

Klaus Schlickerrieder

**Methodik zur Prozessoptimierung
beim automatisierten elastischen Kleben
großflächiger Bauteile**



Herbert Utz Verlag · München

Forschungsberichte IWB

Band 211

Zugl.: Diss., München, Techn. Univ., 2007

Bibliografische Information der Deutschen Nationalbibliothek: Die Deutsche Nationalbibliothek verzeichnet diese Publikation in der Deutschen Nationalbibliografie; detaillierte bibliografische Daten sind im Internet über <http://dnb.d-nb.de> abrufbar.

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, der Entnahme von Abbildungen, der Wiedergabe auf fotomechanischem oder ähnlichem Wege und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen bleiben – auch bei nur auszugsweiser Verwendung – vorbehalten.

Copyright © Herbert Utz Verlag GmbH · 2008

ISBN 978-3-8316-0776-1

Printed in Germany

Herbert Utz Verlag GmbH, München
089-277791-00 · www.utz.de

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis.....	I
Abkürzungs- und Akronymverzeichnis	VII
Formelzeichenverzeichnis.....	IX
1 Einleitung	1
1.1 Kleben im produktionstechnischen Umfeld	1
1.2 Anwendung der Klebtechnik in der Fahrzeugfertigung	3
1.3 Montage großflächiger Bauteile und Baugruppen durch elastisches Kleben.....	4
1.4 Ziel der Arbeit und Vorgehensweise	7
2 Situationsanalyse und Problemstellung	11
2.1 Allgemeines	11
2.2 Klebtechnische Grundlagen.....	11
2.2.1 Grundlagen zum industriellen Kleben	11
2.2.2 Klebstoffe in der industriellen Anwendung.....	14
2.2.3 Systemtechnik zum automatisierten Kleben.....	19
2.3 Anforderungen an die Montage großflächiger Bauteile durch Kleben.....	21
2.3.1 Anforderungen an die Bauteilbereitstellung und das Greifen des Bauteils.....	21
2.3.2 Anforderungen an den Klebstoffauftrag	22
2.3.3 Anforderungen an die Handhabungseinrichtung	23
2.3.4 Anforderungen an das Fügen großflächiger Bauteile	24

2.3.5	Anforderungen an den Gesamtprozess	25
2.4	Fügefehler und Fehlerursachen	26
2.4.1	Fügefehler	26
2.4.2	Fehlerursachen.....	28
2.4.3	Bewertung und Schlussfolgerung	32
2.5	Qualitätssicherung beim Kleben.....	33
2.5.1	Grundlagen zur Qualitätssicherung beim industriellen Kleben.....	33
2.5.2	Bewertung bestehender Ansätze zur Qualitätssicherung beim industriellen Kleben großflächiger Bauteile.....	35
2.6	Zusammenfassung der Situationsanalyse	37
3	Stand der Technik zum Fügen großflächiger Bauteile durch Kleben	39
3.1	Allgemeines	39
3.2	Grundlagen zu Sensorsystemen.....	39
3.3	Anforderungen und Aufgabe einer direkten, sensoriiellen Qualitätssicherung	41
3.4	Messverfahren zur Posebestimmung über Abstands- oder Konturmessung	43
3.4.1	Berührende Messverfahren.....	43
3.4.2	Berührungslose Messverfahren	44
3.4.3	Einteilung der Verfahren nach dem Anwendungsbereich.....	47
3.5	Prozessführung auf der Basis von gemessenen Poseinformationen.....	48
3.5.1	Grundlagen zur Prozessregelung	48
3.5.2	Industrielle Umsetzung der Prozessführung anhand der Poseinformationen	52

3.6 Zusammenfassung und Präzisierung der Aufgabenstellung.....	55
4 Methodik zum Fügen großflächiger Bauteile durch elastisches Kleben	59
4.1 Allgemeines zur Methodik.....	59
4.2 Untersuchung der grundsätzlichen Rahmenbedingungen	60
4.2.1 Analyse der Einflussgrößen des Fügens großflächiger Bauteile durch elastisches Kleben	60
4.2.2 Ableitung von Anforderungen an das elastische Kleben großflächiger Bauteile.....	62
4.3 Untersuchung der Möglichkeiten zur Formgebung	63
4.3.1 Bestimmung der zu erwartenden Abweichungen	63
4.3.2 Vorgehen zur Auswahl des zu verformenden Bauteils.....	64
4.3.3 Integration der Formgebung in die Prozesskette	66
4.3.4 Analyse der Möglichkeiten zur Bauteilverformung	69
4.3.5 Bewertung und Auswahl.....	70
4.4 Untersuchung der Möglichkeiten zur Prozessdatenerfassung	71
4.4.1 Allgemeines	71
4.4.2 Entwicklung von Möglichkeiten zur Prozessdatenerfassung	73
4.4.3 Bewertung der Möglichkeiten zur Prozessdatenerfassung	76
4.5 Ableitung einer allgemeingültigen Methodik.....	77
4.5.1 Allgemeines zur Methodik.....	77
4.5.2 Entwurf der Methodik.....	79
4.6 Zusammenfassung	86
5 Detaillierung der Methodik anhand eines Anwendungsbeispiels.....	89
5.1 Allgemeines zur Detaillierung der Methodik	89

5.2	Beschreibung des Anwendungsszenarios.....	90
5.2.1	Glasscheiben für Personenkraftwagen und Nutzfahrzeuge.....	90
5.2.2	Kleben von Glas mit Metallen.....	91
5.3	Werkstoffkundliche und physikalische Eigenschaften von Glas	92
5.3.1	Glasarten und deren spezifische Eigenschaften	92
5.3.2	Herstellung von Windschutzscheiben	94
5.4	Verhalten von VSG-Windschutzscheiben unter Belastung.....	97
5.4.1	Allgemeines zu Spannungen und Kräften in Glasbauteilen	97
5.4.2	Versuche zur Messung der Rückstellkräfte in Abhängigkeit von der Verformung	99
5.4.3	Versuchsergebnisse zur Bestimmung der Rückstellkräfte	103
5.4.4	Auswirkung induzierter Rückstellkräfte auf den Fügeprozess	106
5.4.5	Rückschlüsse auf die zulässige Verformungskontur.....	107
5.5	Bestimmung der Anfangsfestigkeit des viskosen Klebstoffs	108
5.5.1	Allgemeines	108
5.5.2	Messdatenermittlung an der Windschutzscheibe	108
5.5.3	Messdatenermittlung an Probekörpern.....	113
5.6	Ableitung der maximal zulässigen, relativen Verschiebung	115
5.7	Zusammenfassung	121
6	Aufbau und Inbetriebnahme einer Pilotanlage	123
6.1	Allgemeines	123
6.2	Beschreibung der eingesetzten Komponenten der Pilotanlage	123
6.2.1	Aufbau der Versuchsumgebung	123

6.2.2	Nutzfahrzeugkarosserie und Windschutzscheiben	124
6.2.3	Handhabungsgerät.....	125
6.2.4	Scheibengreifereinheit	125
6.2.5	Bereitstellungseinheit für die Scheibe	127
6.3	Gestaltung des Fügevorgangs	129
6.3.1	Aufbau und Integration des Sensorsystems	129
6.3.2	Verarbeitung der Sensordaten.....	131
6.3.3	Programmierung der Regelung	132
6.3.4	Erweiterter Prozessablauf	132
6.3.5	Algorithmus zur Berechnung der Fahrwege.....	134
6.4	Optimierter Einklebevorgang	137
6.5	Technische Bewertung der Methodik	141
6.6	Wirtschaftliche Bewertung der Methodik	142
6.7	Zusammenfassung	146
7	Zusammenfassung und Ausblick	149
7.1	Zusammenfassung	149
7.2	Ausblick	152
8	Literaturverzeichnis.....	153
9	Anhang	175
9.1	Abmessung der untersuchten Windschutzscheibe.....	175
9.2	Aufbau und Ergebnis der Linearisierung des Wegsensors	175
9.3	Versuchspläne zur Messung der Rückstellkräfte.....	176
9.4	V Versuchsergebnisse zur Messung der Rückstellkräfte	178

9.5	Versuchspläne zur Messung der Anfangsfestigkeit des Klebstoffs ...	180
9.6	Versuchsergebnisse zur Messung der Anfangsfestigkeit des Klebstoffs.....	181
9.7	Eigenschaften des eingesetzten Ersatzmediums.....	182
9.8	Messgeräte und Messsysteme.....	182
9.9	Firmenverzeichnis	183

1 Einleitung

1.1 Kleben im produktionstechnischen Umfeld

In den letzten Jahren haben sich die Rahmenbedingungen für die Produktion stark verändert (MILBERG 2003, REINHART et al. 2000, WIENDAHL 2002). Zum einen lässt sich anhand der zunehmenden Diversifizierung der Anspruchsgruppen vor allem im Konsumgüterbereich ein Trend zur Produktindividualisierung und der damit verbundenen Steigerung der Variantenzahlen erkennen (PILLER 1998, ZÄH et al. 2003b, ZÄH et al. 2005a). Aus Sicht der Fertigungs- und Montagetechnik ist es jedoch erforderlich, weiterhin in hohen Stückzahlen zu fertigen, um vor allem hinsichtlich der Kosten konkurrenzfähige Produkte am Markt platzieren zu können (ZÄH et al. 2003b). Zum anderen werden immer höhere Anforderungen an die Produkte seitens der Kunden oder durch den zunehmenden Wettbewerb gestellt. Ebenso beeinflussen internationale Handelsbedingungen, länderspezifische Gesetzgebungen und Umwelt- bzw. Umfeldeinflüsse die Produktgestaltung. Vor allem im Automobil- und Nutzfahrzeugbau stehen hier die Kundenwünsche nach mehr Sicherheit und besserer Ausstattung der Forderung zur Senkung des Flottenverbrauchs konträr gegenüber (HALDENWANGER 2000, JENNEWEIN et al. 2000).

Ein wesentlicher Ansatzpunkt zur Senkung des Flottenverbrauchs ist die Reduzierung der Fahrzeugmasse durch die konsequente Anwendung von Leichtbau im Fahrwerks-, Antriebs- und Karosseriebereich (FRIEDRICH & MESCHUT 2003, LAMMEL 2000). In der Regel kann jedoch ein Werkstoff die vielfältigen Anforderungen nicht erfüllen. Neben Stahl haben sich daher vor allem Kunststoffe, Aluminium, zum Teil auch Titan und Magnesium als Konstruktionswerkstoffe etabliert (ENß et al. 2001, LEHNERT et al. 2002, SCHUMANN & FRIEDRICH 1998, ZÄH et al. 2004a). Diese in Einzelkomponenten, Baugruppen und Modulen eingesetzten Werkstoffe müssen an die auftretenden Belastungen angepasst und anschließend in ein Gesamtprodukt integriert werden (FRIEDRICH 2002, HAHN et al. 2001).

Die daraus resultierenden vielfältigen Werkstoffkombinationen sind jedoch mit herkömmlichen Fügeverfahren oft nur schwer zu verbinden (BAUER 2003). Die Vereinigung von Werkstoffen in Mischbauweise, worunter eine gemeinsame Anwendung von Materialien mit unterschiedlichen Eigenschaften in einem Bau-

teil verstanden wird, ist daher für die Produktion von besonderer Bedeutung (BÖHM 2003, FLEGEL & DEBSCHÜTZ 2002, HAHN et al. 2001, REINHART et al. 2000). Nach GIGENGACK (2003) ist allerdings bei Verwendung einer Mischverbindung, neben den Eigenschaften der einzelnen Werkstoffe, das Verhalten der entstehenden Werkstoffkombination zu beachten. Für Mischverbindungen stellt die Klebtechnik eine vielversprechende Alternative zu den traditionellen Fügeverfahren dar (BÜDGAM et al. 2004, FRIEDRICH 2002, MAURER & STARK 2001). Der Anteil des Fügeverfahrens Kleben an der Produktion nimmt seit Jahren stetig zu, das Potenzial ist jedoch bei Weitem noch nicht ausgeschöpft. SCHEFFELS (2006) stellt in diesem Zusammenhang fest: „Der Einsatz des Klebens wird in allen Bereichen steigen: Das 20. Jahrhundert war das Jahrhundert des Schweißens, das 21. Jahrhundert ist das Jahrhundert des Klebens.“

In Abbildung 1–1 ist der Verlauf der gesamten Klebstoffproduktion über die Jahre 2000 bis 2004 in Deutschland aufgezeigt. Darin weist die hergestellte Klebstoffmenge kontinuierliche Wachstumsraten auf, wodurch sich auch ein steigender Bedarf an Anlagen zur Klebstoffverarbeitung ergibt. Ein großer Anteil der produzierten Klebstoffe wird in der Fahrzeugindustrie eingesetzt. So wurde für 2004 nach FEICA (2005) der europäische Klebstoffbedarf mit 8,79 Mrd. € beziffert. Bis Ende 2007 wird ein Marktwachstum von 5,2% auf 10,3 Mrd. € erwartet. 14% des gesamten Volumens (1,23 Mrd. €) entfielen davon auf den Bereich der Transportindustrie, die Fahrzeuge, Schiffe und Flugzeuge mit einschließt. Die Fahrzeugindustrie verbrauchte ca. 9% des Gesamtvolumens.

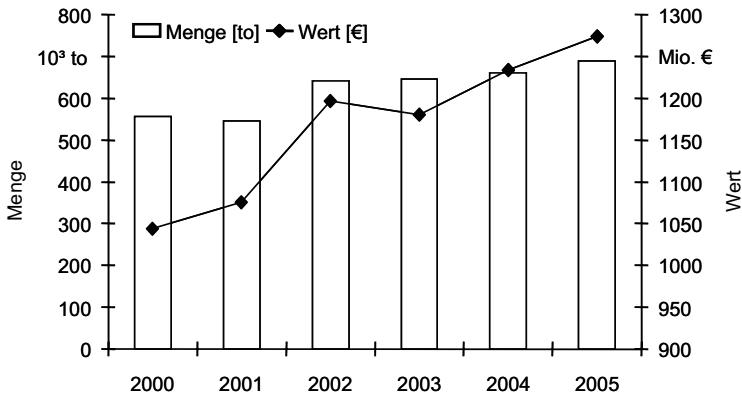


Abbildung 1–1: Produktion von Klebstoffen in Deutschland (nach INDUSTRIEVERBAND KLEBSTOFFE 2007)

1.2 Anwendung der Klebtechnik in der Fahrzeugfertigung

Im modernen Fahrzeugbau werden Klebstoffe von der flexiblen Abdichtung bis hin zum hochfesten Strukturverbund für die unterschiedlichsten Anwendungen eingesetzt (CORDES 2001, 2003). Die klebtechnischen Applikationen lassen sich prinzipiell in das strukturelle Kleben an der Rohkarosserie und in das Kleben in der Montage einteilen.

Strukturelles Kleben schließt im Wesentlichen Bördelfalzklebung, Unterfütterungsklebung und Klebung an der Tragstruktur mit ein. Unter einer Bördelfalzklebung wird die Verbindung eines um ein Innenblech gebördelten Außenblechs mit dem Innenblech mittels Klebstoff verstanden (HABENICHT 1997). Wesentlicher Vorteil gegenüber Punktschweißverbindungen ist in diesem Fall die erhöhte Steifigkeit der Gesamtstruktur durch die flächige Verbindung der Werkstücke. Unterfütterungsklebung wird eingesetzt, um Versteifungselemente unter Front- und Heckklappen, Türen, Innenbleche sowie unter das Dach zu kleben. Die Vorteile gegenüber herkömmlichen Fügeverfahren liegen sowohl in der Steifigkeitserhöhung als auch in der Verbesserung der Vibrationsdämpfung des Gesamtsystems. Bei Klebung in der Tragstruktur werden Bleche beispielsweise an Tragprofile oder Hutprofile als Sicherheitselemente bei Crashbeanspruchungen geklebt. Zusätzlich kann durch die Anwendung von Strukturklebstoffen eine Erhöhung der Schwingfestigkeit erreicht werden (BORN & SCHENKEL 1996, FRIEDRICH & MESCHUT 2003, GIESE & RITZENHOFF 2001, HABENICHT 2002, KOHLSTRUNG 2003, WALTHER 2002).

Mittels Klebung wird überdies eine Vielzahl von Bauteilen und Baugruppen montiert. Unter Kleben in der Montage sollen im Weiteren alle Anwendungen der Klebtechnik verstanden werden, die nach der strukturellen Fertigstellung der Fahrzeugkarosserie oder der Fahrzeugstruktur durchgeführt werden (WALTHER 2002). Zum Einsatz kommen Montageklebung beispielsweise an Abdämpfungselementen, Türverkleidungen, Dachmodulen, Instrumententafeln, Dekorationssteilen, Stoßfängern sowie zur Befestigung von Funktionselementen, z.B. Regensensoren (CORDES 1997, 2001). Ebenso ermöglicht die Klebtechnik die Integration von Glasscheiben als tragende Strukturen in die Fahrzeugkonstruktion, da der Klebstoff, im Gegensatz zu den bisher verwendeten Gummidichtlippen, eine Übertragung von Kräften ermöglicht. Auf diese Weise kann die Verwindungssteifigkeit und die Dachbelastbarkeit einer Karosserie um bis zu 30% gesteigert, die Wasserdichtheit verbessert und die aerodynamische Gestaltung der Fahrzeugkontur optimiert werden (GESANG 1999b, HABENICHT 2002, SYMIETZ

2001). Ferner werden heute komplette Karosserieelemente aus Kunststoff mittels Klebstoff an die Fahrzeuge montiert, um dadurch eine Massereduktion gegenüber Werkstücken aus Stahl zu erreichen. Einzelne Module, wie z.B. Rückwandtüren oder Moduldächer für PKW, werden ebenfalls mittels Klebstoff in das Fahrzeug gefügt (CORDES 2001, HAILER et al. 2004, 2005). Ein Modul ist nach SCHINDELE (1996) eine nach Montageaspekten abgegrenzte und einbaufertige Einheit, deren Elemente physisch miteinander verbunden sind.

1.3 Montage großflächiger Bauteile und Baugruppen durch elastisches Kleben

Konstruktionen in Modulbauweise weisen gegenüber der Montage des Endprodukts aus Einzelteilen erhebliche Vorteile hinsichtlich niedrigerer Produktionskosten und eines schnelleren Fertigungsablaufs auf (BURCHARDT & WAPPMANN 2002, PREUSSER et al. 2003). Vor allem im Bereich des Schiffbaus, der Fertigung von Schienenfahrzeugen und der Nutzfahrzeugproduktion ist die Montage großer, teilweise vorgefertigter Module über Klebungen ökonomisch.

Für die Montage dieser Bauteile werden überwiegend elastische Klebungen eingesetzt. KOCH (1997) und HABENICHT (2002) definieren *elastische Klebungen* als Klebungen, die auf Grund der Klebschichtdicke und des Klebstoffs eine deutliche Verformung bei Lasteinwirkung aufweisen und zudem Fertigungstoleranzen ausgleichen können. Angesichts dieser Eigenschaften werden beispielsweise bei Schienenfahrzeugen die Scheiben und die sekundäre Struktur wie die Seitenbepankung, das Dach und der Boden mittels Klebstoff montiert (BREDE 2002, BURCHARDT et al. 2005, DENGLER & LEMM 1997, KOCH et al. 2004, NAGEL et al. 2004). Des Weiteren werden komplette Führerstände aus glasfaserverstärktem Kunststoff (GFK) inklusive des Bedienpults und der Seiten- und Frontscheiben an die Rahmenstruktur geklebt (PREUSSER et al. 2003). Im Bereich der Nutzfahrzeuge werden beispielsweise an Omnibussen neben der Montage der Seitenbepankungen und des Daches (vgl. Abbildung 1–2) auch die Seiten- und Frontscheiben durch elastische Klebungen gefügt (BURCHARDT et al. 2005, HABENICHT & KOCH 1997a). Aus dem Schiffbau sind Anwendungen bei Scheiben, Deckbepankungen und innenliegenden Decks bekannt (BREDE 2002, GROSS 2005, KOCH 1997). Mit elastische Klebungen zur Montage großer und flächiger Werkstücke können unter Anderem folgende Vorteile gegenüber her-

1.3 Montage großflächiger Bauteile und Baugruppen durch elastisches Kleben

kömmlichen Fügeverfahren realisiert werden (BURCHARDT & WAPPMANN 2002, HABENICHT 2002):

- Wärmearmes Fügen ohne Beeinflussung der Werkstoffeigenschaften und des Werkstoffgefüges
- glatte und markierungsfreie Oberflächen
- Verbindung verschiedener, auch nicht schweißbarer Werkstoffe
- gleichmäßige Spannungsverteilung
- Ausgleich von Längenänderungen auf Grund des unterschiedlichen Wärmehausverhaltens
- Steigerung der Stoß- und Schlagfestigkeit der Verbindung
- höhere statische Steifigkeit und höhere dynamische Belastbarkeit im Vergleich mit herkömmlichen Fügeverfahren
- Schwingungsdämpfung
- elektrische Isolation
- Abdichtung der Verbindung

Elastische Klebungen sind daher für den modernen Fahrzeugbau unverzichtbar geworden (KOCH 1997) und können sowohl bei einer manuellen als auch bei einer automatisierten Montage von großflächigen Bauteilen eingesetzt werden.

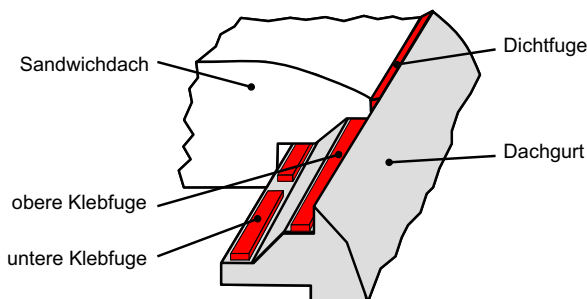


Abbildung 1–2: Prinzipieller Aufbau einer Klebung für die Montage eines Busdaches

Eine händische Montage wird häufig bei Produkten mit geringen Stückzahlen angewendet, beispielsweise in der Produktion von Schienenfahrzeugen (PREUSSER et al. 2003). Vorteilhaft ist, dass durch eine manuelle Montagetätigkeit bei niedrigen Stückzahlen ein sehr hohes Maß an Flexibilität und Wirtschaftlichkeit erreichbar wird (LOTTER et al. 1998).

Bei höheren Stückzahlen und bei schweren Lasten, wie sie für die moderne Fahrzeugindustrie typisch sind, erweisen sich automatisierte Handhabungseinrichtungen bzw. Montageanlagen in der Regel vorteilhafter als die manuellen Prozesse, da durch den verstärkten Einsatz der Elementsegmentierungen die Wirtschaftlichkeit von automatisierten Anlagen gesteigert werden kann (DENGLER & LEMM 1997). Daneben kann die Forderung nach robusten und reproduzierbaren Prozessen mit einer manuellen Montage nicht immer erfüllt werden. Stattdessen ist der Einsatz von automatisierten Montagesystemen, die oftmals durch die Anwendung von innovativer Sensor- und Regelungstechnik gekennzeichnet sind, notwendig (FELDMANN et al. 1999).

Das Prozessergebnis wird durch die Maßhaltigkeit und die Einhaltung der Toleranzen der automatisiert zu montierenden großflächigen Elemente und Module in besonderer Weise beeinflusst, da je nach Herstellungsprozess und Größe der Komponente die Abweichungen von der konstruktiv vorgegebenen Bauteilform unterschiedlich ausgeprägt sind. Bei vormontierten Modulen ist zusätzlich die Verkettung der Einzeltoleranzen von Bedeutung. Somit ist bei der Montage großer und flächiger Teile oder vormontierter Module zu beachten, dass in diesen durch den Prozess nicht zu vernachlässigende elastische Verformungen auftreten können. Diese elastischen Verformungen ziehen unter Umständen nach Aufhebung einer prozessbedingt erforderlichen Zwangslage unkontrollierte Rückverformungen nach sich. Vor allem nachgiebige Bauelemente sind durch kleine Verformungen charakterisiert, welche beispielsweise durch Schwerkraft oder durch einwirkende Prozesskräfte erzeugt werden (ZÄH & CARNEVALE 2003).

Zur Präzisierung des dieser Arbeit zugrunde liegenden Betätigungsfelds soll im weiteren Verlauf unter einem *großflächigen Bauteil mit Toleranzen* ein Element verstanden werden, welches

- eine grundsätzlich flächenhafte Struktur aufweist,
- durch seine Abmessungen erhöhten Aufwand zur Handhabung erfordert,

- Toleranzen in der Größenordnung mehrerer Millimeter besitzt sowie
- ein eigenstables Verhalten aufweist, aber gleichzeitig bis zu einem gewissen Grad verformbar ist.

Im weiteren Verlauf der Arbeit wird anstelle von großflächigen Bauteilen bisweilen auch von flächigen Großbauteilen bzw. von großen Flächenbauteilen gesprochen. Als Produkte mit industrieller Bedeutung können hierfür beispielsweise Seiten- und Dachbeplankungen an Lokomotiven und Bussen oder auch Windschutzscheiben an Nutzfahrzeugen bzw. Windschutz- und Seitenscheiben an Bussen angegeben werden.

In der industriellen Anwendung können durch elastische Klebungen bei großflächigen Werkstücken sowohl Toleranzen der Fügepartner oder Positionierungsfehler als auch Rückverformungen bis zu einem gewissen Grad kompensiert werden. Dieses Vermögen ist jedoch begrenzt. Wird der noch nicht ausgehärtete Klebstoff, beispielsweise durch eine Rückverformung, zu hoch belastet, können Fehklebungen auftreten. Um derartige Fügefehler während des Betriebs automatisierter Anlagen zu verhindern, ist es erforderlich, die durch die Montage entstehenden Spannungen bei der Auslegung der Systemtechnik und im Anlagenbetrieb zu beachten. Eine deutliche Verbesserung des Montageprozesses beim Kleben flächiger Bauteile mit hohen Toleranzen ist demnach bei einer Vorgehensweise zu erwarten, welche den Fügevorgang an die in die Bauteile induzierten Spannungen anpasst. Hierfür steht derzeit keine methodische Herangehensweise zur Verfügung.

1.4 Ziel der Arbeit und Vorgehensweise

Die vorliegende Arbeit hat das Ziel, den Fügeprozess beim automatisierten Kleben flächiger Komponenten zu optimieren und damit eine nachhaltige Steigerung der Prozessqualität zu ermöglichen. Vor allem bei flächenhaften Elementen und Baugruppen, die hohe Toleranzen aufweisen, kann eine wesentliche Qualitätsverbesserung erwartet werden. Folglich wird im Fortgang der Arbeit eine allgemeingültige Methodik für das elastische Fügen großflächiger Bauteile mit Klebstoff erarbeitet. Diese ist zur Validierung der Einsetzbarkeit auf ein industrielles Anwendungsbeispiel zu übertragen, anhand dessen der in der Methodik definierte Regelungsalgorithmus detailliert vorgestellt wird. Zu diesem Zweck wird die elastische Klebung einer Windschutzscheibe in eine Nutzfahrzeugkarosserie als

Anwendungsbeispiel herangezogen. Im Anschluss an die Detaillierung folgt die systemtechnische Umsetzung innerhalb einer Pilotanlage. Die vorliegende Arbeit beschäftigt sich schwerpunktmäßig mit der aktiven Kompensation fertigungs- und prozessbedingter Fehlereinflussfaktoren zur systematischen Verringerung von Fehklebungen und Undichtigkeiten, die bei großflächigen Werkstücken während der Herstellung der elastischen Klebung auftreten können. Dies soll durch die Kombination geeigneter Handhabungs-, Regelungs- und Sensortechnik erreicht werden.

Die Vorgehensweise, um diese Ziele zu erreichen, ergibt sich wie folgt: Zur Einführung an die Thematik wird in *Kapitel 2* das automatisierte industrielle Kleben analysiert. Darin werden die wesentlichen Grundlagen und Anforderungen zur industriellen Klebstoffverarbeitung vorgestellt. Anschließend folgen die Darstellungen der in einer klebtechnischen Fertigungszelle auftretenden Fügefehler und der zugehörigen Fehlerursachen. Weiterhin werden sensorische Maßnahmen zur Qualitätssteigerung sowie das Einsatzpotenzial von Verfahren zur zerstörenden und zerstörungsfreien Prüfung diskutiert und die daraus ersichtlichen Defizite beschrieben.

Kapitel 3 arbeitet den für das Einkleben von großflächigen Bauteilen zur Verfügung stehenden Stand von Wissenschaft und Technik auf. Ausgehend von den Grundlagen zur sensorischen Einbaulagenbestimmung werden die aktuellen Möglichkeiten der System- und Sensortechnik zur Unterstützung des Fügeprozesses vorgestellt. Darauf aufbauend folgt eine Diskussion und Beurteilung der bestehenden Lösungen hinsichtlich ihrer Einsetzbarkeit. Aus dem sich ergebenden Defizit wird auf dieser Basis eine Präzisierung der Aufgabenstellung abgeleitet.

In *Kapitel 4* wird eine Methodik für das prozesssichere Einkleben großflächiger Bauteile mit Toleranzen entwickelt. Nach einer Definition der wesentlichen Rahmenbedingungen schließt sich die Detaillierung und Bewertung der Möglichkeiten zur Prozessführung sowie zur Prozessdatenerfassung an. Die Einzelergebnisse werden schließlich in eine allgemeingültige Methodik überführt.

Die Detaillierung der allgemeingültigen Methodik anhand eines Anwendungsbeispiels ist Kern des *Kapitels 5*. Darin werden, nach der Auswahl eines geeigneten Anwendungsszenarios, die für eine industrielle Umsetzung der Methodik erforderlichen anwendungsspezifischen und klebtechnischen Zusammenhänge untersucht.

Kapitel 6 befasst sich mit der Umsetzung der Methodik in einer fertigungsnahen Pilotanlage. Anhand eines industriellen Anwendungsbeispiels werden in dieser Pilotanlage die Funktionsweise der entwickelten Algorithmen, die systemtechnische Umsetzung der Methodik und die erreichbare Qualitätssteigerung dargestellt. Das Kapitel schließt mit einer technischen und wirtschaftlichen Bewertung der Methodik.

Den Abschluss der vorliegenden Arbeit bilden in *Kapitel 7* die Zusammenfassung der gewonnenen Erkenntnisse und der Ausblick auf potenzielle zukünftige Forschungsarbeiten im Bereich des Fügens großflächiger Bauteile durch elastisches Kleben.

In *Abbildung 1–3* ist die Vorgehensweise und der Informationsfluss für den Entwurf der Methodik nochmals zusammenfassend dargestellt. Insgesamt soll durch die vorliegende Arbeit die Akzeptanz gesteigert und die Anwendung des Fügeverfahrens Kleben in der industriellen Fertigung forciert werden. Die vorliegende Arbeit ist als Wegweiser zu verstehen, um das Potenzial der Technologie für das elastische Kleben großflächiger Komponenten mit Toleranzen voll ausschöpfen zu helfen.

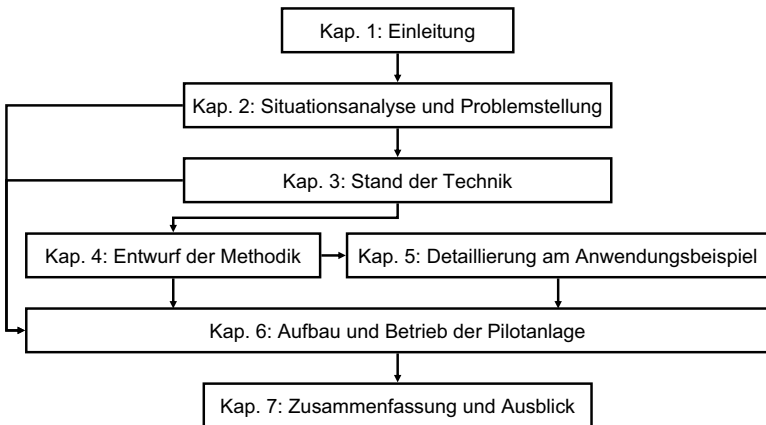


Abbildung 1–3: Vorgehensweise und Informationsfluss für den Entwurf der allgemeingültigen Methodik und deren Transfer auf ein industrielles Anwendungsbeispiel zur Validierung

2 Situationsanalyse und Problemstellung

2.1 Allgemeines

In diesem Kapitel werden die für den Fortgang der Arbeit erforderlichen klebtechnischen Grundlagen beschrieben. Zu Beginn erfolgt eine Darstellung der allgemeinen technischen Grundlagen zur Herstellung einer automatisierten Klebung. Basierend darauf werden Anforderungen an den Fügeprozess und an die dazugehörige Systemtechnik aufgezeigt sowie gängige Fehler und deren mögliche Ursachen erklärt. Das Kapitel schließt mit einer Vorstellung der Möglichkeiten zur Qualitätssicherung beim Kleben und der daraus ableitbaren Defizite für automatisierte Klebprozesse. Als Ergebnis des Kapitels lässt sich das Potenzial zur Verbesserung des Klebprozesses durch sensorielle Regelkreise ableiten, in deren Umsetzung die Problemstellung dieser Arbeit zu sehen ist.

2.2 Klebtechnische Grundlagen

2.2.1 Grundlagen zum industriellen Kleben

Nach HABENICHT (2001) zählt das Kleben zu den stoffschlüssigen Fügeverfahren. Die DIN 8593 - TEIL 0 definiert Kleben als *„Fügen unter Verwendung eines Klebstoffes (siehe DIN 16920), d.h. eines nichtmetallischen Werkstoffes, der Füge­teile durch Flächenhaftung und innere Festigkeit (...) verbinden kann“*. Bei einer Klebung handelt es sich somit um ein Verbundsystem, dessen Gesamtfestigkeit, neben der geometrischen Gestaltung und der Beanspruchung, von den Einzelfestigkeiten der in Abbildung 2–1 dargestellten Schichten abhängt (HABENICHT 2002).

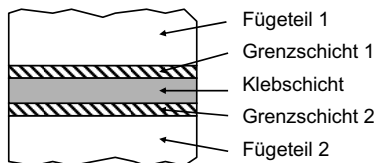


Abbildung 2–1: Aufbau einer Klebung (nach HABENICHT 2002)

Die Gesamtfestigkeit der Verbindung wird von der Festigkeit der schwächsten Schicht bestimmt, wobei bei einer Klebung die Festigkeiten der Grenzschichten und der Klebschicht von besonderer Bedeutung sind. In diesem Zusammenhang lassen sich die für die Festigkeit der Grenzschicht verantwortlichen *Adhäsionskräfte* und die für die Festigkeit der Klebschicht relevanten *Kohäsionskräfte* unterscheiden (HABENICHT 2002). Nach HABENICHT (2002) werden unter *Adhäsion* die Gesetzmäßigkeiten der Haftung von Klebschichten auf Fügeiteiloberflächen zusammengefasst. Die Wirkprinzipien zur Adhäsion lassen sich in die Gruppen der spezifischen Adhäsion und der mechanischen Adhäsion einteilen. Die spezifische Adhäsion basiert auf der Adhäsion durch

- zwischenmolekulare Kräfte im Grenzschichtbereich,
- chemische Bindung zwischen Klebstoffmolekülen und Fügeiteilatomem,
- thermodynamische Vorgänge im Grenzschichtbereich sowie durch
- Diffusionsvorgänge im Grenzschichtbereich.

Die mechanische Adhäsion kann eingeteilt werden in die Adhäsion durch

- Klebschichtverklammerung, beispielsweise in Hinterschneidungen,
- Vergrößerung der Wirkfläche durch Erhöhung der Rauheit,
- Anlösen oder Anquellen der Oberfläche für eine diffusionsartige Molekülumklammerung und
- Mikroverklammerung.

Grundsätzlich ist die mechanische Adhäsion von geringerer Bedeutung für die Ausprägung der Flächenhaftung als die spezifische Adhäsion (KOCH 1997). Als *Kohäsion* wird der Zusammenhalt zwischen Atomen und Molekülen in einem Stoff bezeichnet (HABENICHT 2002). Folgende Wechselwirkungen können zur Beschreibung der Kohäsionsmechanismen herangezogen werden:

- Die Anziehung benachbarter Moleküle und Atome auf Grund zwischenmolekularer und homöopolarer Kräfte,
- die chemischen Bindungen im Molekül sowie
- die mechanische Verklammerung der Makromoleküle innerhalb des Werkstoffes.

Für die Festigkeit einer Klebung ist das Verhältnis von der Kohäsionsfestigkeit der Klebschicht zur Adhäsionsfestigkeit der Grenzschicht von besonderer Relevanz. Infolgedessen bestimmt in Fällen optimaler Adhäsion die Kohäsion des Klebstoffs die Festigkeit der Klebung (GESANG 1999a). Während der Herstellung einer Klebung sind deshalb zur Sicherstellung der adhäsiven und kohäsiven Festigkeitseigenschaften des Klebstoffs verschiedene Prozessschritte erforderlich, welche nachfolgend erläutert werden.

HABENICHT (2001) und ENDLICH (1995) unterteilen einen Klebprozess in mehrere Schritte: Im ersten Schritt wird der Klebstoff oder bei mehrkomponentigen Klebstoffen deren Einzelkomponenten bevorratet. Im letzteren Fall erfolgt als nächster Schritt eine Mischung der Komponenten. Im Anschluss daran wird, sofern erforderlich, die Werkstückoberfläche vorbehandelt, der Klebstoff zur Fügestelle gefördert und über das Auftragssystem appliziert. Die nächsten Schritte beinhalten das Fügen und die Fixierung der Bauteile in der Fügeposition während der Aushärtung des Klebstoffs. Den Abschluss der Prozesskette bildet eine Qualitätskontrolle der Klebung. Zur Herstellung einer Klebung lassen sich grundsätzlich die Phasen *Pre-*, *In-* und *Post-Process-Phase* unterscheiden. In der *Pre-Process-Phase* werden die wesentlichen Merkmale einer Klebung definiert (SCHULLER 1999). Hierzu gehören unter anderem das konstruktive Gestalten der Klebung zur Erfüllung des Anforderungsprofils, das Auswählen eines Klebstoffsystems und der dazugehörigen Systemtechnik sowie das Festlegen der grundsätzlichen Qualitätssicherungsstrategie. Aufbauend auf der Pre-Processphase umfasst die *In-Process-Phase* das Vorbehandeln, das Fördern, das Dosieren und das Auftragen des Klebstoffs, den Füge- und Fixierungsvorgang sowie das Aushärten des Klebstoffs. In dieser Phase sind, zusätzlich zu den aus der Pre-Processphase resultierenden vorbeugenden Qualitätssicherungsmaßnahmen, direkte und indirekte Qualitätssicherungsmaßnahmen zu treffen. Die Gewährleistung der Verbindungsqualität ist Aufgabe der *Post-Process-Phase*. In dieser ist, neben der technischen Qualitätsbestimmung, die wirtschaftliche Umsetzung der Qualitätssicherung und Qualitätsprüfung von besonderer Bedeutung. Hierfür können sowohl stichprobenartige zerstörende Prüfverfahren als auch zerstörungsfreie Prüfmethoden zum Einsatz kommen.

Die erforderlichen Maßnahmen zur Herstellung einer Klebung hängen direkt vom eingesetzten Klebstoff ab. Daher werden im Folgenden die für das industrielle Kleben notwendigen klebtechnischen Grundlagen dargestellt.

2.2.2 Klebstoffe in der industriellen Anwendung

Für den industriellen Einsatz stehen nach HABENICHT (2001) mittlerweile eine sehr große Anzahl an Klebstoffen zur Verfügung. Klebstoffe lassen sich grundsätzlich nach ihrer chemischen Basis und nach ihrem Abbindemechanismus (vgl. Abbildung 2–2) einteilen (HABENICHT 1997, SCHINDEL-BIDINELLI & GUTHERZ 1988). Eine für eine anwendungsorientierte Betrachtungsweise sehr gut geeignete Klassifizierung der Klebstoffe unterteilt diese nach dem Abbindemechanismus in

- physikalisch abbindende Klebstoffe,
- reaktive Schmelzklebstoffe und
- chemisch härtende Klebstoffe.

Physikalisch abbindende Systeme bestehen aus Polymerverbindungen, die über Lösungsmittelsysteme oder erhöhte Temperaturen in einen benetzungsfähigen Zustand gebracht werden können bzw. durch Anwendung von Druck Adhäsionskräfte mit den Bauteiloberflächen ausbilden. Somit findet in der Klebfuge keine chemische Reaktion statt. Physikalisch abbindende Systeme bestehen grundsätzlich nur aus einem bereits im Endzustand befindlichen Polymer, dem Stabilisatoren, Weichmacher oder auch Füllstoffe zugegeben werden können.

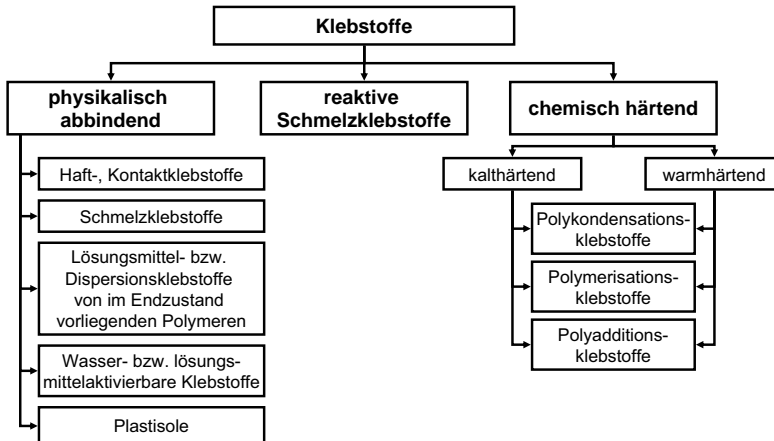


Abbildung 2–2: Einteilung der Klebstoffe nach ihrem Abbindemechanismus (nach HABENICHT 1997)

Die *reaktiven Schmelzklebstoffe* stellen eine Kombination der beiden anderen Abbindemechanismen dar. Der Auftrag eines reaktiven Schmelzklebstoffs erfolgt im erwärmten Zustand. Nach der Abkühlung ist eine für nachfolgende Prozessschritte ausreichende Anfangsfestigkeit vorhanden und der Klebstoff härtet über eine chemische Härtung vollständig aus.

In *chemisch härtenden Systemen* liegen reaktionsbereite Moleküle bzw. Prepolymermoleküle gleicher oder unterschiedlicher Art vor, die zeit- und/oder temperaturunabhängig und ggf. unter Druck miteinander zu einer Klebschicht reagieren. Bei diesen Systemen bewirken in der Regel zwei miteinander gemischte Reaktionspartner die Klebschichtbildung. Alternativ steht dem einen Reaktionspartner die zweite, für die Reaktion erforderliche Komponente in der Klebfuge oder der Umgebung, beispielsweise in Form von Luftfeuchtigkeit, zur Verfügung.

Auf Grund der erreichbaren hohen Festigkeitswerte haben chemisch abbindende Klebstoffe in der industriellen Fertigung die größte Bedeutung. Diese können weiter hinsichtlich der Anwendung in Klebstoffe für strukturelle und semistrukturelle Klebungen unterschieden werden (BRANDENBURG 2001). Mit Klebstoffen für *strukturelle Klebungen* können hochfeste Verbindungen hergestellt werden, bei denen die Klebschichtdicke in der Regel weniger als 1 mm beträgt. Eine der wichtigsten Klebstoffgruppen stellt die Gruppe der Epoxidharze, speziell der warmhärtenden Epoxidharze, dar. Zum Einsatz kommen diese Klebstoffe beispielsweise in der Automobilindustrie beim Fügen von Karosseriebauteilen.

Klebstoffe für *semistrukturelle Klebungen* weisen im Gegensatz zu den strukturellen Klebstoffen bei ausreichenden Festigkeitswerten einen großen elastischen Bereich auf. Die für semistrukturelle Klebungen notwendigen Klebschichtdicken betragen normalerweise mehrere Millimeter, um ungleiche Längenänderungen auf Grund unterschiedlicher Wärmeausdehnungskoeffizienten verschiedener Werkstoffpaarungen oder allgemeine Fertigungstoleranzen kompensieren zu können (HABENICHT & KOCH 1997a). Derartige Klebungen kommen vor allem im Bereich der Karosserieendmontage zum Einsatz. Als Klebstoff für semistrukturelle Verbindungen werden überwiegend Polyurethanklebstoffe (PUR-Klebstoffe) verwendet (KOCH 1997). Nach HABENICHT & KOCH (1997b) können mit einer Klebschichtdicke zwischen 3 mm und 4 mm, neben den besten Verarbeitungsbedingungen für die Montage, maximale Werte hinsichtlich Schubmodul und Schubfestigkeit in derartigen Klebungen erreicht werden.

3 Stand der Technik zum Fügen großflächiger Bauteile durch Kleben

3.1 Allgemeines

Aus der in Kapitel 2 durchgeführten Situationsanalyse zum industriellen Kleben ist ersichtlich, dass beim elastischen Kleben großflächiger Bauteile (eine Definition ist in Abschnitt 1.3 gegeben) erhebliches Potenzial zur Prozessverbesserung durch den Einsatz sensorielle Regelkreise während des Fügeprozesses besteht. Die Voraussetzung für eine Optimierung des Fügeprozesses ist die präzise Kenntnis der Lage der Fügepartner. Daher ist für die Umsetzung einer direkten sensorielle Qualitätssicherung die Bestimmung der Position und Orientierung der Fügepartner im Raum, nachfolgend Pose genannt, erforderlich. Hierzu werden in Abschnitt 3.2 die für eine sensorielle Qualitätssicherung erforderlichen, allgemeinen Grundlagen zu Sensorsystemen erarbeitet. Im Anschluss daran werden im Abschnitt 3.3 verfügbare sensorielle Messverfahren zur Bestimmung der Bauteilpose diskutiert. Abschnitt 3.4 beschreibt den Stand der Technik zur Prozessführung auf der Basis der gemessenen Poseinformationen. Abschließend wird das bestehende Defizit bei der Montage von großflächigen Werkstücken mit Toleranzen bestimmt und darüber die Aufgabenstellung der Arbeit präzisiert.

3.2 Grundlagen zu Sensorsystemen

LEVI & VATJA (1987) unterteilen die Sensoren in der Robotertechnik in roboterinterne und roboterexterne Sensoren. Durch roboterinterne Sensoren werden hauptsächlich roboterspezifische Daten, wie z.B. Gelenkposition, Geschwindigkeit oder Motorströme (GARTNER 2001) erfasst, während durch roboterexterne Sensoren Informationen aus der Umgebung des Roboters aufgezeichnet werden. Sensoren können nach REMBOLD & LEVI (1987) unterteilt werden

- nach der Kontaktart in taktile und berührungslose Sensoren,
- nach den gemessenen physikalischen Eigenschaften und
- nach der Art der Informationsumwandlung, z.B. in aktive und passive Sensoren.

Durch passive Sensorik wird eine quantitative Aussage über die Prozessstabilität und die Produktqualität ermöglicht. Auf der Basis der erfassten Daten kann eine Nachbearbeitungsstrategie oder eine Bauteilausschleusung veranlasst werden. Mittels aktiver Sensorik kann zusätzlich regelnd in den Prozess eingegriffen und somit die Prozessqualität in einem tolerierten Bereich gehalten werden (REINHART et al. 1996). Nach ZELLER (1995) lassen sich für die Integration von Sensoren die folgenden Klassen ableiten:

Azyklische / zyklische Integration

Bei einer zyklischen Integration der Sensoren werden durch die Robotersteuerung die Daten von den Sensoren in einem festen Zeittakt übernommen, während bei einer azyklischen Integration die Daten meist nur einmalig übertragen werden (SCHWEINZER 1989).

Steuernde / regelnde Integration

Die Begriffe *steuernd* und *regelnd* sind gemäß der DIN 19226 - TEIL 1 zu verstehen. Nach der DIN 19226 - TEIL 1 wird unter einer Steuerung ein Vorgang verstanden, bei dem eine Eingangsgröße oder mehrere Eingangsgrößen eines Systems die Ausgangsgröße oder die Ausgangsgrößen des Systems auf Grund der systemeigenen Gesetzmäßigkeiten beeinflusst bzw. beeinflussen. Unter einer Regelung wird gemäß der DIN 19226 - TEIL 1 ein Vorgang verstanden, bei dem kontinuierlich eine Regelgröße mit einer Führungsgröße verglichen wird und die Regelgröße an die Führungsgröße angeglichen wird. Zur steuernden bzw. regelnden Integration besteht daher die Möglichkeit, einen Regelkreis über Sensor, Roboter und Robotersteuerung aufzubauen oder die Sensorwerte zur Verwendung in einem Steuerkreis an die Robotersteuerung zu übertragen (WAHRBURG 1990).

Online- / Offline-Integration

Wenn die Roboterbewegungen von nahezu gleichzeitig erfassten Sensorwerten beeinflusst werden, wird von einer Online-Integration gesprochen. Basieren die Bewegungen auf zuvor gemessenen und gespeicherten Daten, ist eine Offline-Integration der Sensoren gegeben (ZELLER 1995).

Grundsätzlich sind der Aufbau, die Funktionsweise und die Integrationssystematik eines Sensorsystems für jeden Anwendungsfall separat zu detaillieren. Für komplexe Sensoren mit einer eigenen Signalverarbeitungseinheit hat sich der Begriff des Sensorsystems durchgesetzt (TRÄNKLER & OBERMEIER 1998). Ein Multisensorsystem bezeichnet nach HIRZINGER & DIETRICH (1986) eine Ver-

knüpfung von mehreren Sensoren und Sensorsystemen mit einer übergeordneten Einheit. Die Anforderungen an ein Sensorsystem sowie die Aufgabe eines Sensorsystems im Kontext einer direkten Qualitätssicherung bei der Montage großflächiger Bauteile werden im Folgenden beschrieben.

3.3 Anforderungen und Aufgabe einer direkten, sensoriiellen Qualitätssicherung

Bei der Montage großflächiger Werkstücke ist es generell erforderlich, diese im Rahmen der Toleranzkette zueinander auszurichten (RÖDER 2000, WOLLNACK & STEPANEK 2004a). Dies ist eine Grundvoraussetzung zur Flexibilisierung und Automatisierung des Montageprozesses von flächigen Bauteilen, um ausgehend von der Ist-Position die optimale Einbaulage des zu fügenden Bauelements zu bestimmen. Eine optimale Einbaulage ist dann erreicht, wenn sich nach dem Fügen der Fügspalt zwischen den Werkstücken und die Position der beiden Fügepartner zueinander innerhalb der vorgegebenen Toleranzen befinden. Hierfür sind Positionsmesssysteme, Aktoren, positionierbare Handhabungseinheiten sowie Steuerungs- und Regelungsverfahren erforderlich (WOLLNACK et al. 2001).

Um ein Sensorsystem zur Bestimmung der Bauteilpose als Werkzeug zur direkten, sensoriiellen Qualitätssicherung beim Kleben für flächige Großbauteile einsetzen zu können, muss dieses die folgenden grundlegenden Anforderungen erfüllen (erweitert in Anlehnung an WOLLNACK 2001):

- Hohe Geschwindigkeit der Messdatenerfassung und -verarbeitung
- Für den Anwendungsfall ausreichend großer Messbereich
- Einfache Integration, Programmierung und Inbetriebnahme
- Kalibrierungs- und Justagemöglichkeit
- Fehlertolerantes Betriebsverhalten
- Ausreichend hohe Messgenauigkeit und -auflösung
- Wirtschaftlicher Vorteil unter Beachtung von Anschaffungs-, Integrations- und Betriebskosten
- Einfache und schnelle Anpassbarkeit

Zur Positionierung der Fügepartner relativ zueinander können nach RÖDER (2000) zwei grundsätzliche Vorgehensweisen unterschieden werden:

- Positionierung eines Bauteils mittels Spaltkeilen
- Positionierung mittels Vermessen

Bei einer Positionierung über Spaltkeile werden die Spaltkeile so zwischen der Fügeöffnung und dem zu fügenden Bauteil positioniert, dass sich das auf einem schwimmend gelagerten Werkzeug gehaltene Bauteil, wenn es vom Handhabungssystem gegen diese Lehren gedrückt wird, selbsttätig ausrichtet. Die Einbautiefe wird entweder über feste Anschläge oder über eine programmierte Wegvorgabe sichergestellt. Die Reibung zwischen dem Bauelement und den Spaltkeilen wirkt sich jedoch negativ auf die Positionierungsgenauigkeit aus (RÖDER 2000). Daher weist eine Positionsanpassung auf der Basis von Messdaten Vorteile gegenüber der Positionierung durch Spaltkeile auf.

Zur Positionierung eines Werkstücks durch Vermessung müssen die jeweiligen Bauteilpositionen bestimmt werden. Hierfür stehen zwei Vorgehensweisen zur Verfügung. Die erste Vorgehensweise ist dadurch charakterisiert, dass mit einem Sensorsystem die Position des in der Regel feststehenden Fügepartners, mit welchem die andere Komponente gefügt werden soll, bestimmt wird. Die Messwerte werden danach mit Referenzmaßen verglichen und daraus die ersten Korrekturwerte für den TCP des Fügewerkzeugs ermittelt. Parallel dazu ist eine exakte Vermessung der Lage des Werkstücks auf dem Greifer des Handhabungsgerätes erforderlich. Zusammen mit den errechneten Korrekturwerten aus der Vermessung des feststehenden Bauteils und den Messwerten zur Lage des zu fügenden Bauteils auf dem Greifer werden die endgültigen Posekorrekturen bestimmt. Mit diesen Informationen wird die Fügeposition ermittelt und vom Handhabungsgerät angefahren (RÖDER 2000). Alternativ ist in der zweiten Vorgehensweise eine gleichzeitige Vermessung beider Fügepartner möglich. Dazu müssen diese in eine Position gebracht werden, in der ihre relative Lage zueinander mit einem Messvorgang bestimmt werden kann. Anschließend erfolgt wie bei den separaten Messvorgängen eine Ermittlung der erforderlichen Posekorrektur.

Zusammenfassend lassen sich die Bauteilposen entweder über eine Erfassung des Abstands zwischen den zu fügenden Werkstücken oder über eine separate Erfassung der Bauteilkontur mit nachfolgender Überlagerung der Konturen bestimmen. Für diesen Zweck stehen verschiedene Messverfahren zur Verfügung. Diese werden im Folgenden beschrieben.

3.4 Messverfahren zur Posebestimmung über Abstands- oder Konturmessung

3.4.1 Berührende Messverfahren

Nach HECKEL (1995) können Messsysteme zur Posebestimmung über eine Messung der Abstände oder Konturen in berührende und berührungslose Messsysteme unterschieden werden (vgl. Tabelle 3–1). Um einen Abstand berührend zu bestimmen, werden oftmals direkte mechanisch gekoppelte oder elektrisch umgesetzte Tastspitzen eingesetzt. Über eine Berührung der Bauteiloberfläche kann in Verbindung mit einer Wegmesseinrichtung der aktuelle Abstand bestimmt werden (EGELKAMP 1989). Alternativ lässt sich die Maßhaltigkeit eines Werkstücks mittels Schablonen oder speziellen Lehren bestimmen. Dabei wird das Messinstrument vor dem nachfolgenden Prozessschritt an das Werkstück angelegt und die Maßhaltigkeit geprüft.

Berührend	Mechanisch	Taster				
		Koordinatenmessgerät				
Berührungslos	Akustisch	Ultraschall				Echolot
						Interferenz
	Elektrisch	Kapazitiv				
		Induktiv				
	Optisch	Inkohärentes Licht	Geometrische Verfahren	Triangulation	Aktiv	Punkt
						Linie
					Passiv	Codiert
						Stereobild
		Kohärentes Licht	Interferometrische Verfahren	Speckle-Verfahren		
				Interferometrie		
				Holografische Interferometrie		
				Laufzeitmessung		
		Laufzeitmessung	Phasenmessung			
		Fokus	Fokussierverfahren			

Tabelle 3–1: Aufstellung der verfügbaren berührenden und berührungslosen Messprinzipien zur Abstands- und 3D-Konturbestimmung (erweitert in Anlehnung an HECKEL 1995)

4 Methodik zum Fügen großflächiger Bauteile durch elastisches Kleben

4.1 Allgemeines zur Methodik

Die Inhalte des Abschnittes 2.4.3 zeigen auf, dass beim elastischen Kleben großflächiger Komponenten Fehler, neben Fehlern durch die Handhabungseinrichtung und das Greifwerkzeug, vor allem durch Toleranzen des Werkstücks und durch die damit verbundene Abweichung von der Soll-Position beim Fügen verursacht werden. Diese Toleranzen können, sofern das zu verformende Bauteil nur geringe Abweichungen aufweist, durch den Klebstoff kompensiert werden. Sind jedoch durch die Toleranzkette Abweichungen von der Soll-Position vorgegeben, die nicht durch den Klebstoff kompensiert werden können, lässt sich die Prozesssicherheit nicht mehr ohne Weiteres gewährleisten. In diesem Fall ist zur Sicherstellung eines zulässigen Prozessergebnisses beim Fügen der Komponenten die Verformung von mindestens einem Fügepartner erforderlich. Daher basiert der Ansatz der vorliegenden Arbeit auf einer Ergänzung des Fügeprozesses um einen Verformungsprozess unter Berücksichtigung der Eigenschaften des eingesetzten Klebstoffs, der Bauteilpaarung, der zulässigen Rückfederung eines verformten Werkstücks nach Aufhebung der Zwangslage sowie der Gestaltung des Bereitstellungs- und Fügeprozesses.

In diesem Kapitel wird für den Entwurf einer allgemeingültigen und übertragbaren Vorgehensweise untersucht, welche technologischen Zusammenhänge für die Gestaltung des Fügeprozesses beim elastischen Kleben von toleranzbehafteten Komponenten großer Abmessungen gegeben sind. Daher ist

- eine Untersuchung des Verhaltens großflächiger und verformbarer Bauteile,
- eine Darstellung und Bewertung von Möglichkeiten zur Prozessführung während der Bereitstellung, der Formgebung und des Fügens sowie
- eine Analyse und Beurteilung von Möglichkeiten zur Prozessdatenerfassung

erforderlich. Aus den Ergebnissen wird abschließend eine allgemeingültige und übertragbare Vorgehensweise zur Gestaltung einer Prozesskette beim elastischen

Kleben von großen und flächigen Werkstücken mit Toleranzen abgeleitet. Als zentraler Punkt der Methodik ist die Definition eines systematischen Vorgehens zur Bestimmung der Verformungscharakteristik zu sehen. An diese Methodik werden verschiedene Anforderungen gestellt. So muss über den durch die Methodik definierten Prozess grundsätzlich

- das Bauteil exakt positioniert werden können,
- die Einhaltung des Fügespalts gemäß den konstruktiven Vorgaben sichergestellt und
- ein Ausgleich der fertigungsbedingten Toleranzen ermöglicht werden.

Ferner muss

- der Fügevorgang variabel gestaltbar sowie
- eine präzise Verformung durchführbar sein und dabei müssen
- die durch eine Verformung induzierten Spannungen minimiert werden,

um Undichtigkeiten der Fügestelle zu verhindern. Für den Entwurf der Methodik werden in den folgenden Abschnitten die Kernzusammenhänge analysiert. In Abschnitt 4.2 werden die grundsätzlichen Rahmenbedingungen der Methodik untersucht, auf deren Basis im Abschnitt 4.3 die Gestaltung der Formgebung diskutiert wird. Anschließend folgen die Möglichkeiten der Datenerfassung, die zur Prozessführung herangezogen werden. Diese werden in Abschnitt 4.4 dargestellt. Darauffolgend wird aus den Ergebnissen der vorhergehenden Abschnitte die allgemeingültige Methodik im Abschnitt 4.5 entworfen. Hierzu sind die entwickelten Möglichkeiten hinsichtlich ihrer Einsetzbarkeit für den Anwendungsfall der Arbeit zu bewerten, um den am besten geeigneten Gesamtansatz zu ermitteln.

4.2 Untersuchung der grundsätzlichen Rahmenbedingungen

4.2.1 Analyse der Einflussgrößen des Fügens großflächiger Bauteile durch elastisches Kleben

Für den Entwurf der Methodik zum Fügen großflächiger Komponenten durch elastisches Kleben sind verschiedene Einflussgrößen des Fügeprozesses und de-

ren Wechselwirkungen zu betrachten. Die physikalischen Eigenschaften eines Klebstoffs, wie z.B. die Viskosität während des Auftrags- und Fügeprozesses, die Aushärtungsgeschwindigkeit sowie die vorhandene Anfangsfestigkeit unmittelbar nach dem Fügen der Werkstücke, nehmen Einfluss auf das erzielbare Prozessergebnis. Zudem müssen die vorhandenen Bauteiltoleranzen, die Abmessungen sowie die zu verbindenden Werkstoffe berücksichtigt werden. Ferner beeinflussen die entstehenden Rückstellkräfte die Prozessqualität. Unter Rückstellkräften sollen im weiteren Verlauf der Arbeit diejenigen Kräfte verstanden werden, die auf Grund einer Verformung im Bauteil entstehen und dieses durch ihre Wirkrichtung in dessen Ausgangslage zurückverformen. Vervollständigt wird die Betrachtung der Einflussgrößen durch die für die Herstellung eines gleichmäßigen Fügespalts erforderliche Verformungskontur sowie durch die Rückfederung der verformten, aber nach dem Fügeprozess wieder freigegebenen Werkstücke. Die Einflussfaktoren dürfen in diesem Zusammenhang nicht singular betrachtet werden, sondern sind im Kontext ihrer gegenseitigen Wechselwirkung in der Methodik zu berücksichtigen (vgl. Abbildung 4–1). Im Folgenden wird die Bedeutung der einzelnen Einflussgrößen beschrieben.

Durch die Anfangsfestigkeit des Klebstoffs wird die Rückfederung der Komponente beeinflusst, da bei einer höheren Anfangsfestigkeit des Klebstoffs die Rückfederung des Bauteils reduziert wird. Die Anfangsfestigkeit kann beispielsweise durch eine höhere Viskosität oder gesteigerte Aushärtungsgeschwindigkeit des Klebstoffs bzw. durch vergrößerte Klebflächen verbessert werden.

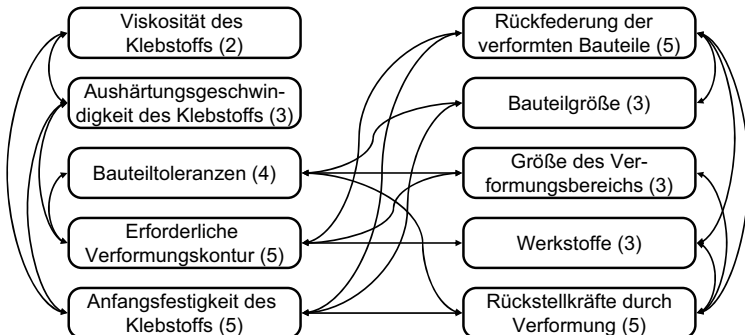


Abbildung 4–1: Einflussgrößen auf das elastische Kleben großflächiger Werkstücke mit Darstellung der Wechselwirkungen - die Anzahl der Wechselwirkungspartner wird durch die Zahl in Klammern dargestellt

Die Rückfederung hängt wiederum maßgeblich von den sich durch die Verformung ausbildenden Rückstellkräften ab, welche von den Bauteiltoleranzen, den Werkstoffen und der Größe des Verformungsbereichs beeinflusst werden. Bezüglich der Größe des Verformungsbereichs muss untersucht werden, welche Größe des zu verformenden Bereichs des Bauteils erforderlich ist, um die angestrebte Auslenkung eines Scheibenpunktes zu erreichen. So muss beispielsweise, um dieselbe Endlage eines Punktes ohne Beschädigung des Bauteils zu erreichen, die Verformung bei spröden Materialien auf einen größeren Bauteilbereich als bei duktilen Werkstoffen aufgeteilt werden.

Für den Transfer auf den industriellen Anwendungsfall ergibt sich daraus, dass speziell diejenigen Einflussgrößen detailliert untersucht werden müssen, die den höchsten Einfluss auf das Prozessergebnis aufweisen. Durch die Anzahl an Wechselwirkungspartnern werden diejenigen Einflussgrößen sichtbar, welche die Prozessqualität maßgeblich beeinflussen. Den geringsten Einfluss weist die Viskosität des Klebstoffs auf. Anschließend folgen die eingesetzten Werkstoffe, die Bauteilgröße, die Größe des Verformungsbereichs, die Aushärtungsgeschwindigkeit des Klebstoffs sowie die Bauteiltoleranzen. Die höchste Anzahl an Wechselwirkungen weisen die Anfangsfestigkeit des eingesetzten Klebstoffs, die Rückfederung der verformten Werkstücke nach Freigabe der zum Fügen notwendigen Zwangslage, die erforderliche Verformungskontur und die sich durch eine Verformung aufbauenden Rückstellkräfte im Bauteil auf. Diese vier Haupteinflussgrößen sind daher für eine Umsetzung der Methodik gesondert zu betrachten.

4.2.2 Ableitung von Anforderungen an das elastische Kleben großflächiger Bauteile

Angesichts der großen Anzahl an Wechselwirkungen der Haupteinflussgrößen (vgl. Abbildung 4–1) müssen die folgenden Anforderungen für das elastische Kleben großflächiger Bauteile beachtet werden. Zur Steigerung der Prozesssicherheit ist es erforderlich, das Werkstück in seinem Eigenspannungszustand, d.h. ohne zusätzliche Verformung, für den Prozess bereitzustellen, damit die Rückfederung vorhergesagt werden kann. Aus demselben Grund ist es zielführend, wenn während des Greifvorgangs der Eigenspannungszustand des Bauelements erhalten bleibt und dieser erst während des Fügevorgangs gezielt verändert wird.

Diese beiden Gesichtspunkte bilden die Grundlage für den in der Methodik vorgesehenen Prozessschritt der Bauteilverformung zur flexiblen Anpassung des Werkstücks an die Einbausituation. Auf Grund der Wechselwirkung zwischen der Rückfederung des verformten Bauelements und der Anfangsfestigkeit des Klebstoffs, welche in geringem Maße eine Rückfederung verhindern bzw. begrenzen kann, ist eine Minimierung der durch eine Verformung induzierten Bauteilrückfederung erforderlich. In diesem Kontext ergeben sich drei signifikante Anforderungen, die in dem Entwurf der Methodik berücksichtigt werden müssen:

- Die Fügepartner sind in ihrem Eigenspannungszustand bereitzustellen,
- durch den Greifvorgang dürfen keine Verformungen auftreten und
- die Verformung soll minimale Rückfederung des Bauteils verursachen.

Der Schwerpunkt muss auf die Integration der Verformung in den Prozessablauf und auf die Umsetzung der Verformung gelegt werden. Vor allem hinsichtlich der Formgebung des Werkstücks für die Anpassung des Fügevorgangs ist eine detaillierte Betrachtung erforderlich.

4.3 Untersuchung der Möglichkeiten zur Formgebung

4.3.1 Bestimmung der zu erwartenden Abweichungen

Für die Auslegung der zur Formgebung erforderlichen Systemtechnik sind die im Prozess auftretenden Maßabweichungen aus der Kombination der Einzelteile zu einer Baugruppe bzw. einem Fertigteile von besonderer Bedeutung. Grundsätzlich enthält jeder Produktionsschritt zur Herstellung von Einzelteilen und Baugruppen prozessbedingte Schwankungen. Folglich entstehen aus dem Zusammenbau von toleranzbehafteten Einzelbauteilen so genannte Maßketten (RÖDER 2000). Trotz der Abweichungen muss jedoch gewährleistet sein, dass alle Teile bei wahlloser Paarung die geforderte Funktion im Sinne einer geometrischen Austauschbarkeit erfüllen (PFEIFER 1996, SZYMINSKI 1993).

Eine Baugruppe besteht aus mehreren Einzelteilen, deren Maßabweichungen voneinander unabhängig sind. Das aus dem Zusammenbau resultierende Schlussmaß ist von den Toleranzen der Einzelteile abhängig. Nach RÖDER (2000) stehen zur Bestimmung des Schlussmaßes die additive Methode und die

5 Detaillierung der Methodik anhand eines Anwendungsbeispiels

5.1 Allgemeines zur Detaillierung der Methodik

Die Ausführungen zum Stand der Wissenschaft und Technik belegen, dass grundlegende Forschungsarbeiten zum Thema der Fügespaltoptimierung bereits durchgeführt worden sind (vgl. Kapitel 3). Defizitär an den vorgestellten Herangehensweisen ist jedoch, dass lediglich eine Anpassung des Werkstücks als Ganzes ermöglicht wird. Für das Kleben von großflächigen Bauteilen mit Toleranzen ist dies nicht ausreichend. Das Ziel der Behebung dieses Defizits bildet die Grundlage der im Rahmen der vorliegenden Arbeit vorgestellten Methodik. Die Entwicklung einer allgemeingültigen Herangehensweise zum Fügen derartiger Elemente ist in Kapitel 4 dargestellt. In Kapitel 5 wird die Methodik auf ein Anwendungsbeispiel übertragen und der hierfür notwendige Kenngrößensatz bestimmt. Auf Grund der großen Vielfalt der im industriellen Umfeld möglichen Material- und Klebstoffkombinationen beim Kleben großflächiger Bauteile mit Toleranzen lassen sich die Ergebnisse zu Material- und Klebstoffkennwerten zwar nur spezifisch für das jeweilige Anwendungsbeispiel verwenden, als allgemeingültiges Ergebnis der vorliegenden Arbeit ist jedoch die Vorgehensweise zur Erlangung der Ergebnisse zu sehen, die sich einfach auf andere Anwendungsfälle transferieren lässt.

Somit ergeben sich bei der Übertragung der allgemeingültigen Methodik auf das Kleben von großen und flächigen Windschutzscheiben mit Toleranzen zwei Ziele für Kapitel 5: Zum einen soll die in Kapitel 4 entwickelte allgemeine Vorgehensweise für den Anwendungsfall des Klebens von Verbundglasscheiben präzisiert werden. Dazu ist die Bestimmung der hierfür erforderlichen, spezifischen Parameter notwendig. Zum anderen sollen die zur Erreichung des ersten Zieles notwendigen Prozessschritte als anwendungsfallneutrale Anleitung verstanden werden, die zu durchlaufen ist, wenn die allgemeingültige Methodik auf einen, vom Gegenstand dieses Kapitels abweichenden, Anwendungsfall übertragen wird.

5.2 Beschreibung des Anwendungsszenarios

5.2.1 Glasscheiben für Personenkraftwagen und Nutzfahrzeuge

Die Glasfläche an Fahrzeugen hat sich in den letzten Jahrzehnten mehr als verdoppelt (BAUER & SCHULTHEIS 2001). Während anfangs die Scheibe lediglich als Schutz vor Umwelteinflüssen diente, werden derzeit immer mehr unterschiedliche, sich teilweise auch widersprechende Aufgaben und Anforderungen an die Fahrzeugverglasung gestellt (vgl. Tabelle 5–1). Vor allem die Aufgaben der Dämmung des Fahrzeuginnenraums, der Verhinderung der Durchdringung von internen und externen Objekten, des Schutzes des Fahrzeuginnenraums vor Umwelteinflüssen und der Verbesserung der Akustik in der Fahrgastzelle sowie die Integration der Verglasung als tragendes Element der Karosserie stellen besondere Anforderungen an die Füge-technik zur Verbindung von Scheibe und Fahrzeug.

Aufgaben der Fahrzeugverglasung	Anforderungen an die Fahrzeugverglasung
Wärmedämmung der Fahrgastzelle	attraktives Design
Dämmung des Fahrzeuginnenraums gegenüber externen Schallquellen	geringe Beschlagsanfälligkeit
Verbesserung der Akustik in der Fahrgastzelle	aerodynamische Integrierbarkeit in die Karosserie
Verhinderung der Durchdringung von internen bzw. externen Objekten (Personen, Steine, etc.)	gute Recyclingfähigkeit
Schutz des Fahrzeuginnenraums vor Umwelteinflüssen (Wasser, Staub, etc.)	einfache Montage / Demontage
Aufnahme von Kräften aus der Karosserie	
Massereduktion des Gesamtfahrzeugs durch Integration als tragendes Element in die Karosserie	
Schutz der Fahrzeuginsassen vor UV-Strahlen	
Übertragung von Informationen an den Fahrer	

Tabelle 5–1: Aktuelle Aufgaben der Fahrzeugverglasung sowie Anforderungen an die Fahrzeugverglasung (nach HACK 1995, HÄRDLE 1991, KRÄMLING 1995, HOLLER 2000)

Mit der früher eingesetzten Dichtlippentechnik (DÜRKOP 1995) können diese nicht mehr umfassend erfüllt werden. Stattdessen hat sich das Fügeverfahren Kleben, ausgehend von der ersten industriellen Umsetzung bei General Motors im Jahre 1963 (HERMANN 1979), in der Fahrzeugproduktion zum Fügen der Scheiben etabliert (KROISS et al. 2001, RIEDER 1993, SYMIETZ 2001, ZABEL 1987). Aus der Verwendung der Klebtechnik ergeben sich gegenüber herkömmlichen Fügeverfahren unter Anderem folgende Vorteile (CORDES 2001, KOCH 1997, ZÄH & SCHLICKENRIEDER 2006a):

- Erhöhung der Karosseriesteifigkeit durch Einkleben der Windschutzscheibe (30% - 40%)
- Steigerung der Crashsteifigkeit bei einem Unfall
- Reduzierung zusätzlicher Versteifungsmaßnahmen in der Karosserie
- Reduzierung der Fahrzeugmasse
- Verringerung der Fahrgeräusche

Ferner tragen geklebte Scheiben erheblich zur Verbesserung des c_w -Wertes eines Fahrzeugs bei (HABENICHT & KOCH 1997a). Eine prozesssichere Verbindung zwischen Metall und Glas ist hierfür eine Grundvoraussetzung. Die dazugehörigen Grundlagen sind Inhalt des folgenden Abschnitts.

5.2.2 Kleben von Glas mit Metallen

Die Festigkeit einer Glas-Metall-Klebung wird von der geringsten Einzelfestigkeit der entsprechenden Schichten bestimmt (KOCH 1997). Der Schichtaufbau einer Glas-Metall-Klebung wird exemplarisch in Abbildung 5–1 gezeigt. Im Gegensatz zu dem in Abschnitt 2.2 vorgestellten, standardisierten Aufbau einer Klebfuge sind bei einer Glas-Metall-Klebung die Festigkeiten mehrerer Schichten zu beachten, da auf Seiten des Glases der Keramiksiebdruck sowie die Primerschicht und auf der Metallseite die Decklackschicht sowie die Grundierung zusätzlich vorhanden sind. Als Keramiksiebdruck wird eine bei der Herstellung der Glasscheibe im Fügebereich aufgebraute Keramikschiebung auf der Glasoberfläche bezeichnet, die den vorwiegend auf aromatischen Polyurethanen bestehenden Klebstoff vor UV-Strahlen schützen soll (HABENICHT 2002). Unter einem Primer wird nach HABENICHT (2001) eine Substanz verstanden, welche die Adhäsion verbessert und die Alterungsvorgänge verzögert.

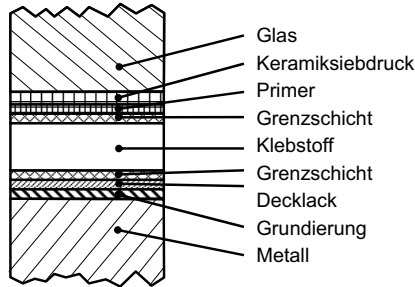


Abbildung 5–1: Schichten einer Glas-Metall-Klebung (nach HABENICHT 2002, KOCH 1997)

Zwar soll der Klebstoff bereits durch den Keramiksiebdruck vor der UV-Strahlung geschützt werden, jedoch kann eine UV-Transmission durch den Keramiksiebdruck derzeit nicht vollständig ausgeschlossen werden. Daher ist für das Kleben von Glas mit PUR-Klebstoffen nach der Applikation des haftvermittelnden und reinigenden Aktivators der Auftrag eines lichtundurchlässigen Primers, auch Schwarzprimer genannt, auf die Windschutzscheibe erforderlich (HABENICHT 2002, SYMIETZ 2001). Die Festigkeit der einzelnen Schichten muss in die Auslegung des Klebprozesses miteinbezogen werden. Zusätzlich werden auch durch den Werkstoff Verbundglas wesentliche Anforderungen an den Fügeprozess gestellt.

5.3 Werkstoffkundliche und physikalische Eigenschaften von Glas

5.3.1 Glasarten und deren spezifische Eigenschaften

Im Fahrzeugbau werden nach ALFTER & ASTHEIMER (2003) und ROYCROFT (2005) vorwiegend Glasscheiben aus Kalk-Natron-Glas eingesetzt. Aus dem Grundwerkstoff Glas lassen sich die Glastypeen Einfachglas, Sicherheitsglas und Verbundsicherheitsglas mit jeweils unterschiedlichen Eigenschaften und Verwendungszwecken herstellen.

Einfachglas

Derzeit existiert für Einfachglas, auch Floatglas genannt, das im Automobilbereich verwendet wird, keine europäische Norm. Da es sich aber bei Floatglas für den Automobilbereich um das gleiche Basisprodukt wie im Baubereich handelt, werden für die allgemeinen Eigenschaften des Glases die Bauglasnormen (DIN EN 572 - TEIL 1, DIN EN 572 - TEIL 2) herangezogen. Unbehandeltes Floatglas bricht häufig schon bei einer geringen mechanischen Belastung, z.B. Stoß bzw. Schlag, oder bei einer thermischen Belastung, beispielsweise auf Grund einer schnellen Temperaturänderung. Die bei einem Unfall auftretenden Glassplitter und Scherben einer unbehandelten Floatglasscheibe können schwere Verletzungen der Fahrzeuginsassen hervorrufen. Daher ist Floatglas im unbehandelten Zustand nicht für die Automobilindustrie zugelassen, sondern darf nur als Sicherheitsglas bzw. als Verbundsicherheitsglas eingesetzt werden.

Sicherheitsglas

Durch einen Vorspannprozess, bei dem entweder Zugspannungen im Kern oder Druckspannungen an der Oberfläche erzeugt werden, kann die Bruchempfindlichkeit und Verletzungsgefahr von Floatglas erheblich herabgesetzt sowie die Steifigkeit und die Temperaturwechselbeständigkeit gesteigert werden. Ein derart behandeltes Glas wird als Einscheibensicherheitsglas (ESG) bezeichnet und zerfällt bei einem Schlag oder Stoß, beispielsweise durch Steinschlag oder Unfall, zu Glaskrümeln ohne scharfe Kanten. Problematisch bei der Verwendung von ESG für Windschutzscheiben ist das Zerbrechen der Scheibe im Schadensfall, wodurch die Fensteröffnung freigegeben und der partielle oder vollständige Austritt von Personen und/oder Körperteilen ermöglicht wird (MEISEL et al. 1995). Es ist daher aus Sicherheitsgründen notwendig, trotz einer gebrochenen Scheibe die Fensteröffnung verschlossen zu halten.

Verbundsicherheitsglas

Mit der Entwicklung von Verbundsicherheitsglas (VSG) konnte dies gewährleistet werden. In der DIN ISO 12543 - TEIL 1 wird *Verbundglas* definiert als „...ein Aufbau, bestehend aus einer Glasscheibe mit einer oder mehreren Scheiben aus Glas und/oder Verglasungsmaterial aus Kunststoff, die durch eine oder mehrere Zwischenschichten miteinander verbunden sind“. VSG besteht nach DIN ISO 12543 - TEIL 1 aus „...Verbundglas, bei dem im Falle eines Bruchs die Zwischenschicht dazu dient, Glasbruchstücke zurückzuhalten, die Öffnungsgröße zu begrenzen, eine Restfestigkeit zu bieten und das Risiko von Schnitt- und Stichver-

6 Aufbau und Inbetriebnahme einer Pilotanlage

6.1 Allgemeines

In Kapitel 5 wurden die technologischen Grundlagen der im Rahmen der vorliegenden Arbeit entwickelten allgemeingültigen Vorgehensweise für das elastische Kleben großflächiger Windschutzscheiben beschrieben. Innerhalb des folgenden Kapitels wird darauf aufbauend die Umsetzung der Vorgehensweise in einer prototypischen Pilotanlage beschrieben. Die hierfür erforderlichen Zellenkomponenten, die Anordnung in einer prototypischen Produktionszelle sowie die Umsetzung der Regelungsstrategie sind ebenfalls Gegenstand dieses Kapitels. Das Kapitel schließt mit einer Wirtschaftlichkeitsbetrachtung der entwickelten Methodik.

6.2 Beschreibung der eingesetzten Komponenten der Pilotanlage

6.2.1 Aufbau der Versuchsumgebung

Der prototypische Zellenaufbau für das elastische Kleben von großflächigen Windschutzscheiben in Nutzfahrzeugkarosserien besteht aus den folgenden Komponenten:

- Nutzfahrzeugkarosserie und Windschutzscheiben
- Handhabungseinheit
- Scheibengreifeinheit
- Bereitstellungseinheit für die Windschutzscheibe

Auf Grund der großen Abmessungen der zu handhabenden Werkstücke war die geometrische Anordnung der Komponenten zueinander vorgegeben (vgl. Abbildung 6–1).

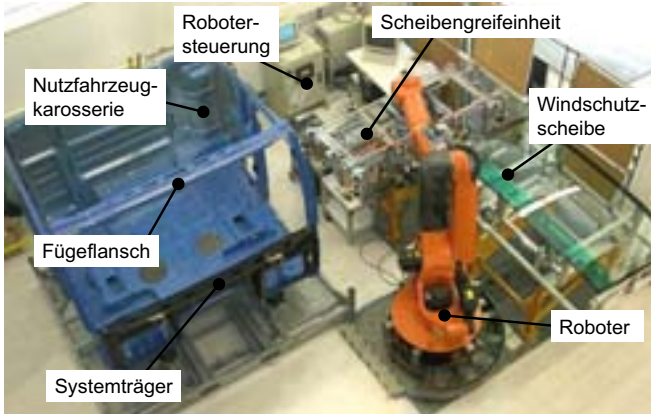


Abbildung 6-1: Aufbau der prototypischen Pilotanlage in der Versuchsumgebung

6.2.2 Nutzfahrzeugkarosserie und Windschutzscheiben

Das in der Pilotanlage eingesetzte Fahrerhaus einer Nutzfahrzeugkarosserie besteht aus einer lackierten Rohkarosserie und dem daran angeschraubten, unbestückten Systemträger. Mit Systemträger wird die Komponente bezeichnet, auf der in der industriellen Serienmontage des Fahrerhauses wesentlichen Elemente der Fahrzeugbedienung und der Verkabelung vormontiert sind, um diese als Modul in das Fahrerhaus integrieren zu können. Beide Komponenten zusammen bilden den Fügeflansch, auf den die Windschutzscheibe geklebt wird. Ferner standen mehrere Windschutzscheiben aus VSG zur Verfügung. Die Bauteile wiesen unterschiedliche Toleranzen auf. Für das Fahrerhaus können Abweichungen bis zu 2 mm, für den Systemträger ca. 1 mm und für die Windschutzscheibe Toleranzen in Höhe von bis zu 5 mm angegeben werden. Analog zum Abschnitt 4.3.1 kann somit das maximal mögliche Schlussmaß der Abweichung T_0 durch Addition der Toleranzen zu

$$T_0 = \sum_{i=1}^n T_i = T_{\text{Fahrerhaus}} + T_{\text{Systemträger}} + T_{\text{Windschutzscheibe}} = 8 \text{ mm} \quad (6-1)$$

mit T_0 = Schlussmaß,

T_i = Einzelmaßtoleranz und

n = Anzahl der Bauteile

errechnet werden. Da die Abweichungen im Normalfall Werte zwischen den Höchstmaßen aufweisen, kann die Toleranzbreite der Abweichungen T_0 wie folgt bestimmt werden:

$$T_0 = \sqrt{\sum_{i=1}^n T_i^2} = \sqrt{T_{\text{Systemträger}}^2 + T_{\text{Fahrerhaus}}^2 + T_{\text{Windschutzscheibe}}^2} = 5,48 \text{ mm} \quad (6-2)$$

Es ist ersichtlich, dass der für eine optimale, elastische Klebung geeignete Toleranzbereich von ± 1 mm im Regelfall nicht eingehalten werden kann.

6.2.3 Handhabungsgerät

Als Handhabungssystem stand ein 6-Achsen-Knickarmroboter vom Typ KUKA KR150 L120/3 mit einer Armverlängerung von 400 mm an einer KR C1-Steuerung zur Verfügung. Durch die Armverlängerung in der vierten Achse reduzierte sich die maximale Traglast an der sechsten Achse von 150 kg auf 120 kg (KUKA ROBOTER 2001). Die Gesamtmasse der zu handhabenden Last, bestehend aus dem Scheibengreifer mit ca. 70 kg und der Windschutzscheibe mit ca. 40 kg, beträgt ca. 110 kg und kann somit ohne Einschränkungen von dem Handhabungsgerät im Dauerbetrieb bewegt werden. Die Wiederholgenauigkeit des Roboters wird vom Hersteller, unabhängig von der Armverlängerung, mit $\pm 0,2$ mm angegeben (KUKA ROBOTER 2000).

Die Steuerung des Industrieroboters ist PC-basiert, über die Programmiersprache KUKA Robot Language (KRL) frei programmierbar und für Hard- und Softwareerweiterungen prinzipiell offen. Über die roboterinternen Ein- und Ausgänge können externe Sensoren und Aktoren an die Robotersteuerung angeschlossen werden. Hierfür stehen die gängigen Bussysteme INTERBUS, PROFIBUS und DeviceNet zur Verfügung (KUKA ROBOTER 2006). Die Bedienung und Programmierung des Roboters erfolgt über das KUKA Control Panel (KCP).

6.2.4 Scheibengreifereinheit

Über das Handhabungsgerät wird eine pneumatische Scheibengreifereinheit bewegt, mit welcher die Windschutzscheibe ohne weitere Spannungsinduzierung gegriffen werden kann. Hierfür werden speziell entwickelte Saugereinheiten eingesetzt, welche ortsfest auf dem Scheibengreifer befestigt sind. Diese Einheiten

weisen einen die Position des zu greifenden Bauteils festlegenden Anschlag auf, der in Greifrichtung relativ zum Träger verschiebbar ist und über eine pneumatische Klemmvorrichtung in geeigneter Position fixiert werden kann, bevor der Saugvorgang eingeleitet wird (SCHUTZRECHT DE 101 21 344 A1). Auf diese Weise wird verhindert, dass die Lage des zu greifenden Werkstücks durch den Greifvorgang verändert wird und dadurch zusätzliche Spannungen in das Bauteil durch die Verformung induziert werden.

Die Ansteuerung der Pneumatik des Scheibengreifers erfolgt über die digitalen Ausgänge des Roboters über das Bussystem DeviceNet anhand der im Roboterprogramm hinterlegten Steuerungslogik. In gleicher Weise werden die digitalen Sensorsignale des Scheibengreifers über die digitalen Eingänge der Robotersteuerung in den Programmablauf integriert. Zur Realisierung der in Abschnitt 4.3 festgelegten, aktiven Verformungsstrategie über Stellglieder am Werkzeug war eine Veränderung des bestehenden Scheibengreifers erforderlich. Ziel der Umgestaltung war es, die Saugeinheiten motorisch in Saugrichtung verschiebbar zu gestalten, um auf diese Weise den Einpressvorgang zu realisieren. Zu diesem Zweck wurden die einzelnen Saugeinheiten auf einem Linearschlitten befestigt, der auf einer Linearschiene beweglich gelagert ist (vgl. Abbildung 6–2).

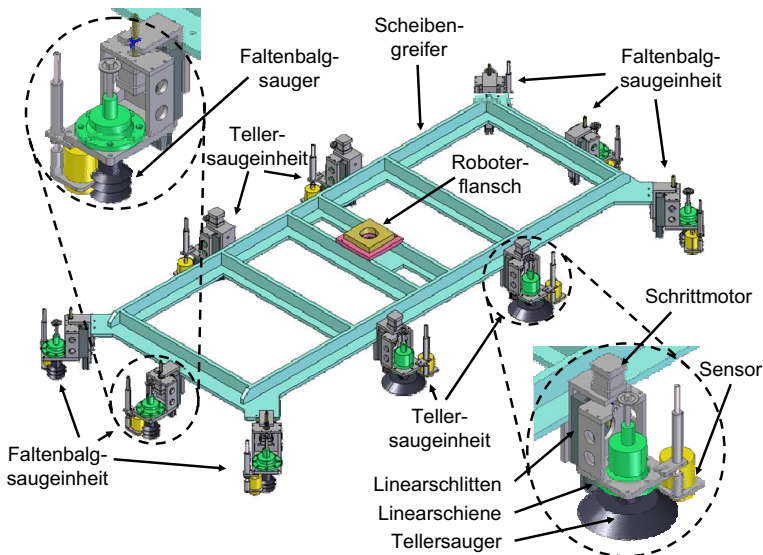


Abbildung 6–2: Prototypenhafter Scheibengreifer der Pilotanlage

Zur Umsetzung können prinzipiell pneumatische, hydraulische oder elektrische Stellglieder verwendet werden. Angesichts der Kompressibilität der Luft als Übertragungselement und des hohen Aufwands, der zur Sicherstellung eines unidirektionalen Bewegungsverhaltens und einer präzisen Anfahrt von Zwischenpositionen erforderlich ist, erweist sich die Verwendung von pneumatischen Stellgliedern als nicht zielführend. Hydraulische Stellglieder eignen sich durch den hohen Aufwand zur Abdichtung des Versorgungssystems sowie das zusätzlich notwendige Hydraulikaggregat ebenfalls nicht für die Verwendung auf einem robotergeführten Greifer. Zudem ist der Aufwand zur präzisen Positionierung des Stellglieds in Zwischenlagen als relativ hoch anzusehen. Im Gegensatz dazu ist der Einsatz von elektrischen Stellgliedern problemlos, da die rotatorische Bewegung eines Elektromotors sehr einfach in eine translatorische Bewegung des Stellglieds umgesetzt werden kann.

Die axiale Verschiebung der Saugereinheit erfolgt über einen Linearstellantrieb mit Schrittmotor vom Typ LS42 (NANOTEC 2006) in Verbindung mit einer ortsfest auf der Saugereinheit befestigten Mutter. Als Schrittmotor-Steuerung wird die Mikroschritt-Leistungsendstufe SMC42 eingesetzt. Die Steuerungen der Schrittmotoren sind in der ortsfest auf dem Scheibengreifer befestigten Steuerungsbox integriert. Ferner wurde die Sensorik unmittelbar neben den Stellgliedern am Scheibengreifer befestigt, da nach Abschnitt 3.5.1 eine räumliche Nähe von Sensorik und Aktorik gefordert wird.

6.2.5 Bereitstellungseinheit für die Scheibe

Um eine Windschutzscheibe spannungsminimiert zu greifen, ist neben der Greifertechnik (vgl. Abschnitt 6.2.4) vor allem eine Bereitstellung der Scheibe erforderlich, in der die Spannungen im Bauelement minimal sind (vgl. Abschnitt 4.6). Hierfür wird die Scheibe auf der Bereitstellungseinheit auf zehn Lagerpunkten gelagert, welche direkt unter den Kontaktstellen der Saugereinheiten des Greifers platziert sind. Dadurch können Momente zwischen den Lagerpunkten, die durch den Kontakt zwischen Scheibe und Greifer an nicht unterstützten Punkten entstehen können, vermieden werden. Für die Lagerpunkte werden spezielle, in axialer Richtung variierbare Lagereinheiten eingesetzt, welche im ersten Schritt gemäß der von der Konstruktion vorgegebenen, idealen Karosseriegeometrie ausgerichtet sind (vgl. Abbildung 6–3).

7 Zusammenfassung und Ausblick

7.1 Zusammenfassung

Das Fügen großer und flächiger Werkstücke durch elastische Klebungen findet zunehmend Einsatz in einer Vielzahl von industriellen Anwendungen. Vorteilhaft daran ist, dass durch eine elastische Klebung die Integration des Bauteils in die tragende Struktur und über die Klebschichtdicke eine beschränkte Kompensation vorhandener Werkstücktoleranzen ermöglicht wird. Für die prozesssichere Montage von großflächigen Bauteilen ist eine Optimierung der relativen Lage beider Fügepartner vor dem Fügen erforderlich. Derzeit angewendete Verfahren optimieren die relative Position und Orientierung (Pose) beider Fügepartner über eine Lagekorrektur einer der beiden zu fügenden Komponenten. Formtoleranzen, sofern vorhanden, werden in einem vorangestellten Prozessschritt mechanisch korrigiert, wodurch Spannungen im Bauteil aufgebaut werden. Diese können zwar von Fügeverfahren mit schnellem Festigkeitsaufbau kompensiert werden, das elastische Kleben stellt aber auf Grund seines von der Aushärtegeschwindigkeit des Klebstoffs bestimmten, langsamen Festigkeitsaufbaus besondere Anforderungen an den Fügeprozess. Bestehende Ansätze zur Prozessführung nehmen hierauf keinen Bezug. Als Folge können beim automatisierten elastischen Kleben von flächigen Großbauteilen mit Toleranzen Fehlklebungen auftreten, die hohe Nacharbeitskosten verursachen.

Das Ziel der vorliegenden Arbeit war, die Reproduzierbarkeit und Prozesssicherheit beim automatisierten Einkleben flächiger Werkstücke mit großen Fertigungstoleranzen zu erhöhen und damit eine nachhaltige Steigerung der Prozessqualität zu erreichen. Hierfür wurde eine aktive Kompensation von fertigungs- und prozessbedingten Fehlereinflussfaktoren zur systematischen Verringerung von Fehlklebungen angestrebt.

Ausgehend von der Analyse des Standes der Technik wurde zunächst eine allgemeingültige Methodik für das prozesssichere, elastische Kleben von großflächigen Bauteilen mit Toleranzen erarbeitet. Hierfür ist eine Bereitstellung und Handhabung des einzuklebenden Werkstücks in einem Zustand minimaler Spannungen erforderlich. Wird während des Fügens eine Abweichung des sich ausprägenden Fügespalts vom zulässigen Spaltmaß festgestellt, ist eine Anpassung von mindestens einem Fügepartner vorgesehen. Es konnte gezeigt werden, dass

8 Literaturverzeichnis

ABEN & GUILLEMET 1993

Aben, H.; Guillemet, C.: Photoelasticity of Glass. Heidelberg: Springer 1993.

ALFTER & ASTHEIMER 2003

Alfter, H.; Astheimer, S.: Biegen und Vorspannen von Glas. In: Teicher, G. (Hrsg.): Glas im Automobilbau II. Essen. Renningen-Malmsheim: expert 2003, S. 11-24. (Fachbuch / Haus der Technik 23).

ANSI / RIA R15.05-1-1990

ANSI / RIA R15.05-1-1990: Evaluation of Point to Point and Static Performance Characteristics of Industrial Robots and Robot Systems. New York / USA: RIA 1999.

BACKES 1997

Backes, F.: Technologieorientierte Bahnplanung für die 3D-Laserstrahlbearbeitung. Diss. Universität Erlangen (1997). Bamberg: Meisenbach 1997. (Fertigungstechnik - Erlangen 68).

BÄR et al. 2000

Bär, C.; Adams, C.; Bruhns, A.: Applikation von PUR-Klebstoffen: Prozesssicher rheologisch simulieren. Adhäsion 44 (2000) 5, S. 27-31.

BARTENSCHLAGER et al. 1998

Bartenschlager, J.; Hebel, H.; Schmidt, G.: Handhabungstechnik mit Robotertechnik - Funktion, Arbeitsweise, Programmierung. Braunschweig: Vieweg 1998.

BAUER 2003

Bauer, F. E.: Zugfest und korrosionsfrei. Automobilwoche 1 (2003) 23, S. 16.

BAUER & SCHULTHEIS 2001

Bauer, G.; Schultheis, R.: Der Einsatz von hydrophob beschichteten Windschutzscheiben in der Automobilindustrie. In: Teicher, G. (Hrsg.): Glas im Automobilbau - Neue Entwicklungen und Möglichkeiten der Fahrzeugverglasung. Essen, 3./4. Mai 2001. Renningen-Malmsheim: expert 2001, S. 145-159. (Fachbuch / Haus der Technik 9).

BAUER 1998

Bauer, L.: Strategien zur rechnergestützten Offline-Programmierung von 3D-Laseranlagen. Diss. Technische Universität München (1998). Berlin: Springer 1998. (*iwb* Forschungsberichte 119).

ZELLER 1995

Zeller, F.-J.: Sensorplanung und schnelle Sensorregelung für Industrieroboter. Diss. Friedrich-Alexander-Universität Erlangen-Nürnberg (1995). München: Carl Hanser 1995. (Fertigungstechnik - Erlangen 51).

ZICKEL et al. 1999

Zickel, M. J.; Lesniak, J. R.; Trate, D. J.; LaBrecque, R.; Harkins, K.: Residual Stress Measurement of Automobile Windshields Using the Grey-field Polariscopes. Proceedings of the 1999 SEM Annual Conference and Exposition. Cincinnati / USA, 7.-9.06.1999.

9 Anhang

9.1 Abmessung der untersuchten Windschutzscheibe

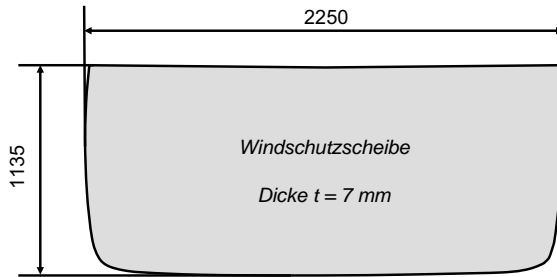


Abbildung 9–1: Abmessungen der untersuchten Windschutzscheibe für eine Nutzfahrzeugkarosserie

9.2 Aufbau und Ergebnis der Linearisierung des Wegsensors



Abbildung 9–2: Versuchsaufbau zur Linearisierung der Wegsensoren auf einer Linearachse; Messung an Stahlformteilen mit den Abmessungen $19,4 \times 0,85 \text{ mm}$ sowie $21,7 \times 2,0 \text{ mm}$.

9.9 Firmenverzeichnis

- **burster präzisionsmeßtechnik gmbh & co. kg**
Talstraße 1-5
76593 Gernsbach
- **Erwin Halder AG**
Erwin-Halder-Straße 5-9
88480 Bonstetten
- **KUKA Roboter GmbH**
Zugspitzstraße 140
86165 Augsburg
- **National Instruments Germany GmbH**
Konrad-Celtis-Straße 9
81369 München
- **SIKA Deutschland GmbH**
Kornwestheimer Str. 103-107
70439 Stuttgart
- **Wilke Technology GmbH**
Krefelderstraße 147
52070 Aachen
- **Zwick GmbH & Co. KG**
August-Nagel-Str. 11
89079 Ulm

iwb Forschungsberichte Band 1–121

Herausgeber: Prof. Dr.-Ing. J. Milberg und Prof. Dr.-Ing. G. Reinhart, Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften der Technischen Universität München

Band 1–121 erschienen im Springer Verlag, Berlin, Heidelberg und sind im Erscheinungsjahr und den folgenden drei Kalenderjahren erhältlich im Buchhandel oder durch Lange & Springer, Otto-Suhr-Allee 26–28, 10585 Berlin

- 1 *Streifinger, E.*
Beitrag zur Sicherung der Zuverlässigkeit und Verfügbarkeit moderner Fertigungsmittel
1986 · 72 Abb. · 167 Seiten · ISBN 3-540-16391-3
- 2 *Fuchsberger, A.*
Untersuchung der spanenden Bearbeitung von Knochen
1986 · 90 Abb. · 175 Seiten · ISBN 3-540-16392-1
- 3 *Maier, C.*
Montageautomatisierung am Beispiel des Schraubens mit Industrierobotern
1986 · 77 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-16393-X
- 4 *Summer, H.*
Modell zur Berechnung verzweigter Antriebsstrukturen
1986 · 74 Abb. · 197 Seiten · ISBN 3-540-16394-8
- 5 *Simon, W.*
Elektrische Vorschubantriebe an NC-Systemen
1986 · 141 Abb. · 198 Seiten · ISBN 3-540-16693-9
- 6 *Büchs, S.*
Analytische Untersuchungen zur Technologie der Kugelbearbeitung
1986 · 74 Abb. · 173 Seiten · ISBN 3-540-16694-7
- 7 *Hunzinger, I.*
Schneiderdierte Oberflächen
1986 · 79 Abb. · 162 Seiten · ISBN 3-540-16695-5
- 8 *Pilland, U.*
Echtzeit-Kollisionsschutz an NC-Drehmaschinen
1986 · 54 Abb. · 127 Seiten · ISBN 3-540-17274-2
- 9 *Barthelmeß, P.*
Montagegerechtes Konstruieren durch die Integration von Produkt- und Montageprozeßgestaltung
1987 · 70 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-18120-2
- 10 *Reithofer, N.*
Nutzungssicherung von flexibel automatisierten Produktionsanlagen
1987 · 84 Abb. · 176 Seiten · ISBN 3-540-18440-6
- 11 *Diess, H.*
Rechnerunterstützte Entwicklung flexibler automatisierter Montageprozesse
1988 · 56 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-18799-5
- 12 *Reinhart, G.*
Flexible Automatisierung der Konstruktion und Fertigung elektrischer Leitungssätze
1988 · 112 Abb. · 197 Seiten · ISBN 3-540-19003-1
- 13 *Bürstner, H.*
Investitionsentscheidung in der rechnerintegrierten Produktion
1988 · 74 Abb. · 190 Seiten · ISBN 3-540-19099-6
- 14 *Groha, A.*
Universelles Zellenrechnerkonzept für flexible Fertigungssysteme
1988 · 74 Abb. · 153 Seiten · ISBN 3-540-19182-8
- 15 *Riese, K.*
Klippsmontage mit Industrierobotern
1988 · 92 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-19183-6
- 16 *Lutz, P.*
Leitsysteme für rechnerintegrierte Auftragsabwicklung
1988 · 44 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-19260-3
- 17 *Klippel, C.*
Mobiler Roboter im Materialfluß eines flexiblen Fertigungssystems
1988 · 86 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-50468-0
- 18 *Rascher, R.*
Experimentelle Untersuchungen zur Technologie der Kugelherstellung
1989 · 110 Abb. · 200 Seiten · ISBN 3-540-51301-9
- 19 *Heusler, H.-J.*
Rechnerunterstützte Planung flexibler Montagesysteme
1989 · 43 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-51723-5
- 20 *Kirchknopf, P.*
Ermittlung modaler Parameter aus Übertragungsfrequenzgängen
1989 · 57 Abb. · 157 Seiten · ISBN 3-540-51724-3
- 21 *Sauerer, Ch.*
Beitrag für ein Zerspanprozeßmodell Metallbandsägen
1990 · 89 Abb. · 166 Seiten · ISBN 3-540-51868-1
- 22 *Karstedt, K.*
Positionsbestimmung von Objekten in der Montage- und Fertigungsautomatisierung
1990 · 92 Abb. · 157 Seiten · ISBN 3-540-51879-7
- 23 *Peiker, St.*
Entwicklung eines integrierten NC-Planungssystems
1990 · 66 Abb. · 180 Seiten · ISBN 3-540-51880-0
- 24 *Schugmann, R.*
Nachgiebige Werkzeugaufhängungen für die automatische Montage
1990 · 71 Abb. · 155 Seiten · ISBN 3-540-52138-0
- 25 *Witba, P.*
Simulation als Werkzeug in der Handhabungstechnik
1990 · 125 Abb. · 178 Seiten · ISBN 3-540-52231-X
- 26 *Eibelshäuser, P.*
Rechnerunterstützte experimentelle Modalanalyse mittels gestufter Sinusanregung
1990 · 79 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-52451-7
- 27 *Prasch, J.*
Computerunterstützte Planung von chirurgischen Eingriffen in der Orthopädie
1990 · 113 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-52543-2

- 28 *Teich, K.*
Prozeßkommunikation und Rechnerverbund in der Produktion
1990 · 52 Abb. · 158 Seiten · ISBN 3-540-52764-8
- 29 *Pfrang, W.*
Rechnergestützte und graphische Planung manueller und teilautomatisierter Arbeitsplätze
1990 · 59 Abb. · 153 Seiten · ISBN 3-540-52829-6
- 30 *Tauber, A.*
Modellbildung kinematischer Strukturen als Komponente der Montageplanung
1990 · 93 Abb. · 190 Seiten · ISBN 3-540-52911-X
- 31 *Jäger, A.*
Systematische Planung komplexer Produktionssysteme
1991 · 75 Abb. · 148 Seiten · ISBN 3-540-53021-5
- 32 *Hartberger, H.*
Wissensbasierte Simulation komplexer Produktionssysteme
1991 · 58 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-53326-5
- 33 *Tuzek, H.*
Inspektion von Karosserieteilen auf Risse und Einschnürungen mittels Methoden der Bildverarbeitung
1992 · 125 Abb. · 179 Seiten · ISBN 3-540-53965-4
- 34 *Fischbacher, J.*
Planungsstrategien zur störungstechnischen Optimierung von Reinraum-Fertigungsgeräten
1991 · 60 Abb. · 166 Seiten · ISBN 3-540-54027-X
- 35 *Moser, O.*
3D-Echtzeitkollisionsschutz für Drehmaschinen
1991 · 66 Abb. · 177 Seiten · ISBN 3-540-54076-8
- 36 *Naber, H.*
Aufbau und Einsatz eines mobilen Roboters mit unabhängiger Lokomotions- und Manipulationskomponente
1991 · 85 Abb. · 139 Seiten · ISBN 3-540-54216-7
- 37 *Kupec, Th.*
Wissensbasiertes Leitsystem zur Steuerung flexibler Fertigungsanlagen
1991 · 68 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-54260-4
- 38 *Maulhardt, U.*
Dynamisches Verhalten von Kreissägen
1991 · 109 Abb. · 159 Seiten · ISBN 3-540-54365-1
- 39 *Götz, R.*
Strukturierte Planung flexibel automatisierter Montagesysteme für flächige Bauteile
1991 · 86 Abb. · 201 Seiten · ISBN 3-540-54401-1
- 40 *Koepfer, Th.*
3D-grafisch-interaktive Arbeitsplanung - ein Ansatz zur Aufhebung der Arbeitsstellung
1991 · 74 Abb. · 126 Seiten · ISBN 3-540-54436-4
- 41 *Schmidt, M.*
Konzeption und Einsatzplanung flexibel automatisierter Montagesysteme
1992 · 108 Abb. · 168 Seiten · ISBN 3-540-55025-9
- 42 *Burger, C.*
Produktionsregelung mit entscheidungsunterstützenden Informationssystemen
1992 · 94 Abb. · 186 Seiten · ISBN 3-540-55187-5
- 43 *Hoßmann, J.*
Methodik zur Planung der automatischen Montage von nicht formstabilen Bauteilen
1992 · 73 Abb. · 168 Seiten · ISBN 3-540-5520-0
- 44 *Petry, M.*
Systematik zur Entwicklung eines modularen Programmbaukastens für robotergeführte Klebprozesse
1992 · 106 Abb. · 139 Seiten · ISBN 3-540-55374-6
- 45 *Schönecker, W.*
Integrierte Diagnose in Produktionszellen
1992 · 87 Abb. · 159 Seiten · ISBN 3-540-55375-4
- 46 *Bick, W.*
Systematische Planung hybrider Montagesysteme unter Berücksichtigung der Ermittlung des optimalen Automatisierungsgrades
1992 · 70 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-55377-0
- 47 *Gebauer, L.*
Prozeforschungen zur automatisierten Montage von optischen Linsen
1992 · 84 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-55378-9
- 48 *Schräfer, N.*
Erstellung eines 3D-Simulationssystems zur Reduzierung von Rüstzeiten bei der NC-Bearbeitung
1992 · 103 Abb. · 161 Seiten · ISBN 3-540-55431-9
- 49 *Wisbacher, J.*
Methoden zur rationellen Automatisierung der Montage von Schnellbefestigungselementen
1992 · 77 Abb. · 176 Seiten · ISBN 3-540-55512-9
- 50 *Garnich, F.*
Laserbearbeitung mit Robotern
1992 · 110 Abb. · 184 Seiten · ISBN 3-540-55513-7
- 51 *Eubert, P.*
Digitale Zustandsregelung elektrischer Vorschubantriebe
1992 · 89 Abb. · 159 Seiten · ISBN 3-540-44441-2
- 52 *Glas, W.*
Rechnerintegrierte Kabelsatzfertigung
1992 · 67 Abb. · 140 Seiten · ISBN 3-540-55749-0
- 53 *Helmi, H.J.*
Ein Verfahren zur On-Line Fehlererkennung und Diagnose
1992 · 60 Abb. · 153 Seiten · ISBN 3-540-55750-4
- 54 *Lang, Ch.*
Wissensbasierte Unterstützung der Verfügbarkeitsplanung
1992 · 75 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-55751-2
- 55 *Schuster, G.*
Rechnergestütztes Planungssystem für die flexibel automatisierte Montage
1992 · 67 Abb. · 135 Seiten · ISBN 3-540-55830-6
- 56 *Bomm, H.*
Ein Ziel- und Kennzahlensystem zum Investitionscontrolling komplexer Produktionssysteme
1992 · 87 Abb. · 195 Seiten · ISBN 3-540-55964-7
- 57 *Wendt, A.*
Qualitätssicherung in flexibel automatisierten Montagesystemen
1992 · 74 Abb. · 179 Seiten · ISBN 3-540-56044-0
- 58 *Hansmaier, H.*
Rechnergestütztes Verfahren zur Geräuschminderung
1993 · 67 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-56053-2
- 59 *Dilling, U.*
Planung von Fertigungssystemen unterstützt durch Wirtschaftssimulationen
1993 · 72 Abb. · 146 Seiten · ISBN 3-540-56307-5

- 60 *Strohmayr, R.*
Rechnergestützte Auswahl und Konfiguration von Zubringeinrichtungen
1993 · 80 Abb. · 152 Seiten · ISBN 3-540-56652-X
- 61 *Glas, J.*
Standardisierter Aufbau anwendungsspezifischer Zellenrechnersoftware
1993 · 80 Abb. · 145 Seiten · ISBN 3-540-56689-5
- 62 *Stetter, R.*
Rechnergestützte Simulationwerkzeuge zur Effizienzsteigerung des Industrierobereinsatzes
1994 · 91 Abb. · 146 Seiten · ISBN 3-540-56889-1
- 63 *Dirndorfer, A.*
Robotersysteme zur förderbandsynchronen Montage
1993 · 76 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-57031-4
- 64 *Wiedemann, M.*
Simulation des Schwingungsverhaltens spanender Werkzeugmaschinen
1993 · 81 Abb. · 137 Seiten · ISBN 3-540-57177-9
- 65 *Woenckhaus, Ch.*
Rechnergestütztes System zur automatisierten 3D-Layouptimierung
1994 · 81 Abb. · 140 Seiten · ISBN 3-540-57284-8
- 66 *Kummelsteiner, G.*
3D-Bewegungssimulation als integratives Hilfsmittel zur Planung manueller Montagesysteme
1994 · 82 Abb. · 146 Seiten · ISBN 3-540-57535-9
- 67 *Kugelmann, F.*
Einsatz nachgiebiger Elemente zur wirtschaftlichen Automatisierung von Produktionssystemen
1993 · 76 Abb. · 144 Seiten · ISBN 3-540-57549-9
- 68 *Schwarz, H.*
Simulationsgestützte CAD/CAM-Kopplung für die 3D-Laserbearbeitung mit integrierter Sensorik
1994 · 96 Abb. · 148 Seiten · ISBN 3-540-57577-4
- 69 *Viethen, U.*
Systematik zum Prüfen in flexiblen Fertigungssystemen
1994 · 70 Abb. · 142 Seiten · ISBN 3-540-57794-7
- 70 *Seehuber, M.*
Automatische Inbetriebnahme geschwindigkeitsadaptiver Zustandsregler
1994 · 72 Abb. · 155 Seiten · ISBN 3-540-57896-X
- 71 *Amann, W.*
Eine Simulationsumgebung für Planung und Betrieb von Produktionssystemen
1994 · 71 Abb. · 129 Seiten · ISBN 3-540-57924-9
- 72 *Schöpf, M.*
Rechnergestütztes Projektinformations- und Koordinationssystem für das Fertigungsvorfeld
1997 · 63 Abb. · 130 Seiten · ISBN 3-540-58052-2
- 73 *Welling, A.*
Effizienter Einsatz bildgebender Sensoren zur Flexibilisierung automatisierter Handhabungsvorgänge
1994 · 66 Abb. · 139 Seiten · ISBN 3-540-580-0
- 74 *Zetlmayer, H.*
Verfahren zur simulationsgestützten Produktionsregelung in der Einzel- und Kleinserienproduktion
1994 · 62 Abb. · 143 Seiten · ISBN 3-540-58134-0
- 75 *Lindl, M.*
Auftragsleittechnik für Konstruktion und Arbeitsplanung
1994 · 66 Abb. · 147 Seiten · ISBN 3-540-58221-5
- 76 *Zipper, B.*
Das integrierte Betriebsmittelwesen · Baustein einer flexiblen Fertigung
1994 · 64 Abb. · 147 Seiten · ISBN 3-540-58222-3
- 77 *Rath, P.*
Programmierung und Simulation von Zellenabläufen in der Arbeitsvorbereitung
1995 · 51 Abb. · 130 Seiten · ISBN 3-540-58223-1
- 78 *Engel, A.*
Strömungstechnische Optimierung von Produktionssystemen durch Simulation
1994 · 69 Abb. · 160 Seiten · ISBN 3-540-58258-4
- 79 *Zäh, M. F.*
Dynamisches Prozeßmodell Kreissägen
1995 · 95 Abb. · 166 Seiten · ISBN 3-540-58624-5
- 80 *Zwanzer, N.*
Technologisches Prozeßmodell für die Kugelschleifarbeitung
1995 · 65 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-58634-2
- 81 *Romanow, P.*
Konstruktionsbegleitende Kalkulation von Werkzeugmaschinen
1995 · 66 Abb. · 151 Seiten · ISBN 3-540-58771-3
- 82 *Kahlenberg, R.*
Integrierte Qualitätssicherung in flexiblen Fertigungszellen
1995 · 71 Abb. · 136 Seiten · ISBN 3-540-58772-1
- 83 *Huber, A.*
Arbeitsfolgenplanung mehrstufiger Prozesse in der Hartbearbeitung
1995 · 87 Abb. · 152 Seiten · ISBN 3-540-58773-X
- 84 *Birkel, G.*
Aufwandsminimierter Wissenserwerb für die Diagnose in flexiblen Produktionssystemen
1995 · 64 Abb. · 137 Seiten · ISBN 3-540-58869-8
- 85 *Simon, D.*
Fertigungsregelung durch zielgrößenorientierte Planung und logistisches Störungsmanagement
1995 · 77 Abb. · 132 Seiten · ISBN 3-540-58942-2
- 86 *Nedeljkovic-Groha, V.*
Systematische Planung anwendungsspezifischer Materialflußsteuerungen
1995 · 94 Abb. · 188 Seiten · ISBN 3-540-58953-8
- 87 *Rockland, M.*
Flexibilisierung der automatischen Teilbereitstellung in Montageanlagen
1995 · 83 Abb. · 168 Seiten · ISBN 3-540-58999-6
- 88 *Linner, St.*
Konzept einer integrierten Produktentwicklung
1995 · 67 Abb. · 168 Seiten · ISBN 3-540-59016-1
- 89 *Eder, Th.*
Integrierte Planung von Informationssystemen für rechnergestützte Produktionssysteme
1995 · 62 Abb. · 150 Seiten · ISBN 3-540-59084-6
- 90 *Deutsche, U.*
Prozeßorientierte Organisation der Auftragsentwicklung in mittelständischen Unternehmen
1995 · 80 Abb. · 188 Seiten · ISBN 3-540-59337-3
- 91 *Dieterle, A.*
Recyclingintegrierte Produktentwicklung
1995 · 68 Abb. · 146 Seiten · ISBN 3-540-60120-1

- 92 *Hechl, Chr.*
Personalorientierte Montageplanung für komplexe und variantenreiche Produkte
1995 · 73 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-60325-5
- 93 *Albertz, F.*
Dynamikgerechter Entwurf von Werkzeugmaschinen - Gestellstrukturen
1995 · 83 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-60608-8
- 94 *Trunzer, W.*
Strategien zur On-Line Bahnplanung bei Robotern mit 3D-Konturfolgesensoren
1996 · 101 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-60961-X
- 95 *Fichtmüller, N.*
Rationalisierung durch flexible, hybride Montagesysteme
1996 · 83 Abb. · 145 Seiten · ISBN 3-540-60960-1
- 96 *Trucks, V.*
Rechnergestützte Beurteilung von Getriebestrukturen in Werkzeugmaschinen
1996 · 64 Abb. · 141 Seiten · ISBN 3-540-60599-8
- 97 *Schäffer, G.*
Systematische Integration adaptiver Produktionssysteme
1996 · 71 Abb. · 170 Seiten · ISBN 3-540-60958-X
- 98 *Koch, M. R.*
Autonome Fertigungszellen - Gestaltung, Steuerung und integrierte Störungsbehandlung
1996 · 67 Abb. · 138 Seiten · ISBN 3-540-61104-5
- 99 *Moctezuma de la Barrera, J.L.*
Ein durchgängiges System zur computer- und rechnergestützten Chirurgie
1996 · 99 Abb. · 175 Seiten · ISBN 3-540-61145-2
- 100 *Geuer, A.*
Einsatzpotential des Rapid Prototyping in der Produktentwicklung
1996 · 84 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-61495-8
- 101 *Ebner, C.*
Ganzheitliches Verfügbarkeits- und Qualitätsmanagement unter Verwendung von Felddaten
1996 · 67 Abb. · 132 Seiten · ISBN 3-540-61678-0
- 102 *Pischelsrieder, K.*
Steuerung autonomer mobiler Roboter in der Produktion
1996 · 74 Abb. · 171 Seiten · ISBN 3-540-61714-0
- 103 *Köhler, R.*
Disposition und Materialbereitstellung bei komplexen variantenreichen Kleinprodukten
1997 · 62 Abb. · 177 Seiten · ISBN 3-540-62024-9
- 104 *Feldmann, Ch.*
Eine Methode für die integrierte rechnergestützte Montageplanung
1997 · 71 Abb. · 163 Seiten · ISBN 3-540-62059-1
- 105 *Lehmann, H.*
Integrierte Materialfluß- und Layoutplanung durch Kopplung von CAD- und Ablaufsimulationssystem
1997 · 96 Abb. · 191 Seiten · ISBN 3-540-62202-0
- 106 *Wagner, M.*
Steuerungintegrierte Fehlerbehandlung für maschinennahe Abläufe
1997 · 94 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-62656-5
- 107 *Lorenzen, J.*
Simulationsgestützte Kostenanalyse in produktorientierten Fertigungsstrukturen
1997 · 63 Abb. · 129 Seiten · ISBN 3-540-62794-4
- 108 *Krönert, U.*
Systematik für die rechnergestützte Ähnlichkeitsuche und Standardisierung
1997 · 53 Abb. · 127 Seiten · ISBN 3-540-63338-3
- 109 *Pfersdorf, I.*
Entwicklung eines systematischen Vorgehens zur Organisation des industriellen Service
1997 · 74 Abb. · 172 Seiten · ISBN 3-540-63615-3
- 110 *Kuba, R.*
Informations- und kommunikationstechnische Integration von Menschen in der Produktion
1997 · 77 Abb. · 155 Seiten · ISBN 3-540-63642-0
- 111 *Kaiser, J.*
Vernetztes Gestalten von Produkt und Produktionsprozess mit Produktmodellen
1997 · 67 Abb. · 139 Seiten · ISBN 3-540-63999-3
- 112 *Geyer, M.*
Flexibles Planungssystem zur Berücksichtigung ergonomischer Aspekte bei der Produkt- und Arbeitssystemgestaltung
1997 · 85 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-64195-5
- 113 *Martin, C.*
Produktionsregelung - ein modularer, modellbasierter Ansatz
1998 · 73 Abb. · 162 Seiten · ISBN 3-540-64401-6
- 114 *Löffler, Th.*
Akustische Überwachung von automatisierter Fügeprozesse
1998 · 85 Abb. · 136 Seiten · ISBN 3-540-64511-X
- 115 *Lindermeier, R.*
Qualitätsorientierte Entwicklung von Montagesystemen
1998 · 84 Abb. · 164 Seiten · ISBN 3-540-64686-8
- 116 *Koehler, J.*
Prozeßorientierte Teamstrukturen in Betrieben mit Großserienfertigung
1998 · 75 Abb. · 185 Seiten · ISBN 3-540-65037-7
- 117 *Schuller, R. W.*
Leitfaden zum automatisierten Auftrag von hochviskosen Dichtmassen
1999 · 76 Abb. · 162 Seiten · ISBN 3-540-65320-1
- 118 *Debuschewitz, M.*
Integrierte Methodik und Werkzeuge zur herstellungsorientierten Produktentwicklung
1999 · 104 Abb. · 169 Seiten · ISBN 3-540-65350-3
- 119 *Bauer, L.*
Strategien zur rechnergestützten Offline-Programmierung von 3D-Laseranlagen
1999 · 98 Abb. · 145 Seiten · ISBN 3-540-65382-1
- 120 *Pflob, E.*
Modellgestützte Arbeitsplanung bei Fertigungsmaschinen
1999 · 69 Abb. · 154 Seiten · ISBN 3-540-65525-5
- 121 *Spitznagel, J.*
Erfahrungsgleitetete Planung von Laseranlagen
1999 · 63 Abb. · 156 Seiten · ISBN 3-540-65896-3

Seminarberichte iwb

herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart und Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh,
Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften
der Technischen Universität München

Seminarberichte iwb sind erhältlich im Buchhandel oder beim
Herbert Utz Verlag, München, Fax 089-277791-01, info@utz.de

- 1 **Innovative Montagesysteme - Anlagengestaltung, -bewertung und -überwachung**
115 Seiten · ISBN 3-931327-01-9
- 2 **Integriertes Produktmodell - Von der Idee zum fertigen Produkt**
82 Seiten · ISBN 3-931327-02-7
- 3 **Konstruktion von Werkzeugmaschinen - Berechnung, Simulation und Optimierung**
110 Seiten · ISBN 3-931327-03-5
- 4 **Simulation - Einsatzmöglichkeiten und Erfahrungsberichte**
134 Seiten · ISBN 3-931327-04-3
- 5 **Optimierung der Kooperation in der Produktentwicklung**
95 Seiten · ISBN 3-931327-05-1
- 6 **Materialbearbeitung mit Laser - von der Planung zur Anwendung**
86 Seiten · ISBN 3-931327-06-0
- 7 **Dynamisches Verhalten von Werkzeugmaschinen**
80 Seiten · ISBN 3-931327-07-9
- 8 **Qualitätsmanagement - der Weg ins Ziel**
130 Seiten · ISBN 3-931327-08-7
- 9 **Installationstechnik an Werkzeugmaschinen - Analysen und Konzepte**
120 Seiten · ISBN 3-931327-09-5
- 10 **3D-Simulation - Schneller, sicherer und kostengünstiger zum Ziel**
90 Seiten · ISBN 3-931327-10-8
- 11 **Unternehmensorganisation - Schlüssel für eine effiziente Produktion**
110 Seiten · ISBN 3-931327-11-6
- 12 **Autonome Produktionssysteme**
100 Seiten · ISBN 3-931327-12-4
- 13 **Planung von Montageanlagen**
130 Seiten · ISBN 3-931327-13-2
- 14 **Nicht erschienen – wird nicht erscheinen**
- 15 **Flexible fluide Kleb/Dichtstoffe - Dosierung und Prozeßgestaltung**
80 Seiten · ISBN 3-931327-15-9
- 16 **Time to Market - Von der Idee zum Produktionsstart**
80 Seiten · ISBN 3-931327-16-7
- 17 **Industriekeramik in Forschung und Praxis - Probleme, Analysen und Lösungen**
80 Seiten · ISBN 3-931327-17-5
- 18 **Das Unternehmen im Internet - Chancen für produzierende Unternehmen**
165 Seiten · ISBN 3-931327-18-3
- 19 **Leittechnik und Informationslogistik - mehr Transparenz in der Fertigung**
85 Seiten · ISBN 3-931327-19-1
- 20 **Dezentrale Steuerungen in Produktionsanlagen - Plug & Play - Vereinfachung von Entwicklung und Inbetriebnahme**
105 Seiten · ISBN 3-931327-20-5
- 21 **Rapid Prototyping - Rapid Tooling - Schnell zu funktionalen Prototypen**
95 Seiten · ISBN 3-931327-21-3
- 22 **Mikrotechnik für die Produktion - Greifbare Produkte und Anwendungspotentiale**
95 Seiten · ISBN 3-931327-22-1
- 24 **EDM Engineering Data Management**
195 Seiten · ISBN 3-931327-24-8
- 25 **Rationelle Nutzung der Simulationstechnik - Entwicklungstrends und Praxisbeispiele**
152 Seiten · ISBN 3-931327-25-6
- 26 **Alternative Dichtungssysteme - Konzepte zur Dichtungs montage und zum Dichtmittelauftrag**
110 Seiten · ISBN 3-931327-26-4
- 27 **Rapid Prototyping - Mit neuen Technologien schnell vom Entwurf zum Serienprodukt**
111 Seiten · ISBN 3-931327-27-2
- 28 **Rapid Tooling - Mit neuen Technologien schnell vom Entwurf zum Serienprodukt**
154 Seiten · ISBN 3-931327-28-0
- 29 **Installationstechnik an Werkzeugmaschinen - Abschlußseminar**
156 Seiten · ISBN 3-931327-29-9
- 30 **Nicht erschienen – wird nicht erscheinen**
- 31 **Engineering Data Management (EDM) - Erfahrungsberichte und Trends**
183 Seiten · ISBN 3-931327-31-0
- 32 **Nicht erschienen – wird nicht erscheinen**
- 33 **3D-CAD - Mehr als nur eine dritte Dimension**
181 Seiten · ISBN 3-931327-33-7
- 34 **Laser in der Produktion - Technologische Randbedingungen für den wirtschaftlichen Einsatz**
102 Seiten · ISBN 3-931327-34-5
- 35 **Ablaufsimulation - Anlagen effizient und sicher planen und betreiben**
129 Seiten · ISBN 3-931327-35-3
- 36 **Moderne Methoden zur Montageplanung - Schlüssel für eine effiziente Produktion**
124 Seiten · ISBN 3-931327-36-1
- 37 **Wettbewerbsfaktor Verfügbarkeit - Produktivitätssteigerung durch technische und organisatorische Ansätze**
95 Seiten · ISBN 3-931327-37-X
- 38 **Rapid Prototyping - Effizienter Einsatz von Modellen in der Produktentwicklung**
128 Seiten · ISBN 3-931327-38-8
- 39 **Rapid Tooling - Neue Strategien für den Werkzeug- und Formenbau**
130 Seiten · ISBN 3-931327-39-6
- 40 **Erfolgreich kooperieren in der produzierenden Industrie - Flexibel und schneller mit modernen Kooperationen**
160 Seiten · ISBN 3-931327-40-X
- 41 **Innovative Entwicklung von Produktionsmaschinen**
146 Seiten · ISBN 3-89675-041-0
- 42 **Stückzahlflexible Montagesysteme**
139 Seiten · ISBN 3-89675-042-9
- 43 **Produktivität und Verfügbarkeit - ...durch Kooperation steigern**
120 Seiten · ISBN 3-89675-043-7
- 44 **Automatisierte Mikromontage - Handhaben und Positionieren von Mikrobautteilen**
125 Seiten · ISBN 3-89675-044-5
- 45 **Produzieren in Netzwerken - Lösungsansätze, Methoden, Praxisbeispiele**
173 Seiten · ISBN 3-89675-045-3
- 46 **Virtuelle Produktion - Ablaufsimulation**
108 Seiten · ISBN 3-89675-046-1

- 47 **Virtuelle Produktion · Prozeß- und Produktsimulation**
131 Seiten · ISBN 3-89675-047-X
- 48 **Sicherheitstechnik an Werkzeugmaschinen**
106 Seiten · ISBN 3-89675-048-8
- 49 **Rapid Prototyping · Methoden für die reaktionsfähige Produktentwicklung**
150 Seiten · ISBN 3-89675-049-6
- 50 **Rapid Manufacturing · Methoden für die reaktionsfähige Produktion**
121 Seiten · ISBN 3-89675-050-X
- 51 **Flexibles Kleben und Dichten · Produkt- & Prozeßgestaltung, Mischverbindungen, Qualitätskontrolle**
137 Seiten · ISBN 3-89675-051-8
- 52 **Rapid Manufacturing · Schnelle Herstellung von Klein- und Prototypenserien**
124 Seiten · ISBN 3-89675-052-6
- 53 **Mischverbindungen · Werkstoffauswahl, Verfahrensauswahl, Umsetzung**
107 Seiten · ISBN 3-89675-054-2
- 54 **Virtuelle Produktion · Integrierte Prozess- und Produktsimulation**
133 Seiten · ISBN 3-89675-054-2
- 55 **e-Business in der Produktion · Organisationskonzepte, IT-Lösungen, Praxisbeispiele**
150 Seiten · ISBN 3-89675-055-0
- 56 **Virtuelle Produktion – Ablaufsimulation als planungsbegleitendes Werkzeug**
150 Seiten · ISBN 3-89675-056-9
- 57 **Virtuelle Produktion – Datenintegration und Benutzerschnittstellen**
133 Seiten · ISBN 3-89675-057-7
- 58 **Rapid Manufacturing · Schnelle Herstellung qualitativ hochwertiger Bauteile oder Kleinserien**
169 Seiten · ISBN 3-89675-058-7
- 59 **Automatisierte Mikromontage · Werkzeuge und Fügetechnologien für die Mikrosystemtechnik**
114 Seiten · ISBN 3-89675-059-3
- 60 **Mechatronische Produktionssysteme · Genauigkeit gezielt entwickeln**
131 Seiten · ISBN 3-89675-060-7
- 61 **Nicht erschienen – wird nicht erscheinen**
- 62 **Rapid Technologien · Anspruch – Realität – Technologien**
100 Seiten · ISBN 3-89675-062-3
- 63 **Fabrikplanung 2002 · Visionen – Umsetzung – Werkzeuge**
124 Seiten · ISBN 3-89675-063-1
- 64 **Mischverbindungen · Einsatz und Innovationspotenzial**
143 Seiten · ISBN 3-89675-064-X
- 65 **Fabrikplanung 2003 – Basis für Wachstum · Erfahrungen Werkzeuge Visionen**
136 Seiten · ISBN 3-89675-065-8
- 66 **Mit Rapid Technologien zum Aufschwung · Neue Rapid Technologien und Verfahren, Neue Qualitäten, Neue Möglichkeiten, Neue Anwendungsfelder**
185 Seiten · ISBN 3-89675-066-6
- 67 **Mechatronische Produktionssysteme · Die Virtuelle Werkzeugmaschine: Mechatronisches Entwicklungsvorgehen, Integrierte Modellbildung, Applikationsfelder**
148 Seiten · ISBN 3-89675-067-4
- 68 **Virtuelle Produktion · Nutzenpotenziale im Lebenszyklus der Fabrik**
139 Seiten · ISBN 3-89675-068-2
- 69 **Kooperationsmanagement in der Produktion · Visionen und Methoden zur Kooperation – Geschäftsmodelle und Rechtsformen für die Kooperation – Kooperation entlang der Wertschöpfungskette**
134 Seiten · ISBN 3-89675-069-0
- 70 **Mechatronik · Strukturndynamik von Werkzeugmaschinen**
161 Seiten · ISBN 3-89675-070-4
- 71 **Klebtechnik · Zerstörungsfreie Qualitätssicherung beim flexibel automatisierten Kleben und Dichten**
ISBN 3-89675-071-2 · vergriffen
- 72 **Fabrikplanung 2004 · Erfolgsfaktor im Wettbewerb · Erfahrungen – Werkzeuge – Visionen**
ISBN 3-89675-072-0 · vergriffen
- 73 **Rapid Manufacturing Vom Prototyp zur Produktion · Erwartungen – Erfahrungen – Entwicklungen**
179 Seiten · ISBN 3-89675-073-9
- 74 **Virtuelle Produktionssystemplanung · Virtuelle Inbetriebnahme und Digitale Fabrik**
133 Seiten · ISBN 3-89675-074-7
- 75 **Nicht erschienen – wird nicht erscheinen**
- 76 **Berührungslose Handhabung · Vom Wafer zur Glaslinse, von der Kapsel zur aseptischen Ampulle**
95 Seiten · ISBN 3-89675-076-3
- 77 **ERP-Systeme · Einführung in die betriebliche Praxis · Erfahrungen, Best Practices, Visionen**
153 Seiten · ISBN 3-89675-077-7
- 78 **Mechatronik · Trends in der interdisziplinären Entwicklung von Werkzeugmaschinen**
155 Seiten · ISBN 3-89675-078-X
- 79 **Produktionsmanagement**
267 Seiten · ISBN 3-89675-079-8
- 80 **Rapid Manufacturing · Fertigungsverfahren für alle Ansprüche**
154 Seiten · ISBN 3-89675-080-1
- 81 **Rapid Manufacturing · Heutige Trends – Zukünftige Anwendungsfelder**
172 Seiten · ISBN 3-89675-081-X
- 82 **Produktionsmanagement · Herausforderung Variantenmanagement**
100 Seiten · ISBN 3-89675-082-8
- 83 **Mechatronik · Optimierungspotenzial der Werkzeugmaschine nutzen**
160 Seiten · ISBN 3-89675-083-6
- 84 **Virtuelle Inbetriebnahme · Von der Kür zur Pflicht?**
104 Seiten · ISBN 978-3-89675-084-6
- 85 **3D-Erfahrungsforum · Innovation im Werkzeug- und Formenbau**
375 Seiten · ISBN 978-3-89675-085-3
- 86 **Rapid Manufacturing · Erfolgreich produzieren durch innovative Fertigung**
162 Seiten · ISBN 978-3-89675-086-0
- 87 **Produktionsmanagement · Schlank im Mittelstand**
102 Seiten · ISBN 978-3-89675-087-7
- 88 **Mechatronik · Vorsprung durch Simulation**
134 Seiten · ISBN 978-3-89675-088-4
- 89 **RFID in der Produktion · Wertschöpfung effizient gestalten**
122 Seiten · ISBN 978-3-89675-089-1

Forschungsberichte iwb

herausgegeben von Prof. Dr.-Ing. Gunther Reinhart und Prof. Dr.-Ing. Michael Zäh,
Institut für Werkzeugmaschinen und Betriebswissenschaften
der Technischen Universität München

Forschungsberichte iwb ab Band 122 sind erhältlich im Buchhandel oder beim
Herbert Utz Verlag, München, Fax 089-277791-01, info@utz.de

- 122 Schneider, Burghard
Prozesskettenorientierte Bereitstellung nicht formstabiler Bauteile
1999 · 183 Seiten · 98 Abb. · 14 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-559-5
- 123 Goldstein, Bernd
Modellgestützte Geschäftsprozessgestaltung in der Produktentwicklung
1999 · 170 Seiten · 65 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-546-3
- 124 Mößmer, Helmut E.
Methode zur simulationsbasierten Regelung zeitvarianter Produktionssysteme
1999 · 164 Seiten · 67 Abb. · 5 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-585-4
- 125 Gräser, Ralf-Gunter
Ein Verfahren zur Kompensation temperaturinduzierter Verformungen an Industrierobotern
1999 · 167 Seiten · 63 Abb. · 5 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-603-6
- 126 Trossin, Hans-Jürgen
Nutzung der Ähnlichkeitstheorie zur Modellbildung in der Produktionstechnik
1999 · 162 Seiten · 75 Abb. · 11 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-614-1
- 127 Kugelmann, Doris
Aufgabenorientierte Offline-Programmierung von Industrierobotern
1999 · 168 Seiten · 68 Abb. · 2 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-615-X
- 128 Diesch, Rolf
Steigerung der organisatorischen Verfügbarkeit von Fertigungszellen
1999 · 160 Seiten · 69 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-618-4
- 129 Lulay, Werner E.
Hybrid-hierarchische Simulationsmodelle zur Koordination teilautonomer Produktionsstrukturen
1999 · 182 Seiten · 51 Abb. · 14 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-620-6
- 130 Murr, Otto
Adaptive Planung und Steuerung von integrierten Entwicklungs- und Planungsprozessen
1999 · 178 Seiten · 85 Abb. · 3 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-636-2
- 131 Macht, Michael
Ein Vorgehensmodell für den Einsatz von Rapid Prototyping
1999 · 170 Seiten · 87 Abb. · 5 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-638-9
- 132 Mehler, Bruno H.
Aufbau virtueller Fabriken aus dezentralen Partnerverbänden
1999 · 152 Seiten · 44 Abb. · 27 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-645-1
- 133 Heitmann, Knut
Sichere Prognosen für die Produktionsoptimierung mittels stochastischer Modelle
1999 · 146 Seiten · 60 Abb. · 13 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-675-3
- 134 Blessing, Stefan
Gestaltung der Materialflußsteuerung in dynamischen Produktionsstrukturen
1999 · 160 Seiten · 67 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-690-7
- 135 Abay, Can
Numerische Optimierung multivariater mehrstufiger Prozesse am Beispiel der Hartbearbeitung von Industriekeramik
2000 · 159 Seiten · 46 Abb. · 5 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-697-4

- 136 Brandner, Stefan
Integriertes Produktdaten- und Prozeßmanagement in virtuellen Fabriken
2000 · 172 Seiten · 61 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-715-6
- 137 Hirschberg, Arnd G.
Verbindung der Produkt- und Funktionsorientierung in der Fertigung
2000 · 165 Seiten · 49 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-729-6
- 138 Reek, Alexandra
Strategien zur Fokuspositionierung beim Laserstrahlschweißen
2000 · 193 Seiten · 103 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-730-X
- 139 Sabbah, Khalid-Alexander
Methodische Entwicklung störungstoleranter Steuerungen
2000 · 148 Seiten · 75 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-739-3
- 140 Schliffenbacher, Klaus U.
Konfiguration virtueller Wertschöpfungsketten in dynamischen, heterarchischen Kompetenznetzwerken
2000 · 187 Seiten · 70 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-754-7
- 141 Sprenzel, Andreas
Integrierte Kostenkalkulationsverfahren für die Werkzeugmaschinenentwicklung
2000 · 144 Seiten · 55 Abb. · 6 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-757-1
- 142 Gallasch, Andreas
Informationstechnische Architektur zur Unterstützung des Wandels in der Produktion
2000 · 150 Seiten · 69 Abb. · 6 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-781-4
- 143 Cuiper, Ralf
Durchgängige rechnergestützte Planung und Steuerung von automatisierten Montagevorgängen
2000 · 168 Seiten · 75 Abb. · 3 Tab. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-783-0
- 144 Schneider, Christian
Strukturmechanische Berechnungen in der Werkzeugmaschinenkonstruktion
2000 · 180 Seiten · 66 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-789-X
- 145 Jonas, Christian
Konzept einer durchgängigen, rechnergestützten Planung von Montageanlagen
2000 · 183 Seiten · 82 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-870-5
- 146 Willnecker, Ulrich
Gestaltung und Planung leistungsorientierter manueller Fließmontagen
2001 · 175 Seiten · 67 Abb. · broschiert · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-89675-891-8
- 147 Lehner, Christof
Beschreibung des Nd:Yag-Laserstrahlschweißprozesses von Magnesiumdruckguss
2001 · 205 Seiten · 94 Abb. · 24 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0004-X
- 148 Rick, Frank
Simulationsgestützte Gestaltung von Produkt und Prozess am Beispiel Laserstrahlschweißen
2001 · 145 Seiten · 57 Abb. · 2 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0008-2
- 149 Höhn, Michael
Sensorgeführte Montage hybrider Mikrosysteme
2001 · 171 Seiten · 74 Abb. · 7 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0012-0
- 150 Böhl, Jörn
Wissensmanagement im Klein- und mittelständischen Unternehmen der Einzel- und Kleinserienfertigung
2001 · 179 Seiten · 88 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0020-1
- 151 Bürgel, Robert
Prozessanalyse an spanenden Werkzeugmaschinen mit digital geregelten Antrieben
2001 · 185 Seiten · 60 Abb. · 10 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0021-X
- 152 Stephan Dürrschmidt
Planung und Betrieb wandlungsfähiger Logistiksysteme in der variantenreichen Serienproduktion
2001 · 914 Seiten · 61 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0023-6
- 153 Bernhard Eich
Methode zur prozesskettenorientierten Planung der Teilebereitstellung
2001 · 132 Seiten · 48 Abb. · 6 Tabellen · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0028-7

- 154 Wolfgang Rudorfer
Eine Methode zur Qualifizierung von produzierenden Unternehmen für Kompetenznetzwerke
 2001 · 207 Seiten · 89 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0037-6
- 155 Hans Meier
Verteilte kooperative Steuerung maschinennaher Abläufe
 2001 · 162 Seiten · 85 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0044-9
- 156 Gerhard Nowak
Informationstechnische Integration des industriellen Service in das Unternehmen
 2001 · 203 Seiten · 95 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0055-4
- 157 Martin Werner
Simulationsgestützte Reorganisation von Produktions- und Logistikprozessen
 2001 · 191 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0058-9
- 158 Bernhard Lenz
Finite Elemente-Modellierung des Laserstrahlschweißens für den Einsatz in der Fertigungsplanung
 2001 · 150 Seiten · 47 Abb. · 5 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0094-5
- 159 Stefan Grunwald
Methode zur Anwendung der flexiblen integrierten Produktentwicklung und Montageplanung
 2002 · 206 Seiten · 80 Abb. · 25 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0095-3
- 160 Josef Gartner
Qualitätssicherung bei der automatisierten Applikation hochviskoser Dichtungen
 2002 · 165 Seiten · 74 Abb. · 21 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0096-1
- 161 Wolfgang Zeller
Gesamtheitliches Sicherheitskonzept für die Antriebs- und Steuerungstechnik bei Werkzeugmaschinen
 2002 · 192 Seiten · 54 Abb. · 15 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0100-3
- 162 Michael Loferer
Rechnergestützte Gestaltung von Montagesystemen
 2002 · 178 Seiten · 80 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0118-6
- 163 Jörg Fährer
Ganzeitliche Optimierung des indirekten Metall-Lasersinterprozesses
 2002 · 176 Seiten · 69 Abb. · 13 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0124-0
- 164 Jürgen Höppner
Verfahren zur berührungslosen Handhabung mittels leistungsstarker Schallwandler
 2002 · 132 Seiten · 24 Abb. · 3 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0125-9
- 165 Hubert Götte
Entwicklung eines Assistenzrobotersystems für die Knieendoprothetik
 2002 · 258 Seiten · 123 Abb. · 5 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0126-7
- 166 Martin Weißberger
Optimierung der Bewegungsdynamik von Werkzeugmaschinen im rechnergestützten Entwicklungsprozess
 2002 · 210 Seiten · 86 Abb. · 2 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0138-0
- 167 Dirk Jacob
Verfahren zur Positionierung unterseitenstrukturierter Bauelemente in der Mikrosystemtechnik
 2002 · 200 Seiten · 82 Abb. · 24 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0142-9
- 168 Ulrich Roßgoderer
System zur effizienten Layout- und Prozessplanung von hybriden Montageanlagen
 2002 · 175 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0154-2
- 169 Robert Klingel
Anziehverfahren für hochfeste Schraubenverbindungen auf Basis akustischer Emissionen
 2002 · 164 Seiten · 89 Abb. · 27 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0174-7
- 170 Paul Jens Peter Ross
Bestimmung des wirtschaftlichen Automatisierungsgrades von Montageprozessen in der frühen Phase der Montageplanung
 2002 · 144 Seiten · 38 Abb. · 38 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0191-7
- 171 Stefan von Praun
Toleranzanalyse nachgiebiger Baugruppen im Produktentstehungsprozess
 2002 · 250 Seiten · 62 Abb. · 7 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0202-6

- 172 Florian von der Hagen
Gestaltung kurzfristiger und unternehmensübergreifender Engineering-Kooperationen
 2002 · 220 Seiten · 104 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0208-5
- 173 Oliver Kramer
Methode zur Optimierung der Wertschöpfungskette mittelständischer Betriebe
 2002 · 212 Seiten · 84 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0211-5
- 174 Winfried Dohmen
Interdisziplinäre Methoden für die integrierte Entwicklung komplexer mechatronischer Systeme
 2002 · 200 Seiten · 67 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0214-X
- 175 Oliver Anton
Ein Beitrag zur Entwicklung telepräsenster Montagesysteme
 2002 · 158 Seiten · 85 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0215-8
- 176 Welf Broser
Methode zur Definition und Bewertung von Anwendungsfeldern für Kompetenznetzwerke
 2002 · 224 Seiten · 122 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0217-4
- 177 Frank Breitingner
Ein ganzheitliches Konzept zum Einsatz des indirekten Metall-Lasersinterns für das Druckgießen
 2003 · 156 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0227-1
- 178 Johann von Pieverling
Ein Vorgehensmodell zur Auswahl von Konturfertigungsverfahren für das Rapid Tooling
 2003 · 163 Seiten · 88 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0230-1
- 179 Thomas Baudisch
Simulationsumgebung zur Auslegung der Bewegungsdynamik des mechatronischen Systems Werkzeugmaschine
 2003 · 190 Seiten · 67 Abb. · 8 Tab. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0249-2
- 180 Heinrich Schieferstein
Experimentelle Analyse des menschlichen Kausystems
 2003 · 132 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0251-4
- 181 Joachim Berlak
Methodik zur strukturierten Auswahl von Auftragsabwicklungssystemen
 2003 · 244 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0258-1
- 182 Christian Meierlohr
Konzept zur rechnergestützten Integration von Produktions- und Gebäudeplanung in der Fabrikgestaltung
 2003 · 181 Seiten · 84 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0292-1
- 183 Volker Weber
Dynamisches Kostenmanagement in kompetenzzentrierten Unternehmensnetzwerken
 2004 · 210 Seiten · 64 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0330-8
- 184 Thomas Bongardt
Methode zur Kompensation betriebsabhängiger Einflüsse auf die Absolutgenauigkeit von Industrierobotern
 2004 · 170 Seiten · 40 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0332-4
- 185 Tim Angerer
Effizienzsteigerung in der automatisierten Montage durch aktive Nutzung mechatronischer Produktkomponenten
 2004 · 180 Seiten · 67 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0336-7
- 186 Alexander Krüger
Planung und Kapazitätsabstimmung stückzahlflexibler Montagesysteme
 2004 · 197 Seiten · 83 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0371-5
- 187 Matthias Meindl
Beitrag zur Entwicklung generativer Fertigungsverfahren für das Rapid Manufacturing
 2005 · 222 Seiten · 97 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0465-7
- 188 Thomas Fusch
Betriebsbegleitende Prozessplanung in der Montage mit Hilfe der Virtuellen Produktion am Beispiel der Automobilindustrie
 2005 · 190 Seiten · 99 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0467-3

- 189 Thomas Mosandl
Qualitätssteigerung bei automatisiertem Klebstoffauftrag durch den Einsatz optischer Konturfolgesysteme
2005 · 182 Seiten · 58 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0471-1
- 190 Christian Patron
Konzept für den Einsatz von Augmented Reality in der Montageplanung
2005 · 150 Seiten · 61 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0474-6
- 191 Robert Cisek
Planung und Bewertung von Rekonfigurationsprozessen in Produktionssystemen
2005 · 200 Seiten · 64 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0475-4
- 192 Florian Auer
Methode zur Simulation des Laserstrahlschweißens unter Berücksichtigung der Ergebnisse vorangegangener Umformsimulationen
2005 · 160 Seiten · 65 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0485-1
- 193 Carsten Selke
Entwicklung von Methoden zur automatischen Simulationsmodellgenerierung
2005 · 137 Seiten · 53 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0495-9
- 194 Markus Seefried
Simulation des Prozessschrittes der Wärmebehandlung beim Indirekten-Metall-Lasersintern
2005 · 216 Seiten · 82 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0503-3
- 195 Wolfgang Wagner
Fabrikplanung für die standortübergreifende Kostensenkung bei marktnaher Produktion
2006 · 208 Seiten · 43 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0586-6
- 196 Christopher Ulrich
Erhöhung des Nutzungsgrades von Laserstrahlquellen durch Mehrfach-Anwendungen
2006 · 178 Seiten · 74 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0590-4
- 197 Johann Härtl
Prozessgaseinfluss beim Schweißen mit Hochleistungsdiodenlasern
2006 · 140 Seiten · 55 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0611-0
- 198 Bernd Hartmann
Die Bestimmung des Personalbedarfs für den Materialfluss in Abhängigkeit von Produktionsfläche und -menge
2006 · 208 Seiten · 105 Abb. · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0615-3
- 199 Michael Schilp
Auslegung und Gestaltung von Werkzeugen zum berührungslosen Greifen kleiner Bauteile in der Mikromontage
2006 · 130 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0631-5
- 200 Florian Manfred Grätz
Teilautomatische Generierung von Stromlauf- und Fluidplänen für mechatronische Systeme
2006 · 192 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0643-9
- 201 Dieter Eireiner
Prozessmodelle zur statischen Auslegung von Anlagen für das Friction Stir Welding
2006 · 214 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 3-8316-0650-1
- 202 Gerhard Volkwein
Konzept zur effizienten Bereitstellung von Steuerungsfunktionalität für die NC-Simulation
2007 · 192 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0668-9
- 203 Sven Roeren
Komplexitätsvariable Einflussgrößen für die bauteilbezogene Struktursimulation thermischer Fertigungsprozesse
2007 · 224 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0680-1
- 204 Henning Rudolf
Wissensbasierte Montageplanung in der Digitalen Fabrik am Beispiel der Automobilindustrie
2007 · 200 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0697-9
- 205 Stella Clarke-Griebsch
Overcoming the Network Problem in Telepresence Systems with Prediction and Inertia
2007 · 150 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0701-3
- 206 Michael Ehrenstraßer
Sensoreinsatz in der telepräsenten Mikromontage
2008 · 160 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0743-3

- 207 Rainer Schack
Methodik zur bewertungsorientierten Skalierung der Digitalen Fabrik
2008 · 248 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0748-8
- 208 Wolfgang Sudhoff
Methodik zur Bewertung standortübergreifender Mobilität in der Produktion
2008 · 276 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0749-5
- 209 Stefan Müller
Methodik für die entwicklungs- und planungsbegleitende Generierung und Bewertung von Produktionsalternativen
2008 · 240 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0750-1
- 210 Ulrich Kohler
Methodik zur kontinuierlichen und kostenorientierten Planung produktionstechnischer Systeme
2008 · 232 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0753-2
- 211 Klaus Schlickerieder
Methodik zur Prozessoptimierung beim automatisierten elastischen Kleben großflächiger Bauteile
2008 · 204 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0776-1
- 212 Niklas Möller
Bestimmung der Wirtschaftlichkeit wandlungsfähiger Produktionssysteme
2008 · 260 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0778-5
- 213 Daniel Siedl
Simulation des dynamischen Verhaltens von Werkzeugmaschinen während Verfahrbewegungen
2008 · 200 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0779-2
- 214 Dirk Ansorge
Auftragsabwicklung in heterogenen Produktionsstrukturen mit spezifischen Planungsfreiräumen
2008 · 146 Seiten · 20,5 x 14,5 cm · ISBN 978-3-8316-0785-3