestaltungsfreiheit anzuführen, welches durch die Integration von Elektronik auf mechanischen Baugruppen erzielt wird. Dies führt bei einer Vielzahl von Anwendungen zu einer Miniaturisierung der Baugruppe.

Gleichzeitig ist mit der Integration eine Reduzierung der erforderlichen Einzelkomponenten verbunden, die schließlich zu verringertem Materialeinsatz, weniger Montageschritten und damit auch zu kürzeren Prozessketten führt. Schließlich schließt sich an eine rationellere Fertigungskette auch eine höhere Zuverlässigkeit in der Produktion an.



Bild 3: Vorteile der MID-Technologie gegenüber konventionellem Aufbau [45]

Gegenüber konventionellen Leiterplatten wird mit dem Einsatz thermoplastischer Basismaterialien ebenfalls eine höhere Umweltverträglichkeit erreicht. Gerade im Blick auf ein sinnvolles und effizientes Materialrecycling wurden hierzu in den letzten Jahren bereits zwei alternative Verfahren zur stofflichen Trennung und Aufbereitung der metallisierten Kunststoffsubstrate entwickelt [22].

In Summe führen die genannten Vorteile zu einer Verbesserung der Wettbewerbsfähigkeit von Unternehmen, um mithilfe effizienter Prozesse und verkürzter Logistik kostengünstige Produkte zu realisieren. Gleichzeitig wird mit dem Einsatz der MID-Technik ein zusätzlicher Kundennutzen erzielt, der sich in Form miniaturisierter, ergonomischer und umweltfreundlicher Produkte ausdrückt.

Obwohl mit den beschriebenen Vorteilen und Kennzeichen der MID-Technik eine große Überschneidung mit der Begriffsdefinition zur „Mechatronik" entsteht, gibt es eine Reihe von Argumenten, die eine deutliche Abgrenzung darstellen. Mechatronische Produkte werden durch die funktionale Integration von Mechanik, Elektrik, Elektronik und Software in einer Baueinheit beschrieben [147]. Gerade die Begriffsdefinition der räumlichen Integration bietet großen Freiraum zur Interpretation. So entstehen mechatronische Produkte durch die Kombination von Einzelkomponenten, die mittels konventionellen Aufbautechnologien hergestellt werden. Damit setzt sich diese Art funktionsintegrierter Baugruppen aus modularen und eigenständig aufgebauten Einzelkomponenten zusammen, was letztlich nur eine Vormontage einzelner Teilprodukte in eine Systemeinheit darstellt.

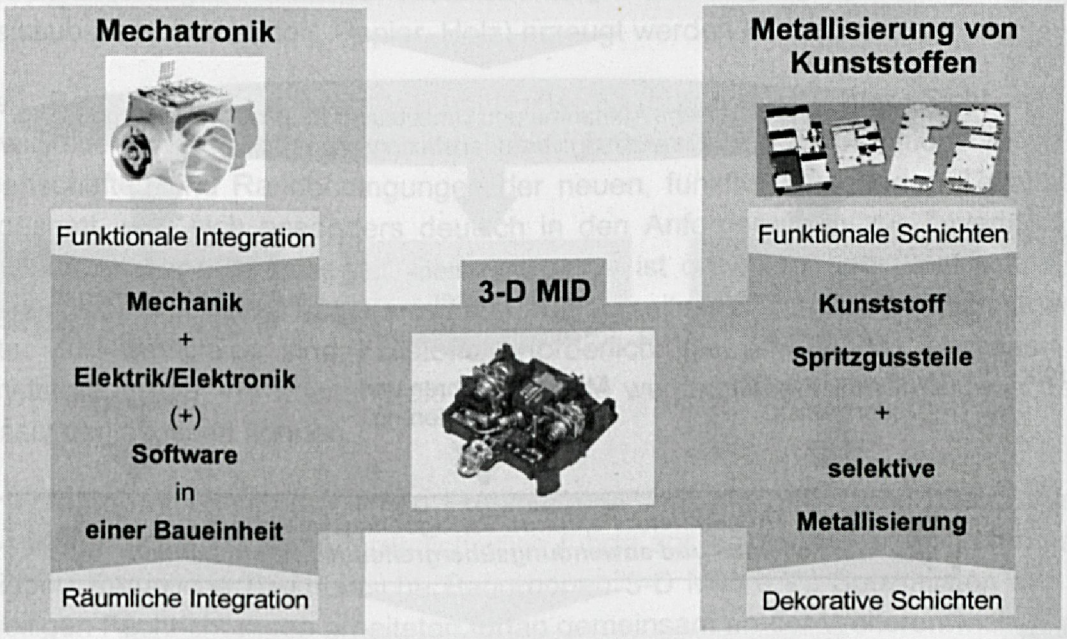


Bild 4: Positionierung der MID-Technologie bezogen auf mechatronische Baugruppen

Das Verständnis eines MIDs umfasst aber neben der räumlichen Integration auch eine stoffliche Verbindung zwischen den Komponenten zur Erfüllung mechanischer Funktionen, wie zum Beispiel Gehäuseanwendungen, und den Komponenten zur Umsetzung der elektrischen Funktionalität durch Schaffung von Leitungsstrukturen auf den mechanischen Basiskörpern. Die mechanische Funktionalität von MIDs ist als statische Komponente anzusehen und beschränkt sich bisher meist auf passive Funktionen. Aktive dynamische Funktionen mit bewegten Einzelelementen wurden in MID-Baugruppen bislang nicht realisiert. Basierend auf den allgemein gültigen Begriffsdefinitionen ist demnach die MID-Technik als eine mögliche Technologievariante zur Umsetzung mechatronischer Baugruppen zu betrachten.

2.2 Technologische Entwicklung der MID-Technologie

Maßgeblichen Einfluss auf die Entstehung und Entwicklung der MID-Technologie hatte die Forderung nach Aufbaukonzepten zur Umsetzung dreidimensionaler mechatronischer Produktkonzepte. Unternehmen, die im Bereich der konventionellen Fertigungstechnologien verwurzelt sind, sahen sich mit der Aufgabe konfrontiert, neue Konzepte für räumliche elektronische Baugruppen zu entwerfen. Die Fragestellung wurde gleichzeitig von mehreren Branchen aufgegriffen und versucht, den Herausforderungen mithilfe der spezifischen, zur Verfügung stehenden Fertigungsverfahren zu begegnen.

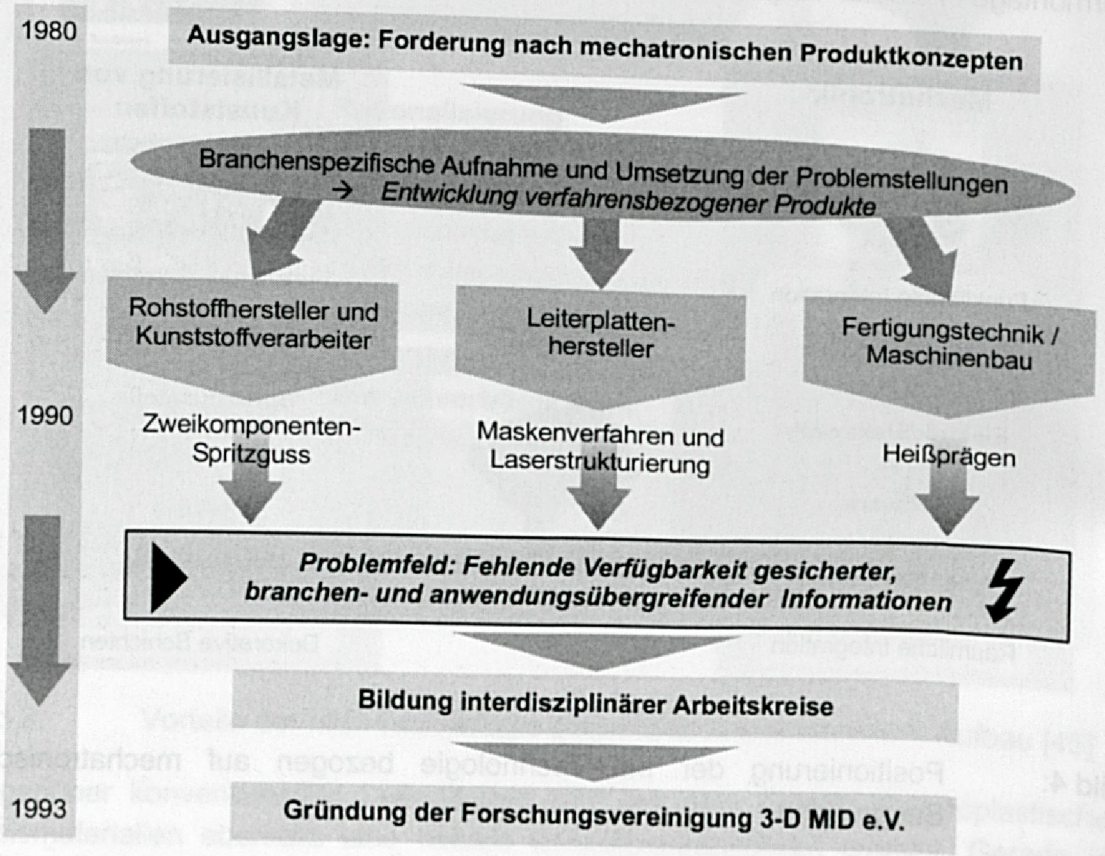


Bild 5: Geschichtliche und branchenbezogene Entwicklung der MID-Technologie

Gemeinsam mit den kunststoffverarbeitenden Betrieben wurden seitens der Rohstoffhersteller die Einsatzpotentiale der Kunststofftechnik evaluiert. Diese führte zu Materialentwicklungen für die funktionale, haftfeste Metallisierung von Kunststoffen. Darüber hinaus wurden alternative Materialkombinationen ermittelt, die eine haftfeste und selektive Metallisierung der Spritzgussteile im Zweikomponentenverfahren ermöglichte.

Daneben erwies sich die konventionelle Leiterplattentechnik als treibende Kraft. Mithilfe vollflächig metallisierter Kunststoffe wurden Möglichkeiten zu Herstellung dreidimensionaler Schaltungsträger entwickelt. Hierzu war eine Anpassung der Strukturierungsverfahren notwendig, was zu der Entwicklung dreidimensionaler Masken für konventionelle Belichtungsprozesse führte. Ergänzend wurde mittels Laser frühzeitig eine Direktstrukturierung der metallisierten Oberflächen verfolgt.

Weitere Impulse kamen aus dem Bereich zur Herstellung elektromechanischer Produkte, die den Branchen Fertigungstechnik und Maschinenbau zugerechnet werden können. Mithilfe alternativer Verfahren wurde ein Weg gesucht, massive Stanzteile durch kostengünstigere Lösungen zu ersetzen. Ein besonders innovatives Verfahren stellt dabei die Heißprägetechnik dar, mit deren Einsatz in konventionellen Produktionsanlagen einfache Metallstrukturen auf Oberflächen verschiedenster Basissubstrate (Kunststoff, Papier, Holz) erzeugt werden können.

Allen Bestrebungen gemein war die jeweilig branchengeprägte Sicht auf das entwickelte Verfahren bzw. Produkt. Dies führte zu einem Informationsdefizit über Eigenschaften und Randbedingungen der neuen, funktionsintegrierten Technologie insgesamt, was sich besonders deutlich in den Anforderungen zur Zuverlässigkeit und Qualifikation widerspiegelt. Beispiel hierfür ist der meist sehr unterschiedliche Ausdehnungskoeffizient von Basismaterial einerseits und Kupferleitschicht andererseits. Zum Ausgleich sind Füllstoffe erforderlich, die sowohl das Verhalten des Kunststoffs in der Verarbeitung als auch seine werkstoffspezifischen Eigenschaften massiv beeinflussen können.

Zur Lösung der unterschiedlichen Problemfelder war die Einführung interdisziplinär arbeitender Arbeitskreise erforderlich, dies führte zur Gründung der Forschungsvereinigung Räumliche Elektronische Baugruppen 3-D MID e.V.. Spezialisten aus den jeweiligen Fachrichtungen arbeiteten fortan gemeinsam an der Weiterentwicklung der jeweiligen Verfahren.

Die aus den unterschiedlichen Branchen entstandene, hohe Verfahrensvielfalt, auf die in Kapitel 2.2.1 vertiefend eingegangen wird, drückt sich ebenfalls in der sehr unterschiedlichen Konzeption und Umsetzung von Produkten aus. Die MID-Technik ist damit, wie kaum keine andere vergleichbare Fertigungstechnologie, gekennzeichnet durch eine enorme Diversifizierung der Produkte. Bisher wurden nur in wenigen Fällen kleinere Produktfamilien, d.h. ähnliche geometrische Baustrukturen mit gleicher Funktionalität realisiert (vgl. Bild 11).

Im Gegensatz zur konventionellen Leiterplattentechnik mit kupferkaschierten Basismaterialien existieren im Bereich MID keine Standardhalbzeuge oder gar Standardprodukte. Dies führt dazu, dass jede MID-Anwendung eine völlig eigenstän-

dige Entwicklung durchläuft und damit der entstehende Aufwand des Projektes detailliert abgeschätzt werden muss.

Betrachtet man die bisher realisierten Anwendungen, so lassen sich diese in Bezug auf Ihre Baugröße in zwei Klassifizierungen (nach [31]) einteilen:

- Mesomechatronische Baugruppen:
  Größendimension im Bereich von Zentimetern bis hin zu wenigen Dezimetern
- Mikromechatronische Baugruppen:
  Größendimension im Bereich von Millimetern

Im erstgenannten Bereich werden überwiegend Anwendungen realisiert, die in vielen Fällen ebenfalls mit konventionellen Fertigungstechnologien hergestellt werden könnten. Sie umfassen einerseits Baugruppen mit primär dreidimensionalen Verdrahtungsaufgaben ohne zusätzliche elektronische Bauelemente, aber auch bestückte Anwendungen, die ergänzend mechanische Elemente enthalten, wie zum Beispiel Abstandshalterungen.

Der Vorteil beim Einsatz der MID-Technik liegt in der vergleichsweise kostengünstigeren Produktion und in der Umsetzung von spezifischen Funktionalitäten, die mittels konventioneller Verfahren nur schwer realisierbar sind.

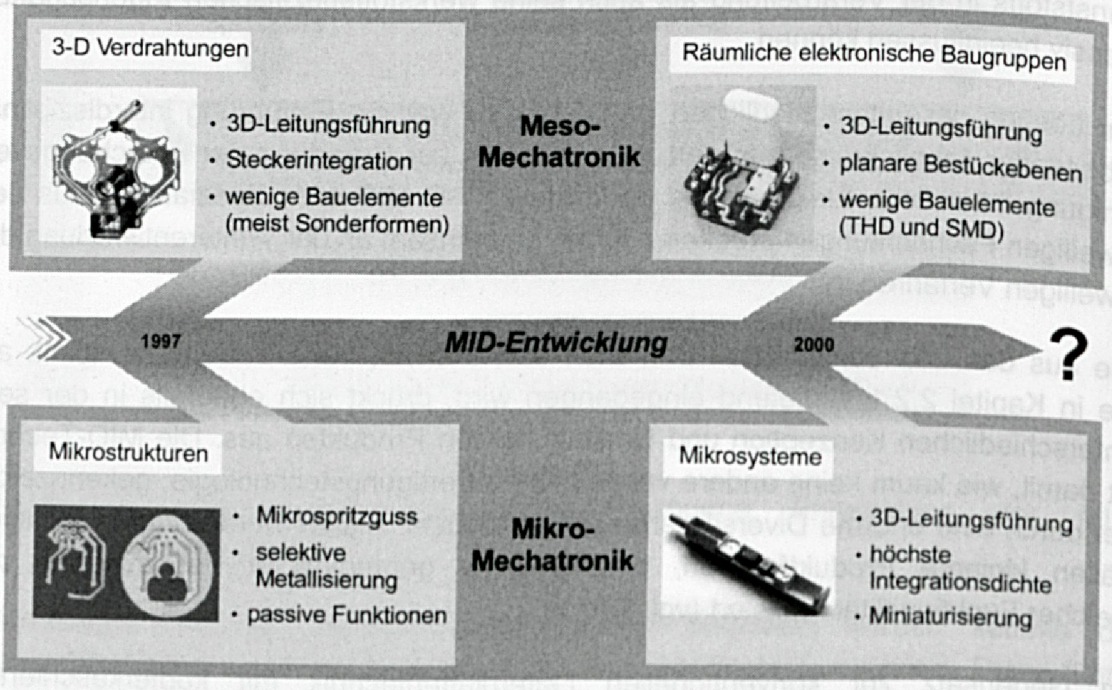


Bild 6: Diversifizierung der MID-Anwendungen (aus [1], [19], [21]) in mikro- und mesomechatronische Baugruppen

Diese Argumente treffen ebenfalls für den Bereich mikromechatronischer Baugruppen zu. Großen Anteil haben in diesem Bereich Applikationen, die überwiegend dreidimensionale Verdrahtungsaufgaben übernehmen. Darüber hinaus ist bei jüngsten Entwicklungen der Trend zu hochintegrierten Packaging-Konzepten für intelligente Elektroniksysteme zu erkennen. Die Gestaltungsfreiheit bei dreidimensionalen Strukturen erlaubt eine hohe Packungsdichte und führt zu einer deutlichen Miniaturisierung der Baugruppen.

Obwohl die Anwendungsbereiche und die geometrische Gestaltung von MID-Anwendungen gerade im Hinblick auf Größe und Struktur außerordentlich stark variieren, können zur Produktion prinzipiell gleiche Verfahrensvarianten herangezogen werden. Damit stehen dem Anwender eine Reihe von Standardverfahren für eine produktorientierte Entwicklung der Baugruppe zur Verfügung.

2.2.1 Entwicklung der Herstellungsverfahren

Für die Herstellung räumlich spritzgegossener Schaltungsträger existiert eine Vielzahl alternativer Verfahren sowie eine Reihe unterschiedlichster Verfahrensvarianten (vgl. [45], [81], [117]). Die Einteilung der Verfahren erfolgt nach Art der Schaltungsträgerherstellung im Spritzguss und gemäß der Prozesskette zur Erzeugung der selektiven Metallisierung (vgl. Bild 7). Dabei lassen sich zwei grundsätzlich verschiedene Prinzipien zum Aufbringen der Leiterbahnen unterscheiden:

- Vollflächige Metallisierung mit anschließender substraktiver Strukturierung
- Selektive Metallisierung durch additiven Schichtaufbau

Die jeweiligen Verfahrensvarianten mit einer zunächst vollflächigen Metallisierung des Basissubstrats und einer sich anschließenden substraktiven Strukturierung werden ebenfalls bei der Herstellung konventioneller Leiterplatten angewandt [132]. Für Anwendungen der MID-Technik wurden diese Verfahren den thermoplastischen Basismaterialien sowie der Fähigkeit dreidimensionale Strukturen zu erzeugen angepasst.

Insbesondere während der Anfänge der MID-Technologie wurden MID-Anwendungen unter Einsatz dieser Verfahrenstechnik bevorzugt entwickelt. Die aufwendige Badführung zur Metallisierung von Thermoplasten sowie der prozesstechnische Anlagenaufwand zur Rückgewinnung der im Ätzprozess abgetragenen Kupferschichten führte neben den prozessbedingten Einschränkungen in der dreidimensionalen Gestaltung dazu, dass der Einsatz dieser Verfahren für die Realisierung mesomechatronischer Anwendungen zunehmend abnahm. Hohe Bedeutung besitzen diese Verfahrensvarianten im Bereich von Anwendungen mit

zweidimensionalem Leiterbild, der Prototypenherstellung durch Laserstrukturierung sowie bei der Herstellung miniaturisierter Anwendungen mit feinen Leiterbahnstrukturen, die nur mithilfe von lichtbasierten Strukturierungsverfahren erzeugt werden können.

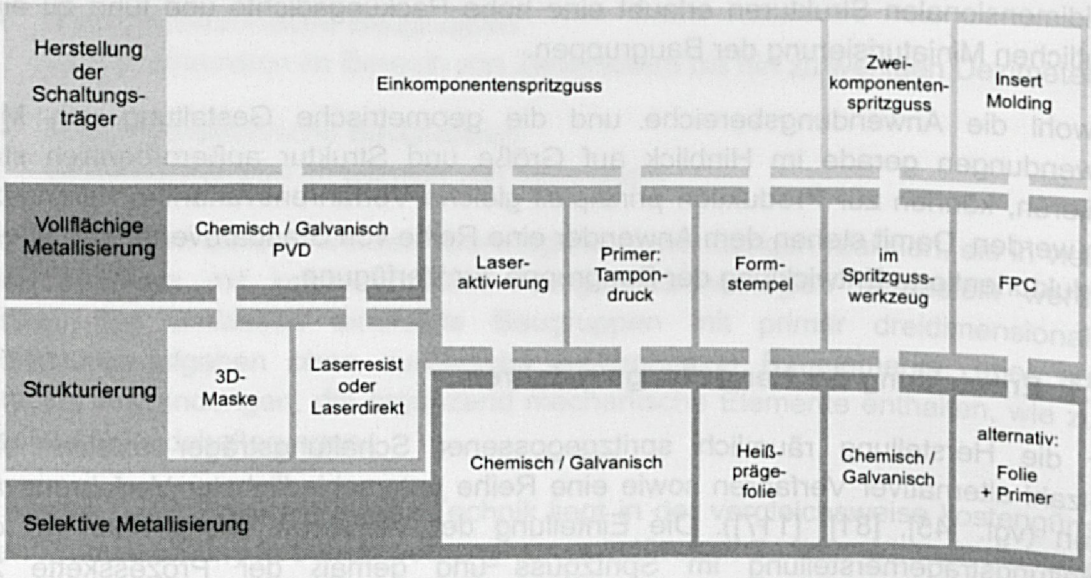


Bild 7: Alternative Verfahren zur Herstellung selektiver Oberflächenmetallisierungen auf Kunststoffsubstraten für MID-Anwendungen

Im Hinblick auf kurze, rationelle Prozessketten erscheint dem Anwender die selektive und gleichzeitig additive Metallisierung geeigneter, hier sind bereits Schichtstärken bis 20µm wirtschaftlich herstellbar. Für die Erzeugung der Selektivität steht ein breites Spektrum unterschiedlichster Verfahren zur Verfügung, industriell am weitesten verbreitet ist derzeit das Zweikomponentenspritzgussverfahren.

Neben diesen etablierten Verfahren wurden in den letzten Jahren neue Entwicklungen vorgestellt, die zu einer verbreiterten Technologiebasis führten. Sie umfassen Entwicklungen von MID-spezifischen Materialien als auch die konsequente Weiterentwicklung der für Serienanwendungen bereits eingesetzten Prozesse. In den folgenden Abschnitten werden einzelne Entwicklungen exemplarisch herausgestellt, die im Rahmen von Veröffentlichungen und Produktentwicklungen besonderes Interesse in der Fachwelt geweckt haben.

- *Neue Materialien*

Zur Verbesserung der Temperaturbeständigkeit bei kurzzeitig hohen Temperaturbelastungen, wie sie zum Beispiel bei Lötprozessen zu finden sind, wurden Materialien mit compoundierten Vernetzungsadditiven entwickelt. Bei Kunststoffen ist die

Vernetzung ein Prozess, in dessen Verlauf die einzelnen Kunststoffmoleküle chemisch miteinander verbunden werden [49]. Ausgelöst wird dieser durch eine Elektronenbestrahlung oder durch eine Wärmelagerung. Mit der Vernetzung werden dem Kunststoff elastomere Eigenschaften hinzugefügt, die ein Verformen unter Temperaturbelastung verringern [72].

Dieses Verhalten ist maßgeblich für die Entwicklung von MID-Baugruppen interessant, die in weiterführenden Prozessen der Elektronikproduktion verarbeitet werden. Der durch gesetzliche Verordnungen für das Jahr 2006 beschlossene und demnach vorgeschriebene Einsatz bleifreier Lote wird zukünftig zu einer Aufspaltung des Marktes in zwei unterschiedliche Technologiebereiche führen. Zum einen ist es möglich, niedrigschmelzende Lote aus Zinn-Wismut-Legierungen zu verwenden. Diese bislang meist nur in Sonderanwendungen eingesetzten Werkstoffe eignen sich hervorragend für Standardthermoplaste in der MID-Technik. Zum anderen werden hochschmelzende Legierungen aus Zinn-Silber oder Zinn-Silber-Kupfer herangezogen. Dieser im Vergleich weitaus größere Teil führt zu einer im Allgemeinen höheren Temperaturbelastung der Baugruppen beim Reflowlöten. Um den hohen Anforderungen hochschmelzender Lote zu begegnen, ist es mit diesen neu entwickelten, teils modifizierten technischen Thermoplasten auch weiterhin möglich, elektronische Bauelemente in den verschiedenen Lötverfahren zu verarbeiten [124].

- *Kombination IMD und MID*

Die zunehmende Forderung nach kombinierten Verfahren, die sowohl funktionale als auch dekorative Elemente beinhalten, führte zur Weiterentwicklung der In-Mold-Decoration. Die IMD-Technik wird seit Jahren für dekorative Oberflächen in unterschiedlichen Einsatzfeldern, wie zum Beispiel in der Automotivindustrie erfolgreich eingesetzt. Hierbei werden strukturierte Folien mit Trägermaterialien hinterspritzt. Ziel des neu entwickelten Verfahrens ist es nun, das Hinterspritzen von dekorativen Folien mit strukturierten Leiterbildfolien zu vereinen. Das Leiterbild wird dabei auf der einen Seite der Folie aufgebracht, die dekorative Oberfläche auf der anderen.

Hierzu entwickelte das Unternehmen Bayer neue Metallisierungsverfahren - Baymetec P und Baymetec S -, die sich ideal für die 3D-MID Technologie einsetzen lassen [134]. Mithilfe des Sieb- oder Tampondrucks eines Primers wird die gewünschte Leiterbahnstruktur mit Schichtdicken von 1-2 µm auf die Folienoberfläche übertragen [71]. Eine haftfeste, chemische Verbindung des Primers und der Oberfläche wird anschließend unter Temperatureinwirkung erreicht. Dabei wirken die im Primer enthaltenen organometallischen Verbindungen als Katalysator für die chemische Reduktion der stromlosen Metallabscheidung. Hierbei können die üblichen Grundmetallisierungen, wie zum Beispiel Kupfer oder Nickel, in Schichtstärken von bis zu 8 µm aufgebracht werden.

Anschließend ist eine galvanische Schichtverstärkung möglich. Neben dem Druckverfahren des Primers ist es auch möglich, diesen aufzusprühen. Diese Variante eignet sich hervorragend für großflächige Metallisierungen, die zum Beispiel im Bereich Shielding eingesetzt werden.

Die Kombination von Inmould-Decoration und des MID-Herstellungsverfahrens mittels Primertechnik wurde am Beispiel des Demonstrators „Elektronisches Roulette" exemplarisch realisiert [135]. Nach dem Aufdrucken des Primers auf die Trägerfolie wurde diese im Kaltpressverfahren verformt. Nach der sich anschließenden Metallisierung wird die Folie samt Leiterbildstruktur in das Spritzguss-Werkzeug eingelegt und hinterspritzt. Die hier bestückten Bauteile wurden mittels Leitkleber kontaktiert.

Der Anwendung des Folien-Hinterspritzens eignet sich sowohl für kleine als auch für größere Serien. Von Vorteil sind sie geringen Kosten bei der Änderung des Leiterbild-Layouts, da lediglich die Druckmatrize neu erstellt werden muss. Die minimalen Leiterzubreiten betragen 150 µm, womit auch feine Strukturen erzeugt werden können.

- *MicroMID™ - Verfahren*[2]

Für elektro-optische Bauteile ist eine verlustarme Koppelung zwischen den elektro-optischen Halbleitern und den optischen Fasern von zentraler Bedeutung. Zur Umsetzung einer hochpräzisen Positionierung der Sende- und Empfangselemente wurde von der Firma HARTING KGaA ein neues Verfahren zur Herstellung dreidimensionaler Schaltungsträger entwickelt [13]. Ziel des Herstellungsprozesses ist es, in Kombination des Reliefverfahrens und der Laserstrukturierung feine Leitungsstrukturen zu erzeugen und Mikrostrukturen in den Kunststoffträger abzuformen, die zur präzisen Positionierung der optischen Fasern erforderlich sind.

Zunächst erfolgt die Herstellung eines hochgenauen Metallmasters, in dem die geforderten dreidimensionalen Strukturen und Geometrien des Bauteils abgebildet werden. Danach werden Nickelreliefs für Bodenplatte und Deckel abgeformt, die zur Herstellung der später vollflächig metallisierten Kunststoffsubstrate herangezogen werden.

Da die Leiterbahnen vertieft im Kunststoffträger eingebettet sind, kann mithilfe einer mechanischen Bearbeitung, wie zum Beispiel Schleifen, die metallisierte Oberfläche partiell abgetragen werden, so dass eine Selektivität in den Leitungsstrukturen erreicht wird. Die Abformung der Bodenplatte und des Deckels, ausgehend von einem Masterrelief, ermöglicht eine hochpräzise Montage des Gesamtsystems.

---

[2] Der Begriff MicroMID™ ist registriertes Warenzeichen der HARTING Elektro-Optics GmbH & Co KG, Espelkamp

Zur Herstellung von Mikrosystemen mit feinen Strukturen bietet dieses neue Verfahren Alternativen zu bisher eingesetzten Verfahren. Von besonderem Vorteil ist hierbei, dass die eingesetzten Oberflächen besonderes gut für Bondprozesse geeignet sind.

- *Aktivierung mittels Laserstrahlbearbeitung*

In Zusammenarbeit der Firma LPKF und der Fachhochschule Lippe wurde ein Verfahren zur direkten Strukturierung von Leiterbahnen auf Kunststoffsubstraten mittels Laserstrahlung entwickelt [113]. Ziel dieses Verfahrens ist die Erzeugung lokal aktivierter Strukturen, die in nasschemischen Verfahren anschließend metallisiert werden. Voraussetzung dafür ist die Compoundierung metallorganischer Komplexe in das Basismaterial [114]. Durch die fokussierte Bestrahlung eines Excimer-Lasers werden hauptvalente Bindungen der Komplexe chemisch aufgebrochen und damit eine Metall-Ion für die chemische Kupferreduktion freigesetzt.

Ergänzend führt die Laserbestrahlung zu einer Aufrauung der Kunststoffoberfläche, was die Haftfestigkeit der Metallschicht zusätzlich erhöht. Derzeit stehen dem Anwender drei alternative Basismaterialien - PP, PBT und PA6 6T - zur Verfügung [61]. Obwohl letzteres derzeit nur in ungefülltem Zustand erhältlich ist, bietet es wegen seiner hohen Temperaturbelastbarkeit für Standardlötverfahren hohe Einsatzpotentiale für MID-Baugruppen.

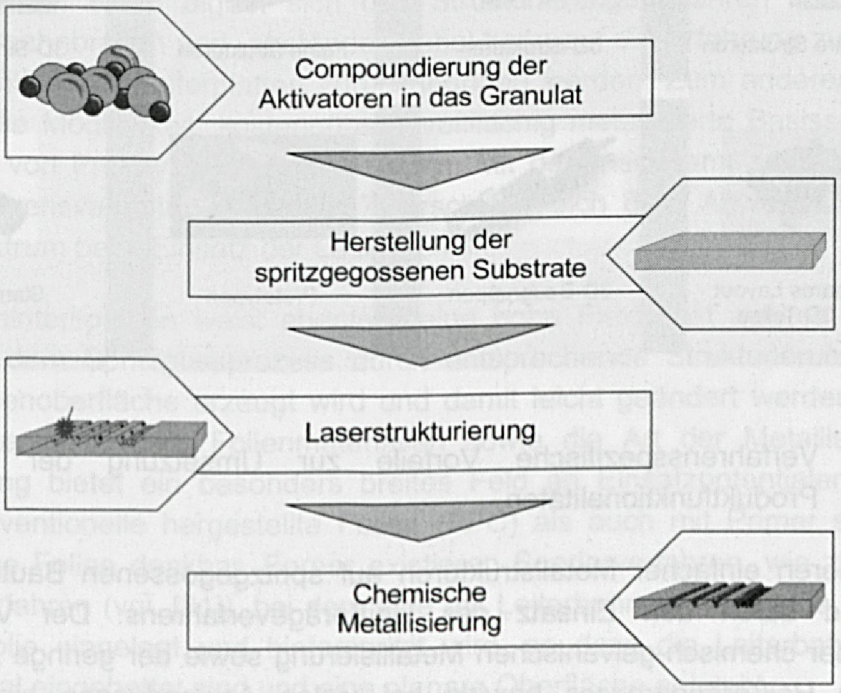


Bild 8: Prinzip der Leiterbahnstrukturierung durch Laseraktivierung [36]

In weiterführenden Forschungsarbeiten werden darüber hinaus alternative Aktivatorsysteme auf Basis physikalischer Wirkprinzipien untersucht [35]. Ziel dieser Arbeiten ist es, durch den Einsatz anderer Laserstrahlquellen eine Kostenreduktion gegenüber dem Verfahren mit Excimer-Laser zu erreichen. Weiterhin erscheint es möglich, ein wesentlich breiteres Spektrum alternativer Materialien einsetzen zu können.

2.2.2 Produktbezogene Trends der Herstellungsverfahren

Trotz der hohen Vielfalt der verfügbaren Herstellungsverfahren sowie der großen Anzahl sehr differenzierter MID-Anwendungen, lassen sich allgemein gültige, verfahrensbezogene Trends im Hinblick auf die geforderte Funktionalität der MID-Baugruppe identifizieren. Allen gemein ist eine grundsätzliche Unterscheidung in unbestückte Anwendungen, sogenannte MID-Substrate, und in mit elektronischen Bauelementen bestückte Applikationen, die als MID-Baugruppen bezeichnet werden.

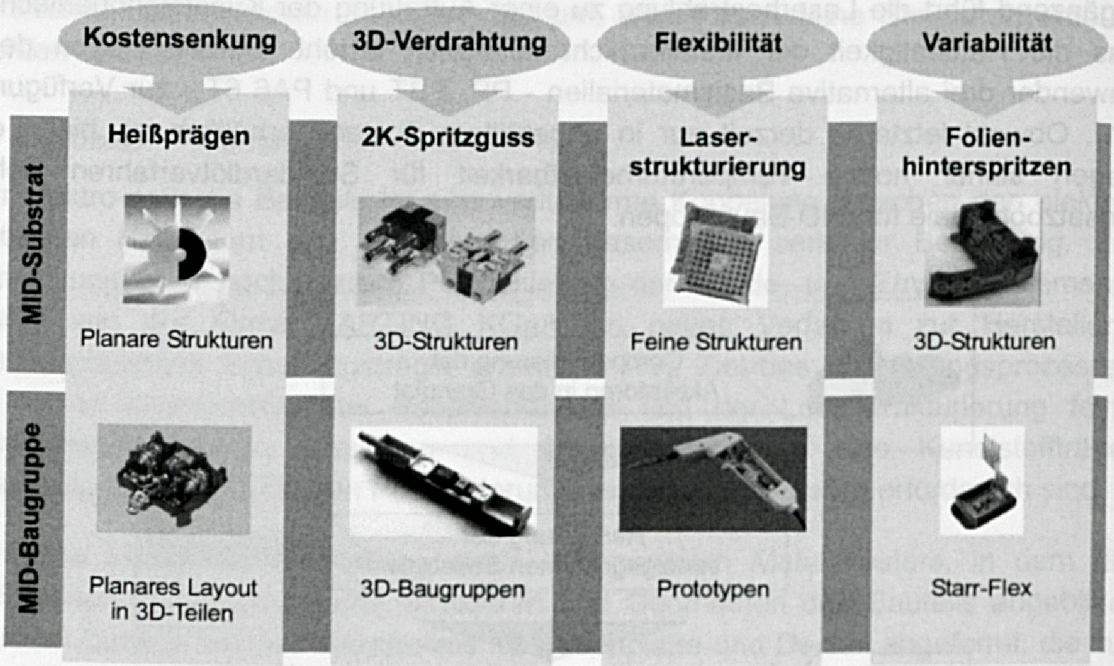


Bild 9: Verfahrensspezifische Vorteile zur Umsetzung der geforderten Produktfunktionalitäten

Das Applizieren einfacher Metallstrukturen auf spritzgegossenen Bauteilen erfolgt überwiegend durch den Einsatz des Heißprägeverfahrens. Der Verzicht auf Verfahren der chemisch-galvanischen Metallisierung sowie der geringe Anlagenaufwand beim Heißprägeprozess bewirkt bei vielen Anwendungen eine deutliche Kostenreduktion. Bei unbestückten Baugruppen werden derzeit meist elektrisch passive Funktionen umgesetzt, wie dies an zahlreichen Sensorapplikationen gezeigt

werden kann. Darüber hinaus ist eine Zunahme bestückter, heißgeprägter Baugruppen zu beobachten. Waren es zunächst Anwendungen mit THT-Bauelementen [20], die im Wellenlötverfahren mit kurzeitig hohen Temperaturbelastungen verarbeitet wurden, sind es nun zunehmend SMD-bestückte Strukturen [97].

Der Fokus des Zweikomponentenspritzgussverfahrens liegt überwiegend in der Realisierung komplexer dreidimensionaler Leitungsstrukturen. Die geometrische Gestaltung orientiert sich häufig an Konzepten der Stanzgittertechnik, die in einigen Beispielen bereits kosteneffizient ersetzt werden konnte. Für hochintegrierte Baugruppen wird mit diesem Verfahren zusätzlich eine hohe Packungsdichte und eine deutliche Miniaturisierung gegenüber konventionellen Aufbautechniken erreicht. Gerade innovative Sensoren und Aktoren im Bereich der Mikrosystemtechnik sind aufgrund der erzielbaren Packungsdichte mit diesem Verfahren gut umsetzbar.

Wegen der direkten CAD/CAM-Kopplung bieten laserunterstützte Strukturierungsverfahren eine hohe Flexibilität bezüglich möglichen Änderungen des Schaltungslayouts. Die einfachen Möglichkeiten der Variantenbildung und Kleinserienfertigung stellen Vorteile dar, die gerade in der Einführungsphase der für viele Unternehmen neuen MID-Technologie entscheidend sein können. Unter Verwendung einer angepassten Systemtechnik sind auch räumlich komplexe Leiterstrukturen auf dem Schaltungsträger realisierbar [75].

Die Lasertechnologie wird zur Zeit für zwei sehr unterschiedliche Aufgabenbereiche eingesetzt. Zum einen eignet sich das Strukturierungsverfahren zur Herstellung feiner Leiterbahnbreiten und -abstände. Dabei kann auf die Erfahrung zur Strukturierung konventioneller Leiterplatten zurückgegriffen werden. Zum anderen bietet das Verfahren die Möglichkeit, kostengünstig vollflächig metallisierte Basissubstrate zur Herstellung von Prototypen zu strukturieren. Mit den insgesamt sehr unterschiedlichen Verfahrensvarianten (vgl. Bild 7) erschließt sich dem Anwender ein breites Einsatzspektrum beim Einsatz der Lasertechnik.

Das Folienhinterspritzen weist ebenfalls eine hohe Flexibilität auf, da das Layout bereits vor dem Spritzgussprozess durch entsprechende Strukturierungsverfahren auf der Folienoberfläche erzeugt wird und damit leicht geändert werden kann. Der Einsatz unterschiedlicher Folienmaterialien sowie die Art der Metallisierung und Strukturierung bietet ein besonders breites Feld an Einsatzpotentialen. Hier sind sowohl konventionelle hergestellte Folien (FPC) als auch mit Primer strukturierte, tiefziehfähige Folien denkbar. Ferner existieren Sonderverfahren, wie zum Beispiel das AIT-Verfahren (vgl. [81]), bei dem eine mit Leiterbahnen versehene, abziehbare Aluminiumfolie eingelegt und hinterspritzt wird, so dass die Leiterbahnen in das Basismaterial eingebettet sind und eine planare Oberfläche entsteht.

Neben den vier hier angeführten Verfahren sind spezifische Einzelentwicklungen in den jeweiligen Herstellungsverfahren zu beobachten, deren Relevanz hinsichtlich der weiteren Verbreitung der MID-Technologie derzeit nicht ausreichend beurteilt werden kann. Hierzu zählen Verfahren zur selektiven Metallisierung UV-bestrahlter Thermoplastwerkstoffe [6] und das von Sankyo-Kasai vorgestellte Verfahren NEW-SKW [73].

2.3 Märkte und Anwendungsbereiche für MID

Betrachtet man die im Datenbanksystem MIDIS [17] dargestellten MID-Anwendungen, so zeigt sich eine hohe Diversifizierung der realisierten Produkte in unterschiedlichste Anwendungsbereiche. In allen bekannten Märkten konventioneller elektronischer Baugruppen (vgl. Bild 10) wurden bereits erfolgreich MID-Anwendungen umgesetzt.

Die insgesamt noch überschaubare Anzahl an Anwendungen und die noch geringen Marktanteile, gemessen am Gesamtmarkt für Leiterplatten und elektronische Baugruppen, erschwert eine gesicherte Beschreibung der aktuell vorliegenden Marktdurchdringung. Dennoch sind, neben den im Folgenden kurz charakterisierten Branchen, spezifische Technologietreiber zu identifizieren, die in den Kapiteln 2.3.1 und 2.3.2 detaillierter beschrieben werden.

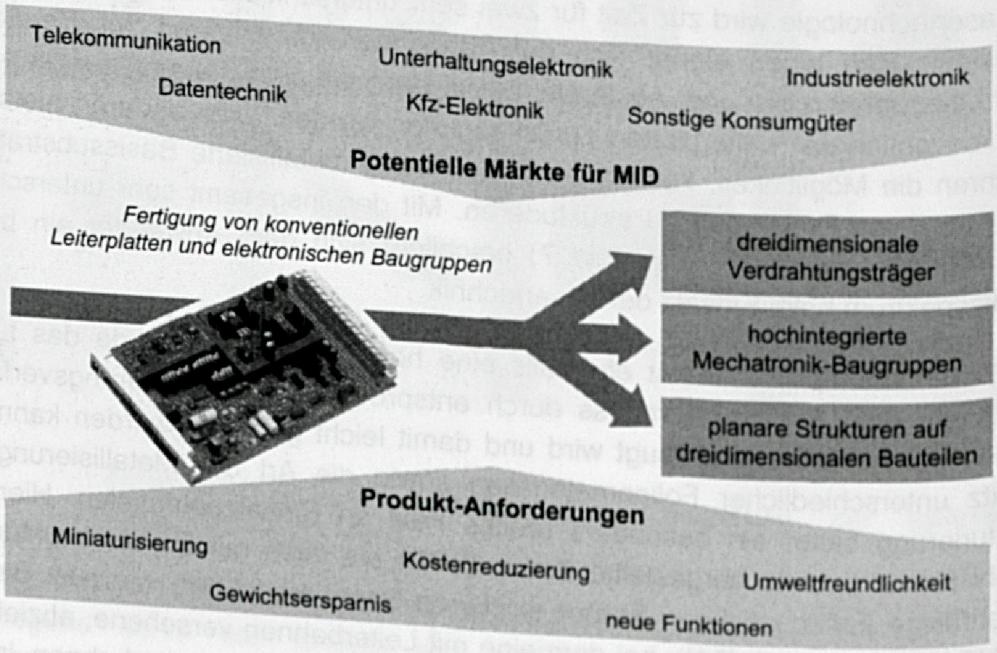


Bild 10: Neue Herausforderungen für elektronische Baugruppen führen zu alternativen Aufbaukonzepten in den betroffenen Branchen

Die Unterhaltungselektronik erscheint zunächst als eine ideale Branche für den MID-Einsatz. In vielen Produkten sind nur relativ einfache elektronische Funktionalitäten zu erfüllen. Darüber hinaus stärkt die Dominanz von Billiglohnländern in der Produktion von Unterhaltungselektronik die Forderung nach kostengünstigen Produkten und Fertigungskonzepten um die Wettbewerbsfähigkeit inländischer Unternehmen zu steigern.

Bei Betrachtung der Aufbaukonzepte in der Unterhaltungselektronik fällt jedoch auf, dass die eigentliche Wertschöpfung meist durch die Funktionalität, das bedeutet durch die Intelligenz der integrierten Elektronik selbst, stattfindet. Die Realisierung der Funktionen wird überwiegend durch sehr kostengünstige Verdrahtungskonzepte umgesetzt, wie zum Beispiel durch die Verwendung von Phenolharz-Hartpapier (FR2) als Basismaterial für Leiterplatten. Der Einsatz dieser kostengünstigen Materialien und Verfahren erschwert die Verbreitung der MID-Technik, da selten hochintegrierte Baugruppen mit mechatronischen Funktionen gefordert sind [12].

Dagegen finden sich gerade in der Industrieelektronik vielversprechende Ansätze. Hier sind es überwiegend dezentrale Elektronikbaugruppen mit elektromechanischen Funktionen, wie zum Beispiel Anwendungen der Energietechnik und der Mess-, Steuer- und Regeltechnik, die durch den MID-Einsatz sinnvoll und kosteneffizient aufgebaut werden können. Die aktuell eingesetzten Anwendungen umfassen passive Sensorelemente für Wasserzähler [57], aber auch elektronische Steuereinheiten für Motoren [127] und LED-Befehlsgeber [97]. Kennzeichnend für diese Produkte war bisher eine verhältnismäßig einfache Verdrahtungsaufgabe, die von einfachen, funktionalen Metallisierungen bis hin zu Leitungsführungen auf mechanischen Halterungselementen und Gehäuseteilen reicht. Der Ersatz einfacher Leiterplatten oder Kabelführungen ermöglichte eine vergleichsweise kostengünstige Lösung in MID.

Auch im Bereich der Datentechnik, der sowohl durch hochintegrierte als auch hochvolumige Standard-Elektronikbaugruppen bestimmt wird, hat die MID-Technik in technologischen Nischen bemerkenswerte Anteile erreicht. Sie umfassen Anwendungen in peripheren Komponenten von Computern, aber auch Baugruppen in Kopiergeräten und Druckern [64]. Dabei sind es meist wenig hochintegrierte, aber hinsichtlich ihrer dreidimensionalen Gestaltung komplexe Verdrahtungsaufgaben mit dem Ziel, eine elektrische Funktion an definiert geometrischen Orten realisieren zu können. Der Einsatz der MID-Technologie ermöglichte eine Produktgestaltung, die mit konventionellen Verfahren nicht erreichbar gewesen wäre.

Aufgrund der hohen Anzahl bekannter Projekte in den Bereichen Kfz-Elektronik und Telekommunikation können diese als Technologietreiber benannt werden. Die aktuellen Entwicklungen sollen in den folgenden Abschnitten intensiver beleuchtet werden.

2.3.1 Einsatzpotentiale in der Automobilindustrie

Zahlreiche Automobilanwendungen für Sicherheit, Komfort und Leistung lassen sich nur durch den gezielten Einsatz elektronischer Funktionen realisieren, so dass die Elektronik eine Schlüsselposition in der Wertschöpfungskette im Automobilbau einnimmt. Erreicht wird die geforderte Funktionalität selten durch einige wenige zentrale Steuermodule, vielmehr ist eine breite Dezentralisierung der Elektronikbaugruppen im Automobil zu beobachten. Die Spannweite erstreckt sich dabei von dezentralen Sensorsystemen, Schließ- und Sicherheitsfunktionen über Zentralverriegelungen bis hin zu komplexen Türmodulen [70].

Die Forderung nach erhöhter Zuverlässigkeit und Leistungsfähigkeit von Automobilelektronik bei gleichzeitiger Kostenreduzierung, kann nur durch ein hohes Maß an Integration in Form mechatronischer Baugruppen erreicht werden. Unter diesen Voraussetzungen erschließt sich ein hohes Einsatzpotential für MID-Anwendungen.

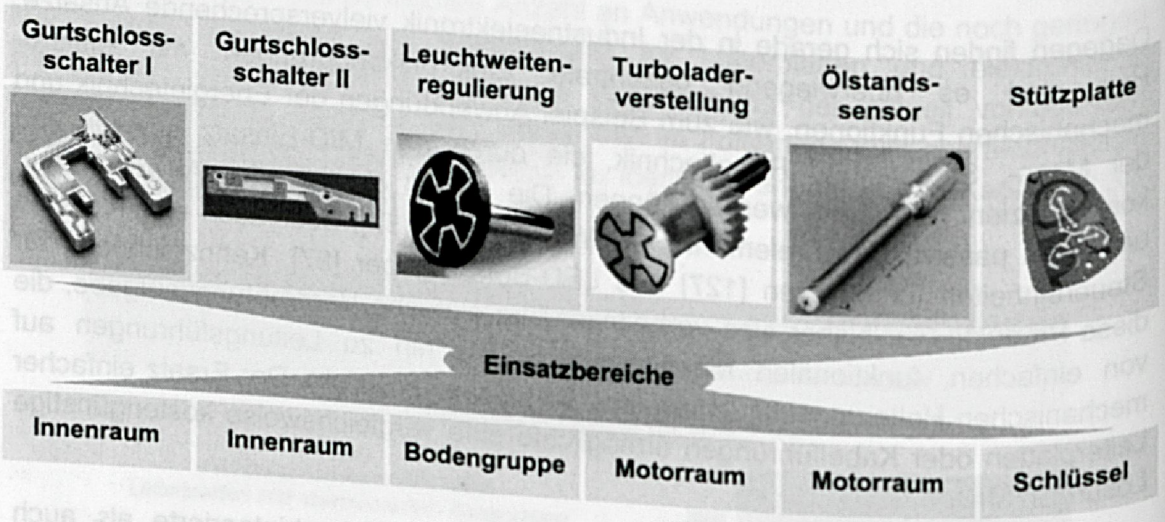


Bild 11: Ausgewählte, in Serie hergestellte MID-Anwendungen für die Automobilindustrie in Deutschland (Quellen: [108], [17], [109], [34], [110])

Obwohl in den USA und Japan bereits seit Mitte der 90er Jahre MID-Serienapplikationen im Automobil eingesetzt werden, findet die MID-Technologie als alternatives Herstellungsverfahren in Deutschland bisher nur in wenigen Produkten Anwendung. Begründet ist dies durch die immer kürzer werdenden Produktlebenszyklen und die damit verbundenen reduzierten Entwicklungszeiten. Sie behinderten bislang die Umsetzung komplexer Baugruppen, so dass die bekannten eingesetzten MIDs meist nur einfache Strukturen aufweisen und keine zusätzlichen elektronischen Bauelemente beinhalten.

Besonders auffällig ist jedoch, dass die realisierten Anwendungen einerseits gleiche Einsatzbereiche im Automobil betreffen, wie das an den dargestellten Beispielen für Gurtschlossapplikationen für den Kfz-Innenraum deutlich wird, andererseits ähnliche Funktionselemente in Form von passiven Sensorelementen beinhalten. Diese Tatsache führt allerdings nicht dazu, dass damit Standardanwendungen für spezifische Funktionsanforderungen positioniert wurden. Dennoch wurde mit einfachen und kosteneffizienten Anwendungsbeispielen eine hohe Signalwirkung erzielt.

Mit dem Einsatz von MID-Anwendungen in unterschiedlichen Einsatzbereichen im Fahrzeug wird auch eine insgesamt hohe Zuverlässigkeit und die Erfüllung hoher Anforderungen belegt. Gerade motornahe Anwendungen, wie zum Beispiel der in Bild 11 gezeigte Sensorgeber zur Turboladerverstellung, belegen, dass sowohl die geforderte Temperatur- als auch die ergänzend notwendige Medienbeständigkeit bei MID-Anwendungen erreicht werden kann.

In zahlreichen Publikationen werden weitere komplexere Entwicklungsarbeiten (vgl. [65], [69] und [94]) dargestellt, die allerdings aufgrund des hohen Entwicklungsaufwands bisher nicht in eine Serienanwendung überführt wurden.

Für den Automotivbereich lässt sich zusammenfassend festhalten, dass einfache Anwendungen erfolgreich im Markt positioniert wurden. Die Entwicklung komplexerer Baugruppen erfordert eine grundsätzliche Technologiequalifizierung, die nur durch die Durchführung einer Vielzahl einzelner Projekte erzielt werden kann.

2.3.2 Anwendungen im Bereich Telekom

Der Bereich Telekommunikation ist derzeit stark durch eine rasche Innovationsfolge von Mobilfunkprodukten geprägt. Die stetig steigende Funktionalität und die kurzen Entwicklungszyklen haben zur Folge, dass nur mit hochintegrierten Funktionsbausteinen und neuartigen Produktkonzepten eine ökonomisch erfolgreiche Positionierung der Unternehmen im Markt erzielt werden kann.

Im Gegensatz zur Automobilindustrie wirken sich die hohen Anforderungen besonders kurzer Produktlebenszyklen weniger negativ auf den Einsatz der MID-Technologie aus. Die vergleichsweise geringeren Anforderungen zur Produktqualifikation erleichterten die Produktkonzeption und deren Umsetzung in der Produktion.

Demgegenüber unterlagen die tatsächlich realisierten Anwendungen auch einer Reihe spezifischer Kriterien, die zunächst eine weniger erfolgreiche Markteinführung der Applikationen erwarten ließen. Die im Bereich Telekommunikation realisierten MID-Anwendungen betreffen insbesondere die Bereiche Antennen, Stecker, Installationstechnik und Gehäuseapplikationen.



Bild 12: Einsatzfelder und spezifische Kennzeichen für MID-Anwendungen im Bereich Telekommunikation

Die Entwicklung von Antennen für Mobilfunkgeräte unterliegt im Allgemeinen einer hohen Anzahl an Änderungen, ein endgültiges Design ist meist erst spät im Entwicklungsprozess verfügbar [67]. Dennoch wurden mithilfe des Zweikomponentenspritzgussverfahrens bereits eine Vielzahl an Antennenstrukturen umgesetzt. In diesem Zusammenhang sind die in [50] von MID LLC vorgestellten, in die Gehäuseschalen einsetzbaren Antennen erwähnenswert, da eine komplette Produktfamilie mithilfe der MID-Technologie aufgebaut wurde [105].

Steckverbindersysteme für Anwendungen in Mobilfunkgeräten sind durch die Forderung nach Erfüllung hoher Steckzyklen gekennzeichnet, dies bedingt eine verschleißfeste Metallisierung der Fügeflächen. Gegenüber konventionellen Stecksystemen ist mit dem Einsatz der MID-Technologie eine Kostenreduzierung des Gesamtsystems erreichbar, diese wird durch eine Verringerung der Teilezahl und der damit verbundenen Rationalisierung der einzelnen Arbeitsschritte erzielt.

Der Einsatz prinzipiell gleicher MID-Anwendungen für unterschiedliche Anwender zeigt, dass mithilfe der MID-Technologie ein deutlicher wirtschaftlicher Vorteil, im Vergleich zu konventionellen Lösungen, erzielt werden konnte [88], [144].

2.3.3 Marktentwicklung im internationalen Vergleich

Die Ermittlung verlässlicher Umsatzzahlen zur MID-Technologie wird jährlich von der MID International Association (MIDIA) mit Vertretern aus Deutschland, Japan und den USA durchgeführt. In der MIDIA sind derzeit eine Vielzahl aktiver Unternehmen organisiert, dennoch kann davon ausgegangen werden, dass weitere im Markt tätige Unternehmen bei der Datengenerierung nicht erfasst werden können. Dies belegt die Veröffentlichung in Serie produzierter MID-Anwendungen durch Unternehmen, die weder in der Forschungsvereinigung 3-D MID e.V. noch in MIDIA selbst vertreten sind [110].

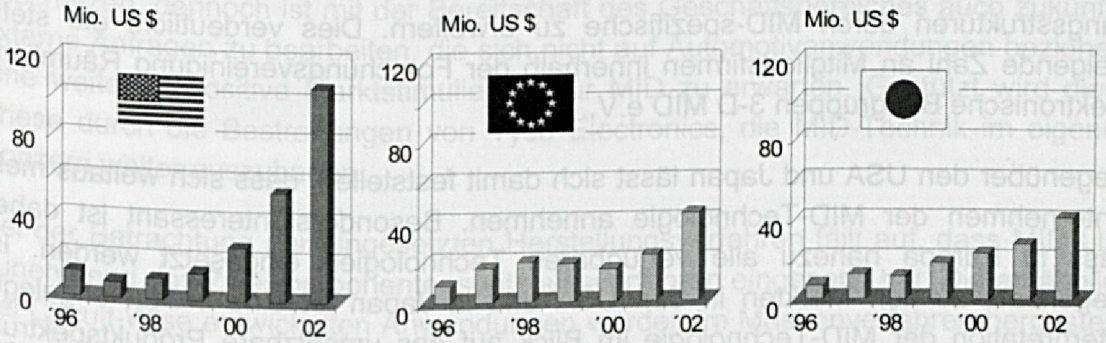


Bild 13: Entwicklung des MID-Marktes in der Triade

Für das Jahr 2000 wurde für die MID-Technologie ein Marktvolumen von weltweit rund 67 Mio. US $ ermittelt [99]. Dieses teilt sich auf die Märkte in Deutschland, Japan und den USA auf, wobei der Anteil im Jahr 2000 auf alle drei Märkte etwa gleich verteilt war.

Eine leichte Verzerrung der Marktentwicklung entsteht durch die Umrechnung der jeweiligen Umsatzzahlen in die amerikanische Währung. So unterlag die DM in Bezug auf den US $ seit 1995 hohen Schwankungen, der Wechselkurs für den US $ bewegte sich zwischen 1,45 DM bis hin zu 2,20 DM. Dieser Einfluss bewirkt, dass die Umsatzzahlen in Europa, die in den letzten Jahren deutlich zunahmen, nach der Umrechnung in den US $ nur wenig Marktbewegung vermuten lassen.

Trotz der insgesamt sehr positiven Entwicklung muss aber auch festgestellt werden, dass die, im Rahmen der Jahresversammlungen der MIDIA für das Folgejahr prognostizierten Umsätze, bisher nur selten erreicht wurden. Grund hierfür ist die hohe Empfindlichkeit der Märkte gegenüber Verschiebungen und Konzentrationen auf Seiten der Technologieanbieter. Die Entwicklung in den einzelnen Märkten wird im Folgenden näher diskutiert.

Marktentwicklung in Europa

Betrachtet man den europäischen Markt, so lässt sich feststellen, dass sich die überwiegende Anzahl der Aktivitäten im Bereich Forschung, Entwicklung und industrielle Umsetzung auf Deutschland konzentrieren. Daneben sind es skandinavische Länder, Großbritannien sowie Irland, die gerade im Bereich Telekommunikation interessante MID-Anwendungen umsetzen konnten [107].

Bedingt durch die geschichtliche Entwicklung der MID-Technologie in unterschiedlichen Branchen hat sich besonders in Deutschland ein vielschichtiges und hochqualifiziertes Umfeld der Technologieanbieter entwickelt. Dieses wird durch eine stetig wachsende Zahl interessierter Anwender ergänzt, die teilweise die unternehmenseigenen Kompetenzen nutzen, um bestehende konventionelle Produkt- und Fertigungsstrukturen durch MID-spezifische zu erweitern. Dies verdeutlicht die stetig steigende Zahl an Mitgliedsfirmen innerhalb der Forschungsvereinigung Räumliche Elektronische Baugruppen 3-D MID e.V..

Gegenüber den USA und Japan lässt sich damit feststellen, dass sich weitaus mehr Unternehmen der MID-Technologie annehmen. Besonders interessant ist dabei, dass in Europa nahezu alle verfügbaren Technologien eingesetzt werden. Im Gegensatz zu den Märkten in den USA und in Japan ist eine breiter angelegte Interpretation der MID-Technologie im Blick auf das umsetzbare Produktspektrum gegeben. Untermauert wird dies durch eine vielfältige Forschungslandschaft, mit deren Hilfe zentrale Fragestellungen unternehmensübergreifend und - gerade im Blick auf kleinere und mittelständische Unternehmen - industrienah bearbeitet werden.

Damit ist in Europa auch eine allgemein hohe Spezialisierung von Unternehmen auf einzelne Herstellungsverfahren zu beobachten. Bislang wurde nur von wenigen Anbietern versucht, eine breitere Technologievielfalt der möglichen Verfahrensalternativen aus einer Hand anzubieten. Im Vergleich mit anderen Ländern fällt auf, dass in Deutschland dennoch die fertigungstechnische Übertragung von Produktentwicklungen in eine Serienproduktion oft mit Schwierigkeiten verbunden ist. Die umfangreichen Untersuchungen zur Erfüllung der geforderten Zuverlässigkeit und die produkt- und produktionsbedingten Kriterien erfordern ein intensives und effizientes Projektmanagement. An dieser Stelle sei auf Kapitel 4 verwiesen, in dem eine detaillierte Analyse sowie die Ableitung von alternativen Vorgehensweisen dargelegt wird.

Marktentwicklung in den USA

Zu Beginn der 90er Jahre war der amerikanische Markt transparent und durch die Firmen Circuit-Wise, Mitsui-Pathtek und UFE geprägt. Die Übernahme des MID-Geschäftes von Mitsui-Pathtek durch Circuit-Wise im Jahr 1996 führte zu einer

starken Konzentration bei einem einzelnen Unternehmen und zum Verlust eines zweiten Anbieters. Dieser Entwicklung stand der US-Markt, im Besonderen der Automotivbereich, zunächst skeptisch gegenüber. Dies führte dazu, dass eine Reihe interessanter Projekte von Seiten der Anwender wieder zurückgezogen wurden. Die Folgen dieser Entwicklung schlugen sich in rückläufigen Umsätzen im Jahre 1997 nieder. Mit zunehmender Akzeptanz des MID-Geschäftsbereiches von Circuit-Wise stiegen nicht nur die Umsätze wieder steil an, die hohe Auftragslast veranlasste Circuit-Wise, das MID-Geschäftsfeld in das eigenständig agierende Unternehmen MID LLC auszugründen.

Eine weitere Marktkonzentration fand mit der Übernahme der MID LLC durch Tyco Electronics Ende 2000 statt. Die Auswirkungen lassen sich derzeit noch nicht abschätzen, dennoch ist mit der Bereitschaft des Geschäftsbereiches auch zukünftig externe Anfragen zu bearbeiten, die sich nicht auf Automotivanwendungen beziehen, eine weiterhin positive Marktstimulierung für MID zu erwarten. Gestützt wird diese These durch die Bestrebungen von Tyco Electronics, die MID-Technik im eigenen Konzern weiter auszubauen.

Bei der Betrachtung der eingesetzten Herstellungsverfahren fällt auf, dass MID LLC zunehmend das Zweikomponentenspritzgussverfahren eingesetzt hat. Die anfänglich bei Circuit-Wise entwickelten Anwendungen wurden im Maskenverfahren hergestellt, was auf die Nähe zum Kerngeschäft, der Herstellung konventioneller Leiterplatten, zurückzuführen ist. UFE hat bei den bekannten Anwendungen das selbst entwickelte und patentierte Verfahren zum Folien-Hinterspritzen im Einsatz. Trotz eines sehr hohen Aufwands im Handling der vorstrukturierten Folien ist mit diesem Verfahren eine hohe Dreidimensionalität bei zweiseitigem, mit Durchkontaktierungen versehenem Leiterbild möglich.

Im Vergleich zum europäischen wurde der amerikanische Markt vor der Übernahme des Unternehmens MID LLC durch Tyco Electronics hauptsächlich durch ein einziges Unternehmen dominiert. Im Jahre 2000 betrug der Umsatz anteilig rund 90% des gesamten US-Marktes. Die Aktivitäten der angeführten Unternehmen sind durch Veröffentlichungen im Rahmen der MIDIA-Jahresversammlungen verfügbar. Darüber hinaus sind im amerikanischen Markt weitere Unternehmen, wie zum Beispiel die Firma Molex, im MID-Bereich tätig. Aufgrund nicht öffentlich verfügbarer Informationen kann das Marktpotential und dessen Auswirkungen auf den MID-Markt insgesamt nicht näher eingeschätzt werden.

Marktentwicklung in Japan

Der asiatische Markt wird in erster Linie durch die Aktivitäten japanischer Unternehmen bestimmt. Gerade in den Anfängen der MID-Technologie wurden zahlreiche Entwicklungsarbeiten zur Technologie-Bereitstellung durchgeführt, was zu einer

hohen Anzahl von Patentanmeldungen führte. Zur Miniaturisierung von Produkten wurden von Sankyo Kasei spezifische Verfahren im Bereich des Zweikomponenten-spritzgusses entwickelt.

Hierzu zählt das New-SKW-Verfahren, mit dessen Hilfe besonders leichte und vor allem möglichst dünnwandige Applikationen und Baugruppen hergestellt werden können, da die zweite nicht metallisierbare Komponente nach der Metallisierung wieder entfernt wird. Ferner sind mit Hitachi Cable und Osaka Vacuum zwei weitere Unternehmen schon seit Jahren erfolgreich auf dem asiatischen Markt mit MID-Produkten tätig.



Bild 14: Zielgerichtete Produktorientierung als zentrales Merkmal japanischer MID-Anwendungen

Zu einer Überraschung führte die Präsentation von Matsushita im Rahmen der neuen Mitgliedschaft in der MIDIA im Jahre 1999. Im Gegensatz zu vielen anderen Unternehmen hatte Matsushita bereits eine eigene, neue Verfahrensvariante im eigenen Unternehmen entwickelt und serientauglich umgesetzt, dies unterstreicht eindrucksvoll der vorgestellte Bewegungssensor als erste Serienanwendung. Besonders erwähnenswert ist hierbei, dass mit einem neuen Verfahren zur Metallisierung und Strukturierung von Kunststoffen die Verarbeitung ungehäuster Chip-Bauelemente mittels Bonden für eine Reihe von hochintegrierten Funktions-baugruppen qualifiziert wurde.

Für die Firma Matsushita steht die Anwendung eines MID-Verfahrens aber nicht im Vordergrund des Interesses, vielmehr wird sich darum bemüht, als Systemanbieter für komplexe miniaturisierte Baugruppen aufzutreten. Die MID-Technologie bildet

damit nur eine technologische Basis für die Umsetzung der geforderten Funktionalität des Produktes. So entsteht eine hohe Funktionsorientierung in der Auswahl geeigneter Anwendungen, deren Interesse nicht am Einsatz einer diskreten Technologie liegt, vielmehr die Belange einer rationellen und wirtschaftlichen Produktentwicklung verfolgt.

Die in Japan entwickelten Applikationen weisen eine starke Produktorientierung auf und zielen überwiegend auf Funktionsintegration und Miniaturisierung. Anwendung finden diese zum Beispiel in Form innovativer Packaging-Konzepte für die Computer- und Unterhaltungsindustrie. Als Herstellungsverfahren wird neben dem Zweikomponentenspritzgussverfahren die Laserstrukturierung herangezogen.

Beim zusammenfassenden Vergleich der international unterschiedlich geprägten Märkte lassen sich für die MID-Technologie derzeit drei Marktformen identifizieren. Der amerikanische Markt wird bestimmt durch eine quasi monopolartige Präsenz eines einzelnen Unternehmens. In Japan ist durch die Tätigkeit einiger weniger Unternehmen eine insgesamt hohe Markttransparenz vorhanden. In Europa, und hier speziell in Deutschland, ist eine sehr umfangreiche Technologievielfalt verfügbar. Damit sind für die weitere Entwicklung der Märkte zunächst unterschiedliche volkswirtschaftlich relevante Ausgangspositionen definiert, so dass eine Prognose zur zukünftigen Entwicklung der Märkte schwer ermittelbar sein wird.

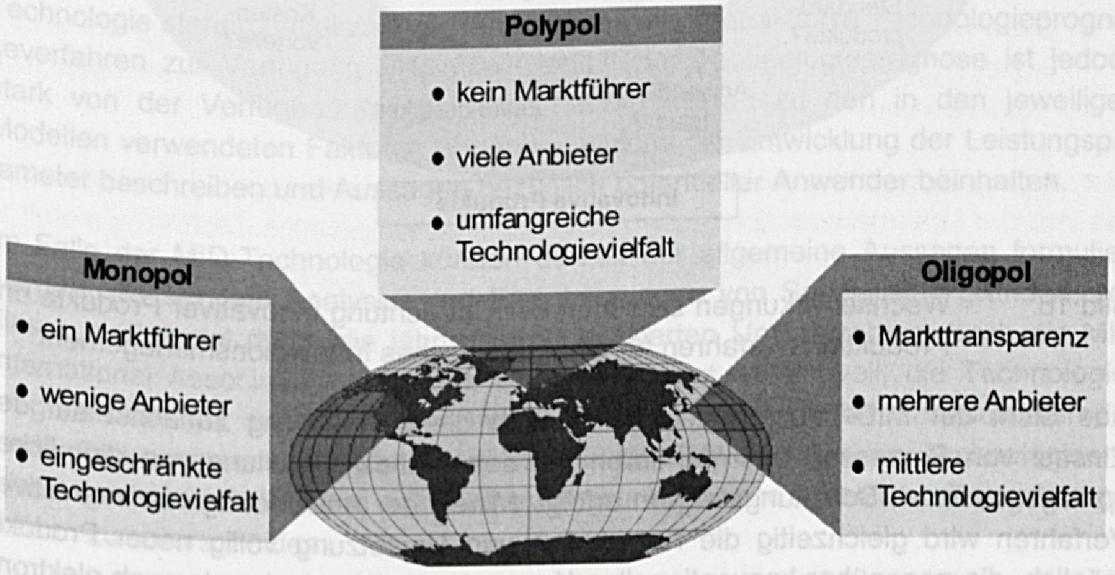


Bild 15: Ausbildung unterschiedlicher Marktformen für die MID-Technologie im globalen Vergleich

3 Technologie- und innovationsorientierte MID-Entwicklungsstrategien

Für die Wettbewerbs- und Überlebenschancen von Unternehmen im Bereich des produzierenden Gewerbes kommt der Fähigkeit zur Entwicklung und Beherrschung technologischer Innovationen eine hohe Bedeutung zu. Durch technologische Innovationen lassen sich auf vorhandenen Märkten Differenzierungs- und Kostenvorteile gegenüber Konkurrenten erzielen sowie neue Produktfelder und Märkte erschließen [60]. Der Begriff *Innovation* beschreibt aus betriebswirtschaftlicher Sicht die Einführung qualitativer Neuerungen, um die wirtschaftliche Position von Unternehmen im Markt zu stärken.

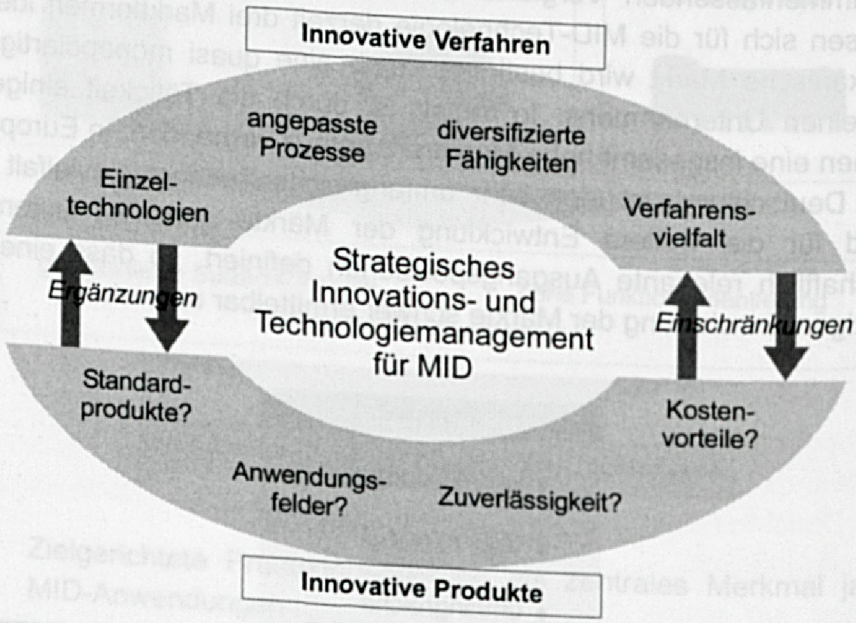


Bild 16: Wechselwirkungen zwischen der Betrachtung innovativer Produkte und Produktionsverfahren für ein strategisches Innovationsmanagement

Aus Sicht der MID-Technologie bezieht sich diese Neuerung zunächst auf den Einsatz von Prozessen und Verfahren mit denen die Herstellung von räumlichen spritzgegossenen Schaltungsträgern erfolgt. Mittels der Anwendung von innovativen Verfahren wird gleichzeitig die Konzeption und Umsetzung völlig neuer Produkte möglich, die gegenüber konventionellen Konzepten mechanische als auch elektronische Funktionen in einem Bauteil integrieren. Bei der Erarbeitung von Strategien für ein Technologiemanagement der MID-Technik sind damit verfahrens- und produktbezogene Aspekte zu berücksichtigen. Für die interessierten Unternehmen stellt sich damit die Frage, welche Produkte zukünftig unter Einsatz der MID-Technologie kosteneffizient produziert werden können und welche Verfahren hierzu notwendig

sind. Da Unternehmen kaum in der Lage sind, alle verfügbaren Herstellungsvarianten gleichzeitig vorzuhalten, ist eine produkt- und marktorientierte Bestimmung notwendiger Kompetenzfelder erforderlich.

Im Rahmen dieses Kapitels wird zunächst eine Evaluierung der MID-Technologie auf Basis eines leistungsbezogenen Prognosemodells des strategischen Technologie- und Innovationsmanagements durchgeführt. Anhand der daraus ableitbaren Einschätzungen zum Entwicklungsstand der Technologie werden allgemeine Vorgehensweisen zur Umsetzung von MID-spezifischen Prozess- und Produktinnovationen dargestellt. Diese richten sich gezielt auf Unternehmensbereiche, die zukünftige Technologien einschätzen und die hierfür Strategien zur Einführung innovativer Verfahren benötigen. Abschließend wird eine konkrete Einführungsstrategie dargelegt, die bei der Bewertung der MID-Technologie im Bezug auf einzelne Unternehmen und deren Geschäftsbereiche herangezogen werden kann.

3.1 Leistungszyklusbezogene Technologiebewertung

Die Entscheidung eines Unternehmens, neue Fertigungstechnologien einzuführen, wird in hohen Maße von der Leistungsfähigkeit der betrachteten Technologie in Bezug auf das betrachtete Produkt- und Produktionsspektrum bestimmt. Hierzu ist es notwendig, den jeweiligen Entwicklungsstand einer Technologie und deren Leistungsfähigkeit zu ermitteln. Für eine gesicherte Aussage zur Einschätzung einer Technologie stehen dabei zahlreiche quantitative und qualitative Technologieprognoseverfahren zur Verfügung [74]. Die Qualität der Technologieprognose ist jedoch stark von der Verfügbarkeit gesicherter Informationen zu den in den jeweiligen Modellen verwendeten Faktoren abhängig, welche die Entwicklung der Leistungsparameter beschreiben und Aussagen bezüglich potentieller Anwender beinhalten.

Im Falle der MID-Technologie können derzeit nur allgemeine Aussagen formuliert werden, die sich auf Analysen und Einschätzungen von Spezialisten gründen, wie dies zum Beispiel durch die jährlich prognostizierten Umsatzzahlen durch die MID International Association geschieht. Daher erscheint es sinnvoll, die Technologieprognose weniger auf quantitative Verfahren zu stützen, sondern komplexitätsreduzierte Prognosemodelle heranzuziehen. Für die Bewertung einer Technologieentwicklung sind in Anlehnung an [106] zwei grundsätzliche inhaltliche Betrachtungsweisen zu unterscheiden:

- Leistungszyklusbezogene Modelle verfolgen die Leistungsfähigkeit von Technologien in Abhängigkeit von der Zeit oder dem technologiebezogenen kumulierten F&E-Aufwand
- Nachfragezyklusbezogene Modelle orientieren sich an Geschwindigkeit und Ausmaß der Technologieverbreitung

Letztere beschreiben nach [52] weitaus mehr die Endphase von technologischen Innovationsprozessen, so dass bei der Betrachtung der noch nicht sehr weit verbreiteten MID-Technologie nicht auf dieses Modell zurückgegriffen werden sollte. Aus diesem Grund wird für die weitere Betrachtung ein leistungszyklusbezogenes Modell herangezogen, dessen bewertbare Kriterien mithilfe allgemein anerkannter Aussagen zum Stand der Technik der MID-Technologie belegbar sind.

3.1.1 Charakterisierung des Prognosemodells

Eine leistungsbezogene Bewertung zur Technologieentwicklung stützt sich in einer Vielzahl von Veröffentlichungen zum Technologie- und Innovationsmanagement auf vier Grundannahmen, die in [52] wie folgt zusammengefasst sind.

1. Das jeder Technologie inhärente Lösungsprinzip nähert sich im Zeitablauf einer Leistungsgrenze.

2. Neue Technologien zeichnen sich aufgrund von Anlaufproblemen zunächst durch einen geringen Leistungszuwachs pro Zeit- bzw. Ressourceneinheit aus, der aber nach Vorliegen einer kritischen Wissensmasse rasch ansteigt.

3. Die Leistungsfortschrittsrate einer Technologie nimmt bei Annäherung an ihre Leistungsgrenze zunehmend ab.

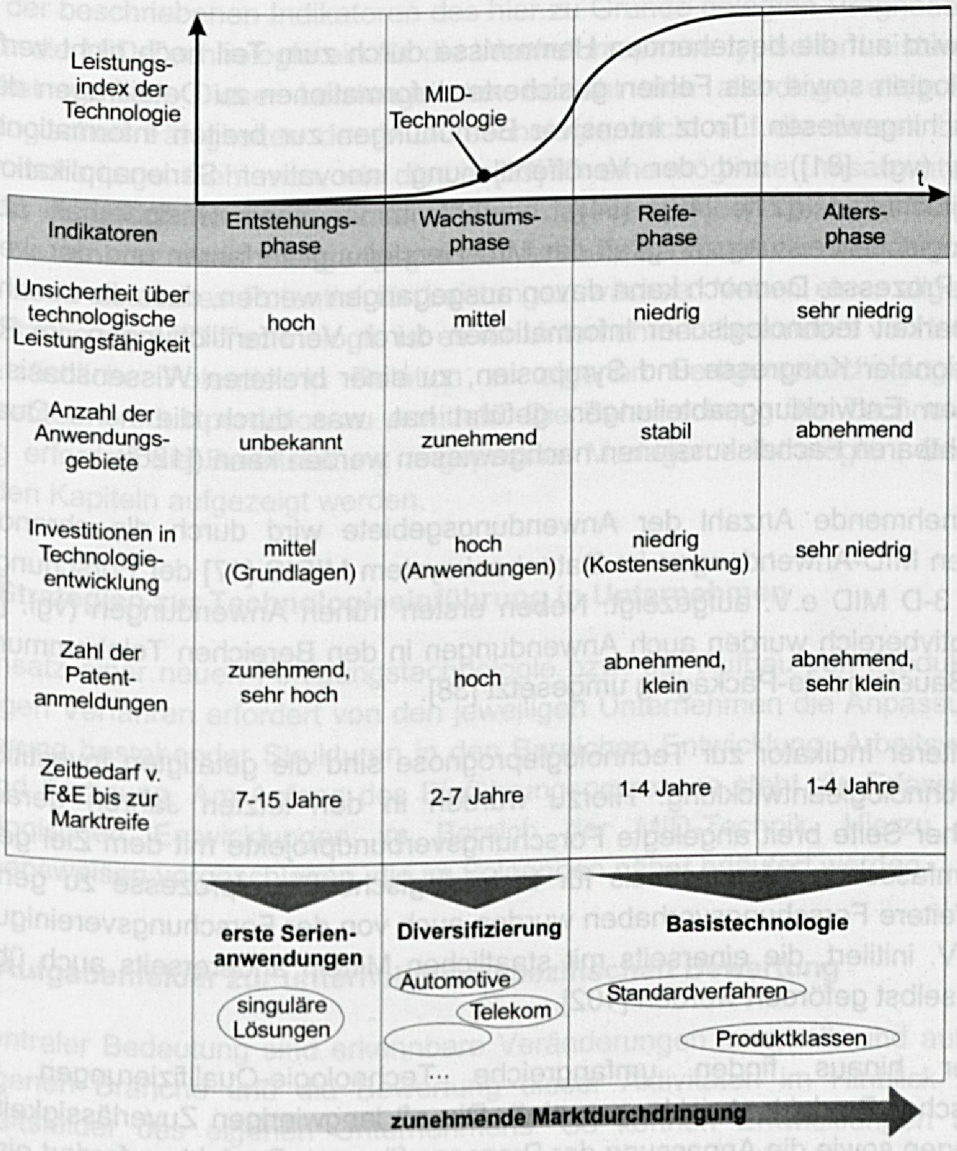
4. Bei Annäherung einer Technologie an ihre Leistungsgrenze steigt die Wahrscheinlichkeit des Auftretens einer neuen, auf einem anderen Lösungsprinzip basierenden Technologie.

Eine allgemein anerkannte Variante eines leistungszyklusbezogenen Modells stellt das von der Unternehmensberatung Arthur D. Little vorgestellte Technologielebenszyklus-Konzept dar, das sich vor allem nach den ersten drei der oben genannten Annahmen richtet (vgl. [131], [138]).

Die Entwicklung des Leistungsniveaus einer Technologie verläuft in diesem Modell S-förmig und ist in die vier Bereiche Entstehungs-, Wachstums-, Reife- und Altersphase unterteilt. Die Ermittlung des jeweiligen Leistungsindizes erfolgt anhand von Indikatoren, deren Einschätzung auf argumentativ abgeleiteten Kernaussagen zum Entwicklungsstand der betreffenden Technologie beruht. Den vier Technologiephasen werden bei Arthur D. Little drei verschiedene Technologietypen (Schrittmacher- , Schlüssel- und Basistechnologie) zugeordnet, die aber bei der Betrachtung der MID-Technologie nicht in gleicher Weise herangezogen werden können. Der Grund hierfür ist die hohe Variantenvielfalt einzelner Herstellungsverfahren, so dass aus der Verfügbarkeit einer hohen Anzahl einzelner Technologien keine allgemein gültige Kerntechnologie abgeleitet werden kann.

3.1.2 Modellbezogene Charakterisierung der MID-Technologie

Auf Basis der im vorgestellten Modell insgesamt dargelegten Indikatoren wurde eine Auswahl relevanter und tatsächlich charakterisierbarer Indikatoren getroffen. Diese Indikatoren des leistungszyklusbezogenen Modells wurden für eine Bewertung der MID-Technologie herangezogen und sind im folgenden Bild dargestellt.



Indikatoren	Entstehungs-phase	Wachstums-phase	Reife-phase	Alters-phase
Unsicherheit über technologische Leistungsfähigkeit	hoch	mittel	niedrig	sehr niedrig
Anzahl der Anwendungs-gebiete	unbekannt	zunehmend	stabil	abnehmend
Investitionen in Technologie-entwicklung	mittel (Grundlagen)	hoch (Anwendungen)	niedrig (Kostensenkung)	sehr niedrig
Zahl der Patent-anmeldungen	zunehmend, sehr hoch	hoch	abnehmend, klein	abnehmend, sehr klein
Zeitbedarf v. F&E bis zur Marktreife	7-15 Jahre	2-7 Jahre	1-4 Jahre	1-4 Jahre

Bild 17: Standortdefinition für die MID-Technologie in Bezug auf den Technologielebenszyklus nach Arthur D. Little[3]

[3] abgeleitet aus [52], ergänzend [131], [138]

Gegenüber dem in [52] dargestellten Technologietypen-Konzept wurden die Indikatoren Auswirkungen auf Leistungs-Kosten-Verhältnis, Typ der Patente, Zugangsbarrieren und Ausschöpfungsgrad des Wettbewerbspotentials nicht für die Bewertung der MID-Technologie herangezogen. Eine Einschätzung dieser Kennzahlen ist mangels der Verfügbarkeit ausreichend gesicherter Informationen nicht möglich. Die Einschätzung der ausgewählten Indikatoren soll nun näher dargelegt werden:

In [39] wird auf die bestehenden Hemmnisse durch zum Teil noch nicht verfügbare Technologien sowie das Fehlen gesicherter Informationen zu Detailfragen der MID-Technik hingewiesen. Trotz intensiver Bemühungen zur breiten Informationsbereitstellung (vgl. [81]) und der Veröffentlichung innovativer Serienapplikationen in Fachzeitschriften ([21], [46], [54]), besteht immer noch Unsicherheit über die technologische Leistungsfähigkeit der MID-Herstellungsverfahren und der weiterführenden Prozesse. Dennoch kann davon ausgegangen werden, dass die zunehmende Verfügbarkeit technologischer Informationen durch Veröffentlichungen, im Rahmen internationaler Kongresse und Symposien, zu einer breiteren Wissensbasis in den jeweiligen Entwicklungsabteilungen geführt hat, was durch die hohe Qualität in beobachtbaren Fachdiskussionen nachgewiesen werden kann ([126]).

Die zunehmende Anzahl der Anwendungsgebiete wird durch die chronologisch erfassten MID-Anwendungen im Datenbanksystem MIDIS [17] der Forschungsvereinigung 3-D MID e.V. aufgezeigt. Neben ersten frühen Anwendungen (vgl. [66]) im Automotivbereich wurden auch Anwendungen in den Bereichen Telekommunikation sowie Bauelemente-Packaging umgesetzt [38].

Ein weiterer Indikator zur Technologieprognose sind die getätigten Investitionen in die Technologieentwicklung. Hierzu wurden in den letzten Jahren gerade von staatlicher Seite breit angelegte Forschungsverbundprojekte mit dem Ziel gefördert, eine umfassende Wissensbasis für technologische Einzelprozesse zu generieren [77]. Weitere Forschungsvorhaben wurden auch von der Forschungsvereinigung 3-D MID e.V. initiiert, die einerseits mit staatlichen Mitteln andererseits auch über den Verein selbst gefördert werden [102].

Darüber hinaus finden umfangreiche Technologie-Qualifizierungen anhand spezifischer Produktentwicklungen statt. Die oft langwierigen Zuverlässigkeitsuntersuchungen sowie die Anpassung der Prozesse für neue Produkte erfordert ein hohes Maß an Investitionen, wie dies am bereits 1998 vorgestellten PSGA der Firma Siemens deutlich wird [9]. Insgesamt werden derzeit hohe Investitionen getätigt, um Verfahren und Produkte der MID-Technologie zu entwickeln (vgl. Forschungsprojekte der Forschungsvereinigung 3-D MID e.V. [39], [102]).

Letztlich stellt auch die Zahl der Patentanmeldungen einen wichtigen Indikator zur Einschätzung der Leistungsfähigkeit der MID-Technologie dar. In [117] ist eine Patentrecherche dargestellt, die eine stark expandierende Zahl an Patenanmeldungen seit Mitte der 80er Jahre ermittelte. Neben Patenten zu einzelnen Herstellungsverfahren sind es seit Anfang der 90er Jahre insbesondere Patente zu einzelnen Produktkonzeptionen.

Mittels der beschriebenen Indikatoren des hier zu Grunde gelegten Prognosemodells kann für die MID-Technologie ein für die Wachstumsphase typischer Leistungsindex abgeleitet werden. Dieser Leistungsindex bezieht sich allerdings allein auf die technologischen Fähigkeiten der MID-Technologie, nicht auf die derzeit bekannte ökonomische Lage. Geht man, wie dies in [39] für eine mögliche Umsatzentwicklung ebenfalls dargelegt wurde, davon aus, dass der Verlauf der Leistungsfähigkeit S-förmig bis hin zur einer Sättigungsgrenze verläuft, so bietet die MID-Technologie derzeit noch deutliches Potential für Leistungszuwächse. Neben einer allgemeinen Einschätzung der MID-Technologie ist es für Unternehmen besonders von Interesse, das tatsächliche Potential in Relation zu eigenen Fertigungstechnologien und angestrebten Produktportfolios zu ermitteln. Die Beherrschung der Technologieeinführung erfordert die Bereitstellung angepasster Managementstrategien, die in den folgenden Kapiteln aufgezeigt werden.

3.2 Strategien zur Technologieeinführung in Unternehmen

Der Einsatz einer neuen Fertigungstechnologie bzw. der Aufbau von Produkten mit neuartigen Verfahren erfordert von den jeweiligen Unternehmen die Anpassung und Erweiterung bestehender Strukturen in den Bereichen Entwicklung, Arbeitsvorbereitung und Fertigung. Am Anfang des Einführungsprozesses steht die Erfassung der technologischen Entwicklungen im Bereich der MID-Technik. Hierzu werden Vorgehensweisen vorgeschlagen, die im Folgenden näher erläutert werden.

3.2.1 Aufgabenfelder zur unternehmensspezifischen Bewertung

Von zentraler Bedeutung sind erkennbare Veränderungen innerhalb und außerhalb der eigenen Branche und die Bewertung dieser Aktivitäten im Hinblick auf die Geschäftsfelder des eigenen Unternehmens. So können Entwicklungen anderer Industriezweige, die bereits MID-Produkte oder -Verfahren einsetzen, stimulierend auf die Interessen eigener Betätigungsfelder wirken. Diese Aussage trifft in vielen Fällen für Applikationen der Heißprägetechnik zu, deren Anwendungsgebiete eine hohe Diversifizierung aufweist. Neben Anwendungen im Automobil [116], [118] finden sich ebenfalls Produkte in den Bereichen Industrieelektronik [97], Regelungs- und Antriebstechnik [86].

Im Anschluss an die Technologieerfassung muss eine grundsätzliche Aussage zum Stellenwert der MID-Technologie im Vergleich zu konventionellen Fertigungsverfahren getroffen werden. Im Fokus dieser Betrachtungen steht neben der strategischen Unternehmensentwicklung die Festigung und der Ausbau von Marktpositionen und Kompetenzfeldern.

Eine positive Entscheidung zum Stellenwert der MID-Technologie kann dabei nur im Zusammenwirken mit einer ebenfalls positiven Bewertung der sich aus dem Einsatz mit der MID-Technologie ergebenden und erzielbaren Rationalisierungspotentiale fallen. Damit eng verknüpft ist die Bewertung der vorhandenen Kompetenzen. Im Falle einer hohen Wertschöpfung durch bereits bestehende, zuverlässig verfügbare Verfahren und Produkte erscheint die Einführung neuer Technologien nur dann sinnvoll, wenn sie diese zur Umsetzung neuer Produkte unterstützen und nicht mit den bestehenden Verfahren konkurrieren.

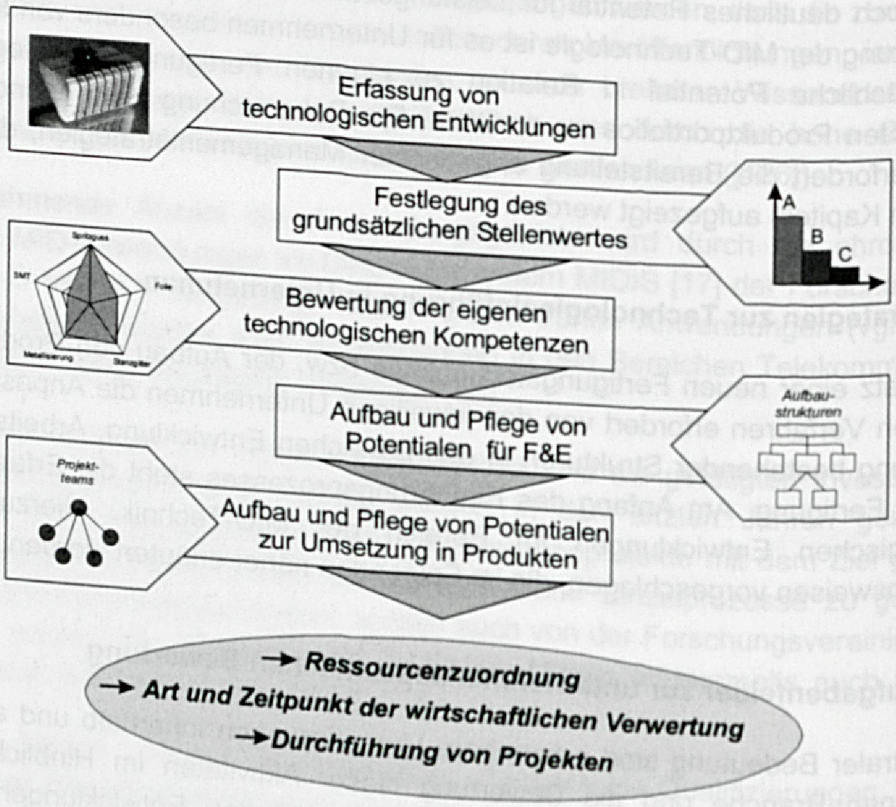


Bild 18: Vorgehensweise und Aufgabenfelder für die unternehmensorientierte Bewertung der MID-Technologie

Nur durch die Identifikation erweiterter Realisierungspotentiale hochintegrierter Baugruppen lässt sich der entstehende Aufwand für Forschung und Entwicklung rechtfertigen. Gerade aber für Unternehmen mit niedriger Technologiekompetenz kann durch die MID-Technologie die Herstellung neuer Produkte und damit die

Erschließung neuer Märkte verbunden sein. Dies gilt insbesondere für den Bereich kunststoffverarbeitender Betriebe, deren Produkte durch die zusätzlich integrierte elektrisch-mechanische Funktionalität Wertsteigerungspotentiale erzielen.

Im Falle einer Befürwortung der MID-Technologie als Gegenstand zukünftiger Kompetenzfelder ist es notwendig, entsprechende Potentiale zur Erforschung und Entwicklung der betrachteten Teilprozesse bereitzustellen. Neben einer unternehmensinternen Beschaffung der Technologie ist es auch möglich, diese durch die Übernahme und dem Zukauf anderer, bereits in der Technologie aktiven Unternehmen, zu realisieren.

Deutlich wird dies bei der Übernahme von MID LLC durch Tyco Electronics in den USA: Die MID LLC entstand als Ausgründung der Circuit Wise Ltd., um sich ausschließlich auf die Kernkompetenzen Entwicklung und Beschichtung von MID-Anwendungen zu konzentrieren. Durch diese Übernahme wurde das bisher einzige Unternehmen, das sich in allen Geschäftsfeldern mit der MID-Technologie befasste, in einen Großkonzern eingegliedert.

Ergänzend zu den notwendigen Entwicklungspotentialen ist darüber hinaus die Generierung einer Struktur zur wirksamen Umsetzung der Entwicklungsarbeiten erforderlich. Das oben angeführten Beispiel verdeutlicht den Zusammenhang vorhandener Entwicklungspotentiale mit der notwendigen Bereitstellung des produktionsspezifischen Realisierungspotentials. Nur durch eine marktorientierte Umsetzung innovativer Produkte und Verfahren kann damit ein ökonomischer Wertzuwachs für das Unternehmen entstehen. Hierfür ist es unerlässlich, die Breite und Tiefe der angestrebten Beherrschung der vom Unternehmen selektierten Technologiefelder festzulegen. Dies ist verbunden mit einer prinzipiellen Ressourcenzuordnung, die sich sowohl auf Kosten- als auch auf Personalbudgets bezieht.

In einem weiteren Schritt gilt es die Arten und Zeitpunkte der wirtschaftlichen Verwertung von der im Unternehmen nun verfügbar bereitgestellten Technologie zu definieren. Dies kann einerseits durch die Anwendung der MID-Technologie in Prozessen und Produkten andererseits auch durch den unternehmensexternen Wissensverkauf geschehen, wie dies am oben angeführten Beispiel der MID LLC deutlich wird.

Als letzter Schritt der erfolgreichen Technologieeinführung ist die Durchführung von Projekten anzuführen, mit denen eine technologische Realisierung und kommerzielle Bewertung der innovativen Prozess- und Produktgestaltung erzielt wird. Im Bereich der MID-Technologie muss dabei davon ausgegangen werden, dass zunächst eine Reihe an Vorlaufprojekten für eine Serienentwicklung bearbeitet werden muss. Alternative Modelle für die Produkt- und Prozessentwicklung werden in den Kapiteln 3.2.3 und 4.3 näher erläutert.

3.2.2 Positionierung von Unternehmen

Die MID-Technologie ist insgesamt durch eine hohe Anzahl alternativer Verfahren zur Herstellung räumlich spritzgegossener Schaltungsträger geprägt, die wegen ihrer differenzierten Verfahrensmerkmale von einem einzelnen Unternehmen nicht allein bereitgestellt werden können.

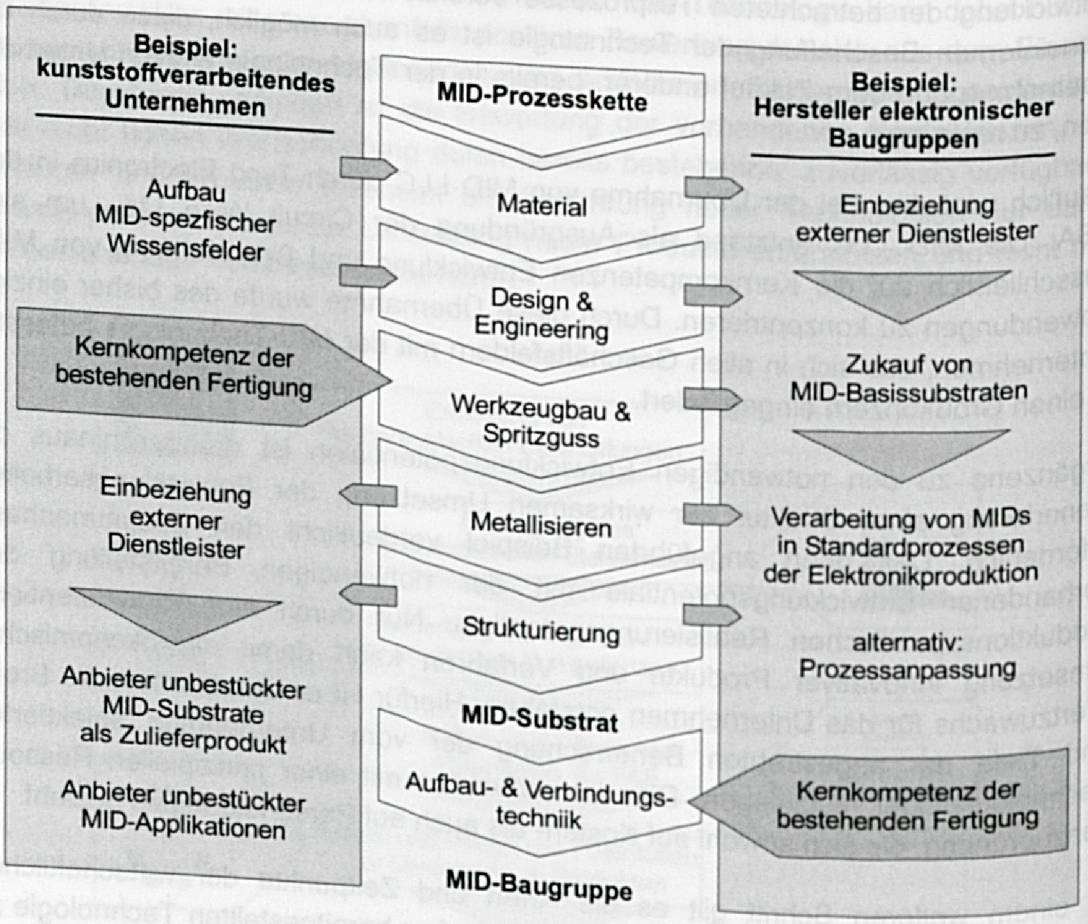


Bild 19: Beispiele für branchenspezifische Vorgehensweisen zur Einführung der MID-Technik in das bestehende Technologie-Portfolio

Der ökonomische Erfolg eines Unternehmens beim Einsatz der MID-Technik hängt damit entscheidend von der richtigen Auswahl geeigneter Technologiebereiche ab. Diese hat sich prinzipiell an der Wettbewerbsstrategie des Unternehmens, dessen internen Kompetenzfeldern und den externen Chancen und Risiken zu orientieren [52]. Zentrale Aufgabe ist es dabei, bestehendes Fertigungs-Know-how und vorhandene Kompetenzen sinnvoll durch spezifische MID-Verfahren oder -Prozesse zu erweitern. Aus Sicht einer erfolgsorientierten Geschäftspolitik von Unternehmen sind grundsätzlich zwei alternative Unternehmensstrategien zu unterscheiden, die der Technologieentwicklung bzw. -bereitstellung und die der Technologieanwendung.

Bezogen auf die MID-Prozesskette beginnt der Bereich der Technologiebereitstellung mit der Entwicklung MID-spezifischer Materialien (vgl. [72]), die sowohl eine gute Metallisierbarkeit aufweisen, aber ergänzend auch für Anforderungen aus den weiteren Prozessschritten, wie zum Beispiel dem Reflowlötprozess, konzipiert sind [61]. Im folgenden Prozessschritt sind Fragen der haftfesten und selektiven Metallisierung von Kunststoffsubstraten zu beantworten. Damit eng verbunden ist die Art der Strukturierung mit dem erforderlichen Layout der elektronischen Schaltung.

Jeder dieser skizzierten Prozessschritte erfordert eine umfangreiche Bearbeitung der spezifischen Aufgabenstellungen mit der Konsequenz, dass damit eine hohe Spezialisierung der jeweiligen Technologieanbieter verbunden ist. Dabei stellt sich die Frage, inwieweit die erarbeiteten Kompetenzfelder überhaupt von dem entwickelnden Unternehmen in eigenen Produktionsprozessen eingesetzt werden können. Betrachtet man die Kunststofflieferanten, so können diese zwar innovative Materialien für neue Anforderungen elektronischer Produkte zu Verfügung stellen, eine wirtschaftliche Umsetzung ist aber nur mit dem Technologieanwender, in diesem Fall dem kunststoffverarbeitenden Betrieb, möglich.

Dem Technologieanwender kommt damit eine Schlüsselposition für den Einsatz der erforschten Verfahren zu. Dieser kann Verfahren entweder in eigene Produktionsprozesse integrieren, wie das häufig beim Heißprägeverfahren üblich ist [68] oder Technologieanbieter als Dienstleister bei der Herstellung der MID-Applikationen miteinbeziehen. Der Anwender der MID-Technologie tritt hierbei als Systemlieferant gegenüber den weiterverarbeitenden Kunden auf, da er als Lieferant für die komplette Baugruppe verantwortlich ist.

3.2.3 F&E zur Wissensgenerierung

Die Basis der Technologieeinführung stellt die systematische Generierung der erforderlichen Informationen in Bezug auf die ausgewählten Technologiebereiche dar. Mit der Bereitstellung innovativer und in der Produktion zuverlässiger Verfahren ist eine Vielzahl von Forschungs- und Entwicklungsarbeiten verbunden, die in einzelnen Projekten erarbeitet werden.

Nach [47] werden alle F&E Aktivitäten nach ihrer Inkubationszeit segmentiert und drei Gruppen zugeordnet. Setzt man weiterhin voraus, dass für jede technologische Entwicklung ein begrenztes Budget zur Verfügung steht, so lässt sich dieses auf die strategisch differenzierten Projektgruppen verteilen.

Die erste Gruppe umfasst sogenannte Infrastrukturprojekte. Diese haben das Ziel, Grundlagenerkenntnisse zu einzelnen Technologiebereichen zu generieren. Ausgangspunkt jeder MID-Anwendung ist dabei die Verfügbarkeit geeigneter Materialien. Forschungs- und Entwicklungsarbeiten erfordern gerade in diesem

Bereich einen hohen personellen und zeitintensiven Aufwand, der selten von einzelnen Firmen allein getragen werden kann.

Zur Lösung wurden in der Vergangenheit daher öffentlich geförderte Verbundprojekte initiiert, die eine hohe Themenvielfalt beinhalten und deren Ergebnisse nur im Zusammenwirken vieler spezialisierter Unternehmen erarbeitet werden konnten. Die tatsächlich erreichbaren Wirkungen im Blick auf die Produktentwicklung und -umsetzung sind eher als langfristig zu beurteilen, da Infrastrukturprojekte auf die Bearbeitung verfahrensspezifischer Problemstellungen fokussieren. Die Einbindung einer großen Zahl an kleinen und mittelständischen Unternehmen ermöglicht eine weite Wissensverbreitung über neue Technologien [77].

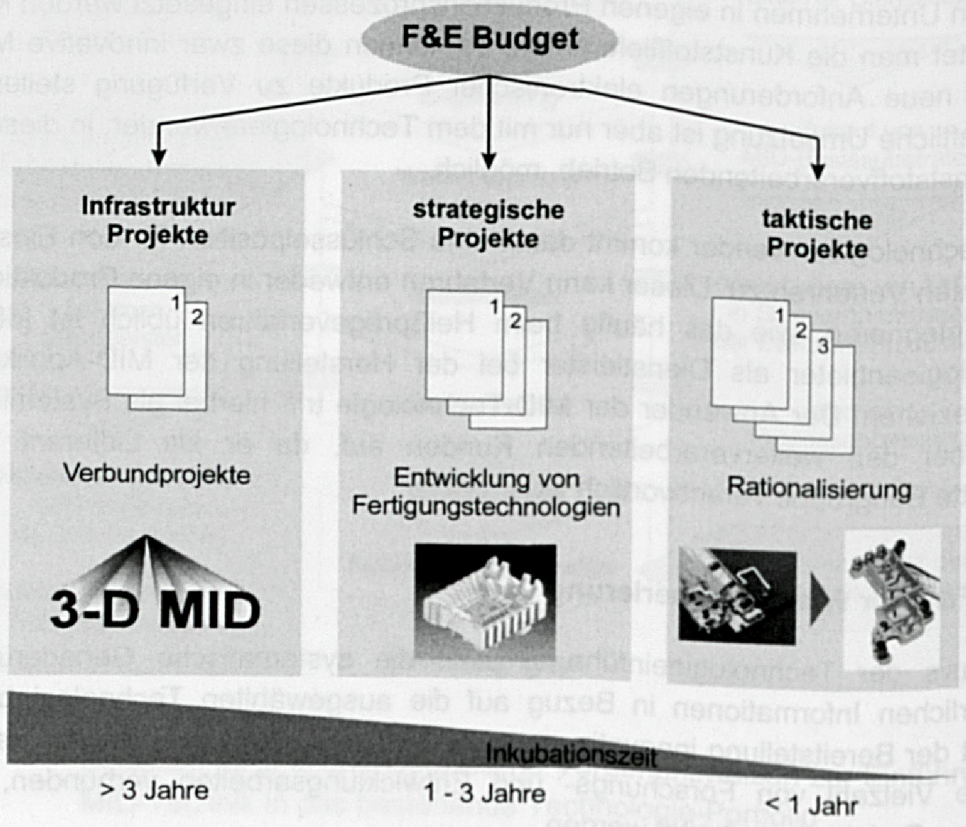


Bild 20: Strategiegerechte Allokation des F&E Budgets [47]

Strategische Projekte zielen auf neue Produkte und grundlegende Prozessinnovationen. In diesem Fall besteht die Entwicklungsaufgabe bereits darin, konkrete Produkte und Prozesse serientauglich umzusetzen, so dass die Durchführung der Forschungsarbeiten durchaus in einem einzelnen Unternehmen realisierbar ist. Ein Beispiel für die Verfolgung einer derartigen Entwicklungsstrategie ist die von Matsushita entwickelte MID-Prozesskette [148], die in erster Linie auf die Umsetzung eines innovativen und miniaturisierten Konzeptes zur Gestaltung eines Bewegungssensors zielt.

Ergänzend ist es mit dem entwickelten Verfahren gelungen, weitere Produkte mit hochintegrierten Bauelementen zu fertigen. Die erste Präsentation des Serienproduktes im Rahmen des MIDIA-Meetings 1999 überraschte die MID-Fachwelt, da es einer Firma gelungen war, in unternehmensinternen F&E Bemühungen eine spezifische MID-Fertigungstechnologie zu entwickeln, diese unmittelbar auf eine Serienapplikation zu übertragen und anzuwenden.

Zur Verbesserung von bestehenden Produkten oder Prozessen werden taktische Projekte initiiert und durchgeführt, die eine höhere Produktfunktionalität durch Integration oder eine Rationalisierung in der Produktfertigung erzielen. Diese Arbeiten beziehen sich auf die Entwicklung neuer Produkte, aber auch auf die Weiterentwicklung bestehender Applikationen.

Als Beispiel sei hierfür die in [63] dargestellte Übertragung einer konventionellen Baugruppe eines Bandruckautomaten in eine MID-Baugruppe angeführt. Gegenüber der bestehenden Variante mit FPCs wurden durch das MID eine Reihe an Vorteilen erreicht. Die hohe Funktionsintegration in ein Bauteil reduzierte den Montageaufwand, was zu einer hohen Zeitersparnis in der Produktion führte. Weiterhin konnten beträchtliche Vorteile im Handling erzielt werden, dies führte insgesamt zu einer Kosteneinsparung von 60%.

Die Art der Verwendung des zur Verfügung stehenden F&E Budgets, sei es durch die Einwerbung öffentlicher oder durch intern bereitgestellte Mittel, wird durch die jeweilige Geschäftspolitik und das bereits vorhandene Wissen eines Unternehmens bestimmt. Besonderer Bedeutung kommt in diesem Zusammenhang der industriellen Gemeinschaftsforschung zu.

3.2.4 Bedeutung der industriellen Gemeinschaftsforschung

In den letzten Jahren war eine Umstrukturierung weg von zentralen Forschungsabteilungen hin zu dezentralen Profit-Centern in den Unternehmen zu beobachten. Die Straffung der F&E Abteilungen sowie deren Ausrichtung auf betriebswirtschaftliche Effizienz führte dazu, dass nicht alle F&E Kompetenzen, die ein Unternehmen im internationalen Wettbewerb vorhalten muss, gepflegt werden konnten [55]. Neben den unternehmensinternen F&E Aktivitäten wurden auch zunehmend Aufträge an externe Einrichtungen vergeben.

Darüber hinaus war es notwendig geworden, Kooperationen und Gemeinschaftsprojekte auf nationaler oder internationaler Basis zu initiieren. Diese beinhalten einerseits die bilaterale Zusammenarbeit mit externen Forschungseinrichtungen und Instituten, andererseits auch Verbundvorhaben mit anderen, teils konkurrierenden Unternehmen. Gerade für den Bereich der MID-Technologie sind interdisziplinäre und unternehmensübergreifende Kooperationen erforderlich (siehe 3.2.5). Bei der

Betrachtung der unternehmensübergreifenden F&E Kooperation lassen sich insgesamt drei alternative Kooperationsarten definieren (nach [52]).

Bei vertikalen F&E Kooperationen arbeitet das Unternehmen in systematischer Weise mit Partnern zusammen, die in der Wertkette der MID-Technologie relativ zur eigenen Position entweder vorgelagert sind und damit als Zulieferer oder nachgelagert als Kunde fungieren. Ein Beispiel hierfür sind die von der Oechsler AG produzierten Heißprägeanwendungen, die als Sensorelemente in Automotiv-Anwendungen wie zum Beispiel in einer Leuchtweitenregulierung und Turboladerverstellung der Fa. Hella eingesetzt werden [116].

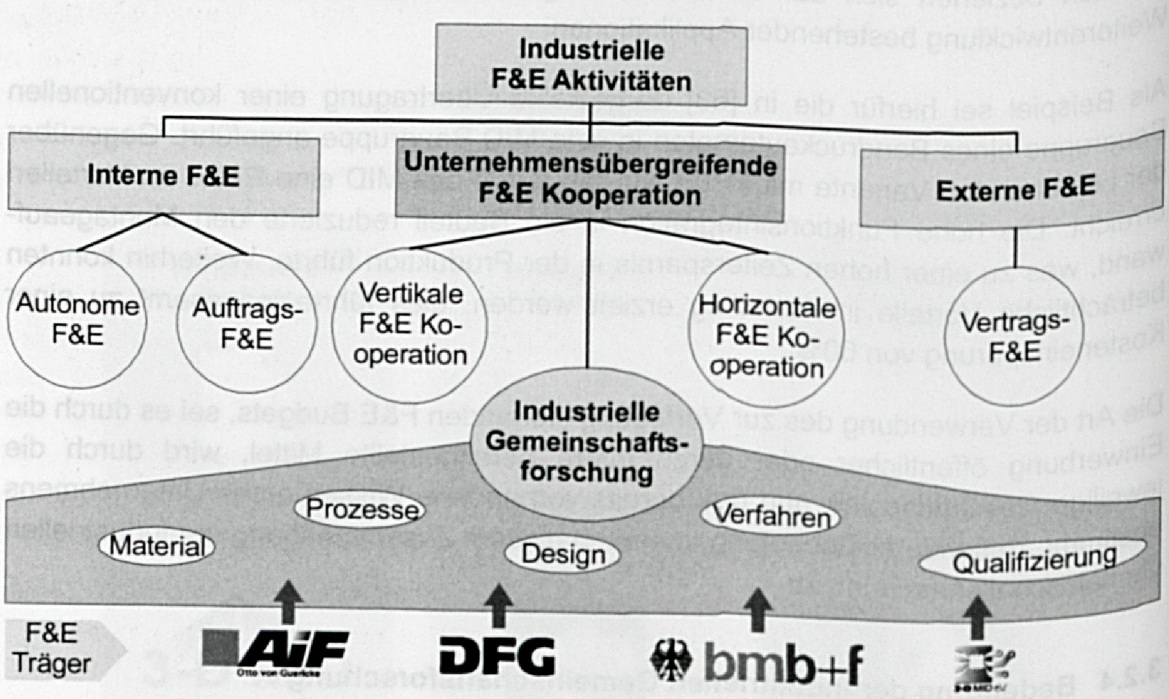


Bild 21: Bedeutung der Gemeinschaftsforschung im Bereich industrieller F&E (in Anlehnung an [52])

Bei horizontalen F&E Kooperationen arbeiten Unternehmen mit anderen Anbietern aus gleichen Geschäftsbereichen zusammen. Gemeinsames Interesse ist hierbei die Lösung schwerwiegender, technologischer, teils naturwissenschaftlicher Fragestellungen, die als Grundlage für ähnliche Produkte herangezogen werden können. Im Vergleich mit anderen Technologiefeldern wurde diese Art der Kooperation in der MID-Technik noch nicht beobachtet.

Eine Schlüsselposition der unternehmensübergreifenden Kooperationen kommt der industriellen Gemeinschaftsforschung zu, die für den Bereich der MID-Technologie maßgeblich durch die Forschungsvereinigung Räumliche Elektronische Baugruppen

3-D MID e.V. unterstützt wird. Als Verbund von überwiegend kleinen und mittelständischen Unternehmen und einigen wenigen Großkonzernen und Forschungseinrichtungen bildet sie eine breite Basis für eine effiziente Zusammenarbeit zur Erforschung von MID-spezifischen Fragestellungen [102].

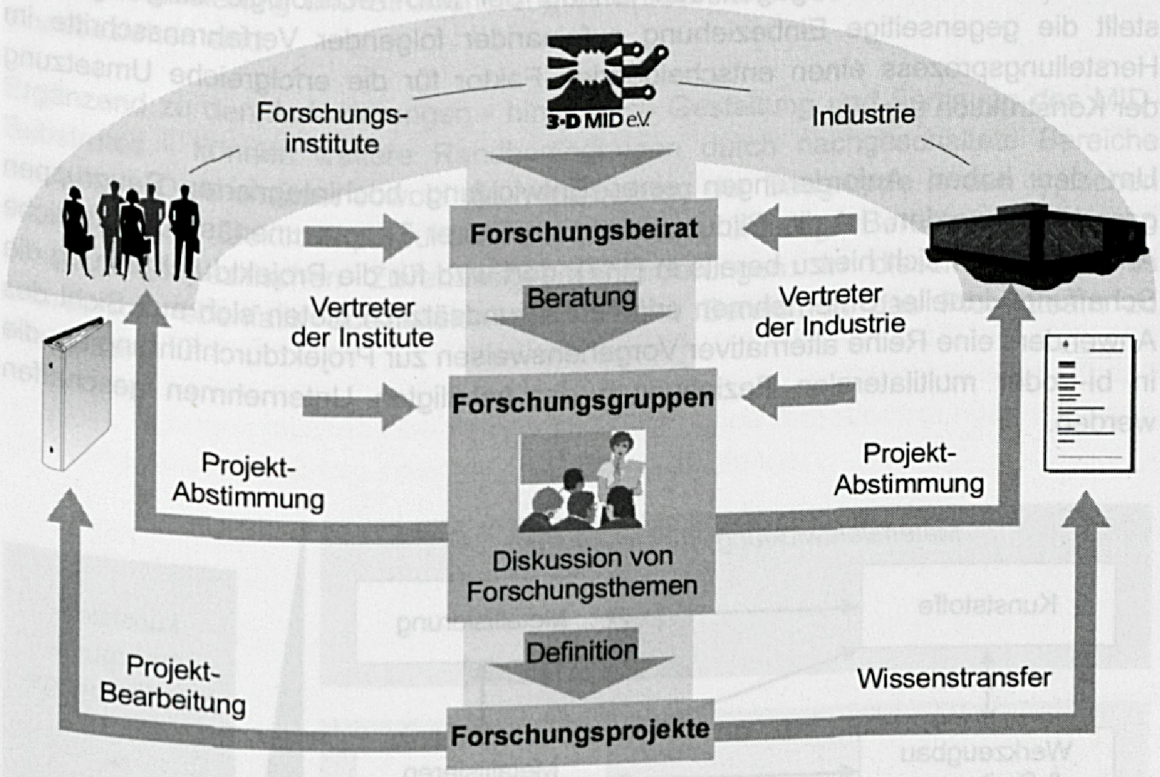


Bild 22: Struktur der industriellen Gemeinschaftsforschung der Forschungsvereinigung Räumliche Elektronische Baugruppen 3-D MID e.V.

Dabei werden die relevanten Fragestellungen in einzelnen Fachgruppen besprochen und daraus Projekte definiert. Unterstützt und kritisch begleitet wird die Arbeit der Fachgruppen durch den Forschungsbeirat der Forschungsvereinigung, der sich überwiegend aus Vertretern der Mitgliedsfirmen zusammensetzt.

Die Bearbeitung der Forschungsvorhaben erfolgt bei den eingebundenen Instituten. Im projektbegleitenden Ausschuss repräsentieren Vertreter die Interessen der beteiligten Unternehmen und beraten die wissenschaftlichen Mitarbeiter bei der Durchführung der experimentellen Untersuchungen. Damit ist gewährleistet, dass ein hoher Bezug zur industriellen Umsetzung der Forschungsergebnisse erzielt werden kann.

3.2.5 Bildung interdisziplinärer Projektteams

Die notwendige Verknüpfung sehr unterschiedlicher Branchen zur Fertigung von MID-Baugruppen bedingt gleichzeitig die frühzeitige Einbindung aller betroffenen Bereiche in den Entwicklungsprozess. Wie noch in Kapitel 4.2.1 am Beispiel der diskutierten Hemmnisse gegen den Einsatz der MID-Technologie dargelegt wird, stellt die gegenseitige Einbeziehung aufeinander folgender Verfahrensschritte im Herstellungsprozess einen entscheidenden Faktor für die erfolgreiche Umsetzung der Konstruktion dar.

Um den hohen Anforderungen einer Entwicklung hochintegrierter Baugruppen gerecht zu werden, ist die Bildung interdisziplinärer Teams unerlässlich. Ähnliche Ansätze finden sich hierzu bereits in [117], dort wird für die Projektdurchführung die Schaffung virtueller Unternehmen erläutert. Grundsätzlich bieten sich aus Sicht des Anwenders eine Reihe alternativer Vorgehensweisen zur Projektdurchführung an, die in bi- oder multilateralen Beziehungen der beteiligten Unternehmen geschaffen werden.

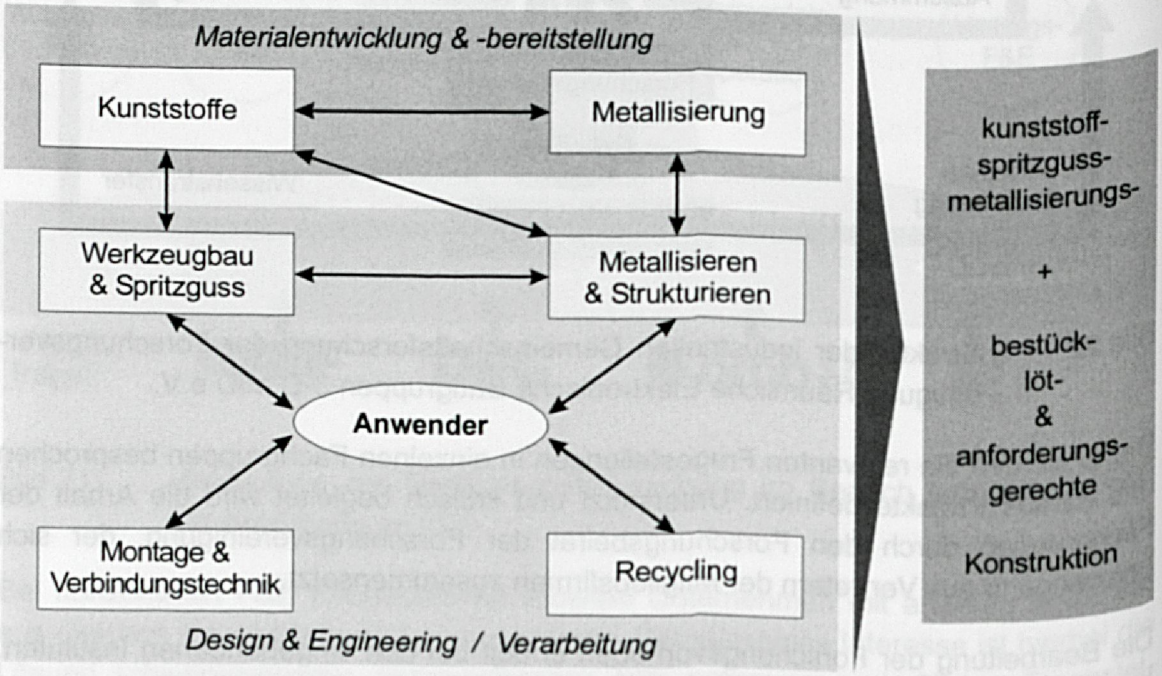


Bild 23: Vernetzung der einzelnen Unternehmen bzw. Geschäftsbereiche in Projektteams zur interdisziplinären Zusammenarbeit

Einen zentralen Stellenwert in der MID-Entwicklung nimmt die interdisziplinäre Zusammenarbeit von Rohstoffhersteller und Verarbeiter ein. Zur Bereitstellung haftfest metallisierbarer Thermoplasten ist ein enges Abstimmen der Metallisierungs-

Chemie auf den betrachteten Kunststoff erforderlich. Dabei müssen auch die Verarbeitung des Kunststoffs im Spritzgussprozess sowie die Badführung der Oberflächentechnik auf die geforderten Randbedingungen abgestimmt werden.

Für den Anwender bedeutet dies, dass der Hersteller des Basissubstrates sowie der für die Metallisierung und Strukturierung verantwortliche Betrieb in das Projektteam einzubeziehen sind.

Ergänzend zu den Anforderungen - hinsichtlich Gestaltung und Fertigung des MID-Substrates - können weitere Randbedingungen durch nachgeschaltete Bereiche entstehen. Dies umfasst sowohl die Verarbeitung der Baugruppe in den typischen Prozessen der Elektronikproduktion, als auch die frühzeitige Berücksichtigung von anwendungsspezifischen Zuverlässigkeitsanforderungen. In diesem Fall ist es erforderlich, ebenfalls Spezialisten aus diesem Bereich in das Projektteam zu integrieren.

4 Hemmnisse und Lösungswege zur Umsetzung von MID-Serienapplikationen

In Kapitel 2 wurde dargelegt, dass die erwartete Marktdurchdringung mit MID-Anwendungen im Bereich elektronischer Baugruppen, die durch die jährlich veröffentlichten Umsatzzahlen der MID International Association MIDIA prognostiziert wurde, nicht in dem ursprünglich erhofften Ausmaß stattgefunden hat. Trotz der intensiven Erarbeitung serienreifer Produktkonzepte wurde nur ein Teil dieser Entwicklungen tatsächlich in Serie umgesetzt [53]. Diese Aussage wird durch eine Analyse des Datenbanksystems MIDIS gestützt; so konnte festgestellt werden, dass von den dort abgelegten 141 Produktentwicklungen nur ca. 30 Prozent als Serienanwendung realisiert wurden. Daneben sind ebenso Demonstratoren und Prototypen-Entwicklungen in der Datenbank enthalten, weiterhin auch seriennahe Entwicklungen, die aufgrund spezifischer Hindernisse nicht in eine industrielle Fertigung überführt werden konnten.

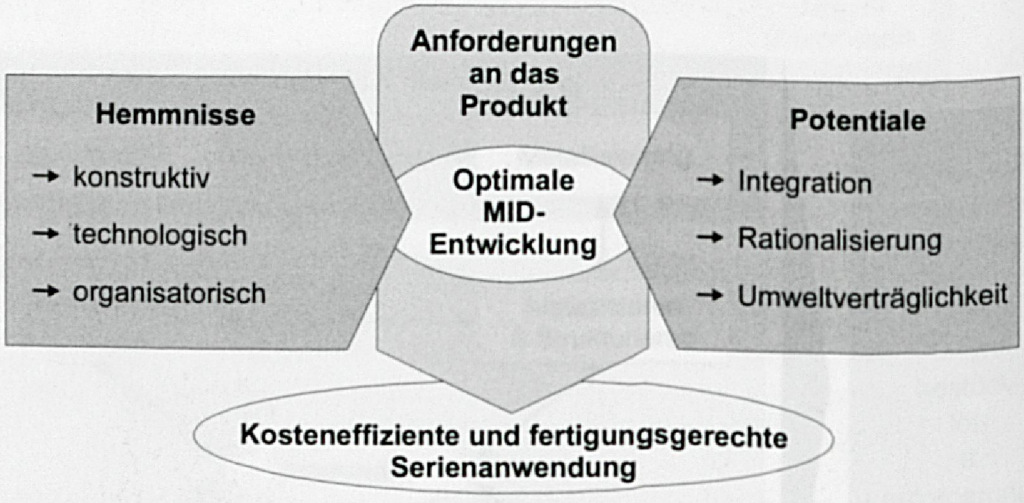


Bild 24: Einflussgrößen bei der Entwicklung einer MID-Baugruppe

Dennoch gibt es aber eine Reihe erfolgreicher MID-Anwendungen, die wegen ihrer hohen Funktionsintegration und ihrer rationellen Produktionsverfahren erfolgreich im Markt positioniert werden konnten. Da eine Reihe an Randbedingungen die Chancen einer marktreifen Realisierung maßgeblich beeinflussen, sind die Gründe sowohl für eine erfolgreiche als auch für eine letztlich nicht in die Produktion gebrachte Entwicklungsarbeit aus Sicht der interessierten Anwender zunächst nicht zu identifizieren.

Im Rahmen dieses Kapitels werden ausgewählte MID-Anwendungen hinsichtlich ihrer bekannten Vorteile und Einsatzpotentiale analysiert und produktbezogene

Problemfelder identifiziert. Darauf aufbauend werden produktübergreifende Kriterien herausgestellt, die maßgeblichen Einfluss auf eine erfolgreiche MID-Entwicklung haben. Zur Unterstützung von Konstrukteuren und Entwicklern, werden darauf aufbauend Lösungswege aufgezeigt und abgeleitet, die für eine erfolgreiche MID-Entwicklung von besonderer Bedeutung sind.

4.1 Identifikation anwendungsspezifischer Kriterien

In den vergangenen Jahren wurden bei Seminaren, Workshops und Kongressen eine Reihe an innovativen MID-Entwicklungen präsentiert, die trotz umfangreicher Produkt- und Prozessqualifikationen letztlich nicht in eine Serienproduktion überführt werden konnten. Demgegenüber gibt es in ihrer äußerlichen Gestaltung sehr ähnliche, erfolgreich im Markt positionierte Produkte, die einerseits gleiche Funktionalitäten andererseits identische Herstellungsprozesse aufweisen. Daraus lässt sich die grundsätzliche Eignung der eingesetzten Verfahren für das betrachtete Produkt belegen. Dennoch müssen eine Reihe von zusätzlichen Randbedingungen vorliegen, die maßgeblich zum Erfolg einer MID-Entwicklung beitragen.

Eine der Fachwelt weitgehend bekannte MID-Entwicklung, die nicht in Serie produziert wurde, ist die im Zweikomponentenspritzgussverfahren hergestellte ABS-Steckerplatine. Sie ist Teil eines ABS-Bremsmoduls im PKW und integriert neben der Leitungsstruktur drei Steckverbinder.

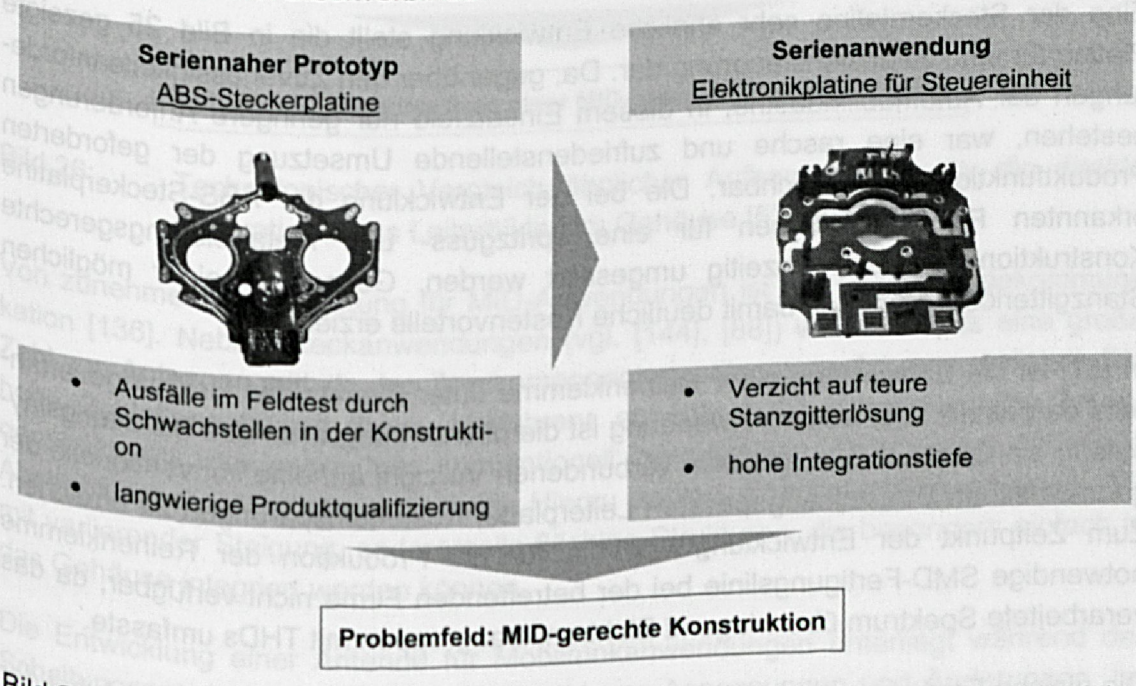


Bild 25: Vergleich unterschiedlicher Anwendungsbereiche auf der Basis gleicher Fertigungstechnologie [94]

Da es sich bei dieser Baugruppe um ein Sicherheitsteil handelt, wurden die spezifischen Tests der Automobilindustrie angewandt. Trotz zahlreicher bestandener Zuverlässigkeitsuntersuchungen kam es wegen einigen wenigen Ausfällen in den entscheidenden Feldtests nicht zur Serienumsetzung. Die mit acht Spulenkörpern bestückte Baugruppe wird in ein Aluminium-Druckgussgehäuse montiert. Bei diesem Fügevorgang kam es, späteren Analysen zufolge, zu Beschädigungen der Leitungsführung am Übergang zum länglichen Steuersteckers, so dass Ausfälle vorherzusehen waren. Um die Beschädigungen im Montageprozess zu vermeiden, wurden entsprechende Änderungen an der Steckerplatine durchgeführt.

Aufgrund der hohen Kosten für die Änderung des Spritzgusswerkzeuges und der entstandenen zeitlichen Verzögerung, wurden seitens des Anwenders keine weiteren Feldtests durchgeführt, so dass, trotz der hohen Kosteneinsparung gegenüber der konventionellen Lösung, ein Einsatz der MID-Baugruppe nicht weiter in Betracht gezogen wurde [93].

Anhand der umfangreichen Entwicklungsarbeiten an dem beschriebenen Produkt konnte dennoch die Fähigkeit des Zweikomponentenspritzgussverfahrens und die der qualitativ hochwertigen selektiven Metallisierung von Polyamiden nachgewiesen werden. Mit den in diesem Entwicklungsprojekt erreichten Erfahrungen und der stabilen Verfügbarkeit dieser Prozesskette war es hierauf möglich, andere Entwicklungsprojekte deutlich effizienter abzuwickeln.

Eine der Steckerplatine sehr ähnliche Entwicklung stellt die in Bild 25 gezeigte Platine für eine Jalousiensteuerung dar. Da, gegenüber den Zuverlässigkeitsanforderungen der Automobilindustrie, in diesem Einsatzfeld nur geringere Anforderungen bestehen, war eine rasche und zufriedenstellende Umsetzung der geforderten Produktfunktionalität erreichbar. Die bei der Entwicklung der ABS-Steckerplatine erkannten Randbedingungen für eine spritzguss- und metallisierungsgerechte Konstruktion konnten frühzeitig umgesetzt werden. Gegenüber einer möglichen Stanzgitterlösung wurden damit deutliche Kostenvorteile erzielt.

In [57] ist die Entwicklung einer Reihenklemme unter Einsatz des Heißprägeverfahrens dargestellt. Ziel dieser Anwendung ist die direkte Integration des Schaltungslayouts in ein Gehäuse, um, mit dem verbundenen Verzicht auf eine konventionelle der geometrischen Struktur angepassten Leiterplatte, Kosteneinsparungen zu erreichen. Zum Zeitpunkt der Entwicklung war die für die Produktion der Reihenklemme notwendige SMD-Fertigungslinie bei der betreffenden Firma nicht verfügbar, da das verarbeitete Spektrum überwiegend Elektronikbaugruppen mit THDs umfasste.

Die gleiche Forderung nach einer angepassten Elektronikfertigung ergibt sich bei der in Bild 26 rechts dargestellten Anwendung eines LED-Anzeigenelementes. Die hohen, variantenreichen Stückzahlen dieses Produktes bedingen eine flexible

Fertigungsstrategie, die beim Einsatz konventioneller Leiterplatten hohe Kosten verursacht. Mithilfe einer produktgerechten Fertigungslinie wurden die MID-typischen Vorteile einer rationellen und zuverlässigen Produktion erreicht [97].

Aus dem Vergleich der beiden Entwicklungen wird deutlich, dass die Herstellung von SMD-bestückten MID-Baugruppen angepasste Fertigungslinien erfordert. In eine konventionelle Prozesskette zur Montage elektronischer Baugruppen ist die Verarbeitung dieser MIDs nur schwer zu integrieren, so dass bei der industriellen Umsetzung zusätzliche Investitionskosten berücksichtigt werden müssen.

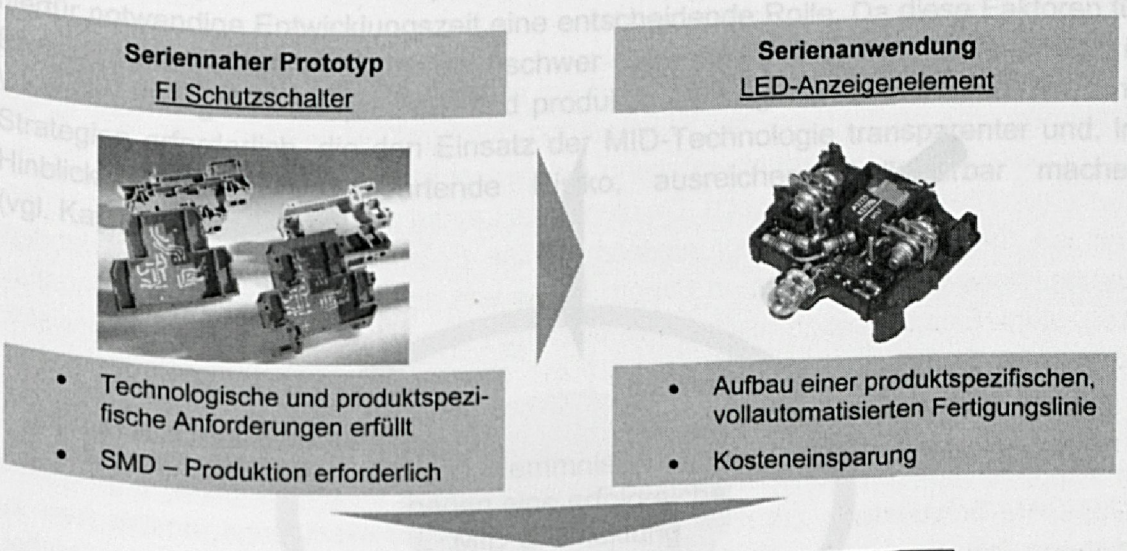


Bild 26: Technologischer Vergleich ähnlicher Aufbaukonzepte für die direkte Integration eines Leiterbildes im Gehäuse [57], [97]

Von zunehmender Bedeutung für MID-Anwendungen ist der Bereich Telekommunikation [136]. Neben Steckanwendungen (vgl. [144], [88]) wurde bereits eine große Zahl von Antennen mithilfe des Zweikomponentenspritzgussverfahrens realisiert. Die hohe Gestaltungsfreiheit dieses Verfahrens ermöglicht die Konzeption von Antennenstrukturen, die gegenüber konventionell hergestellten Teilen eine optimierte Abstrahlungscharakteristik aufweisen. Hierzu zählen einerseits Helixantennen [18] mit variierender Steigung, andererseits flächige Strukturen, die besonders einfach in das Gehäuse integriert werden können.

Die Entwicklung einer Antenne für Mobilfunkanwendungen unterliegt während der Schaltungsentwicklung einer hohen Anzahl von Anpassungen und Änderungen. Im Vergleich zu konventionellen Techniken sind Helixstrukturen mit variierender Steigung im 2K-Spritzguss verhältnismäßig einfach herzustellen. Werden Anpassungen erforderlich, so sind diese jedoch nur durch eine aufwendige Werkzeugänderung

durchzuführen, was hohe Änderungskosten verursacht und längere Bearbeitungszeiten erfordert. Im Falle der flachen Antennenstruktur können Änderungen rascher im Spritzgusswerkzeug abgebildet werden.

Beim Vergleich beider Produkte mit prinzipiell gleichen Funktionen wird deutlich, dass eine MID-Entwicklung den Erfordernissen des Marktes - insbesondere denen einer rechtzeitigen Verfügbarkeit - entsprechen muss. Nur mithilfe einer kosteneffizienten Produktkonzeption und einer folgenden termingerechten Produktrealisierung ist dem Problemfeld „time to market" wirksam zu begegnen.

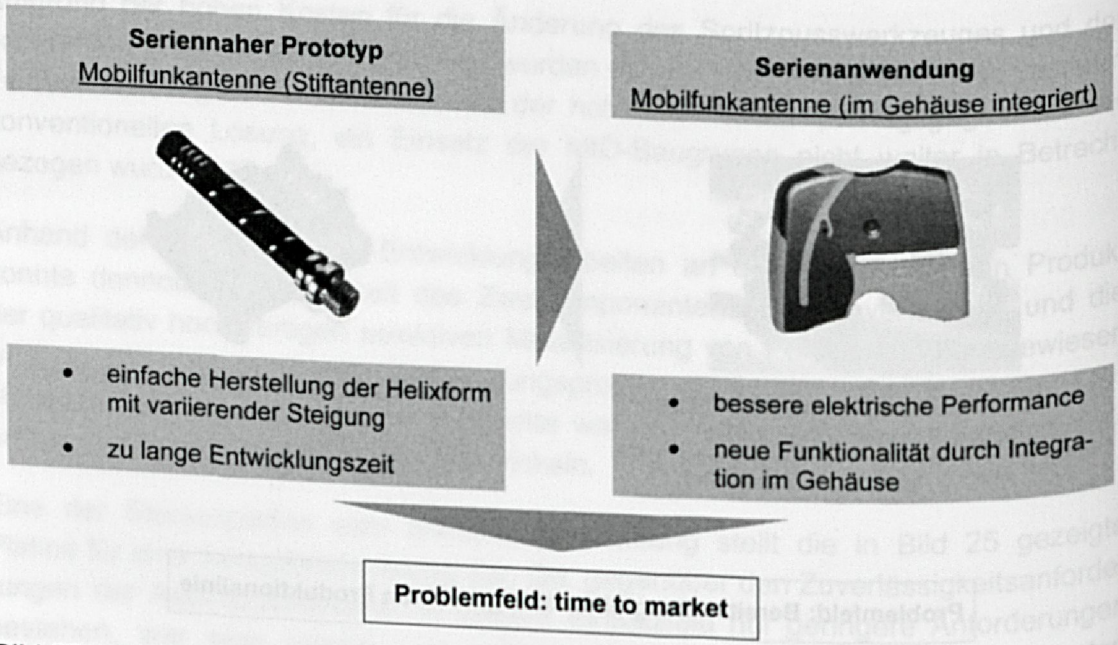


Bild 27: Vergleich ähnlicher Funktionsanforderungen für gleiche Produkte im Bereich Telekommunikation [94], [48]

Anhand der exemplarisch dargelegten Anwendungen wurde eine Reihe relevanter produktorientierter Kriterien aufgezeigt, die sich in drei Hauptkategorien zusammenfassen lassen.

Von entscheidendem Einfluss auf den Erfolg einer MID-Entwicklung ist die funktionsorientierte Konzeption der Baugruppe. Schwierigkeiten sind immer dann zu erwarten, wenn zu viele Randbedingungen eine spritzgussgerechte Konstruktion behindern.

Im Falle der erwähnten ABS-Steckerplatine ist dies an der direkten Übertragung einer konventionell aufgebauten Produktgeometrie in eine MID-Struktur zu erkennen. Bei einer Neukonzeption des gesamten Systems, inklusive Steckeranordnung und Geometrie des Aluminiumgehäuses, wäre eine funktionsorientierte - und damit dem Produkt entsprechende Gestaltung - möglich gewesen.

Das zweite angeführte Beispiel zeigt die enge Verknüpfung der MID-Baugruppe mit der benötigten Infrastruktur einer MID-Prozesskette. Die Verarbeitung räumlicher elektronischer Schaltungsträger kann in vielen Fällen nicht allein durch eine Standardausstattung einer konventionellen Elektronikfertigung geschehen, vielmehr sind dem Produkt angepasste Prozessketten bereitzustellen. Die im Vergleich zu Standardprozessen hierfür oft notwendig werdenden Investitionen, sind sorgfältig abzuwägen, damit eine ökonomische Produktion möglich wird.

Letztlich hängt der Erfolg einer MID-Entwicklung aber stark von marktbestimmten Randbedingungen ab. Hierbei spielen sowohl der geplante Markteintritt als auch die hierfür notwendige Entwicklungszeit eine entscheidende Rolle. Da diese Faktoren für Entwicklungsabteilungen einerseits schwer erkennbar sind und andererseits in Wechselwirkung mit den produkt- und produktionsbezogenen Kriterien stehen, sind Strategien erforderlich, die den Einsatz der MID-Technologie transparenter und, im Hinblick auf das zu erwartende Risiko, ausreichend kalkulierbar machen (vgl. Kapitel 4.3).

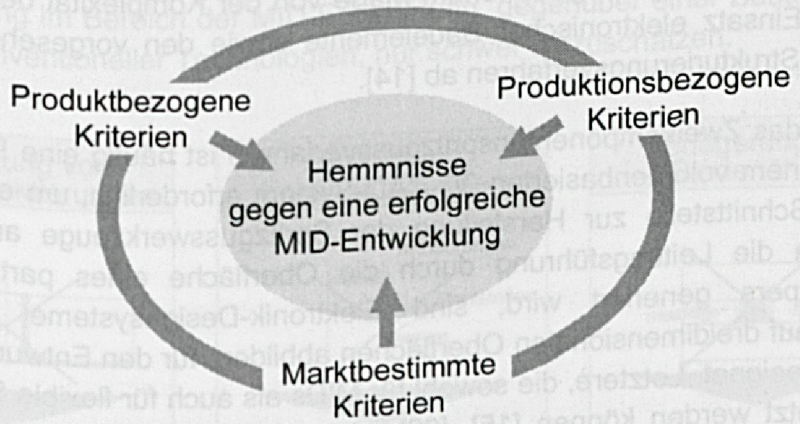


Bild 28: Erfolgsbestimmende Einflussgrößen bei der Umsetzung von MID-Serienapplikationen

4.2 Ableitung anwendungsübergreifender Kriterien

Auf Basis der exemplarisch betrachteten Applikationsbeispiele wurden drei Hauptbereiche (vgl. Bild 28) identifiziert, die eine Reihe von Hemmnissen gegenüber dem Einsatz der MID-Technik beinhalten. Neben den produktspezifischen Argumentationen lassen sich darüber hinaus produktübergreifende Kriterien ableiten, wie sie bei zahlreichen vom Autor durchgeführten MID-Projekten erkannt wurden. Dabei ist die jeweilige Sichtweise von Interesse, da seitens des Anbieters und des Kunden verschiedene, teils konträre Argumente vorgebracht werden.

4.2.1 Produktbezogene Kriterien

Nach Maaßen in [16] ist die Identifikation einer geeigneten Anwendung für den Einsatz der MID-Technologie von entscheidender Bedeutung. Im Vordergrund der Entwicklung sollte die Gestaltung einer neuen Baugruppe bzw. eines neuen Produktes stehen. Allein der Ersatz einer konventionellen Baugruppe ist demnach nicht für eine MID-Anwendung geeignet, da das erwartete Rationalisierungspotential nicht erreicht werden kann [83]. Weitere Randbedingungen ergeben sich durch die zu erfüllende Funktionalität sowie den betreffenden Einsatzbereich der Baugruppe. Die Identifikation geeigneter Anwendungen für den Einsatz der MID-Technologie wird in Kapitel 5 ausführlich dargelegt.

Nach Auswahl einer geeigneten Anwendung stellt sich die Frage, mit welchen CAD-Systemen eine produktgerechte Konstruktion durchgeführt werden kann [87]. In der konventionellen Leiterplattenherstellung werden spezifische Designsysteme für die Elektronikentwicklung eingesetzt. Da diese das Layout nur zweidimensional abbilden, sind sie für MIDs nur bedingt einsetzbar. Die Entscheidung für das notwendige Konstruktionswerkzeug hängt in hohem Maße von der Komplexität der Leitungsführung, dem Einsatz elektronischer Bauelemente sowie den vorgesehenen Herstellungs- bzw. Strukturierungsverfahren ab [14].

Gerade für das Zweikomponentenspritzgussverfahren ist häufig eine Produktmodellierung in einem volumenbasierten 3D-CAD-System erforderlich, um eine geeignete CAD-CAM-Schnittstelle zur Herstellung der Spritzgusswerkzeuge ansprechen zu können. Da die Leitungsführung durch die Oberfläche eines partiell umhüllten Volumenkörpers generiert wird, sind Elektronik-Designsysteme, die lediglich Strukturen auf dreidimensionalen Oberflächen abbilden, für den Entwurf des Bauteils nur wenig geeignet. Letztere, die sowohl für MIDs als auch für flexible Schaltungsträger eingesetzt werden können [15], [62], eignen sich insbesondere für Strukturierungsverfahren, deren leitende Schichten entweder über eine selektive Additivtechnik oder über Substraktivtechnik, mit zunächst vollflächig metallisierten Basiskörpern, erzeugt werden.

Bei der Konstruktion sieht sich der Konstrukteur daher mit dem Problem konfrontiert, ein geeignetes CAD-Designsystem für die Elektronik- und Mechanikentwicklung auszuwählen. Der Konstruktionsprozess kann dabei durch die mangelnde Verfügbarkeit notwendiger Systeme, gerade im Hinblick auf 2K-Anwendungen, zusätzlich beeinträchtigt werden. Es ist also festzustellen, dass geeignete CAD-Designsysteme derzeit noch nicht verfügbar sind, um allen Anforderungen einer MID-Konstruktion in Bezug auf das vorgesehene Verfahren gerecht zu werden.

In [92] wird dargelegt, dass eine spritzguss- und metallisierungsgerechte Gestaltung eines MID-Bauteils entscheidend zu dessen Fähigkeit beiträgt, die geforderten

Zuverlässigkeitsanforderungen zu erfüllen. In diesem Zusammenhang wurden daher konstruktive Einzelheiten vorgeschlagen, mit deren Hilfe mögliche konstruktionsbedingte Ausfälle vermieden werden können. Beispiel hierfür ist die Gestaltung von metallisierungsgerechten Übergängen in Form von Radien sowohl bei Durchkontaktierungen als auch in der Leitungsführung selbst. Des weiteren muss bei der Auslegung des Spritzgusswerkzeuges die Platzierung der Anspritzpunkte beachtet werden, diese dürfen nicht auf der zu metallisierenden Leiterbahn liegen. Ebenfalls kritisch für eine haftfeste Metallisierung sind die Bindenähte des Bauteils. Deren Entstehung ist abhängig von der geometrischen Gestaltung und von der Wahl der Anspritzpunkte.

Bleiben diese Anforderungen in der konstruktiven Ausführung des Spritzgussteiles unberücksichtigt, sind während der Entwicklungsphase aufwendige Änderungen des Werkzeuges notwendig. Dies führt zu zeitintensiven Änderungs- und Qualifikationszyklen. Damit entsteht insgesamt ein komplexer Zusammenhang zwischen Änderungsflexibilität, fertigungsgerechter Produktentwicklung und der begrenzt zur Verfügung stehenden Entwicklungszeit. Diese Verkettung ist für Konstrukteure mit wenig Erfahrung im Bereich der MID-Entwicklung, gegenüber einer Bauteilkonstruktion mithilfe konventioneller Technologien, nur schwer einzuschätzen.

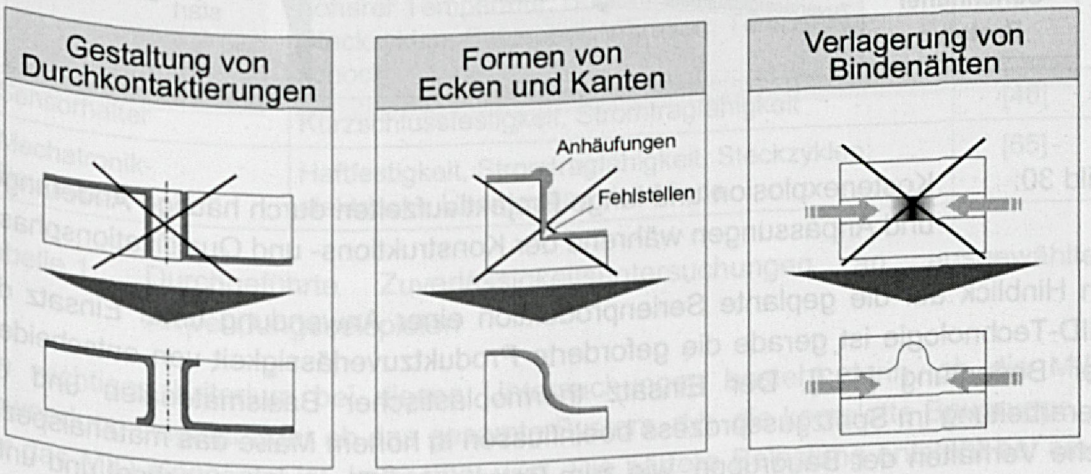


Bild 29: Designregeln für eine spritzguss- und metallisierungsgerechte Auslegung der MID-Konstruktion [92]

Nach John in [16] stellt das Risiko einer Kostenexplosion, die durch zahlreiche Überarbeitungen, sowie den sich anschließenden Zuverlässigkeitsuntersuchungen verursacht wird, ein zentrales Hemmnis gegen den Einsatz der MID-Technologie dar. Diese Argumentation stützt die vorangegangenen Ausführungen, wonach technologisch bedingte Anpassungen des Produktes einen hohen ökonomischen Aufwand erfordern, um bestehende Schwierigkeiten bei der Produktqualifikation zu beseitigen.

Die Schwierigkeit einer spritzguss- und metallisierungsgerechten Ausführung der Produktkonstruktion, unter Berücksichtigung der Fließwege, Bindenähte und der Ausbildung des für die Metallisierung erforderlichen Gefüges teilkristalliner und amorpher Thermoplasten, führt bei vielen Entwicklungsprojekten zu einer hohen Anzahl an Iterationen der Produktentwicklung. Die infolge der geforderten Zuverlässigkeitstests durchzuführenden Qualifikationen verlängern die Projektlaufzeit und erhöhen gleichzeitig die Entwicklungskosten.

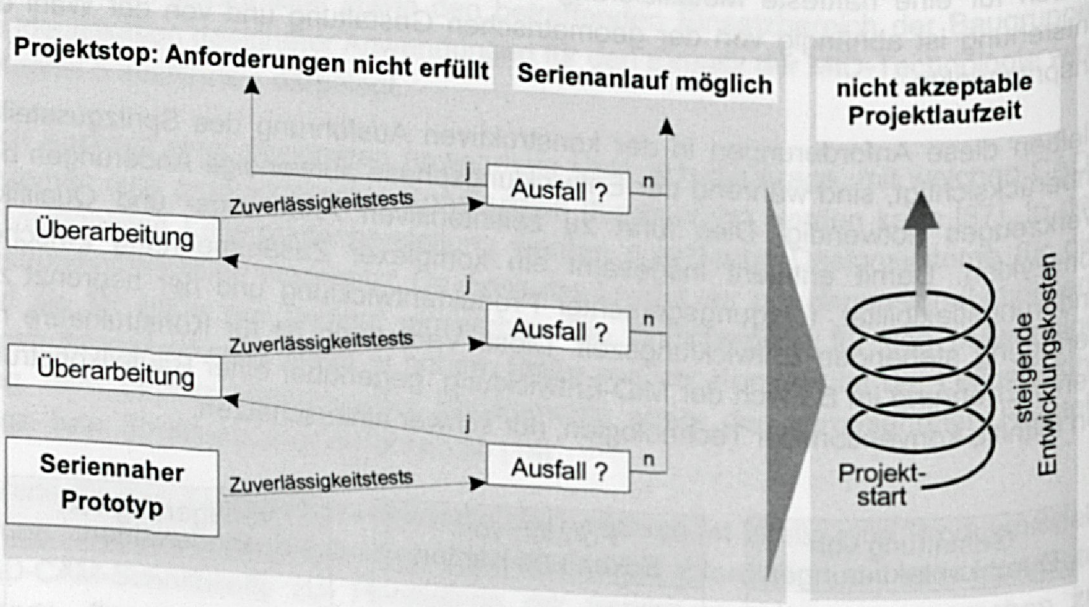


Bild 30: Kostenexplosion und lange Projektlaufzeiten durch häufige Änderungen und Anpassungen während der Konstruktions- und Qualifikationsphase

Im Hinblick auf die geplante Serienproduktion einer Anwendung unter Einsatz der MID-Technologie ist gerade die geforderte Produktzuverlässigkeit von entscheidender Bedeutung [122]. Der Einsatz thermoplastischer Basismaterialen und die Verarbeitung im Spritzgussprozess beeinflussen in hohem Maße das materialspezifische Verhalten der Baugruppe, wie zum Beispiel bei Temperaturwechsel und unter Einwirkung von feuchter Wärme [123]. Damit unterliegt die Erfüllung der Zuverlässigkeitsanforderungen einerseits, wie bereits angeführt, der konstruktiven Ausführung andererseits der Prozessführung in der Herstellung und Verarbeitung selbst. Nach [102] ist aber nicht nur eine nicht erzielte Zuverlässigkeit allein, sondern der häufig fehlende Nachweis der tatsächlich erreichbaren Produktzuverlässigkeit ein entscheidendes Hemmnis gegen den Einsatz der MID-Technologie.

Demgegenüber wurde in zahlreichen Untersuchungen die grundsätzliche Eignung der MID-Technologie gerade auch für hohe Anforderungen nachgewiesen. Die Zuverlässigkeitsuntersuchungen bezogen sich einerseits auf grundsätzliche

Fragestellungen, wie zum Beispiel Haftfestigkeiten der Metallisierung auf unterschiedlichen Materialien, Verbundhaftung von Materialkombinationen, Lötbeständigkeit, etc. (vgl. [24], [26], [90], [120], [121], [125], [139], [143], [146]).

Andererseits wurden eine Reihe produktspezifischer Untersuchungen durchgeführt, die für die Qualifikation der Anwendung, im Hinblick auf das jeweilige Anwendungsgebiet, erforderlich waren. In Tabelle 1 sind ausgewählte Anwendungen angeführt, welche die geforderten Untersuchungen erfolgreich bestanden haben.

Anwendung	Art der Untersuchung	Quelle
ABS-Steckerplatine	Haftfestigkeit der Metallisierung, mechanische Belastung der Steckverbinder, Feuchte Wärme nach DIN IEC 68-2-3, Temperaturschock JED-647, Vibration	[94]
Optischer Transceiver	Temperaturzyklen, Feuchte Wärme, Nieder- und Hochtemperaturlagerung, Vibration, mechanischer Schock	[96], [112]
Automotiv-Steckverbinder	Temperaturzyklen, Feuchte Wärme, Salzsprüh-Test, Vibration, mechanischer Schock	[152]
Koaxialstecker	Lötbarkeit nach DIN IEC 68 2-20, Haftfestigkeit bei höherer Temperatur, Schichtqualifikation, Steckzyklen, Salznebel, Vibration, Temperaturschock	[145]
Sensorhalter	Kurzschlussfestigkeit, Stromtragfähigkeit	[46]
Mechatronik-Baugruppe	Haftfestigkeit, Stromtragfähigkeit, Steckzyklen, elektrische Übergangswiderstände	[65]

Tabelle 1: Durchgeführte Zuverlässigkeitsuntersuchungen an ausgewählten Anwendungsbeispielen

Ein wichtiges Kriterium bei diesen Untersuchungen besteht darin, ob die MID-Anwendung singulär oder ob das gesamte System, d.h. die komplette Baugruppe, in der das MID eingesetzt ist, betrachtet wird. Die härtere Belastung entsteht bei einer von der Baugruppe losgelösten Untersuchung des MIDs. Das Bauteil ist dabei den gleichen Tests unterworfen, die bei konventionellen Baugruppen vorherrschen und die durch den jeweiligen Anwendungsbereich festgelegt sind [117]. MID-spezifische Untersuchungen sind bisher nicht in Standardnormen festgelegt.

Obwohl bei vielen MID-Anwendungen produkt- und produktionsbezogene Zuverlässigkeitsuntersuchungen durchgeführt wurden, gibt es dennoch keine verlässlichen, allgemein gültigen Aussagen. Die hohe Diversifizierung der Anwendungen sowie deren typischerweise einzigartige geometrische Gestaltung, verhindern bislang die Bereitstellung zuverlässiger Kennzahlen, mit deren Hilfe neue Produkte beurteilt

werden könnten. Allein die produktionsbezogenen Kennwerte hinsichtlich der Haftfestigkeit der Metallisierung, der Verarbeitbarkeit und des thermisch-mechanischen Verhaltens gestatten eine Einschätzung im Hinblick auf das zu erwartende Verhalten des MIDs.

Zusammenfassend kann für die produktbezogenen Hemmnisse gegen die MID-Technologie festgehalten werden, dass die gesamte Prozesskette von der Produktidee bis hin zur Bauteilqualifizierung zahlreichen Einflüssen unterliegt, die eine erfolgreiche MID-Entwicklung beeinträchtigen können (vgl. Bild 31). Anhand der recherchierten Informationen über durchgeführte Entwicklungsprojekte wurden Problemfelder identifiziert, die als allgemein gültig für den Produktentwicklungsprozess angesetzt werden können.

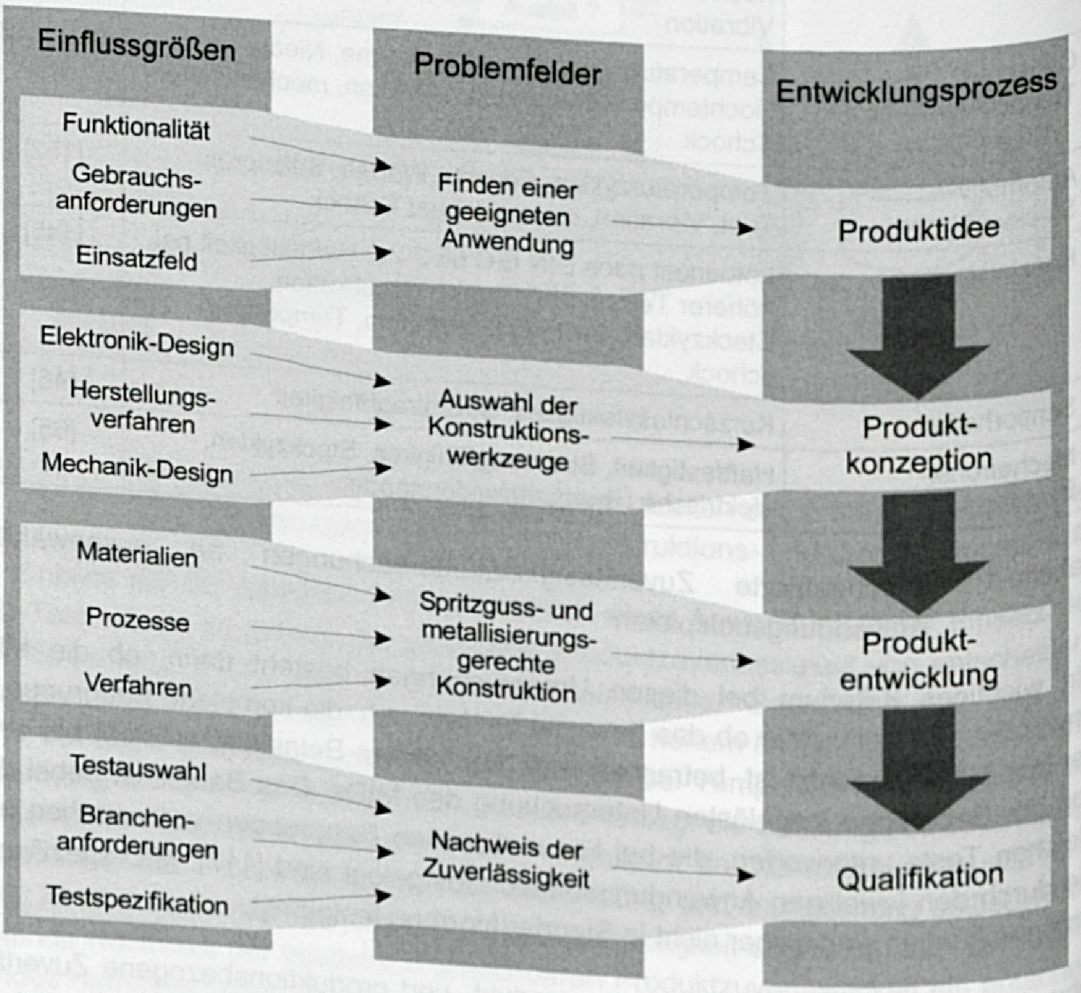


Bild 31: Produktbezogene Einflussgrößen auf den Entwicklungsprozess

4.2.2 Produktionsbezogene Kriterien

Neben produktbezogenen Hemmnissen sind es gerade produktionsbezogene Kriterien, die ebenfalls Einfluss auf eine erfolgreiche MID-Entwicklung haben. Diese können mittels der MID-spezifischen Prozesskette für jeweilige Einzelprozesse dargelegt werden.

Die MID-Prozesskette lässt sich, wie in Kapitel 2 erläutert, in zwei Hauptbereiche einteilen. Der erste Bereich stellt die Herstellung des MID-Basissubstrats dar und umfasst die Herstellung des Kunststoffträgers und dessen selektive Metallisierung. Der zweite Bereich der Prozesskette setzt sich aus den nachgeschalteten Prozessen der Aufbau- und Verbindungstechnik für elektronische Baugruppen zusammen [40].

Im Bereich des Werkzeugbaus und des Spritzgusses bestehen im Allgemeinen kaum Einschränkungen. Die hohen Anforderungen hinsichtlich komplexer geometrischer Strukturen sowie bei der Herstellung von Mehrkomponenten-Spritzgussteilen werden im Bereich des konventionellen Spritzgusses bereits hinreichend erfüllt [10].

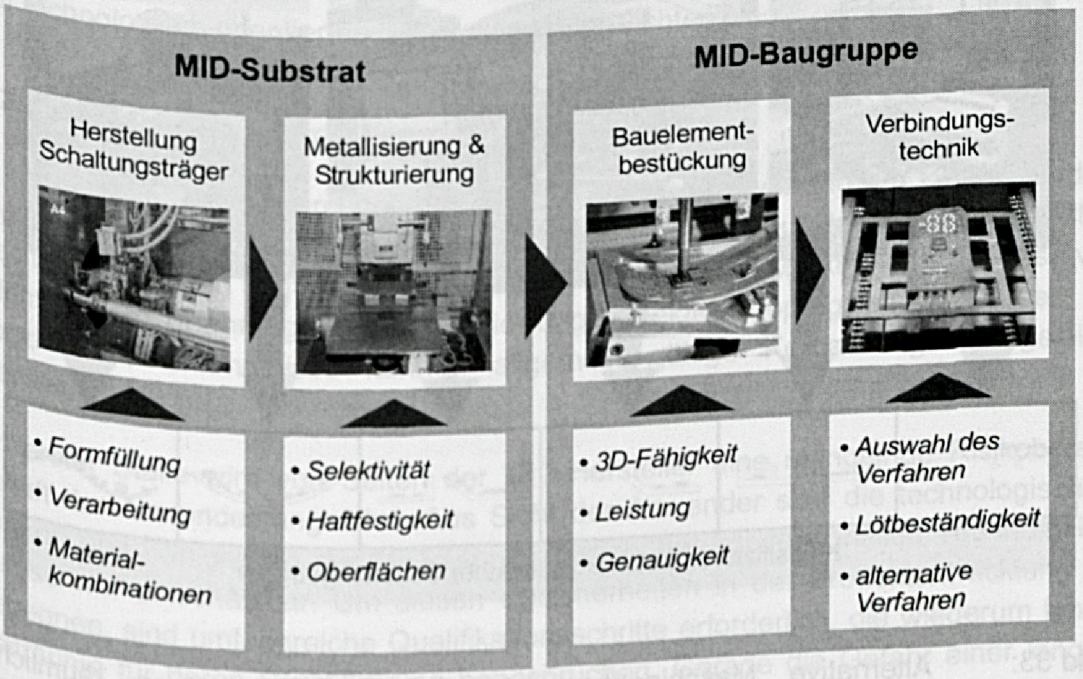


Bild 32: Produktionsbasierte Einflussgrößen für eine erfolgreiche MID-Herstellung

Erste Schwierigkeiten können aber bereits im sich anschließenden Metallisierungsprozess auftreten [25]. In Kapitel 4.2.1 wird auf die Bedeutung konstruktiver Gestaltungsregeln hingewiesen. Die Ausbildung einer haftfesten, selektiven Metallisierung ist aber in erster Linie von den gewählten Materialien abhängig und

deren Verarbeitungsbedingungen wie Werkzeugtemperatur, Spritzgeschwindigkeit und -druck [104]. Bei geometrisch komplexen Strukturen ist es möglich, dass sich lokal unterschiedliche Oberflächenstrukturen ausbilden, deren Haftfestigkeit ebenfalls variiert. Gegebenenfalls ist es erforderlich, Anspritzpunkte zu ändern oder zu ergänzen [128]. In jedem Falle ist eine enge Zusammenarbeit mit den kunststoffverarbeitenden und Galvanikbetrieben erforderlich.

Die Verarbeitung räumlich elektronischer Baugruppen erfordert hinsichtlich der auf die Verarbeitung elektronischer Bauelemente die Bereitstellung geeigneter Systeme, welche den Anforderungen einer dreidimensionalen Aufbau- und Verbindungstechnik gerecht werden. Erste Maschinen, die eine Bestückung elektronischer Bauelemente ermöglichen, wurden bisher nur prototypisch in Labors realisiert [11], [85].

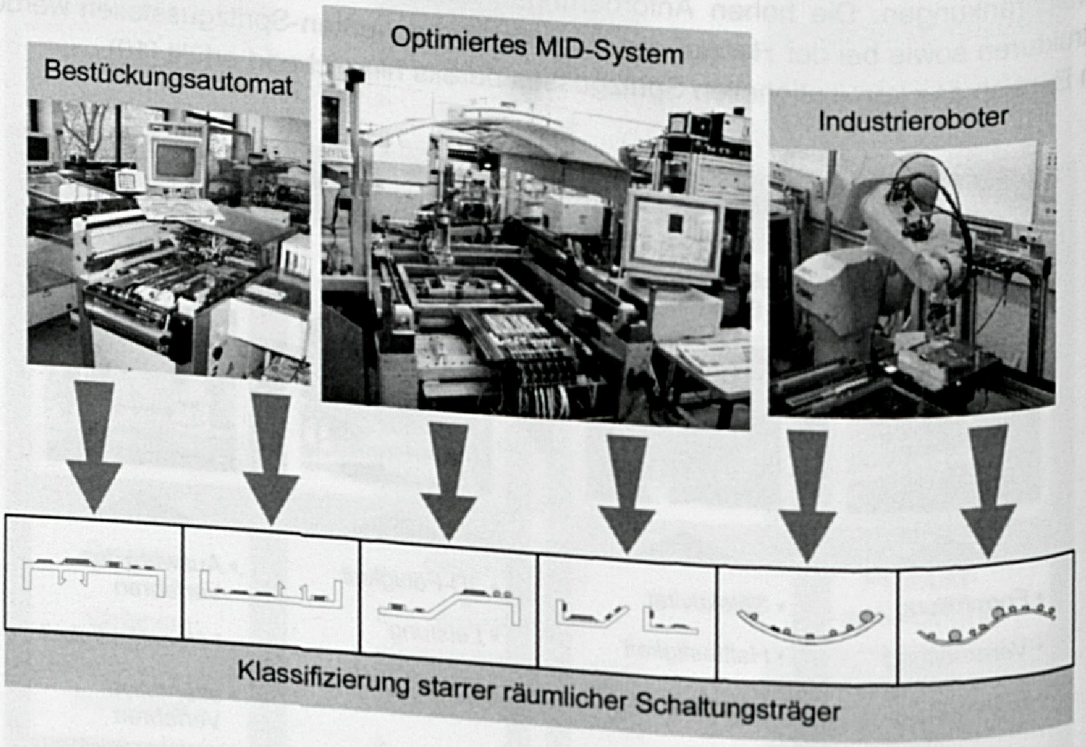


Bild 33: Alternative Maschinenkonzepte für die Verarbeitung räumlicher elektronischer Baugruppen [85]

Trotz der hohen Flexibilität und dem breiten Anwendungsbereich dieser Konzepte wurden diese Anlagen bisher nicht zu industriefähigen Fertigungssystemen weiterentwickelt. Grundsätzlich gilt für den Bereich der Bestückung räumlicher Schaltungsträger, dass bereits geringfügig angepasste konventionelle Anlagen für eine Vielzahl an Anwendungen ausreichen [119]. Aktuelle Anwendungsbeispiele (vgl.

[137], [148]) belegen ergänzend die Eignung konventioneller Prozesse für die Verarbeitung von Bare Dies und diskreten Bauelementen.

Für den Anwender ist zunächst nur selten abzuschätzen, inwieweit die in der eigenen Produktion verfügbaren Prozesse für die geplante Anwendung einsetzbar sind. Allein eine mögliche Anpassung konventioneller Anlagen, die nicht mit dem bisher verarbeiteten Produktspektrum zusammenpasst, führt bereits zu einer ablehnenden Haltung gegenüber dem MID-Einsatz.

Ergänzend zur vorangegangenen Argumentation wird von Seiten der Anwender die mangelnde Erfahrung in der Serienproduktion bestückter MID-Baugruppen angeführt. Sowohl der Bestückprozess als auch die nachgeschalteten Prozesse Löten und Test sind mit einer geänderten Prozessführung verbunden [51], die angepasste Vorgehensweisen in der Prozessüberwachung und Qualifizierung erfordern [23].

Anhand der MID-Prozesskette konnte damit dargelegt werden, dass eine Reihe produktionsorientierter Hemmnisse auf eine erfolgreiche MID-Entwicklung einwirkt. Ergänzend dazu können weitere Kriterien identifiziert werden, die unabhängig von der technologisch orientierten Sichtweise zu betrachten sind.

4.2.3 Marktbezogene Kriterien

In einer vom Autor durchgeführten Marktstudie (Auswertung in [102]) wurden ergänzende, allgemeine Kriterien ermittelt, die hinderlich auf den Einsatz der MID-Technologie wirken können. Neben den bisher erläuterten Merkmalen sind diese vor allem durch Erfahrungen bei Entwicklungsprojekten geprägt. Trotz dieser oft spezifischen Erkenntnisse können allgemein gültige Kernaussagen abgeleitet werden.

An erster Stelle wird von Seiten der MID-Hersteller eine mangelnde Risikobereitschaft der Anwender angeführt. Aus Sicht der Anwender sind die technologischen Risiken und Fähigkeiten der MID-Technik gegenüber konventionellen Technologien nur schwer einschätzbar. Um diesen Unsicherheiten in der Produktentwicklung zu begegnen, sind umfangreiche Qualifikationsschritte erforderlich, die wiederum lange Zeiträume für deren Durchführung beanspruchen. Gerade die Gefahr einer langen Projektlaufzeit stellt für Anwender ein entscheidendes Hemmnis dar, da aufgrund der immer kürzer werdenden Produktlaufzeiten immer kürzer werdende Entwicklungszeiten notwendig werden, so dass der enorme Zeitdruck eine MID-Entwicklung entscheidend behindert [82].

Ein weiteres wichtiges Kriterium ist die mangelnde Kostentransparenz einer MID-Applikation für den Anwender. Bei einer Vielzahl von MIDs wird die Kosteneinsparung erst in nachgeschalteten Bereichen, wie zum Beispiel in der Endmontage oder

beim Kunden selbst, erreicht (vgl. [48]). Die eventuell höheren Teilekosten gegenüber einer konventionellen Lösung wiegen in der Wirtschaftlichkeitsbetrachtung meist höher. Insgesamt muss daher eine langfristige Wirtschaftlichkeitsrechnung aufgestellt werden [78]. In untergeordneten Punkten wird die schwer einschätzbare Situation der bestehenden Patente genannt. Trotz umfangreicher Recherchen und deren öffentlicher Verfügbarkeit [17], fehlt vielen Anbietern ein fundierter Überblick, der die Gefahren einer möglichen Schutzrechtsverletzung eines Entwicklungsprojektes berücksichtigt. Ebenfalls kritisch erscheint die bisher fehlende Standardisierung für MIDs. Die vorgeschlagenen Ergänzungen zu bestehenden Normen (siehe [81]) wurden bisher nicht umgesetzt.

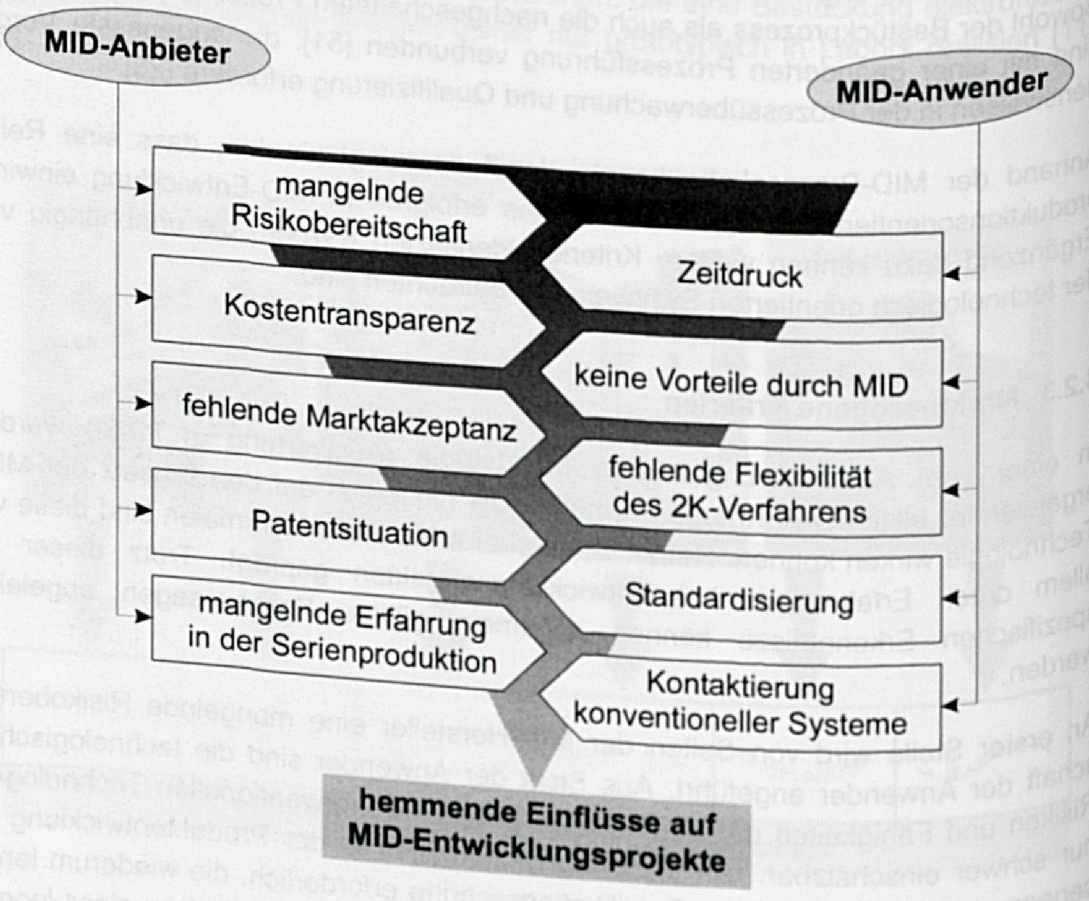


Bild 34: Argumente, die aus Sicht der MID-Anbieter und -Anwender gegen den Einsatz der MID-Technologie sprechen [102]

Ein zentrales Hemmnis beim Einsatz der MID-Technologie stellt die Verfügbarkeit der für die Herstellung der MID-Baugruppe benötigten Verfahren und Prozesse durch unterschiedliche Anbieter dar. Gerade bei Zulieferteilen ist der Kunde darauf angewiesen, dass die Lieferung der benötigten Produkte zuverlässig und termingerecht erfolgt. Zur Erfüllung dieser unerlässlichen Randbedingung fordert eine Vielzahl

möglicher Anwender das Vorhandensein einer „Second Source", um bei eintretenden Schwierigkeiten bei Qualität und Logistik auf den zweiten Lieferanten zurückgreifen zu können [137], [82]. Darüber hinaus ist es mit einem zweiten Lieferanten überhaupt erst möglich, einen wirtschaftlichen Vergleich der geplanten Anwendung durchzuführen. Bei einer „Single Source" für die MID-Lösung kann der Preisvergleich nur mit einer konventionellen Produkt- und Fertigungskonzeption erfolgen. Aufgrund der in [117] angeführten Schwierigkeit, geeignete Kostenmodelle für MID in den Unternehmen zu entwickeln, könnte eine Entscheidung für MID nur bei eindeutigen Rationalisierungspotentialen gegenüber der bisher verwendeten Lösung erreicht werden.

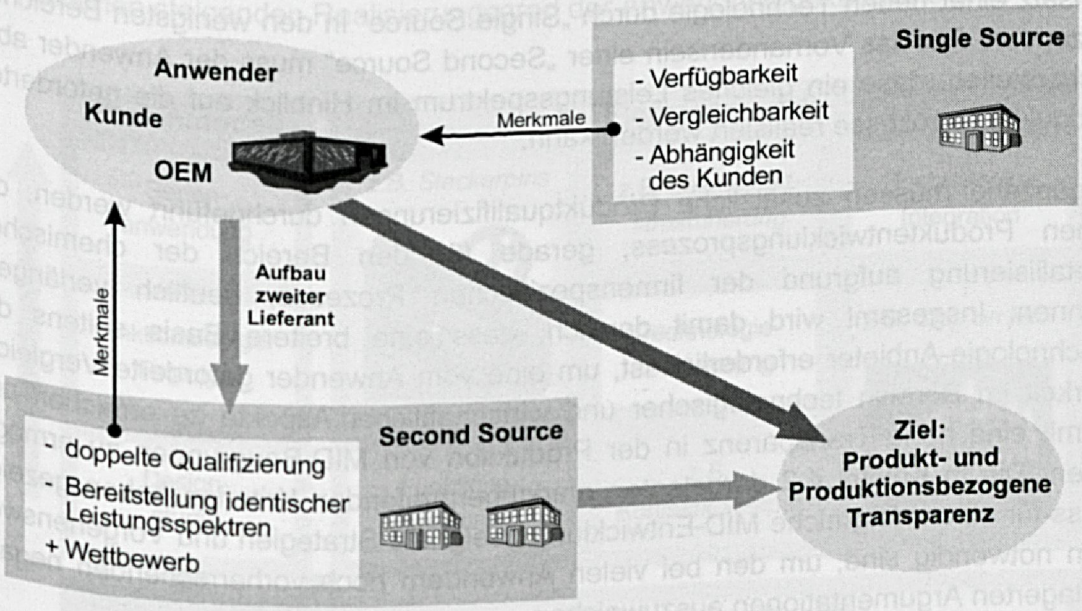


Bild 35: Problemfeld „Single Source": Erhöhung der Marktakzeptanz durch Einsatz weiterer MID-Anbieter

Als Beispiel für die hier aufgezeigte Problematik sei zunächst das von der Firma Siemens entwickelte PSGA™ erwähnt. Potentielle Kunden dieses innovativen Packaging-Typs fordern die Qualifizierung des MIDs für verschiedene Lieferanten des Basismaterials LCP [137]. Da bereits die Herkunft des Kunststoffs Auswirkungen auf das Verhalten des Packages unter den geforderten Einsatzbedingungen haben könnte, sind umfangreiche Untersuchungen für die Qualifizierung notwendig.

Neben der eigentlichen Entwicklung dieses Produktes unter Einsatz spezifischer Funktionselemente, wie zum Beispiel der Metallisierung der Durchkontaktierungen, muss die Zuverlässigkeit des Gesamtsystems anhand langwieriger Testzyklen bewiesen werden.

Ein weiteres Beispiel ist die von der Firma Bolta patentierte und produzierte Folie für das Heißprägen. Da weltweit kein anderer Hersteller in der Lage ist eine ähnliche Folie bereitzustellen, sind Anwender der Heißprägetechnik auf die termingerechte, zuverlässige und qualitativ einwandfreie Verfügbarkeit des Produktes bei nur einem einzigen Lieferanten angewiesen. Trotz einer Reihe von besonders erfolgreichen MID-Entwicklungen im Bereich der Heißprägetechnik [56], [97] ist unter diesen Voraussetzungen auch bei zukünftigen Entwicklungen Zurückhaltung beim Einsatz dieses Verfahrens zu erwarten.

Gerade im Automotivbereich wird die Herstellung elektronischer Baugruppen unter Einsatz einer neuen Technologie durch „Single Source" in den wenigsten Bereichen akzeptiert. Für das Vorhandensein einer „Second Source" muss der Anwender aber sicherstellen, dass ein gleiches Leistungsspektrum im Hinblick auf die geforderten Produktionsprozesse realisiert werden kann.

Ergänzend müssen zusätzliche Produktqualifizierungen durchgeführt werden, die einen Produktentwicklungsprozess, gerade für den Bereich der chemischen Metallisierung aufgrund der firmenspezifischen Prozesse, deutlich verlängern können. Insgesamt wird damit deutlich, dass eine breitere Basis seitens der Technologie-Anbieter erforderlich ist, um eine vom Anwender geforderte Vergleichbarkeit im Bereich technologischer und wirtschaftlicher Aspekte zu erreichen und damit eine hohe Transparenz in der Produktion von MID-Baugruppen zu ermöglichen. Die in Kapitel 4.2 dargelegten marktübergreifenden Kriterien haben gezeigt, dass für eine erfolgreiche MID-Entwicklung geeignete Strategien und Vorgehensweisen notwendig sind, um den bei vielen Anwendern noch vorherrschenden negativ gelagerten Argumentationen auszuweichen.

4.3 Lösungswege zur MID-Projektierung

Zur Unterstützung von Konstrukteuren bei der Konzeption und Entwicklung von MID-Baugruppen werden im Folgenden alternative Vorgehensweisen und Strategien entwickelt und detailliert dargestellt. Sie können als allgemeingültige Lösungswege zur Projektierung von MID-Baugruppen herangezogen werden. Die Wahl der jeweiligen Entwicklungsstrategie unterliegt dabei in hohem Maß dem vorhandenen Wissen der ausführenden Abteilung oder Firma bezüglich der Leistungsfähigkeit und Verfügbarkeit einzelner MID-Produktionsprozesse. Firmen und Institutionen, die wenig Erfahrung mit der Entwicklung von MID-Baugruppen besitzen, werden sich zunächst mit grundlagenorientierten Konzepten und Machbarkeitsanalysen beschäftigen.

Im Falle einer sehr genauen Kenntnis der MID-Technologie kann bereits eine gezielte Produktentwicklung durchgeführt werden. Zwischen diesen konträren

Vorgehensweisen findet sich eine Reihe von Zwischenstufen, die einerseits die Wissenstiefe im Bezug auf die fertigungsgerechte Realisierung des Produktes kennzeichnen, andererseits die vielfältigen Varianten einer möglichen Einführungsstrategie für die MID-Technologie repräsentieren.

Die grundsätzlich möglichen Entwicklungsstrategien lassen sich in drei Modelle gliedern. Dabei wird die geforderte Entwicklungstiefe, der erreichbare Integrationsgrad sowie die Erfüllung einzelner Funktionselemente berücksichtigt. Das Stufenmodell basiert auf den einzelnen Entwicklungsstufen des Konstruktionsprozesses einer Baugruppe. Es ist durch eine zunehmende Entwicklungstiefe und dem damit verbundenen steigenden Realisierungsgrad der Anwendung gekennzeichnet.

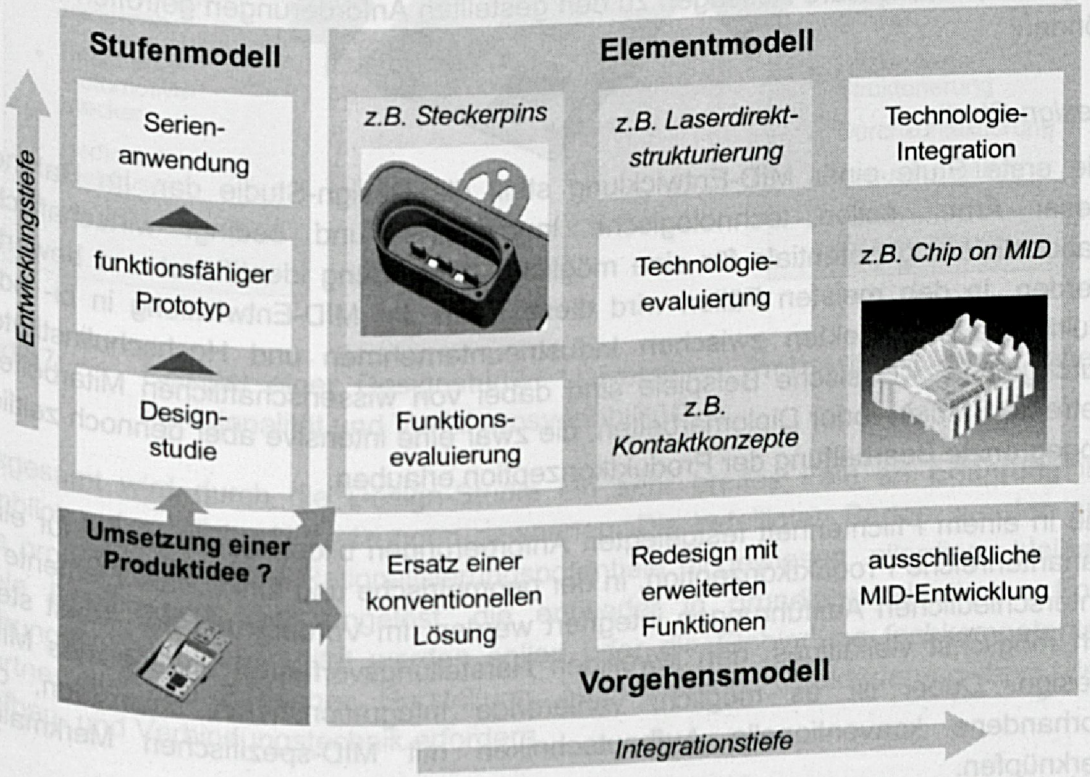


Bild 36: Alternative Modelle zur produktorientierten Qualifizierung der MID-Technologie [103]

Das Vorgehensmodell orientiert sich an dem erreichbaren Integrationsgrad der Baugruppe. Zentrales Kennzeichen dieses Modells ist, welche Art eines Entwicklungsprojektes durchgeführt wird. Die erste Vorgehensweise stellt dabei die Ersatzentwicklung einer konventionellen Baugruppe mit relativ geringem Integrationspotential dar. In der zweiten, weiterführenden Vorgehensweise werden ergänzende Funktionen in das Bauteil integriert, die dritte stellt eine ausschließliche MID-Entwicklung dar, die das höchste Maß an Funktionsintegration erlaubt.

Die Kombination der zwei genannten Modelle bildet das Elementmodell. Im Rahmen dieses Vorgehensmodells werden Aussagen über Realisierbarkeit und Zuverlässigkeit einzelner ausgewählter Funktionen, Verfahren oder Technologien erarbeitet. Die jeweiligen Merkmale der drei Modelle werden in den folgenden Kapiteln detaillierter dargelegt.

4.3.1 Entwicklungsprozessorientiertes Stufenmodell

Das Stufenmodell umfasst drei aufeinander aufbauende Entwicklungsschritte. Jede der drei Stufen kann aber als eigenständiges Ziel einer Entwicklungsaufgabe definiert werden, da im Bereich der MID-Projektierung, mit Erreichen der gewählten Entwicklungstiefe, bereits klare Aussagen zu den gestellten Anforderungen getroffen werden können.

Design-Studie

Die erste Stufe einer MID-Entwicklung stellt die Design-Studie dar. Im Rahmen dieser Arbeit sollen technologische Innovations- und bedingt wirtschaftliche Rationalisierungspotentiale für eine mögliche Anwendung identifiziert und bewertet werden. In den meisten Fällen wird diese Form der MID-Entwicklung in bi- oder multilateralen Projekten zwischen Industrieunternehmen und Hochschulinstituten durchgeführt. Klassische Beispiele sind dabei von wissenschaftlichen Mitarbeitern betreute Studien- oder Diplomarbeiten, die zwar eine intensive aber dennoch zeitlich abgegrenzte Bearbeitung der Produktkonzeption erlauben.

Die in einem Pflichtenheft festgelegten Anforderungen bilden den Rahmen für eine variantenreiche Produktkonzeption, in der geometrische und funktionale Elemente in unterschiedlichen Ausführungen integriert werden. Im Vordergrund der Arbeit steht ein möglichst vielfältiges, den jeweiligen Herstellungsverfahren angepasstes MID-Design. Dabei ist es möglich, variierende Integrationstiefen abzubilden, die vorhandene konventionelle Aufbautechniken mit MID-spezifischen Merkmalen verknüpfen.

Dennoch ist die Aussagekraft einer MID-Designstudie im Hinblick auf eine fertigungsgerechte Umsetzung stark eingeschränkt. Die jeweiligen Prozessketten können für die jeweilige Produktvariante nur skizzenhaft beschrieben werden, eine qualifizierte Aussage zu technologischen Einzelprozessen ist nur im Zusammenwirken mit bereits ähnlich realisierten Anwendungsbeispielen möglich.

Da oft nur ein grober Fertigungsablauf skizziert werden kann, ist es nicht möglich, technologische Unwägbarkeiten in exakten Kostenmodellen abzubilden. Die ermittelten Kosten entsprechen selten realen Fertigungskosten. Das Produkt müsste in den vielen Fällen den produktionsspezifischen Randbedingungen angepasst

werden. Als Beispiel lässt sich hier für den Bereich Spritzguss die Wahl des richtigen Angussystems anführen, welches entscheidenden Anteil an den Werkzeugkosten für die Spritzgussform trägt.

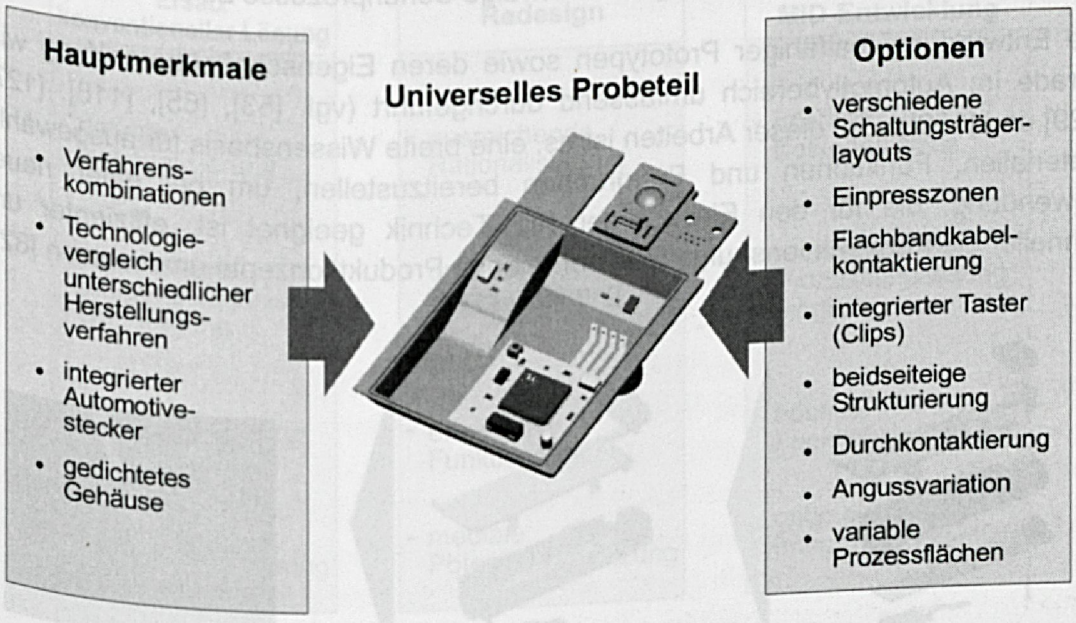


Bild 37: Beispiel einer Designstudie: Universelles Probeteil mit einer hohen Funktionalität und Verfahrensvariabilität[4]

Insgesamt wird durch die Design-Studie ein sehr breites Feld an Erfahrung im Hinblick auf mögliche Umsetzungen gewonnen. Die beteiligten Partner werden auf die produktspezifischen Rationalisierungspotentiale hingewiesen, allerdings bleiben viele Detailfragen noch ungelöst, die entweder in grundlagenorientierten Forschungsprojekten bearbeitet werden sollen oder die Einbindung fachkompetenter Partner aus den Bereichen Herstellung, Metallisierung, Strukturierung bzw. der Aufbau- und Verbindungstechnik erfordern.

Entwicklung testfähiger Prototypen

An die Design-Studie schließt sich die Herstellung erster, meist funktionsfähiger Prototypen an. In Gegensatz zur Designstudie steht hierbei nicht die Evaluierung eines variantenreichen Entwicklungskonzeptes im Vordergrund, vielmehr soll anhand einer ausgewählten Konzeption ein vorgegebenes Anforderungsprofil betrachtet werden.

[4] Das „Universelle Probeteil" wurden im Rahmen von den Mitgliedern der gleichnamigen Fachgruppe der Forschungsvereinigung 3-D MID e.V. entwickelt. Besonderen Dank gilt Herrn Dipl.-Ing. S. Kurz, Oechsler AG, für die Modellierung des CAD-Modells.

Die Musterteile können mit typischen Rapid-Prototyping-Verfahren oder mit bereits seriennahen Spritzguss-Werkzeugen hergestellt werden. Mithilfe dieser Bauteile lassen sich hierauf erste Untersuchungen zur Zuverlässigkeit und Verarbeitbarkeit durchführen, um Schlussfolgerungen für etwaige Serienprozesse zu ziehen.

Die Entwicklung testfähiger Prototypen sowie deren Eigenschaftsüberprüfung wird gerade im Automotivbereich umfassend durchgeführt (vgl. [53], [65], [118], [127], [129] und [152]). Ziel dieser Arbeiten ist es, eine breite Wissensbasis für ausgewählte Materialien, Funktionen und Baugruppen bereitzustellen, um bei einer neuen Anwendung, die für den Einsatz der MID-Technik geeignet ist, effizienter und schneller die Konstruktionsaufgabe in seriennahe Produktkonzepte umzusetzen [82].

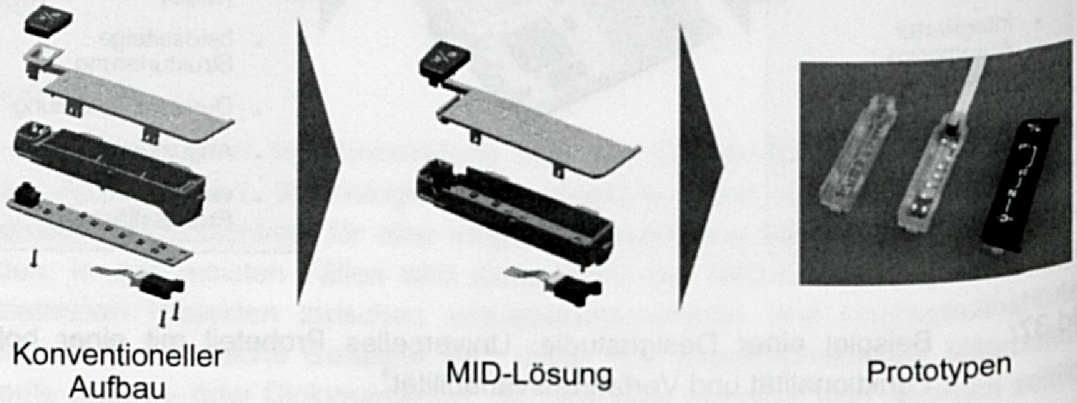


Bild 38: Beispiel eines funktions- und prüffähigen Prototypen [129]

Serienentwicklung

Gegenüber den bisher dargelegten Entwicklungsstufen stellt die gezielte Serienentwicklung höchste Anforderungen an den kompletten Entwicklungsprozess. Insbesondere müssen dabei die in den Kapiteln 4.1 und 4.2 dargelegten Problemfelder, die bei Entwicklungsarbeiten auftreten können, beachtet werden. Die verschiedenen Arten einer Serienentwicklung werden mittels des Vorgehensmodells verdeutlicht. Die richtige Wahl der Entwicklungsart und der Zeitpunkt der Verfügbarkeit des MIDs sind für eine erfolgreiche Entwicklung von zentraler Bedeutung.

4.3.2 Anwendungsorientiertes Vorgehensmodell

Dieses Modell beinhaltet drei Vorgehensweisen, um eine Serienanwendung mithilfe der MID-Technologie zu entwickeln. Dabei lässt sich zwischen einer reinen Ersatzentwicklung, einem Redesign mit erweiterten Funktionen sowie einer ausschließlichen MID-Entwicklung unterscheiden.



Bild 39: Alternative Vorgehensweisen zur Entwicklung von MID-Serienanwendungen (in Anlehnung an [84])

Ersatzentwicklung

In einer ersten Vorgehensweise werden die Einsatzpotentiale der MID-Technologie mittels einer bereits bestehenden konventionellen Baugruppe untersucht. Im Vordergrund der Entwicklungsarbeit steht einerseits die Erfüllung der technischen Funktion andererseits die prozess- und fertigungstechnische Übertragung der Baugruppenherstellung. Mithilfe des MIDs sollen die bestehenden Prozessketten zur Fertigung und Montage des konventionellen Produktes weiter rationalisiert werden.

Weitgehend unberücksichtigt bleiben mögliche Integrationspotentiale mechanischer und elektronischer Funktionen. Da sich die MID-Lösung in Form und Ausprägung vollständig an bestehende Strukturen anpassen muss, ist es schwierig, die Potentiale der Technologie vollständig zu nutzen. Einen Sonderfall dieser Vorgehensweise stellt die zeitgleiche Parallelentwicklung einer konventionellen und einer MID-Baugruppe dar. Dieses Vorgehen findet sich häufig bei Entwicklungsarbeiten in der Automobilindustrie. Die Verfügbarkeit einer Rückfalllösung minimiert die ökonomischen Risiken einer nicht ausgereiften MID-Entwicklung (vgl. [93]).

Redesign

Zur Steigerung der Wirtschaftlichkeit von konventionellen Baugruppen werden Maßnahmen zur Kostenreduzierung bei der Herstellung und Verarbeitung von elektronischen Baugruppen ergriffen. Das Redesign einer konventionellen Lösung unter Einsatz der MID-Technik bietet die Möglichkeit, unter Beibehaltung geforderter Randbedingungen, erweiterte Funktionen und einen verringerten Montageaufwand zu erreichen.

Von zentraler Bedeutung - im Hinblick auf die geforderte Wirtschaftlichkeit - ist die verbleibende Restlaufzeit des Produktes, da notwendige Investitionen für die MID-Baugruppe kostendeckend getätigt werden müssen. Die erreichbaren Integrationspotentiale sind bei einem Redesign aufgrund der erweiterten Funktionalität höher als bei einer Ersatzentwicklung, dennoch werden noch nicht alle Möglichkeiten einer kosteneffizienten Entwicklung ausgeschöpft.

Neuentwicklung

Wird bei einer Neuentwicklung einer elektronischen Baugruppe der Schwerpunkt auf den Einsatz der MID-Technik gelegt, erschließen sich dem Konstrukteur die weitest gehenden Gestaltungsfreiheiten. Die Integrationspotentiale können dabei voll ausgeschöpft werden, so dass die Anpassung an bestehende Rahmenbedingungen deutlich vereinfacht wird.

Mit einer sinnvollen und angepassten Integration mechanischer und elektronischer Funktionselemente kann die erforderliche Produktfunktionalität erzielt werden, darüber hinaus ist es möglich, die Belange einer prozessorientierten Entwicklung frühzeitig in der Konstruktion zu berücksichtigen.

4.3.3 Elementmodell

Das Elementmodell stellt eine Kombination des erläuterten Stufen- und Vorgehensmodells dar. Ziel dieser Vorgehensweise ist es, Lösungswege zur MID-Realisierung anhand konkreter Einzelbetrachtungen zu erarbeiten. Diese umfassen produktorientierte Funktionselemente, prozessorientierte Verfahrenselemente sowie ganzheitliche Technologie-Qualifizierungen. Letztere erstrecken sich wiederum auf die Qualifizierung von Einzelprozessen und kompletter Prozessketten.

Funktionsevaluierung

Aus Sicht der MID-Anwender ist die Funktionsevaluierung ein optimales Instrument, spezifische Funktionselemente durch Demonstratoren und Prototypen zu untersuchen. Mithilfe dieser Musterteile ist es möglich, eine Reihe an Parametern abzubilden, um für das einzeln betrachtete Element eine breite Informationsbasis zu

generieren [3], [130]. Diese umfasst Fragestellungen zum Herstellungsprozess, wie zum Beispiel die spritzgussgerechte und metallisierungsgerechte Gestaltung gespritzter Steckerpins. Neben Füllsimulationen des Spritzgussprozesses (siehe [65]) sind es bei einer etwaigen Prototypenherstellung gerade Fragestellungen zur Zuverlässigkeit der Pins in der Montage [152].

Technologiequalifizierung

Die Untersuchung einzelner Herstellungstechnologien, insbesondere ihrer spezifischen Merkmale, ist eine entscheidende Voraussetzung für die Einführung von Serienanwendungen. Als Beispiel sind in diesem Bereich die Evaluierung von Metallisierungen auf spezifischen Kunststoffen und die dafür eingesetzten Verfahren selbst zu nennen [5], [89], [2]. Darüber hinaus können auch ganze Fertigungskonzepte und -linien im Hinblick auf die geforderte Wirtschaftlichkeit hin überprüft werden. Im Vergleich zur Funktionsevaluierung ist der hier betrachtete Bereich deutlich umfassender angelegt. So können gleichzeitig Lieferantenbeziehungen in der Prozesskette in die Überlegungen miteinbezogen werden.

Technologie-Integration

Neben einzelnen Funktionselementen wird ergänzend die Integration unterschiedlicher Fertigungstechnologien anhand grundlagenorientierter Projekte erarbeitet (vgl. [24], [26], [27]). Die Betrachtung umfassender Aufgabenstellungen und die Behandlung möglichst breit angelegter Fragestellungen ist für die Qualifizierung komplexer mechatronischer Produktstrukturen unbedingt erforderlich. Diese können hierauf als Basistechnologie für neuartige Aufbaukonzepte, wie dies in [13] mittels des MicroMID-Verfahrens für innovative Stecksysteme dargestellt wird, herangezogen werden.

Mit den hier aufgezeigten Modellen und Vorgehensweisen können die eingangs erörterten Problemfelder zum Einsatz der MID-Technologie wirksam umgangen werden. Darüber hinaus ist aber gleichzeitig die Schaffung einer geeigneten Projektstruktur erforderlich, die grundsätzlich für alle dargelegten Alternativen berücksichtigt werden muss.

5 Aufbau eines Expertensystems zur wissensbasierten Auswahl von MID-Herstellungsverfahren

Seit Jahren ist eine zunehmende Verbreitung dezentraler Elektronikbaugruppen in den unterschiedlichsten Anwendungsbereichen zu beobachten. Als einer der Treiber dieser Entwicklung fungiert im besonderen Maße die Automobilindustrie. So betrug der Anteil der Elektronik an der Wertschöpfung im Automotivbereich 1998 bereits 23% [140]. Gerade im Bereich der Komfort- und Sicherheitselektronik werden leistungsfähige und hochintegrierte Systeme, wie zum Beispiel Airbagsensoren, benötigt, die sich den vorherrschenden Randbedingungen des Einbauortes anpassen müssen. Dies erfordert zunehmend neue Produktkonzepte, die nicht nur die elektronische Funktionalität bereitstellen, sondern gleichzeitig geometrische und mechanische Randbedingungen erfüllen.

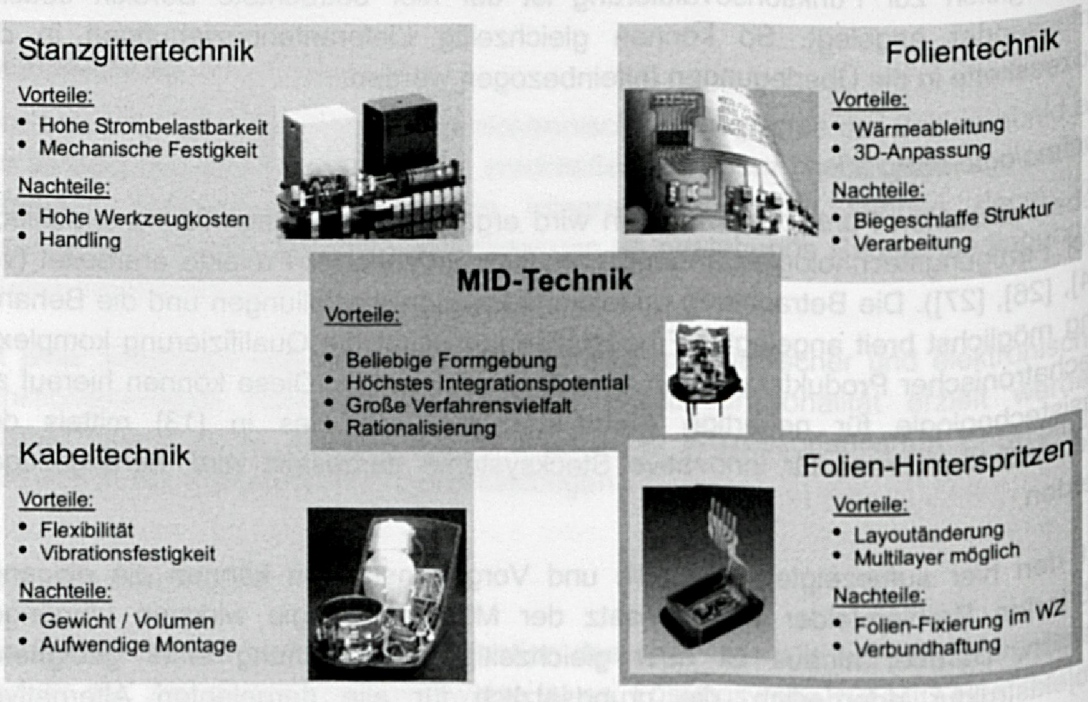


Bild 40: Alternative Technologien zur Herstellung räumlich integrierter Elektronikbaugruppen (nach [69])

Für die Umsetzung der Produktkonzeption stehen dem Konstrukteur eine wachsende Vielfalt an möglichen Produktionstechnologien zur Verfügung. Neben der konventionellen Leiterplatte können sowohl flexible Schaltungsträger (Folien), Starr-Flex-Verbindungen oder MIDs, alternativ die Mikrosystemtechnik, Hybridtechnologie oder die Kombination verschiedenster Fertigungsverfahren eingesetzt werden. Die Auswahl der für die Herstellung des Produkts geeigneten Fertigungstechnologie

muss sich daher an der optimalen Umsetzung der Funktionalität orientieren und gleichzeitig eine wirtschaftliche und ökologisch Produktion gewährleisten.

Die Entwicklung von MID-Anwendungen setzt wiederum eine detaillierte Kenntnis der einzelnen Verfahren bezüglich deren Leistungsfähigkeit und der mit dem gewählten Verfahren realisierbaren Produktfunktionen voraus. Aus den Erfahrungen projektierter MIDs ist bekannt, dass zu Beginn der Produktkonzeption nicht immer das für die Herstellung optimale Verfahren ausgewählt wurde. Die sich daraus ergebenden Iterationen in der Konzeptionsphase wären durch eine systematische Vorgehensweise vermeidbar gewesen (vgl. Kapitel 4.1, [48], [93]). Weiterhin führten zu hohe Erwartungen an die Leistungsfähigkeit der Technologie dazu, die tatsächlichen Potentiale der Technologie falsch einzuschätzen.

Für eine innovative und leistungsfähige Produktgestaltung einer MID-Baugruppe muss daher eine effiziente Methodik bereitgestellt werden, die eine komplexe MID-Entwicklung von Anfang an sinnvoll unterstützt. Im Folgenden werden anhand einer Analyse realisierter MID-Anwendungen die spezifischen Vorteile der MID-Technologie zur Abbildung bestimmter Funktionalitäten aufgezeigt. Darauf aufbauend wird ein Beschreibungsmodell entwickelt, mit dessen Hilfe MID-relevante Daten bereits in der Produktkonzeption erfasst werden. Das Beschreibungsmodell dient als Grundlage zum Aufbau eines wissensbasierten Expertensystems zur Auswahl einer geeigneten MID-Fertigungstechnologie.

5.1 Funktionsanalyse von MID-Anwendungen

In zahlreichen Publikationen wird auf die erreichbaren Vorteile durch den Einsatz der MID-Technologie hingewiesen [37]. Bei näherer Betrachtung lassen sich diese sowohl auf die Gestaltung des Produktes als auch auf die dafür notwendige Prozesskette beziehen.

Zentraler Ansatz ist dabei die Integration elektronischer und mechanischer Funktionen in einem Bauteil. Der Begriff „mechanische Funktionen“ ist in diesem Zusammenhang weitaus breiter zu interpretieren, da überwiegend geometrisch-mechanische Funktionen realisiert wurden, wie zum Beispiel dreidimensionale Verdrahtungen oder Gehäusestrukturen.

Die tatsächliche Umsetzung der erreichbaren Vorteile in einem Produkt hängt entscheidend von der Art der Entwicklung ab (vgl. Kapitel 4). Die Vorteile könnten sich bei einer Ersatzentwicklung einer konventionellen Baugruppe lediglich auf die geforderte Rationalisierung der Fertigungsprozesse beziehen. Nach [84] werden dabei jedoch nur ca. 75% des Gesamtpotentials genutzt. Erst bei einer vorrangigen Produktneuentwicklung können die gesamten Potentiale der Technologie umgesetzt werden.

5.1.1 Erreichbare Produkt- und Produktionsvorteile

Grundsätzlich bietet die MID-Technologie eine Reihe an Potentialen, um den Aufbau und die Herstellung elektronischer Produkte deutlich zu rationalisieren [117]. Zunächst muss jedoch die grundlegende Fragestellung beantwortet werden, welche Vorteile bei der geplanten Anwendung durch Einsatz der MID-Technologie erhofft werden. Diese können sich sowohl auf eine Verbesserung der Produkteigenschaften als auch auf eine optimierte und zuverlässigere Herstellung der Baugruppe beziehen. Im Pflichtenheft der geplanten Anwendung muss daher eine exakte Definition bezüglich der Zielrichtung der neuen Produkteigenschaften dargestellt sein.

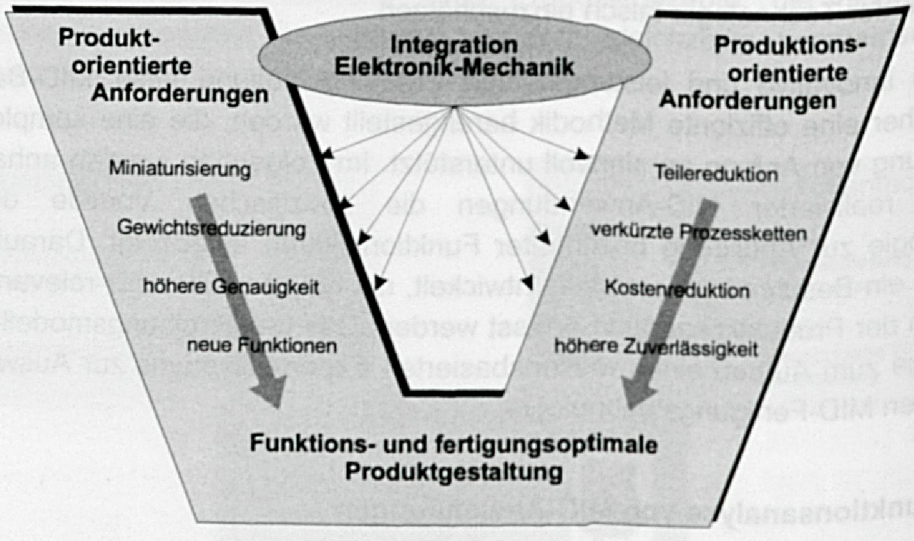


Bild 41: Vorteile der MID-Technologie für eine innovative Produktkonzeption und eine fertigungsgerechte Prozessgestaltung

Für den MID-Anbieter ist es entscheidend, die genaue Zielrichtung einer MID-Entwicklung zu kennen, um eine funktions- und fertigungsgerechte Gestaltung des Produktes zu erarbeiten. Hierfür lässt sich eine sehr allgemeine, jedoch MID-typische Charakterisierung von möglichen Produkteigenschaften definieren.

Miniaturisierung

Die Miniaturisierung ist eine herausragende Stärke der MID-Technik. In einer Reihe bereits realisierter Anwendungen konnte der benötigte Bauraum deutlich verringert werden. Mithilfe dreidimensionaler Packaging-Konzepte und dem Einsatz der Laserstrukturierung ist es möglich, feine Anschlussstrukturen für hochintegrierte Anwendungen zu realisieren [151]. Ferner erlaubt das New-SKW-Verfahren besonders dünnwandige und leichte Strukturen zu erzeugen [149].

Gewichtsreduzierung

Im Vergleich zur konventionellen Stanzgittertechnik werden in der MID-Technik keine massiven Metallstrukturen eingesetzt. Die thermoplastischen Trägersubstrate werden lediglich mit dünnen Metallstrukturen metallisiert. Kunststoffe haben zudem eine wesentlich geringere Dichte als Metalle und weisen damit auch ein geringeres Gewicht auf. Bei größeren MID-Baugruppen führt dies zu einer deutlichen Reduzierung des Gesamtgewichts [95].

Höhere Genauigkeit

Der Kunststoffspritzguss zeichnet sich durch eine hohe Reproduzierbarkeit der Spritzgussteile sowie eine hohe Genauigkeit im Verabreitungsverfahren aus. Die bereits im Spritzgusswerkzeug integrierbaren räumlichen Funktionselemente können mit einer hohen reproduzierbaren Genauigkeit hergestellt werden.

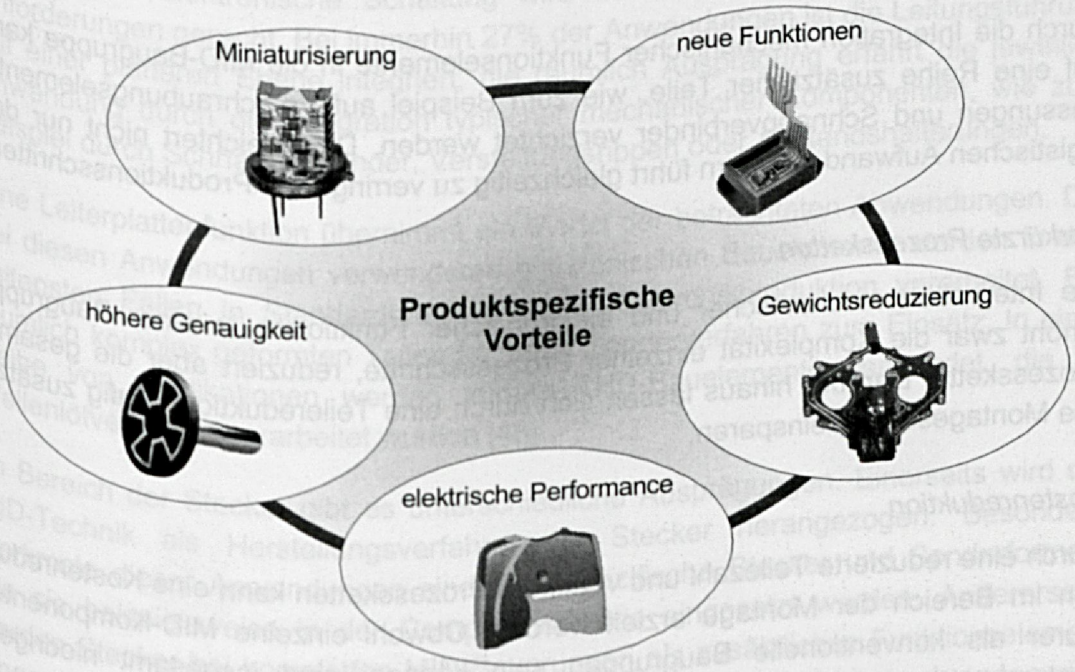


Bild 42: Vorteile der MID-Technologie für die Produktgestaltung

Verbesserung der elektrischen Eigenschaften

Die Verbesserung elektrischer Eigenschaften einer MID-Baugruppe ist im Allgemeinen auf die selektive Metallisierbarkeit flächiger Strukturen zurückzuführen. Eingesetzt wird diese zum einen im Bereich des Shieldings elektronischer Bauteile, um damit bessere EMV-Eigenschaften zu erzielen. Andererseits können komplexe dreidimensionale Antennenstrukturen mit verbesserten Übertragungskenndaten leichter realisiert werden [50].

Im Hinblick auf die Herstellung des Produktes ergeben sich mit einer integrierten Produktgestaltung weitere Vorteile. Diese führen zu einer deutlichen Rationalisierung der gesamten Prozesskette. Insbesondere im Bereich der Montage können Arbeitsschritte entfallen, der Montageprozess wird dadurch verkürzt.

Neue Funktionen

Mithilfe einer integrierten Produktentwicklung können insgesamt neue Funktionen in das Produkt integriert werden, die mittels einer konventionellen Fertigungstechnologie nicht realisierbar sind.

Neben der produktbezogenen Zielrichtung bietet der MID-Einsatz die Möglichkeit, die Fertigung der elektronischen Baugruppe im Vergleich zu konventionellen Systemen zu optimieren. Auch hierfür lassen sich übergreifende Kriterien benennen.

Teilereduktion

Durch die Integration mechanischer Funktionselemente in die MID-Baugruppe kann auf eine Reihe zusätzlicher Teile, wie zum Beispiel auf Verschraubungselemente, Fassungen und Schnappverbinder verzichtet werden. Die erleichtert nicht nur den logistischen Aufwand, sondern führt gleichzeitig zu verringerten Produktionsschritten.

Verkürzte Prozessketten

Die Integration mechanischer und elektronischer Funktionen in einer Baugruppe erhöht zwar die Komplexität einzelner Prozessschritte, reduziert aber die gesamte Prozesskette. Darüber hinaus lassen sich durch eine Teilereduktion häufig zusätzliche Montageschritte einsparen.

Kostenreduktion

Durch eine reduzierte Teilezahl und verkürzte Prozessketten kann eine Kostenreduktion im Bereich der Montage erzielt werden. Obwohl einzelne MID-Komponenten teurer als konventionelle Baugruppen sein können, sind insgesamt niedrigere Systemkosten realisierbar.

Höhere Zuverlässigkeit

Eine reduzierte Teilezahl führt zu einer Einsparung von Montageschritten. Damit wird das Fehlerpotential in der Fertigung reduziert, was zu einer deutlich zuverlässigeren Produktion führt. Weiterhin bilden hochintegrierte Baugruppen weniger Ansatzpunkte für Ausfälle in den jeweiligen Einsatzfeldern. Die verringerte Anzahl an Schnittstellen und Verbindungselementen führt zu einer höheren Produktzuverlässigkeit.

5.1.2 Charakterisierung typischer Funktionsmerkmale

Neben den generell formulierbaren Vorteilen beim Einsatz der MID-Technologie gibt es eine Reihe typischer Funktionsmerkmale, die in den Basisträger integriert werden können. In der konventionellen Aufbautechnik werden diese oft durch zusätzliche Teile realisiert und erfordern damit ergänzende Herstellungs- und Montageprozesse.

Mittels einer Analyse[5] von der im Datenbanksystem MIDIS [17] erfassten MID-Anwendungen wurden typische MID-Funktionsmerkmale identifiziert. Gegenüber früheren Analysen (vgl. [45]) hat sich das Spektrum der integrierten Funktionsmerkmale deutlich verändert und erweitert.

Bereits in [115] wurde dargelegt, dass der ursprüngliche Ansatz einer dreidimensionalen Leiterplatte nicht die Stärken der MID-Technik trifft. Zentrales Merkmal von annähernd 75% der untersuchten Anwendungen ist die dreidimensionale Leitungsführung. Die elektronische Schaltung wird damit in erster Linie geometrischen Anforderungen gerecht. Bei immerhin 27% der Anwendungen ist die Leitungsführung auf einer planaren Ebene integriert, die räumlich Ausprägung erfährt die jeweilige Anwendung durch die Integration typischer mechanischer Komponenten, wie zum Beispiel durch Schnappverbinder, Versteifungsrippen oder Abstandshalterungen.

Eine Leiterplattenfunktion übernimmt ein Viertel der betrachteten Anwendungen. Die bei diesen Anwendungen verwendeten elektronischen Bauelemente werden in den seltensten Fällen in Standardprozessen der Elektronikproduktion verarbeitet. Bei räumlich komplex geformten Teilen kommen Sonderverfahren zum Einsatz. In einer Reihe von Applikationen werden zudem THD-Bauelemente verwendet, die im Wellenlötverfahren verarbeitet wurden [48].

Im Bereich der Stecker gibt es unterschiedliche Ausprägungen. Einerseits wird die MID-Technik als Herstellungsverfahren für Stecker herangezogen. Besondere Merkmale dieser Anwendungen sind EMV-spezifische Stecker und Sonderformen, wie sie beispielsweise in der Computerindustrie eingesetzt werden. Andererseits werden Stecker bei kompletten MID-Baugruppen als zusätzliches Funktionselement eingesetzt. Die Kontaktierung konventioneller Stecksysteme erfolgt durch angespritzte metallisierte Kunststoff-Pins.

Eine weitere Möglichkeit stellt das Einpressen von massiven oder elastisch verformbaren Metallstiften dar. Dieses Verfahren eignet sich hervorragend zur Kontaktierung von Stecksystemen mit sehr kleinen Anschlussgeometrien.

[5] Von 170 abgelegten MID-Anwendungen wurden 141 analysiert, nicht betrachtet wurden Demonstrator-Bauteile und reine Shielding-Anwendungen.

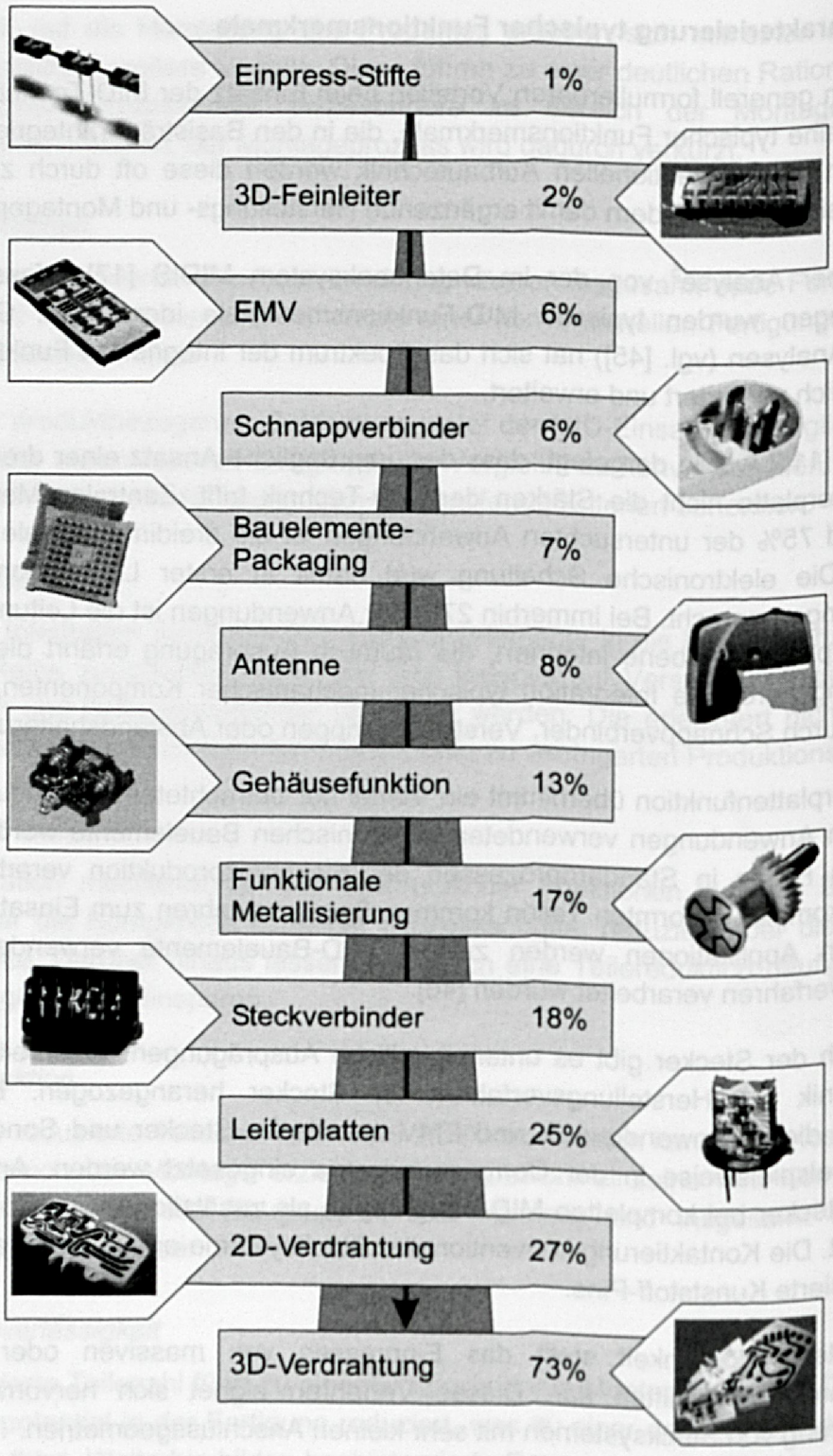


Bild 43: MID-spezifische Funktionen sowie deren anteilige Umsetzung in den bisher realisierten MID-Anwendungen (Quelle: [17])

Ein besonderer Vorteil der MID-Technik ist die direkte Integration einer Schaltung in ein Gehäuse. Aufgrund der aufwendigen Prozessführung beim Bestücken und Löten wurden bisher nur rund 13% der Anwendungen in dieser Form umgesetzt. Gerade bei einfacheren Anwendungen mit wenigen elektronischen Bauteilen können durch die Einsparung einer zusätzlichen Leiterplatte deutliche Rationalisierungspotentiale ausgeschöpft werden.

Die hohe Gestaltungsfreiheit im Spritzgussprozess erlaubt die Konzeption innovativer Antennenstrukturen. In [50] wird dargelegt, dass durch die freie Formgebung ein besseres Abstrahlungs- und Übertragungsverhalten gerade bei Antennen für Mobilfunktelefone erreicht werden kann. In gleicher Weise kann mithilfe einer selektiven, flächigen Metallisierung ein Schutz vor elektromagnetischen Ein- oder Ausstrahlungen erzeugt werden. Bisher wurden jedoch nur wenige Anwendungen mit integriertem EMV-Shielding im Bereich MID realisiert.

Der Einsatz der Laserstrukturierung bei der Strukturierung von Ätzresisten mit anschließendem Ätzen ermöglicht die Herstellung von Feinstleitern. Angepasste Prozesse der Metallisierung und Strukturierung sowie optimierte Strahlführungen bei Laseranlagen eröffnen eine breites Feld für miniaturisierte Anwendungen [76]. Mithilfe angepasster Fokussierung lassen sich auch dreidimensionale Strukturen verarbeiten.

5.2 Konzeption eines Bewertungssystems

Für eine erfolgreiche Projektierung einer MID-Anwendung ist es von entscheidender Bedeutung, frühzeitig das zur Erfüllung der geforderten Funktionalität optimale Verfahren auszuwählen. Nur dann ist es in der Entwicklungsphase möglich, die verfahrensspezifischen Randbedingungen zu berücksichtigen und eine fertigungsgerechte Konstruktion zu entwickeln.

Die Konzeption des Bewertungssystems umfasst daher zwei zentrale Aufgabenbereiche. Zuerst muss ein detailliertes und MID-spezifisches Anforderungsprofil der Anwendung erarbeitet werden. Diese Angaben sind produktorientiert und losgelöst von den Fähigkeiten der zur Verfügung stehenden Herstellungsverfahren aufzuführen. In einem zweiten, parallel verlaufenden Bereich müssen die Fähigkeiten der Herstellungsverfahren zur Umsetzung von Produktfunktionalitäten bestimmt werden. Die Kombination aus beiden Datenmengen gestattet dann eine produktorientierte Auswahl des optimalen Verfahrens. Im Hinblick auf den Produktionsprozess findet diese Bewertung in der Konzeptionsphase statt. Bei schwierig zu erfüllenden Produktprofilen kann durch eine Anpassung der Anforderungen in raschen Iterationsschleifen frühzeitig ein Pflichtenheft für die sich anschließende detaillierte Konstruktion bereitgestellt werden.

Einen wichtigen Stellenwert nimmt in diesem Zusammenhang die Definition eines geeigneten Beschreibungsmodells ein. Dies muss sowohl eine detaillierte Produktbeschreibung ermöglichen als auch hinsichtlich der Kenndatenbestimmung der Verfahren geeignet sein.

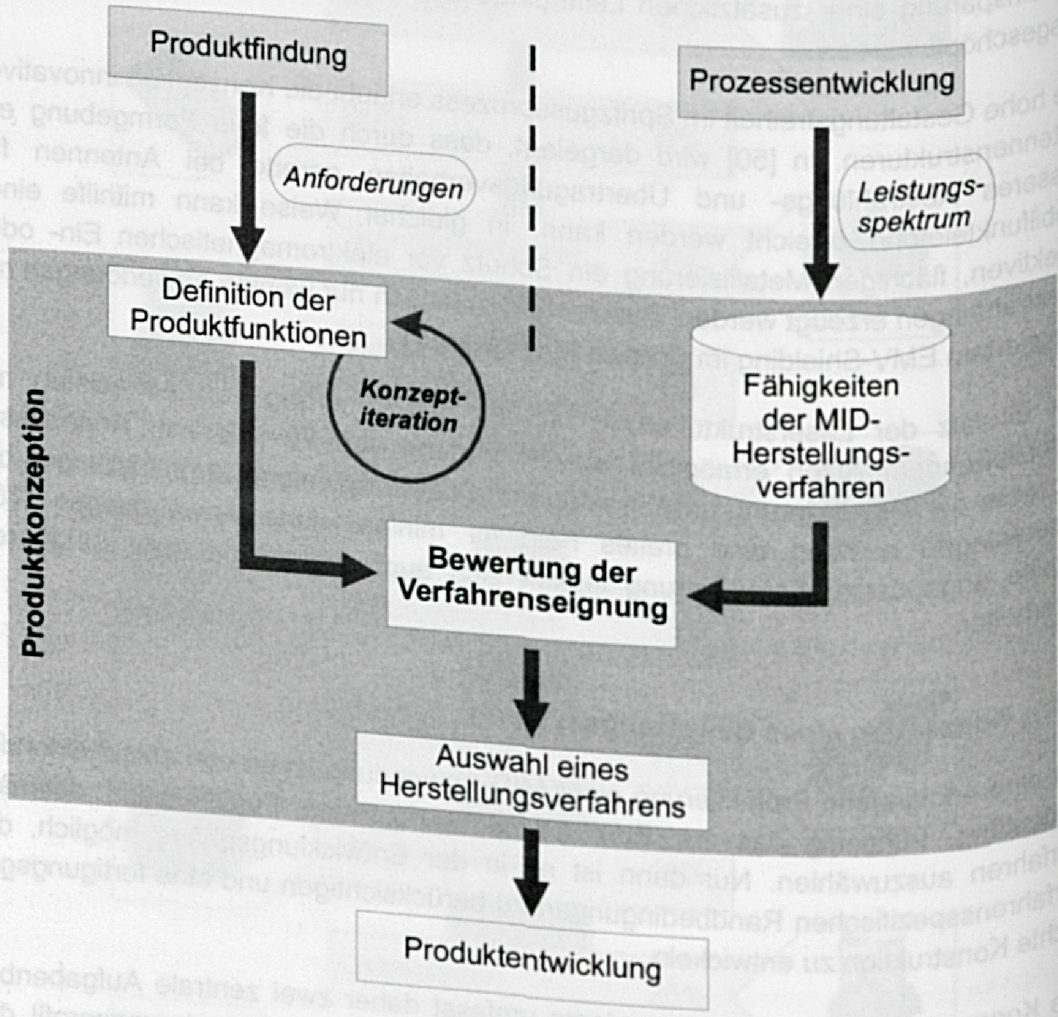


Bild 44: Vorgehensweise zur systematischen Auswahl eines MID-Herstellungsverfahrens

5.2.1 Definition eines Beschreibungsmodells

Die übersichtliche Bereitstellung aller MID-spezifischen Merkmale ist für die Bewertung und Auswahl eines MID-Herstellungsverfahrens von entscheidender Bedeutung. Die hier vorgeschlagene Datenstruktur wurde mittels der in MID-Projekten gesammelten Erfahrungen und der in Kapitel 5.1 durchgeführten Analyse bekannter MID-Applikationen erarbeitet. Es wurde daher ein Beschreibungsmodell entwickelt, das alle wesentlichen Funktionsmerkmale eines dreidimensionalen

spritzgegossenen Schaltungsträgers strukturiert erfasst. Diese wurden in insgesamt neun Klassen gegliedert, in denen die Anforderungen an die Baugruppe, mechanische und elektronische Funktionen sowie weitere Fragestellungen zur Baugruppenmontage und den abschließenden Beanspruchungen aufgeführt werden. Eine Erweiterung der in den einzelnen Klassen abgelegten Funktionsbeschreibung um zusätzliche Merkmale kann anwendungsspezifisch erfolgen.

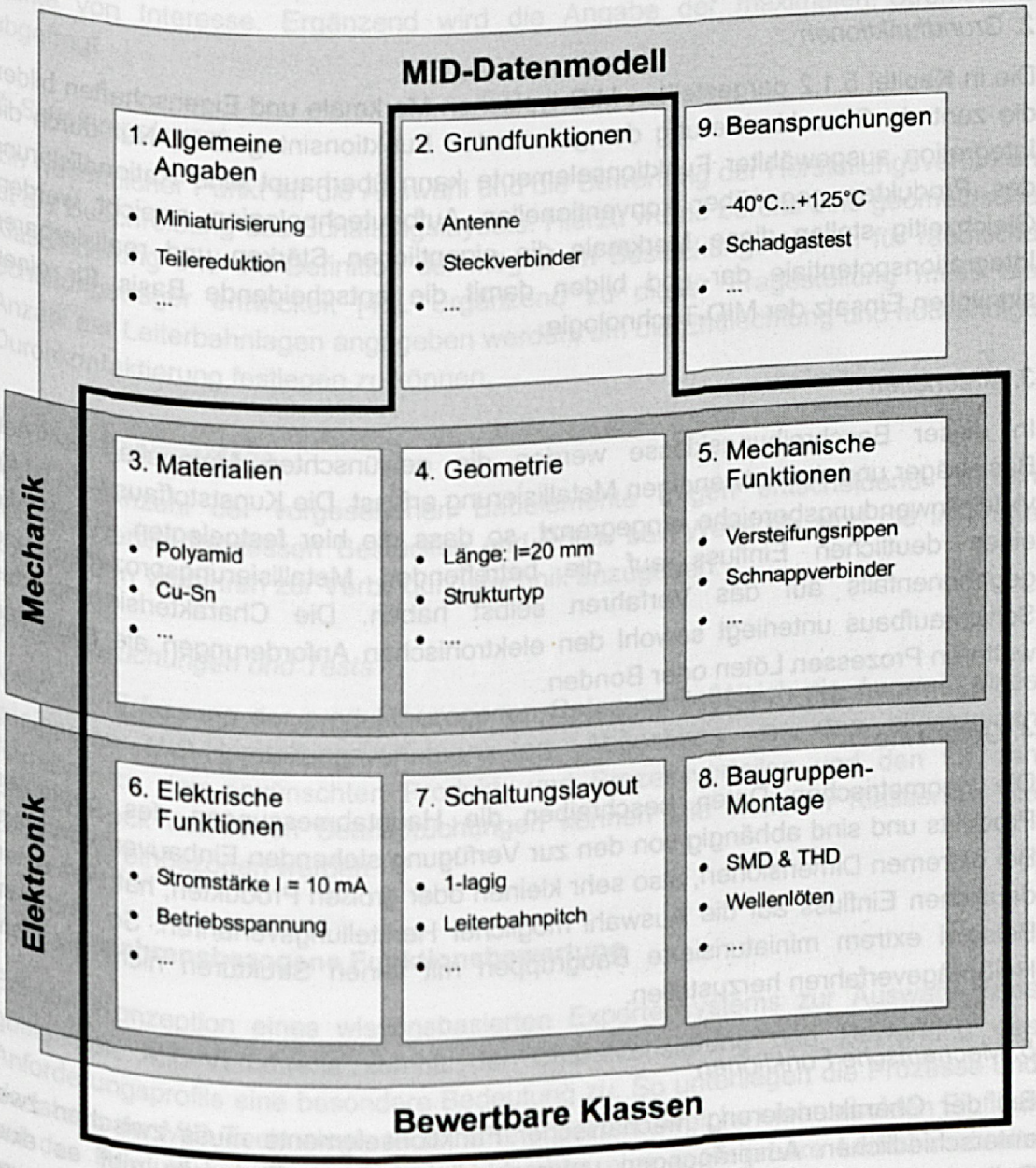


Bild 45: Definition eines umfassenden Produktdatenmodells zur Beschreibung von MID-Anwendungen

1. Allgemeine Angaben

Als erste Eingangsgröße werden die vom Konstrukteur angestrebten produktspezifischen und fertigungstechnischen Vorteile erfasst. Sie spiegeln die zu verfolgende Grundtendenz der Entwicklungsaufgabe wieder, wie sie in Kapitel 5.1.1 dargelegt ist. Damit werden die in der Entwicklungsaufgabe zu verfolgenden allgemeinen Ziele für das Produkt festgelegt

2. Grundfunktionen

Die in Kapitel 5.1.2 dargestellten MID-typischen Merkmale und Eigenschaften bilden die zentrale Charakterisierung der geforderten Funktionsintegration. Nur durch die Integration ausgewählter Funktionselemente kann überhaupt eine Rationalisierung des Produktes gegenüber konventionellen Aufbautechnologien erreicht werden. Gleichzeitig stellen diese Merkmale die eigentlichen Stärken und realisierbaren Integrationspotentiale dar und bilden damit die entscheidende Basis für einen sinnvollen Einsatz der MID-Technologie.

3. Materialien

In dieser Beschreibungsklasse werden die gewünschten Materialien für den Basisträger und der notwendigen Metallisierung erfasst. Die Kunststoffauswahl ist für viele Anwendungsbereiche eingegrenzt, so dass die hier festgelegten Kunststoffe einen deutlichen Einfluss auf die betreffenden Metallisierungsprozesse und gegebenenfalls auf das Verfahren selbst haben. Die Charakterisierung des Schichtaufbaus unterliegt sowohl den elektronischen Anforderungen als auch den weiteren Prozessen Löten oder Bonden.

4. Geometrie

Die geometrischen Daten beschreiben die Hauptabmessungen des geplanten Produkts und sind abhängig von den zur Verfügung stehenden Einbauverhältnissen. Bei extremen Dimensionen, also sehr kleinen oder großen Produkten, hat dies einen deutlichen Einfluss auf die Auswahl möglicher Herstellungsverfahren. So sind zum Beispiel extrem miniaturisierte Baugruppen mit feinen Strukturen nicht mit dem Heißprägeverfahren herzustellen.

5. Mechanische Funktionen

Bei der Charakterisierung mechanischer Funktionselemente muss zwischen zwei unterschiedlichen Ausprägungen unterschieden werden. Einerseits gibt es eine Reihe an kunststofftechnischen, mechanischen Funktionselementen, wie zum Beispiel Versteifungen oder Schnappverbinder, die hervorragend in die Baugruppe integriert werden können. Andererseits ist es möglich mit metallisierten mechani-

schen Elementen zusätzlich elektrische Funktionen, beispielsweise eine EMV-Abschirmung abzubilden.

6. Elektrische Funktionen

In dieser Beschreibungsklasse werden die elektronischen Kennwerte abgefragt. Hierbei sind insbesondere die Betriebsspannung und die durchschnittliche Stromstärke von Interesse. Ergänzend wird die Angabe der maximalen Stromstärke abgefragt.

7. Schaltungslayout

Ein wesentlicher Punkt für die Auswahl und die Bewertung der Herstellungsverfahren ist die Beschreibung des Schaltungslayouts. Hierzu wurde bereits eine geometrische Klassifizierung und die Definition der möglichen Bestückungsebenen für räumliche Schaltungsträger entwickelt [45]. Ergänzend zu dieser Fragestellung muss die Anzahl der Leiterbahnlagen angegeben werden, um die Entflechtung und notwendige Durchkontaktierung festlegen zu können.

8. Baugruppenmontage

Art und Anzahl der vorgesehenen Bauelemente tragen entscheidend zu den nachgelagerten Prozessen Bestücken und Löten bei. Weiterhin sind die in Frage kommenden Verfahren zur Verbindungstechnik anzugeben.

9. Beanspruchungen und Tests

Nach der Erfassung der produktbezogenen Daten schließt sich die Auswahl eines geeigneten MID-Herstellungsverfahrens an. Abgesehen von den allgemeinen Angaben zu den erwünschten Produkt- und Prozessvorteilen und den für den Einsatzzweck definierten Beanspruchungen können alle weiteren Klassen in die Bewertung einbezogen werden.

5.2.2 Verfahrensbezogene Funktionsbewertung

Bei der Konzeption eines wissensbasierten Expertensystems zur Auswahl eines geeigneten MID-Verfahrens kommt der Charakterisierung und Bewertung des Anforderungsprofils eine besondere Bedeutung zu. So unterliegen die Prozesse und Verfahren der MID-Technologie technischen Grenzen, welche einen direkten Einfluss auf das Produkt haben. Als Beispiel kann hier eine realisierbare Leiterbahnbreite genannt werden, die in den unterschiedlichen Herstellungsverfahren prozessbedingt variiert. Dies liegt in diesem Fall wesentlich in den gänzlich verschiedenen Verfahren zur Erzeugung der Leiterbahn begründet, da diese beim Heißprägeverfahren mittels Prägestempel, beim 2K-Spritzguss durch die Kavität im Spritzgussprozess und bei

der Laserstrukturierung über den Laser erzeugt wird. Diese Merkmale können mittels der bekannten Parameter für jeden Teilprozess in eine Datenstruktur zur Beschreibung der Fähigkeiten der MID-Verfahren übertragen werden.

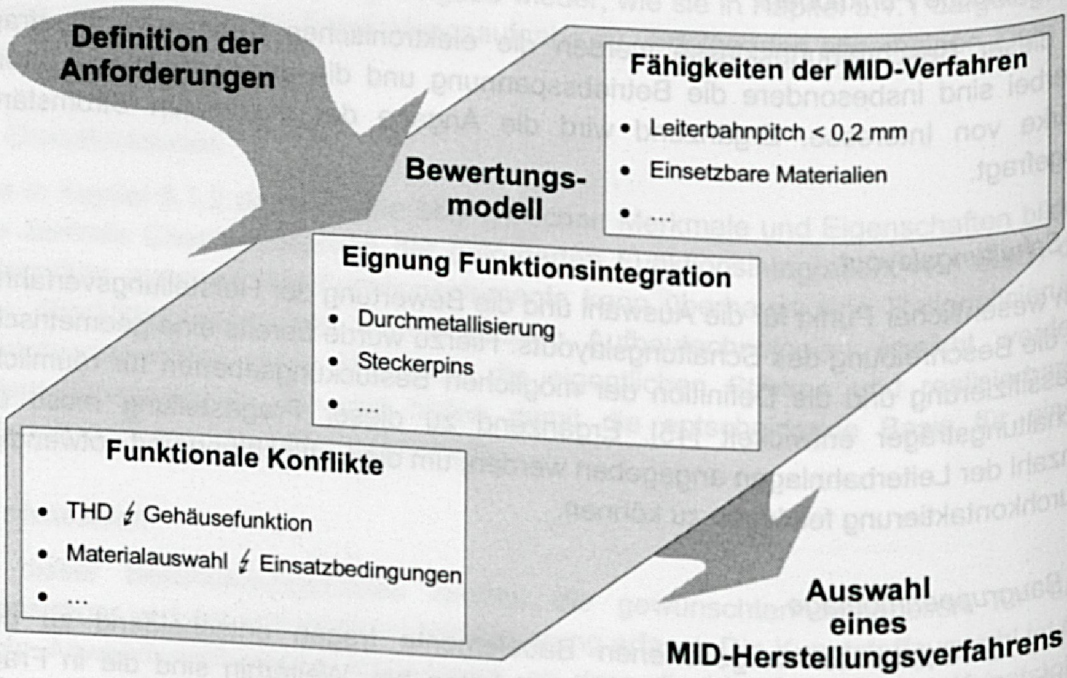


Bild 46: Teilbereiche eines MID-spezifischen Bewertungsmodells

Auch die zu treffende Materialauswahl stellt eine weitere wichtige Charakterisierung dar. Die thermischen und mechanischen Eigenschaften von Kunststoffen entscheiden über mögliche Einsatzfelder. Werden in diesem Zusammenhang zu hohe Anforderungen an den ausgewählten Kunststoff gestellt, so ist eine zuverlässige Produktfunktionalität nicht erreichbar.

Da Kennwerte, wie zum Beispiel Dauergebrauchstemperaturen oder Informationen zur Haftfestigkeit metallischer Schichten, in vielen Bereichen bekannt sind, können diese ebenfalls in die Bewertung des Anforderungsprofils miteinbezogen werden.

In Kapitel 5.1.2 wurden die im Rahmen einer Applikations-Analyse ermittelten MID-spezifischen Funktionen bereits erläutert. Die Häufigkeit ihres Auftretens bei realisierten MID-Applikationen in Verbindung mit dem betreffenden Herstellungsverfahren bildet eine weitere Grundlage zur Bewertung der Eignung eines Verfahrens, bestimmte Produkteigenschaften zu erfüllen.

Das Heißprägeverfahren eignet sich besonders für die Herstellung funktionaler Oberflächenmetallisierungen. Diese Strukturen üben meist nur passive elektronische Funktionen aus, wie dies an zahlreichen Beispielen von Induktionsschleifen für

Sensor-Applikationen [58], [116] deutlich wird. Darüber hinaus eignet sich das Heißprägen zur Erstellung einfacher Schaltungslayouts auf dreidimensional geformten Kunststoff-Elementen, wobei der eigentliche Bereich für die Schaltung überwiegend planar gestaltet ist.

Leiterplattenfunktionen werden ebenfalls mit dem Maskenverfahren umgesetzt. Konventionelle Strukturierungsmasken, die zum Teil an dreidimensional geformte Strukturen angepasst werden, bieten aufgrund der hohen Erfahrung im konventionellen Bereich ein breites Einsatzgebiet.

Ergänzend werden im Maskenverfahren EMV-Funktionen sowie die Erstellung der Leiterbahnen in Gehäuseteilen übernommen. Die Laser-Strukturierung bietet ergänzend zum Maskenverfahren die Möglichkeit noch feinere Strukturen bis hin zu 50 µm herzustellen.

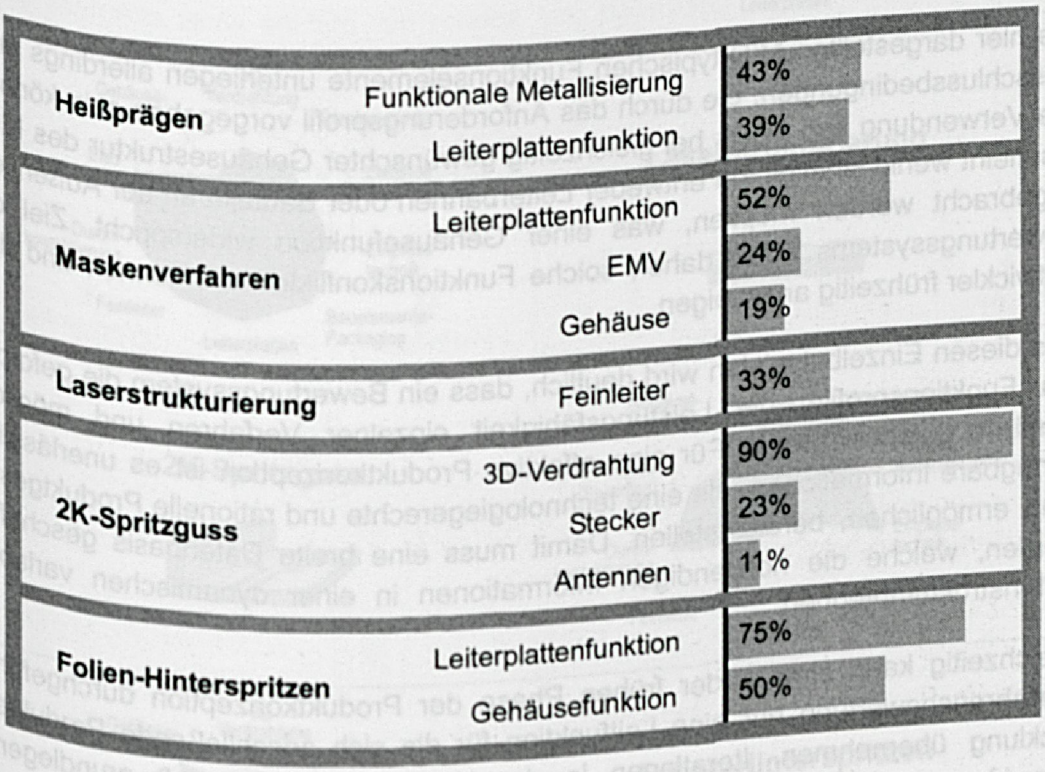


Bild 47: Charakterisierung der Herstellungsverfahren basierend auf der Häufigkeit eingesetzter Funktionsmerkmale

Für komplexe 3-D Verdrahtungen eignet sich der Zweikomponentenspritzguss, der für diese Aufgabe im Vergleich aller Verfahren am häufigsten eingesetzt wird. Besonders deutlich wird dies an Entwicklungen im Bereich der Telekommunikation, da hier oft Freiformflächen für die Gestaltung miniaturisierter Antennen-Strukturen

benötigt werden [50]. Weitere Potentiale sind durch die einfache Integration von Stecksystemen gegeben.

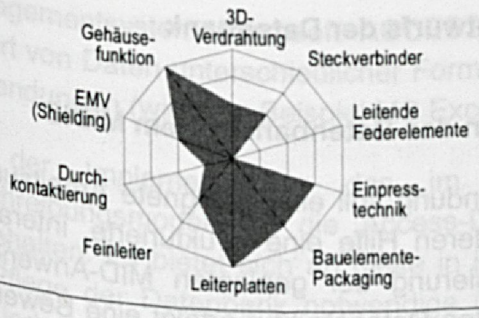
Mit dem Folien-Hinterspritzen werden überwiegend Leiterplatten-Funktionen umgesetzt. Dies wird insbesondere durch die hohe Gestaltungsfreiheit von Leitungsstrukturen mithilfe konventioneller Strukturierungsprozesse begünstigt. Das Hinterspritzen erlaubt zudem eine sehr einfache Gestaltung von Gehäuse-Funktionen, da die Verwendung metallisierter Folien keine weiteren nasschemischen Prozesse erfordert und damit zum Beispiel hohe Oberflächengüten für das Gehäuse erreicht werden.

Darüber hinaus müssen die weniger häufig auftretenden, aber ebenso wichtigen Merkmale in die Bewertung mit einbezogen werden. Die in Bild 48 dargestellte Charakterisierung der Merkmale basiert vor allem auf Erfahrungswerten von MID-Projekten.

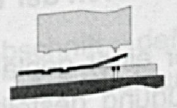
Die hier dargestellten MID-typischen Funktionselemente unterliegen allerdings auch Ausschlussbedingungen, die durch das Anforderungsprofil vorgegeben sein können. Die Verwendung von THDs bei gleichzeitig gewünschter Gehäusestruktur des MIDs erscheint wenig sinnvoll, da entweder Leiterbahnen oder Bauteile an der Außenseite angebracht werden müssen, was einer Gehäusefunktion widerspricht. Ziel des Bewertungssystems ist es daher, solche Funktionskonflikte zu erkennen und dem Entwickler frühzeitig anzuzeigen.

Aus diesen Einzelbeispielen wird deutlich, dass ein Bewertungssystem die geforderten Funktionsprofile, die Leistungsfähigkeit einzelner Verfahren und mögliche Konflikte erkennen muss. Für eine effektive Produktkonzeption ist es unerlässlich, verfügbare Informationen, die eine technologiegerechte und rationelle Produktgestaltung ermöglichen, bereitzustellen. Damit muss eine breite Datenbasis geschaffen werden, welche die notwendigen Informationen in einer dynamischen variablen Datenstruktur integriert.

Gleichzeitig kann eine in der frühen Phase der Produktkonzeption durchgeführte Verfahrensbewertung nur eine Leitfunktion für die sich anschließende Produktentwicklung übernehmen. Iterationen in der Konzeption zeigen oft grundlegende Auswirkungen auf die Eignung eines möglichen MID-Verfahrens. Das ausgewählte Verfahren stellt daher lediglich eine bestmögliche Alternative dar, die basierend auf vorhandenem Wissen vorgeschlagen wird.

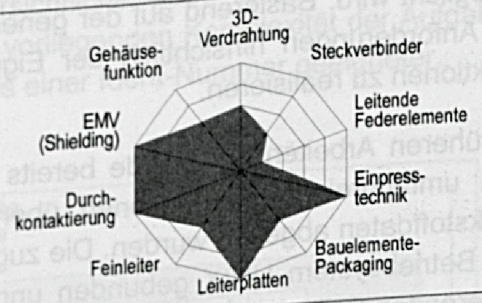


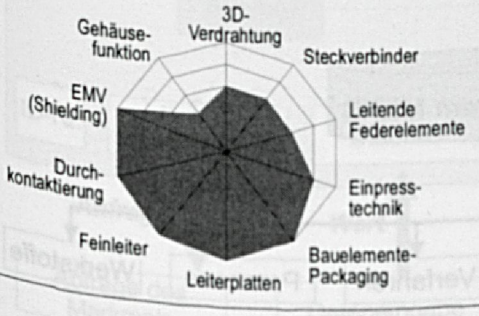
Heißprägen



Maskenverfahren





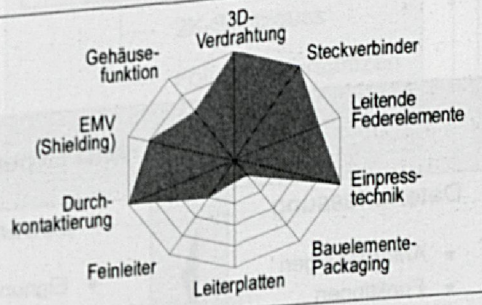


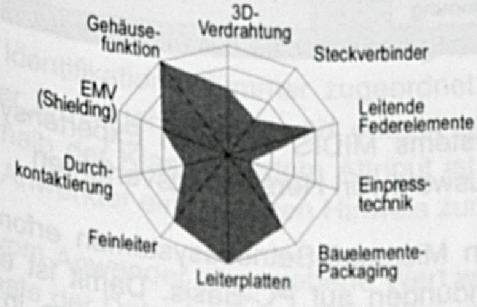
Laserstrukturierung



2K-Spritzguss







Folien-Hinterspritzen

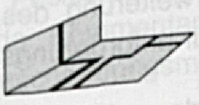


Bild 48: Eignung der Herstellungsverfahren zur Umsetzung MID-spezifischer Funktionselemente (Darstellung in Anlehnung an [59])

5.3 Umsetzung des Implementationsentwurfs der Datenbank

5.3.1 Implementieren der Datenstruktur in das Datenbanksystem MIDIS

Dem Entwickler einer geplanten MID-Anwendung soll eine geeignete Arbeitsumgebung zur Verfügung gestellt werden, mit deren Hilfe eine strukturierte, interaktive Dateneingabe zur detaillierten Charakterisierung der geplanten MID-Anwendung ermöglicht wird. Basierend auf der generierten Datenstruktur erfolgt eine Bewertung der Anforderungen hinsichtlich der Eignung der Herstellungsverfahren, um diese Funktionen zu realisieren.

In früheren Arbeiten [45] wurde bereits ein Datenbanksystem MIDIS aufgebaut, in dem umfangreiche Informationen über MID-Applikationen, -Prozessketten sowie Werkstoffdaten abgelegt wurden. Die zugrunde liegende Datenbank war zunächst an das Betriebsystem UNIX gebunden und konnte nur mithilfe einer ebenfalls UNIX-basierenden Software genutzt werden.

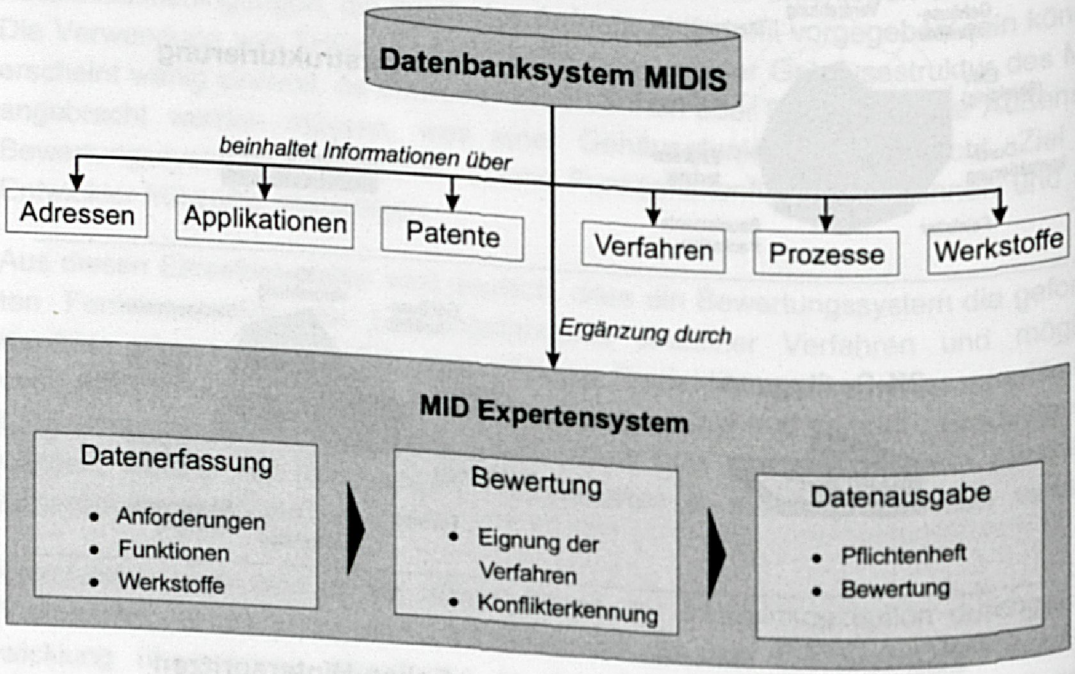


Bild 49: Erweiterung des Datenbanksystems MIDIS mit dem Expertensystem zur anforderungsorientierten Auswahl von Herstellungsverfahren

Die zunehmende weltweite Verbreitung von Microsoft-Betriebssystemen erforderte eine Anpassung der Datenbasis für Anwendungen auf PC-Basis. Damit ist es für interessierte Unternehmen leichter möglich, das MID Informationssystem in den jeweiligen Entwicklungsabteilungen einzusetzen. Anhand dieser Vorgaben und der bereits bestehenden Datenstruktur wurde als relationales Datenbank-

Managementsystem Microsoft ACCESS ausgewählt. Dieses System erlaubt den Import von Daten unterschiedlicher Formate und unterstützt ebenfalls weitverbreitete Anwendungen (wie zum Beispiel MS Excel) für das Exportieren von Daten.

Bei der Implementierung des im vorherigen Abschnitt definierten MID-Beschreibungsmodells in die Access-Datenbank wird die Struktur der Klassen beibehalten. Es bietet sich an diese in jeweils eigenen Tabellen anzulegen, die für die Pflege der Datenbank notwendige übersichtliche Gestaltung der Datenstruktur geht jedoch dabei verloren. Wegen der hier vorliegenden Komplexität der Aufgabenstellung erscheint eine Referenzierung mittels einer Ident-Nummer geeigneter.

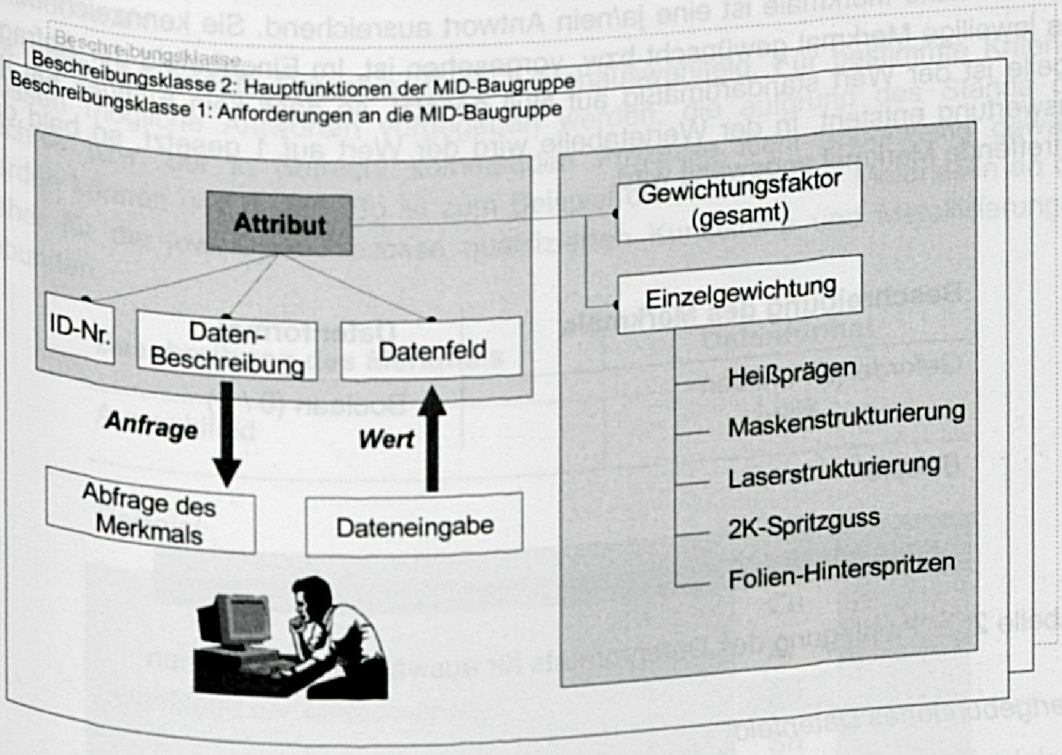


Bild 50: Struktur des Datenmodells für das Expertensystem

Jedem Attribut, das ein Beschreibungsmerkmal des MID-Datenmodells abbildet, wird eine Identifikations-Nummer zugeordnet. Diese Nummer definiert die Zugehörigkeit zu der jeweiligen Klasse und erlaubt gleichzeitig die Positionierung des Attributes innerhalb der Klasse. Jedem Attribut ist ein erläuternder Kommentar beigefügt, der dem Anwender einen kurzen Hinweis zum jeweiligen Beschreibungsmerkmal liefert.

Der vom Anwender eingegebene Wert wird im Datenfeld des Attributes abgelegt. Die Formate der Datenfelder sind den spezifischen Merkmalen angepasst und werden im weiteren Verlauf des Kapitels noch näher erläutert.

Die Eignung der Herstellungsverfahren das betreffende Beschreibungsmerkmal zu erfüllen, ist mithilfe von Gewichtungsfaktoren festgelegt. Diese gliedern sich in eine Gesamtgewichtung, mit der die Relevanz des Merkmals für die Bewertung insgesamt festgelegt wird, und in eine Einzelgewichtung der jeweiligen Verfahren, welche die Fähigkeit des Verfahrens festlegt, das entsprechende Merkmal zu erfüllen.

Von den zulässigen Antworten der jeweiligen Beschreibungsmerkmale ausgehend wurden für das Datenbanksystem drei verschieden Datentypen definiert.

Binäres Datenfeld

Für zahlreiche Merkmale ist eine ja/nein Antwort ausreichend. Sie kennzeichnet, ob das jeweilige Merkmal gewünscht bzw. vorgesehen ist. Im Eingabefeld der Abfragetabelle ist der Wert standardmäßig auf Null gesetzt, so dass kein Einfluss bei der Auswertung entsteht. In der Wertetabelle wird der Wert auf 1 gesetzt, so bald das betreffende Merkmal angewählt wird.

Beschreibung des Merkmals	**Datenformat**
Geforderte Funktion	Boolean (0 / 1)

Beispiel:

Leiterplattenfunktion	☒

Tabelle 2: Festlegung des Datenformats für auswählbare Funktionen

Wertgebundenes Datenfeld

In einigen Fällen muss vom Benutzer eine zahlenmäßige Eingabe bestimmter Werte erfolgen. Diese sind zum einen für das Bewertungsmodul notwendig. Der entsprechende Zahlenwert wird mit einem vorgegebenen Wertebereich verglichen und im Bewertungsmodul verarbeitet. Erfolgt keine Angabe eines Wertes, so wird dieses Merkmal in der Bewertung nicht berücksichtigt. Zum anderen werden konkrete Zahlenangaben für die Erstellung eines detaillierten Pflichtenheftes benötigt.

So wird zum Beispiel die für die geplante Anwendung zu erwartende maximale Stromstärke abgefragt. Eine Bewertung hinsichtlich der möglichen Herstellungsverfahren ist allerdings nicht möglich, da der Wert der Stromtragfähigkeit einerseits abhängig von der Metallisierung ist, andererseits auch die konstruktive Auslegung der Leiterbahnen entscheidend auf die tatsächlich realisierbare Stromtragfähigkeit einwirkt (vgl. [117]).

Beschreibung des Merkmals	Datenformat
Eingabefeld	Reale Zahlen

Beispiel:

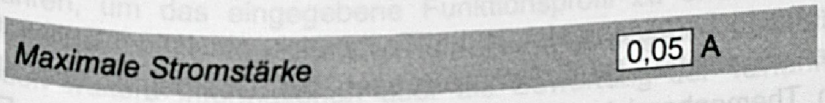


Tabelle 3: Festlegung des Datenformats für Eingabefelder

Listenauswahl

Der dritte verwendete Datentyp ist ein Listenauswahlfeld. Für bestimmte Kriterien müssen mögliche Antworten vorgegeben werden, die aufgrund des Stands der Technik bzw. der in Betracht kommenden Prozesse nicht anderweitig gewählt werden können und dürfen. So ist zum Beispiel die Auswahl der Materialien an die bisher für die jeweiligen Prozesse qualifizierten Kunststoffe und Metallisierungen gebunden.

Beschreibung des Merkmals	Datenformat
Auswahlfeld	Liste

Beispiel:

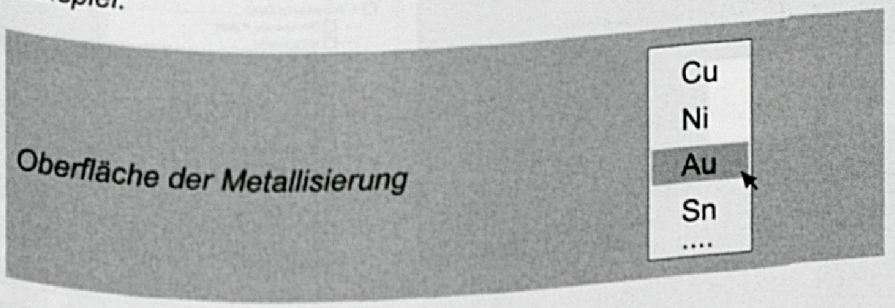


Tabelle 4: Festlegung des Datenformats für Auswahlfelder

Neben dem eigentlichen Eingabefeld steht dem Benutzer ein zusätzliches Feld für ergänzende Hinweise und Kommentare zur Verfügung. Damit können erklärende Erläuterungen eingefügt werden, die ebenfalls im Pflichtenheft erscheinen.

5.3.2 Erstellung der Benutzeroberfläche

Die Anwenderoberfläche des Expertensystems wurde mit dem Programmiersystem Visual Basic erstellt und in das bestehende Datenbanksystem MIDIS integriert. Damit

wird dem Benutzer die Möglichkeit gegeben, auf umfangreiche Informationen zurückzugreifen. Gleichzeitig können bereits bestehende Informationen - wie zum Beispiel über realisierte Anwendungen oder Kenndaten über Werkstoffe - direkt mit dem Expertensystem verknüpft werden. Von Vorteil ist, dass der Benutzer mittels dieser Oberfläche strukturiert durch die Dateneingabe geführt wird.

Die Anwenderoberfläche gliedert sich in drei Teilbereiche: Im linken Teilfenster ist die Eingabemaske abgebildet. Dem Benutzer wird der Oberbegriff des aktuell zu bearbeitenden Themenbereiches angezeigt. Mithilfe gezielt formulierter Fragestellungen wird auf das Funktionsmerkmal hingewiesen. Gegebenenfalls werden ergänzende Erläuterungen dargestellt, um die Fragestellung klar verständlich darzustellen und damit die Bearbeitung des aktuellen Merkmals zu erleichtern.

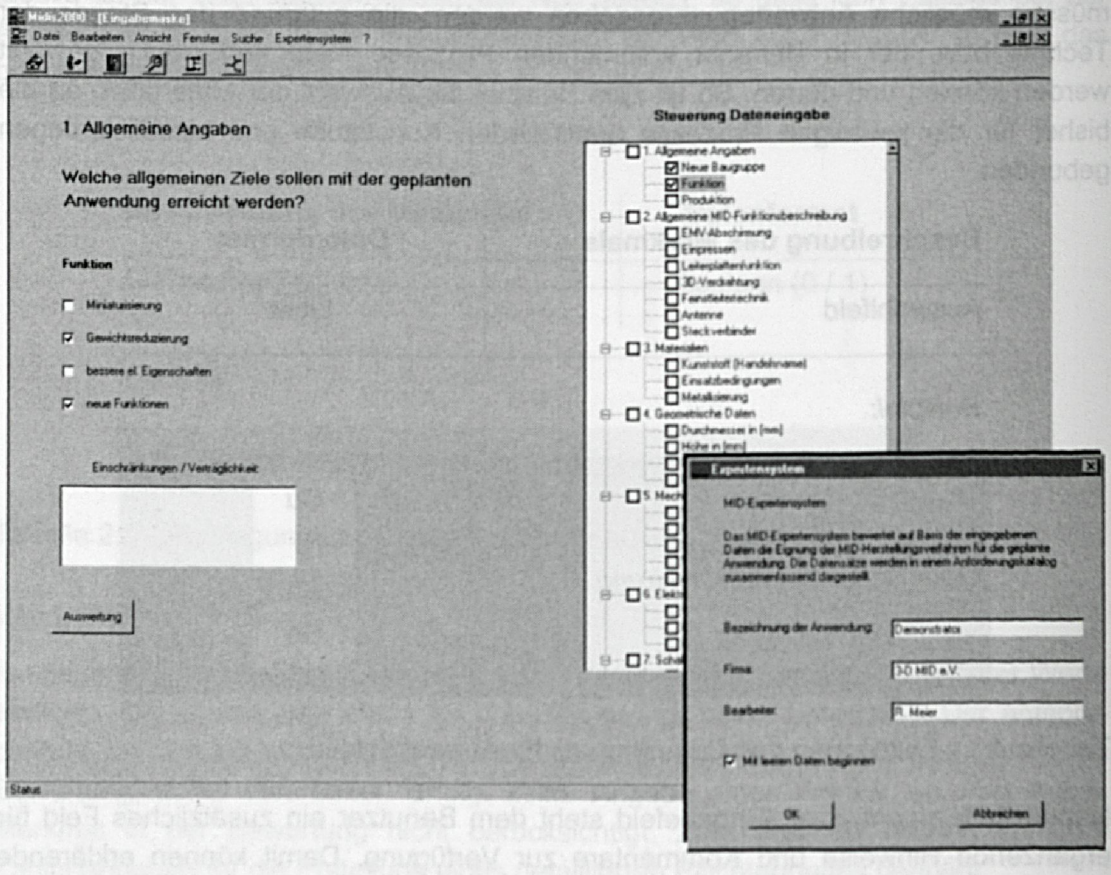


Bild 51: Eingabemaske des MID-Expertensystems

In der rechten Teilhälfte der Benutzeroberfläche ist die komplette Struktur der Dateneingabe aufgeführt. Bereits bearbeitete Fragestellungen werden in dieser Darstellung automatisch gekennzeichnet, der Benutzer erhält damit einen guten Überblick über die Vollständigkeit seiner Angaben.

Im dritten Teilbereich befindet sich die Menüsteuerung. Mithilfe dieser Funktionstasten kann der Bewertungsalgorithmus gestartet und die eingegebenen Daten in ein Ausgabeformat zur Erstellung des Pflichtenheftes exportiert werden.

Die Bewertung wird zunächst am Bildschirm ausgegeben. Dabei wird die Eignung der Verfahren, um das eingegebene Funktionsprofil zu erfüllen, in prozentualer Darstellung angegeben. Für eine sinnvolle Einschätzung des Bewertungsergebnisses müssen weitere Informationen über die Bewertung der Verfahren dargestellt werden.

In der rechten Teilhälfte des Ausgabefensters werden dem Anwender die aufgetretenen Konflikte dargestellt. Die Konflikte wurden durch die bekannten Eignungsprofile in das System integriert und stellen lediglich einen Hinweis an den Entwickler dar. Durch eine angepasste Prozessführung sowie durch eine innovative Produktgestaltung können diese in der weiteren Entwicklung eventuell aufgehoben werden. Dennoch sind sie zunächst allgemein gültig und zeigen dem Anwender mögliche Problemfelder einer MID-gerechten Produktkonzeption auf.

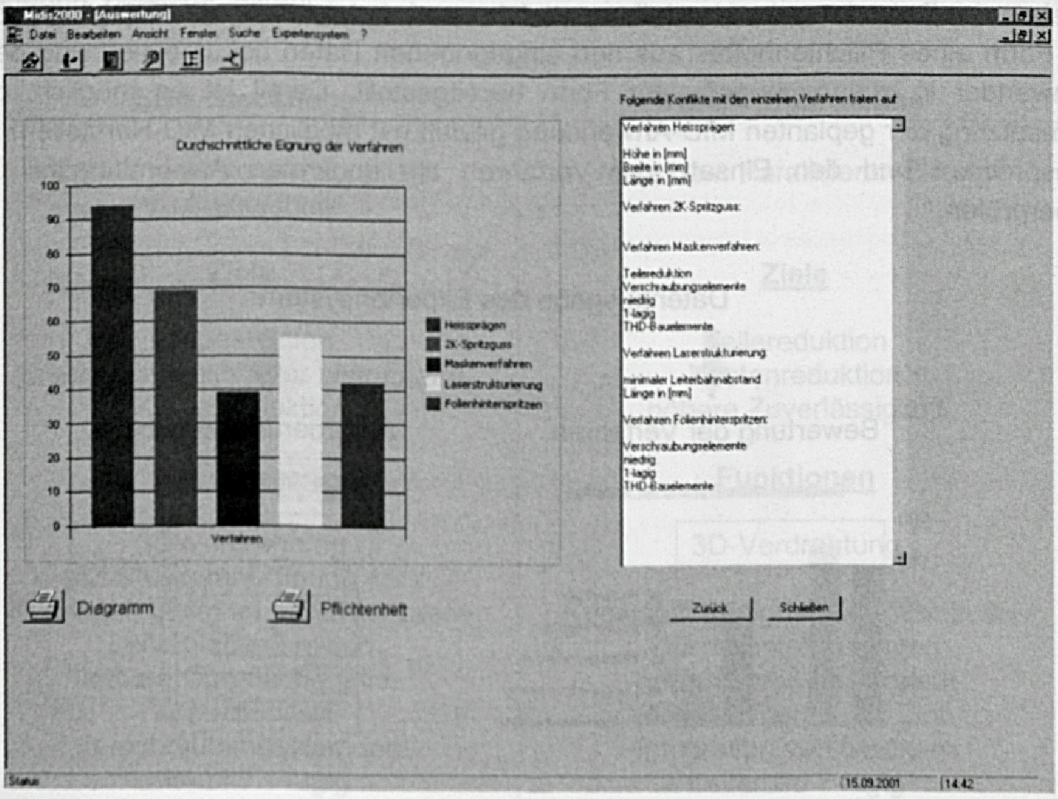


Bild 52: Datenausgabe der Bewertung von Verfahren

Datenbankerweiterung

Die Datenbank des Expertensystems kann jederzeit um zusätzliche Beschreibungsmerkmale ergänzt werden. Es ist ebenfalls möglich, neue Herstellungsverfahren oder Varianten bestehender Verfahren in die Bewertung zu integrieren. Die Abfrage der Datenstruktur ist dynamisch angelegt, d.h. dass die Tabelle problemlos um weitere Zeilen erweitert werden kann. Die neuen Attribute müssen aber bestimmten Klassen zugeordnet werden. Dabei ist es selbstverständlich auch möglich, völlig neue Klassen zu definieren.

Einige Datenfelder sind mit bereits vorhandenen Tabellen der Datenbank verknüpft. So erfolgt die Auswahl der Kunststoffe über die Tabelle „Werkstoffe". Sollen weitere Verknüpfungen dieser Art gestaltet werden, muss die Datenintegrität beachtet werden. Notwendige Änderungen müssen daher sorgfältig mit der bestehenden Struktur der Datenbank abgestimmt werden, um die Stabilität des Gesamtsystems nicht zu gefährden.

Datenausgabe

Neben der Bewertung der Herstellungsverfahren wird gleichzeitig das Funktionsprofil in Form eines Pflichtenheftes aus den eingegebenen Daten dokumentiert und dem Anwender in zusammengefasster Form bereitgestellt. Damit ist es möglich, die Umsetzung der geplanten MID-Anwendung gezielt mit möglichen MID-Herstellern zu besprechen und den Einsatz der Verfahren am konkreten Anwendungsfall zu überprüfen.

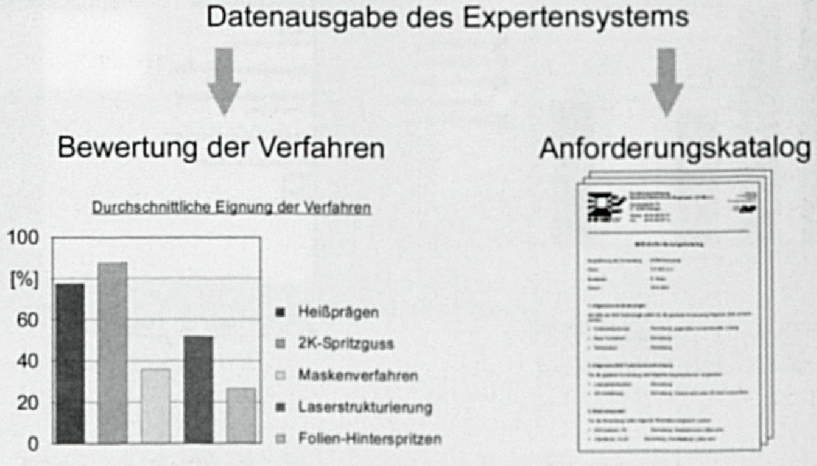


Bild 53: Möglichkeiten zur Datenausgabe des MID-Expertensystems: Bewertung der Herstellungsverfahren und Anforderungskatalog

5.4 Evaluierung des Expertensystems anhand ausgewählter Applikationen

Das in den vorangegangenen Kapiteln dargelegte MID-Beschreibungsmodell und die erarbeitete und in das Datenbanksystem MIDIS integrierte Bewertungssystematik wurden durch ausgewählte MID-Entwicklungen evaluiert. Um eine gesicherte Aussage über die Einsatzfähigkeit des Bewertungsmodells zu erhalten, ist insbesondere eine Bewertung von Applikationen von Interesse, deren Entwicklungsprozess durch Veröffentlichungen der Fachwelt bekannt gemacht wurde. Nur durch eine genaue Kenntnis der Ausgangslage ist es möglich, eine exakte Beschreibung der geforderten Funktionen für die jeweilige Entwicklungsarbeit darzustellen.

Weiterhin wurden Applikationen für die Evaluierung herangezogen, die schließlich die verschiedenen MID-Herstellungsverfahren repräsentieren. Damit ist es möglich, die verfahrensspezifischen Gewichtungen im Bewertungsmodell zu beurteilen. Basierend auf allgemein anerkannten Einschätzungen von Spezialisten der MID-Technologie [109], wurden für die Evaluierung des Expertensystems exemplarisch zwei Anwendungen ausgewählt, deren Entstehung und Qualifizierung von den in Kapitel 4 beschriebenen Hemmnissen, die gegen den Einsatz der MID-Technologie bestehen, begleitet waren.

ISDN-Steckdose	**ABS-Trägerplatine**
Ersatz einer konventionellen Aufbautechnik	Neu- bzw. Parallelentwicklung
Ziele	**Ziele**
Teilereduktion Ersatz konventioneller Leiterplatte Kostenreduktion	Teilereduktion Kostenreduktion höhere Zuverlässigkeit
Funktionen	**Funktionen**
3D-Verdrahtung (für Steckeranordnung 45°) Kunststoff geeignet für Lötprozesse Leiterplattenfunktion lötbare Oberfläche: Zinn Versteifungen Verschraubungselemente Leiterbild 1-lagig	3D-Verdrahtung Kunststoff geeignet für Lötprozesse Durchkontaktierungen hohe Strombelastbarkeit lötbare Oberfläche: Zinn Integration von Steckern Leiterbild 2-lagig

Tabelle 5: Anforderungsprofil der für die Evaluierung ausgewählten MID-Applikationen

Aufgrund des umfangreichen zur Verfügung stehenden Datenmaterials wurden für die Evaluierung die in der Heißprägetechnik hergestellte ISDN-Steckdose sowie die im 2K-Verfahren realisierte ABS-Steckerplatine ausgewählt. Die für eine MID-Entwicklung notwendigen Funktionsmerkmale sind gemäß dem erarbeiteten Beschreibungsmodell in Tabelle 5 dargestellt.

Ausgehend von diesen Anforderungsprofilen wurde eine Bewertung durch das MID-Expertensystem durchgeführt. Unberücksichtigt blieb dabei die Auswahl eines MID-Basiskunststoffs, da für die jeweilige Anwendung - außer der geforderten Kosteneinsparung - keine Vorgaben getroffen wurden.

Die Auswertung des Anforderungsprofils durch das Bewertungssystem ergab folgende Ergebnisse. Für das Anforderungsprofil der ISDN-Steckdose wurde eindeutig das Heißprägeverfahren ermittelt. Zum Zeitpunkt der Konzeption der betreffenden Anwendung war der Stand der Technik allerdings noch nicht hinreichend überschaubar.

Bei der Entwicklung des MID-Schaltungsträgers wurde zunächst das Zweikomponentenspritzgussverfahren in Betracht gezogen, das aber aufgrund der hohen Investitionskosten und der schwierigen Prozessführung wenig geeignet erschien. Damit wird deutlich, dass die zeit- und kostenintensive Konzeption dieser Anwendung durch eine gezielte und wissensbasierte Evaluierung der Herstellungsverfahren hätte verkürzt werden können.

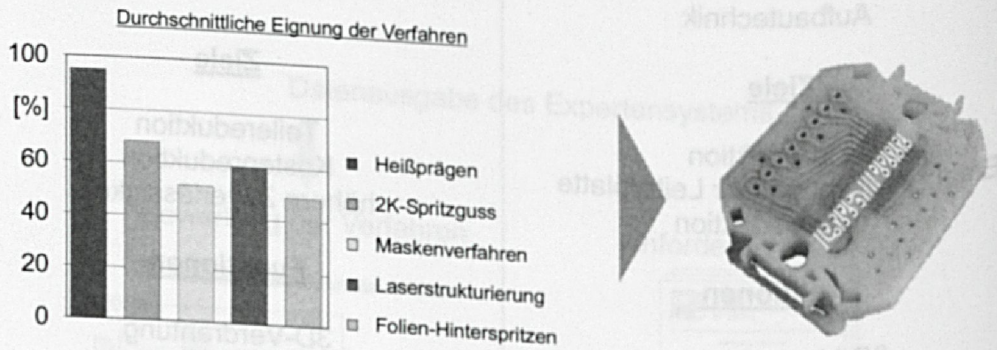


Bild 54: Bewertung des Anforderungsprofils der ISDN-Steckdose

Bei der zweiten betrachteten Anwendung entspricht die ausgegebene Bewertung ebenfalls dem tatsächlich eingesetzten Herstellungsverfahren. Ausschlaggebende Kriterien sind in diesem Zusammenhang die notwendig zu integrierenden Steckergeometrien, da diese im Zweikomponentenspritzgussverfahren in sehr einfacher Weise in die Baugruppe integriert werden können.

Die Auswertung der Bewertung wies dabei auch auf die schwierige Umsetzung von Steckergeometrien beim Heißprägen hin, so dass der Entwickler gleichzeitig auf verfahrensspezifische Schwierigkeiten aufmerksam gemacht wurde. Darüber hinaus beeinflussen die geforderte dreidimensionale Verdrahtung und das zweiseitige Schaltungslayout die Bewertung zu Gunsten des ausgewählten 2K-Verfahrens.

Die beiden exemplarisch dargelegten Evaluierungen des Expertensystems haben die grundsätzliche Eignung des Beschreibungsmodells für eine konzeptionelle MID-Betrachtung gezeigt. Dennoch unterliegt die endgültige Auswahl eines Herstellungsverfahrens einer detaillierten Betrachtung der geforderten Funktionsmerkmale und den jeweiligen Einsatzbedingungen. In den vom Autor durchgeführten MID-Projektierungen konnte mithilfe dieser Methodik eine effiziente Vorgehensweise bei der Konzeption von MID-Baugruppen erzielt werden. Durch eine frühzeitige Konflikterkennung sowie durch die breite Erfassung verfügbarer Informationen zur geplanten Anwendung lassen sich unnötige Iterationen in der Entwicklung in vielen Fällen deutlich reduzieren.

Die hier vorgestellten Arbeiten stellen somit eine grundlegende Vorgehensweise für die Konzeption von MID-Anwendungen dar. Weiterführende Entwicklungen befassen sich mit der Erarbeitung von Fertigungsverfahrensbibliotheken, mit deren Hilfe eine MID-Entwicklung bis hin zur tatsächlichen Realisierung unterstützt werden kann. Als Beispiel sei hier das BMBF-Verbundvorhaben "Integrierte Entwicklung räumlicher elektronischer Baugruppen" genannt, in dem eine gezielte Entwicklungssystematik unter Einbeziehung detaillierter Verfahrensparameter erarbeitet werden soll.

6 Einsatzpotentiale federnder leitender Verbindungselemente

In den vorangegangenen Kapiteln wurde dargelegt, das die Umsetzung von MID-Entwicklungen dem Einfluss zahlreicher Randbedingungen unterliegt. Zur Verdeutlichung der erforderlichen interdisziplinären Zusammenarbeit unterschiedlichster Bereiche soll anhand eines exemplarisch ausgewählten, MID-typischen Funktionselementes die Vielzahl der technologisch bedingten Einflussgrößen für dessen Qualifizierung aufgezeigt werden.

Einen wichtigen Schwerpunkt stellt die bisher unzureichend gelöste Problematik der Integration lösbarer Verbindungselemente bei MID-Anwendungen dar. Hierbei sind sowohl die Kontaktierung spezifischer elektronischer Komponenten durch das MID, wie zum Beispiel elektronische Baugruppen, einzelne Bauteile oder Steckanwendungen von zentraler Bedeutung als auch Möglichkeiten zur Anbindung weiterführender Systeme wie Flach- oder Rundleiter. Im Bereich der konventionellen Verbindungstechnik werden überwiegend massive, teils federnde metallische Kontaktpartner gewählt. Deren Oberflächen sind zudem an die entsprechend geforderte Funktion Stecken, Federn oder Pressen angepasst. Der jeweilige Kontaktdruck des Verbindungselementes muss anhand der geforderten Geometrie und des betreffenden Materials exakt eingestellt werden, um die elektrische Kontaktierung dauerhaft zu gewährleisten.

Innerhalb dieses Kapitels werden Untersuchungsergebnisse vorgestellt, welche die Eignung metallisierter Kunststofffedern als Kontaktmechanismus für Anwendungen in der MID-Technologie bewerten[6]. Nach der Definition einer geeigneten Vorgehensweise und Methodik erfolgt eine theoretische Betrachtung zum Biegeverhalten von metallisierten Kunststofffedern. Mittels ausgewählter Kunststoff-Basismaterialien wird das Verhalten unter verschiedenen mechanischen Belastungen ermittelt und der Einfluss von Gebrauchsanforderungen hinsichtlich der Belastung durch Vibration und Temperaturbeständigkeit aufgezeigt. Die Charakterisierung der Schadensmechanismen erfolgt mithilfe mikroskopischer Untersuchungen von Schliffbildern. Aus den Ergebnissen der experimentellen Untersuchungen werden abschließend Gestaltungshinweise für federnde, leitende Verbindungselemente abgeleitet.

6.1 Lotfreie Verbindungstechnologien für MID

In der MID-Technologie werden bereits seit Jahren unterschiedliche Konzepte zur Kontaktierung elektronischer Systeme verfolgt. Die eingesetzten Kontaktsysteme orientieren sich überwiegend an konventionellen Kontaktpartnern, das bedeutet, dass

[6] Die vorgestellten Forschungsergebnisse wurden durch Untersuchungen innerhalb eines AiF-geförderten Forschungsvorhabens „Federnde leitende Verbindungstechnik für gering wärmeformbeständige Kunststoffe in der Elektrotechnik" erarbeitet [104].

der im MID integrierte Kontaktmechanismus überwiegend bestehende Systeme ersetzt. Gerade im Bereich Steckverbinder besteht ein hohes Einsatzpotential, so können die benötigten Steckerpins etwa bereits im Spritzgussprozess integriert werden. Bisher wurden allerdings meist Montagestecker umgesetzt, die nur geringe Steckzyklen erfordern. Insgesamt steht jedoch aber eine Reihe von sehr unterschiedlichen Möglichkeiten zur Kontaktierung externer Elektronik-Baugruppen zur Verfügung, die einerseits bekannte Verbindungssysteme aus der konventionellen Verbindungstechnik adaptieren, andererseits mithilfe einer in der MID-Technologie hohen Gestaltungsfreiheit alternative Kontaktmechanismen neu kreieren.

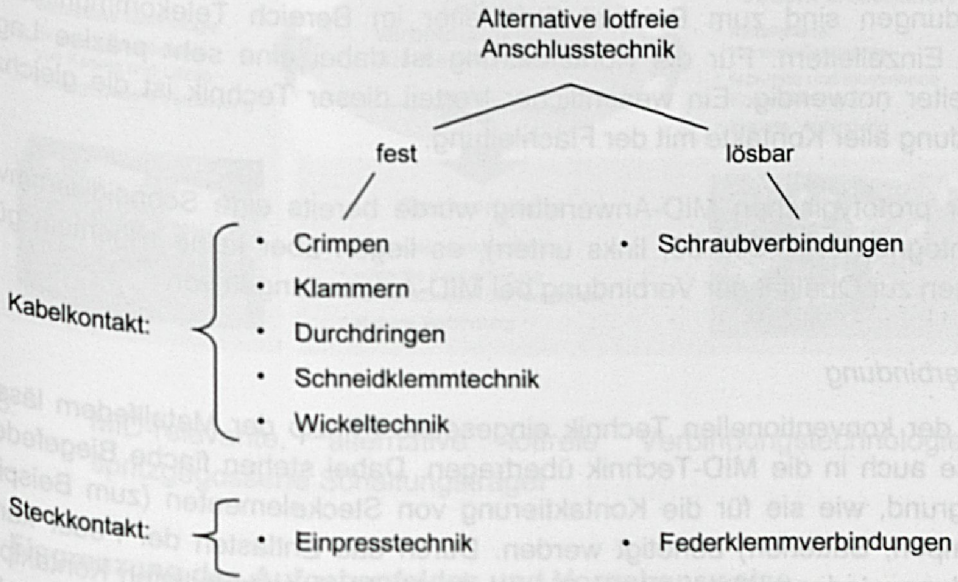


Bild 55: Alternative lotfreie Verbindungstechnologien zur Kontaktierung von elektrischen Leitern, Steckern oder Baugruppen

Eine Reihe dieser Verbindungstechnologien ist nicht für die MID-Technik geeignet, da zum Teil gezielt das Verhalten von Metallen für die Gestaltung des Kontaktes genutzt wird. So können Crimpverbindungen nur mithilfe geeigneter Werkzeuge und abgestimmter Materialien zuverlässig erzeugt werden. Aus den insgesamt zur Verfügung stehenden Verbindungstechnologien können vier Prinzipien für die MID-Technologie übernommen werden.

Einpresstechnik

Eine Einpressverbindung ist durch das Einpressen elastisch verformbarer oder massiver Stifte in metallisierte Löcher von Schaltungsträgern definiert. Um die mechanische Belastung in der Leiterplatte zu minimieren, werden häufig elastische Einpressstifte verwendet, die sich dem spezifischen Lochdurchmesser anpassen

können. Dies ist besonders wichtig bei der Anordnung vieler Einpressstifte pro Flächeneinheit (besonders bei Multilayer-Backplanes), um die gegenseitigen Einflüsse zu minimieren. Die Berührungsstellen zwischen Einpressstift und Lochwandung ist durch eine gasdichte Zone gekennzeichnet (vgl. [41]).

Schneidklemmverbindung

Durch das Einklemmen eines isolierten Leiters in ein Kontaktelement wird der gasdichte Schneidklemmanschluss realisiert. Bei diesem Vorgang wird die Isolierung durchschnitten und gleichzeitig der Leiter kontaktiert. Dabei ist es erforderlich, Art und Querschnitt des Leiters auf die jeweilige Schneidklemme abzustimmen. Typische Anwendungen sind zum Beispiel Flachleiter im Bereich Telekommunikation mit runden Einzelleitern. Für die Kontaktierung ist dabei eine sehr präzise Lage der Einzelleiter notwendig. Ein wesentlicher Vorteil dieser Technik ist die gleichzeitige Verbindung aller Kontakte mit der Flachleitung.

In einer prototypischen MID-Anwendung wurde bereits eine Schneidklemmverbindung integriert (vgl. Bild 56, links unten), es liegen aber keine allgemein gültigen Aussagen zur Qualität der Verbindung bei MID-Anwendungen vor.

Federverbindung

Das in der konventionellen Technik eingesetzte Prinzip der Metallfedern lässt sich teilweise auch in die MID-Technik übertragen. Dabei stehen flache Biegefedern im Vordergrund, wie sie für die Kontaktierung von Steckelementen (zum Beispiel bei Glühlampen, Batterien) benötigt werden. Durch das Entlasten der Feder kann die Verbindung wieder gelöst werden. Die an der Verbindung beteiligten Kontaktpartner unterliegen im Vergleich zu anderen Kontaktmechanismen einer ständig hohen mechanischen Belastung. Auch bei einer geringen Auslenkung einer Biegefeder kann bei statischer Belastung eine Reduzierung des Kontaktdrucks erfolgen [42].

Klemmverbindung

Ähnlich der Federverbindung wird bei der Klemmverbindung ebenfalls ein metallisiertes Kunststoffelement zur Herstellung des elektrischen Kontaktes herangezogen. Dieses ist im Gegensatz dazu sehr massiv gestaltet, um das Kriechen des Kunststoffes unter mechanischer Belastung zu verhindern.

Steckverbinder

Die hohe Gestaltungsfreiheit des Spritzgießprozesses erlaubt eine sehr einfache und kostengünstige Integration von Steckern in MID-Baugruppen. Neben metallisierten Bohrungen können ebenso in Kunststoff geformte, metallisierte Steckerpins realisiert werden. Die Dimensionierung der Pins unterliegt - aufgrund der mechanischen

Belastbarkeit - Einschränkungen bei sehr feinen und dünnen Geometrien. Die bisher eingesetzten MID-Stecker genügen sowohl den mechanischen Anforderungen bei der Montage als auch den Zuverlässigkeitsanforderungen im Gebrauch.

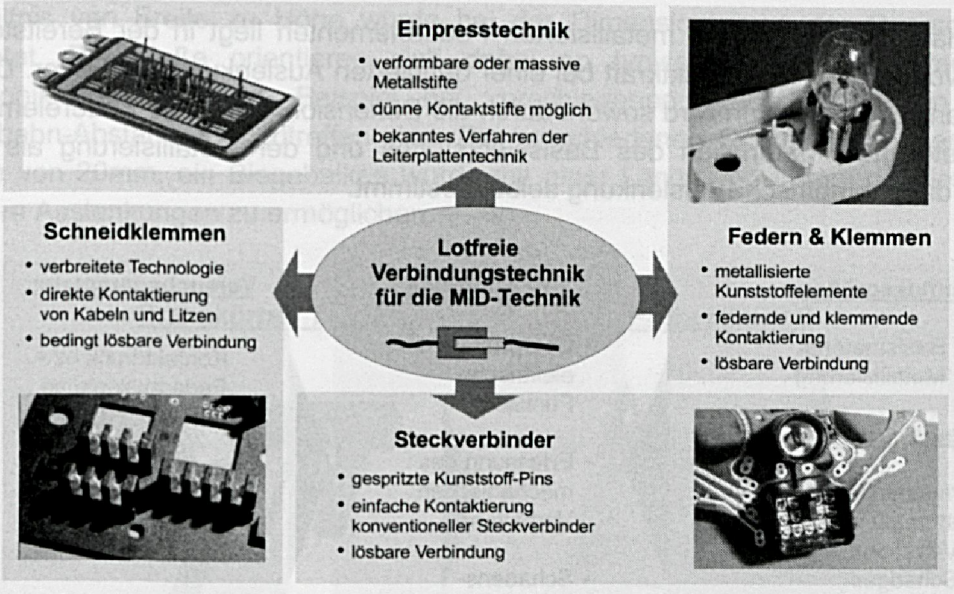


Bild 56: MID-relevante, alternative lotfreie Verbindungstechnologien für spritzgegossene Schaltungsträger

6.2 Eingrenzung des Aufgabenfeldes und Vorgehensweise

Zur Qualifizierung der elektrischen und mechanischen Eigenschaften federnder leitender Verbindungselemente wurde ein systematischer Versuchsplan festgelegt. Im Zentrum der Betrachtungen stand das Verhalten metallisierter Kunststoff-Federelemente unter mechanischer Belastung. Mechanische Kontaktmechanismen lassen sich grundsätzlich auf das Wirkprinzip "Kraftschluss durch federnden Anpressdruck" zurückführen.

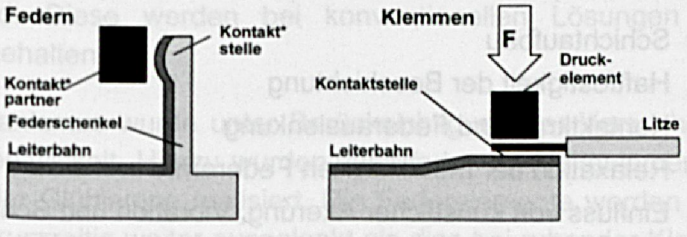


Bild 57: Kontaktprinzipien bei mechanischen Kontakten

Ausprägungsformen davon sind das Federn und das Klemmen. Beim Federn im engeren Sinn bringt das Kontaktelement selbst durch elastische Verformung die Kontaktkraft auf, beim Klemmen wird diese mittels eines oder mehrerer Hilfselemente von außen auf das Kontaktelement aufgebracht.

Das Hauptaugenmerk bei metallisierten Federelementen liegt in der Bereitstellung einer vorgegebenen Kontaktkraft bei einer definierten Auslenkung der Feder. Dieses mechanische Verhalten wird sowohl durch die Dimensionierung des Federelementes der beteiligten Materialien des Basiswerkstoffes und der Metallisierung als auch durch die geometrische Auslenkung selbst bestimmt.

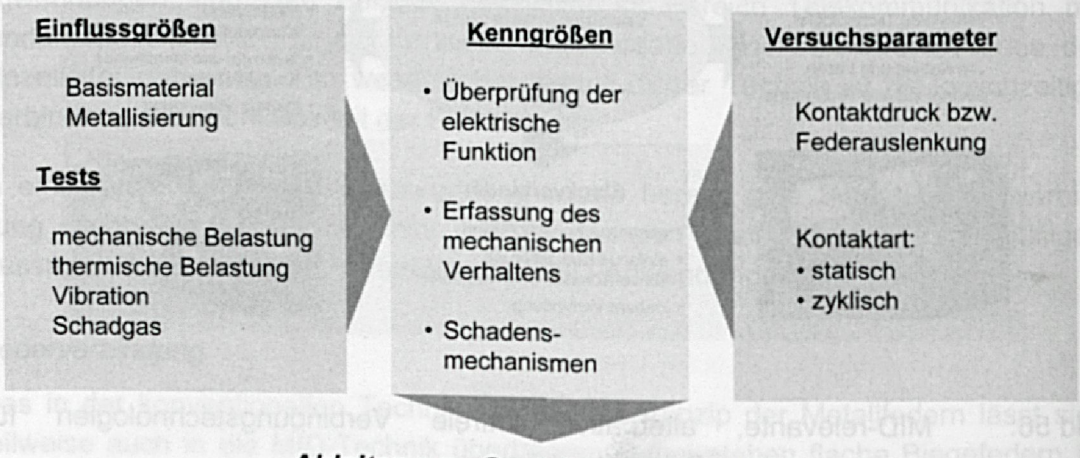


Bild 58: Charakterisierung der Einflussgrößen, Versuchsparameter und Definition der Vorgehensweise

Aufgrund der Materialeigenschaften von Kunststoff (zum Beispiel Relaxation) müssen sowohl mechanische als auch elektrische Anforderungen über die Lebensdauer einer federnden leitfähigen Verbindungstechnik in MID betrachtet werden. Kritische Belastungen ergeben sich während des Fügevorgangs, bei dem es zu einer selektiven Zerstörung der Metallisierung kommen kann. In den Untersuchungen wurden folgende Kennwerte erfasst:

- Schichtaufbau
- Haftfestigkeit der Beschichtung
- Kontaktkraft und Federauslenkung
- Relaxation der metallisierten Federarme
- Einfluss von künstlicher Alterung, Vibration und Schadgas
- Überprüfung des Übergangswiderstands
- Schadensmechanismen

6.2.1 Konzeption und Entwicklung der Probekörper

Für erste Untersuchungen an metallisierten Kunststoff-Biegebalken wurde zunächst ein Probekörper mit variierenden Balkengeometrien definiert. Insbesondere das Verhältnis von Breite zu Höhe wurde bei der Dimensionierung der Querschnitte beachtet. Die Maße orientieren sich dabei an typischen Standardwerten der Elektronik, wie sie zum Beispiel bei verschiedenen Steckergeometrien oder Leiterbahn-Abständen anzutreffen sind. Die verschiedenen Geometrien haben eine Länge von 20mm, ein Biegebalken wurde mit einer Länge von 40mm definiert, um größere Auslenkungen zu ermöglichen.

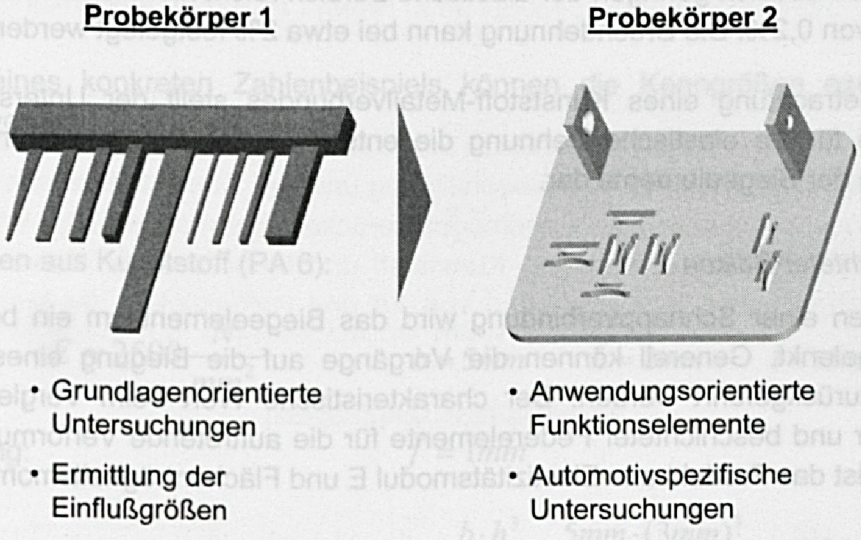


Bild 59: CAD-Modell der Prüfkörper: Realisierung verschiedener Querschnittsgeometrien und Integration anwendungsspezifischer Funktionselemente

Der zweite Probekörper wurde für Anwendungen im Automotivbereich entwickelt, der typische Funktionselemente beinhaltet. Hierzu zählen zum Beispiel Halterungen für Sicherungen und Relais sowie Fassungen für die Innenraumbeleuchtung. Derzeit werden hier stabförmige Glühlampen eingesetzt, deren Kontakte an beiden Enden angebracht sind. Diese werden bei konventionellen Lösungen mittels zweier Federkontakte gehalten.

Der Federmechanismus wurde unter Berücksichtigung der Versuchsergebnisse mit Probekörper 1 entwickelt. Hierzu wurden zwei federnde Halteelemente mit Bohrung zur Aufnahme der Glühlampe realisiert. Die Federelemente werden beim Einsetzen der Glühlampe kurzzeitig weiter ausgelenkt als dies bei ruhender Klemmung der Fall ist. Die Federelemente wurden daher massiver dimensioniert als die Federelemente

bei Probekörper 1, dennoch wurde auf eine grundsätzliche Montierbarkeit geachtet. Zur Kontaktierung der Metallkontakte der Sicherungen und des Relais wurde eine in sich geschlossene Federstruktur gewählt. Beim Stecken der Sicherungen führt dies zu einem Verspreizen, so dass eine Relaxation des Federelementes erschwert wird.

Theoretische Untersuchungen

Das Verhalten metallisierter Federstrukturen der konzeptionierten Probekörper wurde mithilfe theoretischer Betrachtungen überprüft. Beim Einsatz in Federelementen dürfen teilkristalline Kunststoffwerkstoffe bis nahe an die Streckgrenze belastet werden. Die zulässigen Dehnungen für Kunststoffe bewegen sich hierbei in einem Bereich zwischen 1-10 %. Im Gegensatz zu Kunststoffen ist das elastische Verhalten von Metallen deutlich geringer, der elastische Bereich reicht hier maximal bis zu einer Dehnung von 0,2%. Die Bruchdehnung kann bei etwa 2% festgelegt werden.

Für die Betrachtung eines Kunststoff-Metallverbundes stellt der Unterschied der Kennwerte für die elastische Dehnung die entscheidende Randbedingung bei der Auslegung der Biegeelemente dar.

Unbeschichteter Balken

Beim Fügen einer Schnappverbindung wird das Biegeelement um ein bestimmtes Maß ausgelenkt. Generell können die Vorgänge auf die Biegung eines geraden Balkens zurückgeführt werden. Der charakteristische Wert beim Vergleich unbeschichteter und beschichteter Federelemente für die auftretende Verformungs- bzw. Fügekraft ist das Produkt aus Elastizitätsmodul E und Flächenträgheitsmoment I.

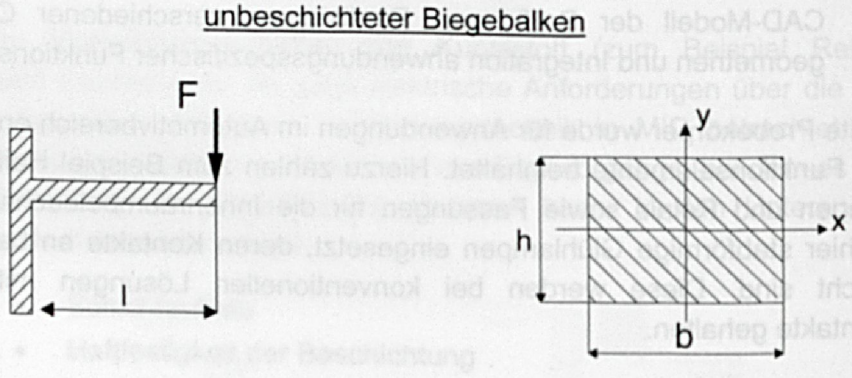


Bild 60: Geometrische Beschreibung des Biegebalkens unter Kennzeichnung der Krafteinleitung

Aus der Geometrie des Biegebalkens mit rechteckigem Querschnitt lässt sich die Kontaktkraft und die entsprechende Dehnung wie folgt berechnen (vgl. [8]):

Flächenträgheitsmoment: $$I = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

Biegekraft: $$F = \frac{3 \cdot f}{l^3} \cdot E \cdot I$$

Dehnung: $$\varepsilon = \frac{3 \cdot f \cdot h}{2 \cdot l^2}$$

Anhand eines konkreten Zahlenbeispiels können die Kenngrößen exemplarisch ermittelt werden:

Biegebalken aus Kunststoff (PA 6):

$$E \approx 2500 \frac{N}{mm^2} \qquad b = 5mm \qquad h = 2mm \qquad l = 15mm$$

Auslenkung: $$f = 1mm$$

Flächenträgheitsmoment: $$I = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{5mm \cdot (3mm)^3}{12} = 11{,}25mm^4$$

Biegekraft: $$F = \frac{3 \cdot f}{l^3} \cdot E \cdot I = \frac{3 \cdot 1mm}{(15mm)^3} \cdot 2500 \frac{N}{mm^2} \cdot 11{,}25mm^4 = 25N$$

Dehnung: $$\varepsilon = \frac{3 \cdot 1mm \cdot 3mm}{2 \cdot (15mm)^2} = 2\%$$

Aus den errechneten Werten der Dehnung ε wird deutlich, dass bereits bei geringen Auslenkungen die Streckgrenze metallischer Schichten überschritten wird. Für einen beschichteten Biegebalken muss die theoretische Betrachtung um die Einbeziehung der umhüllenden Metallschicht erweitert werden. Für den Probekörper 1 lassen sich die Biegekennwerte für ein Polyamid (Durethan AKV 30) wie folgt berechnen:

	Biegebalken Nr.								
	1	**2**	**3**	**4**	**5**	**6**	**7**	**8**	**9**
Breite [mm]	2,54	2,54	2,54	2,54	5,08	0,64	1,27	1,27	5,08
Höhe [mm]	1,27	0,64	1,27	2,54	1,27	0,64	0,32	1,27	2,54
Flächenträgheits-moment I	0,434	0,055	0,434	3,469	0,867	0,014	0,003	0,217	6,937
Dehnung ε	**0,48%**	**0,24%**	**0,48%**	**0,95%**	**0,12%**	**0,24%**	**0,12%**	**0,48%**	**0,95%**
Biegekraft $F_{gerechnet}$	0,94	0,12	0,94	7,54	0,24	0,03	0,01	0,47	15,09
Biegekraft $F_{gemessen}$	0,90	0,13	1,04	6,80	0,20	---	---	0,58	8,40

Tabelle 6: Berechnung der Dehnungen und Biegekräfte an Probekörper 1 (angenommenes E-Modul 5800 N/mm², l= 20mm, Auslenkung f= 1mm)

Beschichteter Balken

Bei der Auslenkung eines beschichteten Biegebalkens setzt sich die Kontaktkraft des Federelementes aus Anteilen der Beschichtung und des Kunststoffs zusammen. Das hier verwendete ideale Berechnungsmodell berücksichtigt nicht etwaige Wechselwirkungen in der Randzone zwischen Kunststoff und Metallisierung. Diese Vorgänge sind weitgehend noch unbekannt und von Art und Haftfestigkeit der Metallisierung abhängig.

<u>beschichteter Biegebalken</u>

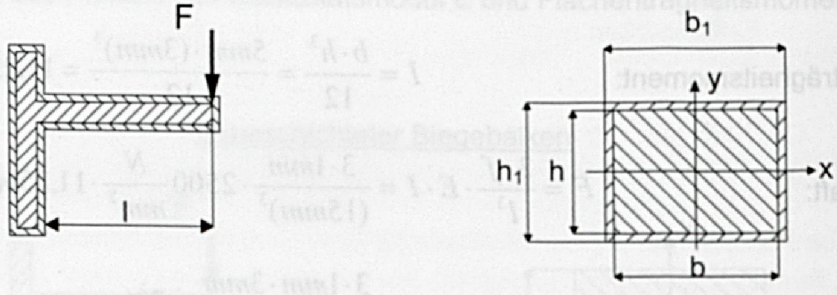


Bild 61: Geometrische Beschreibung eines metallisierten Biegebalkens unter Kennzeichnung der Krafteinleitung

Anteile des Kunststoffbalkens

Flächenträgheitsmoment: $$I_1 = \frac{b \cdot h^3}{12}$$

Biegekraft: $$F_1 = \frac{3 \cdot f}{l^3} \cdot E \cdot I$$

Anteile der Metallisierung

Flächenträgheitsmoment: $$I_2 = \frac{b_1 \cdot h_1^3}{12} - \frac{b \cdot h^3}{12}$$

Kompatibilität: $$f_1 = f_2 \quad \Rightarrow \quad \frac{F_1 \cdot l^3}{3 \cdot E_1 \cdot I_1} = \frac{F_2 \cdot l^3}{3 \cdot E_2 \cdot I_2}$$

Bei der Berechnung der Kraft in der Beschichtung muss beachtet werden, dass diese über die Elastizitätsgrenze hinaus beansprucht werden kann. Hier ist es nicht mehr möglich mit einem linearen Kraftanstieg zu rechnen, da die Beschichtung ab ca. 0,2% Dehnung plastisch verformt wird. Bei der Berechnung der erforderlichen Biegekraft wird diese aus der Zugfestigkeit der Beschichtung ermittelt:

Elastische Kraft in der Beschichtung:

$$F_{B_{elastisch}} = \frac{R_e \cdot I_2}{l \cdot \frac{h_2}{2}}$$

Kraft beim Erreichen der Zugfestigkeit der Beschichtung:

$$F_{B_{plastisch}} = \frac{R_m \cdot I_2}{l \cdot \frac{h_2}{2}}$$

Für das oben bereits angegebene Zahlenbeispiel lässt sich die Kraftverteilung im Verbund nun berechnen:

Biegebalken aus Kunststoff: PA 6

E-Modul: $E = 2500 \frac{N}{mm^2}$ $b = 5mm$ $h = 2mm$ $l = 15mm$

Auslenkung: $f = 1mm$

Umhüllende Metallisierung: 35 µm Kupfer

Elastizitätsmodul: $E_2 \approx 125000 \frac{N}{mm^2}$ Schichtstärke: $d = 0{,}035mm$

Zugfestigkeit: $R_m \approx 370 \frac{N}{mm^2}$ Streckgrenze: $R_e \approx 300 \frac{N}{mm^2}$

Berechnung der Flächenträgheitsmomente:

$$I_1 = \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{5mm \cdot (3mm)^3}{12} = 11{,}25mm^4$$

$$I_2 = \frac{b_1 \cdot h_1^3}{12} - \frac{b \cdot h^3}{12} = \frac{5{,}07mm \cdot (3{,}07mm)^3}{12} - \frac{5mm \cdot (3mm)^3}{12} = 0{,}975mm^4$$

Biegekraft: $F = \frac{3 \cdot f}{l^3} \cdot E \cdot I = \frac{3 \cdot 1mm}{(15mm)^3} \cdot 2500 \frac{N}{mm^2} \cdot 11{,}25mm^4 = 25N$

Dehnung: $\varepsilon = \frac{3 \cdot f \cdot h_2}{2 \cdot l^2} = \frac{3 \cdot 1mm \cdot 3{,}07mm}{2 \cdot (15mm)^2} = 2\%$

Die hier errechnete Dehnung liegt bereits bei 2%, damit wird die Beschichtung im plastischen Bereich gedehnt, so dass die erforderlichen Kraft aus der Zugfestigkeit der Beschichtung errechnet werden muss:

Elastische Kraft in der Beschichtung:

$$F_{B_{elastisch}} = \frac{R_e \cdot I_2}{l \cdot \frac{h_2}{2}} = \frac{300 \frac{N}{mm^2} \cdot 0{,}975mm^4}{15mm \cdot \frac{3{,}07mm}{2}} = 4{,}23N$$

Kraft beim Erreichen der Zugfestigkeit der Beschichtung:

$$F_{B_{plastisch}} = \frac{R_m \cdot I_2}{l \cdot \frac{h_2}{2}} = \frac{370 \frac{N}{mm^2} \cdot 0{,}975mm^4}{15mm \cdot \frac{3{,}07mm}{2}} = 6{,}35N$$

Nach Erreichen der Zugfestigkeit fällt die notwendige Biegekraft bis auf den Wert der Bruchkraft ab. Für Beschichtungswerkstoffe ist das Dehnungsverhalten weitgehend unbekannt. Für Nickel wird zum Beispiel ein Bruchdehnungsbereich von 2 - 60% angegeben [4]. Die für die Auslenkung des Biegebalkens erforderliche Gesamtkraft errechnet sich damit aus dem Anteil des Kunststoffbalkens und dem Anteil der Beschichtung.

$$F_{Gesamt} = F_{Kunststoff} + F_{Beschichtung}$$

6.2.2 Materialauswahl und Probekörperherstellung

In zahlreichen Untersuchungen liegt der Schwerpunkt der Materialauswahl bei den Kunststoffklassen der Standard- und Ingenieur-Thermoplaste, um für die geplante Anwendung Kostenvorteile im Bereich der Materialien gegenüber Hochleistungsthermoplasten zu erreichen. Aufgrund der besseren mechanischen Eigenschaften technischer Thermoplaste und deren weiterer Verbreitung bei MID-Anwendungen orientierte sich die Auswahl der Kunststoffe für die hier durchgeführten Untersuchungen an typischen Standardwerkstoffen der MID-Technik:

Kunststoff		Bemerkung
PA 6	++	typischer Werkstoff der MID-Technologie
	+	große Härte, Steifigkeit und Wärmeformbeständigkeit
	-	Feuchtigkeitsaufnahme
PBT	+	gute Dimensionsstabilität, hohe Härte, Steifigkeit und Festigkeit, gute Temperaturbeständigkeit und gute elektrische Eigenschaften
	-	schlechte Metallisierbarkeit (in Entwicklung)
PEI	0	amorpher Hochtemperaturkunststoff, hohe Festigkeit, Steifigkeit und Härte
	++	PEI zählt zu den Standardkunststoffen der MID-Technik: gute Metallisierbarkeit
SPS	++	niedriges spezifisches Gewicht, gute Verarbeitbarkeit und hervorragende elektrische Eigenschaften mit hoher Wärmebeständigkeit und chemischer Beständigkeit
	-	neuer Werkstoff für MID
LCP	++	typischer Werkstoff der MID-Technologie
	+	große Festigkeit, Steifigkeit und Wärmeformbeständigkeit, hohe Dauergebrauchstemperatur, gute Metallisierbarkeit.

Tabelle 7: Charakterisierung der für die Untersuchungen an metallisierten Federelementen ausgewählten Kunststoffe

Bei der Probekörper-Herstellung zeigte sich, dass sich die jeweilig sehr fein dimensionierten Biegefedern nur sehr schwer füllen lassen. Bei einem Serienwerkzeug müssen besondere konstruktive Maßnahmen ergriffen werden, damit die Federn komplett durchflossen werden und sich keine Bindenaht bildet.

Eine niedrige Werkzeugtemperatur sowie eine nicht zu hohe Massetemperatur sind aber im Hinblick auf den Metallisierungsprozess notwendig, um durch ein schnelleres Abkühlen die amorphen Anteile in den Randbereichen des Spritzgussteils zu erhöhen. Diese Aspekte lassen sich in den Vorbehandlungsprozessen zur Metallisie-

rung besser aktivieren. Mittels einer hohen Massetemperatur und einer ebenfalls hohen Einspritzgeschwindigkeit konnte eine vollständige Füllung der Kavität erreicht werden.

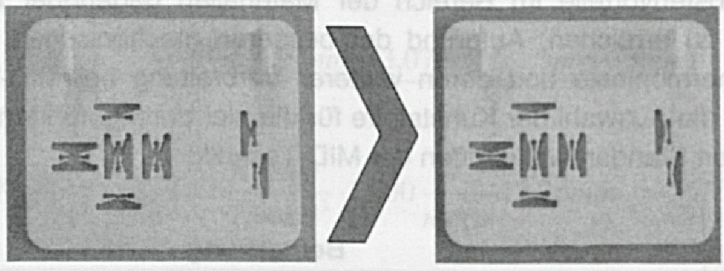


Bild 62: Anpassung der Spritzgussparameter (hier für SPS) zur vollständigen Füllung des Probekörper-Werkzeuges

Aufgrund der werkstoffspezifischen Schrumpfung der Teile kommt es zu Schwankungen in der Maßhaltigkeit der Probekörper. Insbesondere bei Probekörper 2 wurden deutliche Abweichungen beobachtet. Bei den Federelementen für die Sicherungen hat sich das Spaltmaß von 0,3 mm auf 0,63-0,73 mm geweitet. Für die Untersuchungen wurden daher Kontaktbügel aus gewalzten Kupferblechen hergestellt, um die notwendige Durchbiegung der Federelemente in den jeweiligen Versuchsreihen zu erreichen.

6.2.3 Charakterisierung der Metallisierung

Das Biegeverhalten metallisierter Kunststoffe wird entscheidend durch die verwendeten Materialien der metallischen Schicht und durch deren Schichtstärke bestimmt. Für den Schichtaufbau werden sowohl Nickel, Kupfer und deren Kombination verwendet. Ein Einfluss funktionaler Endbeschichtungen, zum Beispiel Zinn oder Gold, ist aufgrund der geringen Schichtstärken nicht zu erwarten.

Nickel: DNC	5 µm	15 µm			
Kupfer	5 µm	15 µm	35µm		
Kupfer + Nickel				15µm + 4 µm	35µm + 5 µm

Tabelle 8: In den Untersuchungen verwendete Metallisierungen

Nach der Metallisierung der Probekörper wurde die Qualität der Metallschicht mittels mikroskopischer Untersuchungen und durch die Bestimmung der Schälfestigkeit ermittelt. Bei einer Reihe von Probekörpern wurde zunächst eine mangelhafte Metallisierung festgestellt. Teilweise waren einige Bereiche der Oberfläche nicht mit der Metallschicht überzogen. Die übrige Metallschicht ließ sich leicht von der

Kunststoffoberfläche lösen. Diese Prüfkörper konnten aufgrund ihrer ungenügenden Metallisierung nicht für weitere Untersuchungen verwendet werden.

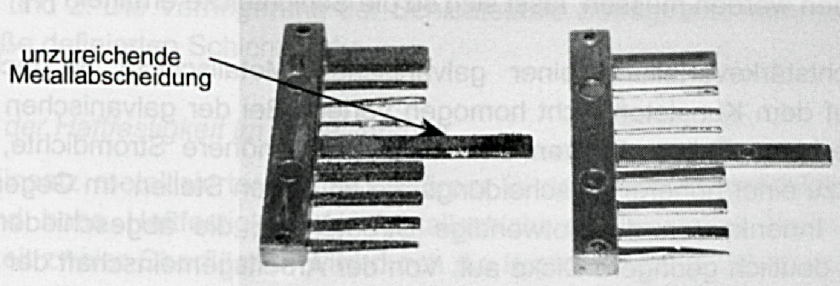


Bild 63: links: mangelhaft metallisierter Probekörper (PA chemisch Ni 5 µm, rechts: akzeptable Metallisierung (PA chemisch Cu, 15 µm)

Die zum Teil beobachtete schlechte Metallisierung lässt sich im Allgemeinen auf die Verarbeitung im Spritzgussprozess zurückführen. Da die verwendeten Materialien grundsätzlich gut metallisierbar sind, ist die Güte der Metallisierung stark von der Probekörpergeometrie und den Verarbeitungsparametern abhängig.

Dies hat zur Folge, dass im Spritzgussprozess zur Füllung der feinen Fließwege im Werkzeug eine hohe Massetemperatur erforderlich ist. Bei glas- und mineralfasergefüllten Kunststoffen führt dies zu füllstoffarmen Randschichten mit prozentual höheren teilkristallinen Anteilen, die sich im Beizprozess zur Metallisierung nur schwer aufschließen lassen. Ergänzend dazu muss eine niedrige Werkzeugtemperatur eingehalten werden, dies kann zu vorzeitigem Erstarren der Schmelze und damit zu einem fehlerhaften Füllen des Werkzeuges führen.

Ein weiteres Problem bei der Herstellung der Probekörper stellt der notwendige Verzicht auf Entformungshilfen im Spritzgussprozess dar. Selbst bei gründlicher Reinigung bleiben insbesondere silikonhaltige Entformungshilfen auf der Bauteiloberfläche haften, eine ausreichend haftfeste Metallisierung ist in solchen Fällen nicht möglich.

Bestimmung der Schichtstärken

Zur Überprüfung der geforderten Schichtstärken wurde die Röntgenfluoreszenzanalyse eingesetzt. Dieses Verfahren eignet sich hervorragend, um Einfach- und Zweifach-Schichtsysteme zerstörungsfrei zu analysieren. Die Oberfläche wird mit einer Primär-Röntgenstrahlung aus einer Röntgenröhre beaufschlagt, so dass die Schichtdicke indirekt über eine flächenbezogene Massenbestimmung ermittelt werden kann. Die Strahlung tritt hierzu in Wechselwirkung mit den Atomen der Deck- und Basisschicht der Metallisierung. Bei Erreichen eines bestimmten Energieniveaus

wird vom bestrahlten Messpunkt eine materialcharakteristische Röntgenstrahlung ausgesendet. Diese Strahlung wird wiederum aufgenommen und hinsichtlich der Zählrate und Energie bestimmt. Mithilfe bekannter Schichtsysteme, die als Referenz eingemessen werden müssen, lässt sich so die Schichtdicke ermitteln [7].

Die Schichtstärkeverteilung einer galvanischen Metallschicht ist technologisch bedingt auf dem Kunststoff nicht homogen verteilt. Bei der galvanischen Metallisierung entsteht an Ecken, Spitzen und Kanten eine höhere Stromdichte, dies führt wiederum zu einer höheren Abscheidungsrate an diesen Stellen. Im Gegensatz dazu verringern Innenkanten die notwendige Stromdichte, die abgeschiedene Schicht weist eine deutlich geringere Dicke auf. Von der Arbeitsgemeinschaft der deutschen Galvanotechnik wurden Konstruktionsrichtlinien für Kunststoffteile erarbeitet, um eine gleichmäßige Schichtstärke der Metallisierung zu erhalten.

Da auch die Einhaltung dieser Richtlinien keine absolut gleichmäßigen Schichtstärken garantiert, wäre eine Modifikation der Gestelle und der Anoden in den jeweiligen galvanischen Einzelprozessen notwendig, dieser Aufwand ist jedoch aus wirtschaftlicher Sicht nicht realistisch umzusetzen.

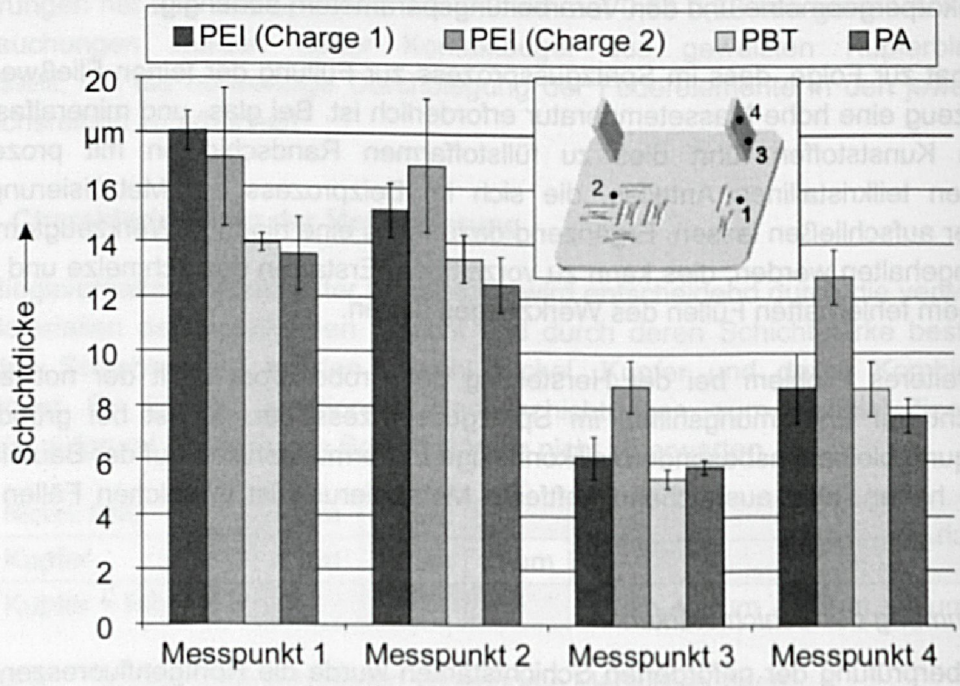


Bild 64: Örtliche Verteilung der Schichtstärken einer galvanisch erzeugten Kupfer-Metallisierung bei verschiedenen Thermoplasten (Zielgröße 15 µm Cu).

Am Probekörper 2 ließ sich die zu erwartende inhomogene Schichtverteilung an 4 ausgewählten Messpunkten nachweisen. Die Auswertung der Röntgenfluoreszenzanalyse zeigt am Messpunkt 3 eine deutliche geringere Schichtstärke als an den Punkten 1 und 2. Die Verringerung der Schichtstärke beträgt z.T. mehr als 50% der als Zielgröße definierten Schichtstärke.

Ermittlung der Haftfestigkeit im Schälversuch

Für den Einsatz metallisierter Kunststoffkörper in der Elektronikproduktion ist eine ausreichend hohe Haftfestigkeit der Metallschicht von zentraler Bedeutung. Die Haftfestigkeit zweier Oberflächen wird durch die Kraft, welche durch chemische oder mechanische Bindungen verursacht wird, charakterisiert [92]. Die grundlegenden Anforderungen zur Bestimmung der Haftfestigkeit sind in DIN 53494 und DIN EN 60 249 dargestellt. Da die MID-Technik maßgeblich Leiterplattenfunktionen erfüllen soll, ist zusätzlich DIN IEC 326 zu beachten, in dieser Norm sind die Anforderungen und Prüfverfahren für elektronische Schaltungsträger exakt beschrieben. Allen Richtlinien gemein ist, dass die Metallschicht senkrecht zur Schichtebene abgezogen wird, um deren Widerstand als Kraft pro Streifenbreite zu messen [7].

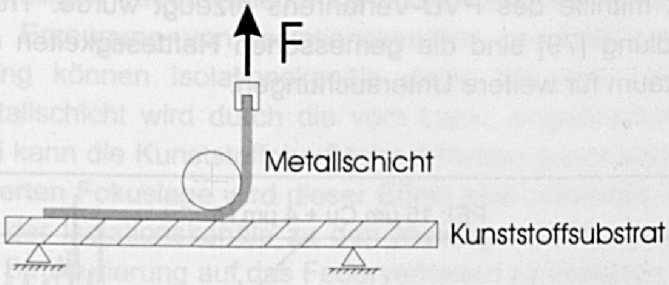


Bild 65: Schemazeichnung zur Durchführung des Schältestes nach DIN 53 494

Für die Prüfung nach DIN 53 494 wird in der Metallschicht ein 25mm breiter Streifen auf einer Länge von ca. 5-10mm losgelöst, so dass eine Zugvorrichtung angebracht werden kann. Damit der so vorbereitete Streifen stets senkrecht abgezogen wird, muss eine entsprechend verfahrbare Abzugsgeometrie die Bewegung des Basissubstrats zur Abzugsnormalen sicherstellen. In der Norm wird eine Abzugslänge von mindestens 50 mm gefordert. Als Messgröße wird die Abzugskraft F in Newton dokumentiert. Gemäß der Norm DIN 60249 ist es weiterhin möglich, dass das Basissubstrat fest eingespannt wird, wobei eine Winkelabweichung der eigentlich senkrechten Abzugsrichtung von 90° ± 5° nicht überschritten werden darf. Als Abzugsgeschwindigkeit wurden 50 mm/min festgelegt.

Hinsichtlich des Messvorrichtungsbaus werden in der für elektronische Schaltungen maßgebenden Norm DIN IEC 326 gleiche Anforderungen genannt, wie sie in DIN

60249 beschrieben sind. Ergänzend hierzu wurde festgelegt, dass die abzuziehende Leiterbahn 0,8 mm nicht unterschreiten darf [7]. Für eine Auswertung müssen vier Leiterbahnen auf einer Länge von 25 mm abgezogen werden. Die kleinste Kraft pro Leiterbahnbreite, die zum Abschälen des Metallisierungsstreifens erforderlich ist, wird als Abschälkraft in Newton je Millimeter Leiterbahnbreite angegeben.

Bei der experimentellen Untersuchung der Metallisierungen stellte sich heraus, dass diese Interpretation der Messwerte zu Problemen in der Auswertung führt. In der Praxis wird oft die Haftfestigkeit als kleinstes gemessenes Maximum definiert. Man geht hierbei davon aus, dass durch das ruckartige Ablösen der Metallisierung beim Abziehen ein Vorauseilen der Abschälung entsteht, bei der teilweise keine oder zu geringe Abzugskräfte gemessen werden [7].

Das nachfolgende Bild zeigt den Vergleich der Schälfestigkeit zweier unterschiedlicher Kunststoff-Metallisierungssysteme. Die Metallisierung bei PEI zeigt hier deutliche Schwankungen in der Haftfestigkeit gemessen über den gesamten Schälbereich. Erst die nach ca. 18 mm des Abzugsweges gemessenen Kräfte zeigen eine ausreichende Qualität der Beschichtung. Der zweite Messschrieb des Kraft-Weg-Diagramms wurde bei einem Probekörper aus PA 6 gemessen, dessen Anschlagsschicht mithilfe des PVD-Verfahrens erzeugt wurde. Trotz Einsatz einer Plasmavorbehandlung [79] sind die gemessenen Haftfestigkeiten deutlich geringer und eignen sich kaum für weitere Untersuchungen.

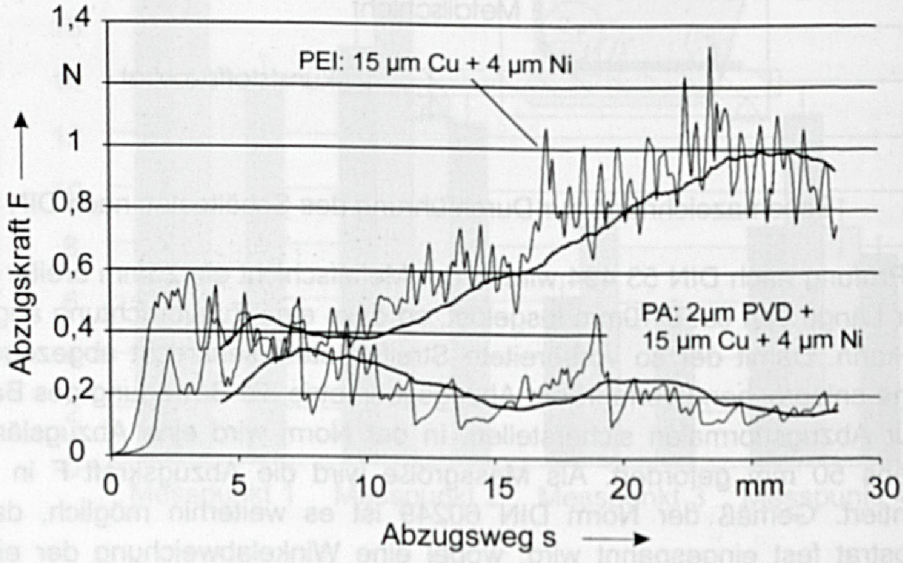


Bild 66: Kraft-Weg-Diagramm für den Schälversuch an PEI und PA 6-Probekörper bei unterschiedlichen Anschlags-Metallisierungen

Die ermittelten Schälfestigkeiten der optimierten Probekörper bei den hier betrachteten Kunststoffen lassen sich wie folgt zusammenfassen:

Kunststoff	Schälfestigkeit	Bemerkungen
PEI Charge 1	0,6 -0,8 N/mm	häufiges Reißen der abgezogenen Metallschicht
PEI Charge 2	0,7-0,9 N/mm	stark unterschiedliche Haftung
PA	0,8-1,3 N/mm	sehr gute Haftfestigkeiten
PA (PVD)	0,2 N/mm	gleichmäßige, aber nur geringe Haftung
PBT	-	Schälfestigkeit nicht ermittelbar, da Metallisierung unmittelbar beim Abziehen reißt

Tabelle 9: Ermittelte Schälfestigkeiten an den Probekörpern

Probekörper Strukturieren

Für die Überprüfung der elektrischen Eigenschaften (zum Beispiel Funktion, Übergangswiderstand) müssen die Prüfkörper strukturiert werden. Die elektrische Trennung der jeweiligen Federelemente kann bei vollflächig metallisierten Oberflächen nur durch Erzeugung von Isolationskanälen geschaffen werden. Bei der Laserstrukturierung können Isolationskanäle direkt mit dem Laserstrahl erzeugt werden. Die Metallschicht wird durch die vom Laser eingebrachte Energie partiell verdampft. Dabei kann die Kunststoffoberfläche teilweise geschädigt werden, mithilfe einer genau justierten Fokuslage wird dieser Effekt aber minimiert. Durch den relativ großen Abstand der Isolationskanäle zu den jeweiligen Federelementen ist zudem kein Einfluss der Strukturierung auf das Federverhalten zu erwarten.

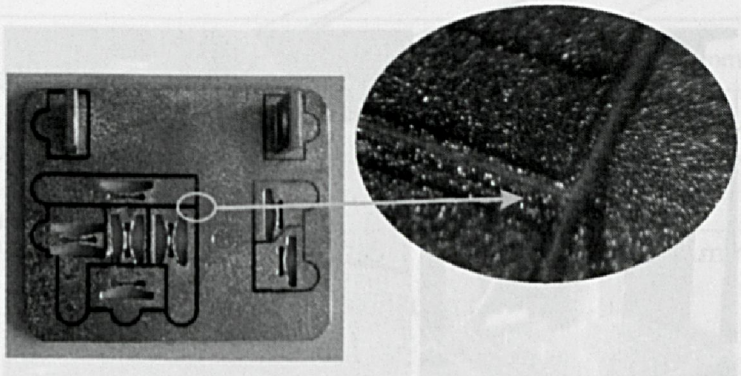
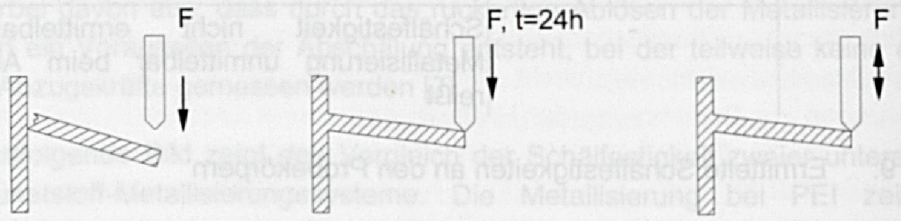


Bild 67: Trennung der Federelemente durch Erzeugung von Isolationskanälen unter Einsatz eines NdYAG-Lasers

6.3 Bewertung des mechanischen und elektrischen Verhaltens

Um das Verhalten metallisierter Kunststoff-Federelemente zu bestimmen, wurden verschiedene mechanische Charakterisierungen durchgeführt. Von besonderem Interesse ist dabei das Verhalten der Federkraft zum Federweg bei einer definierten Auslenkung des Federelements. Die Auslenkung kann dabei statisch wirken und einen definierten Kontaktdruck auf die Verbindungsstelle erzeugen, die Feder kann aber auch dynamisch belastet werden, wobei eine hohe Zykluszahl angestrebt wird.



Bruchdehnung	**Langzeitbelastung (Kriechversuch)**	**Zyklische Belastung**
Das Federelement wird bis zum vollständigen Versagen (Bruch) belastet.	Das Federelement wird unter einer definierten Biegekraft über einen längeren Zeitraum gehalten.	Das Federelement wird zyklisch bis zu einer maximalen Auslenkung belastet.

Tabelle 10: Definition der ausgewählten mechanischen Belastungen

Die Messung des Kontaktdrucks sowie die zyklischen Kontaktierungstests erfolgten mit einer Zug- und Druck-Prüfmaschine der Firma Zwick Materialprüfung.

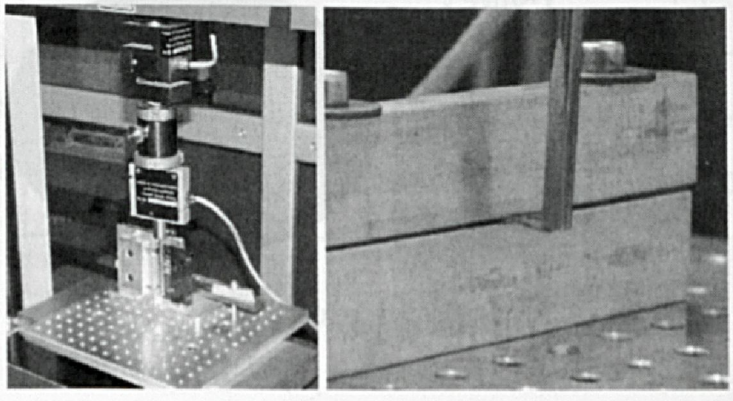


Bild 68: Versuchsaufbau in der Zug- und Druck-Prüfmaschine

6.3.1 Einfluss des Schichtaufbaus

Der Einfluss unterschiedlicher Schichtstärken und des Beschichtungsmaterials wurde exemplarisch für drei Federquerschnitte an Probekörper 1 (Durethan BKV 130) ermittelt. Die gewählten Federelemente weisen alle die gleiche Breite und Länge auf, die betrachtete Probendicke wurde ausgehend von 0,64 mm verdoppelt bzw. vervierfacht. Die Federelemente wurden bei einer Federlänge von 20mm bis zu 3mm ausgelenkt. Der elastische Bereich der Beschichtung wurde dabei überschritten, so dass erste Schädigungen der Metallisierung entstanden. Der Einfluss der Geometrie und des Schichtaufbaus ist aber bereits bei geringeren Auslenkungen klar zu erkennen.

Bei einem Größenverhältnis von Federstärke zu Federbreite von 0,25 wirkt sich die Schichtstärke sowie die Art der Metallisierung besonders deutlich aus. Bereits bei einer Auslenkung von 1 mm, dies entspricht in diesem konkreten Beispiel einer Dehnung von 0,24%, beträgt die Biegekraft einer nicht metallisierten Kunststofffeder lediglich ein Drittel im Vergleich zu einer Biegefeder mit 15 µm Kupfer. Damit wird ein erheblicher Anteil der Biegekraft durch die metallische Beschichtung übernommen.

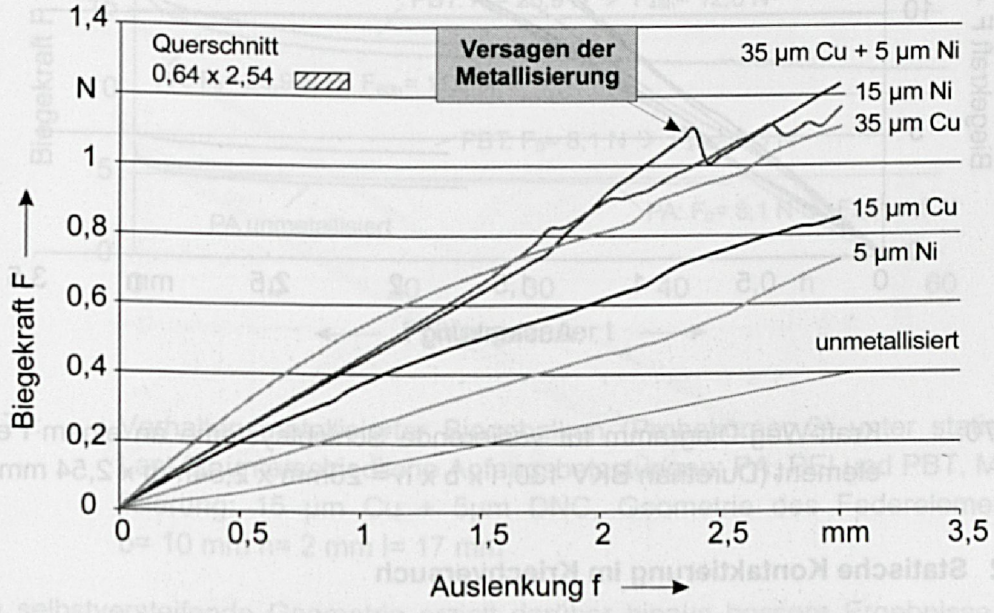


Bild 69: Kraft-Weg-Diagramm für variierende Schichtsysteme an einem Federelement (Durethan BKV 130, l x b x h = 20mm x 2,54mm x 0,64mm)

Bei einer Vordoppelung der Federdicke beträgt die Dehnung bei einer Auslenkung von 1mm bereits 0,48%. Auch in diesem Fall ist ein deutlicher Einfluss der Metallisierung zu erkennen. Grundsätzlich steigt die notwendige Biegekraft mit der Schichtdicke der Metallisierung an. Gleichzeitig zeigt sich auch, dass bei einer Nickelmetallisierung geringere Schichtstärken als bei einer Kupfermetallisierung erforderlich sind.

Bei einem quadratischen Querschnitt von 2,45 x 2,45 mm^2 steigt der Dehnungswert bei einer Auslenkung von 1mm bereits auf 0,96% an. Der Unterschied zwischen den einzelnen Schichtsystemen ist in seiner grundsätzlichen Ausprägung immer noch erkennbar, dennoch wird in diesem Fall die Biegekraft überwiegend durch den Kunststoff selbst bestimmt. Der Kraft-Weg-Verlauf einer dünnen Nickelmetallisierung unterscheidet sich von der unmetallisierten Biegefeder nur unwesentlich, lediglich dickere Schichtsysteme bringen zusätzliche Anteile für die Federkraft.

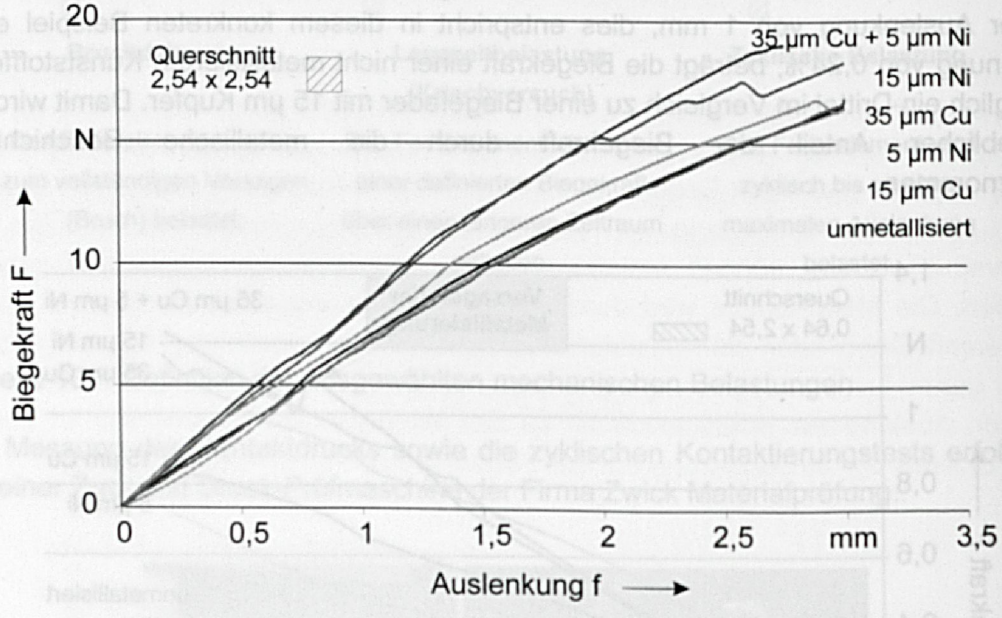


Bild 70: Kraft-Weg-Diagramm für variierende Schichtsysteme an einem Federelement (Durethan BKV 130, l x b x h = 20mm x 2,54mm x 2,54 mm)

6.3.2 Statische Kontaktierung im Kriechversuch

Um das Langzeitverhalten der Haltekraft bei ausgelenkten Federstrukturen beurteilen zu können, wurden die Federelemente des zweiten Probekörpers um eine definierte Wegstrecke ausgelenkt und über einen längeren Prüfzeitraum statisch belastet. Dabei wurden unterschiedliche Vorspannkräfte bzw. Auslenkungen vorgegeben. Der über die gesamte Prüfungsdauer resultierende Kraftverlauf wurde dokumentiert.

Wie in den vorangegangenen Ergebnissen gezeigt, führt eine Metallisierung der Kunststoffoberflächen grundsätzlich zu einer höheren Steifigkeit im Biegeversuch und damit zu einer Verbesserung der mechanischen Eigenschaften. Im Gegensatz dazu spielt die metallische Schicht bei der Betrachtung statischer Last nur eine geringe Rolle.

Die notwendige Haltekraft nimmt bereits nach kurzer Zeit drastisch ab, dieser Effekt tritt umso stärker auf, je größer die ursprüngliche Biegung des Federelementes gewählt wurde. Der Verlauf der resultierenden Haltekraft zwischen metallisierten und nicht metallisierten Federelementen zeigt nur geringe Unterschiede. Die Federkraft wird zwar um die Anteile der Metallisierung verstärkt, dennoch kommt bei länger anhaltender Belastung das zu erwartende Kriechverhalten des Kunststoffs stärker zum Tragen.

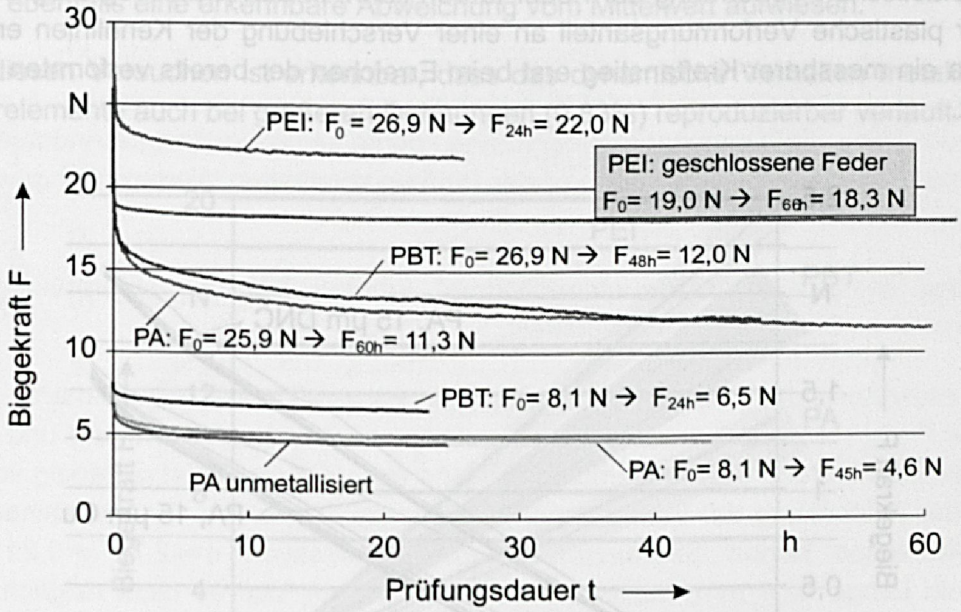


Bild 71: Verhalten metallisierter Biegebalken (Probekörper 2) unter statischer Last für unterschiedliche Anfangsbelastungen: PA, PEI und PBT, Metallisierung: 15 µm Cu + 5µm DNC, Geometrie des Federelementes: b= 10 mm h= 2 mm l= 17 mm

Eine selbstversteifende Geometrie erzielt darüber hinaus bessere Ergebnisse. Die unter Last stehende Federgeometrie des Sicherungselementes zeigt eine über den betrachteten Zeitraum wesentliche geringere Kraftabnahme und kann nach einer anfänglich eingetretenen Reduzierung der Haltekraft nahezu als konstant beschrieben werden.

Aus den Ergebnissen der Untersuchungen zum Kriechverhalten metallisierter Federelemente wird deutlich, dass dem verstärkenden Einfluss der Metallisierung wesentlich weniger Bedeutung zukommt als dem grundsätzlich bekannten Verhalten von Kunststoffen. Die konstruktive Gestaltung von MID-Federelementen unterliegt demnach in erster Linie den Designregeln der Kunststofftechnik. Ergänzend kann mit der Wahl von massiven oder selbstverstärkenden geschlossenen Federstrukturen eine Umsetzung von Federn in MID realisiert werden.

6.3.3 Zyklische Kontaktierung

Bei einer Vielzahl von Anwendungen werden Federelemente für dynamische Kontaktierungen elektrischer Kontakte benötigt. Im Rahmen der Versuchsdurchführung wurde festgestellt, dass bereits die erste Belastung des Federelementes zu einer plastischen Verformung der Feder führen kann. In den Kraft-Weg-Diagrammen ist der plastische Verformungsanteil an einer Verschiebung der Kennlinien erkennbar, da ein messbarer Kraftanstieg erst beim Erreichen der bereits verformten Feder erfolgt.

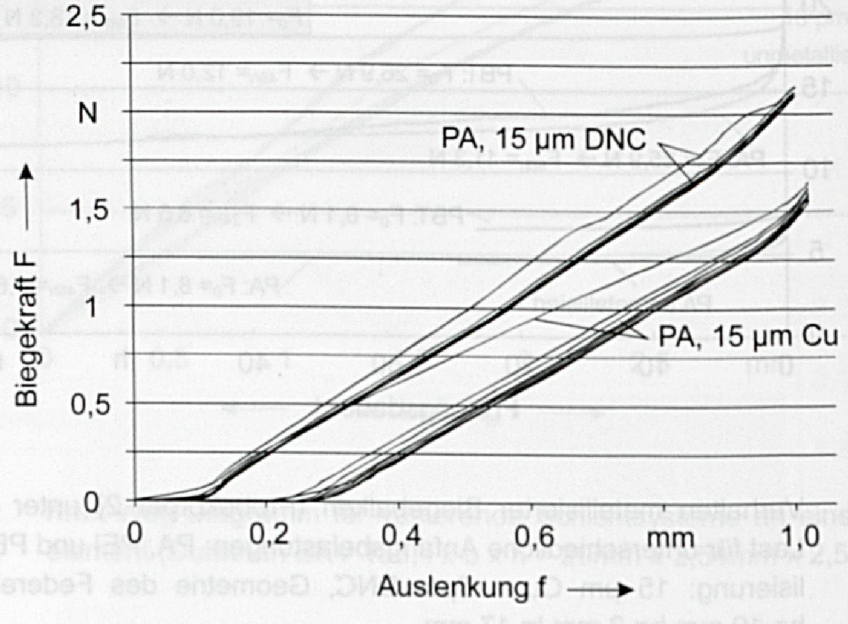


Bild 72: Wiederholte Biegebelastung an Federelement 3, PA
oben: 15µm Nickel, unten 15µm Kupfer

Dieser Effekt war insbesondere bei Kupfer-Metallisierungen zu beobachten. Weitergehende Untersuchungen haben gezeigt, dass die Kupferschicht wesentlich duktiler verformbar ist als eine Nickel-Metallisierung. Obwohl für chemisch-galvanisch abgeschiedene Schichtsysteme keine verlässlichen Materialwerte bekannt sind,

spiegelt dies die aufgrund der Materialeigenschaften zu erwartenden Verformungen wider.

Das elastische Biegeverhalten bei zyklischer Beanspruchung konnte auch an den Federelementen der Glühlampe des Probekörpers 2 nachgewiesen werden. Neben der mechanischen Belastung wurde gleichzeitig das Verhalten der Durchgangswiderstände dokumentiert.

Die Federelemente wurden in diesem Versuch 100-mal um 0,8 mm ausgelenkt, dies entspricht einer Biegedehnung von 0,83%. Der Kraft-Weg-Verlauf bei der zyklischen Kontaktierung verläuft bei allen Probekörpern nahezu identisch. Nur bei wenigen Biegeversuchen konnte eine geringe Änderung des Kraft-Weg-Verlaufs gemessen werden. Diese lässt sich offensichtlich auf eine nicht exakte Positionierung des Biegestempels zurückführen, da die zugehörigen Werte für den Durchgangswiderstand ebenfalls eine erkennbare Abweichung vom Mittelwert aufwiesen.

Aus diesen Versuchen ist erkennbar, dass das dynamische Verhalten metallisierter Federelemente auch bei größeren Dehnungen (0,83%) reproduzierbar verläuft.

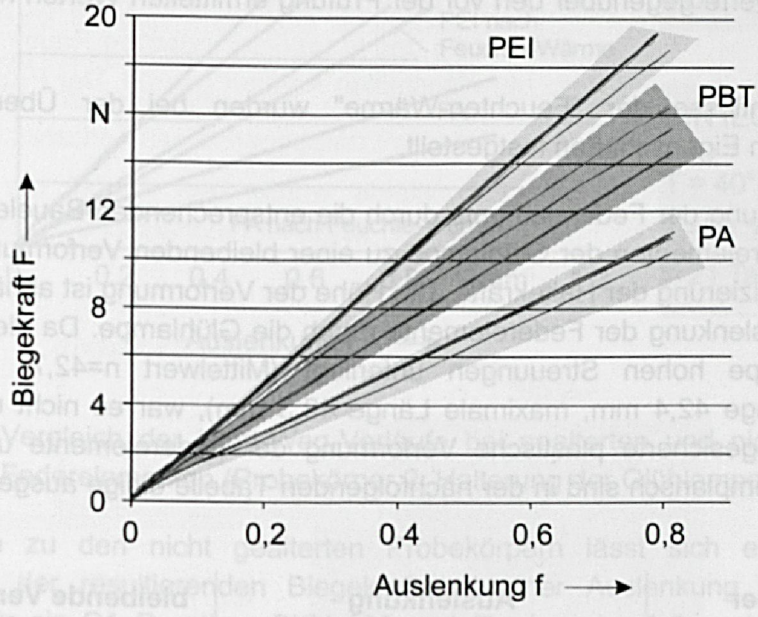


Bild 73: Wiederholte Biegebelastung am Federelement der Glühlampen-Halterung, PA, PBT und PEI, jeweils 15µm Kupfer + 5 µm Nickel,

6.3.4 Zuverlässigkeitsuntersuchungen

Temperatur-Feuchte-Beanspruchung

Länger anhaltende hohe Luftfeuchtigkeit führt bei verschiedenen Werkstoffen durch Diffusion zu Veränderungen, z. B. Verspannen, Quellen, Erweichen. Diese Einflüsse können elektrische und mechanische Funktionsstörungen nach sich ziehen. Die Prüflinge wurden im Klimaschrank bei einer Temperatur von 40°C, bei einer relativen Luftfeuchtigkeit von 93 %, über einen Prüfzeitraum von 500 Stunden gelagert. Unmittelbar nach Beendigung dieses Zeitraums erfolgte die Überprüfung der elektrischen und mechanischen Funktionen.

Für die Prüfung wurden sowohl unbestückte Probekörper ohne mechanische Belastung als auch mit den entsprechenden Bauelementen (Glühlampe, Relais, Sicherung) versehene Probekörper herangezogen, die eine Vorspannung der Federelemente bewirkten. Bei der Überprüfung der elektrischen Funktion konnte bei keinem Versuchskörper ein Ausfall der Verbindung dokumentiert werden. Auch bei der Bestimmung der Durchgangswiderstände konnte keine signifikante Änderung der Widerstandswerte gegenüber den vor der Prüfung ermittelten Werten nachgewiesen werden.

Deutliche Einflüsse der "Feuchten-Wärme" wurden bei der Überprüfung der mechanischen Eigenschaften festgestellt.

Die Vorspannung der Federelemente durch die entsprechenden Bauelemente führte bei den Federelementen der Glühlampe zu einer bleibenden Verformung und damit zu einer Reduzierung der Haltekräfte. Die Höhe der Verformung ist abhängig von der Höhe der Auslenkung der Federelemente durch die Glühlampe. Da die Abmessung der Glühlampe hohen Streuungen unterliegt (Mittelwert n=42,7, σ=0,21 mm, minimale Länge 42,4 mm, maximale Länge 43,3 mm), war es nicht möglich, eine statistisch abgesicherte plastische Verformung der Federelemente unter Last zu ermitteln. Exemplarisch sind in der nachfolgenden Tabelle einige ausgewählte Werte dargestellt.

Probekörper	Auslenkung (während der Prüfungsdauer)	bleibende Verformung
PA	0,70 mm	0,45 mm (≈ 64%)
PEI	0,80 mm	0,30 mm (≈ 38%)
PBT	0,65 mm	0,15 mm (≈ 23%)

Tabelle 11: Ermittelte plastische Verformungen nach Durchführung des Feuchte-Wärme-Tests

Im Falle der geschlossenen Federstruktur bei Relais- und Sicherungselementen fiel die ermittelte plastische Verformung deutlich geringer aus. Da der Spalt zwischen Federelement und Gegenseite ebenfalls hohen Schwankungen unterlag, die auf die Verarbeitung beim Spritzguss (Materialauswahl, materialbedingter Schrumpf) zurückzuführen sind, war hier ebenfalls keine gesicherte statistische Auswertung möglich. Die gemessene plastische Verformung unmittelbar nach dem Entnehmen der Relais und der Sicherungen betrug ca. 2% - 7%.

Der durch die Feuchte-Wärme zu erwartende Abbau der mechanischen Eigenschaften konnte auch im Rahmen von Biegeversuchen nachgewiesen werden. Die Federelemente wurden in der Zug-Druck-Prüfmaschine einmalig ausgelenkt und die dafür notwendige Biegekraft ermittelt.

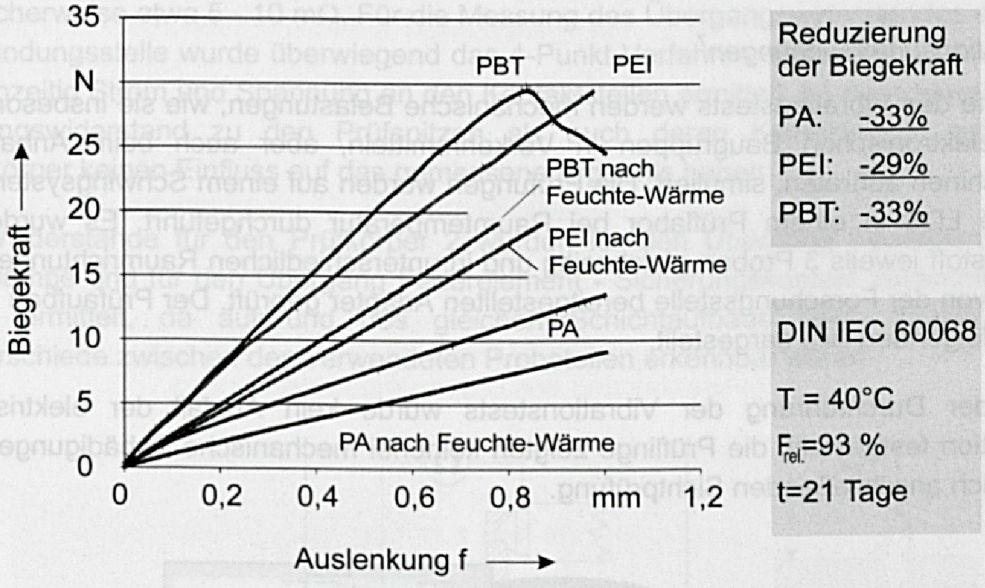


Bild 74: Vergleich der Kraft-Weg-Verläufe bei gealterten und nicht gealterten Federelementen (Probekörper 2: Halterung der Glühlampe)

Im Vergleich zu den nicht gealterten Probekörpern lässt sich eine deutliche Verringerung der resultierenden Biegekraft bei einer Auslenkung von 0,8 mm erkennen. Für ein PA Durethan BKV 130 und für das ebenfalls untersuchte PBT Vestodur wurde eine Reduzierung der erforderlichen Biegekraft um 33 % festgestellt. Der hochtemperaturfeste Kunststoff PEI zeigt geringfügig bessere mechanische Eigenschaften, die gemessene Biegekraft reduzierte sich um 29%.

Im Hinblick auf eine mögliche Anwendung sind die gemessenen Biegekräfte und die daraus resultierenden Kontaktdrücke aber immer noch ausreichend. Unter der Voraussetzung, dass die hier untersuchten Federelemente zur Aufnahme einer

Glühlampe um 0,5 mm ausgelenkt werden sollen, liegt die resultierende Haltekraft gerade bei der Verwendung edlerer Oberflächen, wie zum Beispiel Gold, deutlich über den geforderten Werten. Mithilfe konstruktiver Maßnahmen ist zudem mit einer deutlichen Steigerung der möglichen Haltekräfte zu rechnen.

Die Untersuchungen an der geschlossenen Federstruktur zeigten ein konträres Verhalten. Im Vergleich zu unbelasteten Proben wurden nach dem Feuchte-Wärme-Test höhere Biegekräfte ermittelt. Ein Grund für das konträre Verhalten der Federelemente nach dem Test könnte die Aufnahme von Feuchtigkeit sein. Werden bei offenen Federstrukturen die mechanischen Eigenschaften durch Feuchteaufnahme reduziert, kann die Feuchteaufnahme bei den geschlossenen Strukturen zu einem leichten Quellen und einer daraus resultierenden Kraftverstärkung der Federelemente führen.

Vibrationsuntersuchungen[7]

Mithilfe des Vibrationstests werden mechanische Belastungen, wie sie insbesondere bei elektronischen Baugruppen in Verkehrsmitteln, aber auch beim Anbau an Maschinen auftreten, simuliert. Die Prüfungen wurden auf einem Schwingsystem der Firma LDS in einem Prüflabor bei Raumtemperatur durchgeführt. Es wurden je Werkstoff jeweils 3 Proben gleichzeitig und in unterschiedlichen Raumrichtungen auf dem von der Forschungsstelle bereitgestellten Adapter geprüft. Der Prüfaufbau ist im nachfolgenden Bild dargestellt.

Bei der Durchführung der Vibrationstests wurde kein Ausfall der elektrischen Funktion festgestellt, die Prüflinge zeigten keinerlei mechanische Schädigungen bei der sich anschließenden Sichtprüfung.

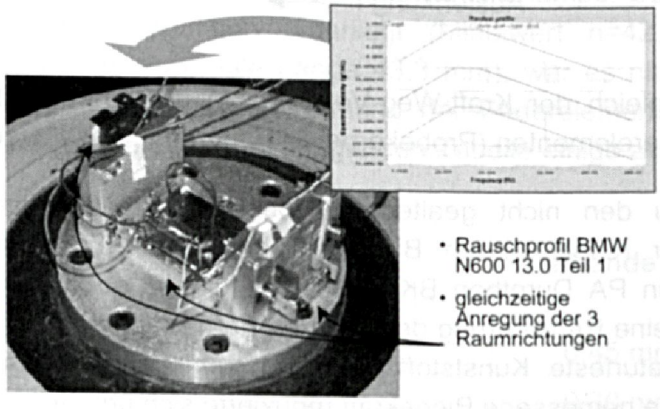


Bild 75: Prüfaufbau auf dem Schwingtisch

[7] Die Durchführung der Vibrationsuntersuchungen fand bei der Fa. Bayer AG in Leverkusen statt. Die Untersuchungsergebnisse wurden dem Verfasser zur Verfügung gestellt.

Schadgastest

Um den Einfluss von korrosiven Umgebungsmedien auf die hier realisierten Feder-Verbindungen zu untersuchen, wurde der Probekörper 2 mit Real-Bauteilen bestückt und in einer definierten Schadgasatmosphäre bewittert. Die Durchführung der Schadgasprüfung erfolgte nach BMW Norm N 600 13.0 Teil 1. Bei der Überprüfung der elektrischen Eigenschaften der Probeteile konnte bei keinem Prüfling der Ausfall der elektrischen Funktion nachgewiesen werden.

Beurteilung des elektrischen Verhaltens

Zur Bestimmung der Qualität elektrischer Verbindungen wurde der gemessene Übergangswiderstand als Kriterium herangezogen. Bei konventionellen stoffschlüssigen Verbindungen beträgt dieser wenige mΩ, bei herkömmlichen Steckverbindungen typischerweise etwa 5 - 10 mΩ. Für die Messung des Übergangswiderstandes an der Verbindungsstelle wurde überwiegend das 4-Punkt-Verfahren eingesetzt. Dabei wird gleichzeitig Strom und Spannung an den Kontaktstellen ermittelt, so dass sowohl der Leitungswiderstand zu den Prüfspitzen als auch deren Kontaktdruck auf den Prüfkörper keinen Einfluss auf das gemessene Ergebnis haben.

Die Widerstände für den Prüfkörper 2 wurden für den Übergang Federelement - Glühlampe und für den Übergang Federelement - Sicherungskontakt zusammengefasst ermittelt, da aufgrund des gleichen Schichtaufbaus keine signifikanten Unterschiede zwischen den verwendeten Probeteilen erkennbar waren.

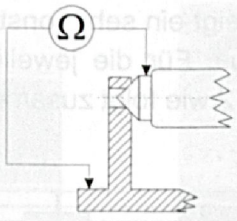
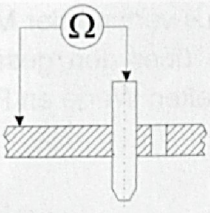
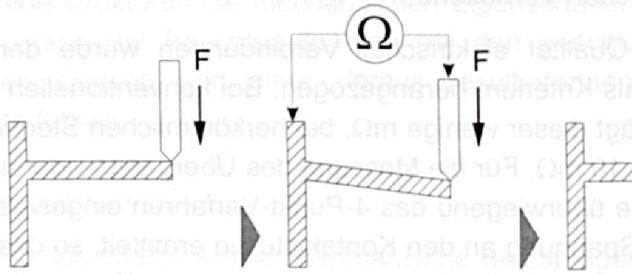
		
Mittelwert Übergangswiderstand R	1,94 Ω	1,47 Ω
Standardabweichung σ	0,610 Ω	0,241 Ω

Tabelle 12: Ermittlung der Übergangswiderstände, zusammenfassende Darstellung

Die gemessenen Widerstandswerte erscheinen zunächst relativ hoch. Da die Oberfläche des Probekörpers aber mit einer Nickelschicht überzogen ist, können die Werte gerade für diesen Einsatzbereich akzeptiert werden. Die Werte ließen sich zudem noch mithilfe eine Sudgold-Überzuges deutlich verbessern. Da für das

mechanische Verhalten der Federelemente kein Einfluss zu erwarten ist, wurde auf eine zusätzliche partielle Vergoldung der Kontaktflächen verzichtet.

Im Rahmen der zyklischen mechanischen Belastung wurde das elektrische Verhalten des Federelementes ebenfalls untersucht. Die Aufnahme für den Prüfkörper musste dabei elektrisch isoliert in die Zug-Prüfmaschine eingebaut werden. Aufgrund des mechanischen Aufbaus konnte nur eine Zwei-Punkt-Widerstandsmessung erfolgen.



Federbalken auslenken
v= 10mm/min
f= 0,8 mm

Auslenkung halten t= 5s
Widerstand messen

Federbalken entlasten
Wartezeit t= 3s

Bild 76: Ablauf der einzelnen Biegezyklen bei gleichzeitiger Dokumentation des Kraft-Wegverlaufes und des Durchgangswiderstandes

Die Auswertung der Messdaten zeigt ein sehr konstantes Verhalten der gemessenen Werte über den gesamten Zyklus. Für die jeweiligen Kunststoffe lassen sich die ermittelten Werte an Probekörper 2 wie folgt zusammenfassend darstellen.

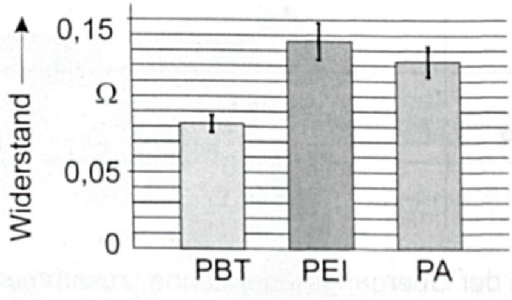


Bild 77: Elektrische Durchgangswiderstände gemessen an Probekörper 2

6.3.5 Nachgewiesene Schädigungen

In den eingangs dargelegten theoretischen Betrachtungen zum Verhalten von metallisierten Biegebalken wurde auf die unterschiedlichen Eigenschaften der beteiligten Materialpartner eingegangen. Da metallische Werkstoffe wesentlich geringere Dehnungskennwerte aufweisen, ist bei den hier betrachteten Dehnungen mit einer Schädigung der Metallisierung zu rechnen. Diese Schädigung kann einerseits in der Auswertung der ermittelten Kraft-Weg-Diagramme nachgewiesen werden. Insbesondere bei Nickelschichten kann eine eintretende Materialschädigung durch den plötzlichen Kraftabfall in der Biegekraft vermutet werden.

Da nicht alle untersuchten Biegegeometrien gleiche Verläufe in dem Kraft-Weg-Diagrammen zeigen, wurden zusätzlich mikroskopische Untersuchungen an den Probekörpern durchgeführt. Dabei wurden insgesamt 3 verschiedene Schadensmechanismen erkannt.

Risse in der Metallschicht

Werden die Federelemente bis über die Steckgrenze der Metallisierung ausgelenkt, entstehen an der Oberseite des Biegebalkens kleine Querrisse. Diese lassen sich eindeutig auf zu hohe Zugspannungen in diesem Bereich zurückführen. Nachgewiesen wurde diese Schädigung bei reinen Nickel-Metallisierungen sowie bei Kupfer-Nickel-Schichtsystemen, unabhängig von der Wahl des Basismaterials.

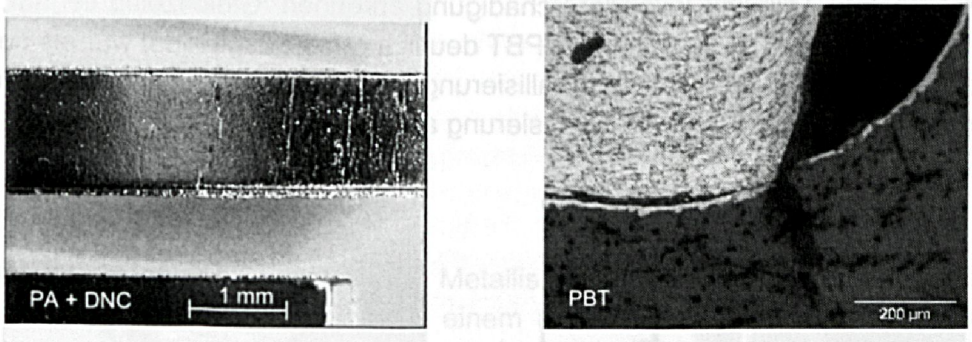


Bild 78: Entstehung von Rissen in der Metallisierung an Probekörper 1 und Probekörper 2 (Sicherungselement: hier gleichzeitige Schädigung des Basismaterials)

Im Vergleich des Biegeverhaltens der unterschiedlichen Basismaterialien fiel auf, dass gerade bei Probekörpern aus PBT verstärkt Risse in der Metallisierung auftraten. Bereits im Rahmen der Biegeversuche zeigt PBT ein sehr sprödes Bruchverhalten. Als Ursache wurde anhand von Schliffbildern eine örtliche Material-

schwächung der Federelemente im Bereich des Übergangs von Basisplatte zu Federbalken erkannt. Neben deutlich sichtbaren Lunkern, die aufgrund der Bauteilgeometrie und des Spritzgussprozesses in derart gestalteten Übergängen durchaus möglich sind, wurde eine weitere Schwächung des Materials durch kleine Bläschen, die vermutlich durch Ausgasungen entstehen, erkannt. Als Folge der Materialschwächung entstanden Risse im Basismaterial am Fuße des Federelementes, was zu einem frühzeitigen Bruch des Federelementes unter Last führen kann.

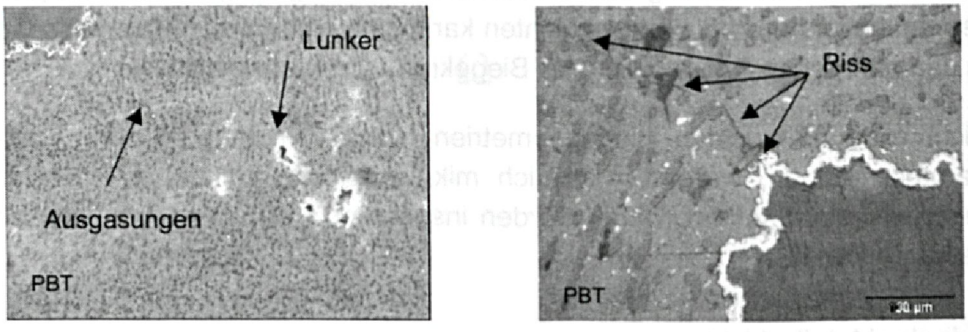


Bild 79: Schliffbild des Glühlampen-Federelementes eines Probekörpers (PBT): links eine erkennbare Lunkerbildung und Ausgasungen, rechts eine Rissbildung

Zur besseren Beurteilung der Federelemente wurde an der gleichen Stelle bei einem Biegeelement aus PEI ebenfalls ein Schliffbild angefertigt. Dieses, in gleicher Weise vorher belastete Teil, ließ keinerlei Schädigung erkennen. Gleichzeitig fiel auf, dass die Oberfläche beim Probekörper aus PBT deutlich rauer ausgebildet war als bei PEI. Grund hierfür waren die für die Metallisierung notwendigen Beizprozesse um eine ausreichende Haftfestigkeit der Metallisierung auf PBT zu erreichen.

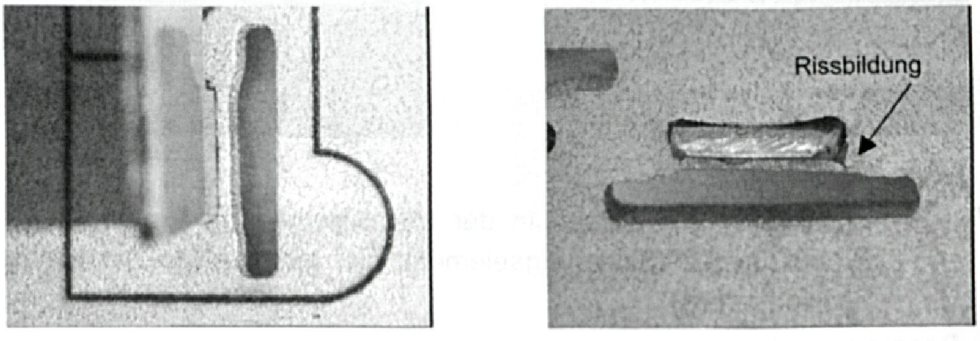


Bild 80: Rissentstehung in der Metallisierung an Federelementen für die Sicherungshalterung an Probekörpern aus PBT

Das sehr spröde Materialverhalten von PBT führte ebenfalls bei einigen Federelementen für den Sicherungshalter zur Rissbildung, die vorzugsweise in den Randbereichen der Federgeometrie auftrat. Im Schliffbild ist gleichzeitig eine Schädigung des Basismaterials erkennbar.

Ablösen der Metallisierung unter Biegelast

Die Bestimmung der Haftfestigkeit der Metallisierung erfolgte auf größeren Flächen des jeweiligen Probekörpers. Die hier ermittelten Werte im Schälversuch können aber nicht allgemein gültig für alle Bereiche des Probekörpers herangezogen werden. Gerade an den feinen Federstrukturen können örtlich deutlich niedrigere Haftfestigkeiten auftreten, die dann unter Belastung zum Ablösen der Metallisierung von Kunststoff führen. Dieser Effekt konnte insbesondere bei Probekörpern aus PA mit einer PVD-Anschlagschicht beobachtet werden. Beim Stecken der Metallstecker in das Federelement wird die Feder definiert durchgebogen. In der äußeren Schicht kommt es hierauf zu Druckspannungen, die zu einem Ablösen der Schicht führen. Hinsichtlich der elektrischen Funktionserfüllung hat dies allerdings keine direkten Auswirkungen. Die Kontaktflächen des Federelementes werden durch den Metallstecker belastet, so dass es zu einer Verpressung der Schicht mit dem Kunststoff kommt.

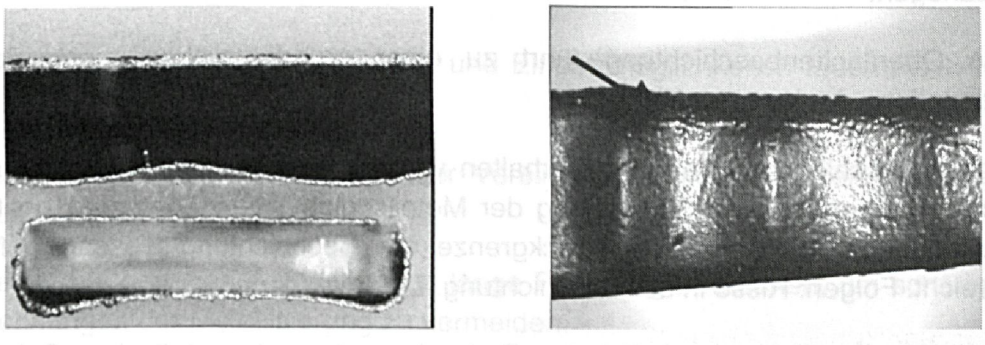


Bild 81: links das Ablösen der Metallisierung bei einem Federelement der Sicherungshalterung bei einem Probekörper aus PA; rechts das Aufwölben der Metallschicht auf der Oberseite des Biegebalkens

Die hier geschädigte Metallisierung kann weitere Schädigungen im Gebrauch nach sich ziehen. Der Spalt zwischen Schicht und Kunststoff bietet Flüssigkeiten die Möglichkeit zum Eindringen und zur Korrosion der Metallisierung. Aus diesem Grund kann diese Schädigung für den weiteren Gebrauch nicht akzeptiert werden. Trotz ausreichend hoher Haftfestigkeit wurde bei einigen Federbalken ein Ablösen und Aufwölben der Metallisierung nach Aufhebung der Biegelast festgestellt. Diese Schädigung trat insbesondere bei reinen Kupfer-Metallisierungen auf. Die Kupferschicht wurde bei der Auslenkung plastisch verformt, während dieser plastischen

Dehnung der Schicht findet offensichtlich ein gleichzeitiges Ablösen vom Kunststoff-Basismaterial statt. Risse in der gedehnten Schicht konnten bei keinem dieser Versuchskörper nachgewiesen werden. Nach der Entlastung des Biegeelementes federt dieses in seine ursprüngliche Lage zurück. Die gedehnte und z.T. abgelöste Schicht wird gestaucht und bildet eine Aufwölbung auf der Oberseite des Biegeelementes.

6.4 Zusammenfassung und Ableitung von Gestaltungshinweisen

Mit den hier dargelegten grundlegenden und umfangreichen Untersuchungen zum Verhalten metallisierter Kunststoff-Federelemente ergeben sich eine Reihe neuer Ansätze für die Gestaltung federnder Verbindungselemente zur Anwendung in innovativen Produkten im Bereich der MID-Technologie.

Die Ergebnisse haben gezeigt, dass offene Federstrukturen unter statischer Belastung einem für Kunststoffe typischen Kriechverhalten unterliegen, das auch durch die verstärkende Wirkung der Metallisierung nicht kompensiert werden kann. Die Metallisierung führte zu einer Verstärkung der mechanischen Eigenschaften im Hinblick auf das Dehnungsverhalten. Die wesentlichen Erkenntnisse der durchgeführten experimentellen Untersuchungen lassen sich zusammenfassend wie folgt darlegen:

- Die Oberflächenbeschichtung führt zu einer grundsätzlichen mechanischen Versteifung der Kunststofffeder.
- Das unterschiedliche Dehnungsverhalten von Kunststoffen und Metallisierungen führt zu einer früheren Schädigung der Metallschicht gegenüber der Kunststoffschädigung. Somit wird die Streckgrenze der Beschichtung wesentlich früher erreicht. Folgen: Risse in der Beschichtung, Delaminationen.
- Das Kriechverhalten metallisierter Federelemente unter statischer Belastung entspricht typischem Langzeit- Kunststoffverhalten — der Einfluss der Metallisierung hinsichtlich einer dauerhaft verstärkenden Wirkung ist, gemessen am reinen Kunststoffverhalten, relativ gering.

Aus diesen Erkenntnissen wird deutlich, dass einseitig offene Federstrukturen nur für geringere Kontaktdrücke geeignet sind. Diese lassen sich durch die Wahl einer geeigneten Federgeometrie zwar erhöhen, dies kann aber wiederum zur Verringerung der maximal möglichen Federauslenkungen führen. Zu hohe Dehnungswerte führten zu einer Schädigung der Metallisierung, dabei wurden sowohl Risse als auch eine vollständige Ablösung der Metallisierung beobachtet.

Zyklische Belastungen führten bei einer zu hohen Dehnung zu einer bleibenden Verformung des Federelementes, bei der Untersuchung des Glühlampenhalters konnte hinsichtlich Montierbarkeit und Austausch der Glühlampe ein gutes zyklisches Federverhalten ermittelt werden.

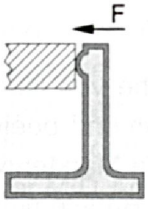
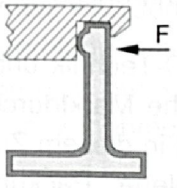
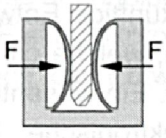
Federn	Schnappen	Klemmen
		
offene Federstruktur	**gehaltene Federstruktur**	**geschlossene Federstruktur**
geeignet für: • geringe Auslenkungen • niedrige Kontaktdrücke • zyklische Belastung	geeignet für: • mittlere Auslenkungen • höhere Kontaktdrücke	geeignet für: • mittlere Auslenkungen • hohe Kontaktdrücke • gutes Langzeitverhalten

Tabelle 13: Hinweise zur Gestaltung und Einsatzmöglichkeiten federnder leitender Verbindungselemente

Für die Auslegung federnder leitender Verbindungselemente lassen sich folgende Gestaltungshinweise ableiten.

- Selbst bei geringen Auslenkungen lange Federwege vorsehen, um schädigende Dehnungen der Metallisierung zu vermeiden.
- Dauerhaft hohe Kontaktdrücke erfordern eine massiv ausgeführte Federgeometrie, um dem Kriechverhalten entgegenzuwirken (damit ist oft eine Reduzierung der möglichen Federwege verbunden)
- Der Einsatz von geschlossenen, selbstverstärkenden Federstrukturen ermöglicht ebenfalls einen statisch hohen Kontaktdruck.

Im Hinblick auf das Langzeitverhalten von Kunststoffen unter Biegelast erscheint eine in sich geschlossene Federstruktur am geeignetsten. Die in diesem Projekt exemplarisch realisierten Halterungen für Sicherungselemente im Automobil zeigten ein sehr gutes Kraft-Dehnungsverhalten und eignen sich damit zur Realisierung alternativer, lotfreier Verbindungselemente.

7 Perspektiven für die MID-Technologie

In den vorangegangenen Kapiteln wurde ausführlich dargelegt, welche Position die MID-Technologie aus ökonomischer und technologischer Sicht in den Märkten elektronischer Baugruppen einnimmt. Anhand der diskutierten Problemfelder sowie den daraus abgeleiteten Lösungswegen zur Technologieeinführung wurde das hohe Potential für innovative Produktgestaltungen und die Leistungsfähigkeit der MID-Technik zur Erfüllung der geforderten Funktionalität dargelegt.

Die zukünftige Entwicklung der MID-Technik unterliegt einer Reihe von Randbedingungen, welche die weitere mögliche Marktdurchdringung zunehmend beeinflussen werden. Ein wesentlicher Aspekt ist in diesem Zusammenhang die Marktentwicklung für elektronische Baugruppen. Neue Packungsformen der Bauelemente und alternative Verfahren zur Aufbau- und Verbindungstechnik beschleunigen die Innovation elektronischer Produkte [44]. Darüber hinaus kann durch die zunehmende Forderung nach mechatronischen Produktlösungen [147] ein überproportionales Wachstum der Technologie initiiert werden.



Bild 82: Treiber für eine zunehmende Marktdurchdringung der MID-Technik [43]

Möglich wird dies aber nur durch die Bereitstellung zuverlässiger Prozessketten, die eine qualitativ einwandfreie Produktion gewährleisten. Das Wissen über Verfügbarkeit und Leistungsfähigkeit trägt ergänzend maßgeblich dazu bei, weitere Wachstumsschübe zu erzielen.

Im Rahmen dieses Kapitels werden zunächst aktuelle Trends der Elektronikproduktion aufgezeigt, analysiert und die sich daraus ableitenden Potentiale zu den zukünftigen Einsatzfeldern der MID-Technologie abgeleitet. Aus den insgesamt erkennbaren Trends wird eine Technologieprognose zur weiteren Marktentwicklung der MID-Technologie abgegeben.

7.1 Einflüsse des Elektronikmarktes

7.1.1 Auswirkungen der Bauelementtechnologie

Die stetige Veränderung elektronischer Baugruppen im Hinblick auf deren Funktionalität und Komplexität wird maßgeblich durch die rasante Innovation in der Halbleiterindustrie getrieben [44]. Die fortschreitende Miniaturisierung elektronischer Bauelemente und neue Anschlussgeometrien erfordern die Anpassung und Entwicklung neuer Prozesse zur Aufbau- und Verbindungstechnik [91]. Diese technologischen Strömungen werden nicht nur im Bereich der konventionellen Elektronikproduktion aufgegriffen, sondern beeinflussen in zunehmenden Maße auch die Entwicklung innovativer MID-Anwendungen.

Ein wesentliches Kennzeichen für die Verarbeitung miniaturisierter Bauelemente ist die direkte Kontaktierung des Siliziumschips. Mit der Verarbeitung dieser ungehäusten Bauelemente auf dem Basissubstrat ergibt sich die Möglichkeit, eine deutliche höhere Miniaturisierung gegenüber konventionellen Baugruppen zu erreichen. Im Hinblick auf die Verbindung mit MID-Anwendungen stehen für die Kontaktierung alternativ zwei grundsätzlich verschiedene Verbindungstechnologien zur Verfügung.

Das Drahtbonden wird in der konventionellen Elektronikproduktion bereits seit vielen Jahren in der Herstellung von IC-Komponenten, aber auch bei der Direktmontage von Chips auf Leiterplatten eingesetzt [132]. Die Anschlüsse des Chips werden mit denen des Basissubstrats über einen Gold- oder Aluminiumdraht mittels Ultraschallschweißen verbunden. Zur Erzeugung einer elektrisch leitenden und gleichzeitig haftfesten Verbindung muss ausreichend Reibenergie und Kraft in den Fügeprozess eingebracht werden.

Dabei muss gewährleistet sein, dass die Auswirkungen der Energieeinbringungen, die bei einem MID zweifelsohne auch das thermoplastische Basissubstrat betreffen können, keinerlei lokale Schädigung hervorrufen. Güte und Zuverlässigkeit von Bondverbindungen werden zur Zeit in öffentlich geförderten Forschungsprojekten untersucht (vgl. [133]). Ergänzend fand die Entwicklung und Qualifizierung der Verbindungstechnologie bereits im Rahmen von Produktentwicklungen statt [80].

Alle Entwicklungsarbeiten und Untersuchungen zur Qualifizierung des Bondens auf MID haben gezeigt, dass zwei entscheidende Kriterien die Güte der Verbindungsstelle beeinflussen. Einerseits ist eine geringe Rauhigkeit der Oberflächenmetallisierung anzustreben. Von Matsushita wurde hierzu bei der Entwicklung eines Bewegungssensors das PVD-Verfahren herangezogen, um eine Aufrauung in chemischen Beiz- und Ätzvorgängen zu vermeiden [148]. Andererseits führt eine höhere Schichtdicke ebenfalls zu besseren Haftungswerten, da durch einen dickeren Schichtaufbau ein

Einebnen der Oberfläche stattfindet [133]. Zusammenfassend wird deutlich, dass das Bonden als alternative Verbindungstechnologie für MID-Anwendungen herangezogen werden kann. Nachgewiesen wird dies durch die bereits in Serie hergestellten Anwendungen. Im Rahmen der in [133] durchgeführten Untersuchungen wurde ebenfalls festgestellt, dass die Wahl des Basissubstrates keinen Einfluss auf die Qualität der Verbindungsstelle hat.

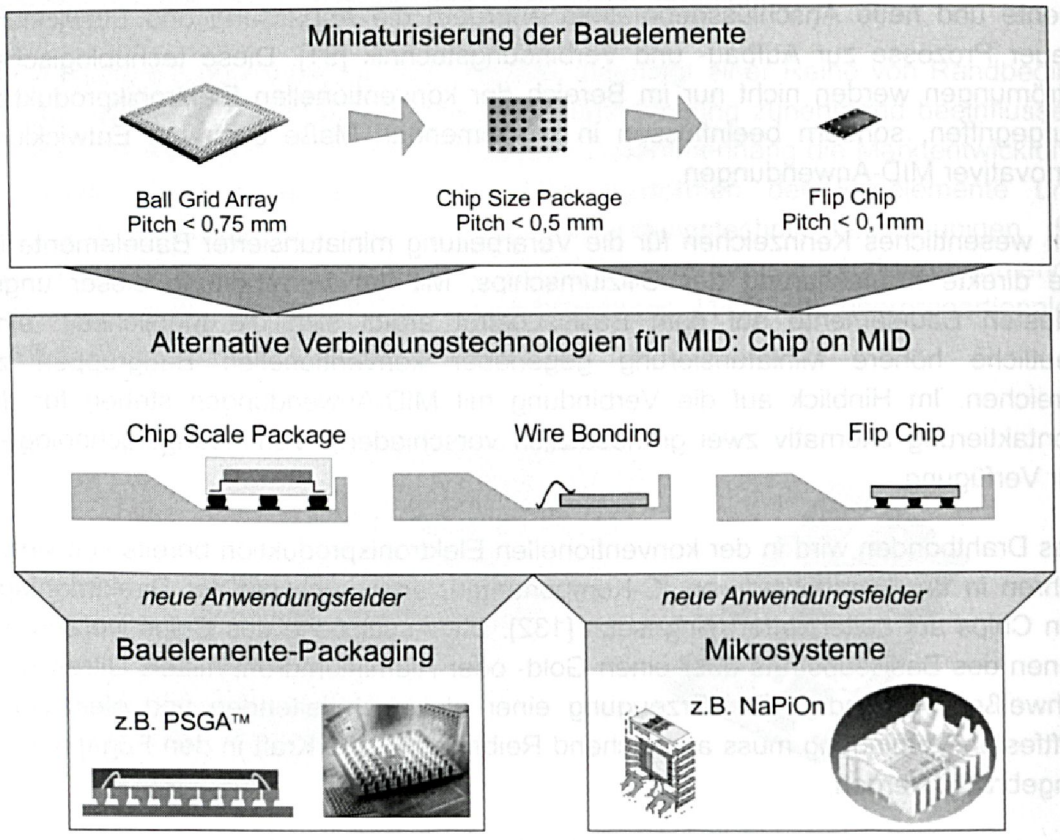


Bild 83: Neue Bauelemente und deren alternativer Verbindungstechnologien führen zu innovativen MID-Anwendungen [136], [141]

Neben der Bondtechnologie tritt zunehmend eine Verbindungsart in den Vordergrund, die gerade für flächige Anschlussstrukturen Anwendung findet. Hierbei wird die Verbindungsstelle durch ein vordefiniertes Lotdepot in Form von Lotballs hergestellt. Anwendung findet diese sowohl bei BGA-Bauelementen als auch bei Flip Chips. Wesentlicher Unterschied zwischen beiden Bauelementearten ist die Größe und das Raster der Lotballs. Flip Chips stellen damit deutlich höhere Anforderungen an die Prozesstechnik. Zur Unterstützung der engen Toleranzen werden in den Bestückprozess integrierte Visionssysteme eingesetzt.

Ein großer Vorteil dieses Verfahrens ist, dass die Bauelemente in konventionellen Reflow-Lötprozessen verarbeitet werden. Bei einigen Varianten kann dabei sogar auf die zusätzliche Applikation von Lot verzichtet werden, das vorhandene Lotdepot wird mithilfe von Flussmittel definiert umgeschmolzen.

Im Gegensatz zum Wirebonden liegt zur Verarbeitung von Bauelementen mit Lotballs nur wenig Erfahrung vor. Eine große Schwierigkeit bei diesem Prozess ist das Verhalten des Systems unter thermischer Beanspruchung. Die deutlich unterschiedlichen Ausdehnungskoeffizienten zwischen Silizium und Thermoplast erleichtern eine frühe Schädigung der Verbindungsstelle. Diese Fragestellungen werden derzeit in einem öffentliche geförderten Verbundprojekt bearbeitet [32].

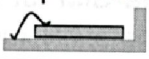
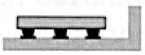
Technologie / Kriterien	Bonden Chip & Wire 	Reflowlöten Lot-Balls 
Anforderungen an die Prozesstechnik	schwierige Prozessführung	Standardlötprozess
Qualitätsfähigkeit	hohe Anforderungen an die Prüftechnik	thermischer Missmatch
Integrationsfähigkeit	bekannte Prozesse	neue Technologie
Wirtschaftlichkeit	zusätzlicher Prozess	Verbindung entsteht im Standardlötprozess

Tabelle 14: Gegenüberstellung alternativer COB-Verbindungstechnologien für MID

Aktuelle Anwendungsbeispiele zeigen das hohe Einsatzpotential dieser beiden Verbindungstechniken für die zukünftige Gestaltung miniaturisierter MID-Applikationen, wobei zwei Technologietrends erkennbar sind.

Die direkte Verarbeitung von Chips auf thermoplastischen Materialien ermöglicht die Herstellung innovativer Packaging-Konzepte für neue Bauelemente. Das in [144] ausführlich vorgestellte PSGA dient als alternative Variante zur Herstellung von BGA-Bauelementen. Wesentlicher Vorteil gegenüber konventionellen Bauelementen ist die Integration der Anschlussballs in das Package selbst. Damit entfallen zeit- und kostenintensive Bumping-Prozesse, weiterhin ergibt sich durch die Herstellung der Balls im Spritzgussverfahren eine deutliche höhere Genauigkeit, dies führt zu einer gesteigerten Produktqualität.

Als weiteres Einsatzfeld dieser Aufbaukonzepte ist die Herstellung von sowohl miniaturisierten als auch hochintegrierten Elektroniksystemen zu nennen. Beispiele hierfür sind in [148] anhand eines Bewegungssensors und einer Infrarotschnittstelle

zur Datenkommunikation dargestellt. Die enorm hohe Packungsdichte erlaubt die Integration elektronischer Funktionen auf kleinstem Raum [150]. Zusammenfassend lässt sich somit festhalten, dass mit der Entwicklung neuer Bauelemente und alternativer Verbindungstechnologien ein hohes Potential für MID-Anwendungen entsteht.

7.1.2 Entwicklung des Leiterplattenmarktes

Ein wesentliches Kennzeichen für die Veränderung des Elektronikmarktes sind die Umsätze im Bereich Leiterplatten und elektronischer Baugruppen. Diese lassen sich einerseits nach europa- und weltweiten Regionen, andererseits hinsichtlich der betroffenen Branchen aufteilen. Für die Beurteilung der MID-Entwicklung in Deutschland wird im Folgenden nur auf nationale Kennzahlen, insbesondere der branchenspezifischen, näher eingegangen.

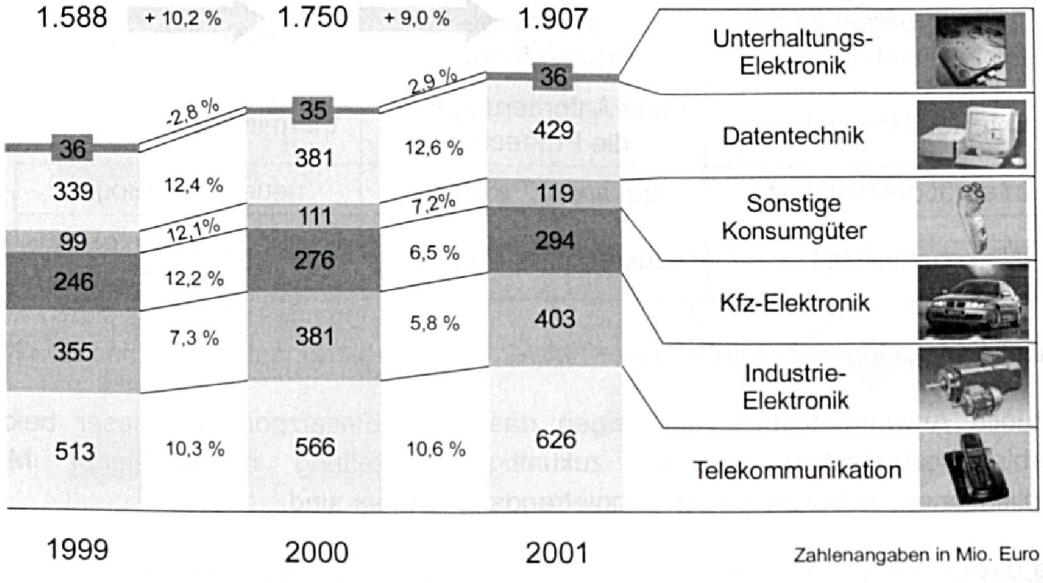


Bild 84: Markt für Leiterplatten in Deutschland nach Branchen: Potentielle Einsatzfelder für die MID-Technologie [142]

Seit Jahren ist ein enormes Wachstum im Bereich der Elektronikproduktion zu beobachten. Treiber dieser Entwicklung sind die Branchen Datentechnik, Kfz-Elektronik und Telekommunikation. Dabei sind deutliche Unterschiede zwischen dem Markt für Leiterplatten und dem für elektronische Baugruppen insgesamt zu beobachten. So stieg der Markt für Leiterplatten von 1999 zu 2000 um 10,2%, der Markt elektronischer Baugruppen aber um 30,5% [142].

Diese deutliche Diskrepanz kann zum einen auf in Deutschland verarbeitete, jedoch nicht im Innland hergestellte Leiterplatten zurückgeführt werden. Zum anderen wirken sich die Kosten der verarbeiteten Bauelemente massiv auf die Umsätze der Baugruppenfertigung aus, gerade hochintegrierte Bauelemente für innovative Anwendungen im Bereich Telekommunikation können zu dieser Entwicklung beitragen.

Die Bedeutung der Marktentwicklung für eine steigende Marktdurchdringung der MID-Technologie hängt nun entscheidend an den Entwicklungen in den unterschiedlichen Branchen. Grundsätzlich gilt für die MID-Technologie, dass mit dem Einsatz dreidimensionaler spritzgegossener Schaltungsträger konventionelle Leiterplatten nicht ersetzt, sondern diese durch integrierte Systeme mit erweiterten Funktionalitäten sinnvoll ergänzt werden sollen [100].

Als mögliche Anwendungsbereiche für MID-Baugruppen gelten dezentral integrierte Elektronikeinheiten [38]. Vor diesem Hintergrund erscheinen insbesondere Märkte interessant, die ein hohes Potential für den Einsatz dezentraler Elektronikbaugruppen aufweisen. Im Bereich der stark expandierenden Datentechnik - und hier im Besonderen in der Computerindustrie - finden sich überwiegend Hochleistungsbaugruppen, die für den Einsatz der MID-Technik kaum geeignet sein dürften.

Dem gegenüber sind die Bereiche Kfz-Elektronik und Telekommunikation mit ebenfalls hohen Zuwachsraten ein ideales Betätigungsfeld für MID-Anbieter. Wie bereits in Kapitel 2 dargelegt, stellen diese beiden Branchen wichtige Technologietreiber dar. Die prognostizierte Zunahme der Elektronik im Automobil [140] und neue Konzepte zur Umsetzung der Verdrahtungsaufgaben, wie zum Beispiel bei Türmodulen, eröffnen ein breites Feld neuer Produkte.

Im Bereich Telekommunikation bieten sich ebenfalls eine Vielzahl alternativer Produkte für den MID-Einsatz an [107]. Eine rasch fortschreitende Marktdurchdringung wird derzeit durch die stagnierende Entwicklung [111] im Bereich der Mobilfunktelefone gebremst. Das breite Feld denkbarer Anwendungen wurde in Kapitel 2.3.2 ausführlich diskutiert, die an dieser Stelle angeführten Trends bieten für zukünftige Entwicklungen eine ideale Ausgangsbasis.

Das insgesamt anhaltende Wachstum des Leiterplattenmarktes kann maßgeblich die weitere Verbreitung der MID-Technologie stimulieren. Für die weitere Zunahme des MID-Marktes ist es aber erforderlich, dass die in Betracht gezogenen Anwendungen nicht allein als Ersatz typischer Standardelektronikbaugruppen herangezogen werden, vielmehr ist ein MID-spezifischer Vorteil für die erfolgreiche Umsetzung notwendig.

7.2 Wachstum durch Substitution

Die weitere Verbreitung der MID-Technologie kann neben dem insgesamt wachsenden Markt für elektronische Baugruppen auch durch die Substitution konventioneller Anwendungen mit MID-Applikationen, die gegenüber konventionellen Lösungen eine erweiterte Funktionalität aufweisen, erfolgen [43].

In [40] ist die anteilige Verteilung verschiedener Basissubstrate für die Herstellung von Leiterplatten dargestellt. Ergänzend wird ein möglicher Entwicklungstrend, der deutlich die Zunahme von hochintegrierten Basissubstraten, wie zum Beispiel Multilayer-Leiterplatten aufgezeigt, aber auch die weitere Verbreitung flexibler Schaltungsträger und MID-Baugruppen wird prognostiziert.

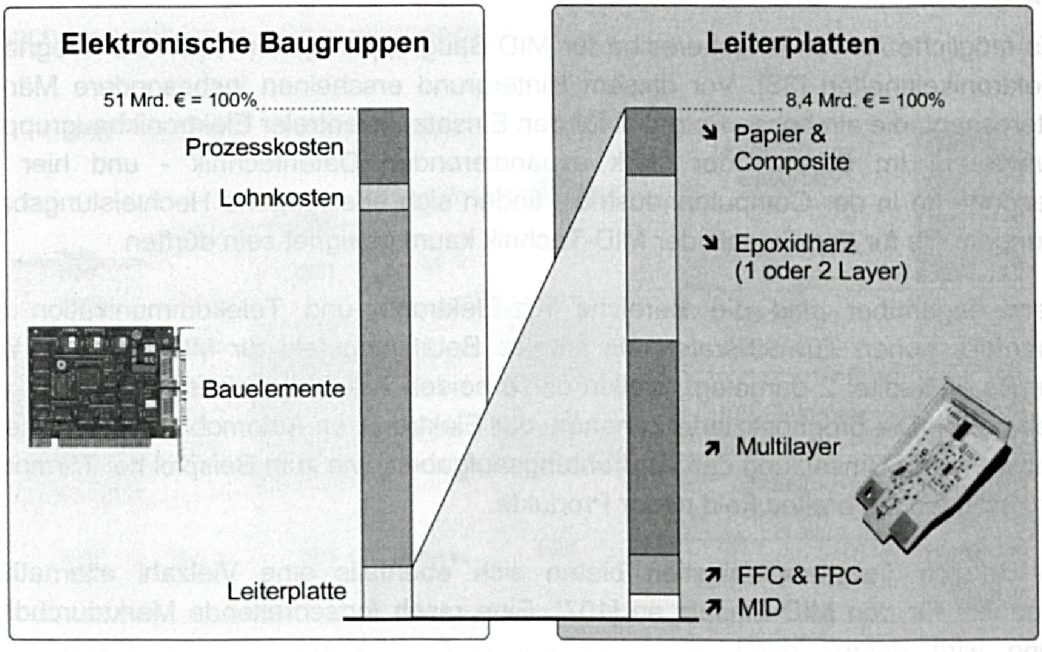


Bild 85: Prognostizierte, anteilige Veränderung der Basissubstrate bei Leiterplatten [40]

Diese Prognose verdeutlicht eine mögliche Entwicklung hin zu hochwertigen, integrierten Systemlösungen. Der Anteil kostengünstiger Basissubstrate für einfache Anwendungen wird sich demnach verringern, da die technologischen Fähigkeiten der Basismaterialien den hohen Ansprüchen innovativer Elektronikprodukte nicht mehr genügen.

Diese Aussage wird durch die Einschätzung gestützt, dass sich der Elektronikmarkt zunehmend in den Bereich Standardbaugruppen und in den Bereich dezentrale integrierte Elektronikbaugruppen teilen wird. Zur Herstellung der dezentralen

Systeme stehen dem Anwender derzeit eine Vielzahl an Verfahren zu Verfügung. Neben flexiblen und keramischen Schaltungsträgern sind hier weiterhin Stanzgitterbaugruppen anzuführen, die gerade in Automotivbereich einen hohen Stellenwert einnehmen. Dem gegenüber konnte die erfolgreiche Substitution konventioneller Baugruppen anhand innovativer Produktkonzepte unter Einsatz der MID-Technologie bereits mehrfach nachgewiesen werden [63]. Dabei wurden nicht nur konventionelle Leiterplatten ersetzt, vielmehr konnten mit dem Einsatz der MID-Technik deutliche Rationalisierungseffekte in der Fertigungskette erreicht werden.

Als ein herausragendes Beispiel sei in diesem Zusammenhang die in [127] gezeigte Umsetzung einer Kleinmotorensteuerung in MID erwähnt. Im Rahmen der konzeptionellen Entwicklung wurden ein vierpoliger Stecker, eine Leiterplatte und ein Distanzstück in ein MID-Bauteil integriert. Dieses wurde anschließend mit wenigen SMD-Bauteilen bestückt und in konventionellen Lötprozessen verarbeitet. Gegenüber der bestehenden Lösung wurde die Teilezahl drastisch reduziert, was zu einer reduzierten Montage und zu einer Kosteneinsparung führte.

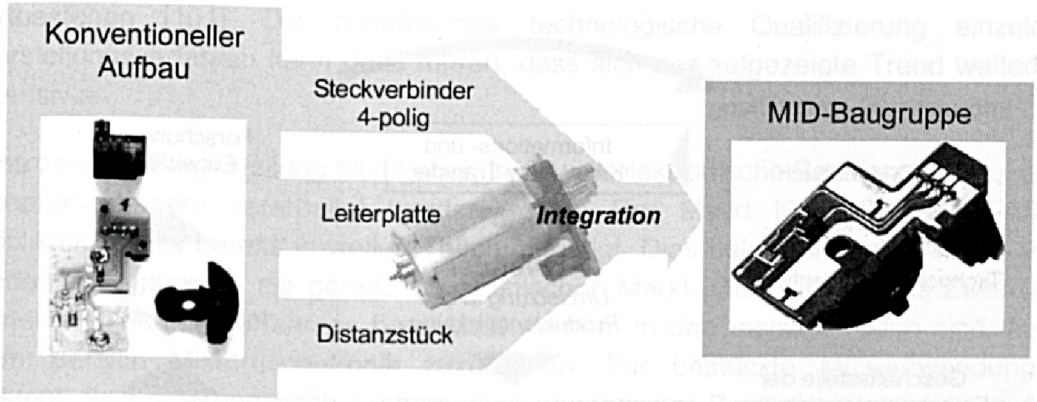


Bild 86: Substitution einer konventionellen Kleinmotorensteuerung mithilfe eines integrierten MID-Produktkonzeptes [127]

Dieses exemplarisch ausgewählte Beispiel verdeutlicht das hohe Rationalisierungspotential, das durch den Einsatz der MID-Technik selbst bei der Substitution konventioneller Baugruppen erzielt werden kann. Auch wenn bei einer Vielzahl an Anwendungen überwiegend das Heißprägeverfahren für die Substitution herangezogen wird, unterliegt die Auswahl eines geeigneten Verfahrens den in den Kapiteln 4 und 5 angeführten Kriterien. In [46] wurde eine Übertragung einer konventionellen Lösung unter Einsatz des Zweikomponentenverfahrens gezeigt, das selbst bei geringeren Stückzahlen wirtschaftlich einzusetzen ist. Gleichzeitig wird nochmals deutlich, dass eine kosteneffiziente Übertragung nur durch die tatsächliche Integration elektronischer und mechanischer Funktionselemente möglich ist.

7.3 Innovationen mit verbessertem Technologiewissen

Die Verbreitung einer neuen Technologie hängt entscheidend von der Verfügbarkeit gesicherter Informationen über technologische Detailfragen ab. Gerade im Umfeld einer äußerst interdisziplinär angelegten Technologie, wie dies im besonderen Maße auf die MID-Technik zutrifft, kommt der Forderung einer breiten Informationsbereitstellung eine Schlüsselposition zu.

Ausgangspunkt der Wissensakquisition ist die Durchführung von Gemeinschaftsprojekten zwischen Industrie und Hochschule, die eine anwendungsnahe Erforschung der spezifischen Problemfelder garantieren. Die erarbeiteten Ergebnisse müssen einer zentralen Stelle, die als Verwalter des Technologiewissens betrachtet werden kann, in geeigneter Form zur Verfügung gestellt werden. Dieser Aufgabe kommt im Bereich der MID-Technologie der Geschäftsstelle der Forschungsvereinigung Räumliche Elektronische Baugruppen 3-D MID e.V. zu, welche die erarbeiteten Ergebnisse kompakt und transparent aufbereitet und in Form geeigneter Medien bereitstellt.

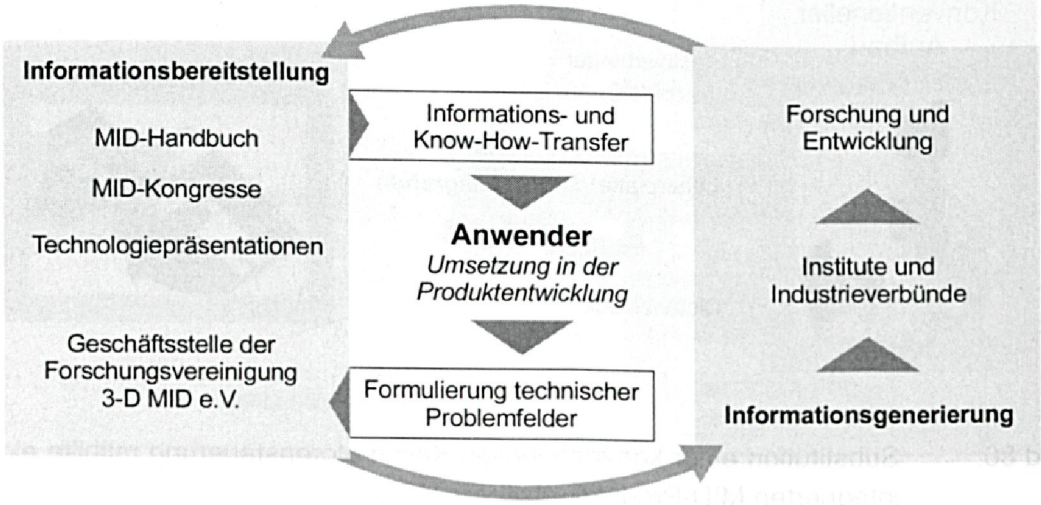


Bild 87: Kreislauf der Informationsgenerierung und -bereitstellung

Der Informationstransfer kann nun passiv oder aktiv erfolgen: In einem stark wachsenden Kreis interessierter Unternehmen ist zunächst eine zeitnahe Bereitstellung aktueller Informationen relevant, die leicht von externen Stellen abgerufen werden können. Als ideales Medium lässt sich hier das Internet nutzen. Hierzu wurde vom Autor ein Intranet für die Forschungsvereinigung aufgebaut, in dem Forschungsberichte und Veröffentlichungen von Mitgliedern der Vereinigung jederzeit abgerufen werden können.

Weiterhin ist es aber dringend erforderlich, über die spezifischen Erkenntnisse zur MID-Technologie aktiv zu informieren. Hierfür eignet sich die Durchführung von Veranstaltungen, wie zum Beispiel Workshops, Seminaren oder Kongressen. Diesen Aktivitäten kommt eine weitere zentrale Aufgabe zu, die der Identifikation und Aufnahme aktueller Problemstellungen aus der Industrie.

Nur durch eine Rückmeldung über das Fehlen bestimmter Informationen kann eine weitere Wissensgenerierung angestoßen werden. Damit ergibt sich ein Kreislauf mit dem steten Ziel einer umfassenden Wissensakquisition und einem zeitnahen Technologietransfer. Nur mit dem Wissen über Potentiale und Chancen einer neuen Technologie sind Innovationen im Bereich neuer Produkte und Verfahren möglich.

7.4 Zukünftige Einsatzpotentiale für MID

Der eingangs in Bild 6 dargestellte Trend einer Aufteilung der Applikationen in räumliche elektronische Baugruppen für mesomechatronische und für mikromechatronische Anwendungen wird aus heutiger Sicht auch in den nächsten Jahren fortbestehen [101]. Die zunehmende technologische Qualifizierung einzelner Herstellungsverfahren kann dazu führen, dass sich der aufgezeigte Trend weiterhin intensiviert.

Eine zentrale Fragestellung bleibt aber, inwieweit elektronische Bauelemente auf den Schaltungsträgern verarbeitet werden sollen. Der Markt für unbestückte MID-Applikationen ist bereits in weiten Teilen gefestigt. Dies belegt die hohe Anzahl von Serienanwendungen, die gerade im japanischen Markt unter Einsatz des Zweikomponentenspritzgussverfahrens hergestellt werden. In den meisten Fällen sind diese dem Bereich Mikromechatronik zuzuordnen. Für bestückte MID-Anwendungen besteht die Forderung nach Verfügbarkeit angepasster Bestücksysteme, da in den aktuellen Anwendungen meist manuelle Bestück- und Lötarbeiten vorgenommen oder Sondermaschinen eingesetzt werden.

Dem zu erwartenden Einsatz bleifreier und überwiegend höherschmelzender Lote hingegen kann durch Verwendung temperaturbeständiger Thermoplastwerkstoffe begegnet werden. Trotz wirtschaftlicher Bedenken seitens der Anwender durch die dann erforderliche Verwendung kostenintensiverer Materialien sind die technologischen Herausforderungen durch den Lötprozess mit höheren Temperaturen lösbar.

Aus der in Kapitel 2 erläuterten Marktentwicklung für MID sowie den MID-typischen Einsatzpotentialen lassen sich Aussagen für eine mögliche zukünftige Entwicklung ableiten. Zentrales Merkmal neuester Produktentwicklung ist eine zunehmende Miniaturisierung der Anwendungen sowie eine steigende Dreidimensionalität im Bereich der Bauelementepositionierung.

Hohes Einsatzpotential für MID besitzt der Bereich der Smart-X-Anwendungen[8], die in vielen Branchen zunehmend Verbreitung finden. Denkbar sind speicherorientierte Anwendungen, aber auch Systeme mit aktiven elektronischen Funktionen, wie zum Beispiel intelligente Stecker [33]. Die hier eingesetzten MIDs übernehmen sowohl Gehäusefunktionen als auch Verdrahtungsaufgaben bis hin zur Integration von Stecksystemen.

Daneben werden MID-Substrate als alternative Packaging-Konzepte für hochintegrierte Mikrosysteme herangezogen. Der miniaturisierte Aufbau von Sensoren und Aktoren kann mittels innovativer Verdrahtungskonzepte realisiert werden [29]. Ein möglicher Einsatzbereich reicht von einfachen Abstandssensoren bis hin zu komplexen Beschleunigungssensoren für Airbags. Durch Umsetzung von Dosier- und Analysesystemen können gerade im Bereich Medizintechnik neue Märkte erschlossen werden [86].

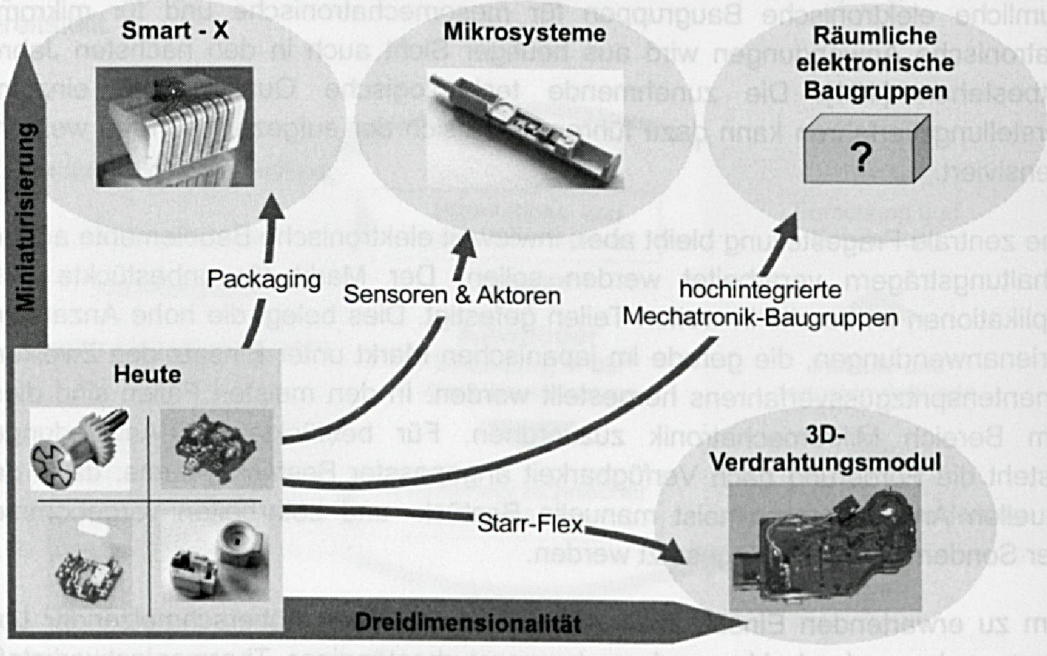


Bild 88: Entwicklungstrends und zukünftige Einsatzpotentiale für MID

Eine weitere vielversprechende Technologievariante ist das Hinterspritzen von Folien. Die Kombination konventioneller Folien mit tragenden Kunststoffbauteilen ermöglicht eine deutliche Gewichtsreduzierung bei gleichzeitig mechanisch stabilen Strukturen. Anwendung findet dies bereits in Türmodulen der Automotivindustrie.

[8] Als Smart-X-Anwendungen werden in diesem Zusammenhang eigenständige, elektronische Systeme bezeichnet, die den Bereichen Smart Cards, Smart Connectors und ähnlichen zuzuordnen sind.

Wenngleich in vielen Branchen enorme Entwicklungspotentiale für MID-Anwendungen bestehen, so ist die tatsächliche Umsetzung der MID-Technik in mechatronischen Produkten abhängig von Einzelentwicklungen. Die Tatsache, dass die MID-Technologie keine Standardprodukte vorhält, erfordert die Bereitstellung und Verfügbarkeit kompetenter Entwicklungsstrategien, wie sie in den vorangegangenen Kapiteln aufgezeigt wurden.

8 Zusammenfassung

Einer rasch zunehmenden Marktdurchdringung der MID-Technologie in den unterschiedlichsten Branchen der Elektronikindustrie steht heute noch eine Reihe von Faktoren entgegen, die nur durch die Bereitstellung und die Anwendung geeigneter Strategien und Vorgehensweisen eliminiert werden kann. Das grundsätzlich enorme Rationalisierungspotential der verfügbaren Herstellungsverfahren sowie eine nicht vergleichbare hohe Gestaltungsfreiheit in der Entwicklung mechatronischer Baugruppen wird durch zahlreiche, erfolgreich im Markt positionierte MID-Applikationen eindrucksvoll bewiesen.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit bestand darin, Strategien für einen produktorientierten Einsatz räumlicher spritzgegossener Schaltungsträger zu entwickeln. Hierzu wurden Ansätze verfolgt, die einer ganzheitlichen Betrachtung aller zur erfolgreichen Umsetzung der MID-Technologie relevanten Bereiche gerecht werden sollten. Neben allgemeinen Marktbetrachtungen, die eine aktuelle Situationsanalyse der MID-Technologie darstellen, wurden Fragestellungen behandelt, die gerade für strategieorientierte Abteilungen von Unternehmen zur zukünftigen Geschäftsentwicklung - im Hinblick auf die Relevanz der MID-Technik - wichtig sind. Darüber hinaus wurden Themen aufgegriffen, die den betroffenen Entwicklungsabteilungen und deren Mitarbeitern Modelle zur effizienten Produktentwicklung bis hin zur Qualifizierung einer exemplarisch ausgewählten Verbindungstechnologie bereitstellen.

Ausgangspunkt dieser Arbeit ist eine Situationsanalyse räumlich spritzgegossener Schaltungsträger im Hinblick auf aktuelle Produktentwicklungen und Trends im Bereich der Herstellungsverfahren. Dabei wurde eine Positionierung der MID-Technik im Bezug auf mechatronische Baugruppen erarbeitet. Anhand der geschichtlich begründeten und daher unterschiedlichen Entwicklung der einzelnen Verfahren zur Herstellung von MIDs wurden neue Ansätze und optimierte Varianten der derzeit relevanten MID-Herstellungsverfahren aufgezeigt. Die breite Diversifizierung von MID-Applikationen in unterschiedlichste Anwendungsbereiche verdeutlicht die Potentiale für innovative Produkte.

Basierend auf einer lebenszyklenbezogenen Bewertung der MID-Technologie wurde die Marktdurchdringung der MID-Technik näher charakterisiert. Darauf aufbauend konnten Strategien und Vorgehensweisen abgeleitet werden, die interessierten Unternehmen als Hilfestellung zur Einführung der MID-Technologie dienen sollen. In diesem Zusammenhang wurden Fragestellungen erörtert, die sowohl die eigene Positionierung am Markt sowie die Möglichkeiten zur Wissensgenerierung behandelten. Mithilfe geeigneter F&E-Strukturen wurde eine risikominimierte Vorgehensweise aufgezeigt.

Ein zentrales Problem der MID-Technologie stellt die produktionsgerechte Produktgestaltung dar. Am Beispiel ausgewählter MID-Anwendungen konnten produkt- und produktionsbezogene Kriterien abgeleitet werden, die maßgeblich die erfolgreiche Umsetzung einer MID-Konstruktion in eine Serienanwendung beeinflussen. Darüber hinaus wurden anwendungsübergreifende Merkmale aufgezeigt, die bei der MID-Entwicklung berücksichtigt werden müssen. Basierend auf diesen Ergebnissen konnten alternative Modelle zur optimierten Technologieeinführung erarbeitet werden. Diese sollen Konstrukteuren als Hilfsmittel zur strukturierten Qualifizierung der MID-Technologie dienen.

Um bereits in der frühen Konzeptionsphase einer Produktentwicklung die Belange einer produktionsgerechten Konstruktion berücksichtigen zu können, wurde ein Konzept für ein wissensbasiertes MID-Expertensystem bereitgestellt. Hierzu war es erforderlich, ein allgemein gültiges Beschreibungsmodell zu definieren. Dieses umfasst eine ganzheitliche Funktionsbeschreibung von MID-Anwendungen unter Berücksichtigung der geometrischen, mechanischen und elektronischen Anforderungen. Zur Unterstützung bei der Auswahl eines geeigneten Herstellungsverfahrens wurde dieses in das bereits bestehende Datenbanksystem MIDIS integriert. Eine dynamische Konzeption der Datenstruktur erlaubt eine einfache Erweiterung mit neuen und für die Verfahrensauswahl relevanten Attributen.

Anhand einer detailliert durchgeführten Untersuchung einer ausgewählten Verbindungstechnologie für MID wurden exemplarisch MID-spezifische Problemfelder und Lösungswege aufgezeigt. Gerade die Schnittstelle zu konventionellen Systemen stellt ein wesentliches Hemmnis für den Einsatz der MID-Technik dar. Im Rahmen der experimentellen Untersuchungen wurden die Einsatzpotentiale federnder leitender Verbindungstechnologien umfassend untersucht. Die durchgeführten Tests und Zuverlässigkeitsprüfungen belegen, dass der Einsatz metallisierter Federelemente - bei einer geschickten geometrischen Gestaltung - zur Umsetzung einer mechanischen Klemmfunktion und für die Übertragung elektronischer Signale möglich ist.

Abschließend wurde die zukünftig mögliche Marktdurchdringung der MID-Technologie diskutiert. Anhand der bekannten Technologietreiber der Elektronikindustrie wurden Wachstumschancen aufgezeigt, die zur weiteren Verbreitung in unterschiedlichsten Branchen beitragen.

9 Literaturverzeichnis

[1] Ashauer, H, et al.
Realisation of a Microdosage System in MID-Technology. In: Proceedings MID 2000 - Molded Interconnect Devices, Erlangen, 2000

[2] Baba, F. / Abe, C. / Yamanda, A.
A New Method for Measuring the Adhesive Strength of Planted Layer on Plastics. In: Proceedings MID 2000 - Molded Interconnect Devices, Erlangen, 2000

[3] Bach, F.
Realisierung einer lötfreien Schalterkontaktierung und eines Steckverbinders in MID. In: Seminarunterlagen Innovative Produktgestaltung mit MID, Erlangen, 2001

[4] Bargel, H.-J.
Werkstoffkunde, Düsseldorf, 1988

[5] Battermann, A.
UV-härtbare Leitklebestoffe für 3D-MID Applikationen. In: Seminarunterlagen 3D-MID Molded Interconnect Devices, VDI Bildungswerk (Hrsg.), Düsseldorf, 2000

[6] Beil, S. / Horn, H. / Pochner, K.
Selective Metallisation by UV Treatment of Plastics. In: Proceedings MID '98 - Molded Interconnect Devices, Erlangen, 1998

[7] Beitinger, G.
Herstellungs- und Prüfverfahren für thermoplastische Schaltungsträger, Dissertation, Bamberg, 1999

[8] Beitz, W. / Küttner, K.-H. (Hrsg.)
Dubbel -Taschenbuch für den Maschinenbau, Berlin Heidelberg New York, 1990

[9] Boone, L./ Van Puymbroeck, J.
Die Herstellung von Fine Pitch Chip Packages in MID-Technologie. In: PLUS 10, S. 1462-1469, Saulgau, 1999

[10] Bourdon, R.
Miniaturisierung bei Werkzeugbau und Spritzguss. In: Seminarunterlagen 3D MID Forum der VOGT electronic FUBA GmbH, Wernigerode, 2001

[11] Brand, A.
Prozesse und Systeme zur Bestückung räumlicher elektronischer Baugruppen (3-D MID). Bamberg, 1997

[12] Brand, A. / Krimi, S.
Planung der Elektronikproduktion unter den Rahmenbedingungen Technologiewandel, Modularisierung und steigenden Stückzahlen. In: Seminarunterlagen Mit gesicherter Planung zur erfolgreichen Elektronikproduktion, Erlangen, 2001

[13] Burmeister, M. / Marheine, C.
MicroMID™ Neue Technologien zur Herstellung von Leiterplatten für elektro-optische Bauteile. In: PLUS 8 S. 1298 f, Saulgau, 2001

[14] Cutler, A.
MIDs - Wachablösung für Leiterplatten? In: F&M 11, S. 832-834, München1998

[15] Cutler, A.
Revolution in 3D/Layout-Werkzeuge für die dritte Dimension. In: Elektronik Journal 5, S. 40-42, Landsberg, 1999

[16] Czabanski, J.
Quo vadis MID? In: Automobil Industrie 3, S. 72-74, Würzburg, 2000

[17] Datenbanksystem MIDIS, Forschungsvereinigung Räumliche Elektronische Baugruppen 3-D MID e.V., Erlangen 2001

[18] Davidson B. / Cashmore, S. / Ichige, T.
Taking a System Approach to MID Design. In: Proceedings MID '98 - Molded Interconnect Devices, Erlangen, 1998

[19] Diebold, K.
Die Nische wird breiter. In: Plastverarbeiter 1, S. 28-31, Heidelberg, 1999

[20] Diebold, K.
MID integrieren elektrische und mechanische Teile in einer Schaltung. In: Industrieanzeiger 30/31, S. 32-35, Leinfelden-Echterdingen, 1998

[21] Diebold, K.
Multiple Innovation dreidimensional. In: Plastverarbeiter 2, S. 86-88, Heidelberg, 1999

[22] Diebold, K.
Wohin mit dem MID-Schrott? In: Plastverarbeiter 3, S. 32-37, Heidelberg, 1999

[23] Diehm, R.
Einsatzmöglichkeiten und Grenzen etablierter und neuer Lötverfahren. In: Seminarunterlagen 3D-MID Molded Interconnect Devices, VDI Bildungswerk (Hrsg.), Stuttgart, 2001

[24] Dörfler, R. / Ehrenstein, G. W. / Vercucque, I.
Selektive Plateable Plastic Combinations. In: Proceedings MID 2000 - Molded Interconnect Devices, Erlangen, 2000

[25] Dörfler, R. / Ehrenstein, G. W.
Zweikomponentenspritzgießen von MIDs. In: Seminarunterlagen 3D-MID Molded Interconnect Devices, VDI Bildungswerk (Hrsg.), Stuttgart, 2001

[26] Dörfler, R.
Mehrkomponentenspritzgießen. In: Seminarunterlagen 3D-MID Molded Interconnect Devices, VDI Bildungswerk (Hrsg.), Düsseldorf, 2000

[27] Drummer, D. / Ehrenstein, G. W.
Magnetizable Polymers: Integrate Sensoric Rationally in 3D-MIDs. In: Proceedings MID 2000 - Molded Interconnect Devices, Erlangen, 2000

[28] Drummer, D.
Funktionsgefüllte Kunststoffcompounds. In: Seminarunterlagen 3D-MID Molded Interconnect Devices, VDI Bildungswerk (Hrsg.), Stuttgart, 2001

[29] Eberhardt, W. / e. a..
Innovative Sensor and Actuator Devices Using MID Technology. In: Proceedings MID 2000 - Molded Interconnect Devices, Erlangen, 2000

[30] Ehrenstein, G.W. / Stampfer, S.
Einführung in die MID-Technologie. In: Seminarunterlagen 3D-MID Molded Interconnect Devices, VDI Bildungswerk (Hrsg.), Stuttgart, 2001

[31] Eisenbarth, M. / Feldmann, K. / Wölflick, P.
Production Systems for Manufacturing Modules based on new Materials with Integrated Electronic Functions -Challenges and Solutions Concepts-, 1st International Seminar on Progress in Innovative Engineering, CIRP (Hrsg.), S. 295-300, Genoa, 2001

[32] Eller, R.
Ganzheitliche Materialkonzepte und Systemlösungen für Mechatronic Anwendungen. In: Seminarunterlagen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur MID-Technik, Frankfurt, 2001

[33] Ernst, C.
MicroMID™ - Ein innovatives Montagekonzept in der Leiterplattentechnologie. In: Seminarunterlagen Innovative Produktgestaltung mit MID, Erlangen, 2001

[34] Eßer, G. / Schultheiss, H.
Product Development of an Oil-Level-Sensor: Advantages of Laser Structuring. In: Proceedings MID 2000 - Molded Interconnect Devices, Erlangen, 2000

[35] Eßer, G. / Müller, J.
Lasergestützte additive Leiterbilderzeugung. In: Geiger, M.; Fleckenstein, M. (Hrsg.): Laser in der Elektronikproduktion & Feinwerktechnik - Tagungsband LEF 2001, S. 117-131, Bamberg, 2001

[36] Eßer, G. / Jahrsdörfer, B. / Urmoneit, U.
Laser assisted fabrication of electronic circuits using the ADDIMID process. In: Gower, M.C.; Helvajian, H.; Sugioka, K.; Dubowski, J.J.: Proceedings of the LASE 2001 conference on Laser Applications in Microelectronic and Optoelectronic Manufacturing, Bd. 4274, S. 375-384, Spie, 2001

[37] Feldmann, K. / Brand, A. / Franke, J.
Räumlich spritzgegossene Schaltungsträger helfen Kosten sparen. PRONIC, Würzburg, 1993

[38] Feldmann, K.
Introductrion: MID- Entering Markets by Products and Technologies. In: Proceedings MID 1998 - Molded Interconnect Devices, Erlangen, 1998

[39] Feldmann, K.
Märkte durch Produkte und Technologie erschließen. In: Seminarunterlagen Innovative Produktgestaltung mit MID, Erlangen, 1999

[40] Feldmann, K.
Advance of MID by Innovative Products and Produktion Technologies. In: Proceedings MID 2000 - Molded Interconnect Devices, Erlangen, 2000

[41] Feldmann, K. / Beitinger, G. / Noßke, R.
Einpreßtechnik als lotfreie Verbindung für 3D-MID. In: F&M 11, S. 46-49, München, 1999

[42] Feldmann, K. / Meier, R.
Federn, Schnappen, Klemmen – Alternative Kontaktierung für räumlich spritzgegossene Schaltungsträger 3D-MID. In: PLUS 11, S. 1957-1962, Saulgau, 2001

[43] Feldmann, K.
Märkte durch innovative Produkte und effiziente Technologie erschließen. In: Seminarunterlagen Innovative Produktgestaltung mit MID, Erlangen, 2001

[44] Feuerstein, R.
Qualitäts- und kosteneffiziente Integration neuer Bauelementtechnologien in der Flachbaugruppenfertigung. Bamberg, 2001

[45] Franke, J.
Integrierte Entwicklung neuer Produkt- und Produktionstechnologien für räumliche spritzgegossene Schaltungsträger (3-D MID). Dissertation, München, Wien 1995

[46] Freye, J.
Serienproduktion von MID: Innovative Produktkonzepte und alternative Verfahren. In: Seminarunterlagen Innovative Produktgestaltung mit MID, Erlangen, 2001

[47] Gassmann, O.
Internationales Innovationsmanagement: Gestaltung von Innovationsprozessen im globalen Wettbewerb. München, 1996

[48] Gelfahrt, R.
Projektierung von MID – Erfahrungsbericht zur Telekommunikationssteckdose. In: Seminarunterlagen Innovative Produktgestaltung mit MID, Erlangen, 1998

[49] Gehring, J.
Bestrahlungstechnik für die Industrie. In: Firmeninformation der Firma BGS: SMD- und 3D-MID-Technologie, Wiehl, 2001

[50] Geoca, E. P.
Cost Reducion by MID Antennas for Hand Held Personal and Mobile RF Wireless Devises. In: Proceedings MID 2000 - Molded Interconnect Devices, Erlangen, 2000

[51] Gerhard, M.
Qualitätssteigerung in der Elektronikproduktion durch Optimierung der Prozessführung beim Löten komplexer Baugruppen. Bamberg, 1998

[52] Gerpott, T.J.:
Strategisches Technologie- und Innovationsmanagement. Stuttgart, 1999

[53] Glimmerveen, A. D.
Diskussion ausgewählter MID-Entwicklungen. In: Seminarunterlagen 3D-MID Molded Interconnect Devices, VDI Bildungswerk (Hrsg.), Stuttgart, 2001

[54] Goldbacher, A.
Dreidimensionale, spritzgegossene Schaltungsträger – In Serie gefertigte Produkte belegen die Praxistauglichkeit. In: Elektronik 4, S. 80-85, Würzburg, 2001

[55] Hack, L.
Technologietransfer und Wissenstransformation – Zur Globalisierung der Forschungsorganisation von Siemens. Münster, 1998

[56] Hackert, J. / Jaeger, A.
Einfach, schnell und sicher zum MID. In: Plastverarbeiter 10, S. 70-76, Heidelberg, 1999

[57] Hackert, J.
Aktuelle Entwicklungen in der Heißprägetechnik. In: Seminarunterlagen 3D-MID Molded Interconnect Devices, VDI Bildungswerk (Hrsg.), Stuttgart, 2001

[58] Hackert, J.
New Applications Using Hot Emossing Technology. In: Proceedings MID 2000 - Molded Interconnect Devices, Erlangen, 2000

[59] Hartmann, U.
Fähigkeiten von MID-Herstellungsverfahren. Kurzpräsentation im Rahmen des 3. Internationalen Kongresses MID `98, Erlangen, 1998

[60] Hausschildt, J.
Innovationsmanagement. München, 1997

[61] Heininger, N.
Selektive Metallisierung von thermoplastischen Spritzgießteilen durch Laser-Aktivierung. In: Tagungsunterlagen zum Workshop „Innovation mit MID", Stuttgart, 2001

[62] Heinrichs, W.
Die dritte Dimension/Design-Software für MID-Baugruppen und Leiterplatten. In: ElektronikPraxis 2,S. 34-36, Würzburg, 2000

[63] Hellmich, M.
Serienproduktion von MID: Innovative Produktkonzepte und alternative Verfahren. In: Seminarunterlagen Innovative Produktgestaltung mit MID, Erlangen, 2001

[64] Hellmich, M.
"Sensorholder" – from the idea to the product. In: Proceedings Applications & Trends in Moulded Interconnect Devices (MID) Technology, Singapur, 2001

[65] Heyer, M.
Approach for an Automotive Mechatronic MID solution. In: Proceedings MID 2000 - Molded Interconnect Devices, Erlangen, 2000

[66] Hunter, P
The Adhesion Promotion and Metallization Process – The Critical Step in MID Manufacturing. In: Proceedings MID '94 - Molded Interconnect Devices, Erlangen, 1994

[67] Impey, J.
MID activities at Moulded Circuits. In: Tagungsunterlagen MIDIA Annual Meeting, Palm Springs, 2001

[68] Jaeger, A.
Spritzgießen von 3D-MID. In: Kunststoffberater Band 1-2, S. 32-35, Isernhagen, 2000

[69] Jendritzka, D. J. / Patzelt, L. / Platzköster, A.
Mechanik und Elektronik koppeln. In: EPP 10, S. 40 , Leinfelden-Echterdingen, 2001

[70] Jendritzka, D. J. / Patzelt, L. / Platzköster, A.
Software steuert mechatronische Subsysteme exakt und sicher. In: Electronic Embedded Systeme 09/01, S. 52-55, Grasbrunn, 2001

[71] John, W.
Primertechnologie – ein neuer Weg zum selektiven Metallisieren. In: Seminarunterlagen Innovative Produktgestaltung mit MID, Erlangen, 1999

[72] Kannengießer, U. / Stober, S. / Schildmann, M. P.
Strahlenvernetzbare Vestodur Formmassen (PBT) für die SMD- und 3D-MID-Technik. In: Sonderdruck Degussa-Hüls, Beta-Gamma-Servics, Enthone, Marl, 2000

[73] Kanno, T.
Sankyo Kasei's Molded Products. In: Tagungsunterlagen MIDIA Meeting, Palm Springs, 2001

[74] Kern, W. / Schröder, H.-H.
Forschung und Entwicklung in der Unternehmung. Reinbeck, 1977

[75] Kickelhain, J.
Laserunterstützte additive Metallisierung von Thermoplastmaterialien für 3D-MIDs. In: Seminarunterlagen 3D-MID Molded Interconnect Devices, VDI Bildungswerk (Hrsg.), Stuttgart, 2001

[76] Kickelhain, J.
Laserunterstützte Strukturierung von Feinstleiter in der Mikroelektronik. Berlin, 2000

[77] Kleinert, R. / e. a.
Survey for the BMBF Joint Research Projekt "New Material and production technologies for integration of mechanical and electrical functions in three-dimensional injection molded parts". In: Proceedings MID 1998 - Molded Interconnect Devices, Erlangen, 1998

[78] Kömpf, M.
MID - Eine Technik geht in Serie/Märkte, Chancen und Entwicklungen. In: KU 11, S. 26-30, München, 2000

[79] Koleva, V. / Kanzler, J. / Münstedt, H. / Klobe, W.
Vorbehandlung mit Plasma verbessert die Haftung. In: mo 2, S. 18-22, München, 2000

[80] Krause, J.
Kraftpaket - Tools und Technologie für Chip- und Leiterplattenhersteller. In: ElektronikPraxis (Sonderdruck 21), Würzburg, 1998

[81] Krautheim, Th.; Pöhlau, F. Stampfer, S.; Lorenz, W.:
Handbuch für Anwender und Hersteller: Herstellungsverfahren, Gebrauchsanforderungen und Materialkennwerte Räumlicher elektronischer Baugruppen 3-D MID, Forschungsvereinigung 3-D MID e.V. (Hrsg.), Erlangen, 1999

[82] Kriebitzsch, I.
Die Realisierung einer Vision – 3D-MID im Automobil. In: Seminarunterlagen Innovative Produktgestaltung mit MID, Erlangen, 1999

[83] Kriebitzsch, I.
Materialien der 3D-MID Technologie im Anwendungsfall Automobil. In: Seminarunterlagen 3D-MID Molded Interconnect Devices", VDI Bildungswerk (Hrsg.), Stuttgart, 2001

[84] Kriebitzsch, I.
3-D MID Technologie in der Automobilindustrie. Dissertation, Bamberg, 2002

[85] Krimi, S.
Neue Bestückungssysteme für räumliche Schaltungsträger. In: Seminarunterlagen Innovative Produktgestaltung mit MID, Erlangen, 1999

[86] Kück, H.
MID-Technik – Technischer Fortschritt oder nur Faszination? In: Tagungsunterlagen zum Workshop „Innovation mit MID", Stuttgart, 2001

[87] Langhoff, W./ Czabanski, J.
Schneller durch 3-D-Software-Unterstützung und Inhouse-Prototyping. In: Interaktiv 3, S. 27, Stuttgart, 2000

[88] Leipe, E.
Design to market: Grundlagen erfolgreicher Produkteinführungen. In: Seminarunterlagen Innovative Produktgestaltung mit MID, Erlangen, 2001

[89] Leonhard, W. / Maaßen, E.
Selective Plating of LCP. In: Proceedings MID 2000 - Molded Interconnect Devices, Erlangen, 2000

[90] Leonhard, W. / Maaßen, E.
LCP selektiv metallisieren. In: mo Heft 3, S. 20-22, München, 1999

[91] Luchs, R.
Einsatzmöglichkeiten leitender Klebstoffe zur zuverlässigen Kontaktierung elektronischer Bauelemente in der SMT. Bamberg, 1998

[92] Maaßen, E.
Beschichtung von Kunststoffen für die MID-Technik. In: Seminarunterlagen 3D-MID Molded Interconnect Devices, VDI Bildungswerk (Hrsg.), Stuttgart, 2001

[93] Maaßen, E.
Hürdenlauf / Die Einführung der MID-Technik im Automobilbereich. In: F&M 8, S. 56-58, München, 1999

[94] Maaßen, E.
MIDs im Automobil – Herausforderung bei der Einführung einer neuen MID-Technologie. In: Seminarunterlagen Innovative Produktgestaltung mit MID, Erlangen, 1999

[95] Maaßen, E. / Gleixner J.
Connector-PCB for Anti-Blocking-Systems. In: Proceedings MID `98 - Molded Interconnect Devices, Erlangen, 1998

[96] Maurer, K. / Osenbach, J. / Nadenau, M.
Application of UFE Molded Circuit Technolgy in a Fiber Optic Transceiver. In: Proceedings MID 2000 - Molded Interconnect Devices, Erlangen, 2000

[97] Maus, H.
MID-Anwendung mittels Heißprägetechnik – von der theoretischen Überlegung zur praktischen Anwendung. In: Tagungsunterlagen zum Workshop „Innovation mit MID", Stuttgart, 2001

[98] Meerkamm, H.
Methodisches und Rechnergestütztes Konstruieren. Bildband zur Vorlesung Wintersemester 1999 / 2000, Erlangen, 1999

[99] Meier, R.
3-D MID: Der Weg zur hochintegrierten Mechatronik-Baugruppe. In: PLUS 7, S. 1129-1132, Saulgau, 2000

[100] Meier, R.
Entscheidungsgrundlagen und Gebrauchsanforderungen zum Einsatz von 3D-MID. In: Seminarunterlagen 3D-MID Molded Interconnect Devices, VDI Bildungswerk (Hrsg.), Düsseldorf, 2000

[101] Meier, R.
Advance of MID by Joint Research Projects – Perspectives for MID in Europe. In: Proceedings Applications & Trends in Moulded Interconnect Devices (MID) Technology, Singapur, 2001

[102] Meier, R.
Beispielhafte Projekte industrieller Gemeinschaftsforschung im Bereich MID – Marktstudie „Trends in MID". In: Seminarunterlagen Innovative Produktgestaltung mit MID, Erlangen, 2001

[103] Meier, R.
Entwicklungsstrategien und zukünftige Einsatzpotentiale für MID. In: Seminarunterlagen Innovative Produktgestaltung mit MID, Erlangen, 2001

[104] Meier, R.
Federnde, leitende Verbindungstechnik für MID. In: Seminarunterlagen Forschungs- und Entwicklungsarbeiten zur MID-Technik, Frankfurt, 2001

[105] Mettler, M.
Tyco Electronics: Communications Business Unit. In: Tagungsunterlagen MIDIA Meeting, Palm Springs, 2001

[106] Milling, P. / Maier, F.
Invention, Innovation und Diffusion. Berlin 1996

[107] Murphy, Katherine
MID Applications. In: Seminarunterlagen 3D MID Forum der VOGT electronic FUBA GmbH, Wernigerode, 20./21.9.2001

[108] N.N.
Two-Shot-Moulding/The double dimension. In: ElektronikPraxis 11, S. 52f, Würzburg, 1999

[109] N.N.
MIDTeilungen Nr. 9 – Sonderausgabe zur Productronica 1999, Forschungsvereinigung 3-D MID e.V. (Hrsg.), Erlangen 1999

[110] N.N.
MIDTeilungen Nr. 11 – Sonderausgabe zur Productronica 2001, Forschungsvereinigung 3-D MID e.V. (Hrsg.), Erlangen 2001

[111] N.N.
Mobilfunk bleibt Wachstumsmotor der Telekommunikationsbranche. In: FOCUS Marktanalysen: http://medialine.focus.de, 2001

[112] Nadeau, M. / e. a..
3-D MID Application in a Fiber Optic Transceiver. In: Proceedings MID 2000 - Molded Interconnect Devices, Erlangen, 2000

[113] Naundorf, G. / Wißbrock, H.
A Fundamentally New Mechanism for Additive Metallization of Polymeric Substrates in Ultra Fine Technology Illustrated for 3D-MIDs. In: Proceedings MID 2000 - Molded Interconnect Devices, Erlangen, 2000

[114] Naundorf, G. / Wißbrock, H.
Neuartige Wirkprinzipien und Werkstoffe zur lasergestützten elektronischer Schaltungsträger. In: PLUS 3 (Sonderdruck), Bad Saulgau, 2000

[115] Pöhlau, F.
Decision-Fundamentals for the Introduction of MID-Technology. In: Proceedings MID '98 - Molded Interconnect Devices, Erlangen, 1998

[116] Pöhlau, F.
Mass Production of Hot Embossed MIDs: Challenges and Perspectives. In: Proceedings MID 2000 - Molded Interconnect Devices, Erlangen, 2000

[117] Pöhlau, F.
Entscheidungsgrundlagen zur Einführung räumlicher spritzgegossener Schaltungsträger (3D-MID). Bamberg, 1998

[118] Pojtinger, A. / Remer, U.
Substitution einer konventionellen Kleinmotoren-Appli-kation mit MID. In: Seminarunterlagen 3D-MID Molded Interconnect Devices", VDI Bildungswerk (Hrsg.), Stuttgart, 2001

[119] Pollack, R.
SMD-Assembly of MID-Circuits. In: Proceedings MID 2000 - Molded Interconnect Devices, Erlangen, 2000

[120] Pongratz, S.
Thermische Einsatzgrenzen von Kunststoffen in MID-Anwendungen. In: Seminarunterlagen 3D-MID Molded Interconnect Devices, VDI Bildungswerk (Hrsg.), Düsseldorf, 2000

[121] Pongratz, S. / Ehrenstein, G. W.
Lötbeständigkeit von Kunststoffen. In: Kunststoffe 88, München, 1998

[122] Pongratz, S. / Ehrenstein, G. W.
Kurzzeitverhalten bestimmt Lötbeständigkeit von Kunststoffen bei 3D-MID-Anwendungen. In: Maschinenmarkt 12, Würzburg, 2000

[123] Pongratz, S. / Ehrenstein, G. W.
Long-Time Behavior of Soldered Plastics. In: Proceedings ANTEC: Plastics - Bridging the Millenia, New York, 1999

[124] Reichenberger, M.
Eigenschaften und Einsatzmöglichkeiten alternativer Elektroniklote in der Oberflächenmontage (SMT). Dissertation, Bamberg, 2001

[125] Reichenberger, M. / Eisenbarth, M. / Meier, R.
Alternative Interconnection Technologies for MID. In: Proceedings MID 2000 - Molded Interconnect Devices, Erlangen, 2000

[126] Reise, W.
FUBA will MID-Geschäft ausbauen. In: PLUS 11, S. 1849-1853, Saulgau, 2001

[127] Remer, U.
Substitution einer konventioonellen Kleinmotoren-Applikation mit MID. In: Seminarunterlagen Innovative Produktgestaltung mit MID, Erlangen, 2000

[128] Römer, M. / e.a.
Dreidimensionale Schaltungsträger sind durch Spritzgießen herstellbar. In: Maschinenmarkt 105, S. 28-31, Würzburg, 1999

[129] Rüter, K. / Flieser, M. / Folz, J.
Manufacturing of Working 3D-MID Prototypes Using Rapid Prototyping Techniques Demonstrated on an Automatic Transmission Gear Display. In: Proceedings MID 2000 - Molded Interconnect Devices, Erlangen, 2000

[130] Rüter, K.
Herstellung eines 3-D MID Funktionsmusters unter Anwendung von Rapid Prototyping. In: Seminarunterlagen Innovative Produktgestaltung mit MID, Erlangen, 2001

[131] Saad, K.N. / Roussel, P.A. / Tiby, C.
Management der F&E-Strategie. Wiesbaden 1991

[132] Scheel, W.
Baugruppentechnologie in der Elektronik-Montage. Berlin 1997

[133] Scholz, U.
Drahtbonden auf MID. In: Tagungsunterlagen zum Workshop „Innovation mit MID“, HSG-IFZ, 27.9.2001, Stuttgart, 2001

[134] Schütz, U.
Räumliche spritzgegossene Schaltungsträger/Neues Verfahren kombiniert 3-D MID-Technologie mit IMD-Technik. In: KU 4, S. 118-119, München, 2000

[135] Schütz, U.
Kombination der 3-D MID-Technologie mit der IMD-Technik – Neues Verfahren der Bayer AG. In: MIDTeilungen Nr. 12, Forschungsvereinigung 3-D MID e.V. (Hrsg.), Erlangen 2000

[136] Schulz, W.
3D-Schaltungsträger erobern sich Nischen in der Elektronikindustrie. In: Industrieanzeiger 40, S. 36-39, Leinfelden-Echterdingen, 2000

[137] Seehawer, J.
Feinstlaserstrukturierung und PSGA. In: Seminarunterlagen 3D MID Forum der VOGT electronic FUBA GmbH, Wernigerode, 2001

[138] Servatius, H.-G.
Methodik des strategischen Technologiemanagements. Berlin 1985

[139] Stampfer, S.
Heißprägen von spritzgegossenen Schaltungsträgern (MID). In: Seminarunterlagen 3D-MID Molded Interconnect Devices, VDI Bildungswerk (Hrsg.), Stuttgart, 2001

[140] Thoma, P.
Integration of Electronics and Mechanics – Increasing Potentials of MID for Vehicle Construction. In: Proceedings MID '98 - Molded Interconnect Devices, Erlangen, 1998

[141] van Veggel, T.
Galvanische Schichten für Shielding und Moulded Interconnecting Devices (MID). In: PLUS 8, S. 1178-1182, Bad Saulgau, 1999

[142] VDE-Mikroelektronik-Studie 2000
GMM VDE/VDI-Gesellschaft für Mikroelektronik, Mikro- und Feinwerktechnik, Frankfurt, 2000

[143] Verrioli, A.
Cost Effective Solutions of Reflow Solderable Surface Mount Applications Using Selective Metalization. In: Proceedings MID 2000 - Molded Interconnect Devices, Erlangen, 2000

[144] Wegener, C.
Polymer Stud Grid Array (PSGA) – A new 3D-Package Technology for BGA- and CSP-Applications. In: Proceedings MID 2000 - Molded Interconnect Devices, Erlangen, 2000

[145] Wahode, J.
Form the Idea to Series Part - a Two Component MID with a Wight Lower Than 0,1g. In: Proceedings MID 2000 - Molded Interconnect Devices, Erlangen, 2000

[146] Weiß, C. / Münstedt, H.
Metallization of High Temperature Resistant Thermoplastic Polymers for Electronic Applications. In: Proceedings MID 2000 - Molded Interconnect Devices, Erlangen, 2000

[147] Wucherer, K.
Intensified Integration of Mechanics, Electronics and Software - New Changes for MID. In: Proceedings MID 2000 - Molded Interconnect Devices, Erlangen, 2000

[148] Yamanaka, H. / Matsushima, S. / Suzuki, T.
MID Technologie to Miniaturize Electro-Optical Devices. In: Proceedings MID 2000 - Molded Interconnect Devices, Erlangen, 2000

[149] Yumoto, T.
New Two-Shot Process. In: Proceedings MID ´98 - Molded Interconnect Devices, Erlangen, 1998

[150] Zippmann, V.
Grenzen und Möglichkeiten von spritzgegossenen Zweikomponenten-MIDs – Fallbeispiele zur Entwicklung der Zweikomponenten-MID-Technologie. In: Seminarunterlagen 3D-MID Molded Interconnect Devices, VDI Bildungswerk (Hrsg.), Düsseldorf, 2000

[151] Zippmann, V.
Using Two-Shot Moulding for Manufacturing of Micro-MIDs. In: Proceedings MID 2000 - Molded Interconnect Devices, Erlangen, 2000

[152] Zito, D.
Two Shot Plated Plastic Investigation on Connector Technology. In: Proceedings MID 2000 - Molded Interconnect Devices, Erlangen, 2000

Summary

The enormous rationalization potential of the available manufacturing processes as well as the freedom of design in the conception of mechatronic products using MID technology are impressively proven by numerous, successfully produced MID applications. Unfortunately the MID technology is still subjected to several repressive factors influencing a rapidly increasing market penetration in various fields of the electronic industry. These hints can be eliminated by suitable strategies and approaches in an early stage of the product development.

This work is focused on the development of strategies for an product-oriented and function-related use of three-dimensional molded interconnect devices. Based on a general view on the MID market, representing a current situation analysis of the MID technology, considerations were made to evaluate the relevance of the MID technology for future business development in comparison to existing technologies.

One of the main challenges concerning the MID technology are represented by the production-compatible product design. On the basis of selected MID applications, product- and production-referred criteria have been identified, affecting considerably the successful realization of a MID application up to the start of series production. Beyond that, non-application-related characteristics were pointed out, which also must be considered in the MID development. Based on these results alternative strategies have been presented for increasing the success of development projects.

In order to choose the most suitable manufacturing process for a MID product, a concept was set up for a knowledge-based MID expert system. Therefore it was necessary to define a generally valid specification model. This covers a holistic description of functions, which can be integrated in MIDs, with consideration of the geometrical, mechanical and electronic requirements.

One of the proposed development strategies is the qualification of a single function. The whole process for one selected MID function is shown exemplarily by the qualification of spring loaded contacts in MID.

Finally the perspectives for the market penetration for MID in future were discussed. Based on typical technology drivers concerning the electronic industry the potential for a further market growth was shown, which may lead to a wide distribution of MID in various fields of industries.

Summary

The enormous rationalization potential of the available manufacturing processes as well as the freedom of design in the conception of mechatronic products using MID technology are impressively proven by numerous, successfully produced MID applications. Unfortunately the MID technology is still subjected to several repressive factors influencing a rapidly increasing market penetration in various fields of the electronic industry. These hints can be eliminated by suitable strategies and approaches in an early stage of the product development.

This work is focused on the development of strategies for an product-oriented and function-related use of three-dimensional molded interconnect devices. Based on a general view on the MID market, representing a current situation analysis of the MID technology, considerations were made to evaluate the relevance of the MID technology for future business development in comparison to existing technologies.

One of the main challenges concerning the MID technology are represented by the production-compatible product design. On the basis of selected MID applications, product- and production-referred criteria have been identified, affecting considerably the successful realization of a MID application up to the start of series production. Beyond that, non-application-related characteristics were pointed out, which also must be considered in the MID development. Based on these results alternative strategies have been presented for increasing the success of development projects.

In order to choose the most suitable manufacturing process for a MID product, a concept was set up for a knowledge-based MID expert system. Therefore it was necessary to define a generally valid specification model. This covers a holistic description of functions, which can be integrated in MIDs, with consideration of the geometrical, mechanical and electronic requirements.

One of the proposed development strategies is the qualification of a single function. The whole process for one selected MID function is shown exemplarily by the qualification of spring loaded contacts in MID.

Finally the perspectives for the market penetration for MID in future were discussed. Based on typical technology drivers concerning the electronic industry the potential for a further market growth was shown, which may lead to a wide distribution of MID in various fields of industries.

Lebenslauf

Roland Meier
geboren am 16. März 1971 in Erlangen
ledig

1977 - 1981	Grundschule Eschenau
1981 - 1990	Staatliches Gymnasium Lauf a. d. Pegnitz, Abitur
1990 - 1991	Grundwehrdienst, 4./TrspBtl. 270 in Nürnberg
1991 - 1997	Studium der Fertigungstechnik an der Friedrich Alexander Universität Erlangen - Nürnberg Abschluss: Dipl.-Ing. (Univ.)
seit 1997	wissenschaftlicher Mitarbeiter am Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik an der Universität Erlangen - Nürnberg Leiter: Prof. Dr.-Ing. K. Feldmann
seit 1998	Geschäftsführer der Forschungsvereinigung Räumliche Elektronische Baugruppen 3-D MID e.V.

ISSN 1431-6226
ISBN 3-87525-178-4