

Ingo Kriebitzsch

*3-D MID Technologie
in der Automobilelektronik*

Ingo Kriebitzsch

3-D MID Technologie in der Automobilelektronik

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:	20. Oktober 2000
Tag der Promotion:	19. März 2001
Dekan:	Prof. Dr.-Ing. H. Meerkam
Berichterstatter:	Prof. Dr.-Ing. K. Feldmann
	Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. G.-W. Ehrenstein

Die Deutsche Bibliothek - CIP-Einheitsaufnahme

Kriebitzsch, Ingo:

3-D-MID Technologie in der Automobilelektronik /
Ingo Kriebitzsch. - Bamberg : Meisenbach, 2002
(Fertigungstechnik - Erlangen ; 129)
ISBN 3-87525-169-5

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 Unterrichts-
gestaltung - 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

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Tätigkeit als Mitarbeiter bei der BMW AG in der Abteilung EG-5 in Zusammenarbeit mit dem Lehrstuhl Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Klaus Feldmann, dem Leiter dieses Lehrstuhls, danke ich für die wohlwollende Förderung, die zahlreichen Hinweise, die das Zustandekommen dieser Arbeit maßgeblich gefördert habe, sowie für den Freiraum bei der Bearbeitung des Aufgabenfeldes und dem mir damit entgegengebrachten Vertrauen.

Herrn Prof. Dr.-Ing. Dr. h.c. Gottfried W. Ehrenstein, dem Leiter des Lehrstuhls für Kunststofftechnik an der Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg möchte ich meinen Dank für seine Bereitschaft aussprechen, das Koreferat zu übernehmen. Bereits in früher Phase hat er durch seine engagierte Förderung zu Gelingen dieser Arbeit beigetragen.

Für die Möglichkeit diese Arbeit bei der BMW AG in einem innovativen Rahmen durchführen zu können gilt mein besonderer Dank Herrn Werner Theissig, der sich der 3-D MID Technologie in herausragender Weise angenommen hat. Nur durch sein persönliches Engagement konnte diese Arbeit in der vorliegenden Form realisiert werden.

Allen weiteren Mitarbeiter der BMW AG, die durch unbürokratische Hilfe und persönlichen Einsatz diese Arbeit gefördert haben an dieser Stelle mein großer Dank. In gleicher Weise möchte ich mich bei den Mitarbeitern des Lehrstuhls für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik, besonders aus der Gruppe der Elektronikproduktion, bedanken, die immer offene und konstruktive Ansprechpartner waren.

Ein besonderer Dank gilt meinen Eltern, die mich auf dem langen Weg der Ausbildung stets unterstützt und gefördert haben.

Ingo Kriebitzsch

3-D MID Technologie in der Automobilelektronik

Inhaltsverzeichnis

1	Einführung	1
2	Rahmenbedingungen für die Realisierung von räumlichen spritzgegossenen Schaltungsträgern	6
2.1	Grundlagen der Aufbautechnologie	6
2.1.1	Begriffsbestimmungen, geometrische Klassifizierung, Verfahren	6
2.1.2	Stand der konventionellen Leiterplattentechnologie	18
2.1.3	Analyse der Ansatzmöglichkeiten für 3-D MID Applikationen	20
2.2	Anforderungsspektrum für Applikationen in der Kfz Elektronik	24
2.2.1	Anforderungen an elektrische Baugruppen in der Kfz Elektrik/Elektronik	24
2.2.2	Technologiespezifische Betrachtung	31
2.3	Aufbau der Kfz-Elektronik	34
2.3.1	Derzeitige Aufbausituation	34
2.3.2	Strategische Ziele für die Zukunft	35
3	Ansatz zur Bewertung des Bauteilepotentials	36
3.1	Beschreibung der Bewertungseinflüsse und deren Gewichtung	36
3.2	Bewertungsschema	44
3.3	Bewertungsbeispiele	46
4	Realisierungsszenario	52
4.1	Die Innovation 3-D MID - von der Idee zum Produkt	52
4.2	Ansatz der strategischen Aufbereitung der Technologieeinf	53
4.3	Umfeldes der Realisierung innovativer Fertigungstechnologien	56
4.3.1	Ressourcen	56
4.3.2	Organisation	60
4.4	Umsetzungsstrategie MID	63

5	Anwendung der 3-D MID Technologie	65
5.1	Einsatzbereiche räumlicher Baugruppen	65
5.1.1	Lichttechnik	65
5.1.2	Steuerungen, Regelungen	67
5.1.3	Mechatronik	72
5.1.4	Innenraum-, Außenraumbauteile mit sekundären elektrischen Funktionen	76
5.2	Konstruktive Gestaltung	80
5.2.1	Bereich Steckverbindung	80
5.2.2	Bereich Durchkontaktierung	85
5.2.3	Bereich Leiterbahn	88
5.3	Rapid Prototyping von 3-D MID Bauteilen	94
5.3.1	RP von einkomponentengespritzten Bauteilen	95
5.3.2	RP von mehrkomponentengespritzten Bauteilen	97
6	Aspekte der Qualitätssicherung	98
6.1	Ansatz zur MID-spezifischen Erweiterung einer FMEA	98
6.2	Zusammenfassung von Erprobungsergebnissen	101
6.2.1	Materialien	101
6.2.2	Verfahren	102
7	Wirtschaftliche Analyse	105
7.1	Ansatzpunkte zur Analyse	105
7.2	Kostenanalyse realer Projekte	107
8	Zusammenfassung und Ausblick	116
	Literaturverzeichnis	117

1 Einführung

In der Entwicklungsgeschichte des Kraftfahrzeugs ist seit den Siebziger Jahren die Elektrik und die Elektronik ein prägender Technologiezweig. In der Anfangszeit der Elektronik im Automobil waren die Aufgaben einfach und als In-sellösungen ausgeführt. Die Systemgrenzen waren klar durch die Funktion definiert. So hatte das System Scheibenwischer, bestehend aus dem Wischermotor, dem Kabelbaum und dem Schalter keine Schnittstellen oder Berührungspunkte mit anderen Systemen des Fahrzeugs.

Die fortschreitende Verbreitung von Logikbausteinen, deren Massenfertigung und den damit einhergehenden attraktiven Kosten hat eine Entwicklung ermöglicht, die bis zum heutigen Tage noch andauert. Zunehmend wurden Leistungsschaltungen durch intelligente Einheiten ersetzt, die ein Mehr an Sicherheit, Komfort und Funktionalität gewährleisten. Vernetzung ist das zentrale Schlagwort für diese Entwicklung. Die Bestrebungen diese Vorteile zu nutzen haben dazu geführt, daß viele Komponenten und Systeme nun miteinander kommunizieren, also verbettet wurden, was zu einer Inflation in den Kabelbaumlängen führen mußte. Die Fehlersuche und Behebung wurde komplizierter und schwieriger. Somit wurden zusätzliche Werkzeuge eingeführt, die eine rasche und zielgerichtete Diagnose ermöglichen sollen. Unter Nutzung von Bussystemen wurden Kabelbaumlängen und Umfänge wieder reduziert. Parallel zu der rasanten Weiterentwicklung der Mikroprozessoren wurde auch die Elektronik im Fahrzeug weiterentwickelt.

Einhergehend stiegen die Anforderungen an die Elektronik, so zum Beispiel in Punkto Sicherheit. Statt einem Airbag und einem Sensor in 1985 sind nun 10 Airbags und mindestens 4 Sensoren in einem Fahrzeug verbaut. Der Anspruch an die Rechengeschwindigkeit, die die Auslösegeschwindigkeit von Rückhaltesystemen nachhaltig beeinflusst, hat sich in 20 Jahren nahezu verhundertfacht. Synchron zu den Entwicklungen auf dem technologischen Bereich ist das Automobil zunehmend ein Designgegenstand geworden. Da die Entwicklungen „unter dem Blech“ dem Großteil der Kunden nicht mehr transparent sind, ist die

Unterscheidung und die Plazierung im Markt mehr und mehr die Aufgabe des Designs geworden. Damit erwachsen neue Anforderungen an das Package. Das Mehr an Elektronik muß sich mit weniger Bauraum begnügen, was zum einen durch die Entwicklung immer weiter integrierter Schaltungen kompensiert wird, zum anderen aber neue Bauräume notwendig macht und nach neuen Technologien der Aufbautechnik verlangt.

Karosserieelektronik:

- Zentrale Karosserieelektronik
- Öffnungs- und Schließsysteme
- Wegfahrsperre
- Lichtmanagement
- Powermanagement
- Service- und Diagnose
- Personalisierung und Individualisierung

Klimaelektronik:

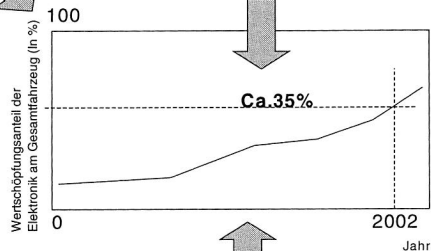
- Sonnenstandssensorik
- Luftgüteefassung
- Umluftautomatik
- Automatikfunktionen für Luftmenge, Luftverteilung, Temperatur
- Stand-, Zuheizungsfunktionen

Kommunikations-elektronik:

- Navigationssysteme
- Audio, Video, TV
- GPS Dienste
- Internet, email
- Telematik
- Sprachsteuerungen

Komfortelektronik:

- Einparkhilfen
- Fernbedienungen
- Automatische Funktionen
- Verstellantriebe



Sicherheitselektronik:

- Adaptive Airbagsysteme
- Sensorik (Beschleunigung, Druck, Gieraten)
- Zündkreise mehr als 16 Aktuatoren
- Automatischer Notruf
- Abschaltung der Kraftstoffpumpe,

Bild 1-1: Elektronik im Automobil heute. Der zunehmende Wertschöpfungsanteil der Elektronik am Gesamtfahrzeug wird durch unterschiedliche Themen- und Anwendungsbereiche der Elektrik / Elektronik getrieben.

Eine neue Technologie, die am Anfang der 90er Jahre näher beschrieben und beobachtet wurde bietet die Möglichkeit Schaltungslayouts nahezu beliebig räumlich zu formen: die 3-D MID Technologie (3-D Molded Interconnect Device). Unter dieser Technologie versteht man die Darstellung räumlicher Schaltungsträger auf Basis temperaturfester Thermoplaste. Damit können MID viel-

zählige mechanische und elektrische Funktionen integrieren, was eine Reduzierung der Bauteileanzahl mit sich bringt sowie funktionelle und rationelle Vorteile bietet. Als diese insbesondere die Verringerung der bauteilrelevanten Kosten betreffen /4/. Die Abkehr von epoxidharzhaltigen Leiterplattenrohstoffen bedeutet wesentliche Vorteile in der Umweltverträglichkeit des Bauteils durch eine verbesserte Rezyklierbarkeit und die Möglichkeit einheitliche Stoffsysteme einzusetzen. Durch die großen räumlichen Gestaltungsmöglichkeiten ist die Schaffung neuer Funktionen, beziehungsweise eine Verbesserung der Ergonomie und eine Reduzierung des Gewichts möglich /7/.

Die MID-Technologie wird in vielen Publikationen als prädestiniert für die Automobilelektronik dargestellt, jedoch ohne konkrete Anwendungsbereiche oder -bauteile anzugeben. Zunächst wird in dieser Arbeit ein zusammenfassender Überblick über die Verfahren, Begriffe, die konventionelle Leiterplattentechnologie gegeben, bevor auf die Einsatzbereiche der 3-D MID Technologie im Automobil eingegangen wird. Großen Einfluß auf die Anwendung haben die spezifischen Anforderungen, die an das Bauteil gestellt werden. Durch die Integration mechanischer Funktionen und elektrischer Aufgaben wird der Anforderungskatalog in seiner Komplexität teilweise nicht unerheblich erweitert. Die Auflösung der unterschiedlichen Normen, Lastenheftforderungen und Qualitätsvorschriften in einer MID-gerechten Richtlinie zur Gestaltung soll sämtliche Vorschriften und Anforderungen beachten und zu einer Konklusion führen. Vor diesem Gesichtspunkt wird dargelegt, wie das Anforderungsspektrum für eine Applikation in der Automobilelektronik aussieht, ergänzt durch eine Beleuchtung der derzeitigen Entwicklungstrends in der Architekturstrategie in der Kfz-Elektrik und Elektronik (Kapitel 2).

Da zu Beginn einer MID-Entwicklung die Frage nach der Sinnfälligkeit und der Realisierungschance steht, ist ein Bewertungsschema zur schnellen Analyse einer Ist-Situation auf sein MID-Potential hin entstanden. Durch Anregungen von Systemlieferanten und Entwicklungspartnern entstand eine praxisorientierte Bewertungsmatrix, die zuverlässige Einstufungen einer Konzeptidee zuläßt (Kapitel 3).

Das Einsatzszenario der Fertigungstechnologie MID ist Thema des darauffolgenden Kapitels. Die Rahmenbedingungen fuer die erfolgreiche Umsetzung einer Technologie sind enorm wichtig. Ein Abriss ueber die derzeitige Innovationslandschft und die daraus resultierenden Vorgehensweisen rundet die Darstellungen ab.

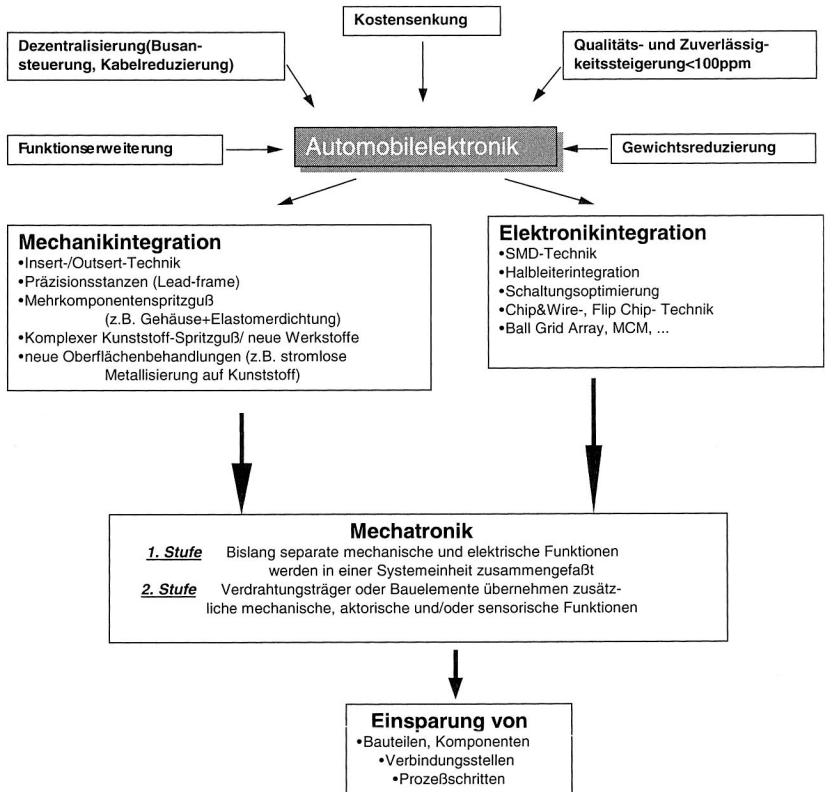


Bild 1-2: Mechatronik im Automobil- Anforderungen und Möglichkeiten /5/

Die Umsetzung eines MID-Projekts ist mit einer gesamtheitlichen Betrachtung der Prozeßkette der Herstellung zu begleiten. Dies beginnt bei der Auswahl des Herstellungsverfahrens, wobei auf die Differenzierungen im vorangegangenen

Kapitel aufgebaut wird. Im Zusammenhang müssen Materialien und die Folgeprozesse des Bestückens, Lötens und der Montage betrachtet werden. In Zusammenfassung erst kann eine Festlegung auf die Prozeßkette und ihre einzelnen Glieder erreicht werden.

Die Einsatzbereiche, die sich im Automobil darstellen, werden in Kapitel 5 in Ergänzung zu den einführenden Gedanken in Kapitel 2 nun anhand vertiefter Beispiele und Problemfelder dargestellt. Die Anwendung einer neuen Technologie für die Herstellung eines Schaltungsträgers eröffnet neue Möglichkeiten in der Gestaltung, die in konstruktiver Hinsicht Berücksichtigung finden müssen. Auf die Gestaltung von typischen Bereichen, wie Steckverbindung oder der Leiterbahnen selbst wird in Kapitel 5.2 näher eingegangen. In diesem Zusammenhang ist auch die Funktionsfähigkeit der Baugruppe MID zu überprüfen, sowohl was die elektrischen, als auch die mechanischen Themen angeht. Die Entwicklung von Rapid Prototyping-Verfahren für Einkomponenten- und Zweikomponentensysteme mit funktionsfähiger Metallisierung war ein Ziel dieser Arbeit (Kapitel 5.3).

Der Spritzgießprozeß als erster Prozeßschritt muß auf die Nachfolgeabläufe abgestimmt sein, wobei insbesondere die Hinweise für die Metallisierung und/oder Strukturierung zu beachten sind. Aufgrund der hohen Wertigkeit eines MID sind Präventivmaßnahmen zur Qualitätssicherung zu initiieren, die die Prozeßsicherheit auf hohem Niveau sicherstellen. Fehlerwahrscheinlichkeiten, die durch das MID ausgelöst sein können, müssen eliminiert werden. An die Montage (Bestückung, Lötung o.ä.) werden in diesem Zusammenhang neue Aufgaben gestellt, da die Montage eines MID generell keine triviale Aufgabe ist, die zumeist dem Bauteil individuell angepaßt werden muß (Kapitel 6).

Die Behandlung der Recyclingthematik, als Abschluß des Produktlebensdauerprozesses behandelt insbesondere großvolumige MID-Bauteile. Einer der wesentlichen Punkte, die in der Argumentation pro MID aufgeführt werden ist die Wirtschaftlichkeit. Anhand von Analysen konkreter Bauteile wird untersucht wodurch diese Kostenvorteile entstehen, und wie sie konsequent genutzt werden können (Kapitel 7).

2 Grundlagen für die Realisierung von räumlichen spritzgegossenen Schaltungsträgern

2.1 Grundlagen der Aufbautechnologie

2.1.1 Begriffsbestimmungen, geometrische Klassifizierung, Verfahren

Die Entwicklung der dreidimensionalen Schaltungsträger bringt es, aufgrund ihrer neuen Aufbaustruktur, mit sich neue Begriffe und Bestimmungen einzuführen. Zur Klassifizierung der dreidimensionalen Struktur des MID-Bauteils wurde eine Einteilung vorgenommen, die aus Bild 2-1 hervorgeht.


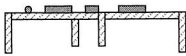


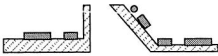
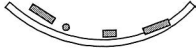

2D	Planare Prozeßfläche	
2 1/2 D	Planare Prozeßfläche, Dreidimensionale Gehäuseelemente auf der abgewandten Leiterplattenseite	
	Planare Prozeßfläche, Dreidimensionale Elemente auf der Bestückseite	
	Mehrere planparallele Prozeßflächen	
n x 2D	Mehrere plane Prozeßflächen in Winkellagen	
3 D	Regelflächen, z.B. Zylinderflächen	
	Freiformflächen	

Bild 2-1: Strukturierung der geometrischen Alternativen von MID /9/

Vor dem Beginn eines MID Projektes ist es notwendig die Möglichkeiten der Technologie einerseits, und der möglichen Umsetzungsverfahren andererseits zu untersuchen. Bild 2-2 gibt einen ersten groben Überblick über die Verfahren, die unter dem Begriff 3-D MID Technologie zu verstehen sind.

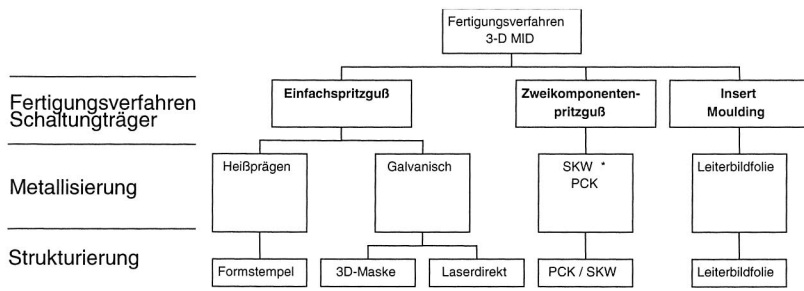


Bild 2-2: Verfahren der 3-D MID Technologie /11/

Unter diesen Verfahren ist das Zweikomponentenspritzgußverfahren, das Heißprägen und die Laserstrukturierung hervorzuheben. Diese drei Verfahren stellen einen „Baukasten“ zur Verfügung, der nahezu alle Einsatzbereiche der MID-Technologie abdeckt. In den weiteren Abhandlungen werden diese drei Verfahren eingehender betrachtet und untersucht. Selbstverständlich sind andere Techniken, wie Photoimaging oder In-mould für einige Einsatzgebiete sehr interessant, weshalb in einem gesonderten Kapitel auf diese Verfahren eingegangen werden soll.

Nur durch die geeignete Auswahl der Strukturierungstechnologie kann letztendlich ein sinnvolles MID-Produkt entstehen, welches die Vorteile der MID-Idee nutzt.

Der zentrale Vorteil der MID-Technologie ist die Möglichkeit, räumliche Strukturen der Leiterbahnen und der Peripherie darzustellen. Dadurch ergeben sich großen Integrationspotentiale, wie zum Beispiel in der Integration von Steckverbindungen, Haltern, Sockel, Montagehilfen für Bauelemente oder Reflektoren für Lampen. Die Zahl der integrierbaren Bestandteile ist unzählig und könn-

te beliebig fortgesetzt werden. In Kapitel 5.2 wird ausführlicher auf unterschiedliche Gestaltungs- und Integrationsmöglichkeiten eingegangen, wobei in diesem Zusammenhang die Herstellung des entsprechenden Details näher erläutert werden soll.

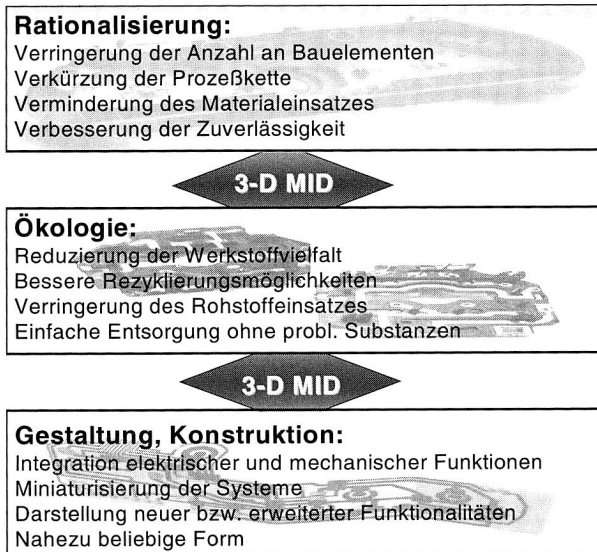


Bild 2-3: Vorteile des Einsatzes der 3-D MID Technologie

Die räumliche Gestaltungsfreiheit hat aber noch weitere Vorteile. So ist durch die Integration von Funktionen und Bauteilen eine Reduzierung der Montagearbeiten und der Logistik, wie Lagerhaltung, Kommissionierung oder Transport einhergehend. Weiterhin wird die Funktionssicherheit erhöht, da weniger Bauteile montiert werden müssen, die Toleranzkette wird somit kürzer, besser zu überblicken und zu kontrollieren. All diese Vorteile der 3-D MID Technologie setzen jedoch noch keine konsequente Nutzung allen Potentials voraus. Bereits durch geschickte Ersatzlösungen in MID können Vorteile erreicht werden /14/. Entscheidende Vorteile jedoch werden erzielt, wenn ein Bauteil in seiner Konzeption bereits auf die MID-Technologie ausgelegt wird. Dann können funktionale und stilistische Vorteile mit den oben bereits genannten Vorteilen vereint

werden. Durch die Betrachtung des zu bearbeitenden Gesamtsystems kann weiteres Integrationspotential gefunden werden, was nicht nur Vorteile für das Bauteil zur Folge hat, sondern auch auf dessen Peripherie positive Auswirkungen hat (z.B. Reduzierung des Kabelbaumumfanges oder Integration weiterer Funktionen).

Im Folgenden soll der Vollständigkeit wegen ein Überblick über die derzeit auf dem Markt befindlichen Verfahren zur Herstellung von MID-Bauteilen gegeben werden. Zunächst kann man, analog zu Bild 2-2, die Verfahren nach dem Spritzgießprozeß unterscheiden.

Im Einzelspritzguß hergestellte Bauteile müssen in einem nachfolgendem Schritt ihre Leiterbahnstruktur erhalten. Dies kann im Maskenverfahren (Photoimaging), durch Heißprägen oder Laserstrukturieren geschehen.

Das *Maskenverfahren* beginnt mit einer Aktivierung der Oberfläche, was das Substrat zur ganzflächigen Metallisierung vorbereitet. Die chemische Verkupferung, als ganzflächige Metallisierung, dient als Basis für die Strukturierung mit der Maske. Vor dem Belichten wird Photoresist aufgebracht, der nach dem Belichten entwickelt wird. Anschließend wird elektrolytisch Kupfer aufgetragen und die Struktur verzinkt. Der Photoresist wird entfernt und das Kupfer abgeätzt. In einem abschließenden Schritt wird die Oberfläche veredelt.

Aufgrund der Notwendigkeit die Leiterstruktur zu belichten sind die räumlichen Gestaltungsmöglichkeiten eingeschränkt. Da jede Leiterbahn in der Belichtungsmaske dargestellt werden muß sind die räumlichen Leiterbahnführungsmöglichkeiten nur in Grenzen gegeben. Hinterschneidungen, Durchkontaktierungen, senkrechte Leiterbahnen zum Beispiel sind nur mit erheblichem Aufwand zu realisieren. Der Vorteil des Verfahrens liegt in der hohen Flexibilität, die durch die geringen Aufwendungen und Herstellungskosten für eine Belichtungsmaske begründet ist. Auflösungen der Leiterbahnstruktur bis in den Fine-Pitch-Bereich sind ohne Probleme darstellbar.

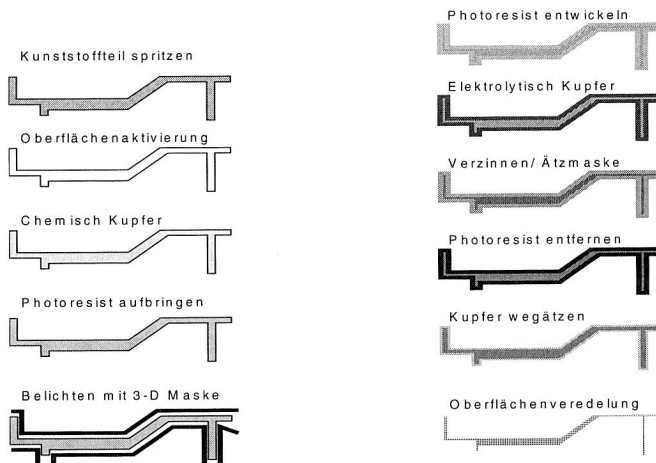


Bild 2-4: Das Maskenstrukturierungsverfahren lehnt sich in seinen Verfahrensabläufen an das Herstellungsverfahren von Leiterplatten an. Die Dreidimensionalität des Schaltungsträgers muß durch die Maske nachgebildet werden. (Reihenfolge von links oben nach rechts unten)

Maskenstrukturierung auf planarer Strukturierungsfläche mit feiner Leiterauflösung

und

Integrierter Steckverbindung

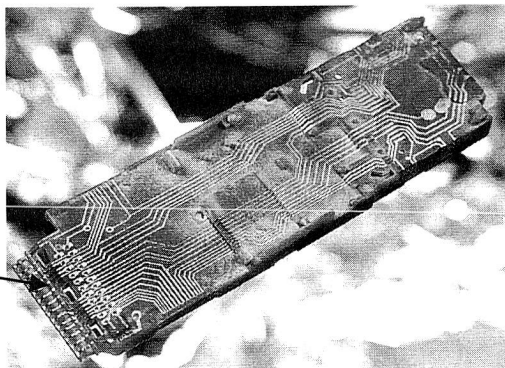


Bild 2-5: Beispiel für ein, im Maskenstrukturierungsverfahren hergestelltes Bauteil /22/. Charakteristisch ist die geringe Dreidimensionalität sowie die hohe Auflösung der Leiterbahnbreiten.

Das Hauptanwendungsgebiet des Maskenstrukturierens ist somit im Bereich der 2D bis 2,5D-MID Bauteile zu suchen, deren Leiterstruktur zwar hohe Anforderungen an die Auflösung stellt, jedoch geringe räumliche, komplexe Ausprägung hat.

Maskenstrukturierung

- **Einkomponentenspritzguß**
- **Strukturierung ähnlich der Leiterplattenherstellung, daher bekannter Prozeß**
- **Layoutänderungen einfach umsetzbar**
- **Fine Pitch möglich**
- **Durchkontaktierungen möglich**
- **Semiadditiv- und Substraktivstrukturierung umsetzbar**
- **Viele Prozeßschritte des Schichtaufbaus**

Bild 2-6: Charakterisierung des Maskenstrukturierens

Eine weitere Möglichkeit auf einfachspritzgegossenen Kunststoffteilen eine Leiterbahnstruktur zu erstellen ist das *Heißprägen* (Ivonding). Hierbei wird eine, aus elektrolytischem Kupfer mit scherfreundlicher Kristallstruktur gewonnene, Folie durch einen beheizten Prägestempel auf das Kunststoffsubstrat gepreßt. Durch die, auf das Substrat abgestimmten, Kleber auf der Folie und eine entsprechende Temperaturführung entsteht eine Verbindung zwischen Folie und Substrat.

Neue Entwicklungen basieren auf einem kleberlosen Verbinden der leiterbahnbildenden Folie mit dem Substrat. Zusätzliches Flachprägen im Anschluß an den Hauptprägevorgang schafft eine physikalische Haftung der Folie auf dem Substrat, ohne die Taktzeit zu verlängern. Im Weiteren wird die Folie durch den Prägestempel beschnitten, so daß nur die Leiterstruktur auf dem Bauteil zurückbleibt. Durch die Verarbeitung der Folie von Rolle auf Rolle, ist das Heißprägeverfahren sehr gut für die Integration in eine automatisierte Fertigung geeignet.

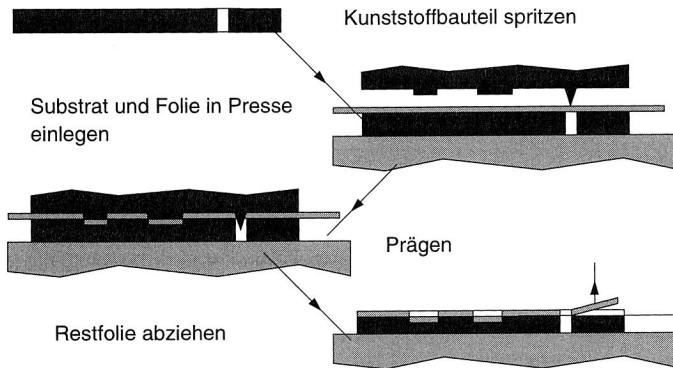


Bild 2-7: Heißprägen (Ivonding) /28/. Eines der wenigen Strukturierungsverfahren, bei dem das Bauteil keine naßchemischen Prozesse durchlaufen muß.

Durch die einachsige Bewegung des Prägestempels sind nur eingeschränkte Winkel im Verlauf der Leiterbahnen möglich. Denkbar sind somit Winkel von bis zu 90° , jeweils 45° zur Prägeachse. Durchkontaktierungen sind bedingt möglich, erfordern aber in jedem Fall eine Leiterbahnstruktur auf der Rückseite. Die Auflösung der Leiterbahnen kann bis in den Fine-Pitch-Bereich realisiert werden, was im Bereich der leiterplattennahen Applikationen vorteilhaft ist. Durch die Möglichkeit die Leiterbahnen, beziehungsweise die entstehenden Schmelzeränder aus Substrat flachzuprägen, ist es möglich auch sehr kleine Bauteile (c0805) zu bestücken ohne durch Prägerückstände im Montageprozeß behindert zu werden. Diese Technik bietet auch die Möglichkeit Schleifkontakte zu realisieren. Durch das Heißprägen ist es, unter Beachtung der Gestaltungsregeln möglich, über Filmscharniere zu prägen, wodurch zum Beispiel zwei Gehäuseteile miteinander verbunden werden können, und somit eine größerer Fläche zur Bestückung zur Verfügung steht /21/.

Verdampferregelung:
Einsatz im Fahrzeuginnenraum zur Steuerung von Schrittmotoren an der Klimaanlage

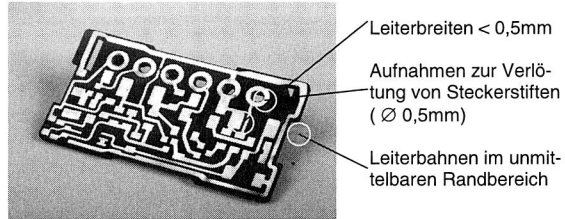


Bild 2-8: Beispiel für ein MID in Heißprägetechnik /45/. Kennzeichnend die planare Strukturierungsfläche.

Die Heißprägetechnologie bietet ein hohes Maß an Flexibilität durch die einfache Herstellbarkeit der Prägestempel. So kann auch auf Layoutänderungen der Schaltung schnell reagiert werden. Einhergehend ist die Tatsache der geringen Investitionskosten für den Start in die Technik des Heißprägens ein wichtiger Vorteil bei der Vorbereitung von Pilotprojekten.

Heißprägen

- **Einkomponentenspritzguß**
- **Strukturierung durch Prägen (keine Naßchemie)**
- **Wenige Arbeitsschritte**
- **Kurze Zykluszeiten**
- **Eignung für Hochglanzsichtteile**
- **Kleine Losgrößen realisierbar**
- **Begrenzte Dreidimensionalität**
- **Einschränkungen in der Feinheit der Leiterbahnen**
- **Durchkontaktierungen nur mit Zusatzmaßnahmen**

Bild 2-9: Charakterisierung der Heißprägetechnik

Durch die große Bandbreite an beprägbaren Materialien bestehen selten Restriktionen hinsichtlich der Werkstoffauswahl, was eine genaue Typenabgleichung mit dem Heißprägespezialisten jedoch nicht vermeidet /64/.

Bei Auslegung des Layouts kann mit unterschiedlichen Foliendicken gerechnet werden ($12\mu\text{m}$ - $70\mu\text{m}$).

Die Metallisierungs- und Strukturierungsmöglichkeit mit der größten Flexibilität ist die *Laserstrukturierung*. Analog dem Maskenstrukturierungsverfahren wird zunächst die Oberfläche aktiviert, und chemisch Kupfer abgeschieden. Diese Schicht wird durch elektrolytisches Kupfer verstärkt. Der anschließend aufgebaute Ätzresist wird mit dem Laser strukturiert. Die mit Laser markierten Bereiche werden im anschließenden Ätzschritt abgeätzt, so daß die Leiterstruktur nun erstellt ist. In einem letzten Schritt wird die Oberfläche veredelt /9,10/.

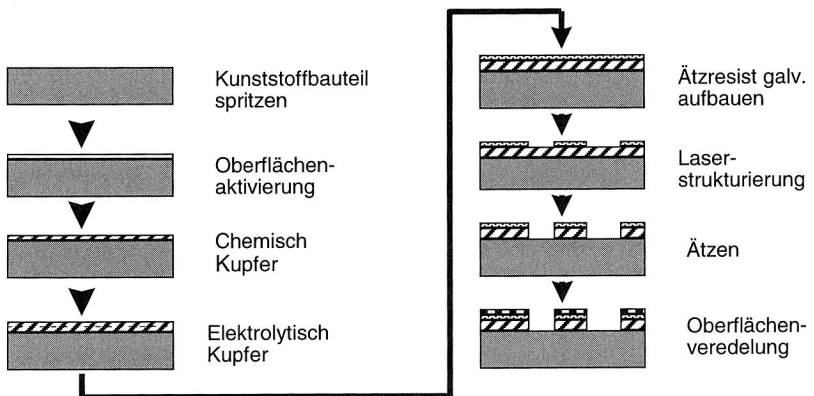


Bild 2-10: Laserstrukturierungsverfahren /9/

Wie bereits eingangs erwähnt, ist das Laserstrukturieren das flexibelste Verfahren zur Leiterbahnstrukturierung. Durch eine Änderung des Laser-Steuerungsprogramms kann das Layout sehr schnell und einfach geändert werden. Je nach Kinematik der Lasereinheit können theoretisch nahezu beliebige Konturen strukturiert werden. Eine besonders interessante Möglichkeit bietet die Kombination des Laserstrukturierens mit dem Zweikomponentenspritzguß, wodurch stetige Leiterbereiche durch das Spritzgießen bereits strukturiert werden können.

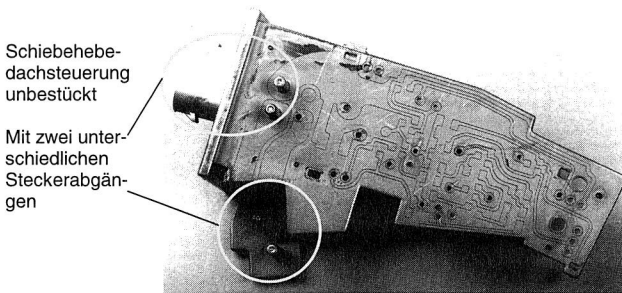


Bild 2-11: Beispiel für ein laserstrukturiertes MID /79/

(vgl. mit entsprechendem 2-K-Bauteil in Bild 2-20) charakteristisch, die komplette Basismetallisierung des Bauteils, sowie die feinen Trennlinien die durch den Laser strukturiert wurden.

Da für ein laserstrukturiertes Bauteil immer ein ganzflächig metallisiertes Bauteil die Basis ist, bietet sich die Möglichkeit Wärmeableitungsbereiche oder EMV-Abschirmungen zu integrieren. Nachteilig wirkt sich die derzeit nicht verfügbaren Manipulationseinrichtungen für die Laserführung aus. Somit können nur Flächen strukturiert werden, die nur geringe Höhendifferenzen messen. Diese Höhendifferenz liegt im Fokusbereich des Lasers, was eine Höhe von ca. 10mm entspricht. Die Strukturierung eines Bauteils mit dem Laser ist, entgegen vieler Meinungen, ein sehr kostengünstiger Vorgang.

Laserstrukturierung

- **Einkomponentenspritzguß**
- **Fine-pitch realisierbar**
- **Hohe geometrische Freiheiten**
- **Änderungen des Layouts leicht möglich**
- **Sequentielles Strukturieren**
- **Eingeschränkte 3D Fähigkeit der Leiterbahnen**

Bild 2-12: Charakterisierung der Laserstrukturierung

Das schon bei der Laserstrukturierung erwähnte *Zweikomponentenspritzgießen* erzeugt die Struktur der Leiterbahnen bereits durch den Spritzgußprozeß. Die dadurch möglichen Leiterbahnbreiten und -abstände ermöglichen die Darstellung von einfachen elektronischen Schaltungen. Der Hauptpunkt der Zweikomponentenspritzgußtechnik ist die große Freiheit in der Gestaltung der Leiterführungen. So sind Durchkontaktierungen, über Eck-Verbindungen, räumliche Leiterbahnstrukturen ohne Probleme möglich, so lange die Gestaltungsregeln des Spritzgusses Beachtung finden. Die Vorteile des Zweikomponentenspritzgusses liegen somit eindeutig bei der räumlichen Gestaltungsfreiheit der Leiterzüge, insbesondere wenn Gehäuseteile oder Hilfskonstruktionen, wie Halter, Führungen etc. integriert werden können /15/.

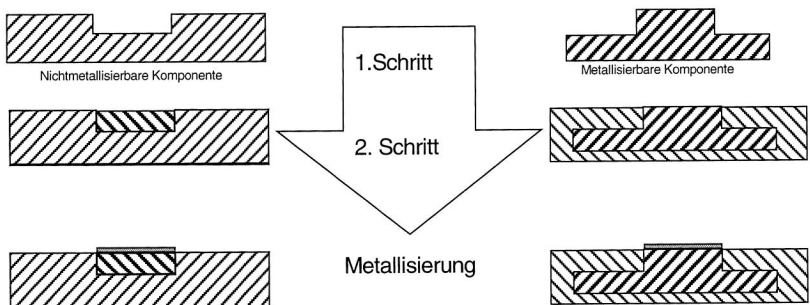
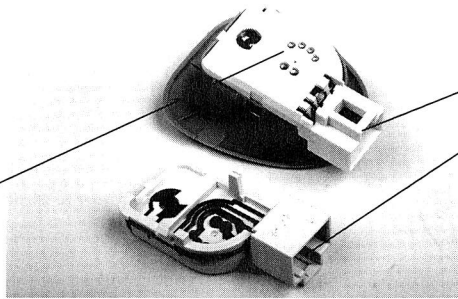


Bild 2-13: Der grundsätzliche Verfahrensablauf des Zweikomponentenspritzgusses

Durch die, oben genannten, Charakterzüge der Zweikomponentenspritzgießtechnologie erscheint dieses Verfahren prädestiniert für Applikationen die räumliche Strukturierungsprobleme lösen sollen. Dabei ist die Anzahl der zu bestückenden Bauelemente gering und die Leiterbreite und deren Abstände möglichst großzügig zu dimensionieren. Hohe Ströme können durch die Möglichkeit der beliebigen Gestaltung des Leiterbahnquerschnittes über ein 2K-MID geleitet werden.

Lüfterschalter
mit Spitzen-
strombelast-
barkeit bis 20A

Kontaktberei-
che mit zusätz-
lich eingeprä-
gten Stiften



Steckerbereich
als reine
Kunststofflö-
sung mit metal-
lisierten Ste-
ckerpins

Bild 2-14: Beispiel für ein Zweikomponentenspritzguß-MID /78/

Dreistufiger, rastender Schalter für Lastströme. Kennzeichnend für das 2K Ver-
fahren ist die Dreidimensionalität der Leiterbahnen, die in diesem Fall die Ver-
größerung des stromleitenden Querschnitts ermöglicht. Zudem die einzige
Möglichkeit im Spritzguß ohne Zusatzteile, den Steckerbereich darzustellen.

Durch die selektive Metallisierung und die Verarbeitung zweier Materialien muß
dem Kunststoff besondere Beachtung beigemessen werden.

Zweikomponentenspritzguß

- **Geometrische Freiheit nur durch Spritzguß beschränkt**
- **Leiterbahnquerschnitt frei gestaltbar (hohe Ströme möglich, vertiefte Leiterbahnen)**
- **Durchkontaktierungen unproblematisch**
- **Kurze Prozeßkette**
- **Zwei Werkzeugkavitäten notwendig (Hohe Investitionen)**
- **Eingeschränkte Feinheit der Leiterbahnen**
- **Berücksichtigung der Metallisierungs- und Kunststoffhaftung (Materialauswahl)**

Bild 2-15: Charakterisierung des Zweikomponentenspritzgusses

Das Zweikomponentenspritzgießverfahren stellt im Vergleich zu allen anderen Herstellungsverfahren die höchsten Anforderungen an den, bzw. die Konstrukteure. Da bei diesem Strukturierungsverfahren die Leiterbahndarstellung bereits im Spritzguß erfolgt, muß die Abstimmung des Gehäuses, des Layouts, sowie aller weiterer mechanischer und elektrischer Parameter beim Beginn der Konstruktion bereits vollständig erfolgt sein. Jeder Schritt der Korrektur, sei es der Leiterbahn oder der Gehäusekontur, hat, je nach Umfang der Änderungen, Folgen auf den Termin-, als auch den Kostenplan. Damit diese negativen Begleiterscheinungen nicht auftreten, oder zumindest in einem für alle Seiten akzeptablen Maß, ist der Gedanke des Simultaneous Engineering in die Realität umzusetzen. Im anzustrebenden Idealfall hat ein Entwickler sämtliche Elektronik- und Mechanikentwicklungen in seinem Verantwortungsbereich. Die angesprochene Problematik der geringen Änderungsfreundlichkeit des Werkzeugs/Verfahrens hat zur Folge, daß die Schaltungskomplexität bei Mehrkomponentenspritzgußbauteilen nur geringe Ausmaße annehmen sollte.

2.1.2 Stand der konventionellen Leiterplattentechnologie

Die konventionelle Leiterplatte hat einen sehr hohen Entwicklungsstand erreicht. Varianten und Entwicklungen wie Multilayer, MCM, Hybridtechnologie, um nur einige zu nennen, zielen sehr stark in die Richtung Miniaturisierung bei gleichzeitiger Erweiterung der Funktionalität. Als Basismaterial dient derzeit hauptsächlich FR4 (Epoxydharzbasis) oder FR2. Alternativen Materialien sind in Entwicklung, hauptsächlich vor dem Hintergrund der besseren Rezyklierbarkeit.

Auch in der klassischen Leiterplattentechnik ist der Drang zur Integration und Miniaturisierung deutlich erkennbar. Hier sind auf der einen Seite Bauelementekonzepte zu finden (QFP; PLCC, BGA, etc.) die hohe Funktionsintegration aufweisen. Die Leiterplatte selbst wird durch Multilayer-Technologie, MCM etc. komplexer und leistungsfähiger. Durch Chip-on-board Konzepte, Hybride werden Integrationsgrade erreicht, die neue Dimensionen erschließen lassen. An

diesem Punkt wird deutlich, daß die MID-Technologie für hochkomplexe Baugruppen keinen Wettbewerb darstellt und auch nicht darstellen will.

Parameter	Serienproduktion	HDI - Leiterplatte	Grenzen der derz. Technologie
Leiterbreite/ Abstand	125/125µm	75/75µm	50/50µm
Bohrungsdurchmesser	0,3-0,4mm	0,25mm	0,075mm
Plattendicke	1-8mm	0,5mm	0,2-10mm
Basis Kupferstärke	18µm	9µm	5µm
Laminatdicken	0,1-0,15mm	0,05mm	25µm
Material	FR-4, FR-405, FR-5	Cyanatester, BT	Aramid
SMD-Pitch	0,5mm	0,4mm	0,25mm

Bild 2-16: Kenngrößen aktueller Leiterplattentechnologie /116/

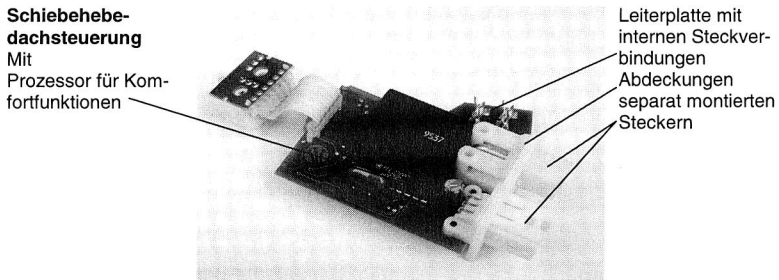


Bild 2-17: Beispiel für ein „typisches“ Bauteil in konventioneller Aufbautechnik Steuerung einer Antriebseinheit mit Endlagenerkennung durch Mikroschalter in einem bauraumkritischen Package.

Ein Vorteil der klassischen Leiterplattentechnologie ist ohne Zweifel deren beherrschte und standardisierte Fertigungstechnik. Wo auf dem Gebiet der MID Technologie Neuentwicklungen und Anpassungen notwendig sind, ist die Fertigungskette der Leiterplattentechnologie nicht nur seit langer Zeit beherrscht und erprobt sondern auch optimiert. So sind Hochgeschwindigkeitsbestückssysteme Stand der Technik. Weitere Optimierung sind auf dem Gebiet der Bestücksicherheit anzutreffen. Hierzu sind optische, sensorische Systeme entwickelt, die die Funktion des Bauteils, was insbesondere bei hochintegrierten Bausteinen wichtig ist, überprüfen, die Lage detektieren bzw. korrigieren. Ebenso ist die Montage mit Lotpasten- und Kleberauftrag und anschließender Wellen- oder Reflowlötung eingeführt. Mit der höheren Integration der Bauelemente nimmt aber auch die Temperaturempfindlichkeit der Bauelemente zu, so daß auch im Bereich der Leiterplatten nach Lötverfahren geforscht wird, die eine geringere Temperaturbelastung für die Bauelemente und das PCB bedeutet. Dampfphasenlöten oder Konvektionslötanlagen sind Ergebnisse dieser Überlegungen.

2.1.3 Analyse der Einsatzmöglichkeiten für 3-D MID Konzepte

Wie viele Projekte gezeigt haben ist die direkte Überführung einer klassischen Leiterplattenlösung in ein MID-Bauteil in den meisten Fällen nicht zielführend. Es ist aus diesem Grund notwendig sich Strategien zurechtzulegen, die eine möglichst genaue Analyse der Situation erlauben um auf dieser Basis die Entscheidung für oder wider der MID-Technologie zu treffen.

Der Weg zu MID kann verschiedene Ursprünge haben. Der Weg ein abstraktes Problem lösen zu müssen ist der ideale. Hier sind ohne Beschränkungen durch eine bereits vorgegebene Lösung neue Denkansätze möglich. Der Gedanke der Integration kann bei diesem Vorgehen mit Sicherheit am besten eingebracht werden. Dieses Vorgehen hat eine Lösung als Ergebnis, die in dieser Ausführung nur in MID möglich ist. Sicherheit über die Verfahren und Durchführung sind hierbei unabdingbare Voraussetzungen für den Erfolg des Projektes. Da bei vielen Entwicklungen jedoch Unsicherheit über die Realisierbarkeit in MID-Technologie besteht werden Konzepte erstellt, die sehr nahe an die konvention-

nelle Lösung anlehnen. Somit kann nur ein Bruchteil des Potentials der MID-Technologie ausgeschöpft werden.

In einem ersten Schritt muß, unabhängig von der Ausgangslage, die Systemumgebung betrachtet werden. Integrationsmöglichkeiten sind zu bewerten und in die Bauteilkonzeption miteinzubeziehen. Anschließend sind die fertigungstechnischen Möglichkeit zu klären und die Wirtschaftlichkeitsaspekte zu überprüfen.

Einsatzorte der MID-Technologie im Automobil sind die Bereiche der Mechatronik und Sensorik sowie die Lichttechnik und der weite Bereich der Steuerungen.

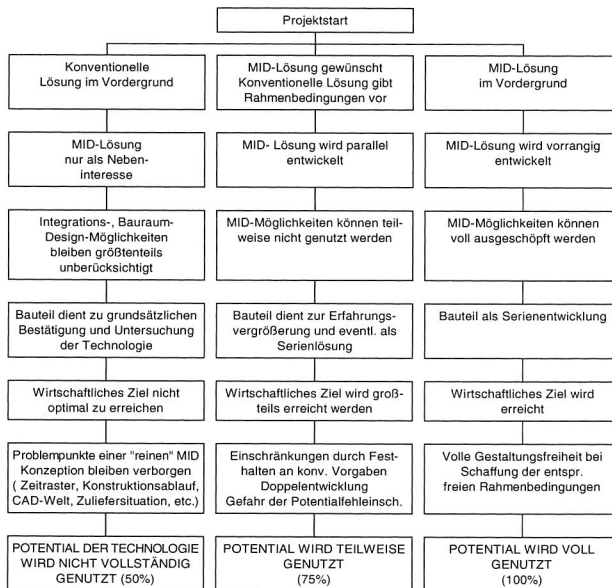


Bild 2-18: Potentialausschöpfung in Abhängigkeit von der Vorgehensweise

Das Gebiet der Mechatronik umfaßt die Übertragung mechanischer Bewegung in ein elektrisches Signal und beinhaltet Schalter, Taster, Geber etc.. Das Integ-

rationspotential liegt hier im Bereich der Hilfs- und Zusatzkonstruktionen, die die Schaltbewegung umlenken, die LED in der richtigen Position halten, Wärme ableiten, Höhenunterschiede von Mikroschaltern zur Hauptplatine ausgleichen helfen. Ebenso bietet sich die Zusammenfassung von mehreren Schaltern zu einem universellen Baustein an, mit der Folge von Bauraum- und Leitungsreduzierungen. Die Sensorik ist ein weiteres Anwendungsgebiet der 3-D MID Technologie. In diesem Bereich sind die Anpassung an Designflächen und die Bauraumreduzierung die wichtigsten Themen die sich dem Entwickler anbieten.

Gebäseschalter
mit 4 Schaltposi-
tionen

MID-Bauteil zur
Minimierung der
Bauhöhe

Reduzierung der
Bauteileanzahl

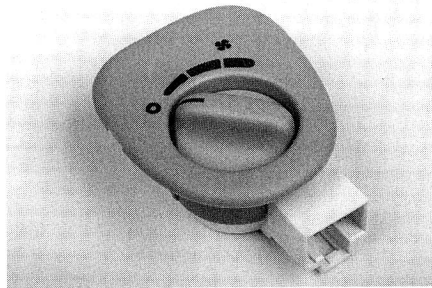


Bild 2-19: Anwendungsbeispiel im Bereich der Mechatronik (Gebläseschalter) zur Bauraumoptimierung.

Im Bereich der Sensorik stellt sich zudem die Frage der Abdichtung des elektrischen Systems von Umwelteinflüssen.

Die Lichttechnik stellt mit Lampenträgern, Innenraumleuchten und weiteren Beleuchtungsapplikationen ein großes Betätigungsfeld für die MID Technologie mit ihren unterschiedlichen Fertigungstechnologien dar.

Weitere Anwendung kann die MID-Technik im großen Bereich der Steuerungen finden. Oftmals wird hier die Verknüpfung von Sensorik und Steuerung vorgenommen, was sowohl räumliche, als auch funktionelle Vorteile hat.

Schiebedachsteuerung
in 2K-Technologie

Fahrzeugseitige Verbindung

Verbindung zum Antrieb

Verbindung zur Aktuatorik
mittels Mikroschalter
(Sensorik)

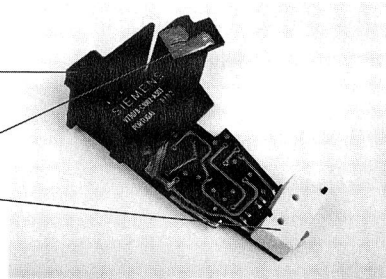


Bild 2-20: Anwendungsbeispiel im Bereich der Steuerungen, in deren Peripherie es gilt sich an verbleibende Bauräume anzupassen, bei gleichzeitiger definierter Position von Abfrage- und Sensorikkomponenten.

Ein weiteres Betätigungsfeld bietet der Bereich der Lichttechnik. Mit Leuchten und Suchbeleuchtungen im Innen- und Außenraum steht ein weites Betätigungsfeld zur Verfügung, indem sich die MID-Technologie ein weites Zukunftsfeld erschließen wird, da die geometrischen Anforderungen in erheblichem Ausmaß steigen werden. Dreidimensionale Ausprägungen werden Stilmittel zukünftiger Stylingelemente sein, welches den Einsatz der MID-Technologie vorantreiben wird.

Einstiegsleuchte

mit elektrischer Anbindung über ein 3-D MID Türmodul in Folienhinterspritz-Technologie.
Integration von Leiterbahnen im Türbereich bedeutet Vorteile für die Montage und die Zuverlässigkeit hinsichtlich Klipperfreiheit.

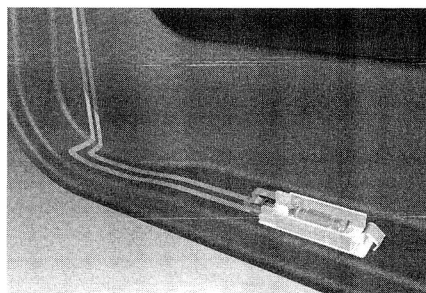


Bild 2-21: Anwendung im Bereich der Lichttechnik. Die Innenraumbeleuchtung eines Kfz ist ein wichtiger Anwendungsbereich, in dem Bau- und Kostenreduzierung entscheidende Punkte sind.

2.2 Anforderungsspektrum für 3-D MID Applikationen in der Kfz-Elektronik

Die Randbedingungen in der Automobiltechnik stellen hohe Anforderungen an jegliche Form von Bauteilen und Elektronikkomponenten. Vielfach entsteht im Zusammenhang mit dem Einsatz der MID-Technologie Unsicherheit in der Projektierungsphase über die anzuwendende Normung. Nur in den seltensten Fällen muß jedoch über die Einführung einer neuen Norm diskutiert werden, da MID Teilbereiche in ein Bauteil integriert, die ihrerseits durch Vorgaben bereits abgedeckt sind. Lediglich bei grundlegend neuen Konstruktionsfeatures sollten tiefergehende Untersuchungen geplant werden, die ohne Aufhängung an der Normung, sondern durch die Orientierung am Problem gestaltet werden müssen.

2.2.1 Anforderungen an elektrische Baugruppen in der Kfz-Elektrik / Elektronik

Wie eingangs bereits erwähnt, besteht eine MID-Baugruppe, bzw. ein MID-Bauteil aus elektrisch/elektronischen und mechanischen Komponenten. Bereiche wie Kabelbaum, Stecker, Innenraumsichtteil oder Außenraumanbauteil ergänzen die Palette der möglichen Integrationspartner. Somit ist auch die Zuständigkeit der entsprechenden Werknorm oder allgemein gültigen Norm in der Summe gegeben.

Klimatische Anforderungen

Zur Überprüfung der Temperaturbeständigkeit elektrischer Baugruppen sind unterschiedliche Prüfverfahren entwickelt worden.

Der Stufentemperaturtest dient ausschließlich der Absicherung der mechanischen und elektrischen Funktionen über den geforderten Temperaturbereich. Das bedeutet, es muß sichergestellt sein, daß der Prüfling bei jeder Temperatur zwischen T_u und T_o fehlerfrei in Funktion geht. Hierbei ist im Temperatur-

schränkt eine Temperatur von -40°C bis T_0 zu durchlaufen. Die Abkühl- und Aufheizgeschwindigkeit beträgt mindestens 1K pro Minute.

Die zweite Temperaturprüfung ist die Nachlackiertemperatur. Diese Temperatur tritt während der Trockenphase bei eventuell erforderlichen Fahrzeugnachlackierungen auf. Während dieser Prüfung wird keine elektrische Funktionskontrolle durchgeführt. Es dürfen keine Schäden, Verformungen und Funktionsstörungen an den Prüflingen auftreten.

Die Temperaturwechselprüfung berücksichtigt undefinierte, sich kontinuierlich verändernde thermische Rahmenbedingungen über die gesamte Lebensdauer eines Fahrzeugs. Hierbei können vor allem zwei Effekte zu Schäden führen:

- Mechanische Spannungen bedingt durch unterschiedliche Ausdehnungskoeffizienten verschiedener miteinander Werkstoffe oder aufgrund von Temperaturgradienten auch innerhalb homogener Materialien.
- Betauung bei ansteigender Temperatur, wenn gleichzeitig die Temperatur der Komponenten unter dem Taupunkt liegt, wodurch z.B. leitende Verbindungen (Elektromigration) auf verschmutzten Leiterplatten entstehen können.

Um die Betriebssicherheit und Zuverlässigkeit von elektrischen und elektronischen Komponenten und Systemen hinsichtlich dieser Einflüsse über den Lebensdauerzeitraum zu erreichen, ist die Temperaturwechselprüfung erforderlich. Um eine ausreichende Betauung zu erreichen, ist ein Prüfvolumen von mindestens 150 Litern notwendig. Der Temperaturwechseltest wird grundsätzlich mit Stromanschluß durchgeführt. Zu vorgeschriebenen Zeiten werden Funktionstests durchgeführt. Die Abkühl- bzw. Aufheizgradienten müssen auch bei diesem Test mindestens 1K betragen.

Klimatische Prüfungen	Mechanische Prüfungen	Lebensdauerprüfung
Stufentemperaturtest	Vibrationsbelastung	Elektromechanische BG
Nachlackiertemperatur	Mechanischer Schocktest	Elektronische Baugruppen
Nachheizphase	Falltest	Simulation der Standzeit
Temperaturwechselprüfung		Simulation der Betriebszeit
Thermoschocktest in Luft	<div style="border: 1px solid black; padding: 10px; margin: 10px auto; width: 80%;"> <p>Komponenten- und Systemverifikation</p> <ul style="list-style-type: none"> - Im Labor mit Raffungsfaktor. - Im realen Fahrzeug als komplexes Belastungskollektiv </div>	
Thermoschocktest in Wasser		
Tauchprüfung		
Staubtest		
Spritzwasserprüfung		
Heißwasserstrahlprüfung		
Salzsprühnebelprüfung		
Schadgasprüfung		
Feuchte Wärme konstant		
Feuchte Wärme zyklisch		
Chemische Beständigkeit		
Abschließende Funktionspr		

Bild 2-22: Prüfungen eines elektrischen Bauteils nach Werknorm /50/

Ein weiterer thermischer Test ist der Thermoschocktest in Luft. Mit dieser Prüfung werden thermische Einflüsse nachgestellt, die an exponierten Einbauorten, z.B. Fahrzeugunterbodennähe, bei winterlichen Verhältnissen vorkommen. Durch die hierbei auftretenden extremen Temperaturgradienten können Materialverspannungen entstehen, die an Komponenten mit Paarungen verschiedener Werkstoffe zu Rissen führen. Gefährdet sind z.B. Metall-Kunststoffverbindungen und Lötstellen. Der Thermoschocktest führt zu einer verhältnismäßig schnellen Alterung der Prüflinge. Analog zum Thermoschock in Luft kann dieser Test auch in Wasser durchgeführt werden. Hierbei wird die Dichtheit und Temperaturschockfestigkeit unter Schwallwasser der Komponenten überprüft. Weitere Prüfungen sind die Simulation der Nachheizphase, in der

der Zustand des betriebswarm abgestellten Fahrzeugs simuliert wird, und die Tauchprüfung, die die Überprüfung der Dichtheit der Komponenten zum Ziel hat.

Test	Durchführung	Normung
Temperaturwechselprüfung	ΔT min 1°C pro min. 150 l Prüfraumgröße min.	Zyklen nach BMW N 600 13.0 Teil 1 (Tab.8)
Thermoschocktest in Luft	Thermoschockschrank (Paternostersystem)	BMW N 600 13.0 Teil1
Thermoschock in Wasser / Schwallwasser	Prüfkammer unter Fahrzeugeinbaueverhältnissen	BMW N 600 13.0 Teil1 (Tab.7 und 8)
Tauchprüfung	Tauchen in 3% Salzwasserlösung	BMW N 600 13.0 Teil1 (Tab.7 und 8)
Staubtest	Staubtestkammer Arizonastaub	DIN VDE 0470 Teil 1 SAE J 726b
Spritzwasserprüfung	Spritzkammer abhängig vom Einbaort	DIN VDE 0470 Teil 1 BMW N 600 13.0 Teil1
Heißwasserstrahlprüfung	Heißwasserstrahlgerät 80 bis 100 bar	BMW N 600 13.0 Teil1
Salzsprühnebelprüfung	Salzsprühkammer	DIN 50021 BMW N 600 13.0 Teil1
Schadgasprüfung		BMW N 600 13.0 Teil1
Feuchte Wärme konstant	38°C bis 42°C bei $F_{rel}=91$ bis 95%	BMW N 600 13.0 Teil1
Feuchte Wärme zyklisch	25°C bis 55°C bei $F_{rel}=75$ bis 95%	BMW N 600 13.0 Teil1
Chemische Beständigkeit	Prüfmedien Einwirkzeit 72h	BMW N 600 13.0 Teil1
Abschließende Funktionsprüfung	Kompletter Funktions-test nach 3-4 Wochen	

Bild 2-23: Temperaturprüfungen und Normen in der Kfz-Elektrik / Elektronik

In Abhängigkeit vom Einsatzbereich unterscheiden sich die thermischen Anforderungen an die Bauteile. Die Bereiche sind zusätzlich unterschieden in spritzwassergefährdete Areale, Trockenräume oder auch Mischzustände. Abhängig davon werden weitere Forderungen in Bezug auf die Auswahl der Steckverbindung, der Dichtheitsanforderungen oder der Klassifizierung in j. Punkto IP-Standard erhoben.

Klassifizierung	Einbaubereich
A	Fahrzeug - Innenraum
B	Motorraum - Anbau an Karosserie
B1	Spritzwasserbereich
B2	Spritzwassergeschützter Bereich
C	Motor / Getriebe
C1	Spritzwasserbereich
C2	Spritzwassergeschützter Bereich
D	Motorraum - Kühler
D1	Spritzwasserbereich
D2	Spritzwassergeschützter Bereich
E	Fahrzeug - Außenanbau
E1	Stoßfänger vorne bis A-Säule
E2	Zwischen A- und C-Säule
E3	Hinter C-Säule bis Stoßfänger hinten, einschließlich Kraftstoff
F	Tür- / Karosseriehöhlräume
F1	Fahrertür
F2	Beifahrertür
F3	Türen hinten
G	Gepäckraum

Bild 2-24: Einbaubereiche im Kraftfahrzeug

Anforderungen	Einbaubereich Fahrzeug						
Betriebsbereich	A	B	C	D	E	F	G
Funktions- oder Formbeständig (Tu, To)	-40°C bis +80°C	-40°C bis +105°C	-40°C bis +140°C	-40°C bis +120°C	-40°C bis +80°C	-40°C bis +80°C	-40°C bis +80°C ¹⁾
Nachheizphasen ²⁾ Formbeständig	-	+120°C	+150°C	-	-	-	+90°C
Zerstörungsfreier Betrieb							
Nachlackiertemperatur 1h formbeständig	-	-	-	-	110°C	-	-

¹⁾ Bei einbaubedingter, höherer Temperaturbelastung (Strahlungswärme) muß der Wert in der Zeichnung ausgewiesen werden.

²⁾ Die Nachheizphase ist bei relevanten Einbaubereichen zu berücksichtigen. Prüfzeit: 30 Minuten, elektrischer Betrieb an Klemme R und Klemme 15

Bild 2-25: Temperaturbereiche im Fahrzeug abhängig vom Einbaort des Bauteils

Kritik der bestehenden Normung

Ausgehend von der Vorgehensweise bei der Entwicklung neuer Komponenten ist die Einordnung und Bewertung der Normung zu erörtern. Basierend auf bestehender Normung und insbesondere bestehender Lastenhefte erfolgt eine Festschreibung der geforderten Eigenschaften, beziehungsweise der zu erfüllenden Prüfungen. Der Bezug auf Normen (DIN; IEC etc.) ist hierbei üblich und der Punkt, der MID Probleme bereitet. Greift das Lastenheft endkundenspezifisch die Funktion auf, so analysiert die Norm bereits an der Basis und setzt somit bereits bei den Herstellungsverfahren an.

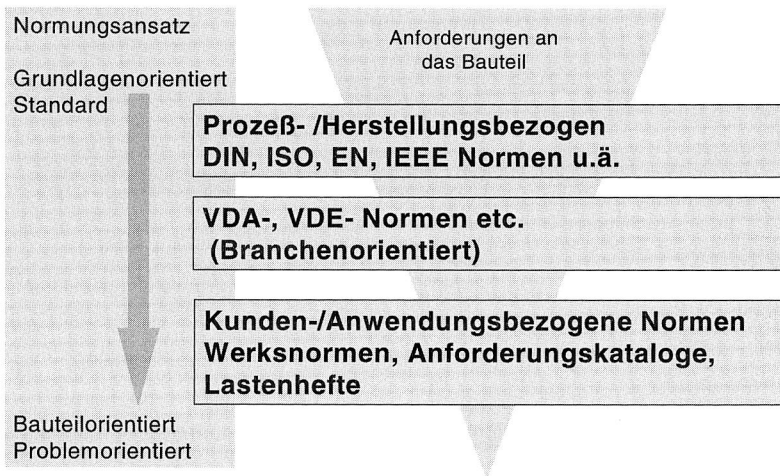


Bild 2-26: Unterschiedliche Ansatzpunkte bei der Gestaltung von „Erfüllungskriterien“

In der Entwicklung von Bauteilen hat sich jedoch weniger die Überbestimmung der Normung, bzw. unternehmensspezifischen Anforderungen dargestellt, als das gänzliche Fehlen von Vorgaben oder Anhaltswerten. Bedingt durch Substitution, Neugestaltung oder/ und Integration bisher leiterplattenfremder Funktionen ist eine Diskrepanz zwischen Normung und Realität geschaffen. Diese Lücke

cke gilt es technologiegerecht und kompetent zu füllen, ohne sie zu überfüllen. Dabei ist gerade der schnelle Entwicklungsfortschritt in den Bereichen MID-Materialien, MID-Funktionen, MID-Verfahren zu berücksichtigen.

Das vorsichtige Evaluieren einer Technologie ist für die Sicherstellung von Serienabläufen, Qualitätszielen etc. unabdingbar, Innovationskampagnen, zunehmender Kostendruck stehen dem gegenüber. Das Erkennen der Potentialmöglichkeiten der MID-Technologie muß somit der Wegbereiter für eine ausgewogene Normung sein.

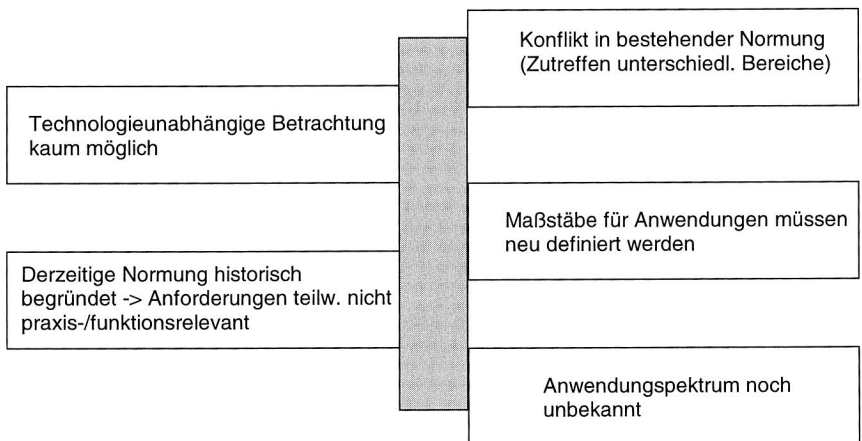


Bild 2-27: Konflikte bei der Normung MID-spezifischer Bereiche

Da die MID-Welt zu komplex ist um gesamthaft genormt zu werden ist es sinnvoll Basisnormen zu gestalten, die die notwendigen Entwicklungsfreiheiten in keinem Fall einengen.

MID-Bereiche in der Normung:

- Herstellungsverfahren / Prozeßnormen DIN, ISO
- Anwendung-/ Konstruktionsrichtl. -normen
- branchenspezifische Normung (Richtlinien) für Gestaltung und Einsatz
- QS-Normung für übergreifende Themen
- Lastenheft
- MID-Handbuch als erster Schritt einer *normativen* Instanz

Bild 2-28: Vorschlag einer Normung für MID-spezifische Bereiche

2.2.2 Technologiespezifische Betrachtung

Die Anwendung vorhandener Prüfvorschriften und Normen auf MID-Bauteile erscheint immer wieder als Problem. Gekennzeichnet durch Unsicherheit ist die Überprüfung einer MID-Komponente oftmals mit Schwierigkeiten verbunden. Wie schon zu Beginn des Kapitels verdeutlicht, ist der Einbaubereich das erste Kriterium, das geklärt werden muß.

Der zweite Punkt, der Klärung bedarf, ist das Maß der Integration. Alle Einzelnormen der integrierten Bauteile sind auch von der MID-Lösung zu erfüllen. Insbesondere ist das jeweilige Lastenheft zu berücksichtigen.

Erst in einem weiteren Punkt ist zu klären, ob bedingt durch die MID-Lösung weitere Anforderungen zu erfüllen sind. Grundsätzlich ist dies sicher nicht der Fall, jedoch kann in Ausnahmefällen die Notwendigkeit bestehen.

Anforderungen, die nicht aufgrund der Anwendungssituation entstehen, können die derzeitige Normung weit mehr überfordern. Insbesondere das Thema Lötbarkeit wird durch die Normungssituation derzeit nicht im Sinne der MID-Technologie behandelt. Zudem existieren Vorschriften, die aus der Geschichte der Leiterplattenentwicklung resultieren. Die Entwicklungen in der jüngeren Ge-

schichte auf dem Bereich der Verbindungstechnik zielen auch bei nicht-MID auf eine Reduzierung der Temperaturbelastung ab. Die zunehmende Integrationsdichte der Schaltungen und Schaltungsbausteine erfordert eine Reduzierung der Löttemperatur und eine Verbesserung der Temperaturhomogenität auf der Leiterplattenoberfläche während des Lötprozesses.

Wie auch in DIN IEC 68-2-20 genannt, wird die Lötwärmebeständigkeit mit 260°C in einem Lotbad bei einer Eintauchdauer von 10s definiert. Die Möglichkeit die Parameter durch Einzelbestimmungen zu korrigieren besteht grundsätzlich, jedoch gelten die gesetzten Werte als Standart. Das Durchbrechen von Standarts ist jedoch eines der Probleme, mit denen die MID-Technologie immer wieder konfrontiert wird. So ist der Einsatz technischer Kunststoffe bei Applikationen die einer Lötung bedürfen von Anfang an in Frage gestellt. Damit wird der MID-Einsatz in den meisten Fällen jedoch unwirtschaftlich und die konventionelle Lösung scheinbar günstiger.

Ein weiterer Bereich, der Unsicherheiten hervorrufen kann, ist der der Normung der Bauelementeplatzierung, bzw. Leiterbahnführung im Randbereich der Leiterplatte. Da in MID-Bauelementen Gehäusefunktionen integriert sind, kann diese Forderung nicht ohne Interpretation übernommen werden.

Der weite Bereich der Werksnormen, bzw. noch viel mehr der der Lastenhefte, weißt eine weit günstigere Formulierung der geforderten Eigenschaften auf. Die Betonung liegt hier auf der Funktionalität der Komponente(n), und weniger auf der Erfüllung von technologischen Teilbereichen. Somit bleibt dem Entwickler ein weit größerer Spielraum in der Auswahl der Technologie. Im Bereich der Lötbarkeit sind so zum Beispiel keine Einschränkungen zu erkennen. „Es genügt“, daß die Qualität der Lötstelle und die Eigenschaften des Schaltungsträgers erfüllt sind. Die Zielführung bleibt dem Hersteller überlassen, ohne daß restriktive Einschränkungen, über deren Sinn sich streiten läßt, Technologien verhindert.

Grundlegende Normung:

DIN IEC 721: Elektrotechnik; Klassifizierung von Umweltbedingungen, Umwelteinflußgrößen und deren Grenzwerte; identisch mit IEC 721

DIN IEC 326: Gedruckte Schaltungen, Leiterplatten; Anleitung für den Ersteller von Normen und Spezifikationen

Die DIN IEC 326 enthält die Anforderungen und Prüfverfahren, die auf Schaltungsträger anzuwenden sind. Fast alle, in dieser Norm behandelten Anforderungen lassen sich sinnvoll auf MID anwenden. Es sind Prüfverfahren für folgende Anwendungsbeispiele enthalten: elektrische, thermische, chemische, geometrische und physikalische Anforderungen, sowie Anforderungen an das Brandverhalten von Schaltungsträgern.

Mechanische Anforderungen:

DIN IEC 68: Elektrotechnik; Grundlegende Umweltprüfungen

Die DIN IEC 68 liefert viele Prüfungen für Umweltbedingungen. Prüfverfahren für die folgenden mechanischen Anforderungen sind enthalten: Schock, Dauerschock, Kippen und Umstürzen, freies Fallen, Prellen, Stoßen, Schwingen, Beschleunigung und mechanische Widerstandsfähigkeit der Anschlüsse.

Thermische Anforderungen:

DIN IEC 68: Elektrotechnik; Grundlegende Umweltprüfungen

Folgende Prüfverfahren für die folgenden thermischen Anforderungen sind enthalten: Kälte, trockene Wärme, feuchte Wärme, Temperaturwechsel und kombinierte Prüfungen wie Temperatur und z.B. niedriger Luftdruck, oder Schwingen, etc.

DIN IEC 112: Verfahren zur Bestimmung der Vergleichszahl und Prüfzahl der Kriechwegbildung auf festen isolierenden Werkstoffen unter feuchten Bedingungen

DIN EN 50081/82: Elektromagnetische Verträglichkeit (EMV)

Physikalische Anforderungen:

DIN IEC 529: Schutzart durch Gehäuse (IP-Code)

DIN IEC 68: Elektrotechnik; Grundlegende Umweltprüfungen

DIN 4762, ISO 4287: Oberflächenrauigkeit, Begriffe, Oberflächen und ihre Kenngrößen.

Chemische Anforderungen:

DIN IEC 68: Elektrotechnik; Grundlegende Umweltprüfungen

Geometrische Anforderungen:

DIN 4760: Gestaltabweichung, Begriffe, Ordnungssysteme

EN 22768-1: Allgemeintoleranzen, Toleranzen für Längen- und Winkelmaße ohne einzelne Toleranzeintragung

Brandverhalten:

UL 94: Prüfungen für die Entflammbarkeit von Kunststoffen für Bauteile in Einrichtungen und Geräten

IEC 695: Prüfungen zur Beurteilung der Brandgefahr; Richtlinie zur Bewertung der Brandgefährdung von elektrischen Erzeugnissen

Umwelt und Recycling:

Kreislaufwirtschafts- und Abfallgesetz, Bundesgesetzblatt Teil I, 6.10.1994, S. 2705ff.

Bild 2-29: Übersicht der relevanten Normen bei der Umsetzung von Schaltungsträgern im Einsatz in der Automotiven-Industrie.

2.3 Aufbau der Kfz-Elektronik

2.3.1 Derzeitige Aufbausituation

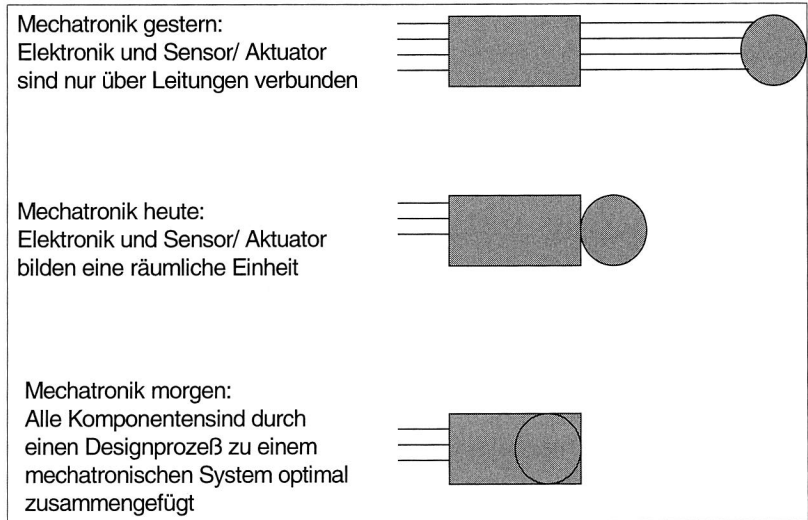


Bild 2-30: Entwicklung des Aufbaus der Elektronik im Automobil

Die Aufbausituation der Elektronik wurde stark geprägt von einer zunehmenden Elektronikausstattung der Fahrzeuge. Zu Beginn der Kfz-Elektronik umfaßte die Ausstattung lediglich Zündströme und betriebsnotwendige Ströme. Nach und nach wurden Funktionen (Licht, Fahrtrichtungsanzeiger, heizbare Heckscheibe etc.) in das Programm aufgenommen. Steuernde oder regelnde Funktionen waren nicht durch elektronische Stellglieder beaufsichtigt. Vergaser, Zentralverriegelungen, Heizung usw. wurden durch mechanische Lösungen geregelt. Heute ist nahezu jede Kenngröße in einem Fahrzeug elektronisch überwacht, gesteuert oder geregelt. Dies nicht als Selbstzweck, sondern zur Optimierung der jeweiligen Funktion. Elektronische Motorregelungen ermöglichen die Optimierung der Gemischaufbereitung, so daß moderne Katalysatortechnik anwendbar wird. Zudem können mechanisch aufwendige Regelsysteme, die entsprechend anfällig, wartungsintensiv und teuer sind durch einfache

Systeme mit Elektronik ersetzt werden. Viele Komfortfunktionen werden erst durch regelnde Elektronik zu vernünftigen Kosten und Aufwand realisierbar (Heizung, Klimasteuerungen, ABS, ASC, PDC etc.).

Dieser zunehmende Ausstattungsgrad an Elektronik stellt bei Beibehaltung der ursprünglichen Aufbautechnik des Bordnetzes und der Komponenten einen nicht mehr zu beherrschenden Umfang an Kabelbäumen und Komponenten dar. Die Integration ist der Grundgedanke, der in diesem Bereich für Abhilfe sorgt. Wie Bild 2-30 zeigt, werden Systeme gebildet, die Aktuator, Logik, Ansteuerung zusammenfassen. Über die Gänge des Fahrzeugs gesehen werden Busstrukturen aufgebaut, die die einzelnen Komponenten logisch miteinander verbinden und gleichzeitig Kabelbäume reduzieren helfen.

2.3.2 Strategische Ziele für die Zukunft

Neben der Optimierung der wirtschaftlichen Kenngrößen sind die Punkte Ergonomie, Bauraum-Packaging wichtige Punkte.

Wichtige Punkte in Zukunft bei der Fahrzeuggestaltung werden das Design und die technisch/ funktionalen Inhalte sein. Dieser Punkt betrifft die Elektronik, da sie einen wesentlichen Anteil an der Darstellung der Funktionen hat. Insbesondere bei der Innenraumgestaltung ist der Bauraumbedarf der Elektronik erheblich gestiegen, dieser Entwicklung Einhalt zu gebieten ist extrem wichtig, um Freiheiten für das Design zu schaffen.

Dezentralisierung:	Integration der Elektronik in den Aktuator.
Zentralisierung:	Zusammenfassung logischer Steuerungseinheiten zu einer Gesamtkarosserieelektronik
Integration:	räumlich benachbarter Bauelemente zu einer Einheit

Bild 2-31: Strategische Ziele für die Zukunft der Kfz-Elektronik. Im Vordergrund stehen Kosten- und Bauraum- sowie Zuverlässigkeitsaspekte.

3 **Ansatz zur Bewertung des Bauteilepotentials**

In der Praxis ergibt sich, insbesondere in der Anfangsphase der Beschäftigung mit der MID-Technologie, die Frage nach dem richtigen Projekt zur Erprobung, bzw. zum Sammeln von Erfahrungen, für die neue Technologie. Aufwendige Kostenkalkulationen und lange Gespräche mit diversen Herstellern folgen, und führen nicht selten zu einer nachlassenden Motivation sich mit der MID-Technologie auseinanderzusetzen. Der nachfolgende Ansatz soll einem Interessierten die Möglichkeit geben, ohne Hinzuziehen Dritter, eine erste Analyse zu treffen.

Voraussetzung für eine treffgenaue Bewertung ist die genaue Beantwortung der Detailfragen, die in gewissem Masse Wissen um die Charakteristik der MID-Technologie voraussetzt. Letztendlich muß der Einzelfall *immer* individuell beleuchtet werden, da ein Bewertungsschema nur einen gewissen Prozentsatz an Fällen abdecken kann. In Kapitel 3.3 werden einige Beispiele gegeben, die als Anhaltspunkt zur Bewertung dienen können. An ihnen wird auch ein Vergleich zur konventionellen Kosten- und Technologieanalyse hergestellt (vgl. Kapitel 7).

3.1 **Beschreibung der Bewertungseinflüsse und deren Gewichtung**

Bauteileanzahl

Die Anzahl zu bestückender Bauelemente wird in vielen Publikationen als ein wesentliches Kriterium dargestellt. Die Bedeutung wird somit vielfach überbewertet, wobei eine grundsätzliche Tendenz bei MID-Applikationen zu beobachten ist, die mehrere Ursachen hat. Bisher realisierte MID-Anwendungen haben eine geringe Anzahl an elektrischen Bauelementen, oder sind gänzlich ohne Bauelemente. Die Gründe dafür liegen zum einen in der geringen elektrischen

Komplexität der realisierten Systeme, was dadurch hervorgerufen wird, daß zum Einstieg in die Technologie überschaubare Komponenten ausgewählt wurden. Da die Bestückung der MID derzeit noch problematisch für Großserien ist, wird von einer hohen Bestückungsdichte abgesehen. Solange auf diesem Bereich keine befriedigenden Lösungen zur Verfügung stehen, trifft die Aussage zu, daß eine geringe Anzahl elektrischer Bauelement auf dem MID anzustreben ist.

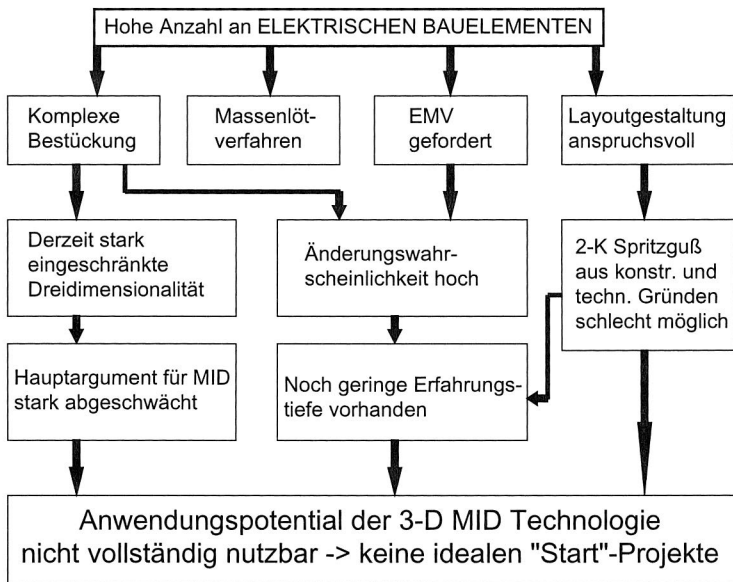


Bild 3-1: Die wirtschaftliche Realisierung von MID mit einer großen Anzahl an Bauelementen ist derzeit von Problemen begleitet.

Dennoch ist, bei entsprechender Gestaltung der Bestückfläche und der überragenden Bauteilgeometrie, im Zusammenspiel mit einer angepaßten Bestückungsanlage, die Bestückung großer Bauelementstückzahlen möglich. Zu achten ist in diesem Zusammenhang, wie bei allen Bestückaufgaben, auf eine möglichst optimale Nutzung der Bestückfläche des Bestücksystems - Bildung von Nutzen. Von der Seite der Herstellungsverfahren spricht kein Argument gegen ein Layout mit einer großen Anzahl an Bauelementen. Die Grenzen der Verfahren lassen entsprechende Bestückungsdichten zu. Einschränkend ist immer die wirtschaftliche Umsetzbarkeit. So ist die Optimierung bei Zweikomponentenspritzgußteilen mit hoher Bestückungsdichte zwar prinzipiell möglich, aber sehr zeitaufwendig, da diverse Fließ- und Abstützprobleme zu lösen sind.

Dieser Tatsache wird in der Bewertung mit einer Bandbreite von 20 bis -20 Punkten Rechnung getragen.

Bauelementgröße

Die Bauelementgröße entscheidet über die Leiterbreiten, die Abstände der Leiterbahnen untereinander und somit über die Auflösungsanforderungen an das Strukturierungsverfahren. Bezugnehmend auf die Bestückung ist die Reproduzierbarkeit in diesem Zusammenhang ebenso hervorzuheben. Mit abnehmenden Gehäuseabmessungen der Bauelemente muß die Bestückgenauigkeit zunehmen, der Ladeort für das Bauteil demzufolge mit geringen Toleranzen behaftet sein. Diese Positionsgenauigkeit ist durch mehrere Punkte, auch verfahrensbedingt unterschiedlich, bestimmt. Bei der Maskenstrukturierung ist die Positionierung der Maske der kritische Punkt, beim Heißprägen und Laserstrukturieren ist die Lagegenauigkeit des zu beprägenden Rohteils entscheidend. Die besten Voraussetzungen zur Einhaltung der Lagetoleranz bietet das Zweikomponentenspritzgießverfahren, wobei mit diesem Verfahren, bedingt durch die Darstellung der Leiterbahnen im Werkzeug, die Möglichkeit der Darstellung feiner Leiterbereiche jedoch am geringsten ist.

Als Bewertungskriterium geht die Bauelementgröße in der Form ein, daß danach unterschieden wird, ob die eingesetzten Bauelemente größer oder

gleich der Bauform c1206 sind, oder kleiner. Erfahrungsgemäß stellt diese Bauelementgröße eine Grenze dar, sowohl was die Strukturierung im 2K-Spritzguß betrifft, als auch die technischen Möglichkeiten des Bestückens anbelangt.

Eingang findet auch die Bauform der Bauelemente. Wie allgemein gültig ist die SMD-Technik in der Verwendung zu bevorzugen. Eine Mischbestückung THD mit SMD oder eine THD-Bestückung ist mit zusätzlichen Prozessschritten verbunden, die die Wirtschaftlichkeit beeinträchtigen.

Integrierbare mechanische Elemente

Als wesentliches Kriterium für die wirtschaftliche Realisierbarkeit einer MID-Lösung ist die Anzahl der integrierbaren mechanischen Elemente anzuführen. Hierunter sind Stiftleisten und deren Kragenanschlüsse, Führungen, Befestigungen ebenso zu verstehen wie Gehäuseteile, Schnapphaken, Leiterplatten-teilstücke, Abschirmbleche, Lampenhalterungen und vieles mehr.

Die Integration mechanischer Elemente stellt den Grundgedanken bei der MID-Technologie dar. In der Bewertung und der Gewichtung (Spreizung) wird deutlich, wie groß der Einfluß ist. Der Break-even-point liegt bei etwa acht integrierbaren Elementen, wobei deren Wertigkeit noch eingehender zu betrachten ist. Zu berücksichtigen ist in jedem Fall, daß die Komplexität der Lösung durch die Integration mechanischer Elemente nicht überproportional zunimmt. Eine Integration nur um der Integration Willen ist nicht zielführend im Sinne der MID-Technologie.

Der Anteil der integrierbaren mechanischen Bauteile muß nun im folgenden Punkt geklärt werden. Dabei wird die Summe der integrierbaren Bauteile den Gesamtkosten der Baugruppe gegenübergestellt. Entsprechend dem Anteil kann auf die Einsparung durch den MID-Einsatz geschlossen werden. Der Anteil sollte bei mindestens 20% der Gesamtkosten des Bauteils liegen. Wichtiger Punkt in diesem Zusammenhang ist die Integrierbarkeit des Steckerbereichs und der Steckerstifte. In Abhängigkeit von Geometrie und Strombelastung und

dem eingesetzten Strukturierungsverfahren ist zu entscheiden, ob die Steckergeometrie integriert werden kann. Eine teilweise Integration des Steckers, meist betrifft dies den Steckerschaft, -kragen, ist in den meisten Fällen möglich (Gestaltung von MID-gerechten Steckverbindungen in Kapitel 5 bei dem jeweiligen Herstellungsverfahren).

Die Integrationsmöglichkeit von Litzen ist ebenso zu berücksichtigender Bestandteil bei der Untersuchung einer MID-Applikationsidee. Die Kostenreduzierungen je eingesparter Litze beinhalten die Konfektionierung, Verlötung, bzw. Verbindung, Material- und Logistikaufwand. Zusätzlich werden potentielle Fehlerquellen (z.B. kalte Lötstellen durch starken Wärmeabfluß über die Litze) eliminiert.

Integration von EMV, Wärmeleitflächen

Die EMV-Abschirmung läßt sich, insbesondere bei komplettmetallisierten Bauteilen, in räumlich optimierter Gestalt integrieren. Ähnliches gilt für die Integration von Flächen zur Wärmeleitung.

Räumliche Anforderungen

Prädestiniert ist die 3-D MID Technologie immer dort, wo die konventionelle Technologie mit Leiterplatten Probleme hat, die räumlichen Anforderungen zu erfüllen. Abhängig von der Anzahl der Punkte, an denen Probleme mit der räumlichen Gestaltung auftreten, ergibt sich eine positive Bilanz für den Einsatz der MID-Technologie.

Mechanische Anforderungen

Die mechanische Belastung eines MID-Bauteils ist insofern zu beachten, da durch diese Belastung die Strukturierung beeinflusst werden kann. So kann die Belastung durch die Montage, die in der Regel nur einmalig auftritt vernachlässigt werden. Treten jedoch mehrmalige oder andauernde mechanische Belastungen auf, so ist dies zu berücksichtigen.

tungen auf, so ist zu überprüfen, inwieweit diese Einfluß auf die Funktionssicherheit haben können.

Verbindungstechnik

Die Montage der elektrischen Bauelemente ist ein sehr wichtiger Punkt bei Konzeption eines MID-Bauteils mit elektronischer Bestückung. Sehr große Einschränkungen an die Gestaltungsmöglichkeiten stellt die Festlegung auf das Wellenlöten dar. Die Bauelementefläche muß eben sein, und darf keine Hindernisse für die Lotwelle aufweisen. In der Bestückfläche dürfen keine lötschattenbildenden Gehäusepartien angebracht sein. Eine größere Gestaltungsfreiheit erlaubt das Reflowlöten, das Konvektionslöten bzw. das Dampfphasenlöten. Die Gestaltungsfreiheit wird bei diesen Verfahren mehr durch die Bestückungsmöglichkeiten als durch das Lötverfahren eingeschränkt. Im Idealfall kann für das zu konzipierende Bauteil die Prozeßkette, zumindest teilweise, neu erarbeitet werden. Im Rahmen dieser Neuanlegung ist die Entscheidung für ein Lötverfahren frei, was die Möglichkeit ergibt, Verfahren wie Microwave oder Solder Printing zu wählen. Diese erlauben eine gute Anpassung an die vom Bauteil vorgegebenen Geometrie. Weiter ist zu berücksichtigen, wie die Umsetzung des Lötverfahrens am konkreten Bauteil Probleme bereitet. Sind diese Probleme konstruktiver Natur sollte darüber nachgedacht werden, ob nicht der Wechsel auf ein anderes Lötverfahren oder das Heißkleben möglich ist. Bestehen die Probleme bei der Werkstoffauswahl, so ist zu überprüfen, ob auf einen höher temperaturfesten Werkstoff, bei bleibender Wirtschaftlichkeit, übergegangen werden kann. Letztendlich muß wiederum die Kostenseite optimiert werden, entweder indem das Lötverfahren der Temperaturbelastbarkeit des Werkstoffes angepaßt wird, oder indem die Werkstoffauswahl den Temperaturbelastungen des Lötverfahrens angeglichen werden.

Stückzahl

Wichtiger Punkt bei jeder Rentabilitätsbetrachtung ist die zu erwartende Stückzahl. Im Einzelfall muß, je nach Herstellungsverfahren, dieser Punkt individuell geklärt werden. Aufwendige Werkzeugtechnik amortisiert sich erst bei hohen

Stückzahlen, kann dann jedoch erhebliche technische, und wirtschaftliche, Vorteile bringen. Dieser Punkt ist besonders im Hinblick auf die konventionelle Leiterplattentechnik zu betrachten. Der Aufwand an Korrektur und Änderung ist bei nahezu jedem MID-Herstellungsverfahren höher, als bei konventioneller Fertigungstechnik, was bei geringen Stückzahlen zu einem geringen Handlungsspielraum führt, da die Entwicklungskosten immer auf das Bauteil, und damit auf die Stückzahl umgelegt werden müssen.

Varianten

Die Anzahl der zu realisierenden Varianten ist im Zusammenhang mit der Stückzahl zu sehen. Bei hoher Stückzahl besteht die Notwendigkeit, mehr als eine Werkzeugkavität bereit zustellen. Somit können weitere Varianten verwirklicht werden, ohne zusätzliche Werkzeuge aufgrund der Varianten anzuschaffen. Die Splittung einer Gesamtstückzahl in mehrere Einzelstückzahlen der Varianten muß somit generell keinen Nachteil bedeuten.

Stanzgitter

Sind in der konventionellen Lösung bereits Stanzgitter-, Lead-frame- oder ähnliche Lösungen im Einsatz ist sehr kritisch zu prüfen, ob der MID-Einsatz wirklichen Fortschritt liefern kann. Die zunächst nicht monetär faßbaren Vorteile sind zu beleuchten und abzuwägen. So ist durch den MID-Einsatz eine Reduzierung des Gewichtes der Baugruppe möglich. Stanzgitter finden ihren Einsatz in Bauteilen, die räumliche Anforderungen stellen, die mit einer Leiterplatte nicht mehr ökonomisch dargestellt werden können, und eine relativ geringe Leiterbahndichte aufweisen. Die Bestückung klassischer Stanzgitter ist nicht üblich. In Fällen, wo dies erforderlich ist werden meist konventionelle Leiterplatten auf dem Stanzgitter appliziert. Wie in Kapitel 2.2 ausführlich beschrieben stellt die „Lead-frame“-Technologie ein Bindeglied zwischen Stanzgittertechnologie und MID-Technologie dar. Bedingt durch die Materialstärke des Stanzgitters ergeben sich große Querschnitte für die Stromleitung, aber auch für die Ableitung von Wärme.

Stanzgittertechnologie zur Darstellung einfacher geometrischer Aufgabenstellungen, im Beispiel vorwiegend im Bereich der Kontaktierung

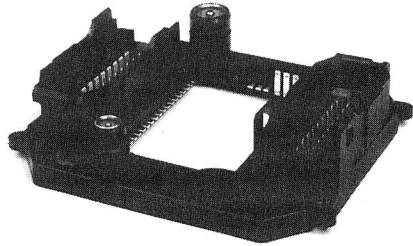


Bild 3-2: Beispiel für einen konventionellen Aufbau in Stanzgittertechnologie, Element eines ABS-Steuergeräts /116/

Schaltmechanik

Realisierungsmöglichkeit in Zusammenhang mit der MID-Technologie bieten sich durch die Anwendung von Schaltmatten. Diese Technologie ist jedoch nur für Steuerströme bis ca. 200mA anwendbar. Für Lastströme werden derzeit meist Schalterbausteine (Mikroschalter) eingesetzt, die in hohen Stückzahlen als Universalbauteile bezeichnet werden können. Durch die damit vorgegebenen Geometrien ergeben sich Probleme in der individuellen Gestaltung des Aufbaus.

Kundennutzen

Sicht- oder fühlbare Verbesserungen in der Bedienung der Optik, Haptik oder Funktionalität, die nur durch den Einsatz der MID-Technologie zu erreichen sind, müssen individuell bewertet werden. Die Bedeutung, die dem Zugewinn an Qualität beigemessen wird, kann somit weit von der angegebenen Wichtung abweichen.

3.2 Bewertungsschema

BESTÜCKUNG		
Anzahl elektrischer Bauelemente		
	0	20
	<5	0
	<10	-5
	<20	-10
	>20	-20
Größe der Bauelemente		
	≥ c1206	0
	< c1206	-10
Bestückungstyp	SMD	0
	THD	-10
	THD+SMD	-15
MECHANISCHE INTEGRATION		
Steckerintegration	komplett in Kunststoff darstellbar	25
	teilweise integrierbar, Zusatzteile o.ä. notwendig	10
	nicht integrierbar	-5
Anzahl der integrierbaren mechanischen Funktionsumfänge		
	1	-15
	2	-30
	3	-28
	4	-23
	5	-15
	6	-5
	7	0
	8	5
	10	11
	12	18
	14	25
	>14	35
Bedeutung (wirtschaftlich und funktionell)		
	10%	-30
	20%	-5
	30%	15
	40%	20
	50%	25
	> 50%	30
Integration von Litzen		
	ja	15
	nein	0
Räumliche Anforderungen		
	bei konventioneller Technologie nicht erfüllbar	25
	mit konv. Technologie schwer erfüllbar	15
	mit konv. Technologie aufwendig	10
	mit konv. Technologie ohne Probleme erfüllbar	0
Integration peripherer Funktionen ohne zusätzliche oder geringe Kostenverursachung möglich		
	0	0
	<3	5
	<7	15

<i>Integration von :</i>		
	<i>EMV-Funktionen</i>	10
	<i>Wärmeleitungsflächen</i>	10
<i>Mechanische Belastungen</i>		
	<i>nur bei der Montage</i>	0
	<i>kurzzeitig, geringe Belastung, dabei keine Leiterbahnen belastet</i>	-2
	<i>kurzzeitige Belastung, auch auf Leiterbahnen</i>	-7
	<i>Dauerbelastung, nicht auf Leiterbahnen</i>	-10
	<i>Dauerbelastung, auf Leiterbahnen einwirkend</i>	-17
<i>VERBINDUNGSTECHNIK</i>		
<i>Löten notwendig</i>		
	<i>nein</i>	30
	<i>Welle</i>	-20
	<i>Reflow / Konvektion</i>	-5
	<i>Selektiv</i>	5
	<i>frei wählbar</i>	10
<i>Lötverfahren</i>	<i>schränkt Gestaltung erheblich ein</i>	-30
	<i>bedingt die Wahl eines wesentlich teureren Werkstoffes</i>	-10
	<i>Stückzahlforderungen problematisch</i>	-10
	<i>Elektrische Bauelemente einschränkend</i>	-10
<i>WIRTSCHAFTLICHKEIT</i>		
<i>Stückzahlen</i>		
	<i>< 5000</i>	0
	<i><15000</i>	10
	<i>>15000</i>	15
<i>Variantenvielfalt</i>		
	<i>keine</i>	15
	<i>2</i>	15
	<i><5</i>	10
	<i>>5</i>	0
<i>Kundennutzen: Verbesserungen im Bereich</i>		
	<i>Bedienung</i>	5
	<i>Funktion</i>	5
	<i>Zuverlässigkeit</i>	5

Zur Bewertung einer MID-Konzeption im Vergleich zu einer konventionellen Lösung ist jeder Punkt zu bearbeiten. Für Punkte, die auf das Bauteil nicht zutreffen, soll die Punktezahl „0“ vergeben werden.

AUSWERTUNG:

Nach erfolgter Bewertung gilt es, die erreichte Punktzahl einzuordnen. Ein hoher Gesamtwert deutet auf ein hohes Potential für eine untersuchte MID-Anwendung hin. Es soll in diesem Zusammenhang bewußt keine weitere Einstufung / Klassifizierung vorgenommen werden, da keine scharfen Punktegrenzen bestehen.

3.3 Beispielbewertungen und Vergleich

Die Realitätsnähe des vorliegenden Bewertungsschemas kann nun anhand einiger Bauteile nachvollzogen werden.

Das erste Beispiel ist eine Schiebedachsteuerung, die in ihrer konventionellen Aufbautechnik viele mechanische Bauteile zur Darstellung der Funktion benötigt (vgl. Bild 3-3).

Potentiell MID-Bauteil mit vielen mechanischen Bauteilen wie:

- Stecker
- Abdeckungen
- Kabelverbindern

In Verbindung mit räumlichen Anforderungen.

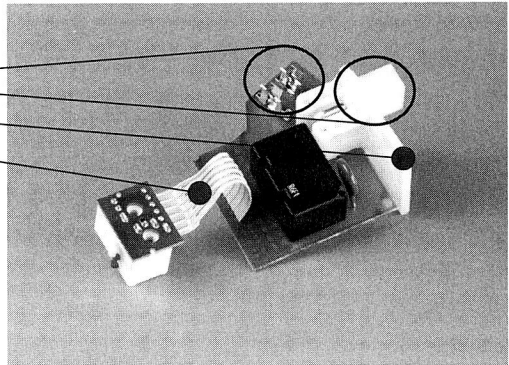


Bild 3-3: Schiebedachsteuerung in konventioneller Aufbautechnik als potentielles MID- Projekt bewertet.

Bewertung:

<i>BESTÜCKUNG</i>			
<i>Anzahl elektrischer Bauelemente</i>			
	<20	-10	-10
<i>Größe der Bauelemente</i>			
	≥ c1206	0	0
<i>Bestückungstyp</i>			
	THD+SMD	-15	-15
<i>MECHANISCHE INTEGRATION</i>			
<i>Steckerintegration</i>	komplett in Kunststoff darstellbar	25	25
<i>Anzahl der integrierbaren mechanischen Funktionsumfänge</i>			
	10	11	11
<i>Bedeutung (wirtschaftlich und funktionell)</i>			
	30%	15	15

<i>Integration von Litzen</i>			
	<i>nein</i>	<i>0</i>	<i>0</i>
<i>Räumliche Anforderungen</i>			
	<i>mit konv. Technologie aufwendig</i>	<i>10</i>	<i>10</i>
<i>Mechanische Belastungen</i>			
	<i>nur bei der Montage</i>	<i>0</i>	<i>0</i>
<i>VERBINDUNGSTECHNIK</i>			
	<i>Welle</i>	<i>-20</i>	<i>-20</i>
<i>WIRTSCHAFTLICHKEIT</i>			
<i>Stückzahlen</i>			
	<i>>15000</i>	<i>15</i>	<i>15</i>
<i>Variantenvielfalt</i>			
	<i>keine</i>	<i>15</i>	<i>15</i>
	<i>Zuverlässigkeit</i>	<i>5</i>	<i>5</i>
	<i>Sonstiges</i>	<i>5</i>	<i>3</i>

Die **Punktesumme von 46** zeigt ein erhebliches Potential für die Umsetzung in 3-D MID. In der wirtschaftlichen Gegenrechnung hat dieses Bauteil eine Einsparungspotential von min. 25% (vergleiche Kapitel 7) aufgezeigt. Die fertigungstechnische Realisierung bereitet zwar Anpassungsmaßnahmen, die jedoch auf Basis von großserienüblichen Anlagen darstellbar sind. Eine Verringerung der Durchsatzleistung, aufgrund geringerer Nutzungsgrade, ist bereits berücksichtigt. Die Reduzierung der Nutzenmöglichkeit in der Bestückung, Lötung und Lackierung wird jedoch durch die verringerten Aufwendungen für die Teilelogistik ausgeglichen. Wie die Analyse zeigt ist bei diesem Bauteil die hohe Anzahl an integrierbaren mechanischen Funktionen ausschlaggebend. Die Anzahl der Bauelemente ist relativ hoch, jedoch aufgrund der SMD-Bauform leicht darstellbar.

Als weiteres Beispiel dient ein sehr einfach aufgebautes Steckerelement. Dieser Deckel eines Diagnosesteckers, der in jedem Fahrzeug zum Einsatz kommt, schließt mehrere Stromkreise im gesteckten Zustand kurz. Die Kurzschlußbrücken sind auf einer gefrästen Leiterplatte mit verlöteten Steckern dargestellt.

Konventionelle Konstruktion ohne montierte elektronische Bauelement, lediglich bestehend aus:

- Grundträger
- Leiterplatte mit gelöteten Pins

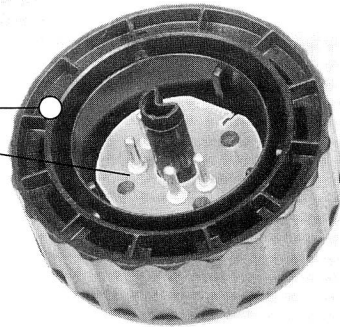


Bild 3-4: Der Diagnosestecker-Deckel ist bedingt durch eine geringe Anzahl an zu bestückenden Bauteilen für eine MID-Anwendung prädestiniert.

Die **Gesamtpunktzahl von 78** dieses Bauteils deutet auf ein Rationalisierungspotential hin, das, wenn es konsequent genutzt wird, zu einer nicht unerheblichen Einsparung führt. Die hohe Stückzahl rechtfertigt auch den Einsatz von sonderangefertigten Anlagen, sofern diese in der Investitionssumme im Rahmen der Jahreseinsparungsquote sich amortisieren können. Ein zu montierender Widerstand macht die Lötfreiheit des Bauteils zwar zunichte, aber dennoch ist die Einsparung der FR-4 Leiterplatte ein Potential, das es zu nutzen gilt. Dieses Beispiel zeigt, daß die Anzahl der integrierbaren Bauteile nicht zwangsläufig ein Hauptkriterium sein muß. Obwohl diese in diesem Fall eher gering ist, kann von einem aussichtsreichen MID-Konzept gesprochen werden.

Aus der Lichttechnik dient ein Lampenträger als Beispiel für die Bewertung. Das, als Stanzgitter aufgebaute Bauteil ist von der Anzahl der integrationsfähigen Bauteile prinzipiell für MID prädestiniert. Zudem muß das Bauteil nicht gelötet werden und sitzt an einem weniger dem thermischen Streß ausgesetzten Ort. Somit ergeben sich positive Randbedingungen für dieses MID-Konzept.

Lampenträger in Stanzgitter-technologie, gekennzeichnet durch komplexe Leiterführungen und Verbindungen. Hohe Werkzeugkosten werden durch geringe Stückkosten bei hoher Stückzahl aus-

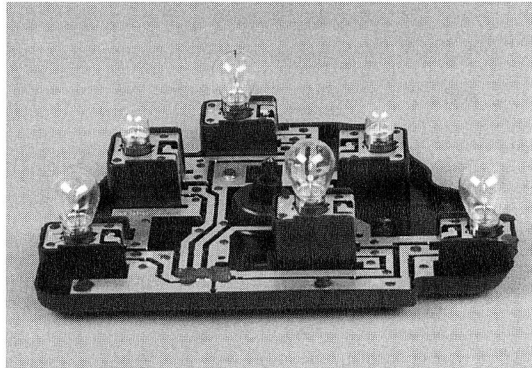


Bild 3-5: Lampenträger in Stanzgitter-Aufbautechnik.

<i>BESTÜCKUNG</i>			
<i>Anzahl elektrischer Bauelemente</i>			
	0	20	20
<i>MECHANISCHE INTEGRATION</i>			
<i>Steckerintegration</i>	komplett in Kunststoff darstellbar	25	25
<i>Anzahl der integrierbaren mechanischen Funktionsumfänge</i>			
	8	5	5
<i>Bedeutung (wirtschaftlich und funktionell)</i>			
	40%	20	20
<i>Räumliche Anforderungen</i>			
	mit konv. Technologie ohne Probleme erfüllbar	0	0
<i>Mechanische Belastungen</i>			
	kurzzeitige Belastung, auch auf Leiterbahnen	-7	-7
<i>VERBINDUNGSTECHNIK</i>			
<i>Löten notwendig</i>			
	nein	30	30
<i>WIRTSCHAFTLICHKEIT</i>			
<i>Stückzahlen</i>			
	>15000	15	15
<i>Variantenvielfalt</i>			
	2	12	12

Trotz des zunächst scheinbaren Potentials (**Punktezahl 108**) für MID bieten sich letztendlich nur wenig Integrationsmöglichkeiten an, so daß, insbesondere unter Berücksichtigung der Kosten für eine konventionelle Lösung, die MID-Lösung der partiellen Entscheidung bedarf. Sobald die räumlichen Anforderungen vergrößert werden, erhöht sich die Sinnfälligkeit der MID-Lösung (vgl. Bild

3-6). Da sich die Gestaltung von Lampenträgern sehr mit den Anforderungen des äußeren Lampendesigns verknüpft ist, bieten sich für künftige Karosseriekonzepte neue Möglichkeiten für die Gestaltung der Lampeneinheiten.

Für den Bereich der Schalter steht beispielhaft ein Sitzheizungsschalter, der hinsichtlich unterschiedlicher Realisierungsvarianten untersucht wurde. Der konventionell aufgebaute Schalter (vgl. Bild 3-6) beinhaltet eine Reihe von mechanischen Hilfselementen, die zunächst auf ein hohes Potential schließen lassen.

Konventionelle Aufbautechnologie eines Schalters mit:

- Gehäuse
- Montagerahmen
- Taste
- Lichtleiter
- Elektronikplatine
- Betätiger

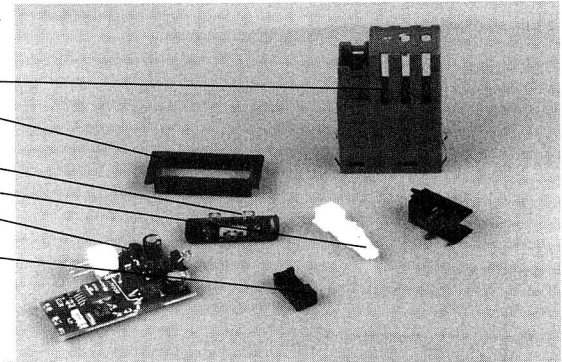


Bild 3-6: Sitzheizungsschalter in konventioneller Aufbautechnik als Untersuchungsobjekt hinsichtlich des Ratiopotentials in der Umsetzung als MID-Bauteil.

Die ersten Ansätze beschäftigt sich daher mit der direkten Umsetzung dieses Schalters. Aufgrund der Einbausituation entsteht der Gedanke nicht nur einen Schalter darzustellen, sondern alle Schalter in diesem Bereich.

Bei Vollausstattung (alle möglichen Schalter belegt) ist ein hohes Rationalisierungspotential zu vermuten. Neben der Reduzierung der Bauteile kann auch die Peripherie abgemagert werden. So können die einzelnen Litzen der Stromversorgung für die Suchbeleuchtung, die Leistungsbausteine der Sitzheizung und weitere Elektronikbauteile im Inneren des Schalterblocks ersatzlos entfallen, da eine gemeinsame Nutzung einer Litze durch alle Schalter möglich ist.

BESTÜCKUNG			
Anzahl elektrischer Bauelemente			
	>20	-20	-20
Größe der Bauelemente			
	< c1206	-10	-10
Bestückungstyp			
	THD+SMD	-15	-15
MECHANISCHE INTEGRATION			
	teilweise integrierbar, Zusatztteile o.ä. notwendig	10	10
Anzahl der integrierbaren mechanischen Funktionsumfänge			
	7	0	0
Bedeutung (wirtschaftlich und funktionell)			
	30%	15	15
Integration von Litzen			
	nein	0	0
Räumliche Anforderungen			
	mit konv. Technologie aufwendig	10	10
Integration von :			
	Wärmeleitungsflächen	10	10
Mechanische Belastungen			
	nur bei der Montage	0	0
VERBINDUNGSTECHNIK			
	Reflow / Konvektion	-5	-5
WIRTSCHAFTLICHKEIT			
Stückzahlen			
	>15000	15	15
Variantenvielfalt			
	>5	0	0

Da die Vollausrüstung nur einen gewissen Anteil an den Fahrzeugverkäufen hat, müssen diverse Varianten berücksichtigt werden (in Kapitel 6 wird auf die Konzepte zu diesem Bauteil näher eingegangen). Die geringe Punktezahl von **10** Punkten deutet auf ein geringes MID-Potential hin. In der Tat hat auch eine Untersuchung mit einem Schalterhersteller das gleiche Ergebnis erbracht (vgl. Kap. 7)

4 Realisierungsszenario

4.1 Die Innovation 3-D MID - von der Idee zum Produkt

Die Realisierung eines Bauteils in einer neuen Verfahrens-Technologie steht immer im Wettbewerb gegen existierende Lösungen. Daher gilt es den Widerstand des Festhaltens an konventionellen Schemata zu durchbrechen.. Heutzutage ist der Fortschritt in immer kleineren und aufwendigeren Schritten zu realisieren. Beispiele aus der Elektronik sind zum Beispiel die SMD-Technik, Hybridtechnologie oder die Flex-Leiterplatten. Die MID Technologie beschreitet für die Elektronikproduktion einen neuen Weg (Thermoplastisches Basissubstrat, räumliche Gestaltung etc.) der zwangsläufig Skepsis hervorruft. Ungeklärte Fragen standen am Anfang vieler euphorisch begonnener Projekte und nicht selten waren mangelndes Verständnis für die Materie und vorschnelle Schlußfolgerungen und Aktionsweisen Gründe für gescheiterte Projekte.

Technologische Probleme:

- offene Fragen, fehlendes Erfahrungspotential
- Fehlende, bewährte Fertigungslösungen
- Materialeignungen und -typen nicht verfügbar
- teilweise gänzlich neu zu gestaltende Verfahrensketten
- Verfahren noch nicht für die Massenfertigung geeignet / erprobt

Menschliche, persönliche, strukturelle Probleme:

- mangelnde Risikobereitschaft
- fehlende Innovationskraft, -freudigkeit
- Ablehnung neuer Ideen / Technologien
- Abweisende Einstellung des Systemlieferanten
- Ressourcendefizit im Bereich Innovationsmanagement
- Informationsdefizit

Ablauftechnische, konstruktive Probleme:

- Ersatz einer konventionellen Lösung selten der zielführende Ansatz
- Wirtschaftlichkeitsansatz und -bewertbarkeit ungeklärt
- Erprobungsprozesse undefiniert
- Projektdauer unklar kalkulierbar
- Serienanläufe nicht realisierbar mit unklarer Risikobewertung und Terminsituation

Bild 4-1: Probleme bei der Umsetzung der MID-Technologie

4.2 **Ansatz der strategischen Aufbereitung der Technologieeinführung**

Der Einsatz der MID-Technologie erfordert daher eine eingehende Einarbeitung in die Thematik. So sind die Bereiche der Kunststofftechnik, Herstellungsverfahren und deren Möglichkeiten, Verbindungstechnik und Elektroniklayout im Vorfeld zu klären. Diese Arbeit soll einen Einblick und Überblick über diese Themen geben, der zu einem besseren Verständnis der Technologie, und insbesondere deren Möglichkeiten besser einschätzen helfen soll.

<u>Situation</u>	<u>Maßnahme</u>
1. Informationsmangel	Informationsbeschaffung, Messebesuche, Tagungen Lieferantenpräsentationen, Technologievorstellungen
2. Skepsis	Informationserweiterung, Bewertung der Tagungen, Präsentationen, Analyse der Einsatzmöglichkeiten, Vorbereiten von Pilotprojekten
3. Beispielsuche und Analyse	Analyse der Möglichkeiten der Technologie, Erarbeiten von Konzepten für Bauteile, Erweiterung der Informationen durch intensiven Gedankenaustausch, Erarbeiten eines eigenen Beurteilungsschemas für die Technologie, Überzeugungsarbeit bei Systemlieferanten
4. Pilotprojekt(e)	Erlernen des Umgangs mit der neuen Technologie, Sammeln praktischer Erfahrungen, Aufbau einer Wissensgrundlage, Weiterbeobachtung der Szene, Analyse anderer Bauteile der Technologie
5. Serienprojekt(e) - Ersatzlsg.	Umsetzen der Erfahrungen aus 4, Umsetzen zeitlicher Vorgaben, nur noch geringe Erweiterung des Basiswissens, enge Zusammenarbeit mit Systemlieferanten, Vorbereitungen und Sammeln von Erfahrungen für Serienbauteile ohne konv. Ersatz
6. Serienprojekt (Neuanlauf)	Erstellung genauer Ziele, Ablauf ähnlich einem konv. Bauteil, Sammeln von Erfahrungen durch mehrere Serienteile in unterschiedlichen Herstellungsverfahren
7. Technologie gilt als Standard	Beobachtung von Entwicklungsströmungen, neuen Materialien, und Gestaltungsmöglichkeiten

Bild 4-2: Vorgehensweisen bei der Umsetzung der MID-Technologie

Wie sich in der Entwicklung unterschiedlicher Bauteile gezeigt hat, haben sich drei Hauptströmungen bei der Umsetzung der 3-D MID Technik gezeigt. Wie in Bild 4-3 dargestellt ist das entscheidende Merkmal für den Erfolg und den Grad der Nutzung des Potentials der MID-Technologie der Ansatz. Je holonischer dieser Ansatz gewählt wird, desdo stärker tritt der „MID-Gedanke“ in den Vordergrund. Die Entwicklung und Konzeption unterschiedlichster MID-Bauteile hat gezeigt, daß der eins-zu-eins Ersatz einer Leiterplatte in den seltensten Fällen von Erfolg gekennzeichnet ist.

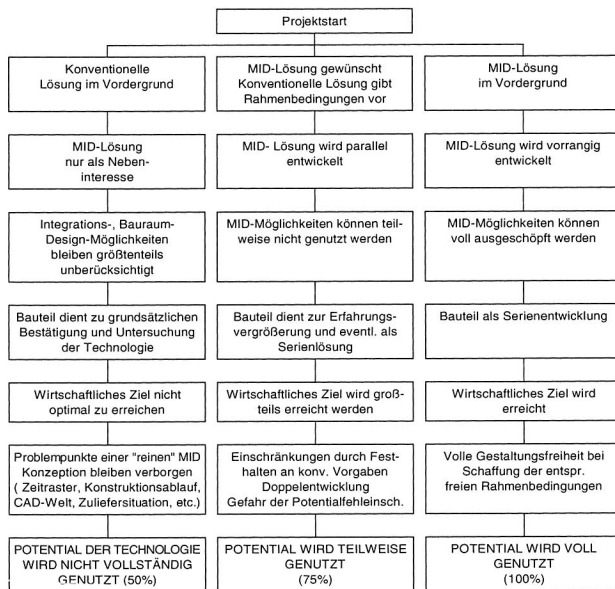


Bild 4-3: Unterschiedliche Ansätze zur Einführung eines Bauteils mit ihren Auswirkungen auf die Nutzung der Möglichkeiten der Technologie

So sind unterschiedliche Wege der „Einführung“ der Technologie möglich. Eine Ansatzmöglichkeit ist die gänzliche Neukonzeption auf die technologiespezifischen Bedürfnisse und Möglichkeiten hin. Dieser Weg bietet die größten Möglichkeiten der Nutzung des Potentials der jeweiligen Technologie, stellt jedoch zum anderen das größte Risiko dar. Für MID

bedeutet das Risiko, daß bei einer ausschließlichen MID- Betrachtung, die Notlösung einer konventionellen Lösung nicht, oder nur mit erheblichen Aufwendungen, möglich wird. Da Serienanläufe, und somit kritische Terminalsituationen, zu beachten sind, ist die MID-Technologie in der Kfz-Branche zwar auf großes Interesse gestoßen, jedoch ist aus oben genanntem Grund große Vorsicht zu beobachten.

Der Weg von einem Serienanlauf abgekoppelt eine Entwicklung neben der Serie zu entwickeln und damit Erfahrungen zu sammeln, ist die Methode die langfristig den größten Erfolg verspricht. Auf diese Weise können ohne Termindruck weitergehende Untersuchungen und Entwicklungen stattfinden. Nachteilig an dieser Vorgehensweise ist die Einschränkung der Konzeptionsfreiheit - oder der Kompatibilität zu einer existierenden konventionellen Lösung, abhängig davon, ob eine kompatible Ersatzlösung oder eine Neukonstruktion realisiert wurde.

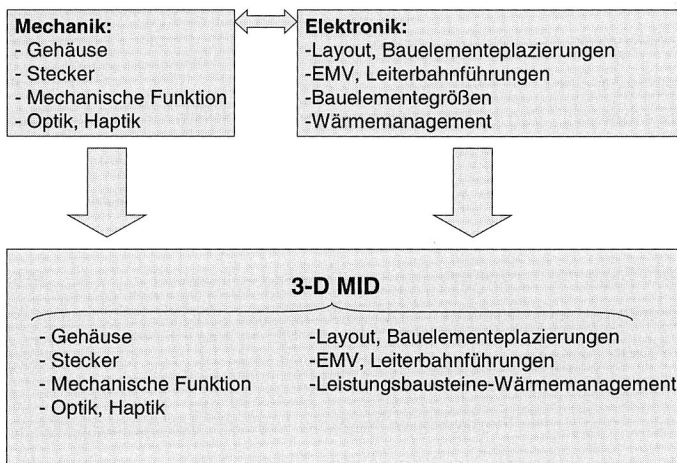


Bild 4-4: Die Integration der konstruktiven Bereiche Mechanik und Elektronik ist für die erfolgreiche Umsetzung einer MID-Idee unabdingbar notwendig.

So betrifft diese Forderung hauptsächlich die Organisation, was zu einer neuen Arbeitsweise in der Konzept- und Konstruktionsphase führen muß. Das Ineinandergreifen der mechanischen und elektrischen Funktionen, was nicht nur bei MID zum Tragen kommt (vgl. Lead-frame, Mechatronik allgemein), muß in den Entwicklungsabläufen wiedergespiegelt werden.

4.3 Umfeld der Realisierung innovativer Fertigungstechnologien

4.3.1 Ressourcen

Der Bereich der technischen Hilfsmittel ist in diesem Zusammenhang gesondert zu betrachten und zu optimieren. Die CA-Techniken haben besondere Bedeutung, da die Konstruktionsmittel entscheidend für die Qualität einer Konstruktion sind. Bisher noch ohne Lösung bei den derzeit existierenden CAD-Systemen ist die Darstellungsmöglichkeit von Leiterbahnen in einer mechanischen Konstruktion. Insbesondere trifft diese Thematik die Konstruktion von Zwei-komponentenspritzgießteilen. Die Platzierung von Bauteilen stellt sich derzeit als sehr aufwendig dar, da weder Bauteiledatenbanken noch die notwendige Verknüpfungslogik vorhanden ist. Ansätze /86/ zur Integration elektrischer CAD-Funktionalitäten in vorhandene CAD-Systeme werden von Hochschulinstituten und auch einigen Systemhäusern verfolgt, sind jedoch von einem Serieneinsatz noch weit entfernt.

Eine zusätzliche Problematik stellt die Vielzahl der Herstellungsverfahren dar. So ist ein auf das Zweikomponentenspritzgießen ausgerichtetes System für eine Konstruktion in Heißprägetechnik nur sehr bedingt geeignet.

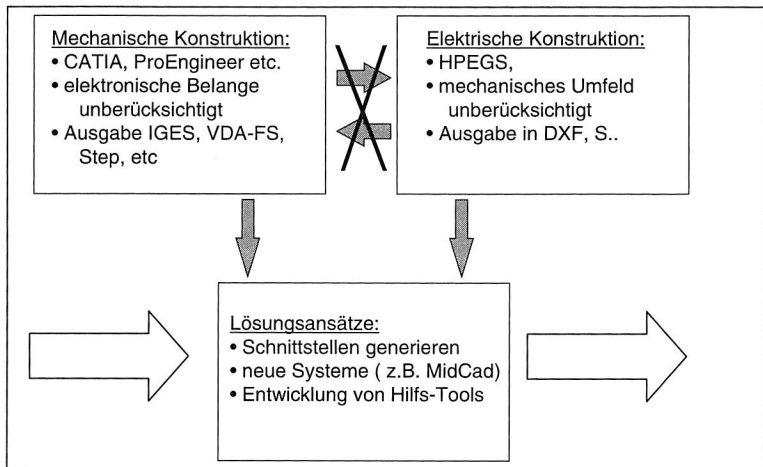


Bild 4-5: Die aktuelle CA-Welt bietet für die Konstruktion von 3-D MID Bauteilen keine durchgängigen Hilfsmittel an

So bleibt bei der Konstruktion nurmehr die Nutzung vorhandener Ressourcen. Eine Konstruktionskette kann dann zum Beispiel wie folgt aussehen:

1. Erstellung des mechanischen Bauteilkonzepts (grundlegende Abmessungen und Geometrien) *Mechanisches CAD*
2. Erstellung des Schaltplans und Umsetzung in ein Layout *Elektrisches CAD*
3. Anpassung des Layouts an die Geometrie des, in 1 erstellten Bauteils und Berücksichtigung des Herstellungsverfahrens (Durchkontaktierungen etc.) *Elektrisches CAD*
4. Übertragung des Layouts, der Bauelementeanordnung vom elektrischen CAD-System auf das mechanische CAD-System
5. Konstruktion der Leiterbahnen im mechanischen CAD-System.

Zur Gestaltung des Layout in Punkt 2 muß in Punkt 1 die Geometrie soweit vorbereitet werden, daß es möglich ist, die möglichen Bereiche für

Leiterbahnen und Bauelemente von der geometrischen Gestalt, als auch von den Abmessungen zu bestimmen. Diese Flächen müssen dann auf eine Ebene geklappt werden, da das elektrische CAD-System nur zweidimensional arbeiten kann. Um eine optimale Nutzung aller Bestück- und Leiterflächen zu gewährleisten, ist die Klappung aller Flächen in die Ebene des elektronischen Systems notwendig. Die sich ergebende Kontur wird der Layoutkonstruktion im E-CAD zugrundegelegt.

Berücksichtigt werden muß hierbei die:

- Möglichkeit der Durchkontaktierung im ausgewählten Strukturierungsverfahren
- Gewährleistung der Bestückbarkeit
- Bauelementeplatzierung nur auf ebenen Flächen
- Platzierung von Wärmeleit- und EMV-Flächen

Da für gängige CAD-Systeme keine Schnittstelle zu oder von E-CAD Systemen besteht, ist der Transfer meist nur durch Ausdruck und manuelle Wiedereingabe möglich, was fehleranfällig und uneffektiv ist. Lassen sich bei Herstellungsverfahren, bei denen die Strukturierung nur die Oberfläche beeinflusst (Laserstrukturierung, Heißprägen, Maskenstrukturierung) die Leiterzüge noch mit vertretbarem Aufwand erstellen, so erfordert die Konstruktion eines Zweikomponentenspritzgußteiles einen sehr hohen Aufwand, insbesondere dann, wenn eine große Anzahl an elektronischen Bauteilen zu platzieren ist. Die Optimierung der einzelnen Positionen und der Leiterverläufe ist sehr zeit- und arbeitsaufwendig. Bei der Gestaltung von 2K-Teilen muß zudem stets die Verarbeitung beachtet werden. Wie in Kapitel 7 eingehend dargestellt wird, ist eine Reihe von Punkten zu beachten, wie zum Beispiel die Gestaltung der Fließwege, die Schaffung von Abstützungen oder Durchbrüchen.

Nach erfolgter Konstruktion der Leiterbahnen und Platzierung der Bauteile muß im Anschluß die Restgeometrie des ersten, bzw. zweiten Schusses konstruiert

werden. Hierbei ist zu berücksichtigen, daß sich Änderungen am Layout auch auf diese Konstruktion auswirken werden. CAD-Systeme wie Pro-Engineer bieten die Möglichkeit mit einer „Cut out“-Funktion die innere Bauteilgeometrie von der äußeren abzuziehen, womit der Schritt „Hinzufügen bei Material A“ = „Abziehen bei Material B“ durch das System übernommen wird. Dies erleichtert die Konstruktion von Bauteilen, bei denen der erste Schuß das metallisierbare Material ist, und daher eine netzartige Stützkonstruktion darstellen muß.

Durch die 2K-Auslegung der Bauteilkonstruktion wird diese unübersichtlich und, bei großer Anzahl von Leiterzügen schwer handhabbar oder verifizierbar.



Bild 4-6: Konstruktion von 2K-MID-Bauteilen auf CAD am Beispiel Pro-Engineer

Ein Ansatz zur Lösung der Problematik ist ein CAD-System., welches eine neu Umgebung zur Konstruktion darstellt. Der Ansatz wendet sich insbesondere an die Konstruktion von 2K-Bauteilen, wobei jedoch auch die anderen Technologien Berücksichtigung finden. Grundlage für die Konstruktion kann ein, über Schnittstelle zu übertragendes Modell aus einem anderen mechanischem CAD-System darstellen. Im MIDCAD entsteht dann, mit Hilfe eines komfortablen Editors, die Leiterbahnstruktur. Durch eine komfortable Gestaltung der Leiterbahnverläufe, und insbesondere deren einfache

Editierung ist die Leiterbahnanordnung einfach und schnell ermöglicht. Diese Funktionalität ist auch auf räumlichen Körpern möglich, soweit Leiterbreite und Baülementeplatzierung dies zulassen.

Zu berücksichtigen gilt es jedoch, daß bei Änderungen an der mechanischen Geometrie des Bauteils die Leiterbahnanbringung ebenso modifiziert werden muß, bzw. zumindest teilweise neu erstellt werden muß.

Nach der Konstruktion muß auch die Serienerprobung und die Qualitätssicherung sichergestellt werden. Diese Themen werden in Kapitel 8 näher betrachtet.

4.3.2 Organisation

Das Denken der umsetzenden und projektverantwortlichen Ingenieure wird wesentlich beeinflusst durch die sie umgebende Struktur, Hierarchie und vorherrschende Denkweise.

Zu unterscheiden gilt es unterschiedliche Eingruppierungen in den Innovations- und Produktivitätsprozess. Abhängig von der Auslegung der jeweiligen Stellenbeschreibung ist auch die entstehende Erwartungshaltung.

Ein in der Serienentwicklung tätiger Mitarbeiter wird an Terminen, Kosten und Qualität gemessen. Die Innovationskraft und dessen Potential stehen im Hintergrund.

Anders ein Mitarbeiter in einer innovationsorientierten Position. Da an diesen Stellen nicht aufgrund der Serienprojekte die Güte des Mitarbeiters beurteilt und gemessen werden kann, ist die Innovationskraft der Massstab. Der entscheidende Punkt bei dieser Betrachtung ist jedoch die Messbarkeit der Innovation. Dieses Problem führt zu Fehlinterpretationen in der Darstellung der Innovationstätigkeit der Mitarbeiter. Im Laufe der Tätigkeit wird der eigentliche Sinn der Innovation in den Hintergrund gedrängt. Das originäre Ziel die Innovation in die Serie zu überführen wird aus den Augen verloren und das jeweilige Projekt dient nurmehr als Kulisse der Arbeitsplatzbeschreibung.

Die Trennung der Vorentwicklung von der Serienentwicklung im organisatorischem Sinne wurde daher bei vielen Unternehmen beendet und zu einer Einheit verschmolzen, mit dem Effekt, dass nunmehr die Serienentwicklung aufgrund deren immer aktueller Thematik die Vorentwicklung in den Hintergrund gedrängt hat. Die zunehmend schwächer werdende Personaldecke und der permanente Rationalisierungs- und Einsparungsdruck haben diese Entwicklung forciert. Neu entstanden sind "think tanks" und workshop-ähnliche Ausgliederungen aus Unternehmen. Standorte an innovationstreibenden Orten (z.B. Silicon Valley) sind als weiterer Innovationlieferant in das Netz der Innovationsmaschinerie integriert. Das generelle Problem bleibt jedoch die Umsetzung in die Serienentwicklung. Bedingt durch die weitere Verkürzung der Entwicklungszeiten für neue Produkte ist der Druck in der Umsetzung entsprechend vergrößert, so dass die Berücksichtigung innovativer Technologie, gerade im nicht sichtbaren Bereich, aus Angst vor Versagen, unterlassen wird. Diesen Kreis zu durchbrechen, ist die Aufgabe der Organisationsstruktur und der Unternehmensführung.

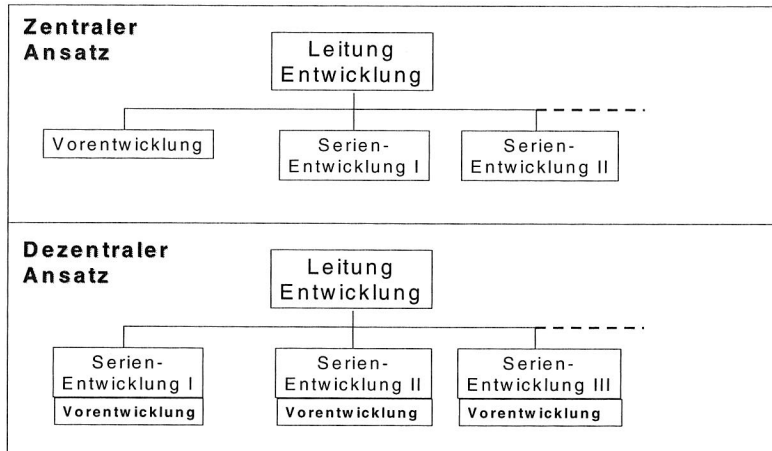


Bild 4-7: Organisation mit ausgelagerter Vorentwicklung im Vergleich mit einer entwicklungsintegrierten Vorentwicklung

Die Umsetzung innovativer Thema ist jedoch nicht allein organisationsabhängig. Eine breite Wissensbasis und die Bereitschaft der Mitarbeiter mit einer neuen Technologie das Umsetzungsrisiko einzugehen ist entscheiden. Daher ist die Überzeugungsarbeit, die im Vorfeld eines Projektes in einer neün Technologie dargestellt werden muss entscheidend.

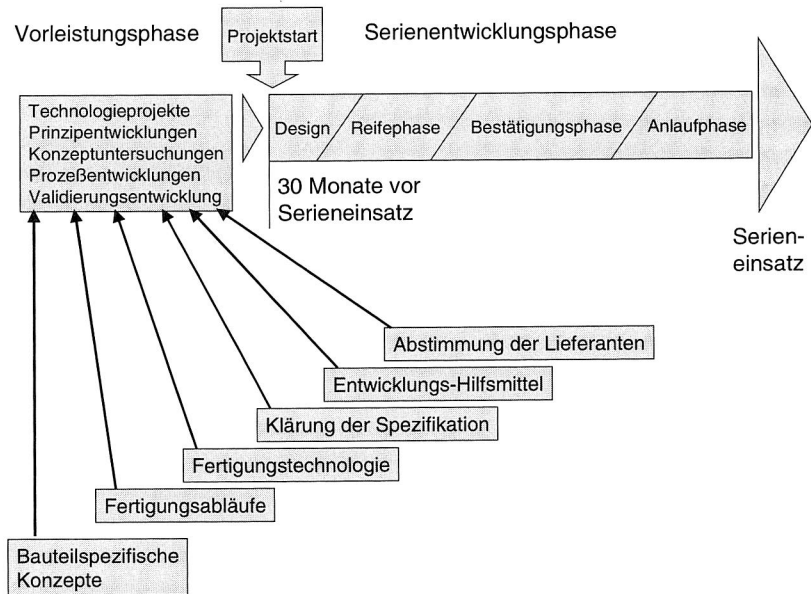


Bild 4-8: Notwendige Projektschritte in der Vorleistungsphase

Anhand des in Bild 4-8 gezeigten Terminplan wird die terminliche Situation deutlich. Zum Zeitpunkt der Konzeptfestlegungen muss die ausgewählte Technologie bestätigt und verifiziert sein. Während der Phasen nach dem Projektstart ist eine Bearbeitung als Vorentwicklung aufgrund der terminlichen Anspannungen nicht mehr möglich.

4.4 Umsetzungsstrategie MID

Die vergangene Entwicklung auf dem Bereich der MID-Technologie zeigt, dass der erhoffte Fortschritt oder Durchbruch bei einigen Projekten nicht in dem Masse eingetreten ist wie dies ursprünglich im Ausblick geplant war. Die jeweils initiierten Projekt sind alle dazu angelegt worden, die Erfahrungs-basis entsprechend zu erweitern.

Ein Abriss über die Historie bis in die Zukunft

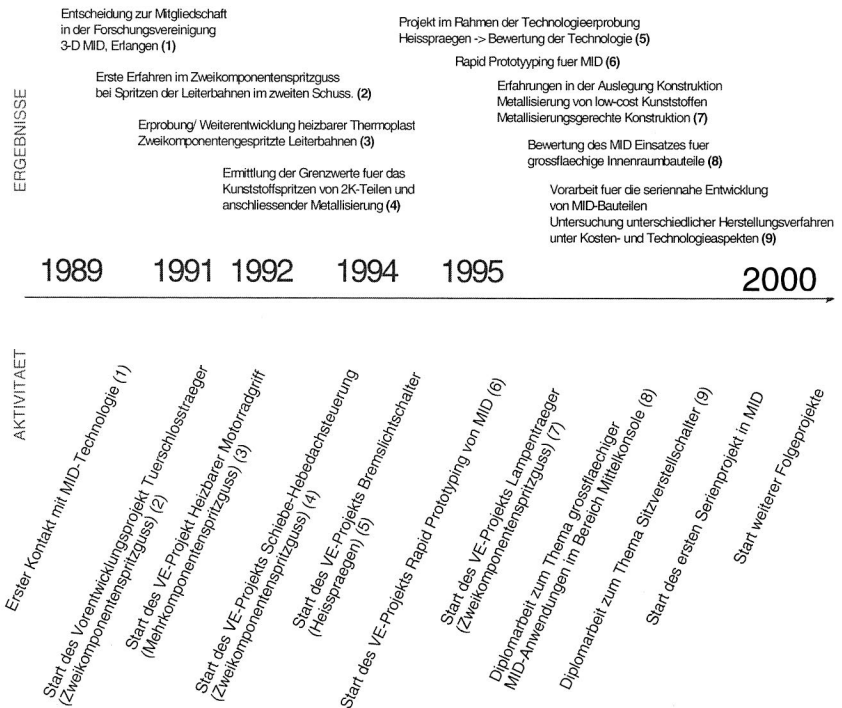


Bild 4-10: Erfahrungen und Ergebnisse aus den Aktivitäten der Vergangenheit

Wie viele Projekte gezeigt haben ist die direkte Überführung einer klassischen Leiterplattenlösung in ein MID-Bauteil in den meisten Fällen nicht zielführend. Es ist aus diesem Grund notwendig sich Strategien zurechtzulegen, die eine möglichst genaue Analyse der Situation erlauben um auf dieser Basis die Entscheidung für oder wider der MID-Technologie zu treffen.

Der Weg zu MID kann verschiedene Ursprünge haben. Der Weg ein abstraktes Problem lösen zu müssen ist der ideale. Hier sind ohne Beschränkungen durch eine bereits vorgegebene Lösung neue Denkansätze möglich. Der Gedanke der Integration kann bei diesem Vorgehen mit Sicherheit am besten eingebracht werden. Dieses Vorgehen hat eine Lösung als Ergebnis, die in dieser Ausführung nur in MID möglich ist. Sicherheit über die Verfahren und Durchführung sind hierbei unabdingbare Voraussetzungen für den Erfolg des Projektes. Da bei vielen Entwicklungen jedoch Unsicherheit über die Realisierbarkeit in MID-Technologie besteht werden Konzepte erstellt, die sehr nahe an die konventionelle Lösung anlehnen. Somit kann nur ein Bruchteil des Potentials der MID-Technologie ausgeschöpft werden. In einem ersten Schritt muß, unabhängig von der Ausgangslage, die Systemumgebung betrachtet werden. Integrationsmöglichkeiten sind zu bewerten und in die Bauteilkonzeption miteinzubeziehen. Anschließend sind die fertigungstechnischen Möglichkeiten zu klären und die Wirtschaftlichkeitsaspekte zu überprüfen. Neben der Optimierung der wirtschaftlichen Kenngrößen sind die Punkte Ergonomie, Bauraum-Packaging wichtige Punkte.

Wichtige Punkte in Zukunft bei der Fahrzeuggestaltung werden das Design und die technisch/ funktionalen Inhalte sein. Dieser Punkt betrifft die Elektronik, da sie einen wesentlichen Anteil an der Darstellung der Funktionen hat. Insbesondere bei der Innenraumgestaltung ist der Bauraumbedarf der Elektronik erheblich gestiegen, dieser Entwicklung Einhalt zu gebieten ist extrem wichtig, um Freiheiten für das Design zu schaffen.

5 Anwendung der 3-D MID Technologie

5.1 Einsatzbereiche räumlicher Baugruppen

Die 3-D MID Technologie bietet vielfältige Einsatzmöglichkeiten in der Automobil-elektronik. Im Nachfolgenden werden die unterschiedlichen Bereich generell auf ihr Potential hin untersucht und an konkreten Beispielen Applikationsumsetzungen diskutiert.

- Lichttechnik (5.1.1)
- Steuerungen, Regelungen (5.1.2)
- Mechatronik (5.1.3)
- Innenraum-, Außenraumbauteile mit sekundären elektrischen Funktionen (5.1.4)

5.1.1 Lichttechnik

In diesem Bereich ist die Integration von Gehäuse- und Leiterbahnfunktionen ohne elektrische Bauelemente das Hauptbetätigungsfeld. Die konventionelle Aufbautechnik befaßt sich in diesem Bereich mit umspritzten oder montierten Stanz-Biege-Blechteilen. In dieser Technik können die Steckverbindungen durch klassische mechanische Verfahren, wie Bördeln, Crimpen, Nieten, etc. hergestellt werden. Die Stecker- und Gehäusebauteile sind aus Thermoplast hergestellt. Teilweise werden Elektronikplattformen in Form von Leiterplatten integriert.

Die zunehmende Forderung, die Intelligenz in den Aktuator zu ruft auch in den Lampen und Leuchten Veränderungen hervor. Insbesondere die räumliche Integration der Elektronik in die Lampen hat Auswirkungen auf die Gestaltung.

Als Beispiel für großflächige Bauteile dient ein Lampenträger, der eine direkte Umsetzung einer konventionellen Lösung bedeutet. Die Darstellung der Lampensockel, der Leiterbahnen und des Steckerbereiches in Kunststoff ist in diesem Beich ein weitreichende Entwicklung. Für neue Projekte kann eine wesentlich größere Freiheit in der Lampenpositionierung profitiert werden, da MID die Einschränkungen, die die

konventionelle Stanzgittertechnik hat, vermeidet. Neben den geometrischen Vorteilen ist die Wirtschaftlichkeit (vgl. Kapitel 7), die Rezyklierbarkeit und die Reduzierung des Gewichts entscheidend bei der Betrachtung und Bewertung des MID-Konzepts.

MID-Technologie bei Lampenträgern ermöglicht nicht nur neue räumliche Freiheiten, es werden neue Gestaltungselemente möglich, wie vereinfachte Lampenfassungen oder Variationen der stromführenden Leiter in Höhe und Breite als Designelement.

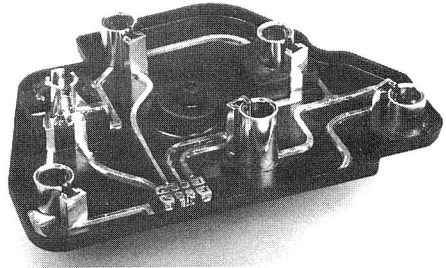


Bild 5-1: MID-Lampenträger für die Heckleuchte eines PKW

Neue Impulse im Bereich der Leuchten werden durch vermehrten Einsatz von LED und Lichtleitelementen initiiert. Durch deren komplexen räumlichen Einsatzmöglichkeiten und ihre Verfügbarkeit in Leiterplattenmontagetechnik ist die MID-Technologie in diesem zukunftssträchtigen Betätigungsfeld eine interessante Umsetzungstechnologie.

Nicht nur das Automobil stellt im Bereich der Heckleuchten ein Anwendungsgebiet dar, auch das Motorrad bietet viele Ansatzpunkte. In diesem Bereich sind die Integration der Litzen und Steckverbindungen wesentliche Punkte, die nicht nur die Bauteilkosten reduzieren, sondern auch die Montage nachhaltig vereinfachen. Eine Lampenkonfiguration eines Motorrads besteht typischerweise aus Rücklicht, Bremslicht und, je Seite einen Blinker. Die Blinkergehäuse und Leiter können in einen Grundkörper mit der Brems-, Rücklichteinheit dargestellt werden. Die dreidimensionalen Möglichkeiten lassen die Gestaltung durch den Designer weit offen und bietet ihm mehr Variationen zur Schaffung eines stimmigen Designs. Die Integration eines Steckers bietet sich an, was erhebliche Vereinfachungen der Montage zur Folge hat.

Die Lichttechnik der Außenhaut ist jedoch nicht der einzige Ansatzpunkt für MID. Die Beleuchtungseinrichtungen des Innenraums stellt weitere Themen zur Verfügung.

Beispiele sind die Leseleuchten, Türeuchten, die Innenlichtkombination und diverse Suchbeleuchtungen.

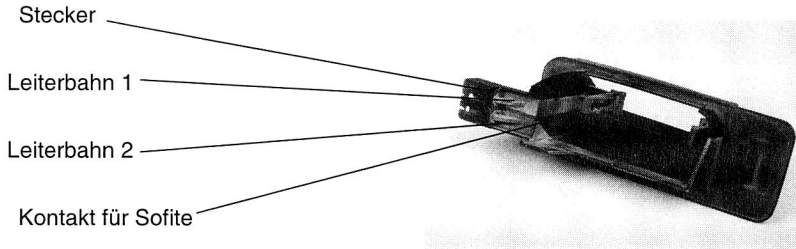


Bild 5-2: Halter für eine Sofiten-Leuchte (Zweikomponentenspritzguß) hier als Rapid Prototyping Bauteil dargestellt.

5.1.2 Steuerungen, Regelungen

Dieser Bereich, der im Automobil den größten Elektronikanteil darstellt, bietet unterschiedlichste Einsatzgebiete mit den verschiedensten Anforderungen. Um einen Überblick zu geben sind nachfolgend einige Beispiele aufgeführt:

- Integration der Steuerung in den Aktuator (Elektromotoren)
- Bauraumreduzierung durch Integration und / oder Veränderung des Aufbaus (ABS-Steuerung)
- Ersatz aufwendiger Stanz-Biege-Lösungen (Bereich ABS, Hydraulik, Pneumatik)

Von einem gänzlich anderen Ansatz ausgehend entstand der Prototyp für eine heißgeprägte Verdampferregelung. Die bisherige Lösung besteht aus einer Leiterplatte mit eingelöteten Steckerstiften (2,5mm rund). Die bestückte Leiterplatte wird in ein Gehäuseunterteil montiert und mit einem Deckel komplettiert. Entgegen der generellen Aussage, MID könne kein Leiterplattenersatz sein, entstand in diesem Beispiel eine derartige Lösung (vgl. Bild 5-3 und 5-4).

Kostenreduzierung um ca. 30% durch den Einsatz des Heißprägens, verbunden mit gelöteten Steckerstiften.

Die 35µm starke Folie wird vollautomatisch auf die zugeführten Rohkörper gepreßt.

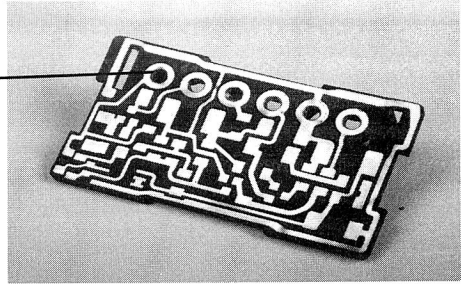


Bild 5-3: Verdampferregelung in MID-Technologie. Direkt auf den bereits vorhandenen Kunststoffträger wurden die Leiterbahnen nach geringfügigen Modifikationen aufgebracht.

Die Bestückung erfolgt, analog der konventionellen Lösung, die Steckerstifte werden von der leiterbahnabgewandten Seite montiert (Preßpassung) und mit den SMD Bauelementen verlötet. Im Bereich der Verbindung der Leiterbahnen mit den Steckerstiften muß gegen die Prägerichtung montiert werden, was Abhebungserscheinungen zur Folge haben kann.

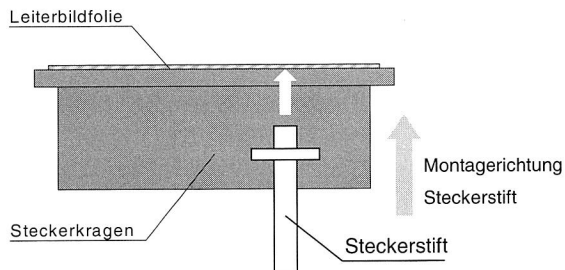


Bild 5-4: Montage der Steckerstifte. Durch die Montagerichtung können sich Ablösungen der Leiterbahnen bilden.

Als Lösung bietet sich eine spezielle Gestaltung der Leiterbahn in diesem Bereich an. Durch Anfasung wird eine geringere Angriffsfläche erreicht. Denkbar ist auch, die Steckerstifte bereits vor dem Heißprägen, zu bestücken. Somit werden die Stiften umprägt und ideal umschlossen, daß auch die Lötverbindung verbessert wird.

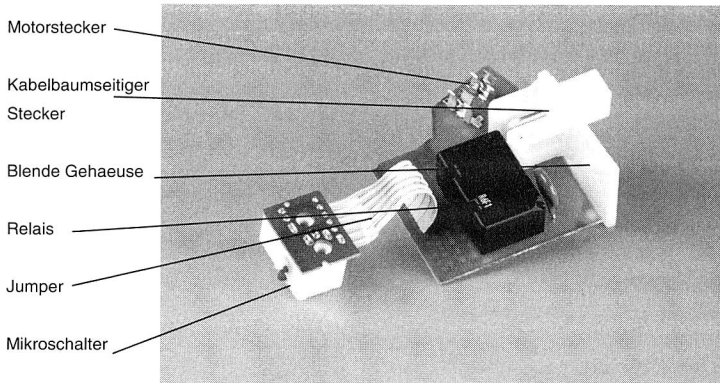


Bild 5-5: Schiebedachsteuerung in konventioneller Aufbautechnik

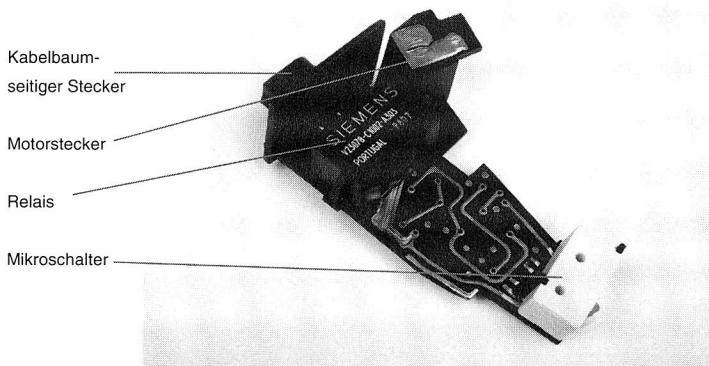


Bild 5-6: Schiebedachsteuerung als Zweikomponentenspritzgußbauteil

Bedingt durch fertigungstechnische Forderungen muß die Materialauswahl die Lötbadbeständigkeit, als auch die Bauteilkonstruktion die Anforderungen des Wellenlötens berücksichtigen.

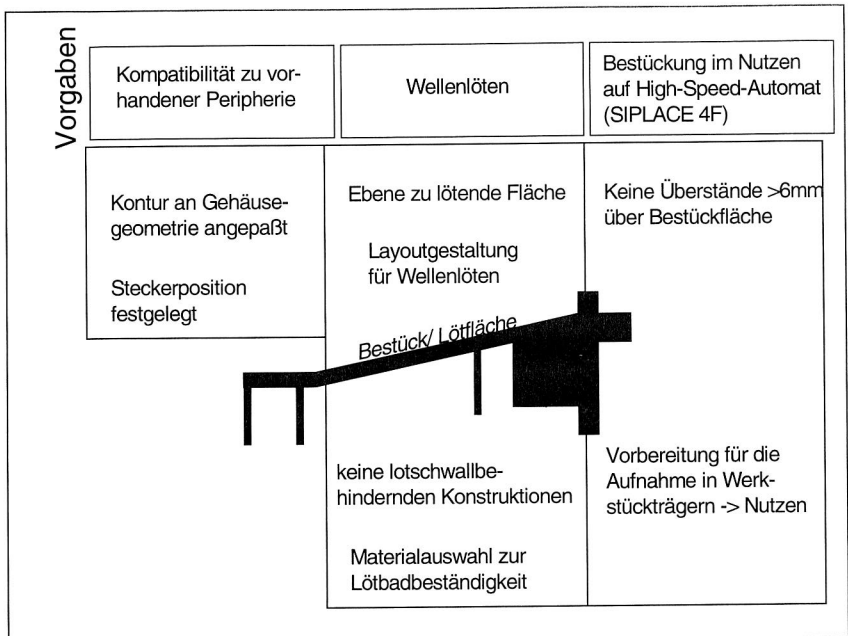


Bild 5-6: Die Vorgabe der Wellenlötbarkeit hat starken Einfluß auf das Design und die Materialauswahl bei der Konzeption der Schiebedachsteuerung

Für die Problemstellung E-Modul Schiebedach wurde eine PA-Kombination gewählt. Die metallisierbare Komponente ist ein 30%-Glasfaser-verstärktes Polyamid 6, welches in naturfarbe verarbeitet wird. Die Fließeigenschaften, die Dimensionsstabilität und insbesondere die gute Metallisierbarkeit zeichnen diesen Werkstoff für die Anwendung aus. Da es sich um eine Standardtype handelt ist die Kostenverursachung durch diese Komponente als sehr günstig zu bewerten. Die Untersuchungen zur Lötstabilität haben das Material als hinreichend stabil qualifiziert, insbesondere, wenn die Oberfläche metallisiert ist. Als problemreicher stellt sich die Auswahl und Verarbeitung der zweiten Komponente dar. Bedingt durch die sehr engen Leiterbahnabstände ergeben sich an vielen Punkten Füllprobleme. Wie in einer Füllstudie nachvollzogen werden kann wird in einigen Bereichen die Fließweglänge überschritten so, daß der zu füllende Zwischenraum offen bleibt.

Einen weitergehenden Ansatz stellt die gänzliche Integration der Elektronik in den Motor, bzw. allgemein den Aktuator, dar.

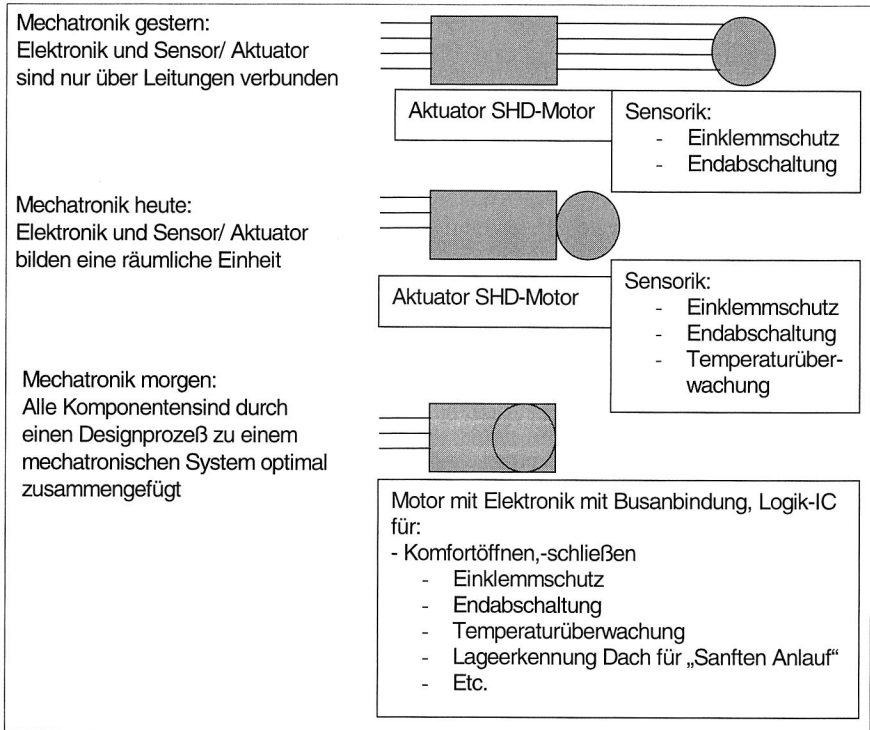


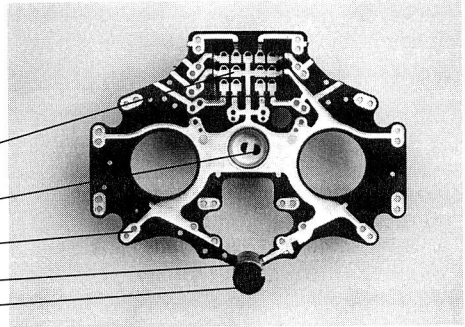
Bild 5-7: Strategie der Integration von Elektronik in den Aktuator am Beispiel Schiebebedach

Diese Integration hat die Adaptierung der Technologie des Aktuator zur notwendigen Konsequenz. Dieser Schritt ist zur integrativen Darstellung des Gesamtkonzeptes hinreichend. Der Ersatz von Stanz-Biege-Lösungen erfolgt in Anlehnung an die, mit dem Lampenträger vergleichbare, Technologie, wobei die räumlichen Gestaltungsmöglichkeiten noch weiter genutzt werden. Eine Serienumsetzung bei der Konzern-tochter Rover in einem Geländewagen zeigt den Einstieg der MID-Technologie in den Bereich der Sicherheitstechnik auf. Eine Steckerplatine mit den Aufnahmen für die Spulen stellt ohne Frage einen entscheidenden Schritt zur Verbreitung der Technologie dar.

Hohe Integration unter gleichzeitiger Erfüllung höchster räumlicher Ansprüche zeichnen dieses Bauteil aus.

Integration von:

- Steckerpins zum Fahrzeugkabelbaum
- Steckerpin zu Spulen
- Spulenaufnahmen
- Leistungsstecker
- Mechanische Aufnahme



Die Fertigung der Teile erfolgte zunächst in einer PA6 – PA12 Kombination, später, zur Verbesserung der Dimensionsstabilität mit einer PA6 – PBT Kombination.

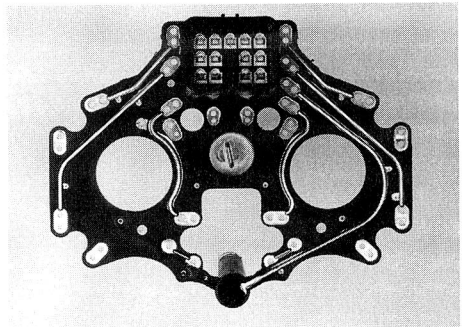


Bild 5-8: Spulenträger für einen ABS-Bremssystem in Zweikomponentenspritzguß (PA6 / PA66)

5.1.3 Mechatronik

Die Umsetzung von Schaltern, Tastern und mechanischen Gebern in MID-Technologie ist ein naheliegender Gedanke, betrachtet man den Aufbau dieser Komponenten (vgl. Bild 5-9). Charakterisiert man den Aufbau mechatronischer Bauteile, so bestehen sie aus folgenden Elementen:

- Logik (IC, Schaltungslayout)
- mechanische Ein-/ oder Ausgabeschnittstelle (=Benutzerschnittstelle)
- elektrische Schnittstelle
- mechanische Hilfselemente (Bewegungsumlenkungen, Blenden, etc.)

Die Integration weiterer Funktionen aus peripheren Bereichen soll ebenfalls mit in die Überlegungen zu diesem Thema mit einfließen.

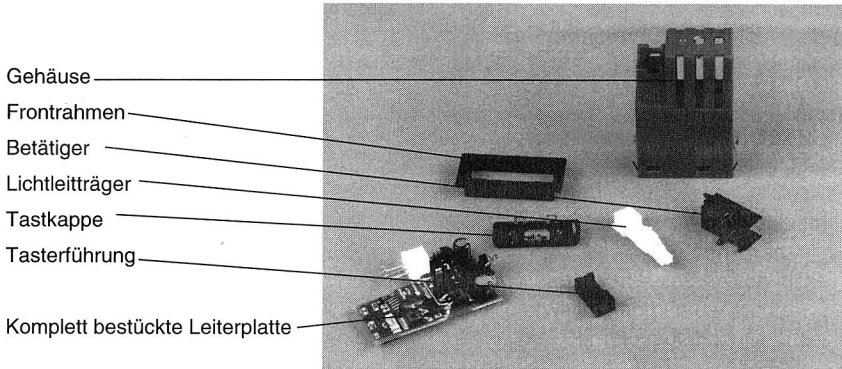


Bild 5-9: Konventionell aufgebauter Schalter mit Elektronik

Am MID-Beispiel in Bild 5-10 für mechatronische Bauteile. Sie verbinden die Gehäusfunktion und die Umsetzung einer mechanischen Auslösebewegung in ein elektrisches Signal.

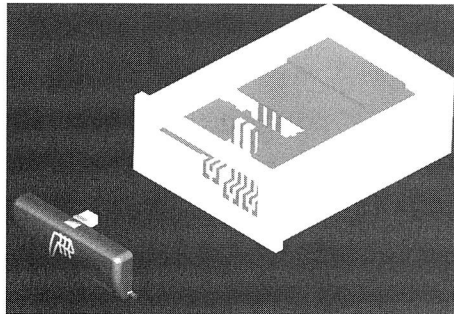


Bild 5-10: Sitzheizungsschalter als Zweikomponentenspritzgußteil mit laserstrukturierten Bereichen für die Elektroik - hohe Flexibilität und Auflösung als Ziel

Am Beispiel des Sitzheizungsschalter wurde die universelle Einsetzbarkeit des Grundsalters (Zweikomponentenspritzguß und Metallisierung) untersucht. Da die-

se Schalterbauform in unterschiedlichen Varianten (Sitzheizung, Sonnenrollo, PDC, ASC, EDC, Heckklappenentriegelung, TV-Fond) hergestellt wird, bietet sich die Möglichkeit, mit einem universell verwendbaren Schaltungsträger, der nur in seinem Elektroniklayout und der Bestückung variiert, eine erhebliche Reduzierung der Bauteile vorzunehmen. Leiterbahnen für die Funktions- und Such-LED, die Tastfunktion und der gesamte Steckverbindungsbereich können bereits durch die Spritzgießform hergestellt werden, da diese von Dimensionen geeignet sind, und feste Positionen in allen Varianten haben.

Als Beispiel für eine Anwendung, bei der die Entscheidung zugunsten des Heißprägens gefallen ist, wird der Bremslichtschalter, wie er in vielen Modellen zum Einsatz kommt, dargestellt. Der derzeitige Entwicklungsstand ging aus einer mechanischen Lösung zur Schaltrealisierung hervor. Die vorgehende Lösung basierte auf einem Aufbau, der dem eines Mikroschalters ähnelte. Entsprechend hoch war der Aufwand an Bauteilen.

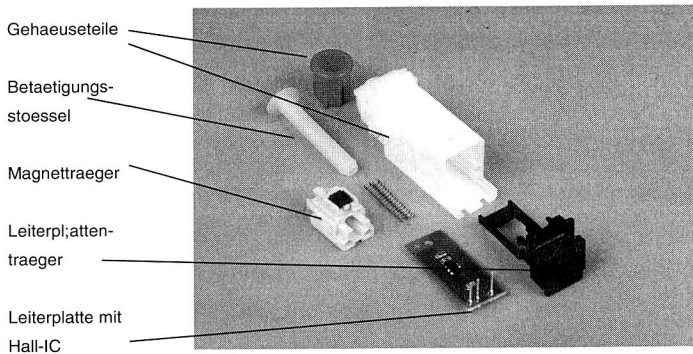


Bild 5-11: Bremslichtschalter in mechanischer, konventioneller Aufbautechnik

Für die einseitige Strukturierung der Leiterbahnen erscheint die Heißprägetechnik als die geeignete Technologie, da somit, unter Beanspruchung geringer Investitionskosten, die räumlichen Anforderungen erfüllt werden. Als Trägermaterial erscheint PA6, sowohl hinsichtlich der Temperatur-, als auch der Dimensionsstabilität als ausreichend.

Da die Leiterbahnanzahl gering ist, und die räumlichen Anforderungen sich lediglich auf eine Bestückung oder Montage beziehen, Durchkontaktierungen nicht notwendig sind, erscheint das Heißprägeverfahren als geeignet.

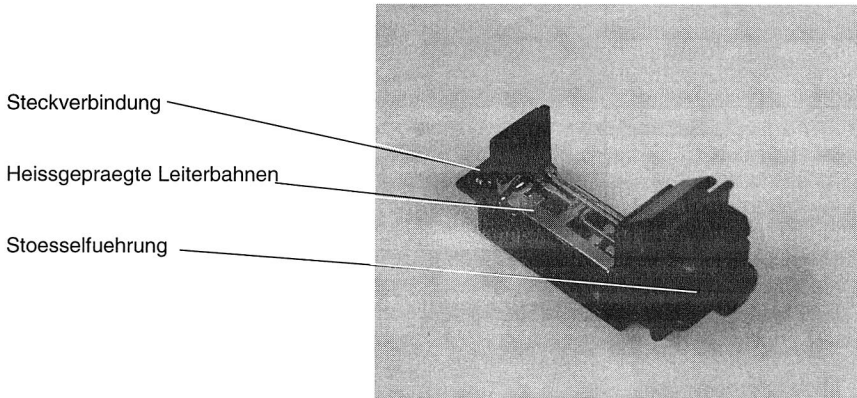


Bild 5-12: Bremslichtschalter in 3-D MID Heißprägetechnik

Durch die U-förmige Konstruktion wird die Montage der Bauteile, als auch der Heißprägevorgang, erschwert. In Abstimmung mit Fa. Bolta, die für die Heißprägetechnik federführende Verantwortung zeichnet, konnte durch Freisparungen eine Lösung für den Heißprägeprozeß gefunden werden. Da die Anzahl der elektrischen Bauelemente relativ gering ist, kann, mit Hilfe eines Sonderbestückers, eine automatisierte Montage erfolgen.

Die Realisierung der Steckverbindung ist bei dieser Konstruktion der Knackpunkt. Um die geforderte Steckerposition zu gewährleisten ist es notwendig, Steckerstifte in Winkelausführung zu beschaffen. Da auch diese Stifte eingepreßt werden sollen, müssen entsprechende Vorrichtungen an den Stiften vorgesehen sein (Haken). Es kann also bei dieser Lösung nicht auf eine Standardlösung zurückgegriffen werden. Die Fixierung der Steckerstifte erfolgt durch die Montage des Deckel-Bauteils, welches Führungen für die Steckerstifte beinhaltet. Um den Steckerkragen nicht zu teilen, was nach BMW Richtlinien nicht gestattet ist, wurde dieser komplett in den Deckel integriert, was zudem Vereinfachungen in der Entformung des Schaltungsträger-

Bauteils ermöglicht. Bei der Herstellung des Deckels verursacht die Integration der Steckverbindung keine werkzeugtechnischen Mehraufwendungen.

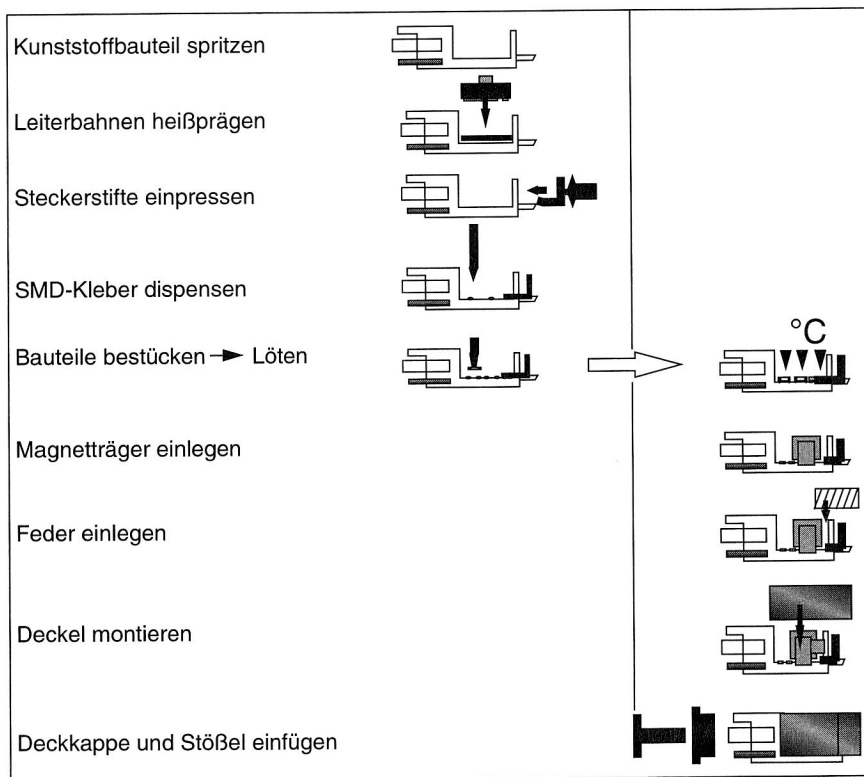


Bild 5-13: Fertigungsablauf für den Bremslichtschalter in Heißprägetechnik

Ein neu gestalteter Magnetträger, der in einer Führungsschiene läuft, kann in Zweikomponentenspritzguß hergestellt werden, daß heißt, daß der Magnet eingespritzt werden kann.

5.1.4 Innenraum-, Außenraumbauteile mit sekundären elektrischen Funktionen

Instrumententafel

Der Bereich der Instrumententafel beherbergt auf den ersten Blick viele elektrisch Funktionen und Verbindungen.

Die Vorteile einer Integration der Leiterbahnen bestehen in:

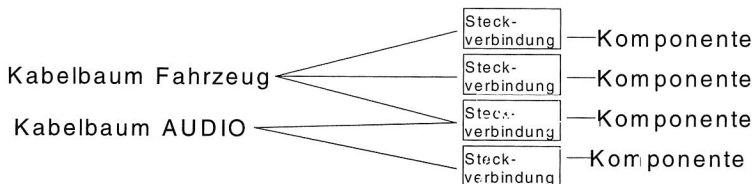
- der Vereinfachung der Montage am Band durch Schnapp-/Klemmverbindungen der Funktionselemente
- einer Gewichtseinsparung gegenüber dem herkömmlichen Kabelbaum
- der Erweiterung des Bauraumes durch Integration der Kabelumfänge.

Für die Variante ist festzustellen, daß als elektrisches Funktionselement in der I-Tafel nur die Instrumentenkombination sitzt. Deren komplette Integration ist aufgrund der Multilayer-Architektur dieses Bauteils technisch unmöglich. Realisierbar ist nur die Kontaktierung dieser Instrumentenkombination an die I-Tafel.

Diese Integration wirft folgende Probleme auf:

- *Kontaktierung (1x25poliger und 1x 32poliger Stecker in ELO doppelreihiger Ausführung) erfordert höchste Positioniergenauigkeit mit Folgeproblemen der Kontaktsicherheit über Lebensdauer etc. (Geringe Toleranzen zulässig...)*
- *Darstellung von Freisparungen für die oben genannte Kontaktierung bei der Umschäumung*
- *Räumliche Umsetzung mit dem gewählten Herstellungsverfahren (Heißprägen oder Folienhinterspritzen) nur mit hohem Aufwand möglich*

Konventionell



Modularer Cockpit-Kabelbaum

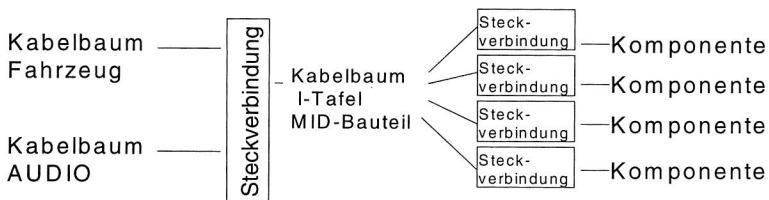


Bild 5-14: Derzeitige Verbindungssituation: eine Steckverbindung je Komponente (Beispiel: Audiosystem)

Weiter ist in diesem Bereich nur der Hauptkabelbaum sowie die Beifahrer-Airbagsteuerung an elektronischen Komponenten zu integrieren. Dies macht jedoch, wie im Falle der Instrumentenkombination keinen Sinn, weil sich damit die Anzahl der Steckverbindungen erhöht, und nicht, wie generell angestrebt, reduziert. Bild 5-14 versucht diesen Umstand anschaulich zu machen.

In der Summe führen die Nachteile:

- *Verdoppelung der Anzahl der Steckverbindungen (k.o-Kriterium)*
- *keine elektrischen Funktionen im Sinne der Mechatronik integrierbar*
- *Probleme durch sehr enge Toleranzketten*
- *Kontaktierung der Komponenten nicht gelöst/erprobt*
- *Schäumprozeß durch Freisparungen für Kontaktstellen erschwert*
- *keine Reparaturmöglichkeiten*
- *Handling der Bauteile durch alle Prozeßschritte aufwendig*
- *hohes Ausschußrisiko*
- *integrierte Leiterverläufe müssen alle eventuellen Ausstattungsvarianten berücksichtigen (auch zukünftige!)*
- *Fertigungsanlagen nicht erprobt*

zu der klaren Aussage, daß die Instrumententafel aus heutiger Sicht kein Potential für den Einsatz der MID-Technologie bietet.

Mittelkonsole

Die ähnliche Thematik wie die Instrumententafel trifft auch die Mittelkonsole, bzw. den Funktionsträger der Mittelkonsole. Die bloße Integration von Kabelbäumen führt zur Verdoppelung/ oder zumindest zu einer Mehrung der Anzahl der Steckverbindungen, was in jedem Fall zu vermeiden ist. Deshalb kann für die Bereiche Mittelkonsole und Funktionsträger nur die Integration elektrischer Funktionen Thema für MID-Applikationen sein.

Eine Möglichkeit bietet sich in der Integration aller Leiterbahnen für die Funktionen der Mittelkonsole. Diese umfasst im Beispiel je nach Modell 5 bis 8 Schalter (ASC, PDC, SHZ, etc.), die Klimasteuerung und die Audio-, bzw. Navigationssysteme. Des-

weiteren sind die Schalter Warnblinker, Zentralverriegelung und diverse Beleuchtungsfunktionen integriert. Aufgrund der Variantenvielfalt ist der Funktionsträger für Audio-/Navigationssystem und Klimasteuerung, mit teilweise nicht in Einklang zu bringenden Kombinationen nicht für MID geeignet. Die Darstellung aller Variationsmöglichkeiten ist nicht sinnvoll umzusetzen. Auch die Integration der verbleibenden Schalter in die Konsole ist nicht sinnvoll, da mit den Technologien Heißprägen und Folienhinterspritzen die erforderlichen Geometrien nicht dargestellt werden können, bzw. nicht alle Bauteile integriert werden können. Das hierfür geeignete Zweikomponentenspritzen verbietet sich aufgrund der notwendigen Galvanik und der komplexen Werkzeugsituation. Die Umsetzung der Schalterkombination als MID-Einheit (Insel-Lösung) ist derzeit ein Thema der Elektronikentwicklung, betrifft jedoch die Konsole als solches nicht.

Um Erfahrungen in der Gestaltung und der Prozeßgestaltung von großen Bauteilen zu gewinnen ist als Pilotprojekt eine Konzept für eine Mittelkonsole in MID aufgesetzt worden /119/. Entwicklungsbeteiligt daran waren Mittelkonsolenhersteller, Schalterlieferant, Kabelbaumhersteller, die Universität Erlangen-Nürnberg (Lehrstuhl für Fertigungsautomatisierung und Produktionssystematik) und die Forschungsvereinigung 3-D MID e.V.

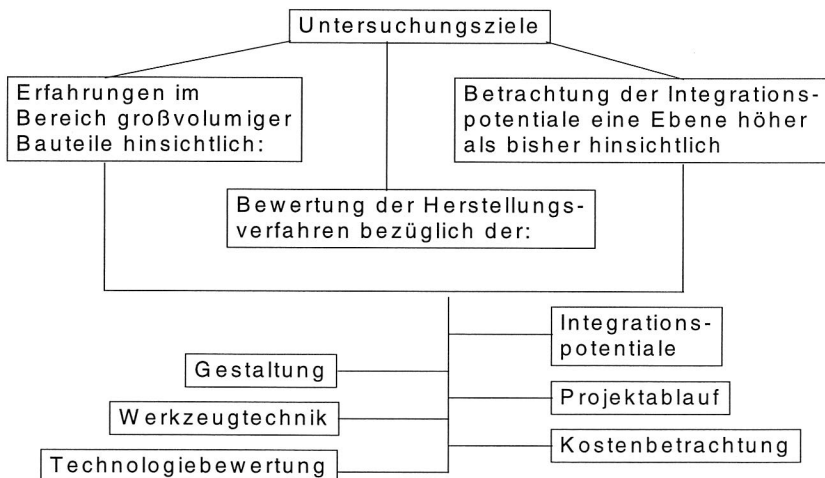


Bild 5-17: Ziele der Mittelkonsolenentwicklung

5.2 Konstruktive Gestaltung von räumlichen Schaltungsträgern

5.2.1 Bereich Steckverbindung

Stand der Technik

Die derzeitigen Systeme von Steckverbindungen beruhen alle auf der Integration einer Stiftleiste im Bauteil und einer Buchsenanordnung im kabelbaumseitigen Gegenstück (female). Um die unterschiedlichen Anforderungen des Einbauraums, der Litzenanzahl und der Strombelastungen abzudecken sind unterschiedliche Stecksysteme im Einsatz.

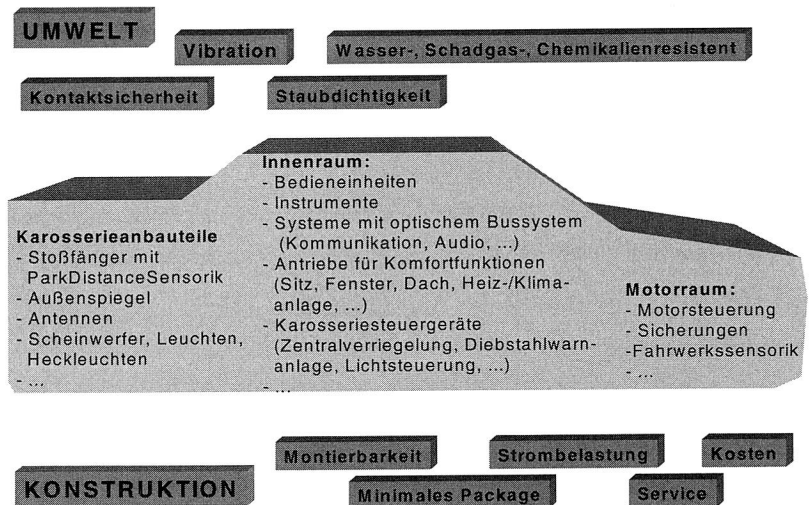


Bild 5-25: Einsatzbereiche und Kriterien für Stecker in der Wechselwirkung ihres Einsatzbereiches

Im Bild dargestellt ist eine Variante des 2,5mm Rundsteckverbinders, welcher sukzessive durch das kleiner bauende ELO-Stecksystem verdrängt wird. Neben dem Vorteil der Bauraumreduzierung bietet das ELO-System weitere Vorteile. Die Montage der Stifte, mit dem 2,5mm-System nur durch Verlöten erreichbar,

ist mit dem ELO Steckerstift (0,63mm-Pfosten) in Einpreßtechnik möglich. Damit ist die Gestaltung der Leiterplatte hinsichtlich der Auswahl der Bestückungs- und Lötseite mit größerer Freiheit bedacht. Für die Leitung von Leistungsströmen ist eine Ergänzung des ELO-Stecksystems eingeführt worden, welche die Integration von 2,5mm breiten Steckungen vorsieht (vgl. Bild 5-26).

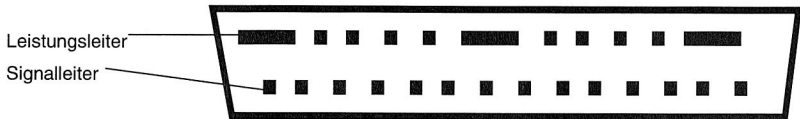


Bild 5-26: Power-ELO Steckverbindung zur Übertragung von Leistungs- und Signalströmen.

Für einige Anwendungsbereiche werden, der besonderen Einbausituation angepaßt, andere Steckverbindungen eingesetzt (z.B. Türsteckverbindung), die jedoch in der prinzipiellen Gestaltung dem oben genannten Merkmalen entsprechen.

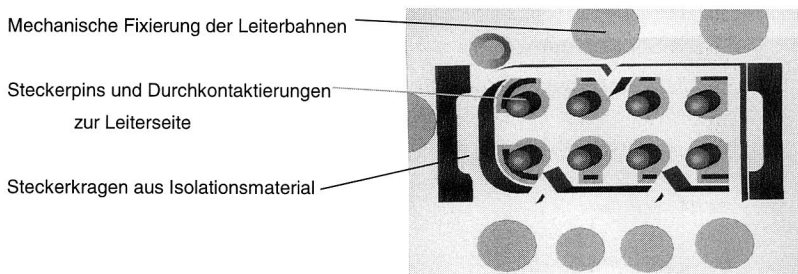


Bild 5-27: Steckverbindung in MID dargestellt als 2,5mm Rundstecker (Kunststoffgespritzt)

Die Umsetzung einer 2,5mm Rundsteckerverbindung in metallisiertem Kunststoff zeigt sich als geeignet in MID-Bauteile integriert zu werden (vgl. Bild 5-27). Die Gestaltung der Steckerstifte nutzt die Freiheiten in der Spezifikation der Stifte, um die Radien zu maximieren und die Oberfläche für das Spritzgießen

zu optimieren. Somit können Füllprobleme gelöst werden und die Steckerstifte von Kerbstellen befreit werden. Als Problem offenbart sich bei der Umsetzung die Gestaltung der Durchkontaktierungen, da die Platzverhältnisse auf dem Steckergrund sehr beengt sind. Die Leiterbahnführung über den Steckerkragen nach Außen verbietet sich aus Gründen der Kontaktabschirmung. Somit müssen innerhalb des Steckkragens alle Durchkontaktierungen untergebracht werden. Dabei darf die Stabilität der Steckerstifte jedoch nicht beeinträchtigt werden.

Trotz der Sicherheit gegen das Knicken der gespritzten Steckerstifte durch den Steckerkragen, als Führung und Verkantungsschutz, ist die Geometrie für spritzgegossene Steckerstifte nicht optimal. Wie die voran angesprochene Thematik dargestellt hat, ist es notwendig für den MID-gerechten Einsatz folgende Punkte bei der Konzeption zu berücksichtigen:

- Durchkontaktierungen mit genügendem Leiterquerschnitt
- Kontakte in die Wandungen integriert
- Verringerung des Platzbedarfs der Steckverbindung
- Variationen hinsichtlich der Pin-Anzahl möglich
- hohe Strombelastbarkeit sicherstellen
- spritzgußtechnisch problemlos realisierbar

Federnde, leitende Verbindung am kabelbaum-seitigen Stecker

Grosse Kontaktflächen im gehäuseseitigen Stecker

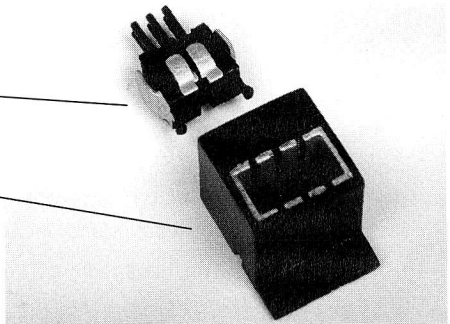


Bild 5-28: MID-gerechte Gestaltung einer 6-poligen Steckverbindung in Zweikomponentenspritzguß.

Basierend auf diesen Überlegungen ist ein Prototyp für ein MID-gerechtes Steckverbindingssystem entstanden. Durch die unterschiedlichen Charakteristika der Technologien ist für das Zweikomponentenspritzgießen ein eigenes System entwickelt worden. Für die weiteren Technologien ist entweder ein bestehendes System modifiziert worden, oder aber, wie nachfolgend beschrieben, ein neues System entwickelt worden.

Wie Bild 5-28 zeigt, ist der gesamte Bodenbereich des Steckers für die Durchkontaktierungen nutzbar. Für die Spritzgußverarbeitung ist diese Auslegung zudem von Vorteil, da die ausformenden Stifte für die Durchkontaktierungen größer dimensioniert werden können. Somit wird die Verarbeitung zuverlässig, sicherer beherrschbar und unkritischer gegenüber Parameterschwankungen. Für die Übertragung von Lastströmen besteht die Möglichkeit, die kurzen Seitenlängen komplett für diese Aufgabe zu nutzen, was der Aufteilung der Power-ELO-Steckverbindingssystems entspricht. Werden diese Kontakte nicht als Power-Kontakt benötigt, so besteht die Möglichkeit, auch in diesem Bereich einfachbreite Kontakte unterzubringen, was die Gesamtzahl der Kontakte jeweils erhöht. Für die Gestaltung des Layouts erweist sich der größere Abstand der Durchkontaktierungen und deren bessere Positionierbarkeit als positiv, dahingehend, daß die Leiterbahnführung in diesem Bereich wesentlich entzerrt werden kann.

Für die Realisierung eines Steckverbindingersystems in Laserstrukturierung, Heißprägen oder Maskenstrukturierung muß, aufgrund der Geometrie eine andere konstruktive Lösung gesucht werden.

Die Montage der Steckerstifte wird durch die Gestaltung der räumlichen Schaltungsträger zusätzlich erschwert, da zumeist der Steckerkragen mit in den Schaltungsträger integriert werden sollte und dieser im Fügeprozeß zu räumlichen Problemen führt. Hiermit ergeben sich dann Probleme die Stifte während der Montage zu positionieren, da das konventionell verwendete Werkzeug keinen Platz im Steckerkragen findet.

Eine Teilung des Steckerkragens ist aus Gründen der Kontaktsicherheit nicht gestattet, so daß sich nur die Möglichkeit einer Konstruktion mit einem zusätzlich zu montierenden Steckerkragen realisierbar ist.

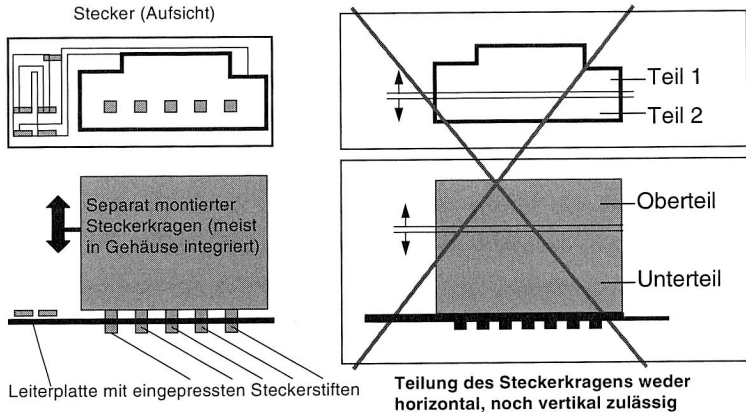


Bild 5-29: Eine Teilung des Steckerkragens im Wandbereich ist nicht zulässig. Die nachträgliche Montage, bei vorhandenen Positionierungen jedoch möglich.

Aufgrund der eindimensionalen Strukturierungsmöglichkeiten der Verfahren, zumindest nach dem aktuellen Stand der in und für Serien verfügbaren Anlagen, ist die Darstellung des kompletten Steckverbereichs in einem Spritzgußteil nicht möglich.

Durch die plane Führung der Leiterbahnen wird die Einbeziehung der Stecksystems für eine MID-Lösung wesentlich vereinfacht und damit letztendlich der MID-Einsatz gefördert.

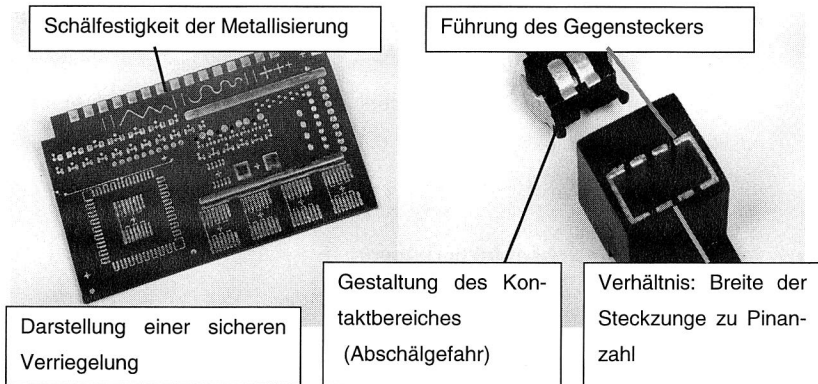


Bild 5-30: Überblick über die MID-gerechten Stecksysteme für die Technologien Zweikomponentenspritzguß (rechts) und Masken-, Laserstrukturieren und Heißprägen (links)

5.2.2 Bereich Durchkontaktierungen

In der Aufbautechnologie konventioneller Leiterplatten ist die Durchkontaktierung ein gängiges Werkzeug Layoutprobleme zu lösen und Platzproblemen zu begegnen, die durch EMV, Bestückung oder Temperaturentwicklungen entstehen. Mit der Einhausung der Leiterbahnen in Gehäusen ist die Durchkontaktierung somit nie mit der Umgebung in Berührung.

Aufgrund der Eigenschaften der MID-Technologie, Gehäusefunktionen zu übernehmen, wird das Thema der Durchkontaktierungen vor neue Herausforderungen gestellt:

- abgeschirmte Durchkontaktierungen (Gehäuseteil)
- Medienabdichtung von Durchkontaktierungen
- Durchkontaktierungen im Steckerbereich
- Durchkontaktierungen zur Herstellung elektrischer Verbindungen
- Metallisierung von Durchkontaktierungen - Verfahrensgerechte Gestaltung
- Randverbindungen von Vorder. auf Rückseite
- fertigungsgerechte Gestaltung

Der Themenkatalog allein zeigt, daß der Durchkontaktierung, die in MID auch andere Formen annehmen kann, in der MID-Technologie eine große Bedeutung beigemessen werden muß. Anders als in der konventionellen Aufbautechnik ist die Durchkontaktierung in der MID-Technologie ein Gestaltungselement, daß viele Möglichkeiten eröffnet.

Abgeschirmte Durchkontaktierungen:

Im Bereich der Integration von Leiterbahnfunktionen in Gehäusebauteile ist es sehr oft notwendig Leiterbahnen aus dem Gehäuseinnenbereich heraus zu verlegen. Ursache hierfür kann eine Leiterbahnkreuzung, räumliche Erfordernisse aufgrund der Strombelastung oder der Verarbeitung, EMV oder Wärmeleitungsanforderungen sein.

Für die Leiterbahnführung an der Gehäuseaußenseite bestehen grundsätzlich Restriktionen (vgl. Kapitel 3) die dies grundsätzlich nicht realisierbar erscheinen lassen.

Die Durchkontaktierung *und* der Verlauf der Leiterbahn auf der Gehäuseaußenseite muß demzufolge verdeckt sein, was bedeutet, daß Medieneinfluß oder die Berührung zu keiner Schädigung der Elektronik oder der Montage-, Bedienperson führen kann.

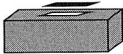


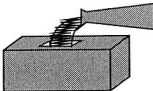
Mechanisch/ physikalische Abdeckung - Deckel - Umspritzen	
Leiterplattenlack	
Konstruktive Abdeckung/ Verdeckung	
Ausgießen	

Bild 5-31: Abdeckungsmöglichkeiten von außenliegenden Leiterbahnen

Medienabdichtung von Durchkontaktierungen

Bei diesem Punkt muß zwischen den unterschiedlichen Herstellungsverfahren unterschieden werden.

Durch die Durchkontaktierungstechnik bei der Heißprägetechnik ist es nahezu immer gegeben, daß diese Durchkontaktierung mediendicht ist.

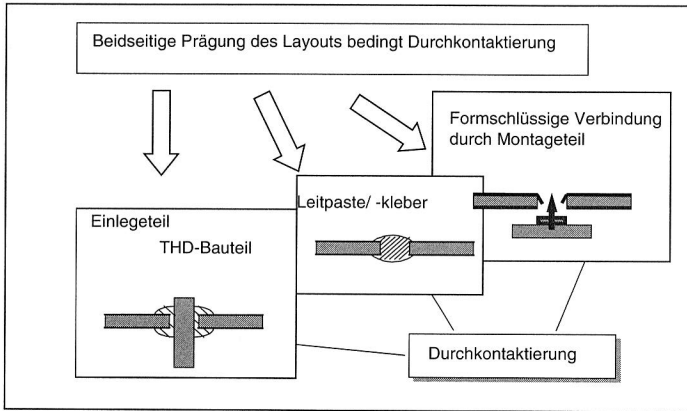


Bild 5-32: Durchkontaktierungsmöglichkeiten beim Heißprägen

Die Maskenstrukturierung und das Laserstrukturieren sowie das Zweikomponentenspritzgießen haben grundsätzlich die gleiche Problemstellung. Die konventionelle Ausführung der Durchkontaktierung stellt eine metallisierte Bohrung dar, die nur mit zusätzlichem Aufwand abzudichten ist. Dies kann durch Einbringen einer Dichtmasse in die Bohrung oder einer Lackierung der Gesamtfläche mit entsprechend hochviskosen Lacken erfolgen.

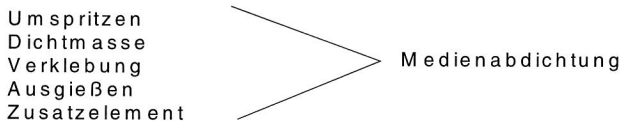


Bild 5-33: Möglichkeiten der Abdichtung von Durchkontaktierungen

Wie schon beim vorherigen Punkt ist zu überprüfen, ob die Abdichtung nicht durch eine geeignete Trennung der Gehäusehälften vereinfacht wird.

Durchkontaktierung im Steckerbereich

Dieses Thema trifft nach heutigem Kenntnisstand insbesondere das Zweikomponentenspritzgießen, da, wie unter Punkt 5.2.1 abgehandelt, die Steckerdarstellung, wenn, dann nur mit Durchkontaktierungen realisiert werden kann. Für den Zweikomponentenbereich treten zwei Punkte bei der Realisierung der Durchkontaktierungen im Steckerbereich in den Vordergrund:

- Raumaufteilung, Strombelastbarkeit
- spritzgußtechnische Realisierbarkeit (siehe Punkt „fertigungsgerechte Gestaltung“ in diesem Kapitel)

Der erste Punkt, die Platzproblematik bei der Umsetzung bestehender Stecksysteme, wurde bereits in Kapitel 5.2.1 eingehend behandelt. Zusammenfassend sei an dieser Stelle vermerkt, daß die Durchkontaktierung immer innerhalb des Steckerkragens vollzogen werden muß, was zur Folge hat, daß, bei stehenden Stiften auf dem Steckerboden der verbleibende Raum für die Durchkontaktierungen sehr eng wird, was wiederum Auswirkungen auf die fertigungsgerechte Gestaltung hat. Da, für eine gute Metallisierung und eine möglichst hohe Stromleitfähigkeit, die Notwendigkeit besteht die Größe der Durchkontaktierung zu optimieren, wird der werkzeugtechnische Grenzbereich beschrieben. Dies kann bei Parameterabweichungen zu Füllproblemen bei schmalen Stegen oder den Stekerstiften führen.

Rechteckige oder runde Durchkontaktierung - eine, in diesem Zusammenhang sehr häufig gestellte Frage. Für die runde Ausführung spricht die einfachere werkzeugtechnische Darstellbarkeit und eine gleichmäßige Metallisierbarkeit.

5.2.3 Bereich Leiterbahn

Mit der Eigenschaft der 3-D MID Verfahren, Leiterbahnen räumliche Strukturen zu verleihen, ergeben sich für die Problemstellungen:

- Strombelastbarkeit
- Kurzschlußstrecken / Kriechstromstrecken
- Kontaktsicherung -> Versenken der Leiterbahnen
- Schaltflächen

weitreichende Lösungsansätze.

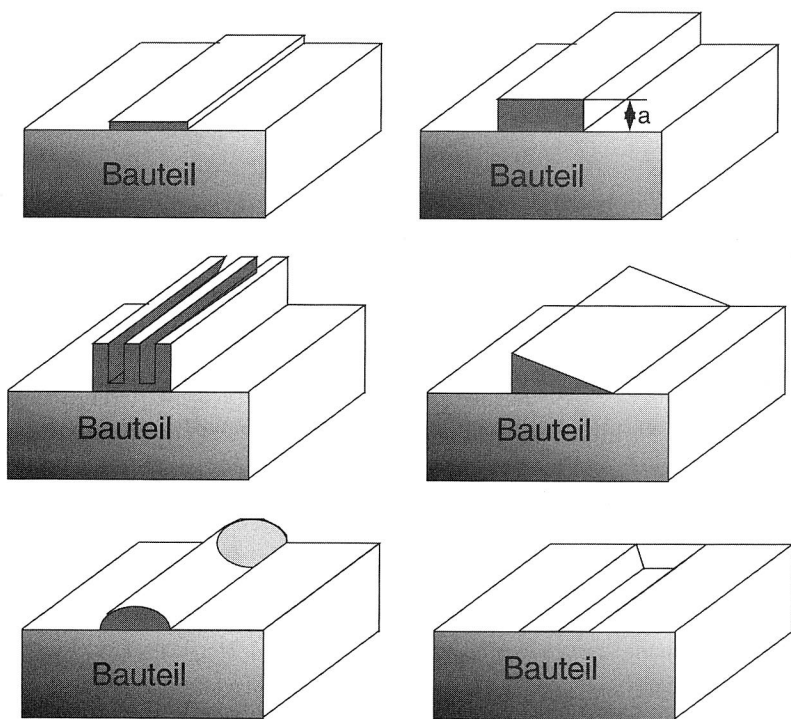


Bild 5-34: Gestaltungsmöglichkeiten der Leiterbahnen

Wie Untersuchungen gezeigt haben, ist für die Stromleitung die Geometrie versenkter Leitbahnen die günstigste (vgl. Bild 5-34; /15/)

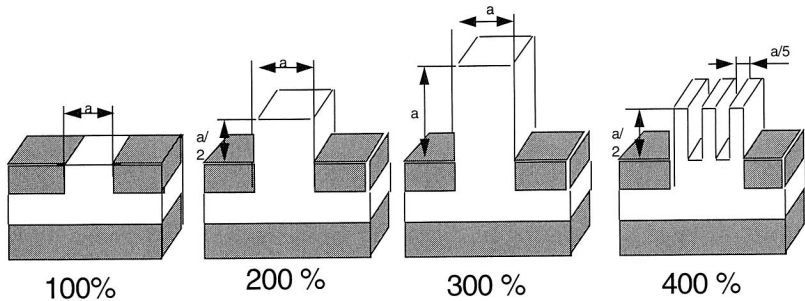


Bild 5-35: Vergleich der Stromleitfähigkeiten unterschiedlicher Leiterbahngeometrien /15/

Für die Konzeption leistungsstromführender Leiterbahnen ist die Tatsache unterschiedlicher Leitfähigkeiten von differierenden Leitergeometrie zur Nutzung der Bauraumreserven äußerst wichtig.

Für den Erfolg der MID-Konstruktion mit entscheidend ist die fertigungstechnische Optimierung, bzw. Optimierbarkeit eines Systems. Den Leiterbahnen kommt in diesem Zusammenhang wiederum die tragende Rolle zu.

Zu unterscheiden gilt es in diesem Fall zunächst nach dem gewählten Herstellungsverfahren:

Beim *Maskenstrukturierungsverfahren* ist die Gestaltung der Maske, und die Abstimmung der Leiterbahnführungen auf diese Möglichkeiten entscheidend. Die Zykluszeit, die Standzeiten und die Reproduktionsqualität hängen entscheidend von der Feinabstimmung ab. Da die Masken mit Hilfe eines Vakuums auf die Bauteilstruktur gefügt werden ist dies bei der Gestaltung zu berücksichtigen.

Wie an dem Beispielbauteil gut zu erkennen sind die Strukturen der Leiterbahnen vorwiegend zweidimensional ausgebildet. Durch die Herstellungsmöglichkeit der Maske im Tiefziehverfahren besteht jedoch ohne Einschränkungen die Option Leiterbahnen zu realisieren.

Die Leiterbahngeometrie von *laserstrukturierten* MID kann ähnlich dem Zweikomponentenspritzgießen variiert werden. Unter Beachtung der Strukturierungsmöglichkeiten der Laseranlage können so Leitergeometrien mit höchsten dreidimensionalen Elementen erzeugt werden. Selbst bei ebener Laserstrukturierung bieten sich vielfältige Möglichkeiten. Zu berücksichtigen ist jedoch, daß die Layoutänderungsfreundlichkeit durch die spritzgußtechnische räumliche Ausprägung einzelner oder aller Leiterbahnen, je nach Geometrie und Anzahl der modifizierten Leiterbahnen, stark reduziert werden kann.

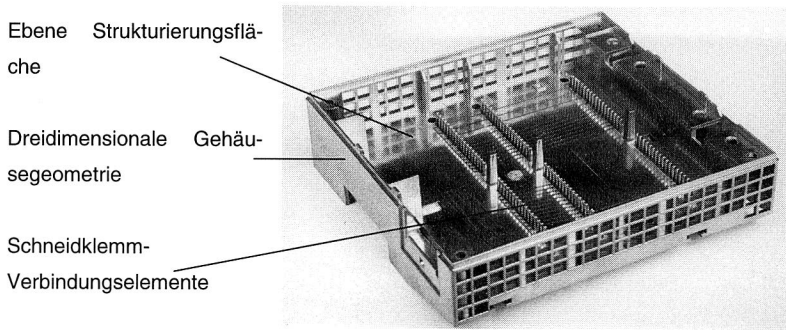


Bild 5-36: Beispiel für die dreidimensionale Gestaltung laserstrukturierter Leiterbahnen bei zweidimensionalen Anforderungen an die Strukturierung

Zur Erhöhung der Flexibilität der Layoutgestaltung kann, unter Reduzierung der Stromleitfähigkeit eine Wabenstruktur der räumlichen Strukturen vorgesehen werden. Ähnlich einer Experimentierleiterplatte mit Rasterbohrungen können die Gestaltungselemente zur Vergrößerung der Querschnittsfläche in einem

Raster angeordnet werden so, daß die Möglichkeit die Laserbahn zu verändern weiterhin besteht.

Die vorgenannten Verfahrensdetail beziehen sich sämtlich auf die, wohl derzeit gebräuchlichste Variante des Laserstrukturierens, dem subtraktiven Laserdirektstrukturieren. Für die Varianten des Additiv-Verfahrens ist die Gestaltung ähnlich den Maskenstrukturieren anzupassen, wobei der entscheidende Punkt die 3-D-Fähigkeit der Strukturierungsanlage ist.

Die *Heißprägetechnik* kann dreidimensionale Ausbildungen der Leiterbahn darstellen solange die Prägecharakteristika berücksichtigt werden. So sollten die Schrägungswinkel 45° zur Prägeachse nicht überschreiten, da sonst die Haftung beeinträchtigt wird und die Entformung der Folie zunehmend Probleme bereiten wird.

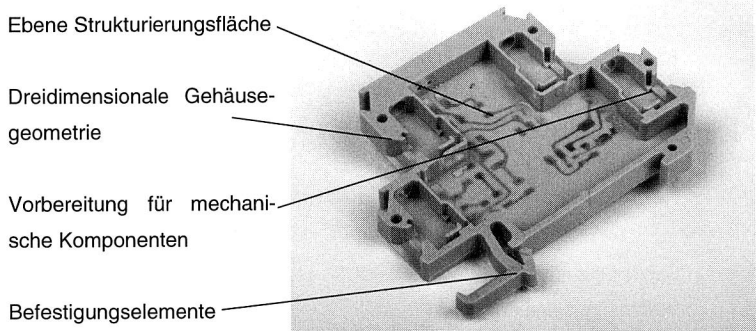


Bild 5-37: Leiterbahngeometrie für das Heißprägen am Beispiel einer Telekommunikationsapplikation /21/.

Die Geometrie des Querschnitts muß mit ihren Rundungen und Versteimmungen an die Prägefoliendicke und die Umweltbelastungen, insbesondere die mechanischen, angepaßt werden. Der Freiheitsgrad beim *Folienhinterspritzen* ist bestimmt durch die Formbarkeit der Folie und das Einlegen.

Bei *Zweikomponentenspritzgußteilen* ist die Kompatibilität der Werkstoffe ein wichtiges Thema, um die Haftung der Leiterbahnen, bzw. der Isolation zu gewährleisten. Insbesondere bei der Verarbeitung der Leiterbahnen im zweiten Schuß muß für eine ausreichende Verbindung der Komponenten gesorgt werden. Dies kann zum einen durch die chemische Affinität der Komponenten in Verbindung mit geeigneten Verarbeitungsparametern erfolgen. Zum anderen ist die physikalische Verbindung durch die gezielte Integration von Hinterschneidungen eine Befestigungsvariante.

Bei der Variante des Umspritzens der Leiterbahnen mit dem zweiten Schuß ist die Haftung konstruktionsbedingt leichter zu realisieren, da der zweite Schuß den ersten Schuß zur Darstellung einer Isolation umfließt, und somit die physikalische Haftung schon ausreichend realisiert werden kann.

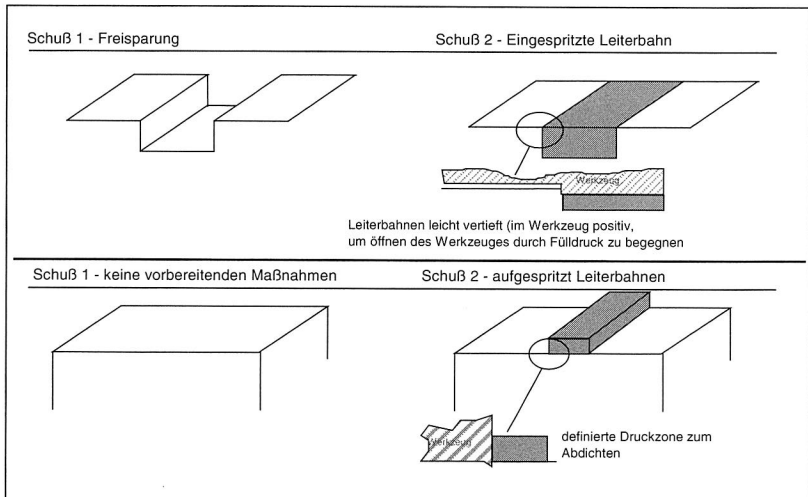


Bild 5-38: Vermeidung der Bildung von Überspritzungen beim Auf-/ Einspritzen der Leiterbahnen im zweiten Schuß

5.3 Rapid Prototyping von 3-D MID Bauteilen

Rapid Prototyping ist das Schlagwort der Industrie der neunziger Jahre geworden. Sowohl die Hardwareindustrie, wie zum Beispiel die Automobilbranche, als auch die Softwareindustrie haben sich die Verkürzung von Entwicklungszeiten durch die schnelle Erstellung von Prototypen zum Ziel gesetzt. Gerade im Automobil, einem der komplexesten Produkte, wenn nicht dem komplexesten überhaupt, ist das Prototyping ein wichtiger Baustein auf dem Weg zu einem neuen Produkt. So dient ein Prototyp zunächst zu Einbauversuchen um das Cubbing zu untermauern, später muß der Prototyp erste Funktionen seines späteren Serienbauteils bereits aufweisen, um in einer Vorserie, immer noch im Prototypenstadium, die gesamte Funktion darzustellen.

Im Zuge der Verkürzung der Entwicklungszeiten ist die Qualität der Prototypen von ausschlaggebender Bedeutung, da nur mit Prototypen, deren Eigenschaften sich so nahe wie möglich an einem zukünftigen Serienbauteil befinden, Aussagen über die Erfüllung des Lastenheftes getroffen werden können.

Bezüglich des Rapid Prototyping von MID müssen zwei Funktionen in einem Bauteil erfüllt werden. Zum einen die mechanische Funktion (Gehäuse, Steckerkragen, etc.), zum anderen die elektrisch Funktion. Insbesondere die Integration der elektrischen Funktion stellt sich als Problem derzeitiger Rapid Prototypingverfahren dar.

Die Herstellung des mechanischen Prototypen erfolgt in eingeführten Technologien wie Stereolithgraphie (inkl. der Abgußtechnik), Spanender Bearbeitung aus Halbzeugen oder Lasersintern.

Als Anforderungen an die Prototypen werden folgende Punkte gestellt:

- Einfach und schnelle Umsetzung von CAD-Daten in Modelle
- Darstellung der mechanischen Funktion (Gehäuse, Stecker, etc.)
- Darstellung der elektrischen Funktion

- Werkstoffeigenschaften möglichst nahe am Serienwerkstoff
- Einfach und schnelle Durchführung von Änderungen
- Reproduzierbarkeit und Stückzahlvariierbarkeit

5.3.1 Rapid Prototyping von einkomponentengespritzten Bauteilen

Unter diese Rubrik fallen alle Verfahren, die eines, dem Spritzguß nachgeschalteten Prozesses bedürfen:

- Laserstrukturierung
- Maskenstrukturierung
- Heißprägen
- Folienhinterspritzen

Für das Laser- und Maskenstrukturieren muß zunächst die Metallisierung des Bauteils ermöglicht werden. Durch ein patentiertes Verfahren ist es möglich Polyurethanharz, das für Abgüsse von Stereolithographieteilen verwendet wird, zu metallisieren. Das weitere Vorgehen entspricht dem des jeweiligen Herstellungsverfahrens, sprich der Belichtung mit einer Maske oder der Trennung der Leiterbahnen durch den Laser.

Im Falle des Heißprägens wird eine Metallfolie beschnitten und auf das Substrat geklebt. Das so entstandene Bauteil hat zwar alle mechanischen und elektrischen Eigenschaften des zukünftigen Serienteils, aber nicht dessen Haftfestigkeit bezüglich der Leiterbildfolie - insbesondere sind diese Bauteile nicht für thermische Belastungen geeignet.

Für das Folienhinterspritzen muß je nach Leiterverlauf differenziert werden. Für einfache Geometrien kann auf Metallisierungen wie etwa Bayshield oder die Verfahren des Laser-/ Maskenstrukturierens ausgewichen werden. Bei komplexeren Leiterstrukturen muß eine Folie mit entsprechendem Layout bedruckt werden, die dann in die Gießform für das Bauteil eingelegt und mit Harz umgossen werden muß.

	Dauer	Tag
Produktidee	0	0
Konzepterstellung	4	4
Konstruktion von 3 Lösungsansätzen	4	8
Auswahl einer Variante	2	10
Start des Prototypenbaus (Stereolithographie)	1	11
Herstellung von Abgüssen (Polyurethan)	3	14
Herstellung des Prägwerkzeugs		
Aufkleben der Heißprägefolie	1	15
- Bestückung und Löten		
- Funktionsfähige Erstmuster		
Entwicklungsdauer	15 Tage	

Bild 5-40: Entwicklungszeit des Bremslichtschalters in MID: Vom Konzept bis zum Bauteil

5.3.2 Rapid Prototyping von mehrkomponentengespritzten Bauteilen

Die Darstellung von Zweikomponentenspritzgußbauteilen in Rapid Prototyping stellt ein derzeit noch nicht gelöstes Problem dar. Die selektive Galvanisierung von Gießharzen, Stereolithographiemassen oder gesinterten RP-Materialien ist derzeit nicht möglich. Somit muß auf die Metallisierung (ganzflächig), die bereits in Kapitel 5.3.1 beschrieben wurde, zurückgegriffen werden. Diese Darstellungsmöglichkeit hat jedoch mehrer Nachteile. So ist die Metallisierungsfläche wesentlich größer als es die Serienlösung haben wird, was Rückschlüsse auf Leiterbahnbreite, EMV-Verhalten nicht zuläßt. Zudem ist dieses Verfahren nur für einfache Geometrien anwendbar, da die metallisierten Bereiche in die Gußform des zweiten „Schusses“ eingelegt werden muß. Daher beschränkt sich der Einsatz zunächst auf Bauteile, deren Leiterbahnen im zweiten Schuß gespritzt werden. Das Verfahren ist von der Fa. Mucheyer Engineering GmbH, Schongau als Patent angemeldet worden.

Für Bauteile die nicht im oben beschriebenen Verfahren dargestellt werden können, bietet sich derzeit nur Ersatz-/ Notlösungen an:

- Mechanisches Modell für Packaging-Untersuchungen und konventionelle Leiterplatte als elektrischer Versuchsträger
- Metallisiertes Einkomponentenspritzgußteil mit laser-/ oder maskenstrukturierten Leiterbahnen
- Erstellung von Werkzeugen (Stichwort: Rapid Tooling)

Es muß jeweils die Bauteilgeometrie und die Komplexität der elektrischen Schaltung über das anzuwendende Verfahren entscheiden

6 Aspekte der Qualitätssicherung

Die Berücksichtigung von Qualitätssicherungsaspekten ist aufgrund verkürzter Entwicklungszeiten und gestiegenen Ansprüchen besonderes Augenmerk zu widmen.

6.1 Ansatz zur MID-spezifischen Erweiterung einer FMEA

Im folgenden ist ein Ansatz für die Ergänzung einer FMEA erarbeitet. Sie dient als Hinweis über beachtenswerte Punkte und ist in Zusammenarbeit mit Qualitätsstellen der BMW AG und namhaften Zulieferern entstanden.

Fehlermerkmal	B	Fehler	Mögl. Fehlerfolge	Fehlerursache	Maßnahmen	A/E	RPZ	V/T
1. Spritzguß								
1.1 Maßhaltigkeit								
Verzug		Maßabweichungen	Montageprobleme, Einbauprobleme	kunststoffgerechte Gestaltung nicht berücksichtigt, Füllgrad des Werkstoffs falsch, falsche Verarb.-parameter	Überarbeitung Konstruktion, Werkstoffänderung, Anpassung der Verarbeitungsparameter			
Form- und Lagetoleranzen nicht eingehalten		Verzug, Maßabweichungen	Montageprobleme	Füllgrad des Werkstoffs, Entformungsverhalten	Werkstoffanpassung, Werkzeuganpassung, Anpassung der Spritzparameter			
Leiterbahnen nicht in vorgeg. Form/Lage		Überspritzungen, Verdrückungen	Metallisierungsprobl., Leiterquerschnitt nicht ausreichend	Abdichtungen falsch dimensioniert, Werkstoffauswahl, Füllparameter nicht angepaßt	Werkzeug-, Werkstoffanpassung, Parameteranpassung			
Teilbereiche nicht gefüllt		kein Material an einigen Stellen	Funktion (mech./elektr.) nicht sichergestellt	Anußgestaltung, Spritzparameter, Werkstoffauswahl, Formauslegung	Anpassung Werkzeugkonstruktion, Spritzparameter, Werkstoffanpassung			
Leiterbahnen ohne Haftung (Kunststoff-Kunststoff) physikalisch oder chemisch		Verbindung erste zu zweiter Komponente nicht vorhanden	Funktionsstörung	Werkstoffpaarung, Temperaturführung, Werkzeugkonzept, Maschinenparameter (Zylinderdurchmesser)	Überprüfung Werkstoffpaarung, Optimierung der Prozessparameter, Werkzeuggestaltung			
1.2 Oberflächenfehler								
Oberflächenstruktur nicht nach Vorgabe		Werkzeug mit falscher Erodierstruktur	Haftung der Metallisierung reduziert	fehlende/falsche Vorgaben	Struktur des Wz. anpassen			
		Füllgehalt des Substrates zu hoch	Haftung der Metallisierung bei bestimmten Materialien reduziert (PBT ...)	falsche Werkstoffauswahl, Befüllungsfehler an der Maschine	Werkstoffvorgabe anpassen, Überprüfung Arbeitsanweisung			

Fehlermerkmal	B	Fehler	Mögl. Fehlerfolge	Fehlerursache	Maßnahmen	A/E	RPZ	V/T
Brandstellen		Überhitzung des Materials	Haftung der Metallisierung reduziert, Beeinträchtigung mechan. Eigenschaften	Werkstoffauswahl falsch (therm. Stabilität), ungenügende Werkzeugentlüftung, Spritzparameter (Einspritzgeschwindigkeit), Rückstromsperre defekt, zu lange Verweilzeit durch zu große Maschine	Werkstoffauswahl, -zusteuern, Entlüftungsöffnung im Wz., Überprüfung Spritzparameter			
Glanzstellen		Temperaturführung des Wz.	Haftung der Metallisierung reduziert, Beeinträchtigung mechanischer Eigenschaften	unzureichende Wz.-kühlung, falsche Verarbeitungsparameter (Wz.-temperatur, Materialtemperatur, Spritzdruck)	Überarbeitung Werkzeugkühlung, Anpassung der Verarbeitungsparameter,			
Schlieren		feuchtes Granulat	Haftung der Metallisierung reduziert	nicht oder zu kurz getrocknet, Umlufttrockner statt Trockenlufttrockner	optimierte Trocknungsparameter			
Grat		Maßabweichungen	schlechte Haftung, Montageprobleme	unpräzise Form, zu hoher Nachdruck, zu hohe Masstemperatur, Werkzeugentlüftung	Werkzeug kontrollieren, Spritzbedingungen prüfen			
Delaminierung		Einspritzgeschwindigkeit	schlechte Haftung	Maschineneinstellung	Spritzbedingungen prüfen			
Einfallstellen		Maßabweichungen	schlechte Haftung	Spritzdruck zu gering, Masseanhäufung	Spritzbedingungen prüfen, Wandstärkedifferenzen konstruktiv ausgleichen			
Einschlüsse		Fremdpartikel-, Lufteinschlüsse	Beeinträchtigung mechan. Eigenschaften, Haftung der Metallisierung reduziert	Materialverunreinigung, ungenügende Wz.-Entlüftung	materialgerechte Lagerung/Zuführung, Anpassung Wz.-konstruktion, Änderung Spritzdruck			
2. Metallisierung								
Metallisierung löst sich		Haftung nicht ausreichend	Funktionsausfall	Werkstoffauswahl Bauteilehandling Trennmittel Spritzparameter (Wz.-temp.) Metallisierungsablauf, Beizkonzentration	Optimierung, Arbeitsanweisungen, Einengung der Prozessfenster			
Fehlstellen		Haftung partiell nicht ausreichend	Funktionsausfall aufgr. Leiterunterbrechung des Durchgangswiderstandes	Spritzgußfehler (Parameter), Bauteilehandling, Trennmittel, Irritation verschmutzter Oberflächen im Werkzeug	Optimierung, Prozessvorschriften aufstellen, einhalten			
eng begrenzte Blasen		schlechte Haftung	keine Leitfähigkeit	Überhitzung an Kontakten	konstruktive Änderung			
linienförmige Blasen		schlechte Haftung	keine Leitfähigkeit	Spannungen im Spritzgußteil	Spritzparameter optimieren			
Lückenhafte Metallisierung		Haftung partiell nicht ausreichend	Funktionsausfall aufgr. Leiterunterbrechung, Durchgangswiderstand erhöht	Werkstoffauswahl, Spritzgußfehler, Bauteilehandling, Trennmittel, Beizkonzentration	Rücksprache Rohstofflieferant Rücksprache Spritzgießer Optimierung Spritzgußprozeß (Aufstellung und Einhaltung von Prozessvorschriften)			
ungleichmäßige Schichtdickenverteilung		Metallisierungsabscheidung unterschiedlich	Durchgangswiderstand unterschiedlich	Kontaktierungspunkte falsch verteilt, unzureichend in Anzahl und/oder Position und/oder Kontaktgabe	Prozeßvorschriften Untersuchung der Kontaktstellen Optimierung der Kontaktierung			

Fehlermerkmal	B	Fehler	Mögl. Fehlerfolge	Fehlerursache	Maßnahmen	A/E	RPZ	V/T
Oberfläche ungleichmäßig		Verunreinigungen Ausblühungen aus Substrat	Kontaktflächen werden erhöhtem Verschleiß unterworfen, Gefahr des Kurzschlusses, Korrosion	Substratverunreinigungen, Temperaturverlauf der Metallisierung, Metallisierungsbad verunreinigt, Kontaktierung ungeeignet, Verschleppung, Galvanogestelle belegt	Rücksprache Spritzgießer Kontrolle Metallisierungsablauf Änderung des Gestells Gestell-Entmetallisierung Änderung der Klemmung Substratvorgabe einengen Temperaturverlauf Substrat abstimmen			
Isolation metallisiert in Teilbereichen		Selektivität nicht gegeben	Kurzschluß Funktionsfehler	Badverunreinigungen, Metallisierungsablauf, Spühfehler	Prozeßvorschrift erstellen und einhalten (Prozeßkontrolle Metallisierungsablauf)			
Leiterbahn verliert Kontakt zu Substrat (Spalt)		Haftung der Leiterbahn unzureichend	Funktionsfehler, Korrosion (Badverschleppung), Kurzschlußgefahr	fehlende Verkrallung und Hinterschneidung, falsche Spritzfolge (1. und 2. Schuß), falsche Werkstoffkombination, Verarbeitungsparameter nicht eingehalten, Bauteilauslegung	Werkstoffabstimmung Prozeßoptimierungen Überprüfung Werkzeugkonstruktion			
3. Montage								
Bauteile nicht lötfähig		Lötstelle reicht nicht an die Padflächen	Kontaktverlust	Auslegung der Lötanlage Bauteilkonstruktion	anderes Lötverfahren Bauteil anders positionieren Auslegung			
		Falsche Oberfläche	Korrosion		Abstimmung Lötbarkeit			
Baugruppe nach Lötung nicht mehr Form- und Lagetoleranzkonform		Bauteil ist beim Lötprozeß deformiert worden	Funktion Passungen Schnittstellenprobleme	Werkstoffauswahl nicht auf das Lötverfahren abgestimmt oder umgekehrt, Vorbehandlungen nicht durchgeführt	Lötverfahren, Werkstoff den Anforderungen anpassen, Prozeßabläufe sicherstellen			
Bauteil nicht kontaktiert		Bauteil nicht in definierter Lage/Position, falsche Oberfläche	Funktion	Bestückung nicht abgestimmt auf Geometrie des Bauteils, falsche Geometriedaten	Bestückung auf Bauteil abstimmen, Daten aktualisieren			
Kontakte mit hohem Durchgangswiderstand		Lotmeniskusbildung ungenügend	Funktion	Lötanlagenparameter nicht abgestimmt Vorbehandlung nicht ausreichend, falsche Lotmaterialien falsche Metallisierungsoberfläche	Parameter überprüfen, sicherstellen und optimieren			
4. Prüfung								
Spezifikation erfüllt, Funktion als nIO geprüft		Prüfverfahren nicht abgestimmt	Bauteilzerstörung	Prüfverfahren nicht auf MID-Baugruppe abgestimmt	Prüfanweisung erarbeiten			
vorgeg. Strombelastbarkeit nicht erreicht		Leiterquerschnitte zu gering	Funktionsausfall	Metallisierung nicht homogen, Schichtdicke generell nicht ausreichend				
Durchgangswiderstand zu hoch		Schichtdicke Metallisierung zu gering, Leiterbahnquerschnitt zu klein	Strombelastbarkeit zu gering, Erhitzung, Kontaktverlust	Prozeßparameter Metallisierung, Fehler Leiterbahnauslegung	Überprüfung Bauteilauslegung, zusätzliche Kontakte für Metallisierung, Prozeßoptimierung (z.B. Erhöhung der Metallisierungszeit)			
Dauergebrauchseigenschaften		Konstruktion, Ermüdung	Funktionsausfall über Zeit	Konstruktion Materialauswahl, -verarbeitung	Werkstoff, Parameter, Prozeß			

6.2 Zusammenfassung von Erprobungsergebnissen

Die Erprobung fanden im Zeitraum 1994 bis 1997 statt. Die Ergebnisse sind in einer separaten, ausführlichen Broschüre zusammenfaßt. Als Essenz werden an dieser Stelle die wesentlichen Erkenntnisse zusammengefaßt. Hauptaugenmerk ist bei allen Betrachtungen immer das Anwendungsspektrum der Kfz-Elektrik/ Elektronik.

6.2.1 Materialien

Die Auswahl der Materialien orientiert sich zunächst an den derzeit verwendeten „klassischen“ Ingenieurswerkstoffen für Elektronikkomponenten. Basierend auf den Anforderungen, die in Kapitel 3 erläutert wurden, sind die, im Folgende erläuterten Ergebnisse erzielt worden. Der für mechatronische Bauteile charakteristische Anwendungsbereich von -40°C bis +80°C ist die Grundlage für die Untersuchungen gewesen.

- Acrylnitril Butadien Styrol ABS im Kfz nur in geschützten Bereichen für Elektronik geeignet. Für Sichtflächen mit integrierten elektrischen Funktionen sehr preisgünstiges Material.

Durch die geringe Wärmebelastbarkeit scheiden konventionelle Verbindungstechnologien aus. Alternativen, wie klemmende Verbindungstechniken oder Leitleben, schränken das Anwendungsspektrum entsprechend ein. Damit ist ABS für einfache, elektrisch leitende Anwendungen geeignet, bei denen wenige oder keine Bauelemente verwendet werden.

- Polyamid PA (zur Erhöhung der Formstabilität mit Verstärkung), PA6 für ausdehnungskritische Bauteile nicht geeignet. PA in unterschiedlichen Variationen für die vielfältigsten Anwendungen geeignet.

PA ist als Material, insbesondere durch seine Eignung und den vorhandenen Erfahrungsschatz im Bereich des Zweikomponentenspritzguß geeignet zur

Darstellung räumlicher Strukturen. Die Lötbarkeit ist mit einigen Einstellungen möglich.

- Polybutylenterephthalat PBT, als Steckerwerkstoff bewährt für Anwendungen in temperaturkritischen Anwendungen. Die Eignung als isolierende Komponente in Verbindung mit PA als leitende Komponente beim Zweikomponentenspritzguß verstärkt das Interesse an PBT für die MID-Technologie. Mit der Materialkombination PBT/PA ist ein Lötbarkeit sichergestellt.
- Liquid Crystal Polymer LCP insbesondere für hochtemperatur-, und sehr kleine, filigrane Bauteile geeignet. Aufgrund der Kosten jedoch nur für Sonderanwendungen interessant.

6.2.2 Verfahren

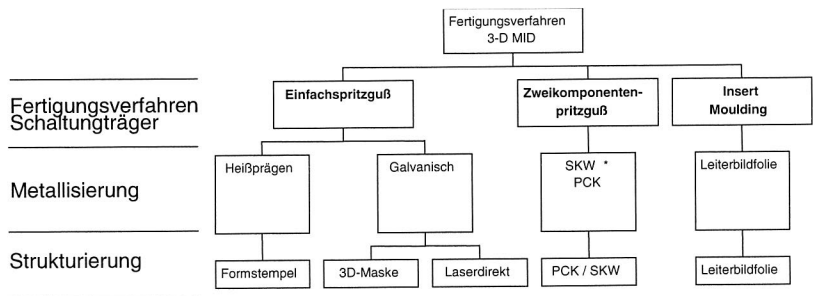


Bild 6-1: Die Herstellungsverfahren gegliedert nach ihren Strukturierungsmethoden und dem Verarbeitungsprinzip. Als betrachtete Kategorien werden das Zweikomponentenspritzgießen, die Laserdirektstrukturierung und das Heißprägen betrachtet.

Aus Sicht der Kfz-Elektronik ist jedes der untersuchten Verfahren von der Prozeßbeherrschung und Umsetzbarkeit geeignet. Abhängig von der Anwendung

ist es entscheidend, die Anpassung der Verfahren an die Stückzahl und das Bauteil vorzunehmen.

Das im Rahmen der vorliegenden Arbeit, und in den Anfängen der MID-Technologie in der Automobilindustrie, am intensivsten betrachtete Verfahren des **Zweikomponentenspritzgusses** hat in der Konstruktion, der Verarbeitung und der Erprobung eine Reihe von anspruchsvollen Aufgaben herauskristallisiert. Durch die Erprobungen im Rahmen von Validierungstest, die analog zu den in Kapitel 2.2 genannten Anforderungen durchgeführt wurden, sind Einschränkungen insbesondere im Bereich der Haftfestigkeit der Materialkombinationen, wie auch der Metallisierung erkennbar. So erweisen sich die darstellbaren Leiterbreiten, die von MID-erfahrenen Anbietern der Zweikomponentenspritzgusstechnologie genannt werden als reale Grenzen nicht nur hinsichtlich der Herstellbarkeit, sondern auch hinsichtlich der Zuverlässigkeit. Ein kausaler Zusammenhang ist an dieser Stelle vorhanden, da mit der Abnahme der Prozeßbeherrschung im Spritzprozeß auch die Zuverlässigkeit zwangsläufig beeinträchtigt wird.

Für das Verfahren des **Heißprägen** ist die Haftfähigkeit zentraler Betrachtungspunkt. Mit stetiger Weiterentwicklung des Verfahrens, den Ersatz der Klebeverbindung durch eine mechanische Verhakung wurde dieser Punkt so weit entwickelt, daß ein Anwendung auch in der Kraftfahrzeugelektronik möglich ist. Nachwievor ist der Ausdehnung des Kunststoffes in Relation zur Metallisierung zu beachten. Dies kann bei komplexen Schaltungslayouts zu Einschränkungen in der Anwendbarkeit führen, als lange gerade Leiterabschnitte bei temperaturbelasteten Bauteilen zu vermeiden sind. Bei dreidimensionalen Strukturen ist der Einfluß des Prägevorganges auf die Verbundhaftung Metallisierung zu Substrat zu beachten und hat entsprechend Auswirkungen auf die Gestaltung.

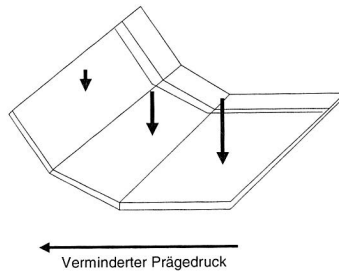


Bild 6-2: Einfluß der Leitergeometrie auf die Prägekraft und somit auf die Zuverlässigkeit

Die **Laserdirektstrukturierung** charakterisiert im Negativverfahren ein sehr geringer Leiterabstand. Durch die Abtragung der Metallisierung durch Laserstrahl ist die Materialveränderung im Bereich der entstehenden Isolation von besonderem Interesse. So stellt nicht die, durch den Laser realisierbare Trennschärfe die Grenze dar, sondern die elektrische Eigenschaft der Isolation. Der erreichbare Übergangswiderstand erreicht erst bei vergleichsweise hohen Leiterabständen Werte, die auch im Dauerbetrieb und insbesondere bei Umweltbelastung zuverlässige Funktion gewährleisten.

7 Wirtschaftliche Analyse

7.1 Ansatzpunkte zur Analyse

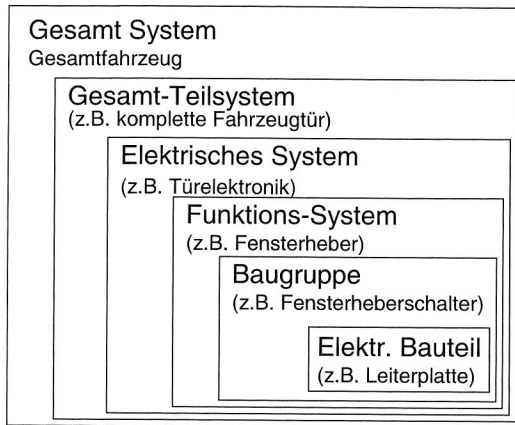


Bild 7-1: Ansatzpunkte für die wirtschaftliche Analyse von MID-Systemen. Die Abgrenzung der Systeme und Subsysteme ist ständigem Wandel unterworfen und somit fließend bzw. interpretationsfähig

Bild 7-1 zeigt auf anschauliche Weise, wie sich die Struktur der Kfz-Elektronik im Wandel der Zeit auf ein Komplexitätsniveau begeben hat, daß es erforderlich macht den Systemgedanken in Bezug auf „elektrisches System im Automobil“ für jeden Fall neu zu definieren. Die wachsende „Elektrifizierung“ des Automobils hat in den Jahren 1990 bis 2002 einen derartigen Fortschritt erfahren, daß die Wertschöpfung über 40% anpeilt und der komplexeste Anteil am Gesamtsystem Automobil eindeutig die Elektronik geworden ist. Dies bedingt auch in zunehmenden Maße eine Integration und Verknüpfung mit anderen Funktionen des Fahrzeugs. Bild 7-2 verdeutlicht die entstandene Vernetzung der Funktionen und Themen zum und im Thema Automobil. Kein anderes Produkt hat in seiner Lebenszeit einen derart eklatanten Wandel hin zu einer Elektronikplattform erlebt wie das Automobil.

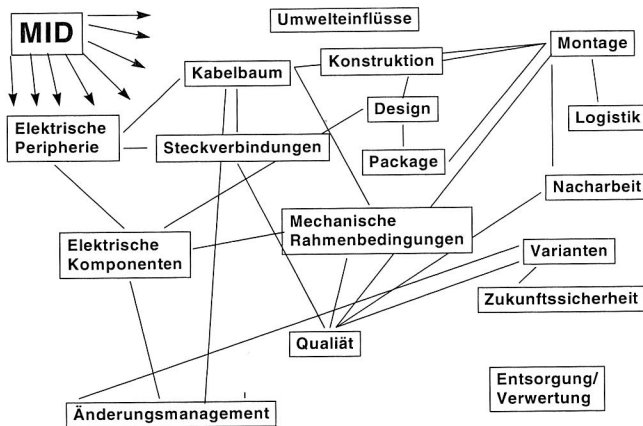


Bild 7-2: Aufbrechen der konventionellen Denkansätze ist auch aus Sicht der Kostenbetrachtung notwendig, um die systematischen Zusammenhänge zu berücksichtigen.

Vor diesem Hintergrund gilt es in gleicher Weise eine Innovation, deren Potential und deren Wirtschaftlichkeit zu beurteilen. Neue Wege zu gehen bedeutet in diesem Fall ebenfalls neue Analysemethoden und –ansätze zu erroieren, die ein reales Spiegelbild ergeben, ohne die verzerrenden Einflüsse von Systemgrenzen als Störgrößen betrachten zu müssen.

7.2 Kostenanalyse realer Projekte

Die Kostenanalyse, anhand realer Projekte, belegt die, in Kapitel 7.2 getroffene These, nachdem eine MID-Bauteilbewertung immer eine Bewertung eines übergeordneten Makrosystems sein muß. Anhand abstrahierter Beispiele, die auf einer Vielzahl realer Projekte basieren, soll dieser grundsätzliche Sachverhalt transparent werden.

In einem ersten Ansatz werden auf Bauteilebene die Kosten und notwendigen Investitionen ermittelt, vgl. Bild 7-3. Im Mikro-Ansatz werden die Kosten des MID-Bauteils in Relation gestellt mit der konventionellen Lösung, d.h. ein Schaltungsträger ersetzt eine Leiterplatte. In diesem Ansatz wird deutlich das Mißverhältnis betrachteten Lösungsganzheiten deutlich.

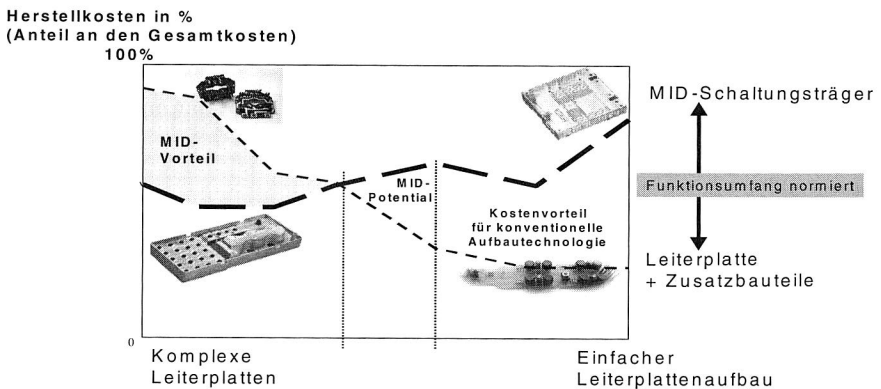


Bild 7-3: Vergleich der Herstellkosten für einen Räumlichen Schaltungsträger mit einer konventionellen Leiterplatte in Abhängigkeit der Komplexität der ursprünglichen/ konventionellen Leiterplattenlösung.

Eine parallele Betrachtung der Investitionen zeigt in gleicher Weise wie in Bild 7-3 bei den Herstellungskosten eine zunächst ungünstige (Zwischen-) Bilanz für den räumlichen Schaltungsträger, vgl. Bild 7-4.

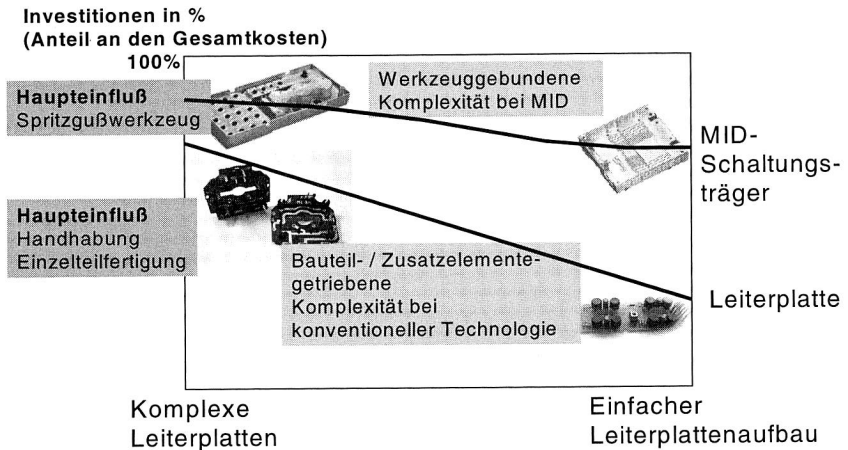


Bild 7-4: Die Investitionen für einen räumlichen, spritzgegossenen Schaltungsträger im Vergleich zu einem Bauteil in konventioneller Aufbautechnik in Abhängigkeit von der Komplexität der konventionellen Ausgangssituation.

Sowohl der Ansatz der Herstellkosten, als auch der Ansatz der Investitionen macht deutlich, daß eine eins-zu-eins Vergleich der Komponenten nicht die reale Kostensituation widerspiegelt.

Daher nun der Ansatz das Gesamtsystem, in dem eine MID-Baugruppe verbaut ist, zu betrachten und zu bewerten. In diesem Ansatz ist es von großer Bedeutung, die Systemgrenze sinnvoll zu legen, so daß alle Aspekte berücksichtigt werden. Der Ansatz in Bild 7-5 zieht die Grenze des „MID-Systems“ bei der letzten Komponente, letzte im Sinne von am weitestens in die Makrostruktur reichend, die einen mittelbaren oder unmittelbaren Einfluß auf das System hat, was noch nicht eine Kostenauswirkung unterstellt. Mit Hilfe dieses funktionalen Ansatzes ist diese Kostenanalyse

eine Spiegel der Gesamtkosten, ohne Vernachlässigung der Einzelsystembelange und –kosten.

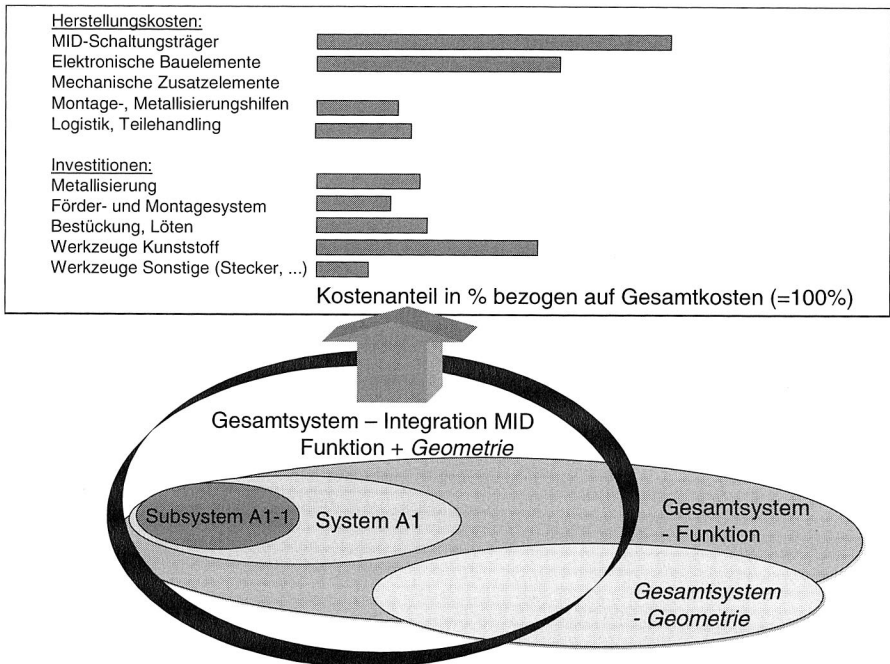


Bild 7-5: Analyse eines MID-Systems auf Kosten und Investition. Die Definition der Systemgrenze dient als essentielle Vorarbeit für eine gültige Analyse.

Der Vergleich mit einem konventionellen System zeigt nun eine gänzlich veränderte Situation. Durch die ganzheitliche Betrachtung ist das Integrationspotential der MID-Technologie zum Tragen gekommen und bestätigt die Wirkung eines integrativen Vorgehens.

Auf der Basis einer Systembetrachtung ist nun der Punkt der Analyse, wo und in welchen Bereichen die MID-Technologie einen hohen Effekt erzielt, mit der Folge,

sich in weiteren Projekten auf diese Bereiche besonderes Augenmerk zu legen.

Analysiert man nun das Mikrosystem, vgl. Bild 7-6, so entstehen neue Schwerpunkte des Kostenpotentials.

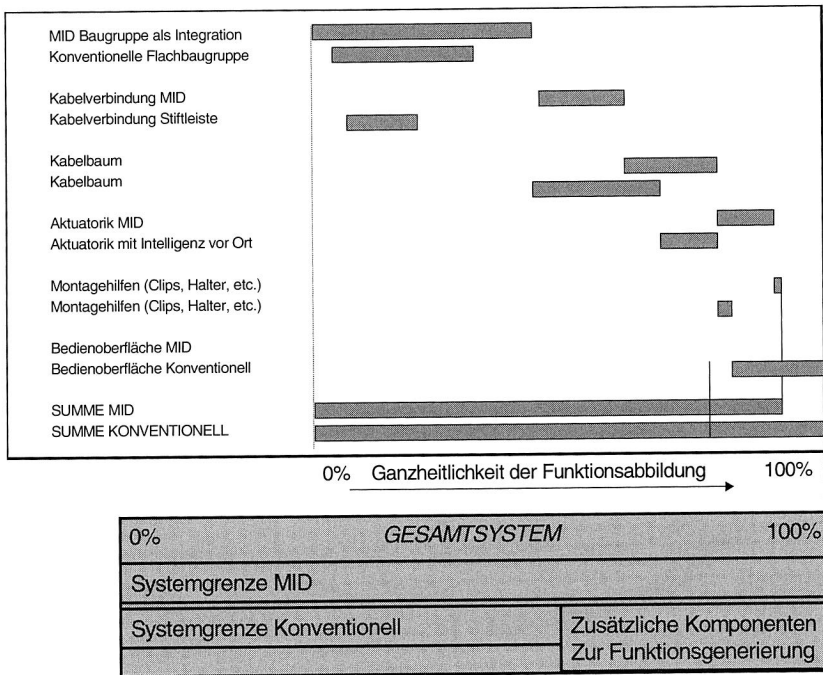


Bild 7-6: Analyse der Kostenstruktur im System in MID-Technologie

Der erste Ansatz zeigt ein hohes Potential in der geometrischen Integration. Wie die Grundidee der MID-Technologie vertritt, ist die Intergration von Gehäuse-, Stecker-, Abschirmaufgaben eine Part, der im wesentlichen ohne Veränderung der MID-Bauteilkosten einhergeht. Als Folgeeffekt werden Handhabung-, Lager-, und Logistikkosten für Bauteile, die durch ein MID-Bauteil eingespart werden ausweisbar, vgl. Bild 7-7, die in weiterem Masse einen Anteil an der Kostenbilanz bilden.

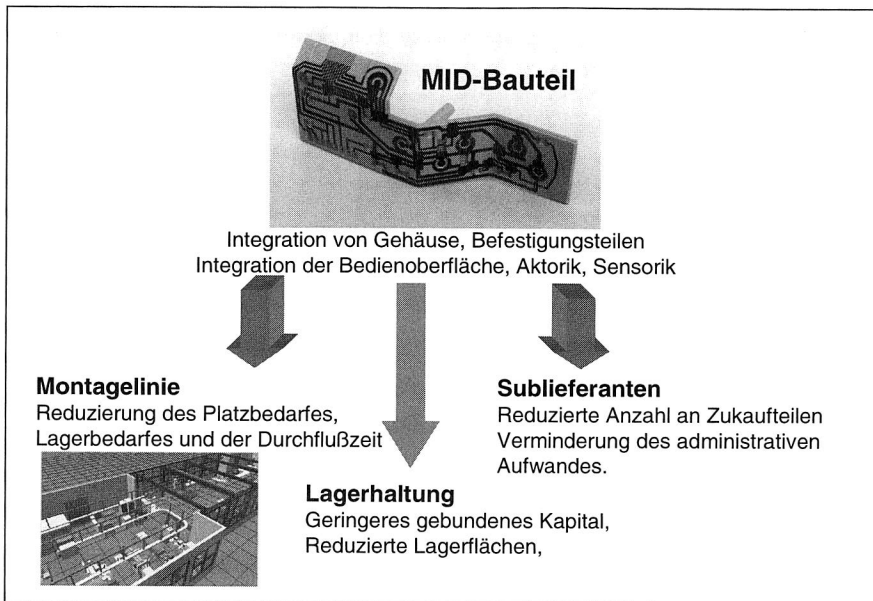


Bild 7-7: Auswirkung der Reduzierung der Bauteilevielfalt im MID-Systemverbund auf die Infrastruktur.

Die Investitionen für ein MID-Technologie-Produkt sind in Diskussionen um das Für und Wider der Technologie ein Diskussionspunkt, der intensiv beleuchtet werden muß. In der Regel ist ein Systemanbieter in der Lage Komponenten in einem hohen Masse in eigener Fertigung herzustellen, besitzt somit den direkten Zugriff auf große Teile der Prozeßkette und damit auch Kostenkette. Mit der Anwendung einer neuer Technologie ist die strategische Ausrichtung in erster Instanz zu klären – selbst machen (und wissen) oder nach Außen verlagern. In jedem Fall entsteht eine neue Form der Auftragsabarbeitung, vgl. Bild 7-8. Diese bezieht sich insbesondere auf die Betrachtung und die Bewertung interner und externer Entwicklungsleistung und –aufwendung. In der Regel bedeutet dies zunächst eine Zunahme der Kosten aufgrund zusätzlicher Overheadanteile auf die eingehenden Entwicklungs- und Prozeßleistungen. In einem Modell können sich integrierte Geschäftsmodelle bewähren, in denen Lieferanten und Sublieferantenbeziehungen über den Hauptkunden abwo-

ckeln lassen. Somit lassen sich , ähnlich wie dies beim Einkauf von Standardware oder auch Mikroprozessoren erfolgt, Ratioeffekte erzielen.

		Konventionell	MID1	MID2
Leiterplatte	Bauteile	Fremd	Fremd	Eigen
Elektr. Bauelemente		Fremd	Fremd	Fremd
Stecker		Fremd	Fremd spezifisch	Eigen
Gehäuse		Eigen	Fremd	Eigen
Leiterplattenverbinder		Fremd standardisiert	Fremd spezifisch	Eigen
Clips, Befestigungselem.		Fremd standardisiert	Fremd spezifisch	Eigen
Bestücken	Prozeß	Eigen	Fremd spezifisch	Eigen
Metallisieren		Fremd	Fremd spezifisch	Eigen
Löten		Eigen	Fremd spezifisch	Eigen
Montieren		Eigen	Eigen	Eigen
Mech. Engineering	F+E	Eigen	Fremd spezifisch	Eigen
Elektr. Engineering		Eigen	Eigen	Eigen
Sw Engineering		Eigen	Eigen	Eigen

Bild 7-8: Vergleich der Fertigungstiefe in der konventionellen Aufbautechnologie mit möglichen Szenarien in der „MID-Welt“

Für die Beibehaltung der Fertigungstiefe eines Komponentenherstellers bedeutet die Umsetzung von Bild 7-8 enorme Investitionen. Zwischenwege sind darstellbar und für die Akquirierung einer ausreichenden Wissensplattform auch notwendig.

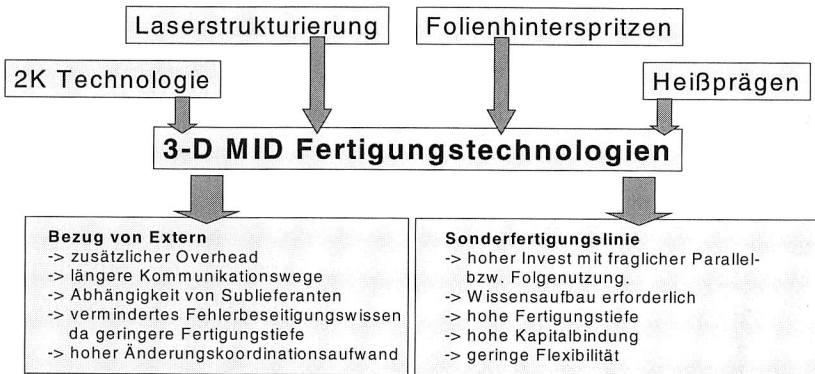


Bild 7-9: Modellbeispiel für die strukturierte Einführung der MID-Technologie in die Fertigungstechnik eines mittelständischen Unternehmens.

Das in Bild 7-9 idealisierte Beispiel zeigt die Möglichkeit der Technologieeinführung mit einer schrittweisen Entkopplung von der Abhängigkeit von Sublieferanten und der einhergehende Aufbau von Kompetenz in Fertigung und auch in der Entwicklung.

Bei der Betrachtung der Investitionssituation ist nun eine Reduzierung auf die tatsächlichen Bauteilkosten notwendig. Im Rahmen einer Umstrukturierung, bzw. strategischen Neuausrichtung von Unternehmen oder Unternehmensbereichen, fällt diese Umlage zunehmend schwer und kann letztenendes nurmehr abgeschätzt werden, vgl. Bild 7-10.

Konstruktion und Entwicklung:	Fertigungstiefe	
	Gering	Hoch
CAD-Tools	40.000	110.000
Fachwissen	25.000	105.000
Rapid prototyping	5.000	5.000
Prozeß:		
Kunststoff-Spritzguß	0	136.000
Metallisierung-Strukturierung	0	237.000
Qualitätsprüfung Schaltungsträger	8.000	29.000
Bestücken	0	97.000
Löten	0	87.000
Montagelinie	120.000	120.000
Endprüfplatz	28.000	28.000
Infrastruktur:		
Lagerhaltung Logistik	178.000	98.000
Eingangskontrolle	91.000	62.000
<u>Änderungs-/Versionsmanagement</u>	<u>115.000</u>	<u>78.000</u>
Summe projektbezogener Investitionen	610.000	1.192.000

Bild 7-10: Ergebnis einer Studie zur Definition der Umsetzungskosten einer MID Produktion und Entwicklung.

In der Amortisation einer Technologieinvestition liegt der Schlüssel zum Erfolg einer Innovation. Die aufgeführten Punkte haben in der Realität, wie auch in der Diskussion in der Theorie aufgezeigt, daß Wirtschaftlichkeit und Kosteneinsparung im Fall MID weit mehr bedeutet, als bloße Addition von Bauteilkosten. Das gesamte Konstrukt und die Ausrichtung der Struktur müssen neu überdacht werden. Wenn dieser gesamtheitliche Ansatz von Beginn an bewußt ist und verfolgt wird, dann erst kann die Technologie dauerhaft mit Erfolg verfolgt und eingeführt werden. Bild 7-11 zeigt die Auswirkung eines schrittweisen Vorgehens unter Berücksichtigung der MID-Technologie.

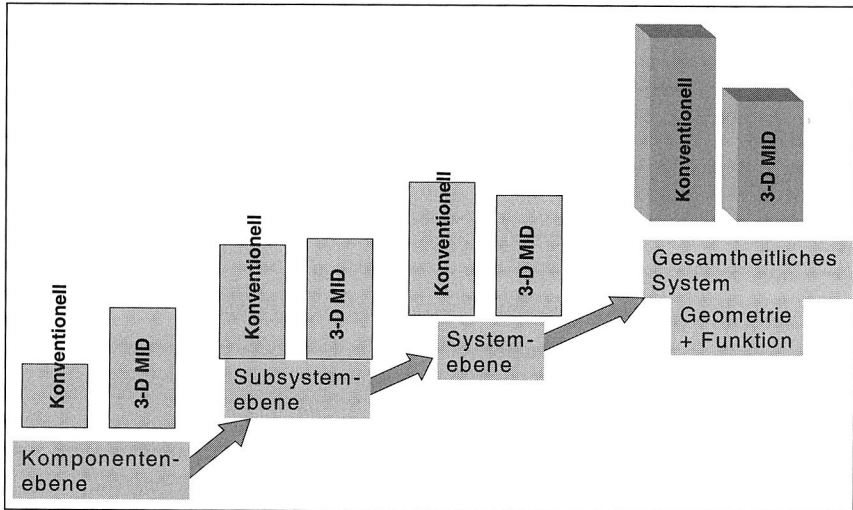


Bild 7-11: Von der Mikroebene in die Makroebene der Wirtschaftlichkeitsbeurteilung. Entwicklung der Kostenstruktur in den unterschiedlichen Betrachtungsweisen.

Schritt für Schritt wird deutlich, daß die Optimierung des Einzel- oder Teilsystems nicht ein optimiertes Gesamtsystem zur Folge hat. In den Entwicklungsprozessen muß aus dieser Erkenntnis die Querverbindung Teilsystem und Gesamtsystem abgeglichen werden um die schließlich optimale Lösung zu erarbeiten.

8 Zusammenfassung und Ausblick

Die Einführung einer neuen Technologie in den Bereich der Automobilelektronik ist eine Herausforderung, die zunächst mit der Klärung der Rahmenbedingungen verknüpft ist. Die Darlegung und Analyse der aktuellen Normung und der gebräuchlichen Vorgaben und Testspezifikationen ist daher die Grundlage. Ausgehend von bestehender Normung ist in Werknormen der Absatz MID-Technologie vielfach bereits belegt und mit entsprechenden Spezifikationen hinterlegt.

Als Basis für eine Analyse der MID-Potentiale einer Applikation dient somit zum einen die Spezifikation als auch die Gewichtung unterschiedlicher konstruktiver, als auch wirtschaftlicher Einflüsse. In einem Bewertungsschema kann mittels eines strukturierten Ablaufes schnell und effektiv das MID-Potential ermittelt werden.

Die Umsetzung einer MID-Applikation im Umfeld und Spannungsfeld MID ist einer der kritischen Punkte in der Technologieumsetzung. Begründet durch Serienabläufe, schlanke Entwicklungsstrukturen und verkürzte Abläufe ist die Etablierung der MID-Technologie oftmals zurückgedrängt worden. Die Integration MID-spezifischer Abläufe in die Entwicklungsabläufe, zusammen mit der Anpassung der Aufgabenverteilung und Zusammenarbeit in MID-Projekten erst führt zu einem erfolgreichen Ansatz.

Die Anwendungsgebiete der MID-Technologie sind, wie erwartet die Elektromechnik mit der zunächst getroffenen Einschränkung auf wenig komplexe Schaltungen. Entwicklungstrends weisen jedoch eine vermehrte Tendenz hin auch zu komplexen, aber auch miniaturisierten Schaltungen auf.

Die Wirtschaftlichkeit der MID-Technologie haben viele Beispiele bereits bestätigt. Wie auch in technologischer Sicht ist die richtige Applikation jedoch der wichtigste Erfolgsfaktor. Erst die Faktoren Technologie, Wirtschaftlichkeit im Rahmen eines abgestimmten Termin- und Projektrahmens werden der MID-Technologie zum Durchbruch verhelfen.

Literaturverzeichnis

1. Hamm, L. *Neue Wege in der Automobilentwicklung - neue Herausforderungen für den Automobilingenieur*. Jahrbuch 1997 Fahrzeug- und Verkehrstechnik, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1997
2. Huber, G. *Meilensteine der Automobiltechnik von Maybach bis heute*. Jahrbuch 1997 Fahrzeug- und Verkehrstechnik, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1997
3. Faszination BMW
4. Feldmann, K. *Neue Rationalisierungspotentiale durch Funktionsintegration*. PA, 3/1992, Oldenburg Verlag, München 1992
5. Franke, J.
6. Lange, P. *Aufbau- und Verbindungstechniken für Mechatronikbaugruppen im Automobil*. Jahrbuch 1997 Fahrzeug- und Verkehrstechnik, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1997
7. Herrmann, R.
8. Hirzinger, G. *Mechatronik, 3D-Grafik und Telepräsenz - Neue Anstöße für Maschinenbau, Robotik und Medizintechnik*. Zukunftschance Produktentwicklung: Tagung Dredde 3. und 4. Juni 1996, VDI Gesellschaft Entwicklung Konstruktion Vertrieb, Düsseldorf, 1996
9. Hartmann, U. *MID- nur eine schöne Idee?* F&M 11-12/1995, Carl Hanser Verlag, München, 1995
10. Franke, J. *Integrierte Entwicklung neuer Produkt- und Produktionstechnologien für räumliche spritzgegossenen Schalungsträger (3-D MID)*. Dissertation an der Universität Erlangen-Nürnberg, Carl Hanser Verlag München Wien, 1995

9. Krautheim, T.B. *Herstellungsverfahren, Gebrauchsanforderungen und*
 Pöhlau, F. *Materialkennwerte Räumlicher Elektronischer Bau-*
 Lorenz, W. *gruppen 3-D MID. Handbuch für Anwender, For-*
 Stampfer, S. *schungsvereinigung Räumliche Elektronische Bau-*
 gruppen 3-D MID e.V., Erlangen. 1997

10. N.N. *Forschungsvereinigung Räumliche Elektronische Bau-*
 gruppen - 3-D MID, Mitglieder, Bröschüre der For-
 schungsvereinigung Räumliche Elektronische Bau-
 gruppen - 3-D MID e.V., Erlangen, 1996

11. N.N. *Forschungsvereinigung Räumliche Elektronische Bau-*
 gruppen - 3-D MID, Technologie, Bröschüre der For-
 schungsvereinigung Räumliche Elektronische Bau-
 gruppen - 3-D MID e.V., Erlangen, 1996

12. Theissig, W. *MID in Automotives: Rationalization by Integration.*
 Kriebitzsch, I. Innovative Produktion elektronischer Baugruppen
 7./8./9. November 1995, Symposium productronica '95,
 Messe München, München, 1995

13. Theissig, W. *3D-Schaltungsträger im Automobil. F&M 11-12/1995,*
 Kriebitzsch, I. Carl Hanser Verlag, München, 1995

14. Severin, J. *Federleichte Radioblenden. F&M 11-12/1995, Carl*
 Hanser Verlag, München, 1995

15. Gleixner, J. *Zweifachspritzguß und Metallisierung von Polyamiden.*
 Bürkner, Feldmann, Franke, Römer (Hrsg.): Procee-
 dings 1. Int. Congress Molded Interconnect Devices,
 Erlangen, Meisenbach Verlag, Bamberg, 1994

16. Kriebitzsch, I. *Entwicklung des Designs und Konzeption der Montage*
 für das E-Modul Schiebedach in 3-D MID Technologie.
 Diplomarbeit am Lehrstuhl für Fertigungsautomatisie-
 rung und Produktionssystematik der Universität Erlan-
 gen-Nürnberg, Erlangen, 1995

17. Spiegel, M. *Developing MID-prototypes successfully*. Feldmann, Pöhlau, Römer, Zippmann (Hrsg.): Proceedings 3. Int. Congress Molded Interconnect Devices, Erlangen, Meisenbach Verlag, Bamberg, 1998
18. IPC *Guideline for Molded Interconnects*, IPC-MB-380, Lincolnwood-II USA
19. Leipe, E. *MID-Schnittstellen für Mobiltelefone*. Schaltbau AG, München 1995
20. Spiegel, M. *Firmenunterlagen und Gespräche mit der Fa. Mitsui-Glimmerveen, D. Pathtek*, Rochester (USA), bzw. MIP, Aachen, 1995, 1996
21. Hartmann, U. *Joint seminar on MID* organised by Fa. Bolta, Lauf, Fa. Fahrner, H.-M. Fuba, Gittelde, Fa. MIP/ Mitsui Pathtek, Aachen, Kloster Arnsburg, 19./20. Juni 1996
Förster, G
Biener, L.
Glimmerveen, D.
Spiegel, M.
22. N.N. *MIDIA-Molded Interconnect Device Association*. Informationsbroschüre der MIDIA, North Haven (USA), 1995
23. Ehrenstein, G.W. *Polymerwerkstoffe*. Carl Hanser Verlag München Wien, 1978
24. Ehrenstein, G.W. *Faserverbundwerkstoffe*. Carl Hanser Verlag, München Wien, 1992
25. Feldmann, K. *Sonderforschungsbereich 356 Produktionssysteme in der Elektronik*. Bericht des Forschungsverbundes
Geiger, M.
et als
1992-1995, Feldmann, K., Geiger, M. (Hrsg.), Meisenbach Verlag, Bamberg-Erlangen, 1995
26. N.N. *Untersuchungsergebnisse und Präsentationen der Fa. AMP Deutschland*. 1995, 1996
27. Renner, G. *Untersuchungsergebnisse und Gespräche zur Laserstrukturierung von MID*. Garbsen, 1995, 1996
28. N.N. *Ivonding-Ein Verfahren zur Herstellung von MID*. Firmenprospekt der Fa. Bolta, Leinburg, 1996

29. Blumenstock, K.- *Multitalent im Krümelformat.* mot 6/1997, Motor-Presse U. Stuttgart, Stuttgart, 1997
30. Blumenstock, K.- *Mikrochips machen mobil.* mot 6/1997, Motor-Presse U. Stuttgart, Stuttgart, 1997
32. N.N. *EMS- Unterlagen und Campus Datenbank der Fa. EMS, Domat/Ems (CH), 1996*
33. Aepli, E. *Gespräche und Untersuchungen zum Thema Polyamide und 2-K-Spritzgießen,* Domat/Ems, 1996,1997
Hochuli, M.
34. N.N. *BASF, Unterlagen und Campus Datenbank der Fa. BASF, Ludwigshafen, 1996*
35. N.N. *Bayer, Unterlagen und Campus Datenbank der Fa. Bayer, Leverkusen, 1996*
36. Schütz, U. *Gespräche über MID-Anwendungen, Fa. Bayer, Leverkusen, 1995, 1996, 1997*
37. N.N. *Hoechst, Unterlagen und Campus Datenbank der Fa. Hoechst, Frankfurt, 1996*
38. N.N. *Du Pont, Unterlagen und Campus Datenbank der Fa. Du Pont, Bad Homburg, 1996*
39. Ehrenstein, G.W. *Thermische Einsatzgrenzen von Kunststoffen.* AIF- Antrag der Forschungsvereinigung Räumliche Elektronische Baugruppen 3-D MID e.V., Erlangen, 1996
40. N.N. *Flexible gedruckte Schaltungen, Broschüre der Fa. Reinshagen, Berlin, 1995*
41. N.N. *Problemlöser von besonderer Struktur- Spezialwerkstoffe für die Elektronik.* Kunststoff-Journal 5/1995
42. Greiner, R. *Konstruktions- und Hochleistungsthermoplaste in der Elektrotechnik/ Elektronik.* Kunststoffberater 12-94
43. Endemann, U. *Optimale Schnappverbindungen.* Kunststoffe 4/1994, Carl Hanser Verlag, München, 1994
44. Römer, M. *Thermotrope flüssigkristalline Polymere (LCP).* Kunststoffe 10/1993, Carl Hanser Verlag, München, 1993

45. Hajny, F. *Kunststoffbauteile mit leitenden Funktionen - 3-D MID (Molded Interconnect Device)*. VDI-K Tagung Kunststoffe im Automobilbau '97 in Mannheim 12. und 13. März 1997, VDI Gesellschaft Kunststofftechnik, Düsseldorf, 1997

46. N.N. *Procedure for testing switches GM9110P*. General Motors Engineering Standards,

47. Klein Wassink, *Weichlöten in der Elektronik*. 2. Auflage, Leuze Verlag R.J.

48. N.N. *DIN 53 494 Prüfung von galvanisierten Kunststoffteilen*. Beuth Verlag, Berlin, 1984

49. N.N. *BMW N 600 00.0 Oberflächenschutzarten*. BMW AG, München, 1994

50. N.N. *BMW N 600 13.0 Elektrik-/Elektronik-Baugruppen in Kraftfahrzeugen*. BMW AG, München, 1991

51. N.N. *BMW N 601 24.0 Leistungssätze/Leitungen in Kraftfahrzeugen*. BMW AG, München, 1994

- N.N. *BMW N 601 22.0 Leiterplatten in Kraftfahrzeugen*. BMW AG, München, 1994

53. N.N. *DIN IEC 512 Elektrisch -mechanische Bauelemente für elektronische Einrichtungen*. Beuth Verlag, Berlin, 1994

54. N.N. *DIN 40500 IP-Schutzarten*. Beuth Verlag, Berlin, 1993

55. N.N. *DIN 41640 Meß- und Prüfverfahren für elektrisch-mechanische Bauelemente*. Beuth Verlag, Berlin, 1988

56. N.N. *BMW N 601 61.0 Galvanisierte Kunststoffteile*. BMW AG, München, 1995

57. N.N. *DIN IEC 68 Grundlegende Umweltprüfverfahren*. Beuth Verlag, Berlin, 1987

58. N.N. *DIN 40046 Umweltprüfungen für die Elektrotechnik*. Beuth Verlag, Berlin, 1981

59. N.N. *DIN 40839 Elektromagnetische Verträglichkeit in Straßenfahrzeugen*. Beuth Verlag, Berlin, 1992

60. N.N. *BMW N 601 31.0 Funktelefone, Funktelefonkomponenten und Funktelefonantennen des D-Netzes GSM.*
BMW AG, München, 1994
61. Pagel, Skogmo
Thoma, Lubitz
Leiber, Garthe
Fritz, Kurz
Kreft, Wille *Arbeitskreis Prüfrichtlinie für Kfz-Steckverbinder. Ausgabe 02.1996*
62. N.N. *DIN 46249 Flachsteckverbindungen nicht isoliert.*
Beuth Verlag, Berlin, 1980
63. Plachetta, C.
Hennig, I.
Keller, B. *Aufheizbare POM-Bauteile.* Kunststoffe 4/1997, Carl Hanser Verlag, München, 1997
64. Bauser, H.
Bolch, H.
Mager, T.
Schindler, B. *Heißprägen von Leiterbahnen- Verfahren und Anwendungsmöglichkeiten.* SMT/ASIC 1988, Hüthing Buch Verlag, Heidelberg, 1988
65. Geiger, M.
Pucher, H.-J.
Glasmacher, M.
Hutfless, J.
Kickelhain, J. *Konzepte zur laserstrahlunterstützten, strukturierten Metallisierung von 3-D MID.* Bürkner, Feldmann, Franke, Römer (Hrsg.): Proceedings 1. Int. Congress Molded Interconnect Devices, Erlangen, Meisenbach Verlag, Bamberg, 1994
66. Feldmann, K.
Gerhard, M. *Löten von MIDs.* Bürkner, Feldmann, Franke, Römer (Hrsg.): Proceedings 1. Int. Congress Molded Interconnect Devices, Erlangen, Meisenbach Verlag, Bamberg, 1994
67. Feldmann, K.
Gerhard, M.
Kriebitzsch, I. *Characterization of the reliability of MID.* Bürkner, Feldmann, Pöhlau, Römer (Hrsg.): Proceedings 2. Int. Congress Molded Interconnect Devices, Erlangen, Meisenbach Verlag, Bamberg, 1996

68. Hajny, F. *3-D MID in der Kraftfahrzeugtechnik*. Bürkner, Feldmann, Pöhlau, Römer (Hrsg.): Proceedings 2. Int. Congress Molded Interconnect Devices, Erlangen, Meisenbach Verlag, Bamberg, 1996
69. Siegemund, E. *Untersuchung werkstoffspezifischer Beanspruchungsgrenzen, konstruktionsspezifischer Versagensformen und Berechnungsmöglichkeiten dünnwandiger zylindrischer Verbindungselemente aus Thermoplast*. Fortschritts-Bericht VDI-Reihe 1 Nr.139, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1986
70. Feldmann, K. *Dritte Dimension. Räumliche spritzgegossene Schaltungsträger stellen neue Anforderungen an die Konstruktion*. Maschinenmarkt 100(1994) 29, Vogel Verlag und Druck KG, Würzburg, 1995
71. Franke, J. *Die wirtschaftliche Bewertung neuer Fertigungstechnologien*. IO Management Zeitschrift 62 (1993) Nr.4, Verlag Industrielle Organisation BWI ETH, Zürich, 1993
72. Warnecke, H.-J. *Wirtschaftlichkeitsrechnung für Ingenieure*. Carl Hanser Bullinger, H.J. et al. Verlag, München, Wien, 1980
73. Dietz, S. *Unterlagen und Gespräche mit der Fa. Kostal zu MID-Themen - Konzeption und Herstellung*. Lüdenscheid 1994, 1995, 1996, 1997
74. Feldmann, K. *Stand, Entwicklungslinien und neue Herausforderungen an flexible Bestückssysteme*. VDI Seminar SMT: Rationelle Produktion in der Elektronik 11. und 12. Juni 1997, VDI/VDE-Gesellschaft Mikro- und Feinwerktechnik, Erlangen, Düsseldorf

75. Krimi, S. *Aufbau moderner SMD-Bestückssysteme - Einfluß neuer Technologien.* VDI Seminar SMT: Rationelle Produktion in der Elektronik 11. und 12. Juni 1997, VDI/VDE-Gesellschaft Mikro- und Feinwerktechnik, Erlangen, Düsseldorf
76. Feldmann, K. *Molded Interconnect Devices - Recent developments and future trends.* Bürkner, Feldmann, Pöhlau, Römer (Hrsg.): Proceedings 2. Int. Congress Molded Interconnect Devices, Erlangen, Meisenbach Verlag, Bamberg, 1996
77. Mettler, M. *Development of automotive MID applications.* Bürkner, Feldmann, Pöhlau, Römer (Hrsg.): Proceedings 2. Int. Congress Molded Interconnect Devices, Erlangen, Meisenbach Verlag, Bamberg, 1996
78. Leveque, D.J.-P. *Molded Interconnect Technology in a Multi-position control switch.* Bürkner, Feldmann, Pöhlau, Römer (Hrsg.): Proceedings 2. Int. Congress Molded Interconnect Devices, Erlangen, Meisenbach Verlag, Bamberg, 1996
79. Hajny, F.
Kriebitzsch, I. *3-D MID in automotive technology.* Bürkner, Feldmann, Pöhlau, Römer (Hrsg.): Proceedings 2. Int. Congress Molded Interconnect Devices, Erlangen, Meisenbach Verlag, Bamberg, 1996
80. Kleineidam, G. *ROS-ILCP: An approach to customer-oriented chip packaging.* Bürkner, Feldmann, Pöhlau, Römer (Hrsg.): Proceedings 2. Int. Congress Molded Interconnect Devices, Erlangen, Meisenbach Verlag, Bamberg, 1996
81. Baba, F.
et als. *MID antenna and new plastic shield shell for handheld cellular phones.* Bürkner, Feldmann, Pöhlau, Römer (Hrsg.): Proceedings 2. Int. Congress Molded Interconnect Devices, Erlangen, Meisenbach Verlag, Bamberg, 1996

82. Zippmann, V. *Use of two-shot MIDs for controlling devices.* Bürkner, Feldmann, Pöhlau, Römer (Hrsg.): Proceedings 2. Int. Congress Molded Interconnect Devices, Erlangen, Meisenbach Verlag, Bamberg, 1996
83. Spiegel, M. *Application profiles of two-shot molded MIDs.* Bürkner, Feldmann, Pöhlau, Römer (Hrsg.): Proceedings 2. Int. Congress Molded Interconnect Devices, Erlangen, Meisenbach Verlag, Bamberg, 1996
84. Förster, G. *MID company cooperations- experiance with joint case*
Glimmerveen, D. *study seminars.* Bürkner, Feldmann, Pöhlau, Römer
Hartmann, U. (Hrsg.): Proceedings 2. Int. Congress Molded Interconnect Devices, Erlangen, Meisenbach Verlag, Bamberg, 1996
85. Giersbeck, M. *Design catalogue for 3-D MID.* Bürkner, Feldmann,
Michaeli, W. Pöhlau, Römer (Hrsg.): Proceedings 2. Int. Congress
Brinkmann, T. Molded Interconnect Devices, Erlangen, Meisenbach
Verlag, Bamberg, 1996
86. Krebs, T. *3-D MECAD and computer aided planning tools.*
Bürkner, Feldmann, Pöhlau, Römer (Hrsg.): Procee-
dings 2. Int. Congress Molded Interconnect Devices,
Erlangen, Meisenbach Verlag, Bamberg, 1996
87. Hochuli, M. *Innovative solutions for MIDs with polyamide speciali-*
Aeppli, E.P. *ties.* Bürkner, Feldmann, Pöhlau, Römer (Hrsg.): Pro-
ceedings 2. Int. Congress Molded Interconnect Devi-
ces, Erlangen, Meisenbach Verlag, Bamberg, 1996
88. Zahradnik, F. *Properties of blendswith poly(arylene ether ketones)*
and their applicability as materials for molded intercon-
nect devices. Bürkner, Feldmann, Pöhlau, Römer
(Hrsg.): Proceedings 2. Int. Congress Molded Intercon-
nect Devices, Erlangen, Meisenbach Verlag, Bamberg,
1996

89. Smith, M.L. *Material alternatives for „film in mold“ MIDs.* Bürkner, Feldmann, Pöhlau, Römer (Hrsg.): Proceedings 2. Int. Congress Molded Interconnect Devices, Erlangen, Meisenbach Verlag, Bamberg, 1996
90. Kuhmann, K. *Influence of processing and flow conditions in multi-component injection molding on the strength of compatible material combinations.* Bürkner, Feldmann, Pöhlau, Römer (Hrsg.): Proceedings 2. Int. Congress Molded Interconnect Devices, Erlangen, Meisenbach Verlag, Bamberg, 1996
91. Hunter P.A. *Circuit structuring of molded interconnect devices by selective application of an electroless plating catalyst technology.* Bürkner, Feldmann, Pöhlau, Römer (Hrsg.): Proceedings 2. Int. Congress Molded Interconnect Devices, Erlangen, Meisenbach Verlag, Bamberg, 1996
92. Stampfer, S.
Ehrenstein, G.W. *Properties of hot stamped molded interconnection devices.* Bürkner, Feldmann, Pöhlau, Römer (Hrsg.): Proceedings 2. Int. Congress Molded Interconnect Devices, Erlangen, Meisenbach Verlag, Bamberg, 1996
93. Brand, A. *Modular system for assembling SMD onto complex MIDs.* Bürkner, Feldmann, Pöhlau, Römer (Hrsg.): Proceedings 2. Int. Congress Molded Interconnect Devices, Erlangen, Meisenbach Verlag, Bamberg, 1996

94. Luchs, R. *Potential of electrically conductive adhesives for MID-technology.* Bürkner, Feldmann, Pöhlau, Römer (Hrsg.): Proceedings 2. Int. Congress Molded Interconnect Devices, Erlangen, Meisenbach Verlag, Bamberg, 1996
95. Feldmann, K. *Requirements and material properties of MIDs.* Bürkner, Feldmann, Pöhlau, Römer (Hrsg.): Proceedings 2. Int. Congress Molded Interconnect Devices, Erlangen, Meisenbach Verlag, Bamberg, 1996
96. Krautheim, T. Stampfer, S. *Recycling of molded interconnect devices.* Bürkner, Feldmann, Pöhlau, Römer (Hrsg.): Proceedings 2. Int. Congress Molded Interconnect Devices, Erlangen, Meisenbach Verlag, Bamberg, 1996
97. Schiebisch, J. Schubert, T. Ehrenstein, G.W. *Molded Interconnect Devices: Application and use.* Bürkner, Feldmann, Franke, Römer (Hrsg.): Proceedings 1. Int. Congress Molded Interconnect Devices, Erlangen, Meisenbach Verlag, Bamberg, 1994
98. Leveque, D.J. *Überblick über lötbare thermoplastische Kunststoffe für MID-Anwendungen.* Bürkner, Feldmann, Franke, Römer (Hrsg.): Proceedings 1. Int. Congress Molded Interconnect Devices, Erlangen, Meisenbach Verlag, Bamberg, 1994
99. Römer, M. *Bedeutung des Spritzgießprozesses in der MID-Fertigung.* Bürkner, Feldmann, Franke, Römer (Hrsg.): Proceedings 1. Int. Congress Molded Interconnect Devices, Erlangen, Meisenbach Verlag, Bamberg, 1994
100. Kuhmann, K. *Konzepte zur laserstrahlunterstützten, strukturierten Metallisierung von 3-D MIDs.* Bürkner, Feldmann, Franke, Römer (Hrsg.): Proceedings 1. Int. Congress Molded Interconnect Devices, Erlangen, Meisenbach Verlag, Bamberg, 1994
- Geiger, M. Pucher H.-J. Glasmacher, M. Hutfless, J. Kickelhain, J.

101. Fahrner, H.M. *Heißprägen von räumlichen Schaltungsträgern.*
Hartmann, U. Bürkner, Feldmann, Franke, Römer (Hrsg.): Proceedings 1. Int. Congress Molded Interconnect Devices, Erlangen, Meisenbach Verlag, Bamberg, 1994
102. Feldmann, K. *SMD assembly onto Moulded Interconnection Devices-*
Brand, A. *Available systems and developments.* Bürkner, Feldmann, Franke, Römer (Hrsg.): Proceedings 1. Int. Congress Molded Interconnect Devices, Erlangen, Meisenbach Verlag, Bamberg, 1994
103. Förster, G. *Designmethodik für MIDs.* Bürkner, Feldmann, Franke, Römer (Hrsg.): Proceedings 1. Int. Congress Molded Interconnect Devices, Erlangen, Meisenbach Verlag, Bamberg, 1994
104. Mettler, M.R. *The benefit of MID product design.* Bürkner, Feldmann, Franke, Römer (Hrsg.): Proceedings 1. Int. Congress Molded Interconnect Devices, Erlangen, Meisenbach Verlag, Bamberg, 1994
105. Suhr, M.L. *Design evolution from concept to production.* Bürkner, Feldmann, Franke, Römer (Hrsg.): Proceedings 1. Int. Congress Molded Interconnect Devices, Erlangen, Meisenbach Verlag, Bamberg, 1994
Frisch, D.C.
106. van Alst, G. *MID Interconnection considerations.* Bürkner, Feldmann, Franke, Römer (Hrsg.): Proceedings 1. Int. Congress Molded Interconnect Devices, Erlangen, Meisenbach Verlag, Bamberg, 1994
van Dijk, P.
van Meijl, F.
107. Severin, J.W. *Start-up strategy for Philips PMF on european MID market.* Bürkner, Feldmann, Franke, Römer (Hrsg.): Proceedings 1. Int. Congress Molded Interconnect Devices, Erlangen, Meisenbach Verlag, Bamberg, 1994
108. Mettler, J. *Future trends in technology and markets.* Bürkner, Feldmann, Franke, Römer (Hrsg.): Proceedings 1. Int. Congress Molded Interconnect Devices, Erlangen, Meisenbach Verlag, Bamberg, 1994

109. Schaaf, S. *Polyamide: Werkstoffe für die High-Technologie und das moderne Leben.* Verlag Moderne Industrie, Landsberg/ Lech, 1997
110. Schiebisch, J. *Recycling of Molded Interconnect Devices.* Bürkner, Schubert, T. Feldmann, Pöhlau, Römer (Hrsg.): Proceedings 2. Int. Ehrenstein, G.W. Congress Molded Interconnect Devices, Erlangen, Meisenbach Verlag, Bamberg, 1996
111. Stockinger, F. *Präzise 3D-Lasermaterialbearbeitung.* in: Laser-Praxis 1/1997, S.16-18, Carl Hanser Verlag, München, 1997
112. Stampfer, S. *Properties of hot stamped molded interconnection devices.* Bürkner, Feldmann, Pöhlau, Römer (Hrsg.): Proceedings 2. Int. Congress Molded Interconnect Devices, Erlangen, Meisenbach Verlag, Bamberg, 1996
113. Schmitt-Thomas
Schweigart, H.
Wege *Elektrochemische Migration- eine typische Korrosionserscheinung in der Elektronik.* Veröffentlichung des Lehrstuhls für Werkstoffe im Maschinenbau der TU München, 1995
114. Schweigart, H.
Wege *Betauungs-Stress-Screening - Ein Verfahren zur Beurteilung der Klimasicherheit elektrischer Baugruppen.* . Veröffentlichung des Lehrstuhls für Werkstoffe im Maschinenbau der TU München, 1997
115. Schmitt-Thomas,
Schurig,
Höniger *Neue Perspektiven und Einsatzmöglichkeiten der Belastungsprüfung elektronischer Komponenten.* . Veröffentlichung des Lehrstuhls für Werkstoffe im Maschinenbau der TU München, 1995

Lebenslauf

Ingo Peter Kriebitzsch, geboren am **10.05.1970** in **Sulzbach-Rosenberg / Opf.**

1976 - 1980	Grundschule
1980 - 1989	Herzog-Christian-August Gymnasium in Sulzbach-Rosenberg mit Erlangung der Allgemeinen Hochschulreife
1989 - 1990	Grundwehrdienst in Bereichen der Standsetzung
1990 - 1994	Studium der Fertigungstechnik an der Friedrich-Alexander Univ. in Erlangen
1994 - 1997	Tätigkeit als Doktorand bei der BMW AG in der Vorentwicklung Kunststoffe
1997 - 1999	Entwicklungsingenieur bei der BMW AG, München im Bereich Bedienfelder, Mechatronik
1999 - 2000	Gruppenleiter der Karosserieelektronik bei der BMW group, Warwick, GB für die Marken Rover, LandRover, MG und MINI
2000 - 2001	Projektleiter Elektrik/Elektronik bei der BMW group, München für das Projekt MINI.
Seit 12/2001	Abteilungsleiter der Sicherheitselektronik bei der BMW group, München.

Reihe Fertigungstechnik - Erlangen

www.mb.uni-erlangen.de

Band 1 - 52

Carl Hanser Verlag, München

ab Band 53

Meisenbach Verlag, Bamberg

45,-- Euro

Band 1: Andreas Hemberger

**Innovationspotentiale in der rechnerintegrierten Produktion
durch wissensbasierte Systeme**

208 Seiten, 107 Bilder. 1988.

Band 2: Detlef Classe

**Beitrag zur Steigerung der Flexibilität automatisierter Montagesysteme
durch Sensorintegration und erweiterte Steuerungskonzepte**

194 Seiten, 70 Bilder. 1988.

Band 3: Friedrich-Wilhelm Nolting

Projektiertung von Montagesystemen

201 Seiten, 107 Bilder, 1 Tabelle. 1989.

Band 4: Karsten Schlüter

**Nutzungsgradsteigerung von Montagesystemen
durch den Einsatz der Simulationstechnik**

177 Seiten, 97 Bilder. 1989.

Band 5: Shir-Kuan Lin

Aufbau von Modellen zur Lageregelung von Industrierobotern

168 Seiten, 46 Bilder. 1989.

Band 6: Rudolf Nuss

**Untersuchungen zur Bearbeitungsqualität
im Fertigungssystem Laserstrahlschneiden**

206 Seiten, 115 Bilder, 6 Tabellen. 1989.

Band 7: Wolfgang Scholz

**Modell zur datenbankgestützten Planung
automatisierter Montageanlagen**

194 Seiten, 89 Bilder. 1989.

Band 8: Hans-Jürgen Wißmeier

**Beitrag zur Beurteilung des Bruchverhaltens
von Hartmetall-Fließpreßmatrizen**

179 Seiten, 99 Bilder, 9 Tabellen. 1989.

Band 9: Rainer Eisele

**Konzeption und Wirtschaftlichkeit
von Planungssystemen in der Produktion**

183 Seiten, 86 Bilder. 1990.

Band 10: Rolf Pfeiffer

**Technologisch orientierte Montageplanung
am Beispiel der Schraubtechnik**

216 Seiten, 102 Bilder, 16 Tabellen. 1990.

Band 11: Herbert Fischer

**Verteilte Planungssysteme zur Flexibilitätssteigerung
der rechnerintegrierten Teilefertigung**

201 Seiten, 82 Bilder. 1990.

Band 12: Gerhard Kleineidam
CAD/CAP: Rechnergestützte Montagefeinplanung
203 Seiten, 107 Bilder. 1990.

Band 13: Frank Vollertsen
**Pulvermetallurgische Verarbeitung
eines übereutektoiden verschleißfesten Stahls**
XIII u. 217 Seiten, 67 Bilder, 34 Tabellen. 1990.

Band 14: Stephan Biermann
**Untersuchungen zur Anlagen- und Prozeßdiagnostik
für das Schneiden mit CO₂-Hochleistungslasern**
VIII u. 170 Seiten, 93 Bilder, 4 Tabellen. 1991.

Band 15: Uwe Geißler
**Material- und Datenfluß
in einer flexiblen Blechbearbeitungszelle**
124 Seiten, 41 Bilder, 7 Tabellen. 1991.

Band 16: Frank Oswald Hake
**Entwicklung eines rechnergestützten Diagnosesystems
für automatisierte Montagezellen**
XIV u. 166 Seiten, 77 Bilder. 1991.

Band 17: Herbert Reichel
**Optimierung der Werkzeugbereitstellung
durch rechnergestützte Arbeitsfolgenbestimmung**
198 Seiten, 73 Bilder, 2 Tabellen. 1991.

Band 18: Josef Scheller
**Modellierung und Einsatz von Softwaresystemen
für rechnergeführte Montagezellen**
198 Seiten, 65 Bilder. 1991.

Band 19: Arnold vom Ende
Untersuchungen zum Biegeumformen mit elastischer Matrizze
166 Seiten, 55 Bilder, 13 Tabellen. 1991.

Band 20: Joachim Schmid
**Beitrag zum automatisierten Bearbeiten
von Keramikguß mit Industrierobotern**
XIV u. 176 Seiten, 111 Bilder, 6 Tabellen. 1991.

Band 21: Egon Sommer
**Multiprozessorsteuerung für kooperierende
Industrieroboter in Montagezellen**
188 Seiten, 102 Bilder. 1991.

Band 22: Georg Geyer
**Entwicklung problemspezifischer Verfahrensketten
in der Montage**
192 Seiten, 112 Bilder. 1991.

Band 23: Rainer Flohr
**Beitrag zur optimalen Verbindungstechnik
in der Oberflächenmontage (SMT)**
186 Seiten, 79 Bilder. 1991.

Band 24: Alfons Rief
**Untersuchungen zur Verfahrensfolge Laserstrahlschneiden
und -schweißen in der Rohkarosseriefertigung**
VI u. 145 Seiten, 58 Bilder, 5 Tabellen. 1991.

Band 25: Christoph Thim
**Rechnerunterstützte Optimierung von Materialflußstrukturen
in der Elektronikmontage durch Simulation**
188 Seiten, 74 Bilder. 1992.

Band 26: Roland Müller
**CO₂-Laserstrahlschneiden
von kurzglasverstärkten Verbundwerkstoffen**
141 Seiten, 107 Bilder, 4 Tabellen. 1992.

Band 27: Günther Schäfer
Integrierte Informationsverarbeitung bei der Montageplanung
195 Seiten, 76 Bilder. 1992.

Band 28: Martin Hoffmann

**Entwicklung einer CAD/CAM-Prozesskette
für die Herstellung von Blechbiegeteilen**
149 Seiten, 89 Bilder. 1992.

Band 29: Peter Hoffmann

**Verfahrensfolge Laserstrahlschneiden und –schweißen :
Prozessführung und Systemtechnik in der 3D–Laserstrahlbearbeitung
von Blechformteilen**
186 Seiten, 92 Bilder, 10 Tabellen. 1992.

Band 30: Olaf Schrödel

Flexible Werkstattsteuerung mit objektorientierten Softwarestrukturen
180 Seiten, 84 Bilder. 1992.

Band 31: Hubert Reinisch

**Planungs- und Steuerungswerkzeuge
zur impliziten Geräteprogrammierung in Roboterzellen**
XI u. 212 Seiten, 112 Bilder. 1992.

Band 32: Brigitte Bärnreuther

**Ein Beitrag zur Bewertung des Kommunikationsverhaltens
von Automatisierungsgeräten in flexiblen Produktionszellen**
XI u. 179 Seiten, 71 Bilder. 1992.

Band 33: Joachim Hutfless

**Laserstrahlregelung und Optikdiagnostik
in der Strahlführung einer CO₂-Hochleistungslaseranlage**
175 Seiten, 70 Bilder, 17 Tabellen. 1993.

Band 34: Uwe Günzel

**Entwicklung und Einsatz eines Simulationsverfahrens für operative
und strategische Probleme der Produktionsplanung und –steuerung**
XIV u. 170 Seiten, 66 Bilder, 5 Tabellen. 1993.

Band 35: Bertram Ehmman

**Operatives Fertigungscontrolling durch Optimierung
auftragsbezogener Bearbeitungsabläufe in der Elektronikfertigung**
XV u. 167 Seiten, 114 Bilder. 1993.

Band 36: Harald Kolléra

**Entwicklung eines benutzerorientierten Werkstattprogrammiersystems
für das Laserstrahlschneiden**
129 Seiten, 66 Bilder, 1 Tabelle. 1993.

Band 37: Stephanie Abels

**Modellierung und Optimierung von Montageanlagen
in einem integrierten Simulationssystem**
188 Seiten, 88 Bilder. 1993.

Band 38: Robert Schmidt–Hebbel

Laserstrahlbohren durchflußbestimmender Durchgangslöcher
145 Seiten, 63 Bilder, 11 Tabellen. 1993.

Band 39: Norbert Lutz

**Oberflächenfeinbearbeitung keramischer Werkstoffe
mit XeCl–Excimerlaserstrahlung**
187 Seiten, 98 Bilder, 29 Tabellen. 1994.

Band 40: Konrad Grampp

**Rechnerunterstützung bei Test und Schulung
an Steuerungssoftware von SMD–Bestücklinien**
178 Seiten, 88 Bilder. 1995.

Band 41: Martin Koch

**Wissensbasierte Unterstützung der Angebotsbearbeitung
in der Investitionsgüterindustrie**
169 Seiten, 68 Bilder. 1995.

Band 42: Armin Gropp

**Anlagen- und Prozessdiagnostik
beim Schneiden mit einem gepulsten Nd:YAG–Laser**
160 Seiten, 88 Bilder, 7 Tabellen. 1995.

Band 43: Werner Heckel
**Optische 3D-Konturerfassung und on-line Biegewinkelmessung
mit dem Lichtschnittverfahren**
149 Seiten, 43 Bilder, 11 Tabellen. 1995.

Band 44: Armin Rothhaupt
**Modulares Planungssystem
zur Optimierung der Elektronikfertigung**
180 Seiten, 101 Bilder. 1995.

Band 45: Bernd Zöllner
Adaptive Diagnose in der Elektronikproduktion
195 Seiten, 74 Bilder, 3 Tabellen. 1995.

Band 46: Bodo Vormann
**Beitrag zur automatisierten Handhabungsplanung
komplexer Blechbiegeteile**
126 Seiten, 89 Bilder, 3 Tabellen. 1995.

Band 47: Peter Schnepf
Zielkostenorientierte Montageplanung
144 Seiten, 75 Bilder. 1995.

Band 48: Rainer Klotzbücher
**Konzept zur rechnerintegrierten Materialversorgung
in flexiblen Fertigungssystemen**
156 Seiten, 62 Bilder. 1995.

Band 49: Wolfgang Greska
Wissensbasierte Analyse und Klassifizierung von Blechteilen
144 Seiten, 96 Bilder. 1995.

Band 50: Jörg Franke
**Integrierte Entwicklung neuer Produkt- und Produktionstechnologien
für räumliche spritzgegossene Schaltungsträger (3-D MID)**
196 Seiten, 86 Bilder, 4 Tabellen. 1995.

Band 51: Franz-Josef Zeller
Sensorplanung und schnelle Sensorregelung für Industrieroboter
190 Seiten, 102 Bilder, 9 Tabellen. 1995.

Band 52: Michael Solvie
**Zeitbehandlung und Multimedia-Unterstützung
in Feldkommunikationssystemen**
200 Seiten, 87 Bilder, 35 Tabellen. 1996.

Band 53: Robert Hopperdietzel
Reengeneering in der Elektro- und Elektronikindustrie
180 Seiten, 109 Bilder, 1 Tabelle. 1996.
ISBN 3-87525-070-2

Band 54: Thomas Rebhan
**Beitrag zur Mikromaterialbearbeitung mit Excimerlasern –
Systemkomponenten und Verfahrensoptimierungen**
148 Seiten, 61 Bilder, 10 Tabellen. 1996.
ISBN 3-87525-075-3

Band 55: Henning Hanebuth
Laserstrahlhartlöten mit Zweistrahlschmelztechnik
157 Seiten, 58 Bilder, 11 Tabellen. 1996.
ISBN 3-87525-074-5

Band 56: Uwe Schönherr
**Steuerung und Sensordatenintegration für flexible Fertigungszellen
mit kooperierenden Robotern**
188 Seiten, 116 Bilder, 3 Tabellen. 1996.
ISBN 3-87525-076-1

Band 57: Stefan Holzer
Berührungslose Formgebung mit Laserstrahlung
162 Seiten, 69 Bilder, 11 Tabellen. 1996.
ISBN 3-87525-079-6

Band 58: Markus Schultz
**Fertigungsqualität beim 3D-Laserstrahlschweißen
von Blechformteilen**
165 Seiten, 88 Bilder, 9 Tabellen. 1997.
ISBN 3-87525-080-X

Band 59: Thomas Krebs
**Integration elektromechanischer CA-Anwendungen
über einem STEP-Produktmodell**
198 Seiten, 58 Bilder, 8 Tabellen. 1997.
ISBN 3-87525-081-8

Band 60: Jürgen Sturm
**Prozeßintegrierte Qualitätssicherung
in der Elektronikproduktion**
167 Seiten, 112 Bilder, 5 Tabellen. 1997.
ISBN 3-87525-082-6

Band 61: Andreas Brand
**Prozesse und Systeme zur Bestückung
räumlicher elektronischer Baugruppen (3D-MID)**
182 Seiten, 100 Bilder. 1997.
ISBN 3-87525-087-7

Band 62: Michael Kauf
**Regelung der Laserstrahlleistung und der Fokusparameter
einer CO₂-Hochleistungslaseranlage**
140 Seiten, 70 Bilder, 5 Tabellen. 1997.
ISBN 3-87525-083-4

Band 63: Peter Steinwasser
**Modulares Informationsmanagement
in der integrierten Produkt- und Prozeßplanung**
190 Seiten, 87 Bilder. 1997.
ISBN 3-87525-084-2

Band 64: Georg Liedl
**Integriertes Automatisierungskonzept
für den flexiblen Materialfluß in der Elektronikproduktion**
196 Seiten, 96 Bilder, 3 Tabellen. 1997.
ISBN 3-87525-086-9

Band 65: Andreas Otto
Transiente Prozesse beim Laserstrahlschweißen
132 Seiten, 62 Bilder, 1 Tabelle. 1997.
ISBN 3-87525-089-3

Band 66: Wolfgang Blöchl
**Erweiterte Informationsbereitstellung an offenen CNC-Steuerungen
zur Prozeß- und Programmoptimierung**
168 Seiten, 96 Bilder. 1997.
ISBN 3-87525-091-5

Band 67: Klaus-Uwe Wolf
**Verbesserte Prozeßführung und Prozeßplanung
zur Leistungs- und Qualitätssteigerung beim Spulenwickeln**
186 Seiten, 125 Bilder. 1997.
ISBN 3-87525-092-3

Band 68: Frank Backes
Technologieorientierte Bahnplanung für die 3D-Laserstrahlbearbeitung
138 Seiten, 71 Bilder, 2 Tabellen. 1997.
ISBN 3-87525-093-1

Band 69: Jürgen Kraus
Laserstrahlumformen von Profilen
137 Seiten, 72 Bilder, 8 Tabellen. 1997.
ISBN 3-87525-094-X

Band 70: Norbert Neubauer
Adaptive Strahlführungen für CO₂-Laseranlagen
120 Seiten, 50 Bilder, 3 Tabellen. 1997.
ISBN 3-87525-095-8

Band 71: Michael Steber
**Prozeßoptimierter Betrieb flexibler Schraubstationen
in der automatisierten Montage**
168 Seiten, 78 Bilder, 3 Tabellen. 1997.
ISBN 3-87525-096-6

Band 72: Markus Pfestorf
Funktionale 3D-Oberflächenkenngrößen in der Umformtechnik
162 Seiten, 84 Bilder, 15 Tabellen. 1997.
ISBN 3-87525-097-4

Band 73: Volker Franke
**Integrierte Planung und Konstruktion
von Werkzeugen für die Biegebearbeitung**
143 Seiten, 81 Bilder. 1998.
ISBN 3-87525-098-2

Band 74: Herbert Scheller
**Automatisierte Demontagesysteme und recyclinggerechte
Produktgestaltung elektronischer Baugruppen**
184 Seiten, 104 Bilder, 17 Tabellen. 1998.
ISBN 3-87525-099-0

Band 75: Arthur Meßner
**Kaltmassivumformung metallischer Kleinstteile
– Werkstoffverhalten, Wirkflächenreibung, Prozeßauslegung**
164 Seiten, 92 Bilder, 14 Tabellen. 1998.
ISBN 3-87525-100-8

Band 76: Mathias Glasmacher
Prozeß- und Systemtechnik zum Laserstrahl-Mikroschweißen
184 Seiten, 104 Bilder, 12 Tabellen. 1998.
ISBN 3-87525-101-6

Band 77: Michael Schwind
**Zerstörungsfreie Ermittlung mechanischer Eigenschaften
von Feinblechen mit dem Wirbelstromverfahren**
124 Seiten, 68 Bilder, 8 Tabellen. 1998.
ISBN 3-87525-102-4

Band 78: Manfred Gerhard
**Qualitätssteigerung in der Elektronikproduktion durch Optimierung
der Prozeßführung beim Löten komplexer Baugruppen**
179 Seiten, 113 Bilder, 7 Tabellen. 1998.
ISBN 3-87525-103-2

Band 79: Elke Rauh
**Methodische Einbindung der Simulation
in die betrieblichen Planungs- und Entscheidungsabläufe**
192 Seiten, 114 Bilder, 4 Tabellen. 1998.
ISBN 3-87525-104-0

Band 80: Sorin Niederkorn
**Meßeinrichtung zur Untersuchung der Wirkflächenreibung
bei umformtechnischen Prozessen**
99 Seiten, 46 Bilder, 6 Tabellen. 1998.
ISBN 3-87525-105-9

Band 81: Stefan Schubert
**Regelung der Fokusslage beim Schweißen mit CO₂-Hochleistungslasern
unter Einsatz von adaptiven Optiken**
140 Seiten, 64 Bilder, 3 Tabellen. 1998.
ISBN 3-87525-106-7

Band 82: Armando Walter Colombo
**Development and Implementation of Hierarchical Control Structures
of Flexible Production Systems Using High Level Petri Nets**
216 Seiten, 86 Bilder. 1998.
ISBN 3-87525-109-1

Band 83: Otto Meedt
**Effizienzsteigerung bei Demontage und Recycling
durch flexible Demontage Technologien und optimierte Produktgestaltung**
186 Seiten, 103 Bilder. 1998.
ISBN 3-87525-108-3

Band 84: Knuth Götz

**Modelle und effiziente Modellbildung
zur Qualitätssicherung in der Elektronikproduktion**

212 Seiten, 129 Bilder, 24 Tabellen. 1998.

ISBN 3-87525-112-1

Band 85: Ralf Luchs

**Einsatzmöglichkeiten leitender Klebstoffe
zur zuverlässigen Kontaktierung elektronischer Bauelemente in der SMT**

176 Seiten, 129 Bilder, 30 Tabellen. 1998.

ISBN 3-87525-113-7

Band 86: Frank Pöhlau

**Entscheidungsgrundlagen zur Einführung
räumlicher spritzgegossener Schaltungsträger (3-D MID)**

144 Seiten, 99 Bilder. 1999.

ISBN 3-87525-114-8

Band 87: Roland T. A. Kals

Fundamentals on the miniaturization of sheet metal working processes

128 Seiten, 58 Bilder, 11 Tabellen. 1999.

ISBN 3-87525-115-6

Band 88: Gerhard Luhn

**Implizites Wissen und technisches Handeln
am Beispiel der Elektronikproduktion.**

252 Seiten, 61 Bilder, 1 Tabelle. 1999.

ISBN 3-87525-116-4

Band 89: Axel Sprenger

Adaptives Streckbiegen von Aluminium-Strangpreßprofilen

114 Seiten, 63 Bilder, 4 Tabellen. 1999.

ISBN 3-87525-117-2

Band 90: Hans-Jörg Pucher

**Untersuchungen zur Prozeßfolge Umformen, Bestücken
und Laserstrahlöten von Mikrokontakten**

158 Seiten, 69 Bilder, 9 Tabellen. 1999.

ISBN 3-87525-119-9

Band 91: Horst Arnet

Profilbiegen mit kinematischer Gestalterzeugung

128 Seiten, 67 Bilder, 7 Tabellen. 1999.

ISBN 3-87525-120-2

Band 92: Doris Schubart

**Prozeßmodellierung und Technologieentwicklung
beim Abtragen mit CO₂-Laserstrahlung**

133 Seiten, 57 Bilder, 13 Tabellen. 1999.

ISBN 3-87525-122-9

Band 93: Adrianus L. P. Coremans

**Laserstrahlintern von Metallpulver – Prozeßmodellierung,
Systemtechnik, Eigenschaften laserstrahlgesinterter Metallkörper**

184 Seiten, 108 Bilder, 12 Tabellen. 1999.

ISBN 3-87525-124-5

Band 94: Hans-Martin Biehler

**Optimierungskonzepte für Qualitätsdatenverarbeitung
und Informationsbereitstellung in der Elektronikfertigung**

194 Seiten, 105 Bilder. 1999.

ISBN 3-87525-126-1

Band 95: Wolfgang Becker

**Oberflächen Ausbildung und tribologische Eigenschaften
excimerlaserstrahlbearbeiteter Hochleistungskeramiken**

175 Seiten, 71 Bilder, 3 Tabellen. 1999.

ISBN 3-87525-127-x

Band 96: Philipp Hein

**Innenhochdruck-Umformen von Blechpaaren:
Modellierung, Prozeßauslegung und Prozeßführung**

129 Seiten, 57 Bilder, 7 Tabellen. 1999.

ISBN 3-87525-128-8

Band 97: Gunter Beitinger
**Herstellungs- und Prüfverfahren
für thermoplastische Schaltungsträger**
169 Seiten, 92 Bilder, 20 Tabellen. 1999.
ISBN 3-87525-129-6

Band 98: Jürgen Knoblach
**Beitrag zur rechnerunterstützten verursachungsgerechten Angebotskalkulation von
Blechteilen mit Hilfe wissensbasierter Methoden**
155 Seiten, 53 Bilder, 26 Tabellen. 1999.
ISBN 3-87525-130-X

Band 99: Frank Breitenbach
**Bildverarbeitungssystem zur Erfassung der Anschlußgeometrie
elektronischer SMT-Bauelemente**
147 Seiten, 92 Bilder, 12 Tabellen. 2000.
ISBN 3-87525-131-8

Band 100: Bernd Falk
**Simulationsbasierte Lebensdauervorhersage
für Werkzeuge der Kaltmassivumformung**
134 Seiten, 44 Bilder, 15 Tabellen. 2000.
ISBN 3-87525-136-9

Band 101: Wolfgang Schlögl
**Integriertes Simulationsdaten-Management
für Maschinenentwicklung und Anlagenplanung**
169 Seiten, 101 Bilder, 20 Tabellen. 2000.
ISBN 3-87525-137-7

Band 102: Christian Hinsel
**Ermüdungsbruchversagen hartstoffbeschichteter
Werkzeugstähle in der Kaltmassivumformung**
130 Seiten, 80 Bilder, 14 Tabellen. 2000.
ISBN 3-87525-138-5

Band 103: Stefan Bobbert
**Simulationsgestützte Prozessauslegung
für das Innenhochdruck-Umformen von Blechpaaren**
123 Seiten, 77 Bilder. 2000.
ISBN 3-87525-145-8

Band 104: Harald Rottbauer
**Modulares Planungswerkzeug
zum Produktionsmanagement in der Elektronikproduktion**
166 Seiten, 106 Bilder. 2001.
ISBN 3-87525-139-3

Band 105: Thomas Hennige
Flexible Formgebung von Blechen durch Laserstrahlumformen
119 Seiten, 50 Bilder. 2001.
ISBN 3-87525-140-7

Band 106: Thomas Menzel
**Wissensbasierte Methoden für die rechnergestützte Charakterisierung
und Bewertung innovativer Fertigungsprozesse**
152 Seiten, 71 Bilder. 2001.
ISBN 3-87525-142-3

Band 107: Thomas Stöckel
**Kommunikationstechnische Integration der Prozeßebene
in Produktionssysteme durch Middleware-Frameworks**
147 Seiten, 65 Bilder, 5 Tabellen. 2001.
ISBN 3-87525-143-1

Band 108: Frank Pitter
**Verfügbarkeitssteigerung von Werkzeugmaschinen
durch Einsatz mechatronischer Sensorlösungen**
158 Seiten, 131 Bilder, 8 Tabellen. 2001.
ISBN 3-87525-144-X

Band 109: Markus Korneli
**Integration lokaler CAP-Systeme
in einen globalen Fertigungsdatenverbund**
121 Seiten, 53 Bilder, 11 Tabellen. 2001.
ISBN 3-87525-146-6

Band 110: Burkhard Müller
Laserstrahljustieren mit Excimer-Lasern – Prozeßparameter und Modelle zur Aktorkonstruktion
128 Seiten, 36 Bilder, 9 Tabellen. 2001
ISBN 3-87525-159-8

Band 111: Jürgen Göhringer
Integrierte Telediagnose via Internet zum effizienten Service von Produktionssystemen
178 Seiten, 98 Bilder, 5 Tabellen. 2001.
ISBN 3-87525-147-4

Band 112: Robert Feuerstein
Qualitäts- und kosteneffiziente Integration neuer Bauelementetechnologien in die Flachbaugruppenfertigung
161 Seiten, 99 Bilder, 10 Tabellen. 2001.
ISBN 3-87525-151-2

Band 113: Marcus Reichenberger
Eigenschaften und Einsatzmöglichkeiten alternativer Elektroniklote in der Oberflächenmontage (SMT)
165 Seiten, 97 Bilder, 18 Tabellen. 2001.
ISBN 3-87525-152-0

Band 114: Alexander Huber
Justieren vormontierter Systeme mit dem Nd:YAG-Laser unter Einsatz von Aktoren
122 Seiten, 58 Bilder, 5 Tabellen. 2001.
ISBN 3-87525-153-9

Band 115: Sami Krimi
Analyse und Optimierung von Montagesystemen in der Elektronikproduktion
155 Seiten, 88 Bilder, 3 Tabellen. 2001.
ISBN 3-87525-157-1

Band 116: Marion Merklein
Laserstrahlumformen von Aluminiumwerkstoffen - Beeinflussung der Mikrostruktur und der mechanischen Eigenschaften
122 Seiten, 65 Bilder, 15 Tabellen. 2001.
ISBN 3-87525-156-3

Band 117: Thomas Collisi
Ein informationslogistisches Architekturkonzept zur Akquisition simulationsrelevanter Daten
181 Seiten, 105 Bilder, 7 Tabellen. 2002.
ISBN 3-87525-164-4

Band 118: Markus Koch
Rationalisierung und ergonomische Optimierung im Innenausbau durch den Einsatz moderner Automatisierungstechnik
176 Seiten, 98 Bilder, 9 Tabellen. 2002.
ISBN 3-87525-165-2

Band 119: Michael Schmidt
Prozeßregelung für das Laserstrahl-Punktschweißen in der Elektronikproduktion
152 Seiten, 71 Bilder, 3 Tabellen. 2002.
ISBN 3-87525-166-0

Band 120: Nicolas Tiesler
Grundlegende Untersuchungen zum Fließpressen metallischer Kleinstteile in Druck

Band 121: Lars Pursche
Methoden zur rechnergestützten Programmierung für die 3D- Lasermikrobearbeitung
in Druck

Band 122: Jan-Oliver Brassel
Prozeßkontrolle beim Laserstrahl-Mikroschweißen
in Druck

Band 123: Mark Geisel
Prozeßkontrolle und –steuerung beim Laserstrahlschweißen
in Druck

Band 124: Gerd Eßer
**Laserstrahlunterstützte Erzeugung metallischer
Leiterstrukturen auf Thermoplastsubstraten für die MID-Technik**
148 Seiten, 60 Bilder, 6 Tabellen. 2002.
ISBN 3-87525-171-7

Band 125: Marc Fleckenstein
**Qualität laserstrahl-gefügter Mikroverbindungen
elektronischer Kontakte**
159 Seiten, 77 Bilder, 7 Tabellen. 2002.
ISBN 3-87525-170-9

Band 126: Stefan Kaufmann
**Grundlegende Untersuchungen zum Nd:YAG- Laserstrahlfügen
von Silizium für Komponenten der Optoelektronik**
159 Seiten, 100 Bilder, 6 Tabellen. 2002.
ISBN 3-87525-172-5

Band 127: Thomas Fröhlich
**Simultanes Löten von Anschlußkontakten elektronischer Bauelemente
mit Diodenlaserstrahlung**
in Druck

Band 128: Achim Hofmann
**Erweiterung der Formgebungsgrenzen beim Umformen von
Aluminiumwerkstoffen durch den Einsatz prozessangepasster Platinen**
in Druck

Band 129: Ingo Kriebitzsch
3-D MID Technologie in der Automobilelektronik
129 Seiten, 102 Bilder, 10 Tabellen. 2002.
ISBN 3-87525-169-5