

**Entwicklung eines Verfahrens zum präzisen Punkt- und
Linienauftrag von hochviskosem Leitkleber mit einem geregelten
Mikrodosiersystem**

Von der Fakultät für Maschinenbau
der Universität Stuttgart zur Erlangung der Würde eines
Doktor-Ingenieurs (Dr.-Ing.)
genehmigte Abhandlung

vorgelegt von

Dipl.-Ing. Nabih Othman

aus Kuwait

Hauptberichter: Univ.-Prof. Dr.-Ing. Prof. E. h. Dr.-Ing. E. h.

Dr. h. c. mult. Engelbert Westkämper

Mitberichter: Prof. Dr.-Ing. Hermann Sandmaier

Tag der mündlichen Prüfung: 27. September 2005

Institut für industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb der Universität Stuttgart

2005

IPA-IAO Forschung und Praxis

Berichte aus dem
Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und
Automatisierung (IPA), Stuttgart,
Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und
Organisation (IAO), Stuttgart,
Institut für Industrielle Fertigung und
Fabrikbetrieb (IFF), Universität Stuttgart
und Institut für Arbeitswissenschaft und
Technologiemanagement (IAT), Universität Stuttgart

Herausgeber:

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Prof. e.h. Dr.-Ing. e.h. Dr. h.c. mult. Engelbert Westkämper
und

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. e.h. Dr. h.c. Hans-Jörg Bullinger
und

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dieter Spath

Nabih Othman



Entwicklung eines Verfahrens zum präzisen Punkt- und Linien- auftrag von hochviskosem Leitkleber mit einem geregelten Mikrodosiersystem

Nr. 428

Dr.-Ing. Nabih Othman

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA), Stuttgart

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Prof. e.h. Dr.-Ing. e.h. Dr. h.c. mult. Engelbert Westkämper

ord. Professor an der Universität Stuttgart

Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA), Stuttgart

Univ.-Prof. Dr.-Ing. habil. Prof. e.h. Dr. h.c. Hans-Jörg Bullinger

ord. Professor an der Universität Stuttgart

Präsident der Fraunhofer-Gesellschaft, München

Univ.-Prof. Dr.-Ing. Dieter Spath

ord. Professor an der Universität Stuttgart

Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO), Stuttgart

D 93

ISBN 3-936947-73-2 Jost Jetter Verlag, Heimsheim

Dieses Werk ist urheberrechtlich geschützt. Die dadurch begründeten Rechte, insbesondere die der Übersetzung, des Nachdrucks, des Vortrags, der Entnahme von Abbildungen und Tabellen, der Funksendung, der Mikroverfilmung oder der Vervielfältigung auf anderen Wegen und der Speicherung in Datenverarbeitungsanlagen, bleiben, auch bei nur auszugsweiser Verwertung, vorbehalten. Eine Vervielfältigung dieses Werkes oder von Teilen dieses Werkes ist auch im Einzelfall nur in den Grenzen der gesetzlichen Bestimmungen des Urheberrechtsgesetzes der Bundesrepublik Deutschland vom 9. September 1965 in der jeweils gültigen Fassung zulässig. Sie ist grundsätzlich vergütungspflichtig. Zuwiderhandlungen unterliegen den Strafbestimmungen des Urheberrechtsgesetzes.

© Jost Jetter Verlag, Heimsheim 2005.

Printed in Germany.

Die Wiedergabe von Gebrauchsnamen, Handelsnamen, Warenbezeichnungen usw. in diesem Werk berechtigt auch ohne besondere Kennzeichnung nicht zu der Annahme, dass solche Namen im Sinne der Warenzeichen- und Markenschutz-Gesetzgebung als frei zu betrachten wären und daher von jedermann benutzt werden dürften.

Sollte in diesem Werk direkt oder indirekt auf Gesetze, Vorschriften oder Richtlinien (z. B. DIN, VDI, VDE) Bezug genommen oder aus ihnen zitiert worden sein, so kann der Verlag keine Gewähr für die Richtigkeit, Vollständigkeit oder Aktualität übernehmen. Es empfiehlt sich, gegebenenfalls für die eigenen Arbeiten die vollständigen Vorschriften oder Richtlinien in der jeweils gültigen Fassung hinzuzuziehen.

Druck: printsystem GmbH, Heimsheim

Geleitwort der Herausgeber

Über den Erfolg und das Bestehen von Unternehmen in einer marktwirtschaftlichen Ordnung entscheidet letztendlich der Absatzmarkt. Das bedeutet, möglichst frühzeitig absatzmarktorientierte Anforderungen sowie deren Veränderungen zu erkennen und darauf zu reagieren.

Neue Technologien und Werkstoffe ermöglichen neue Produkte und eröffnen neue Märkte. Die neuen Produktions- und Informationstechnologien verwandeln signifikant und nachhaltig unsere industrielle Arbeitswelt. Politische und gesellschaftliche Veränderungen signalisieren und begleiten dabei einen Wertewandel, der auch in unseren Industriebetrieben deutlichen Niederschlag findet.

Die Aufgaben des Produktionsmanagements sind vielfältiger und anspruchsvoller geworden. Die Integration des europäischen Marktes, die Globalisierung vieler Industrien, die zunehmende Innovationsgeschwindigkeit, die Entwicklung zur Freizeitgesellschaft und die übergreifenden ökologischen und sozialen Probleme, zu deren Lösung die Wirtschaft ihren Beitrag leisten muss, erfordern von den Führungskräften erweiterte Perspektiven und Antworten, die über den Fokus traditionellen Produktionsmanagements deutlich hinausgehen.

Neue Formen der Arbeitsorganisation im indirekten und direkten Bereich sind heute schon feste Bestandteile innovativer Unternehmen. Die Entkopplung der Arbeitszeit von der Betriebszeit, integrierte Planungsansätze sowie der Aufbau dezentraler Strukturen sind nur einige der Konzepte, welche die aktuellen Entwicklungsrichtungen kennzeichnen. Erfreulich ist der Trend, immer mehr den Menschen in den Mittelpunkt der Arbeitsgestaltung zu stellen - die traditionell eher technokratisch akzentuierten Ansätze weichen einer stärkeren Human- und Organisationsorientierung. Qualifizierungsprogramme, Training und andere Formen der Mitarbeiterentwicklung gewinnen als Differenzierungsmerkmal und als Zukunftsinvestition in *Human Resources* an strategischer Bedeutung.

Von wissenschaftlicher Seite muss dieses Bemühen durch die Entwicklung von Methoden und Vorgehensweisen zur systematischen Analyse und Verbesserung des Systems Produktionsbetrieb einschließlich der erforderlichen Dienstleistungsfunktionen unterstützt werden. Die Ingenieure sind hier gefordert, in enger Zusammenarbeit mit anderen Disziplinen, z. B. der Informatik, der Wirtschaftswissenschaften und der Arbeitswissenschaft, Lösungen zu erarbeiten, die den veränderten Randbedingungen Rechnung tragen.

Die von den Herausgebern langjährig geleiteten Institute, das

- Fraunhofer-Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA),
- Fraunhofer-Institut für Arbeitswirtschaft und Organisation (IAO),
- Institut für Industrielle Fertigung und Fabrikbetrieb (IFF), Universität Stuttgart,
- Institut für Arbeitswissenschaft und Technologiemanagement (IAT), Universität Stuttgart

arbeiten in grundlegender und angewandter Forschung intensiv an den oben aufgezeigten Entwicklungen mit. Die Ausstattung der Labors und die Qualifikation der Mitarbeiter haben bereits in der Vergangenheit zu Forschungsergebnissen geführt, die für die Praxis von großem Wert waren. Zur Umsetzung gewonnener Erkenntnisse wird die Schriftenreihe „IPA-IAO - Forschung und Praxis“ herausgegeben. Der vorliegende Band setzt diese Reihe fort. Eine Übersicht über bisher erschienene Titel wird am Schluss dieses Buches gegeben.

Dem Verfasser sei für die geleistete Arbeit gedankt, dem Jost Jetter Verlag für die Aufnahme dieser Schriftenreihe in seine Angebotspalette und der Druckerei für saubere und zügige Ausführung. Möge das Buch von der Fachwelt gut aufgenommen werden.

Engelbert Westkämper Hans-Jörg Bullinger Dieter Spath

Vorwort

Die vorliegende Dissertation entstand während meiner Tätigkeit am Fraunhofer Institut für Produktionstechnik und Automatisierung (IPA) in Stuttgart.

Herrn Univ.-Prof. Dr.-Ing. Prof. E. h. Dr.-Ing. E. h. Dr. h. c. mult. Westkämper danke ich für die wohlwollende Unterstützung und Förderung der Arbeit. In gleicher Weise danke ich Herrn Prof. Dr.-Ing. Hermann Sandmaier für die Durchsicht der Arbeit und die Übernahme des Mitberichts.

Des Weiteren gilt mein Dank all denen, die mich in meiner Arbeit und privat unterstützt und in meinen Bestrebungen gefördert haben. Hierbei möchte ich Herrn Dr.-Ing. Johann Dorner, Herrn Dr.-Ing. Jochen Schließer und Herrn Dr.-Ing. Uwe Bader hervorheben, ohne deren Ansporn und Unterstützung diese Arbeit wohl nicht gelungen wäre.

Besonderer Dank gilt auch Herrn Dipl.-Ing. Dirk Schlenker, Herrn Dr.-Ing. Tobias Gaugel, Herrn Dr.-Ing. Andreas Schüle und Herrn Dr.-Ing. Alexander Steck für ihre Diskussionsbereitschaft und Ihre konstruktiven Hinweise und die Wertvolle Anregungen. Für die Unterstützung beim Versuchsaufbau, -durchführung und Auswertung sowie die technischen Konstruktionen danke ich Herrn Dipl.-Ing. Frantisek Konkol. Aber auch der großen Anzahl von Hilfskräften, Praktikanten, Diplom- und Studienarbeitern bin ich zu Dank verpflichtet, da ich mir mit ihrer Hilfe immer wieder die notwendigen Freiräume in meiner täglichen Projektarbeit schaffen konnte, die zur Erstellung einer solchen Arbeit notwendig sind.

Nicht zuletzt möchte ich mich bei all meinen Kollegen für die gute und fruchtbare Zusammenarbeit in vielen Projekten bedanken. Aber auch die gemeinsamen Diskussionen, Unternehmungen und Erlebnisse über die tägliche Arbeit hinaus waren mir sehr wichtig. Gleichzeitig möchte ich die Gelegenheit nutzen, all diejenigen zu ermuntern, die sich zum Ziel gesetzt haben eine Dissertation zu verfassen. Es ist eine Menge Arbeit, eine große Energieleistung allemal und es bedeutet so manches Opfer aber es ist zu schaffen.

Als Dankeschön für den großen Rückhalt während des Entstehens dieser Arbeit widme ich das Buch meiner Mutter, meinem Bruder Faisal, meiner Frau Enas und meinen Töchtern Lilian und Lana.

Stuttgart, September 2005

Nabih Othman

Inhaltsverzeichnis

Inhaltsverzeichnis	9
Abkürzungen und Formelzeichen	12
1 Einleitung	15
1.1 Problemstellung	15
1.2 Zielsetzung und Vorgehensweise	17
2 Ausgangssituation und Aufgabenstellung	19
2.1 Begriffe und Definitionen	19
2.1.1 Leitklebstoffe	19
2.1.2 Substrate	22
2.1.3 Dosiernadel	23
2.1.4 Kartusche	24
2.2 Ausgangssituation	24
2.2.1 Kontaktierung und Verbindung	24
2.2.2 Der Punktauftrag	24
2.2.3 Der Linienauftrag	26
2.3 Aufgabenstellung	30
3 Analyse der Einflussgrößen sowie Ableitung von Entwicklungsschwerpunkten für ein Verfahren zum präzisen Punkt- und Linienauftrag von hochviskosem Leitkleber mit einem geregelten Mikrodosiersystem	33
3.1 Analyse des Auftragsprozesses	33
3.1.1 Volumenbestimmung des Meniskus	35
3.1.2 Volumenbestimmung des liegenden und hängenden Meniskus	38
3.2 Analyse der Kartuschenausdehnung	38
3.2.1 Abschätzung der Kartuschenausdehnung	39
3.2.2 Berechnung der Kartuschenausdehnung	41
3.2.3 Anforderung an die Kartuschenausdehnung	41
3.3 Analyse der Dichtheit	42
3.4 Analyse des Nachtropfens	42
3.5 Analyse der Lufteinschlüsse	43
3.6 Analyse des Dosierprozesses	44
3.6.1 Einflussparameter des Punkt- und Linienauftrags	44
3.6.2 Teilprozesse des Dosierprozesses	45

3.7	Ableitung von Entwicklungsschwerpunkten	46
3.7.1	Anforderungen an das Mikrodosiersystem	46
3.7.2	Anforderungen an die Mikrodosiermethode	50
3.7.3	Randbedingungen für die Verifizierung der Mikrodosiermethode	51
3.7.4	Anforderungen an das zu entwickelnde Mikrodosierverfahren	51
4	Stand der Technik	55
4.1	Kontaktierung und Verbindung	55
4.2	Auftragsverfahren	57
4.2.1	Berührende Auftragsverfahren	57
4.2.2	Berührungslose Auftragsverfahren	61
4.3	Zusammenfassung	61
5	Entwicklung eines Mikrodosiersystems zum präzisen Punkt- und Linienauftrag von hochviskosem Leitkleber	63
5.1	Konzeption des Mikrodosiersystems	63
5.2	Entwicklung von Funktionsgruppen des Mikrodosiersystems	64
5.2.1	Transportieren	65
5.2.2	Messen	75
5.3	Realisierung des Mikrodosiersystems	87
5.4	Zusammenfassung	88
6	Entwicklung einer Mikrodosiermethode zum präzisen Punkt- und Linienauftrag von hochviskosem Leitkleber mit einem geregelten Mikrodosiersystem	89
6.1	Konzeption der Mikrodosiermethode	89
6.2	Theoretische Grundlagen und Zusammenhänge	89
6.2.1	Ermittlung des optimalen Dosierabstandes	91
6.2.2	Ermittlung des Geschwindigkeitsverhältnisses	95
6.2.3	Ermittlung des Füllstandes	100
6.2.4	Ermittlung des Nachtropfvolumens	101
6.3	Ableitung von Experimenten zur Verifizierung des Dosierverfahrens	101
6.3.1	Randbedingungen für die Experimente	101
6.3.2	Experimente zur Verifizierung des Mikrodosierverfahrens	102
6.3.3	Versuchsablauf zur Verifizierung des Prüfverfahrens	104
6.4	Zusammenfassung	104

7	Verifizierung des Mikrodosierverfahrens zum präzisen Punkt- und Linienauftrag von hochviskosem Leitkleber mit einem geregelten Mikrodosiersystem	107
7.1	Abstandsmessungen	108
7.2	Punktauftrag	111
7.2.1	Volumenbestimmung durch die Anzahl der Drehungen	111
7.2.2	Volumenbestimmung durch den Druckaufbau und -abbau	112
7.3	Dosiersversuche zum Punktauftrag	113
7.4	Dosiersversuche zum Linienauftrag	115
7.4.1	Volumenbestimmung durch konstanten Druck	115
7.4.2	Überwachung der Dosierergebnisse	117
7.5	Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse	119
7.6	Bewertung der industriellen Anwendbarkeit des Verfahrens	120
8	Zusammenfassung und Ausblick	123
9	Summary	125
10	Literatur	131
10.1	Bücher, Zeitschriften und Konferenzen	131
10.2	Internet	140

Abkürzungen und Formelzeichen

Sofern am jeweiligen Ort nicht explizit oder abweichend angegeben, werden in der Arbeit die folgenden Abkürzungen und Formelzeichen verwendet:

Abkürzungen

AVT	Aufbau und Verbindungstechnik
BGA	Ball Grid Array
CBGA	Ceramic BGA
COB	Chip On Bord
COG	Chip-On-Glas
CSP	Chip-Size-Package
IC	Integrated Circuit
ICA	Isotropic Conductive Adhesive
LSM	Laser Scanning Mikroskop
NCA	None Conductive Adhesive
MID	Molded Integrated Device
PP	Polypropylen
SMA	Surface Mount Adhesive
SMD	Surface Mounted Device
SMT	Surface Mount Technology
Starrflex	Starrflexibel, rigid flexible
TBGA	Tape BGA
TGA	Thermo Gravimetric Analysis
UFP	Ultra Fine Pitch

Formelzeichen

A	[m ²]	Fläche
A _A	[A/m]	Ankerstrombelag
A _I	[m ²]	Querschnittsfläche einer aufgetragenen Linie
B	[Vs/m ²]	magnetische Induktion
d _k	[m]	Durchmesser des Kolbens
d _p	[m]	piezoelektrische Deformationskonstante
d	[m]	Abstand
E	[Nm]	elektrische Feldstärke
F	[N]	Kraft
l ₀	[m]	Baulänge des Aktors
l	[m]	Rotorlänge
M	[Nm]	Drehmoment
N		Anzahl der Umdrehungen
r	[m]	Rotorradius
R _a	[m]	Mittelrauwert
R _p	[m]	Profilspitze
R _v	[m]	Profiltal
R _z	[m]	Maximale Rauheitsprofilhöhe
S _{sp}	[m]	Spindelsteigung
U		Untersetzung
V	[m ³]	Dosiervolumen
V _H	[m ³]	Volumen des hängenden Meniskus
V _L	[m ³]	Volumen des Meniskus
w	[m/s]	Geschwindigkeit

w_k	[m/s]	Kolbengeschwindigkeit
x_k	[m]	Zurückgelegter Weg
z_p	[m]	Objektabstand
η	[Pas.s]	Viskosität
σ_a	[N/mm ²]	Axiale Spannung
σ_r	[N/mm ²]	Radiale Spannung
σ_t	[N/mm ²]	Tangentiale Spannung

1 Einleitung

1.1 Problemstellung

Der Wandel des Konsumverhaltens in den zurückliegenden Jahren ergab eine Änderung der Randbedingungen für die produzierenden Betriebe. Hierbei stehen vor allem Forderungen der Verbraucher nach steigender Produktvielfalt, höherer Qualität, Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit im Vordergrund /Orthmann 1995a, Othman 2004a/. Um diesen Anforderungen gerecht zu werden, haben die Unternehmen in den vergangenen Jahren die industriellen Fertigungsverfahren, besonders in der Mikrosystemtechnik, verstärkt vorangetrieben (Abbildung 1-1).

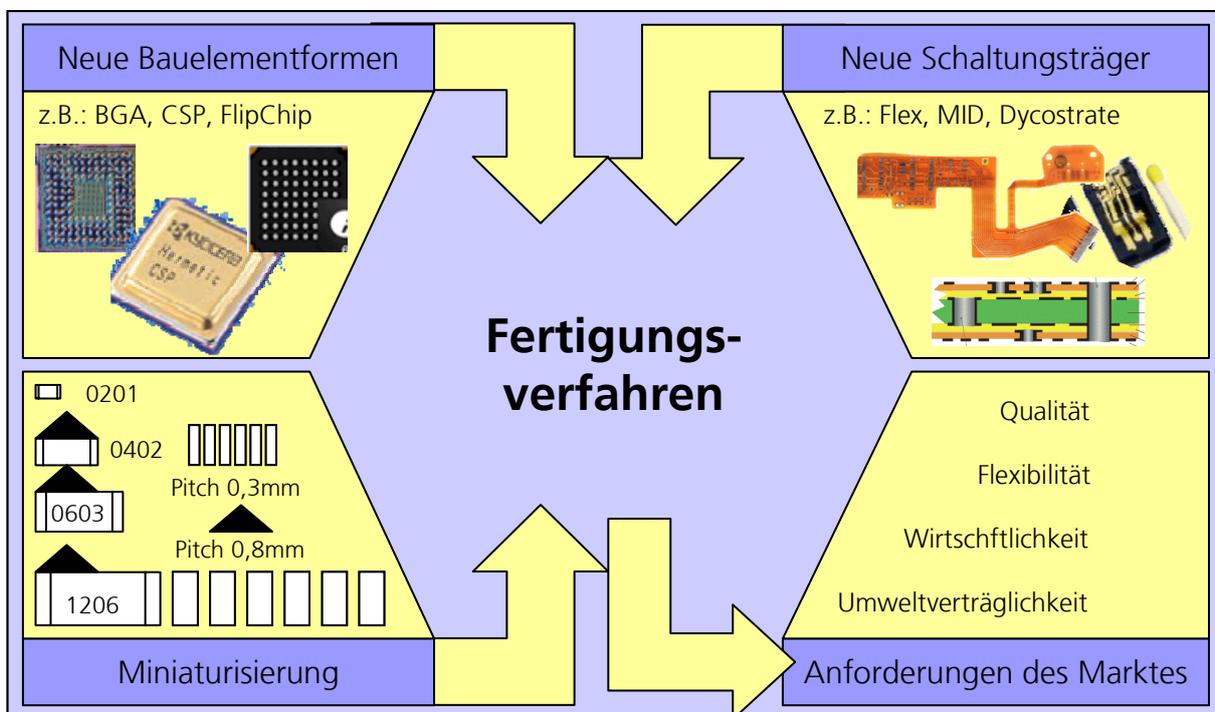


Abbildung 1-1: Trends und Herausforderungen in der Mikroelektronik

Unternehmen, die Mikrosysteme produzieren, müssen aufgrund der Miniaturisierung, der neuen elektronischen Bauelemente, der neuen Schaltungsträger, der häufig wechselnden Produktvarianten und kleiner werdenden Losgrößen (Abbildung 1-1) innerhalb kürzester Zeit die Montage den neuen Gegebenheiten anpassen und schnell eine ausreichende Prozessstabilität mit den erwünschten Stückzahlen erlangen können /Hartenstein 2000, Monno 1997, Orthmann 1995b, Westkämper 2002/.

Bei einigen Anwendungen wie der Bauteilmontage auf Low-cost-Schaltungsträgern, zum Beispiel Polyester, mit einer niedrigen Temperaturbelastbarkeit ist der Einsatz von Leitklebstoffen nahezu unumgänglich. Durch die oben genannten Forderungen gewinnt die Klebetechnik zusätzlich an Bedeutung und kann strategisch eine alternative Rolle

zum konventionellen Löten mit bleihaltigen Loten darstellen /Hartenstein 2000, Hennemann1988, Kriebel 1998, Piracci 2001/.

Insbesondere bei der Dosierung des Leitklebers zur Montage mikroelektronischer Bauteile stehen eine exakte und einfache Einstellbarkeit sowie die Erzeugung und Einhaltung einer hohen Volumenkonstanz beim Klebstoffauftrag im Vordergrund. Bei der Vielzahl an Einflussparametern beim Mikrodosieren, vom Dosierabstand, dem Dosierdruck über die Verfahrensgeschwindigkeit des Roboters bis hin zu den Einstellparametern des Dosierverfahrens, sind heutzutage in den meisten Fällen ein aufwändiges Einfahren des Dosierprozesses sowie ein zusätzlicher Kontrollschritt in Form miniaturisierter Sensorik bzw. Bildverarbeitungssysteme zur Überwachung des Klebstoffauftrags erforderlich. Beides ist verbunden mit hohem Zeit- und Materialaufwand und macht eine Steigerung des Automatisierungsgrads nur bedingt möglich /Kohler 1991, Nguyen 2001, Seitz 2001, Reichl 1998/.

Die Erfahrungen beim Dispensieren von hochviskosem Leitkleber haben gezeigt, dass ein präzises Dosieren von Punkten mit einem bestimmten Volumen nur möglich ist, wenn bei einem bestimmten Dosierabstand ein bestimmtes Volumen an der Nadelspitze vorhanden ist. Eine Linie (Leiterbahn) kann nur dann reproduzierbar aufgetragen werden, wenn die mittlere Strömungsgeschwindigkeit des Klebers in einem bestimmten Verhältnis zu der Verfahrensgeschwindigkeit des Roboters steht, vorausgesetzt, dass der Abstand zwischen der Dosiernadel und dem Substrat immer konstant bleibt /Othman 2004b, Robins 1999/.

Methoden zur Bestimmung des optimalen Dosierabstands zwischen der Dosiernadel und dem Substrat sowie die Methoden zur Ermittlung des optimalen Verhältnisses von der mittleren Strömungsgeschwindigkeit des Klebers aus der Dosiernadel zu der Roboterverfahrensgeschwindigkeit existieren zurzeit nicht. An Dosiersystemen, die den Druck, die mittlere Strömungsgeschwindigkeit des Klebers und andere Parameter mit Hilfe geeigneter Sensorik regeln, mangelt es auf dem Markt /Jefferson 2001, Othman 2004b, Robins 1999/.

Durch die richtige Einstellung und Regelung der zahlreichen Parameter können einerseits erhebliche Rationalisierungspotenziale erschlossen und andererseits die Produktqualität sowie die Flexibilität, die aufgrund der großen Vielfalt unterschiedlicher Bauelementformen und Stückzahlen erforderlich ist, verbessert werden /Gerlach 1999, Lee 2000, Leone, 1999, Westkämper 2002/.

Erforderlich ist daher im Hinblick auf eine höhere Produktivität und Flexibilität, ein Verfahren zum präzisen Punkt- und Linienauftrag von hochviskosem Leitkleber mit einem geregelten Mikrodosiersystem zu entwickeln.

1.2 Zielsetzung und Vorgehensweise

Dieser Arbeit liegt die Zielsetzung zugrunde, ein Verfahren und die notwendigen Werkzeuge und Vorrichtungen zum präzisen Punkt- und Linienauftrag von hochviskosem Leitleber mit einem geregelten Mikrodosiersystem zu entwickeln. Das neu entwickelte Dosierverfahren soll einen flexiblen Einsatz beim Dispensieren mit einem optimalen Abstand zwischen Dosiernadel und Substrat und einer definierten Verfahrensgeschwindigkeit des Roboters in Abhängigkeit des Drucks ermöglichen und den Kern eines Gesamtanlagenkonzeptes zum präzisen Auftrag von Punkten und Linien bzw. Leiterbahnen bilden.

Zunächst wird die Dosieraufgabe einer genauen Analyse unterzogen. Dabei wird der Dosiervorgang selbst untersucht und bestehende Defizite aufgezeigt. Aus den Ergebnissen der Analyse werden die erforderlichen Entwicklungsschwerpunkte abgeleitet und die Anforderungen zur Entwicklung eines Verfahrens zum Punkt- und Linienauftrag von hochviskosem Leitleber mit einem Mikrodosiersystem definiert.

Nach der Analyse wird eine Betrachtung des Standes der Technik bei der Automatisierung von Dosierprozessen von Punkten und Linien durchgeführt und bestehende Defizite der vorhandenen Dosierverfahren werden aufgezeigt.

Als Kern des Gesamtanlagenkonzeptes und gleichzeitiger Entwicklungsschwerpunkt wird im Anschluss daran das Dosierverfahren entwickelt. Nach der Auswahl eines geeigneten Mikroschrittmotors der erforderlichen Sensoren werden mit Hilfe theoretischer Betrachtungen die Größenordnungen der Haupteinflussparameter Druck, Verfahrensgeschwindigkeit usw. für den Dosierprozess ermittelt. Notwendige Funktionseinheiten für die Gestaltung des Dosierprozesses werden konzipiert bzw. ausgewählt und zu einem Dosierwerkzeug kombiniert.

Unter Maßgabe der Anforderungen werden weitere Komponenten zur Durchführung von Dosierversuchen wie das Handhabungssystem, die Steuereinheit und die Sensorik konzipiert bzw. ausgewählt und zusammen mit dem Dosierwerkzeug zu einer Gesamtanlage aufgebaut.

Mit Hilfe dieser Gesamtanlage werden die angestellten theoretischen Betrachtungen verifiziert und die Einflüsse weiterer prozessbeeinflussender Parameter wie z. B. die Ausdehnung der Kartusche und der Abstand zwischen Dosiernadel und Substrat untersucht, um die optimale Parametereinstellung zu ermitteln.

2 Ausgangssituation und Aufgabenstellung

2.1 Begriffe und Definitionen

Unter dem Begriff **Mikrodosieren** von Klebstoffen versteht man das Bereitstellen einer vordefinierten Menge von Kleber zur Herstellung einer strukturellen Verbindung zwischen zwei oder mehreren Gegenständen. Zur Verbindung von SMD-Mikrobauteilen mit den geometrischen Abmessungen (600 µm x 300 µm x 300 µm) stehen nur Fügeflächen mit eng benetzten Abmessungen zur Verfügung. Deshalb muss der Klebepunkt klein und präzise aufgetragen werden /Bornsie 1989, Möller 2002/. Die zu dosierenden Kleber in dieser Arbeit sind elektrisch leitend und haben unterschiedliche rheologische und elektrische Eigenschaften.

2.1.1 Leitklebstoffe

Leitklebstoffe gehören zu den Klebstoffarten, denen aufgrund der speziellen Füllstoffe besondere Eigenschaften in Bezug auf die Leitung des elektrischen Stroms und der Wärme zugeordnet sind /Kim 2001, Lieske 2000, Simon 2001, Tetzner 1998/. Elektrisch leitfähige Klebstoffe haben sich in der Vergangenheit als Alternative bzw. Ergänzung zum Weichlöten in der Elektronik u. a. aus folgenden Gründen eingeführt:

- Geringe Temperaturbeanspruchung von Bauteilen und Substraten
- Kein Einsatz von Flussmitteln
- Günstiges Verhalten bei Temperaturwechsel bzw. -beanspruchung
- Einfache Handhabung und Verarbeitung

Aus technologischen Gründen werden heute in der SMT überwiegend ein- und zweikomponentige Epoxidharze eingesetzt, die ihre elektrische Leitfähigkeit (ca. $10^{-4} \Omega \text{ cm}$) durch den Zusatz von 70 und mehr Gewichtsprozent meist flakeförmiger Metallpulver mit einer Partikelgröße $< 50 \mu\text{m}$ erhalten. Auf diese Weise können bei den üblicherweise realisierten Geometrien der Verbindungen Kontaktwiderstände im Bereich von $< 10 \text{ m}\Omega \text{ mm}^2$ erreicht werden. Der Leitkleber selbst muss ein sehr komplexes Anforderungsprofil erfüllen. Im nicht ausgehärteten Zustand soll er eine gute Lagerstabilität, eine ausreichende Topfzeit sowie die Applizierbarkeit mit den üblichen Auftragstechniken, auch im Fine-Pitch-Bereich, gewährleisten. Die Aushärtung sollte bei möglichst niedrigen Temperaturen schnell und ohne Versatz der Bauteile erfolgen können. Im ausgehärteten Zustand muss der Leitkleber eine gute elektrische Leitfähigkeit aufweisen, eine gute thermische Leitfähigkeit realisieren und die sichere Fixierung der Fügebauteile zueinander unter allen Betriebszuständen ermöglichen /Duhm 1994, Kriebel 1998/.

2.1.1.1 Viskosität

Die Viskosität η und die Zähigkeit sind identische Begriffe und werden hauptsächlich durch die Reibungskräfte der Moleküle verursacht. Wenn sich eine Flüssigkeit mit der Dicke d zwischen einer festen Auflage und einer beweglichen Platte befindet, dann wird eine Kraft

$$F = \frac{\eta v A}{d} \quad \text{Formel 2-1}$$

benötigt, um die Platte mit der Fläche A mit einer konstanten Geschwindigkeit v parallel zur Auflage zu bewegen (Abbildung 2-1). Die Einheit der Viskosität ist [Pa. s].

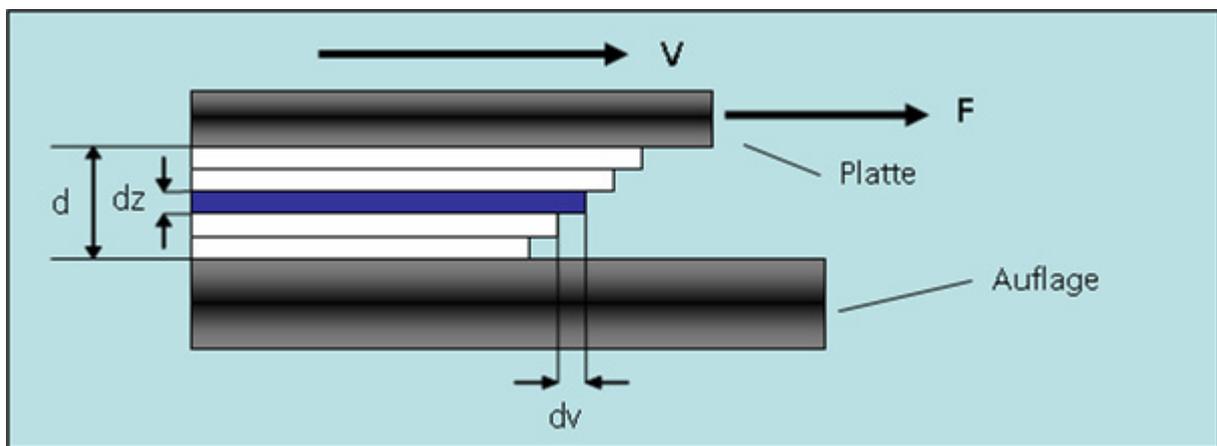


Abbildung 2-1: Messverfahren zur Bestimmung der Viskosität

Von besonderer Bedeutung beim Dosieren ist die Überwachung der Viskosität. Die Viskosität entspricht dem Widerstand, den eine Flüssigkeit dem Fließen entgegen setzt. Die Viskosität ist jedoch abhängig von Druck, Temperatur sowie Schergeschwindigkeit. Nimmt beispielsweise der Druck zu, so nimmt die Viskosität und damit die zur Förderung des Mediums benötigte Energie ab. Wenn der Volumenstrom konstant bleiben soll, muss daher die Förderleistung der Pumpe reduziert werden. Weitere Effekte auf die Viskosität des Fördermediums haben, z. B. bei Polymeren, die Alterung des Fördermediums, die Topfzeit bei Klebstoffen und die Prozessschwankungen bei der Herstellung. Bekannt ist z. B., dass Polymere von Charge zu Charge unterschiedliche Viskositäten aufweisen können, was auf Schwankungen im Herstellungsprozess zurückzuführen ist /Bohl 1989, Darby 1976, Darby 1995/.

Eine Online-Überwachung der Viskosität ist bei Mikrodosiersystemen bisher nicht bekannt. Beim Kunststoffspritzgießen wird die Viskosität überwiegend mit Kapillar- und Rotationsrheometern online überwacht. Hierbei handelt es sich um Anlagen, die mit Hilfe einer Pumpe eine Probe aus dem Förderstrom entnehmen und die Viskosität aus verschiedenen Messdaten berechnen. Für die Viskositätsmessung in Dosiersystemen eignen sich Vibrations-Viskosimeter aufgrund ihrer geringen Baugröße und des niedrigen Preises /Leidl 2003/.

2.1.1.2 Oberflächenspannung

Die Oberflächenspannung wird durch die Anziehungskräfte der Flüssigkeitsmoleküle untereinander hervorgerufen. Betrachtet man ein Molekül im Inneren eines Mediums, so wird dieses von all seinen Nachbarn im Mittel gleich stark angezogen. Es wirken also nach allen Seiten die gleichen Kräfte, so dass die resultierende Kraft gleich Null ist (siehe Abbildung 2-2).

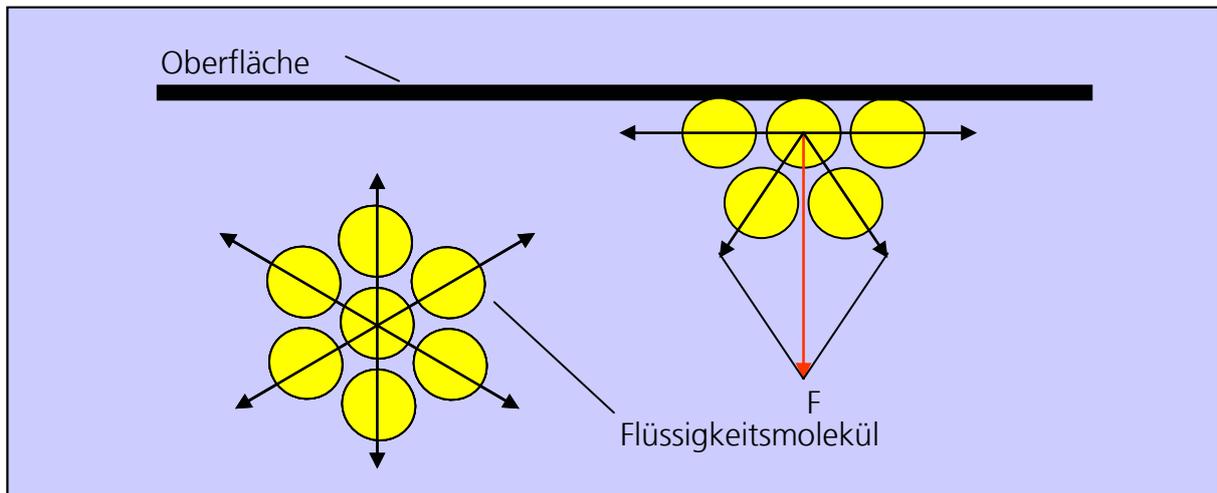


Abbildung 2-2: Darstellung der ausgeübten Kraft auf die einzelnen Moleküle

Befindet sich hingegen ein Molekül am Rand einer Flüssigkeit, wirken auf der einen Seite weiterhin die Anziehungskräfte aus dem Inneren des Mediums, während sich auf der anderen Seite keine Moleküle des Mediums mehr befinden, die eine Anziehungskraft ausüben. Dadurch entsteht eine resultierende Kraft, die in das Innere des Mediums gerichtet ist.

Im mikroskopischen Maßstab führt dies dazu, dass Flüssigkeitstropfen in Abhängigkeit von der Oberflächenspannung der Flüssigkeit eine gewölbte Oberfläche aufweisen, da die Flüssigkeit bestrebt ist, ihre Oberfläche zu minimieren.

Die Oberflächenspannung ist deshalb als die Energie definiert, die benötigt wird, die Oberfläche einer Flüssigkeit um ein Flächenstück zu vergrößern. Demzufolge entspricht eine minimale Oberfläche einem Energieminimum /Bohl 1989/.

2.1.1.3 Fließgrenze

Unter der Fließgrenze versteht man den Scherwiderstand, der zunächst einmal überwunden werden muss, damit ein Fluid in einen Fließzustand versetzt wird. Durch die Fließgrenze werden 2 Faktoren bestimmt: Zum Einen der minimale notwendige Druck zum Dosieren und zum Anderen die Ausbreitung des flüssigen Klebstoffs auf dem Substrat, was wiederum von den Eigenschaften der Substrate, wie Benetzungseigenschaften und Rauigkeit, abhängt /Kalide 1990, Kármán 1921a/.

Je höher die Fließgrenze ist, desto höher kann das Aspektverhalten der Menisken sein. In der Regel bilden sich bei Leitkleber oder bei Klebstoffen im Allgemeinen mit ausgeprägten Fließgrenzen keine Menisken mit einer Kugelabschnittform, weil die freie Energie nicht ausreicht, um die Fließgrenze zu überwinden und die Oberfläche zu minimieren. Es muss jedoch darauf hingewiesen werden, dass die Messung der Fließgrenze bei niederviskosen Klebstoffen mit großen Fehlern behaftet sein kann /Frittrang 1998, Bohl 1989/.

2.1.2 Substrate

Mit einem Substrat ist im Bereich der Mikrosystemtechnik ein Schaltungsträger gemeint, auf dem der Leitkleber aufgetragen wird. Es hat bestimmte Eigenschaften zu erfüllen, um einen erfolgreichen Auftrag gewährleisten zu können.

2.1.2.1 Oberflächenrauigkeit

Die geforderte Oberflächenrauigkeit R_a an Werkstücken bzw. Substraten sowie die Form-, Maß- und Lagertoleranzen müssen sinnvoll aufeinander abgestimmt sein, da sie eng zusammenhängen. Wichtige Begriffe für die Oberflächenrauigkeit sind Abbildung 2-3 zu entnehmen. Die Rauigkeit ist innerhalb der Rauheitsbegrenzungsstrecke l definiert /Krause 1998/.

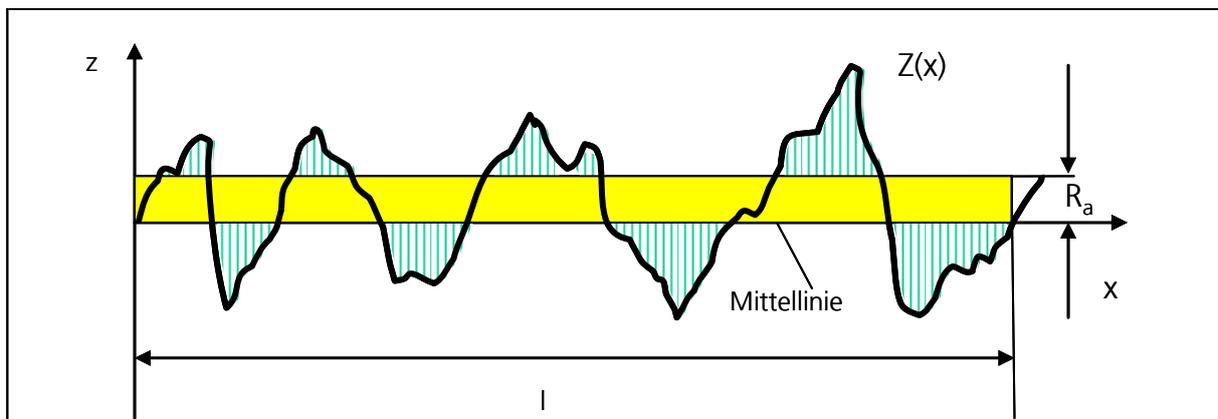


Abbildung 2-3: Darstellung des theoretischen Verlaufs des Mittenrauheitswerts R_a /DIN 4287/

Statistisch betrachtet ist R_a zugleich die mittlere arithmetische Abweichung der Rauheitsordinatenwerte von der Mittellinie und lässt sich wie folgt berechnen:

$$R_a = \frac{1}{l} \int_0^l |Z(x)| dx \quad \text{Formel 2-3}$$

Die Aussagekraft von R_a ist allerdings gering, weil R_a unempfindlich gegenüber extremen Profilspitzen und -tälern ist.

Die maximale Rauheitsprofilhöhe R_z ist die Summe aus der größten Profilspitze R_p und der Tiefe des größten Profiltales R_v des Rauheitsprofils innerhalb einer Einzelmessstrecke. Als senkrechter Abstand vom höchsten zum tiefsten Profilverlauf ist R_z ein Maß für die Streubreite (Range) der Rauheitsordinatenwerte (Abbildung 2-4).

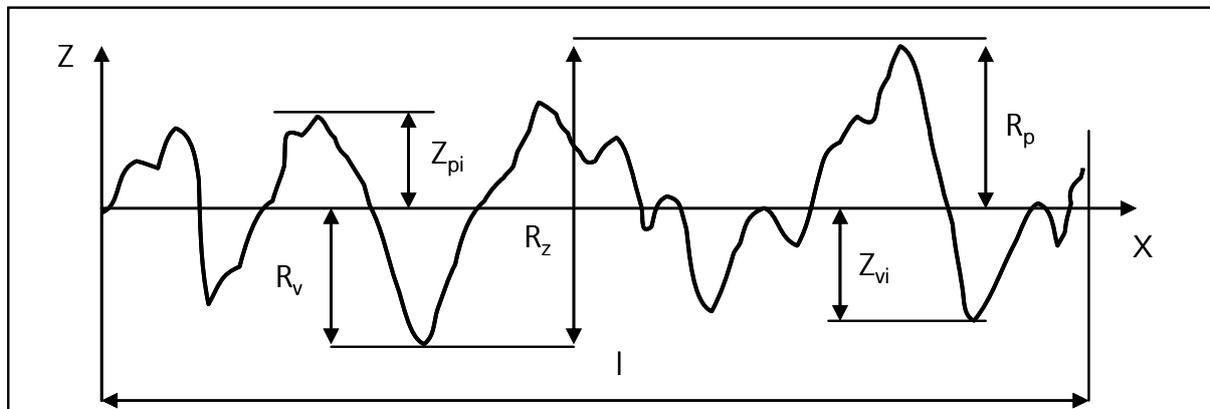


Abbildung 2-4: Darstellung des theoretischen Verlaufs der maximalen Rauheitsprofilhöhe R_z /DIN 4287/

2.1.3 Dosiernadel

Meistens werden Einweg-Dosiernadeln mit Edelstahlröhrchen für sämtliche Applikationen und bei allen Arten von Flüssigkeiten und Pasten verwendet. Durch ein Präzisionsgewinde ist eine sichere Verbindung zur Dosierkartusche gewährleistet. Die Farbcodierung der Dosiernadel erleichtert die Innendurchmesser-Zuordnung. Für jede Farbcodierung existieren Nadeln mit gleichen Innen- und Außendurchmessern und unterschiedlichen Längen (Abbildung 2-5) /Vieweg 2004, GLT 2004/.

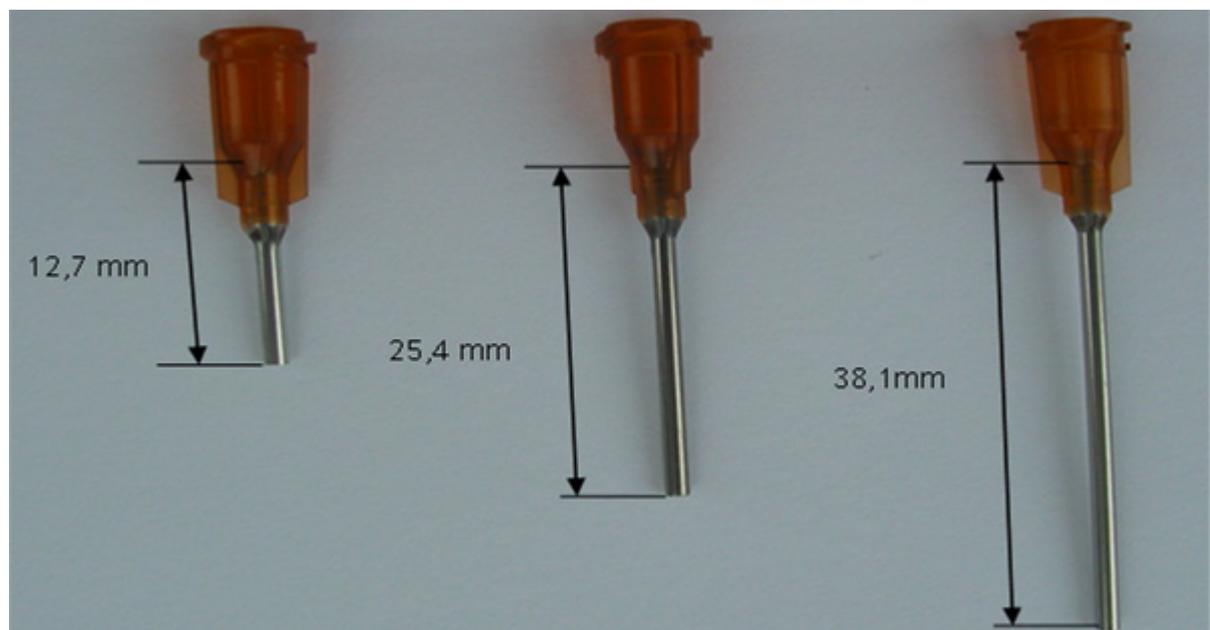


Abbildung 2-5: Darstellung von Dosiernadeln gleicher Durchmesser unterschiedlicher Längen

2.1.4 Kartusche

Zur industriellen Anwendung liefern die Leitleberhersteller ihre Produkte in Einweg-Dosierspritzen aus hochwertigem Polypropylen. Diese Kartuschen haben unterschiedliche Größen und Farben.

Der Hersteller garantiert absolute Zylindrität und Maßhaltigkeit. Über den maximalen Druck, unter dem die Kartusche stehen darf, gibt es keine Angaben /Vieweg 2004, GLT 2004/.

2.2 Ausgangssituation

2.2.1 Kontaktierung und Verbindung

Die Aufgabe des Klebens in der SMT ist zunächst so zu definieren, dass elektronische Bauteile auf den Schaltungsträgern elektrisch leitend und haftfest zu kontaktieren bzw. diese Bauteile mit anderen Bauteilen mittels Leiterbahnen aus Leitleber zu verbinden sind, in der Art, dass die Funktion der Baugruppe während der gesamten Produktlebensdauer gewährleistet ist.

Wie in dem Stand der Technik gezeigt wird, liegen hohe Potenziale für eine Kontaktierung von sehr kleinen Bauelementen auf Schaltungsträgern mit einem punktförmigen Auftrag mit Mikrodosierverfahren vor. Hier handelt es sich um Dosierpunkte, die mit einem Durchmesser kleiner als 150 µm aufgetragen werden sollen.

Für die Verbindung der Bauelemente miteinander, mittels aus Leitleber bestehenden Leiterbahnen bzw. zur Herstellung von Antennen auf Smart-Cards, werden Linien mit einer Linienbreite kleiner als 100 µm benötigt.

2.2.2 Der Punktauftrag

Die dosierten Punkte in der SMT müssen Anforderungen erfüllen, die sowohl die mechanische als auch die elektrische Funktion sowie den optischen Eindruck betreffen. Die Erfüllung dieser Anforderung ist gewährleistet, wenn die folgenden aufgeführten Qualitätsmerkmale vorhanden sind /Bornside 1987, Doering 2000/.

- **Leitfähigkeit der dosierten Punkte**

Die elektrischen Eigenschaften einer Klebeverbindung werden wesentlich durch den Kontaktwiderstand der Grenzfläche zwischen Klebstoff und Oberflächenmetallisierung bestimmt. Der Leitungswiderstand im Klebstoff selbst ist mit seinem Anteil von weniger als 10 Prozent am Gesamtwiderstand oft vernachlässigbar, wenn es sich dabei um eine reproduzierbare Dosierung handelt.

Der elektrische Widerstand lässt sich im Allgemeinen wie folgt berechnen /Beine 1999a, Kriebel 1998/.

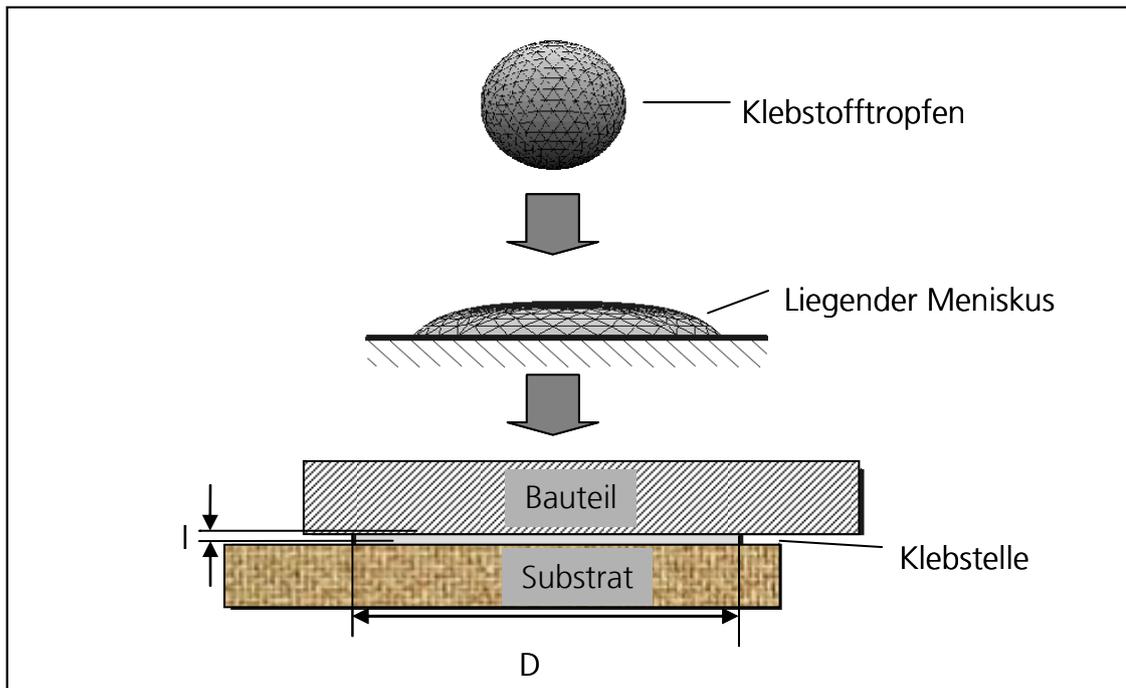


Abbildung 2-6: Geometrienvergleich eines Tropfens als Kugel, Meniskus und Klebestelle als Zylinder

Wenn ein Klebstofftropfen mit einem Volumen von 1 Nanoliter und einem Durchmesser von 124 μm (Abbildung 2-6) mit einem Substrat in Berührung kommt, bildet sich ein liegender Meniskus auf der Substratoberfläche /ISF 2004, Möller 2002/. Die Breite und der Kontaktwinkel des liegenden Meniskus hängen in der Regel von der Viskosität, der Oberflächenspannung etc. ab. Der Durchgangswiderstand zwischen dem Substrat und dem Bauelement hängt ab von dem spezifischen Widerstand ρ , der Länge l und der Fläche A , die zwischen dem Bauelement und dem Substrat entsteht /Jang 2000a, Kim 2001/. Dieser Durchgangswiderstand beträgt:

$$R = \frac{\rho l}{A} \quad \text{Formel 2-5}$$

- **Mechanische Festigkeit**

Qualitativ hochwertige und zuverlässige Kontaktierungen setzen die Beständigkeit der Klebeverbindung gegen Belastungen durch äußere Einflüsse voraus. Diese Belastungen treten üblicherweise wechselnd und überlagert auf. Die mechanische Festigkeit kann durch das Abscheren der geklebten Bauteile mittels eines Mikrotesters bestimmt werden/Kriebel 1998, Delepine 1996/.

- **Reproduzierbarkeit**

Mit der Reproduzierbarkeit ist hier das Dosieren von Punkten mit dem gleichen Volumen und den gleichen Geometrien gemeint. Meistens kommt es in einem Dosierprozess zu Fehldosierungen. Verantwortlich für diese Fehldosierungen sind:

- Die Viskosität

- Die Ausdehnung der Kartusche
- Der Abstand zwischen dem Substrat und der Dosiernadel
- Der Dosierdruck
- Homogenität und weitere Eigenschaften des Leitklebers

In der Abbildung 2-7 sind die Defizite des Punktauftrags grafisch dargestellt:

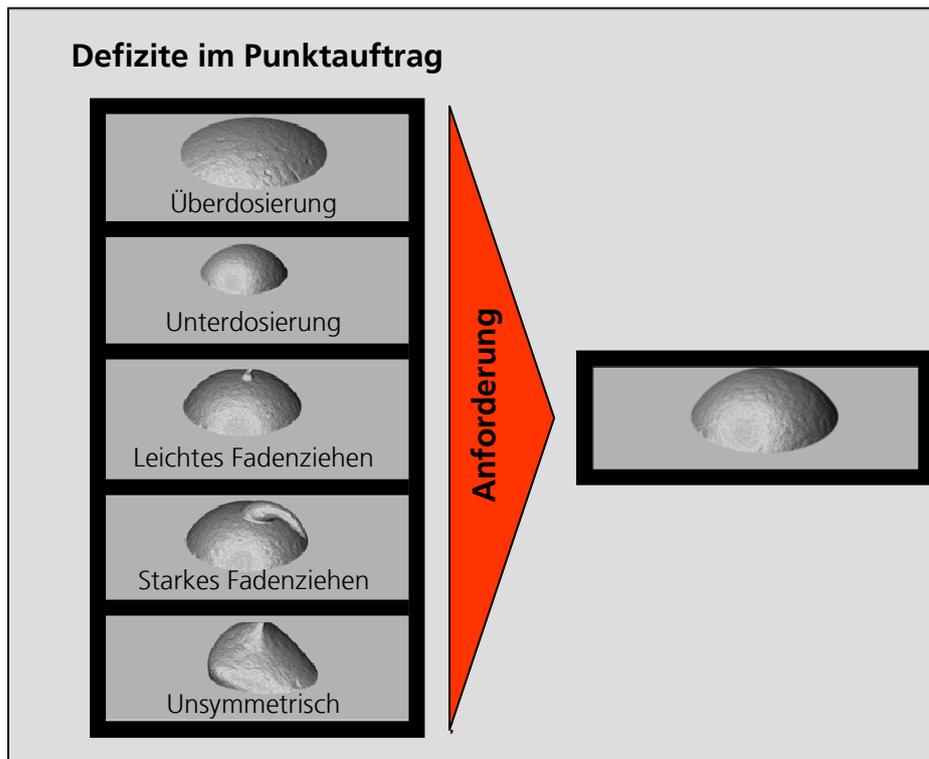


Abbildung 2-7: Darstellung der Defizite und der Anforderungen des Punktauftrages

Die mechanischen, elektrischen und optischen Qualitätsmerkmale müssen bei einem automatisierten Dosierprozess mit hoher Zuverlässigkeit erzielt werden und bilden die Grundlage der Ergebnisbeurteilung der innerhalb dieser Arbeit durchgeführten Dosierversuche. Zur Vermeidung dieser Defizite wird empfohlen, dass die dosierten Punkte on-line kontrolliert werden, um die Fehldosierung rechtzeitig zu erkennen und gegebenenfalls mit einem Regelungskreis zu korrigieren.

2.2.3 Der Linienauftrag

Die dosierten Leiterbahnen in der SMT müssen ebenso bestimmte Anforderungen erfüllen, die sowohl die mechanische als auch die elektrische Funktion sowie den optischen Eindruck betreffen. Die Erfüllung dieser Anforderungen ist gewährleistet, wenn die folgenden aufgeführten Qualitätsmerkmale vorhanden sind /Bornside 1987b, Delepine 1996/:

- **Leitfähigkeit der dosierten Linien**

Genau wie bei den Punkten spielt hier die Leitfähigkeit der aufgetragenen Linien eine sehr große Rolle. Die Form der aufgetragenen Linien ändert sich im Gegensatz zu den aufgetragenen Punkten nicht, wenn die aufgetragenen Linien als Stromleitung bzw. Antennen (Abbildung 2-8-b) dienen. Wenn die Linien als Klebe- oder Dichtungsmittel benutzt werden (Abbildung 2-8-a), ändert sich die Form der Linien in Abhängigkeit der ausgeübten Kraft auf die aufgetragenen Linien und der Viskosität des Klebers etc.



Abbildung 2-8: Mögliche Anwendung der Liniendosierung

Die Form der aufgetragenen Linien hängt vom Kontaktwinkel ab. Die Volumeneinheit der aufgetragenen Linien, wie später in der Konzeption ausführlich diskutiert wird, hängt von der mittleren Strömungsgeschwindigkeit des Klebers, der Dosiernadel und der Verfahrensgeschwindigkeit des Roboters ab /Weser 1980/.

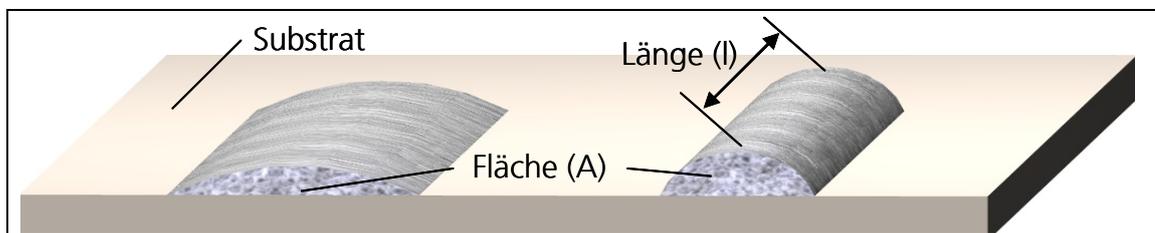


Abbildung 2-9: Darstellung zweier Linien gleicher Volumeneinheit

Der Widerstand der aufgetragenen Linien (Abbildung 2-9) lautet/Kim 2001/:

$$R = \frac{\rho l}{A}$$

Formel 2-6

- **Homogenität der Leiterbahn**

Da der Widerstand der Linien von dem Querschnitt der Linie abhängt, ist es wichtig, dass der Flächenquerschnitt entlang der aufgetragenen Linie immer konstant ist. In diesem Fall kann der Gesamtwiderstand mit der Formel 2-6 berechnet werden.

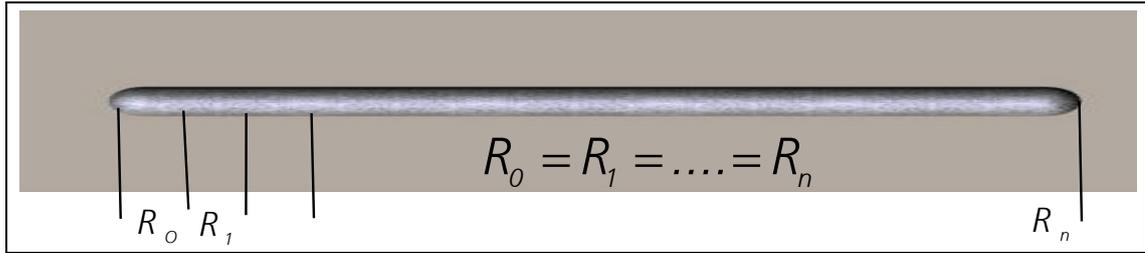


Abbildung 2-10: Darstellung einer homogenen Linie

Bei einem inhomogenen Auftrag der Linien (Abbildung 2-11) ergeben sich unterschiedliche Querschnittsflächen. Der Gesamtwiderstand in diesem Fall ist die Summe aller einzelnen Widerstände.

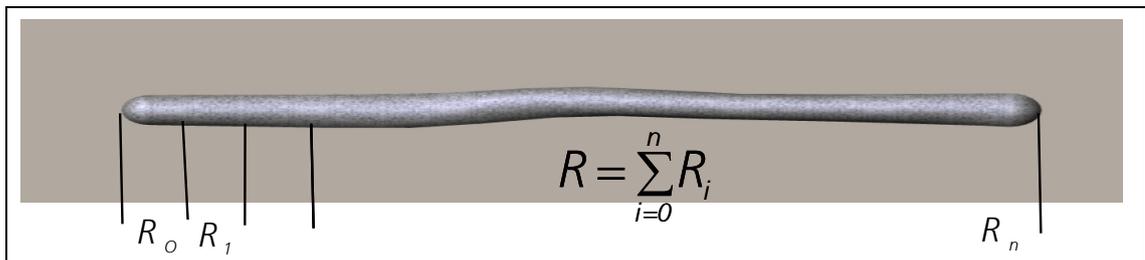


Abbildung 2-11: Darstellung einer inhomogenen Linie

- **Reproduzierbarkeit**

Mit der Reproduzierbarkeit ist hier das Dosieren von Linien mit dem gleichen Flächenquerschnitt und der gleichen Länge gemeint. Meistens kommt es in einem Dosierprozess zu Fehldosierungen. Verantwortlich für diese Fehldosierungen sind:

- Die Viskosität
- Die Ausdehnung der Kartusche
- Der Abstand zwischen dem Substrat und der Dosiernadel
- Der Dosierdruck vor der Dosiernadel und damit die mittlere Strömungsgeschwindigkeit des Klebers in der Dosiernadel
- Homogenität und weitere Eigenschaften des Leitklebers
- Verfahrensgeschwindigkeit des Roboters

In der Abbildung 2-12 sind die Defizite des Linienauftrags grafisch dargestellt:

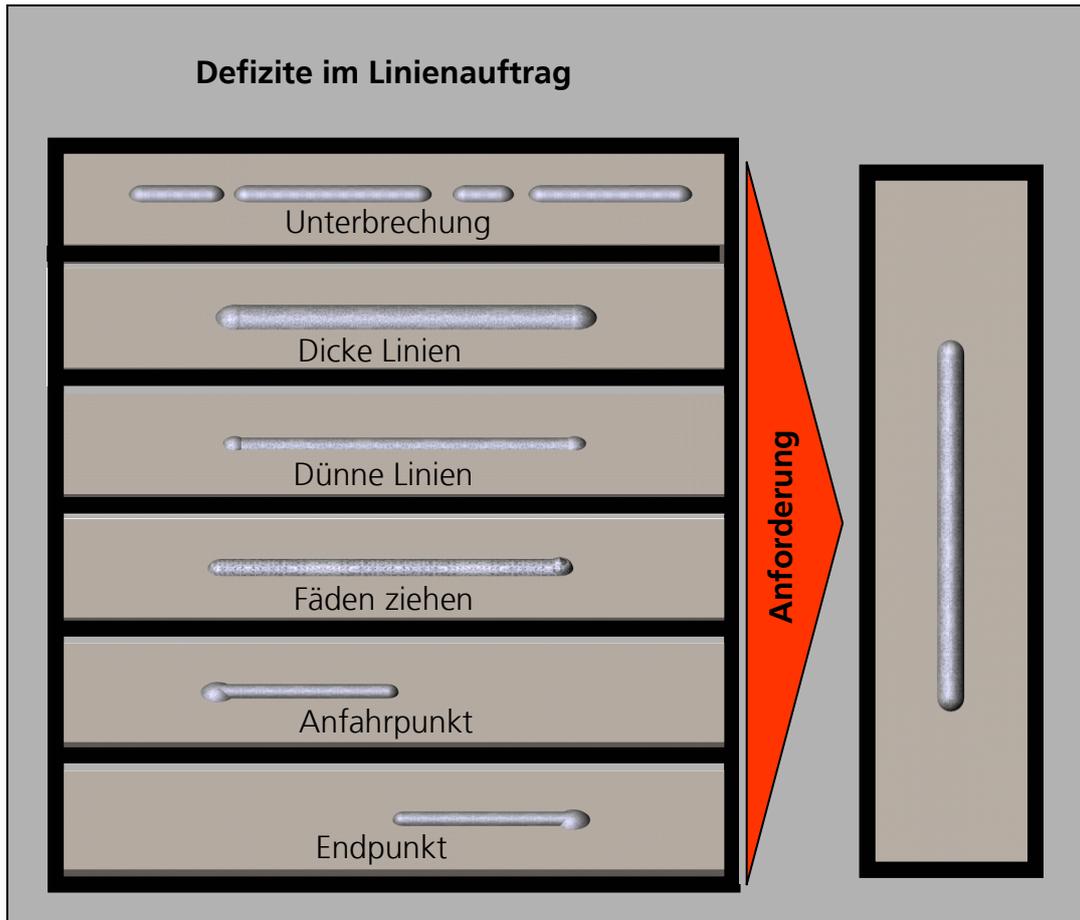


Abbildung 2-12: Darstellung der Defizite und der Anforderungen des Linienauftrages

Die mechanischen, elektrischen und optischen Qualitätsmerkmale an Linien müssen bei einem automatisierten Dosierprozess mit hoher Zuverlässigkeit erzielt werden und bilden die Grundlage der Ergebnisbeurteilung der innerhalb dieser Arbeit durchgeführten Dosierversuche. Zur Vermeidung der oben dargestellten Defizite wird empfohlen, dass die dosierten Linien on-line kontrolliert werden, um die Fehldosierung rechtzeitig zu erkennen und gegebenenfalls mit einem Regelungskreis zu korrigieren.

2.3 Aufgabenstellung

Die zurzeit auf dem Markt verfügbaren Auftragsverfahren sind in ihrer Reproduzierbarkeit und Genauigkeit beschränkt, da sie ohne Regelung arbeiten. Weitere Faktoren, Abstand zwischen Dosiernadel und Substrat, Druck und Verfahrensgeschwindigkeit, schränken erheblich die Effizienz eines Dosierverfahrens ein. Eine direkte Überwachung und Regelung des Drucks sowie eine Methode zur Ermittlung weiterer Parameter, wie der Dosierabstand und das optimale Verhältnis von Strömungsgeschwindigkeit zur Verfahrensgeschwindigkeit des Roboters, existiert zurzeit nicht.

Daraus lässt sich die Erfordernis zur Entwicklung eines Verfahrens zum Punkt- und Linienauftrag von hochviskosem Leitkleber mit einem geregelten Mikrodosiersystem ableiten. Das zu erarbeitende Auftragsverfahren muss

- **präzise dosieren**

Die Präzision kann erzielt werden, wenn reproduzierbare und genaue Punkte bzw. Linien aufgetragen werden können. Um dies erreichen zu können, müssen einige Effekte, wie z. B. die Kartuschausdehnung und das Nachtropfen, minimiert bzw. vermieden werden. Hier spielen das Nachtropfen und die Kartuschausdehnung eine sehr große Rolle. Deshalb muss dafür gesorgt werden, dass diese Effekte beseitigt werden.

Noch mehr Präzision kann erzielt werden, wenn die Fertigungstoleranzen des Substrats vor dem Auftrag in Betracht genommen werden. Dies kann durch die Messung der Topographie der Substratoberfläche mit einem geeigneten Messsystem vorgenommen werden. Dadurch wird gewährleistet, dass der Abstand zwischen der Dosiernadel und dem Schaltungsträger bzw. Substrat immer konstant bleibt.

- **Punkte und Linien auftragen**

Die Art des Auftrags wird durch den Prozessablauf bestimmt. Mit einem diskontinuierlichen Prozessablauf können Punkte bzw. Raupen und mit einem kontinuierlichen Prozessauftrag Linien aufgetragen werden.

- **hochviskose Leitkleber dosieren**

Der Dosierer muss sich u. a. zum Auftrag von Leitklebstoffen im Viskositätsbereich von 1000 mPa.s bis 100 000 mPa.s eignen.

- **den Druck in der Kartusche überwachen und regeln**

Druckschwankungen in der Kartusche sind für die Defizite verantwortlich. Deshalb muss der Druck in der Kartusche ständig überwacht und kontrolliert werden. Der

Druckverlust durch die Ausdehnung des Systems soll gegebenenfalls minimiert bzw. vermieden werden.

- **den optimalen Dosierabstand ermitteln, messen und prüfen**

Der optimale Dosierabstand ist von vielen Parametern, wie Viskosität, Nadelinnendurchmesser und -außendurchmesser etc., abhängig. Deshalb muss der optimale Dosierabstand vor einem Dosierprozess ermittelt werden. Hierzu müssen die Unebenheiten der Substrate vor einem Dosiervorgang vermessen werden

- **das optimale Verhältnis der Strömungsgeschwindigkeit des Klebers zur Roboterverfahrensgeschwindigkeit bestimmen**

Bei der Liniendosierung muss die Strömungsgeschwindigkeit des Klebers zur Verfahrensgeschwindigkeit des Roboters ein bestimmtes Verhältnis aufweisen.

- **die Volumina, Durchmesser und Höhen der aufgetragenen Geometrien online überwachen**

Um die mögliche Abweichung wahrnehmen zu können, müssen die aufgetragenen Geometrien online überwacht werden. Alle ausgewerteten Daten werden mit den theoretisch erwarteten Daten verglichen.

3 Analyse der Einflussgrößen sowie Ableitung von Entwicklungsschwerpunkten für ein Verfahren zum präzisen Punkt- und Linienauftrag von hochviskosem Leitleber mit einem geregelten Mikrodosiersystem

3.1 Analyse des Auftragsprozesses

Der Außendurchmesser einer Dosiernadel hat wesentlichen Einfluss auf die Art und Qualität des Dispensergebnisses. Je kleiner der Außendurchmesser der Dosiernadel ist, desto kleiner ist der Meniskusdurchmesser, der sich an der Spitze der Dosiernadel bildet.

Der Innendurchmesser und die Länge der Dosiernadel bestimmen die Prozessgeschwindigkeit und den erforderlichen Druck, der im Dosiersystem herrschen soll, um einen bestimmten Durchfluss zu erreichen. Mit abnehmendem Innendurchmesser bzw. zunehmender Länge der Dosiernadel steigen der notwendige Dosierdruck und die Zeit, die der Klebstoff benötigt, um durch die Dosiernadel zu fließen.

Aus diesem Grunde lassen sich hochviskose oder hochgefüllte Klebstoffe nur schwer in kleinen Kapillaren verarbeiten. Bei gefüllten Klebstoffen besteht darüber hinaus die Gefahr, dass die Partikel die Dosiernadel verstopfen /Bohl 1989, Keck 1999, Wolf 1968/.

Bei niedrigviskosen Klebstoffen mit geringer Fließgrenze, die sich entsprechend den Gesetzen der Thermodynamik durch selbsttätiges Fließen ausbreiten können, kann der Klebstoff in der Dosiernadel emporfließen und einen am Ende der Dosiernadel umlaufenden Klebstoffmeniskus erzeugen.

Dieser Meniskus ist unerwünscht, da ein Teil des Klebstoffs, der aufgetragen werden sollte, in diesem Meniskus gespeichert wird. Im automatischen Dosierprozess wächst dieser umlaufende Meniskus (Abbildung 3-1a) unkontrolliert an und gibt im weiteren Verlauf undefinierte Klebstoffmengen ab /Lathrop 1998, Wolf 1968/.

Durch die gezielte Auswahl des Dosiernadelwerkstoffs und Anpassung des Dosierdrucks im System lässt sich dieses Problem jedoch weitgehend beheben.

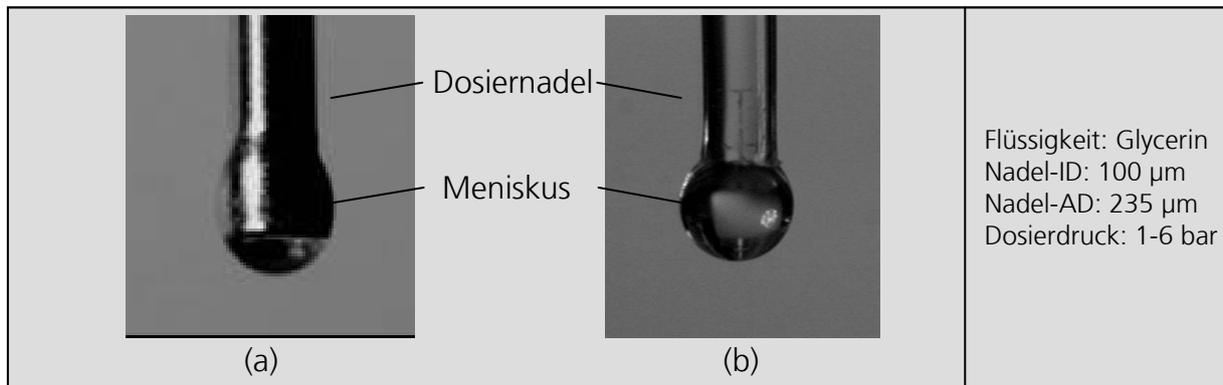


Abbildung 3-1: a) Darstellung eines entstehenden niederviskosen Meniskus
 b) Darstellung des entstehenden hochviskosen Meniskus

In dem oben links dargestellten Fall ist der Klebstoff niedrigviskos und die Oberfläche der Dosiernadel besitzt eine hohe Oberflächenspannung. Durch die vorhandene und geringe Oberflächenspannung des Klebstoffs besteht die Möglichkeit einer guten Benetzung. Hier äußert sich dies durch die Ausbildung eines seitlich am Ende der Dosiernadel umlaufenden Klebstoffmeniskus. Aus der Abbildung 3-1a ist zu erkennen, dass der Meniskus bei Überschreiten eines bestimmten Volumens die Mantelfläche der Dosiernadel nahezu benetzt. Hat sich ein kleiner seitlicher Meniskus ausgebildet, wächst dieser solange an, bis die Schwerkraft diesen zur Ablösung bringt oder ein Teil des Klebstoffvolumens auf das Substrat aufgebracht wird.

Bei der oben rechts dargestellten Dosiernadel wurde der Werkstoff so ausgewählt, dass der Unterschied in den Beträgen der Oberflächenspannung von Klebstoff und Dosiernadeloberfläche so gering ist, dass keine bzw. nur eine unzureichende Benetzung stattfindet. Auf diese Weise lässt sich an der Dosiernadelspitze ein hängender Klebstoffmeniskus herstellen, der sich ausschließlich an der Dosiernadelspitze ausbildet (Abbildung 3-1b).

Wenn ein solcher an der Spitze der Dosiernadel hängender Meniskus mit einem Substrat in Berührung kommt, bildet sich eine säulenartige Verbindung zwischen dem Substrat und der Dosiernadel. Ein solches rotationssymmetrisches Gebilde wird Katenoid genannt /Wolf 1968/. Ein solches Katenoid bildet sich bei jedem Dosiervorgang mit einem berührenden Dosiervorgang (Abbildung 3-2 e).

Ein Ende des Auftragsvorgangs kommt erst zustande durch das Reißen des Katenoides beim Zurückfahren der Dosiernadel. Das Katenoid wird im Punkt der Einschnürung getrennt. Dieser Vorgang wird sowohl vom Dosiermedium, dem Außendurchmesser und dem Werkstoff der Dosiernadel als auch vom Substratwerkstoff beeinflusst /Möller 2002/.

Nach dem Reißen des Katenoides bildet sich auf dem Substrat ein Tropfen (Liegender Meniskus) und an der Kapillare bleibt ein Werkstoffrest als Hängender Meniskus zurück. Der Zusammenhang zwischen den beiden Menisken soll im Rahmen dieser Arbeit untersucht werden (Abbildung 3-2).

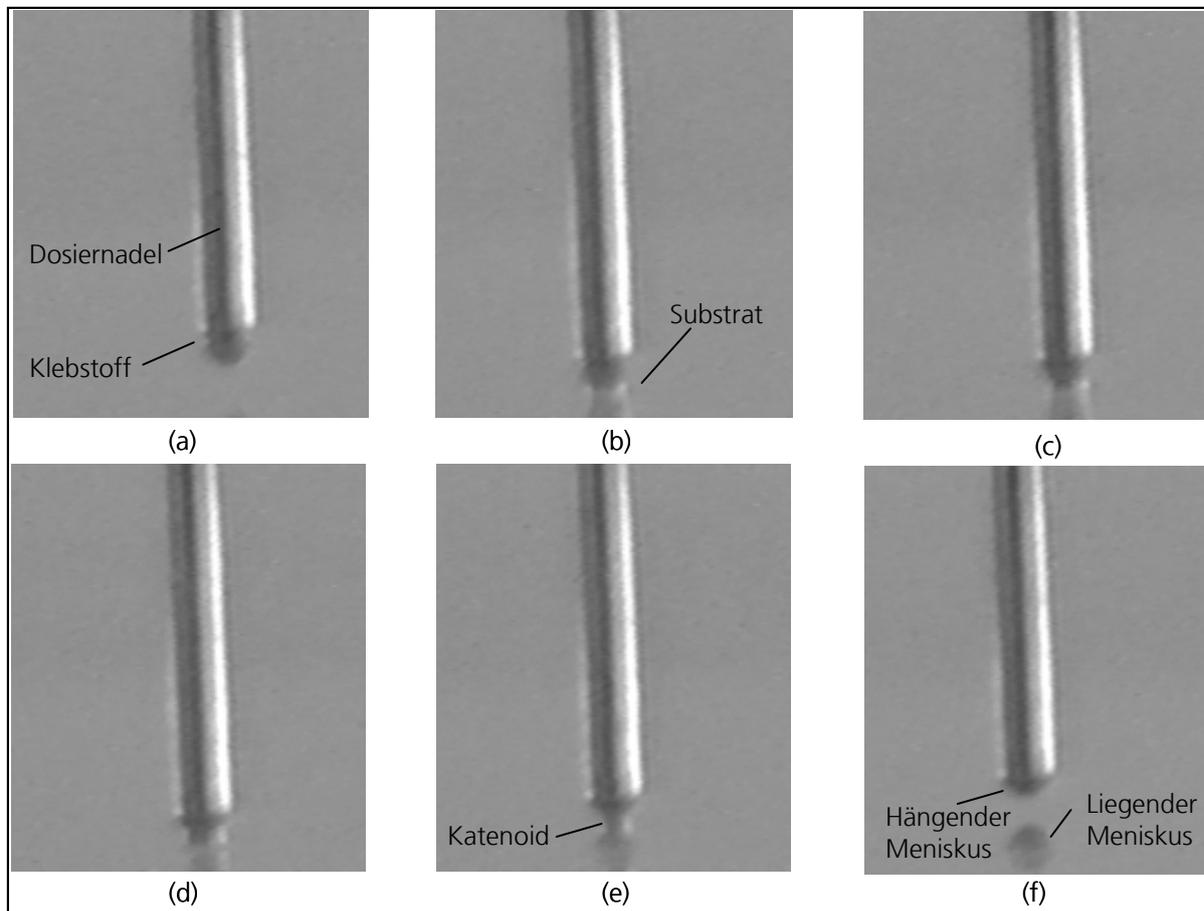


Abbildung 3-2: Bildsequenz zum Punktauftrag, aufgenommen mit einer Mikroskopkamera

Die Abbildung 3-2 zeigt eine Abfolge von 6 Aufnahmen zum Punktauftrag. Für die Analyse des Ablöseverhaltens wurde an der Nadelspitze einer Dosiernadel mit einem Innendurchmesser von 160 μm und einem Außendurchmesser von 320 μm ein Meniskus aus einem Leitkleber (Ablebond 84-1) erzeugt und aufgetragen.

3.1.1 Volumenbestimmung des Meniskus

Das Volumen eines dosierten Tropfens kann, abhängig vom Dosierverfahren, berechnet werden. Mit einem Zeit-Druck-Dosiersystem beispielsweise kann das Volumen in Abhängigkeit der Impulsdauer und des Dosierdrucks in der Kartusche berechnet werden. Für Volumina kleiner als 1 Nanoliter ist es fast unmöglich, mit diesem Verfahren reproduzierbar Volumina zu dosieren, da die Dosierung mit einem Zeit-Druck-Dosiersystem in der Kartusche Effekte auftreten, die den Prozess wesentlich beeinflussen. Gleichzeitig vergrößert sich mit der Abnahme des Füllstandes die Luftmenge in der Kartusche.

Das Ausüben von Druck auf den sich in der Kartusche befindlichen Stößel bzw. Kolben verursacht in zweifacher Hinsicht einen Energietransfer. Einerseits kommt es zu einer Abwärtsbewegung des Kolbens, andererseits wird auf diese Weise die Luft verdichtet.

Mit sinkendem Kleberfüllstand steigt das Maß der Luftverdichtung und damit der Grad der Absorption der zur Erzeugung des Klebepunkts notwendigen Stoßenergie. Die Kolbengeschwindigkeit nimmt aufgrund der steigenden Luftdichte immer mehr ab. Die Zeit zum Hindurchpressen einer bestimmten Klebermenge wird mit sinkendem Füllstandniveau ebenfalls kleiner.

In Abbildung 3-3 wurde die Kartusche mit dem Leitkleber Ablebond 84-1 gefüllt. Der Füllstand in diesem Versuch beträgt 12 mm. Anschließend wurde die Kartusche am oberen Ende an Druckluft angeschlossen. Angefangen mit 1 bar wurde der Druckaufbau in der Kartusche gemessen und grafisch dargestellt. Die Zeit, bis der Druck in der Kartusche konstant wird, ist von dem ausgeübten Druck abhängig und beträgt bei 5,7 bar 0,08 s.

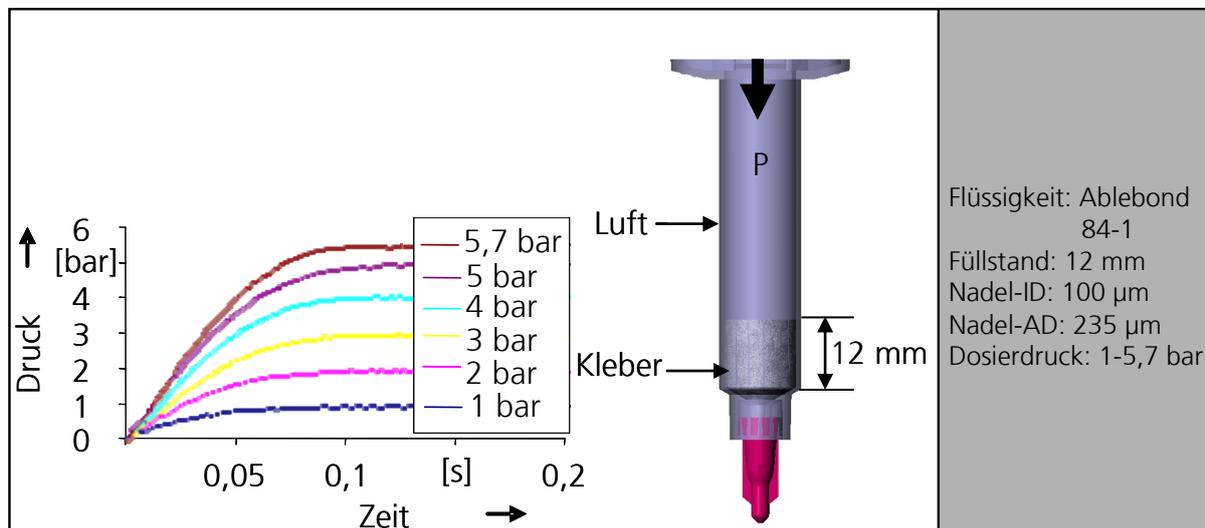


Abbildung 3-3: Der Druckaufbau in einem Zeit-Druck-Dosiersystem (12 mm-Füllstand)

In Abbildung 3-4 wurde die Kartusche mit dem gleichen Leitkleber gefüllt. Der Füllstand in diesem Versuch beträgt 24 mm. Die Zeit, bis der Druck in der Kartusche konstant wird, beträgt bei 5,7 bar 0,07 s.

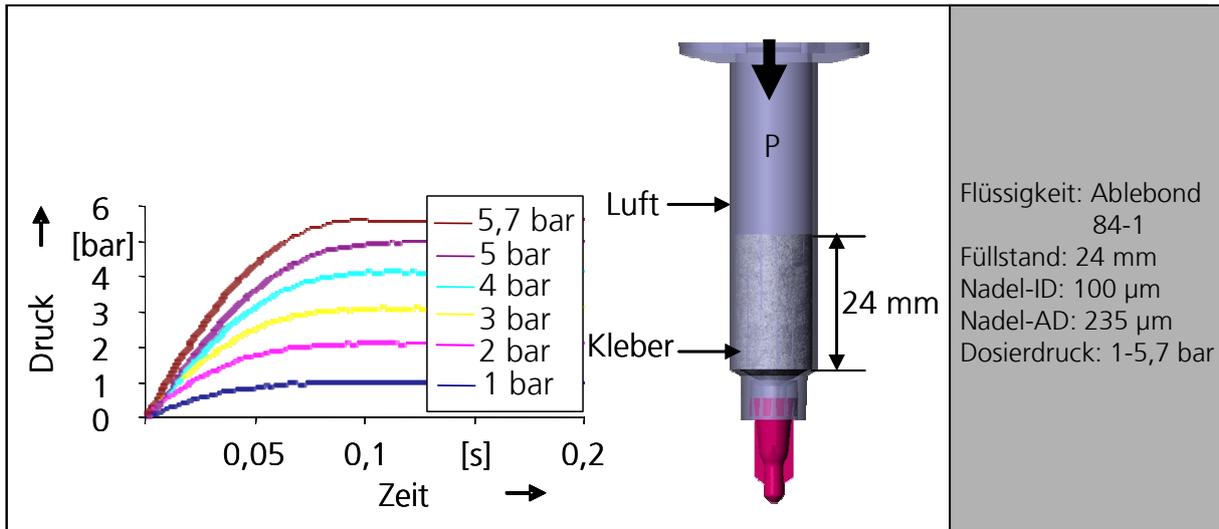


Abbildung 3-4: Der Druckaufbau in einem Zeit-Druck-Dosiersystem (24 mm-Füllstand)

In Abbildung 3-5 wurde die mit 36 mm vom Leitkleber gefüllte Kartusche unter den gleichen Druck gesetzt. Die Zeit, bis der Druck in der Kartusche 5,7 bar wird, beträgt in diesem Versuch 0,06 s.

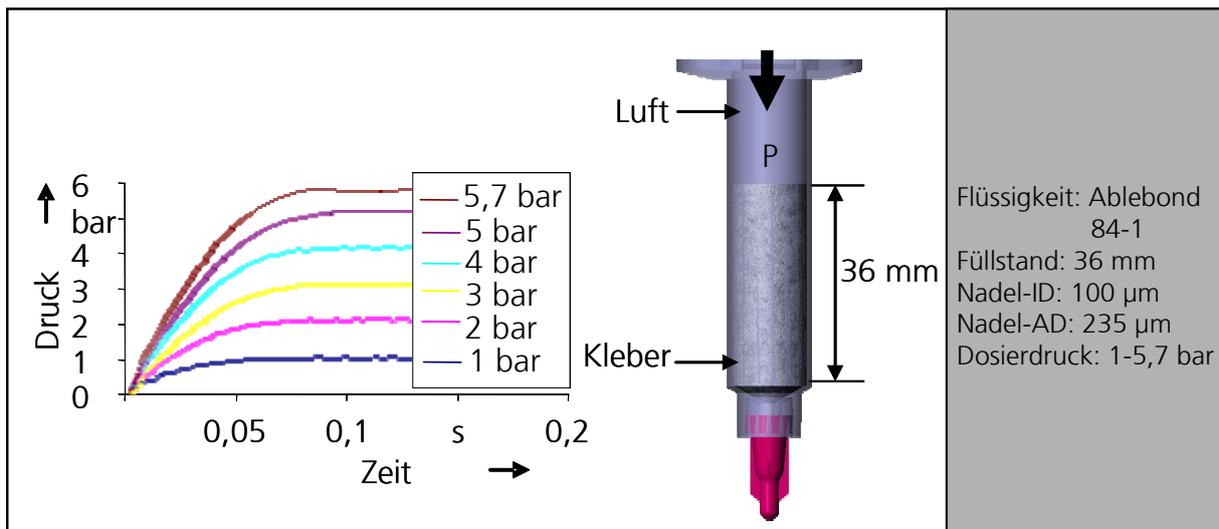


Abbildung 3-5: Der Druckaufbau in einem Zeit-Druck-Dosiersystem (36 mm-Füllstand)

Die oben durchgeführten Untersuchungen zeigen, wie stark der Druckaufbau in der Kartusche von dem Füllstand abhängig ist. In einem Dosiervorgang darf dieser Effekt nicht vernachlässigt werden.

Mit einem Kolbendosierer hingegen kann das Volumen V [m³] in Abhängigkeit des Kolbendurchmessers d_k [m] und dem vom Kolben zurückgelegten Weg x_k [m] berechnet werden /Hartwig 2000c, Vetter 1994/.

$$V = \frac{\pi}{4} d_k^2 x_k$$

Formel 3-1

Die oben dargestellte Formel ist gültig, solange die Komprimierung und Expandierung der Gasblasen in dem Leitkleber vernachlässigt werden.

3.1.2 Volumenbestimmung des liegenden und hängenden Meniskus

Es gibt immer noch keine Formel zur Ermittlung des Volumens des liegenden V_L [m³] bzw. des hängenden V_H [m³] Meniskus. Es gibt jedoch die Möglichkeit, das Volumen des liegenden Meniskus mit Hilfe eines Laser Scanning Microscopes und damit das Verhältnis von liegendem zu hängendem Meniskus zu bestimmen.

$$V = V_H + V_L \quad \text{Formel 3-2}$$

Das Verhältnis von liegendem zu hängendem Meniskus hängt von den folgenden Parametern ab:

- Oberflächenrauigkeit
- Oberflächenbeschichtung
- Abrisszeit
- Eintauchtiefe der Dosiernadel

3.2 Analyse der Kartuschausdehnung

Der Leitkleber wird in der Regel in handelsübliche Kartuschen gefüllt. Diese Kartuschen haben unterschiedliche Volumina (3, 5, 10 und 30 cm³) und den gleichen Luer-Lock Anschluss für die Dosiernadel.

Meistens wird der Kleber in 5 cm³-Kartuschen bei -40 °C geliefert. Deshalb werden in diesem Kapitel die 5 cm³-Kartuschen analysiert (Abbildung 3-6).

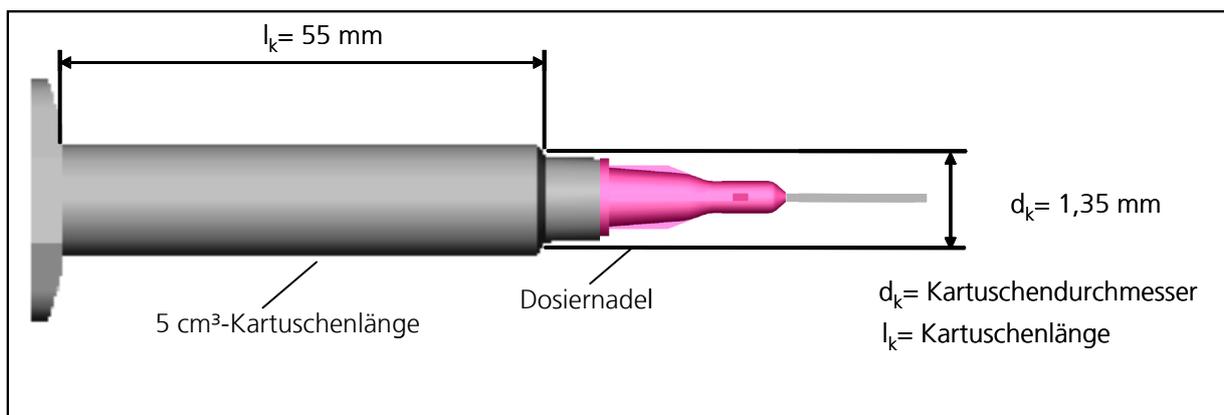


Abbildung 3-6: Die Abmessungen einer 5 cm³-Kartusche

Die technischen Daten dieser Kartuschen befinden sich im Anhang 1

3.2.1 Abschätzung der Kartuschenausdehnung

Beim Dosieren stellt die Ausdehnung der Kartusche ein großes Problem dar, wenn sie unter Druck steht. Dadurch verändert sich das Innenvolumen durch die Verformung der Kartusche und macht die Dosierung unpräzise. Die Ausdehnung der Kartusche ist ein reversibler Prozess. Nach dem der Druck im Inneren der Kartusche vollständig abgebaut ist, nimmt die Kartusche ihre ursprüngliche Form an.

Die Ausdehnungen sind minimal und können mit bloßem Auge nicht erfasst werden, dennoch sind sie mehr als ausreichend, um die Genauigkeit und Reproduzierbarkeit des Dosierens zu verfälschen. Außerdem führt das langsame Zusammenziehen der Kartusche nach einem Dosiervorgang in Folge des Druckabbaus zum Nachtropfen des Klebers. Das Nachtropfen kann durch den kontrollierten Druckabbau in der Kartusche verhindert werden. Dazu ist jedoch notwendig zu wissen, wie die Ausdehnung vom Druck abhängt.

Um diese Abhängigkeit experimentell herauszufinden, wurden mit Hilfe eines Druckreglers verschiedene Drücke (0 bis 5,8 bar) in der Kartusche eingestellt und mit einer mechanischen Messuhr wurde die Ausdehnung der Kartusche gemessen (Abbildung 3-7).

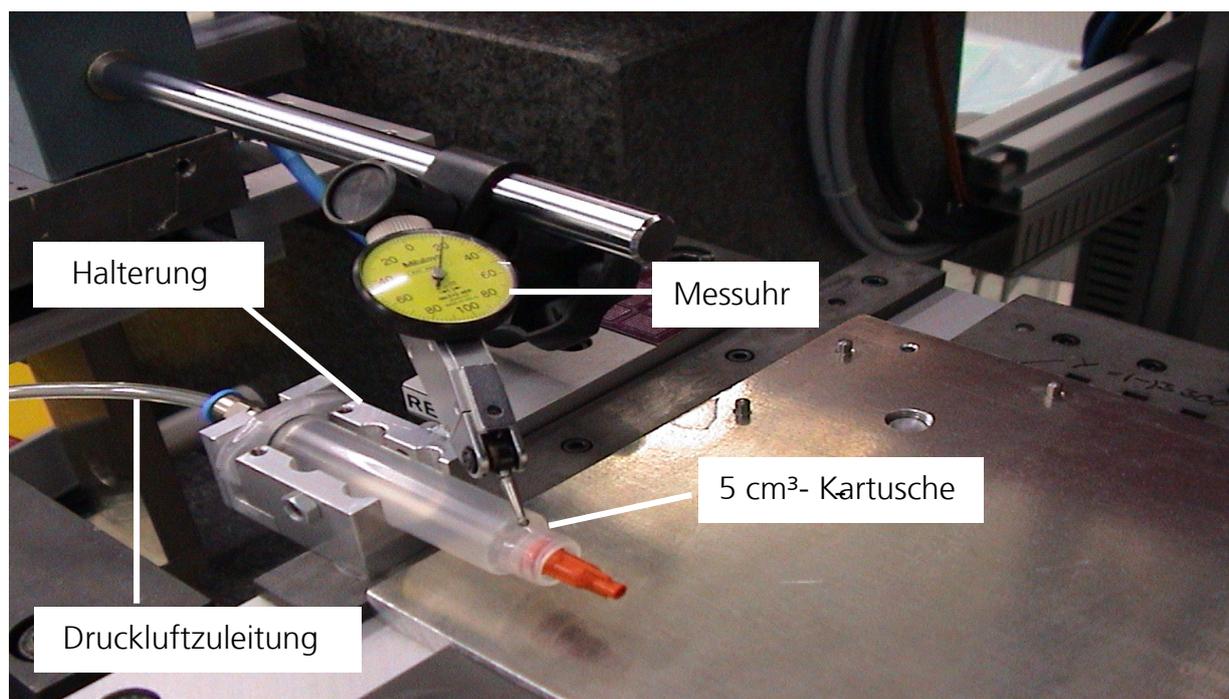


Abbildung 3-7: Versuchsaufbau zur Bestimmung der Kartuschenausdehnung

Die Messungen mit der Messuhr erwiesen sich als ungenau. Es konnte eine Ausdehnung der Kartusche in die Länge und Breite festgestellt, jedoch keine genauen Messwerte gemessen werden.

Die Kartusche wurde am oberen Ende mit einem Kolben verschlossen. An diesen Kolben ist eine Glaskapillare mit Skalierung dicht angeklebt, an deren oberem Ende eine Druckluftzuleitung befestigt ist. Um die Volumenänderung der Kartusche ablesen zu können und um Messfehler zu verhindern, werden die Kartusche und die Kapillare durch die Nadel blasenfrei mit destilliertem Wasser bis an eine bestimmte Markierung der Kapillare gefüllt (Abbildung 3-8)

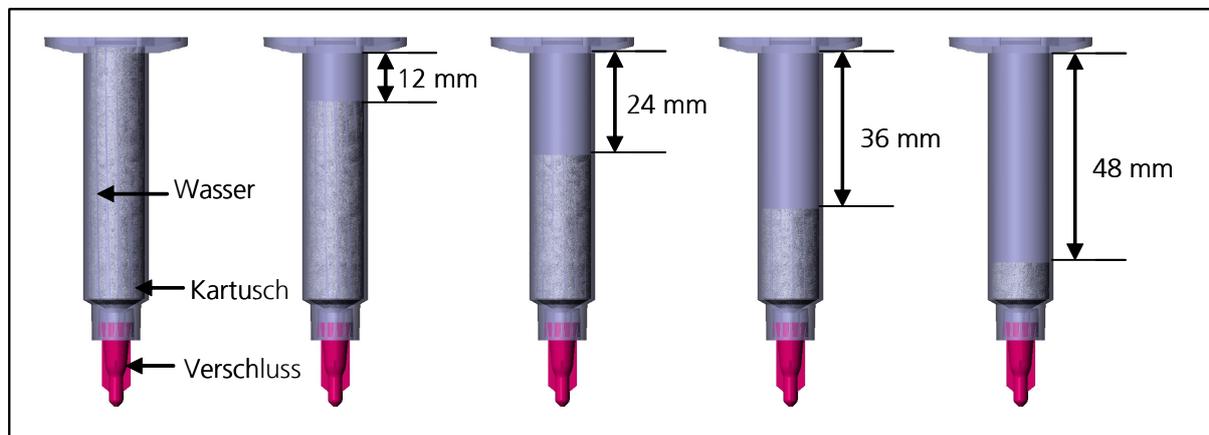


Abbildung 3-8: Darstellung der Kolbenposition

Die Kartusche wurde mittels Druckluft unter Druck gesetzt. Von 0 bis 5,8 bar wird in Schritten zu 0,5 bar der Druck erhöht. Zu jedem anliegenden Druck wird die Menge Wasser dokumentiert, die sich aus der Kapillare in die Kartusche bewegt. Nachdem eine Messreihe abgeschlossen ist, wird der Kolben auf eine andere Höhe in der Kartusche bewegt und dort mit Hilfe der Abstandsringe fixiert. Danach wird nächste Messreihe aufgenommen.

Die Messungen wurden wiederholt, bis der Kolben den Boden der Kartusche erreichte. Der Kolben wurde bei jeder Messreihe um 12 mm verschoben.

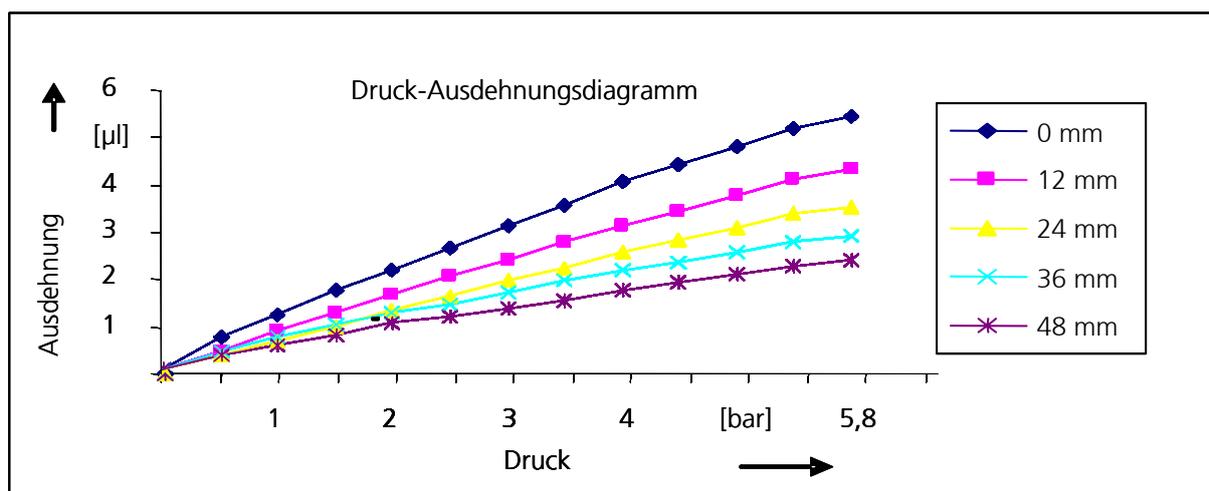


Abbildung 3-9: Darstellung Ausdehnung in Abhängigkeit von Kolbenposition und Druck

Wie dem Schaubild entnommen werden kann, dehnt sich die Kartusche nahezu linear aus. Die gemessene Volumenausdehnung sind mit den zu erzielenden Dosierwerten verhältnismäßig zu groß.

3.2.2 Berechnung der Kartuschenausdehnung

Betrachtet wird eine Kartusche wie in Abbildung 3-10 dargestellt, mit der Länge l unter reiner Innendruckbeanspruchung.

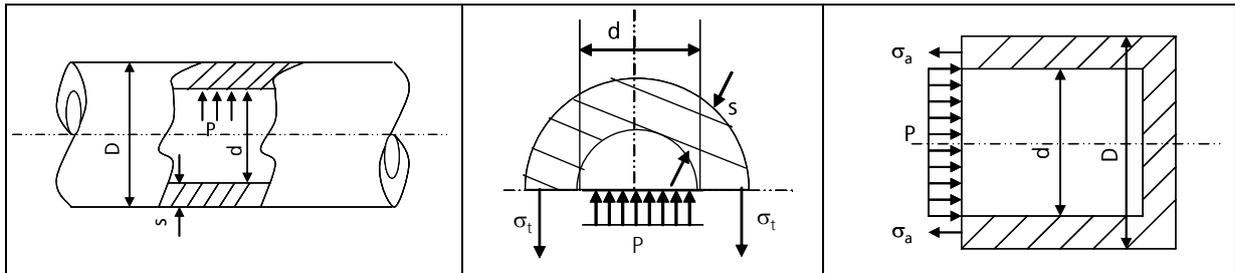


Abbildung 3-10: Spannungsverteilung entlang der Kartusche

Das Kräftegleichgewicht in tangentialer Richtung liefert:

$$\sigma_t = \frac{P_i \cdot d}{2s} \quad \text{Formel 3-3}$$

Die axiale Spannung berechnet sich aus dem Kräftegleichgewicht in Axialrichtung:

$$\sigma_a = \frac{P_i \cdot d}{4s} \quad \text{Formel 3-4}$$

Die Radialspannung am Innen- bzw. Außenrand (Randbedingung) ergibt folgende Gleichgewichtsbetrachtung:

$$\sigma_r = \frac{P_i \cdot d}{2s} \quad \text{Formel 3-5}$$

3.2.3 Anforderung an die Kartuschenausdehnung

Um einen reproduzierbaren Auftrag gewährleisten zu können, müssen die Defizite, die durch die Ausdehnungen entstehen, beseitigt werden. Da das Material der Kartuschen nicht immer gleich ist, muss eine Lösung gefunden werden, die für alle Kartuschen gleichen Volumens passt. Diese Lösung soll

- leicht realisierbar
- wirtschaftlich
- einfach

sein.

3.3 Analyse der Dichtheit

Die kleinste Menge des Klebers, die transportiert wird, muss von der Dosiernadel austreten. Deshalb muss das Dosiersystem an den kritischen Stellen dicht sein. Strömungen von Leitkleber an undichten Stellen, infolge der Ausdehnung der Kartusche, sorgen für die Verfälschung der Dosierergebnisse und einen späteren großen Reinigungsaufwand. Abbildung 3-11 zeigt beispielsweise eine undichte Stelle beim Dosieren mit einem Zeit-Druck-Dosiersystem. Diese Menge an Leitkleber, die an der Kartuscheninnenwand blieb, hätte in einem Dosiervorgang aufgetragen werden müssen.

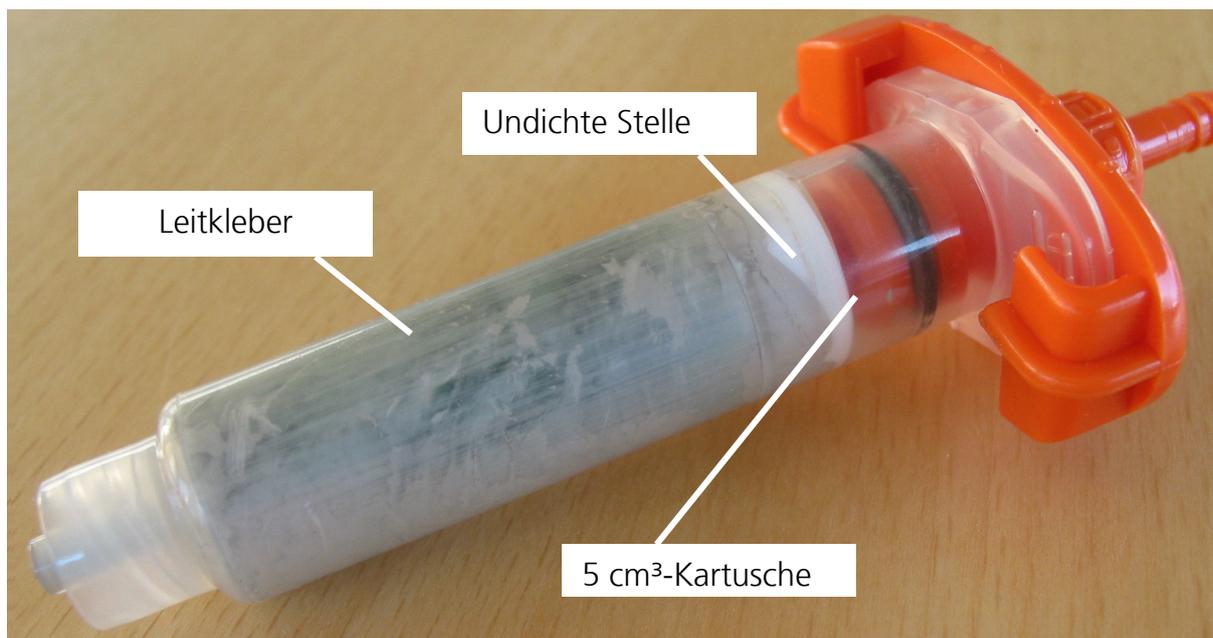


Abbildung 3-11: Undichte Stelle in einem Zeit-Druck-Dosierer

3.4 Analyse des Nachtropfens

Das Nachtropfen beim Dosieren ist ein unerwünschter Effekt, der beseitigt werden muss. Hauptgrund für das Nachtropfen ist der Abbau des Restdrucks in der Kartusche nach einem Dosiervorgang und während der Verweilzeit. Der Druckabbau dauert je nach Dosiersystem, Dosierdruck, Nadelinnendurchmesser und Viskosität zwischen 0,07 s bei einem Zeit-Druck-Dosierer und 200 s bei einem Kolbendosierer (wenn der Kolben nach dem Dosiervorgang stehen bleibt). In den unten dargestellten Abbildungen ist der Druckabbau in Abhängigkeit von der Zeit bei den oben erwähnten Dosiersystemen zu sehen.

In Abbildung 3-12 ist der Druckabbau in einem Zeit-Druck-Dosierer über die Zeit dargestellt. Die Zeit, um den Druck von 5,7 bar auf 0 bar zu bringen, beträgt mit diesem Dosierer 2,5 s. Dies entspricht dem 3 Fachen Wert des Druckaufbaus unter den gleichen Bedingungen.

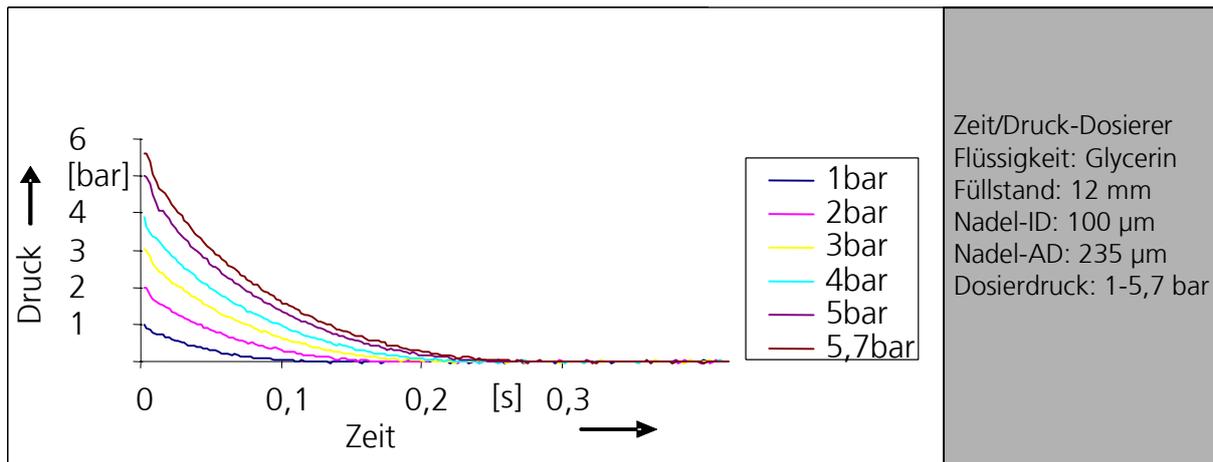


Abbildung 3-12: Druckabbau in einem Zeit-Druck-System

Abbildung 3-13 zeigt den Druckabbau in einem Kolbendosierer. In diesem Versuch wurde Druck in der Kartusche solange aufgebaut bis in der Kartusche ein Druck von 6 bar herrschte. Danach stand der Kolben still. Der Druckabbau in diesem System ist unter anderem von der Ausdehnung der Kartusche abhängig.

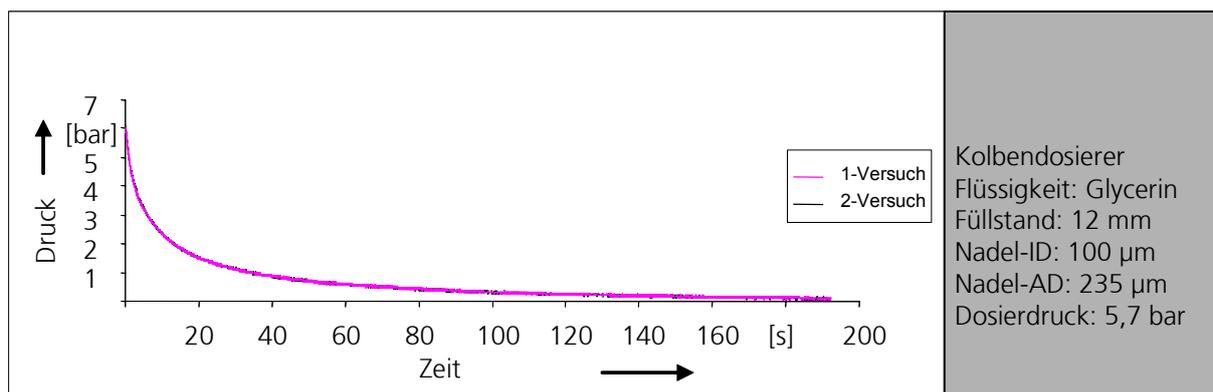


Abbildung 3-13: Der Druckabbau in einem Kolbendosierer

Die Analyse dieses Verhaltens zeigt, dass der Druckabbau in der Kartusche während eines Dosiervorgangs berücksichtigt werden muss.

3.5 Analyse der Lufteinschlüsse

Wenn sich in der Kartusche Luft befindet, dann wirkt auf die Begrenzungsfläche ein Druck. Die Teilchen dieser Luft fliegen mit unterschiedlichen, durch die Temperatur vorgegebenen Geschwindigkeiten in alle Richtungen auseinander, bis sie an der Grenzoberfläche reflektiert werden. Die dabei durch den Impulsübertrag auf die Grenzoberfläche ausgeübte Kraft erzeugt diesen Druck. Im idealen Gas sind Druck und Volumen umgekehrt proportional zueinander. Dies ist die Aussage des Boyle-Mariotteschen Gesetzes:

$$VP = V_o P_o$$

Formel 3-6

Die Komprimierung ist Arbeit des Dosiersystems, die sonst als Nettoleistung zur Verfügung stehen würde, wenn diese Luftblasen nicht vorhanden wären. Die Priorität soll darin liegen, den Anteil dieser verlorenen Arbeit zu verringern. Dies kann dadurch verwirklicht werden, indem man die Luft im System durch bestimmte Maßnahmen nicht zugelassen bzw. beseitigt wird.

Des Weiteren hängt die Form des kontinuierlichen oder diskontinuierlichen dosierten Volumens von vielen anderen Parametern ab. Deshalb ist es sinnvoll alle Parameter, die eine Rolle beim Punkt und Linienauftrag spielen, zusammenzufassen und zu analysieren.

3.6 Analyse des Dosierprozesses

3.6.1 Einflussparameter des Punkt- und Linienauftrags

Die Erfahrungen beim Dosieren von Leitlebern haben gezeigt, dass ein Dosierprozess nicht nur von der richtigen Wahl des Auftragsverfahrens sondern auch in starkem Maße von der richtigen Einstellung der vielen Parameter für die jeweilige Aufgabenstellung abhängt. Die prozessbestimmenden Parameter können in drei Gruppen eingeteilt werden (siehe Abbildung 3-14).

Die in der Parametergruppe A zusammengefassten Einflussgrößen sind die Parameter, die durch den Anwender nicht beeinflusst werden können. Die Viskosität des Leitlebers ist ein Beispiel für so einen Parameter. Der Leitleber wird in der Regel vom Hersteller mit einem Datenblatt geliefert, in dem die Eigenschaften des Leitlebers stehen, wie die Viskosität, Tropfzeit, Leitfähigkeit etc.. Ein Exemplar solcher Datenblätter sind als Anhang 2 und Anhang 3 beigefügt.

Die in der Parametergruppe B zusammengefassten Einflussgrößen können vor dem Dosierprozess festgelegt werden und im laufenden Betrieb als nicht mehr veränderlich angesehen werden. Hier handelt es sich um Parameter wie die Ausdehnung der Kartusche, die der Anwender vor dem Dosierprozess minimieren kann.

In der Parametergruppe C sind die Einflussparameter zusammengefasst, die während eines Dosierprozesses verändert werden können. Gemeint sind hier Parameter wie die Verfahrgeschwindigkeit des Roboters, die jeder Zeit während eines Dosierprozesses verändert werden können.

Bei der Definition der Anforderungen an ein Gesamtsystem sind somit vor allem die in Parametergruppe B und C zusammengefassten technologischen Parameter zu berücksichtigen.

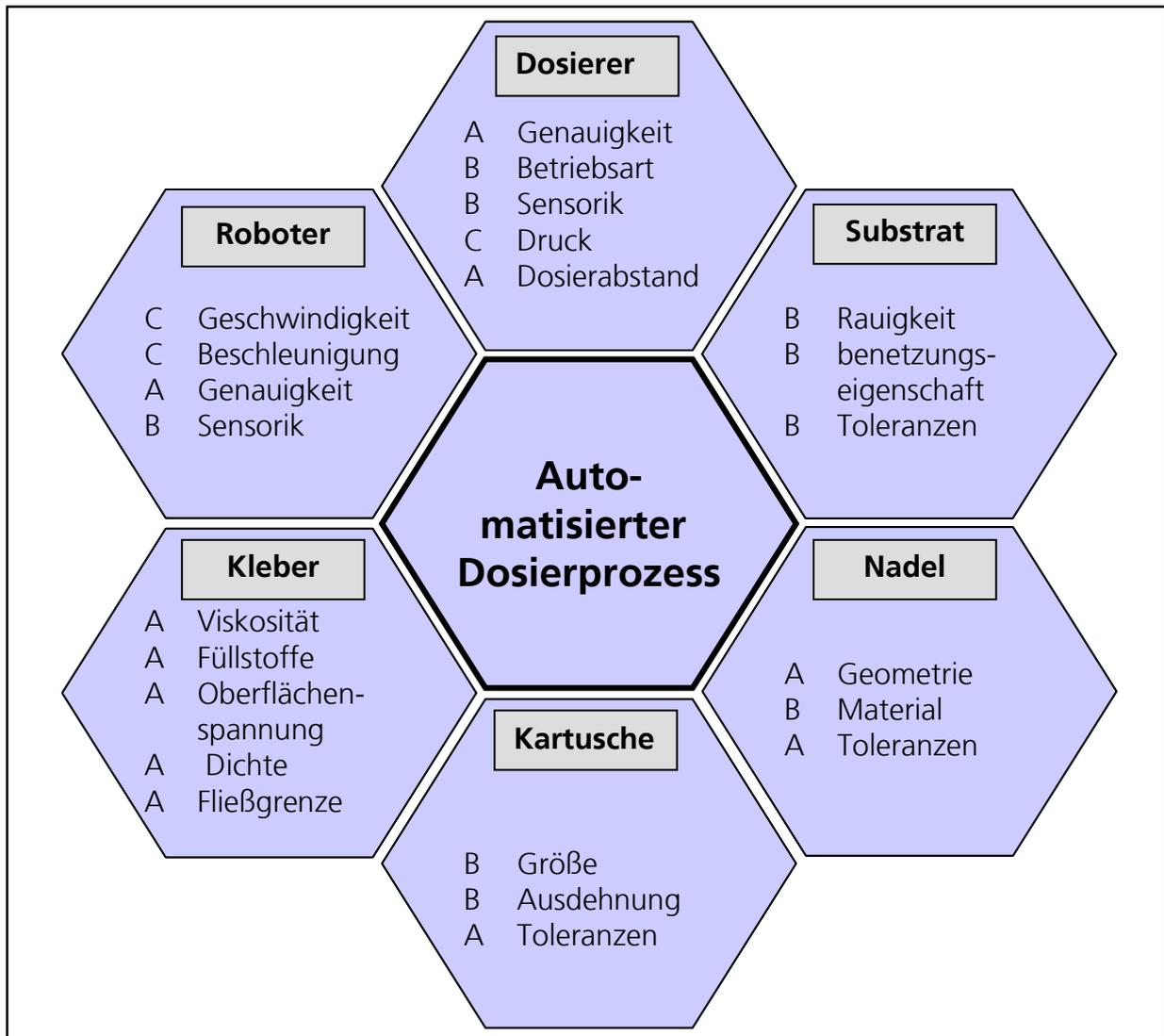


Abbildung 3-14: Einflussparameter auf den Punkt- und Linienauftrag

3.6.2 Teilprozesse des Dosierprozesses

Ein Dosierprozess setzt sich aus mehreren Einzelfunktionen zusammen (Abbildung 3-15):

- **Transportieren**
Transportieren und Zuführen von Energie (z. B. Druckenergie).
- **Messen**
Kontrollieren, ob die Fördermenge bzw. der Förderstrom der vorgegebenen Rezeptur entspricht.
- **Regeln**
Gezieltes Verändern der Fördermenge bzw. des Förderstroms, falls der Messwert (Ist-Wert) vom angegebenen Soll-Wert abweicht.

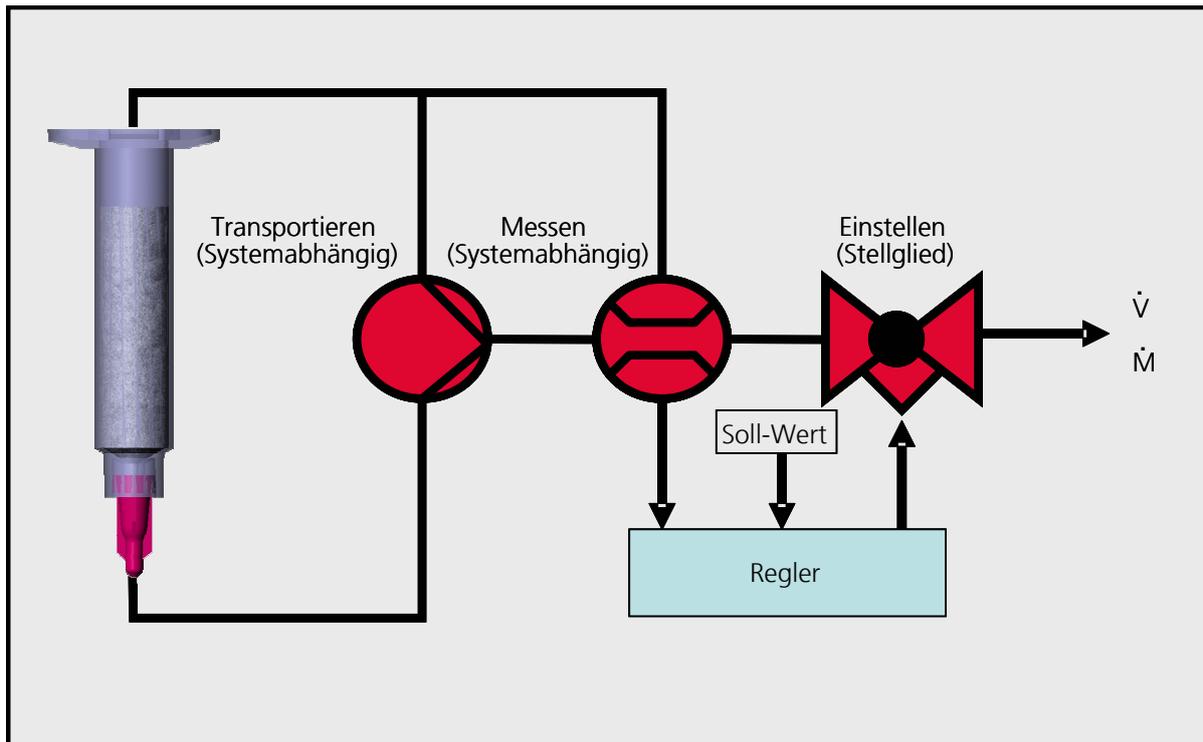


Abbildung 3-15: Einzelfunktionen eines Dosierprozesses

Jedes geregelte Mikrodosiersystem muss mindestens diese drei Einzelfunktionen erfüllen und miteinander verknüpfen. Welches Mikrodosiersystem aus der Vielzahl der auf dem Markt angebotenen Fabrikate im Einzelfall zu wählen ist, hängt von der Art des zu dosierenden Stoffs (gasförmig, flüssig, pulverförmig oder körnig), von den verfahrensspezifischen Gegebenheiten, den Erfordernissen (Druck, Temperatur, notwendige Dispensgenauigkeit etc.) und vom Prozessablauf (kontinuierlich oder diskontinuierlich) ab.

3.7 Ableitung von Entwicklungsschwerpunkten

Aus der Analyse der Ausgangssituation werden Anforderungen an das zu entwickelnde Verfahren zum präzisen Punkt- und Linienauftrag von hochviskosem Leitkleber mit einem geregelten Mikrodosiersystem abgeleitet. Da sich das Verfahren auf ein Hilfsmittel (geregeltes Mikrodosiersystem) und eine Methode stützt, werden im Folgenden die notwendigen Anforderungen an das zu entwickelnde Hilfsmittel (geregeltes Mikrodosiersystem) und die zu entwickelnde Methode formuliert.

3.7.1 Anforderungen an das Mikrodosiersystem

Das Dosiersystem bildet die gerätetechnische Entwicklungsbasis für ein industriell umsetzbares Mikrodosierverfahren zum präzisen Punkt- und Linienauftrag von hochviskosem Leitkleber. Das Dosiersystem muss hierzu zum großen Teil aus verfügbarer Gerätetechnik und am Markt erhältlichen Standardkomponenten erstellt

werden. Dies trägt im Hinblick auf die industrielle Umsetzung bereits im Vorfeld erheblich zur Kostenersparnis bei. Gleichzeitig ist das Dosiersystem zur Durchführung von Untersuchungen zur Bewertung der praktischen Anwendbarkeit des Dosierverfahrens erforderlich.

Aus der Analyse ergeben sich die folgenden Beurteilungskriterien für das zu entwickelnde Mikrodosiersystem:

Transporteinheit

Die Transporteinheit ist die wichtigste Funktionsgruppe des Dosiersystems. Die Anforderungen, die die Transporteinheit erfüllen muss, sind:

- **Präzises Transportieren von Leitkleber**

Der präzise Transport ermöglicht eine genaue und reproduzierbare Dosierung. Da es sich um sehr kleine Mengen handelt (<10 nl), muss dieser Transport in präzisen kleinen Schritten erfolgen.

Um Dosieren zu können, müssen je nach Dosiersystem einige Parameter vor einem Dosierprozess eingestellt werden. Beim Dosieren mit einem Zeit-Druck-Dosiersystem müssen z. B. die Zeit und der Druck eingegeben werden. Aber um präzise dosieren zu können, dürfen Parameter, die sich während des Dosierens verändern, wie die Kartuschenausdehnung und das Nachtropfen, nicht außer Acht gelassen werden.

- **Punkt- und Liniendosierung**

Die Punktdosierung ist die Folge eines diskontinuierlichen Transports, die mit einem Motor bzw. Druckluftimpuls etc. realisiert werden kann. Die Liniendosierung hingegen ist ein reiner kontinuierlicher Transport und kann auch mit dem gleichen Prinzip, wie bei der Punktdosierung realisiert werden. Das zu entwickelnde Dosiersystem muss in der Lage sein, sowohl Punkte als auch Linien zu dosieren.

- **Lufteinschlussfreiheit**

Beim Dosieren dürfen weder im Kleber noch im System Luftblasen vorhanden sein. Diese Luftblasen führen, wie schon vorher in der Analyse erwähnt wurde, auf Grund der Komprimierung der vorhandenen Luft zur Verfälschung der erwarteten Dosierergebnisse.

- **Hohe Dichtheit zur Vermeidung seitlicher Strömung von Leitkleber**

Seitliche Strömungen des Klebers zwischen dem Kolben und der Kartuscheninnenwand müssen verhindert werden.

- **Modulare Bauweise**

Die Transporteinheit muss an die unterschiedlichen Standardkartuschen angepasst sein. Die mit Leitkleber gefüllten Kartuschen haben unterschiedliche Durchmesser und Längen. Das neue Dosiersystem soll in der Lage sein, Leitkleber von Kartuschen unterschiedlicher Größe zu dosieren.

- **Verschleißbarer Reibungsmechanismus**

Die mechanische Reibung muss in diesem System sehr klein sein. Die Reibung in diesem Fall sorgt für eine Erhöhung der Transportleistung und später für einen durch den Verschleiß verursachten Spielraum zwischen den einzelnen betroffenen Transportkomponenten, wie z. B. Wand und Dichtung oder Gewinde und Gewinde.

- **Kompakte Bauweise**

Das zu entwickelnde Dosiersystem darf von den geometrischen Abmessungen nicht größer sein als die herkömmlichen Dosiersysteme. Es soll aus leichtem Material wie Aluminium hergestellt werden.

Messeinheit

Die wichtigsten Parameter, die vor bzw. während eines Dosierprozesses gemessen werden sollen, sind:

- der Druck in der Kartusche bzw. vor der Dosiernadel
- der Abstand zwischen der Dosiernadel und dem Substrat
- der Füllstand der Kartusche
- die Verfahrensgeschwindigkeit des Roboters
- die mittlere Austrittsgeschwindigkeit des Klebers
- die Geometrien der aufgetragenen Punkte und Linien.

Alle diese Parameter sind für die Regelung des Dosiersystems wichtig. Für die Messung solcher Parameter sind die folgenden Anforderungen zu erfüllen:

- **Hohe Genauigkeit**

Die erfassten Werte müssen möglichst genau sein, um eine richtige Aussage über die Reproduzierbarkeit, Genauigkeit, Präzision und Fehlerprozent treffen zu können. Die für diese Aufgabe vorhandenen Messsensoren haben die folgenden Eigenschaften:

	Druck	Abstand	Füllstand	w_R	w_{KI}
Genauigkeit	+/- 3 %	+/- 3 %	+/- 10 %	+/- 5 %	+/- 5 %

Abbildung 3-16: Darstellung der Genauigkeit der einzelnen Messeinheiten

- **Kompakte Bauweise**

Die Messeinheiten müssen von den Abmessungen her geeignet sein, um sie in das Dosiersystem integrieren zu können.

- **Messung bei verschiedenen Werkstückoberflächen (Schaltungsträgern)**
Zur Messung des Abstands zwischen der Dosiernadel und dem Substrat muss der Sensor in der Lage sein, diesen Abstand unabhängig von den Oberflächenmaterial des Substrats möglichst genau zu messen.
- **Schneller Messlauf**
Die Messungen müssen möglichst schnell stattfinden. Die Auflösung der Messung hängt von der Änderung des zu messenden Werts ab. Für rasche Änderungen, wie bei dem Druckaufbau in der Kartusche mit einem Zeit-Druck-Dosiersystem sind beispielsweise 1000 Werte erforderlich, um die Änderungen des Drucks in der Kartusche zu erfassen.
- **Speicherung der gemessenen Werte**
Nach einem Messvorgang entstehen enorme Mengen von Messwerten (bis 60000 Messwerte pro Parameter). Diese Werte müssen für eine spätere grafische Darstellung in einer Excel-Tabelle gespeichert werden. Es ist auch möglich, diese Werte in einem Editor zu speichern, um sie später in ein anderes Programm zu transportieren.
- **Materialunabhängig**
Für die Messung der Geometrien der aufgetragenen Punkte bzw. Linien soll die Überwachungseinheit materialunabhängig sein. Das Gleiche gilt auch für die Messung des Drucks in der Kartusche. Der Druckmesser soll mediengetrennt sein.
- **Wirtschaftlichkeit**
Die Messsensoren müssen auf dem Markt erhältlich und preiswert sein, damit am Ende kein kostspieliges Dosiersystem entsteht.

Regeleinheit

Die Regelung muss extern stattfinden. In einer „Regelungsbox“ werden die entsprechenden Regelkreise und die erforderliche Stromversorgung integriert. Diese Regelungseinheit muss ebenso bestimmte Anforderungen erfüllen:

- **Hohe Genauigkeit**
Die Regelung muss möglichst genau sein.
- **Erweiterbar**
Hier muss berücksichtigt werden, dass die Regelung erweitert werden kann, wenn noch weitere Komponenten hinzukommen.
- **Kompakt**
Die Regeleinheit muss sehr klein und leicht sein.

Im Rahmen der Entwicklung des Mikrodosiersystems muss dieses in Experimenten hinsichtlich seiner wesentlichen Grundfunktionalitäten überprüft werden. Hier muss der Druckabfall durch die Ausdehnung der Kartusche ermittelt werden. Die Genauigkeit sowie die Reproduzierbarkeit der dosierten Mengen muss ebenso überprüft werden. Mit Hilfe der Untersuchungen der erreichten Reproduzierbarkeit mit verschiedenen Klebern

und verschiedenen Nadeln kann eine Bewertung des Mikrodosiersystems erfolgen. Nur so ist zu erwarten, dass eine zuverlässige und reproduzierbare Dosierung erfolgen kann.

3.7.2 Anforderungen an die Mikrodosiermethode

Zum Dosieren von hochviskosem Leitkleber ist eine Mikrodosiermethode erforderlich, die es erlaubt, präzise Punkte und Linien entsprechend den erarbeiteten Anforderungen mit Hilfe des Mikrodosiersystems aufzutragen. Derzeit existieren weder Standards noch Richtlinien, die den Dosierabstand oder die Verfahrensgeschwindigkeit des Roboters sowie den Volumenstrom des Klebers bestimmen. Auch die Mikrodosiermethode muss im Hinblick auf eine industrielle Umsetzung des Mikrodosierverfahrens mit am Markt erhältlichen Standardkomponenten umsetzbar sein.

Nachfolgende Anforderungskriterien für die Mikrodosiermethode gehen aus der Analyse hervor:

- **Ermittlung des optimalen Dosierabstands**

Mit dem optimalen Dosierabstand ist der Abstand gemeint:

- bei dem sich beim Hochfahren der Dosiernadel ein Katenoid bildet, das gerade noch symmetrisch ist
- bei dem sich nach dem Auftrag kein hängender Meniskus bildet.

In diesem Fall ist die Höhe des Meniskus von dem Substrat der optimale Dosierabstand (Abbildung 3-17).

Der optimale Dosierabstand hängt von vielen Parametern ab, wie die Viskosität des Klebers, der Dosierdruck, die Nadelgeometrien, die Verfahrensgeschwindigkeit des Roboters. Für jede Kombination der oben genannten Parameter gibt es einen optimalen Dosierabstand, mit dem Punkte bzw. Linien aufgetragen werden können.

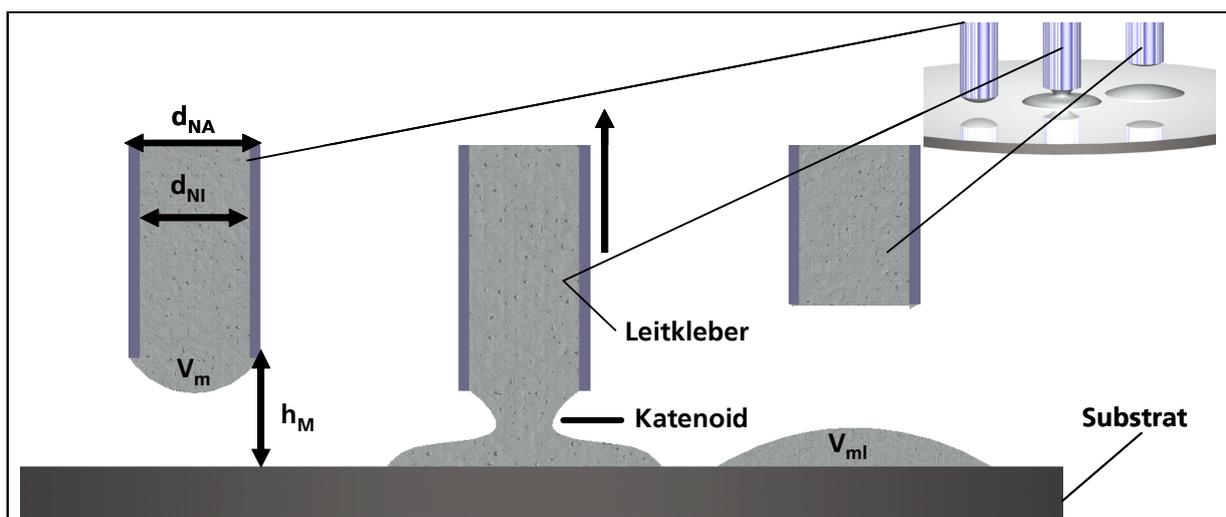


Abbildung 3-17: Ermittlung des optimalen Dosierabstands

- **Ermittlung des optimalen Verhältnisses der Verfahrensgeschwindigkeit des Roboters zu der mittleren Austrittsgeschwindigkeit des Klebers**

Nach der Bestimmung des Dosierabstands zum Punkt- und Linienauftrag muss das optimale Verhältnis von der Verfahrensgeschwindigkeit des Roboters zu der mittleren Strömungsgeschwindigkeit des Klebers bestimmt werden.

In diesem Fall müssen Versuche durchgeführt werden, um die Verhältnisse zu finden, bei denen

- Raupenbildung bzw. inhomogener Linienauftrag
- unterbrochener Linienauftrag

stattfindet (Abbildung 2-7). Der Verhältnisbereich, in dem homogene Linien aufgetragen werden können, ist der optimale Bereich.

- **Ermittlung und Regelung des optimalen Dosierdrucks**

Der Dosierdruck ist einer der Parameter, der während des Dosierprozesses kontinuierlich streng überwacht und geregelt werden muss. Der Drucksensor kann einen großen Beitrag zur Überwachung eines Dosierprozesses liefern. In einem Dosierprozess kann es dazu kommen, dass die Dosiernadel verstopft wird. In diesem Fall steigt der Druck in dem System bis zu einem bestimmten Wert, der nicht zu erwarten ist. Dieser Wert muss von der Regelung erkannt werden und den Dosierprozess stoppen, um die Verstopfung zu beseitigen.

3.7.3 Randbedingungen für die Verifizierung der Mikrodosiermethode

Die Mikrodosiermethode muss mit Hilfe des Mikrodosiersystems entsprechend der erarbeiteten Anforderungskriterien anhand von Experimenten verifiziert werden, so dass eine Aussage über die Praxistauglichkeit des Mikrodosierverfahrens gewonnen werden kann. Hierbei stellt die Auswahl geeigneter Leitkleber, Substrate und Dosiernadeln eine Grundvoraussetzung für das Erzielen praxisrelevanter Ergebnisse dar. Diese muss sich an den in der Analyse erarbeiteten Erkenntnissen orientieren.

3.7.4 Anforderungen an das zu entwickelnde Mikrodosierverfahren

Nachfolgend sind die sich aus der Analyse ergebenden Anforderungen an das zu entwickelnde Mikrodosierverfahren tabellarisch dargestellt und die daraus für das Mikrodosiersystem und die Mikrodosiermethode abgeleiteten Entwicklungsschwerpunkte zusammengefasst. Die Funktionsüberprüfung des Mikrodosiersystems sowie die Verifizierung der Mikrodosiermethode hinsichtlich der jeweiligen erarbeiteten Anforderungen erfolgt in experimentellen Untersuchungen.

Teilsysteme	Anforderungen	Entwicklungsschwerpunkte	Realisierung
Transporteinheit	Präziser Transport	Mikrodosiersystem	Präzises Mikrodosiersystem Entwicklung eines Kolbens Integration eines Motors
	Punktdosierung		Diskontinuierlicher Auftrag
	Liniendosierung		Kontinuierlicher Auftrag
	Keine Lufteingänge		Entwicklung eines Ventils zur Entlüftung der Kartusche
	Dichtheit		Auswahl geeigneter Dichtung
	Kein Nachtropfen		Schneller Aufbau und Abbau des Drucks
	Minimale Reibung		Minimierung der Reibungskontakte
	Minimale Ausdehnung		Entwicklung einer Hülse
Messeinheit	Dosiergeometrien		Integration eines Visualisierungsmoduls
	Dosierabstand		Integration eines Abstandssensors
	Druck		Integration eines Drucksensors
	Motordrehungen		Integration eines Encoders
	Durchfluss		Integration eines Durchflusssensors
	Präzision		Auswahl geeigneter Sensoren

Teilsysteme	Anforderungen	Entwicklungsschwerpunkte	Realisierung
Regelung	Verfahrensgeschwindigkeit	Entwicklung einer geeigneten Mikrodosiermethode	Durchführung von Experimenten mit verschiedenen Leitklebern und verschiedenen Dosiernadeln mit unterschiedlichen Geometrien sowie Durchführung von Experimenten mit verschiedenen Substraten
	Strömungsgeschwindigkeit des Klebers		Durchführung von Experimenten mit verschiedenen Leitklebern und verschiedenen Dosiernadeln mit unterschiedlichen Geometrien
	Druck		Durchführung von Experimenten mit verschiedenen Leitklebern und verschiedenen Dosiernadeln mit unterschiedlichen Geometrien
	Abstand		Durchführung von Experimenten mit verschiedenen Dosiernadeln
	Volumen		Entwicklung von Messkurven

Abbildung 3-18: Anforderungen an das zu entwickelnde Verfahren zum Punkt- und Linienauftrag von hochviskosem Leitkleber mit einem geregelten Mikrodosiersystem und daraus an Mikrodosiersystem und -methode abgeleitete Entwicklungsschwerpunkte und deren Realisierung

Im Hinblick auf die Automatisierbarkeit ist es wünschenswert, dass die Integration des Mikrodosiersystems in bestehende Fertigungsabläufe möglich ist. Die eingesetzte Gerätetechnik muss eine industrielle Umsetzung besonders in Dosierbereichen mit geringem Platzbedarf ermöglichen.

4 Stand der Technik

4.1 Kontaktierung und Verbindung

Für die Fertigung der elektronischen Produkte ist die Verwendung von modernen Bauelementen notwendig, um die Forderung des Verbrauchers nach steigender Produktvielfalt, höherer Qualität, Wirtschaftlichkeit und Umweltverträglichkeit gerecht zu werden /Orthmann 1995a, Othman 2004a/. Die moderne Elektronikproduktion ist gekennzeichnet durch eine stetige Miniaturisierung bei gleichzeitig ansteigender Funktionalität und Qualität der Bauelemente. Die derzeit wichtigsten Baugruppen der SMD-Bauteilen mit ihren typischen Formen, Anschlussarten, -eigenschaften und Materialien sind nachfolgend in Abbildung 4-1 dargestellt.

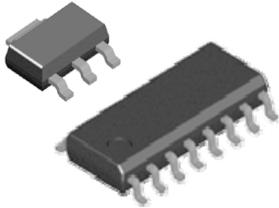
SMD-Bauformen			
Quader- und zylinderförmig	Rechteckig mit Anschlussbeine (2-seitig)	Quadratisch mit Anschlussbeine (4-seitig)	Quadratisch mit Anschlusshöckern (flächenförmig)
			
Chip/Melf: 1206, 0804, ..., 0201	SOT, SO-IC, SOJ, SSOP, TSOP	QFP, PLCC, SQFP	BGA, μ BGA, FlipChip
Anschlussflächenmaterial			
Sn, SnPb, AgPd, Ag, Ag, Pt, Au	SnPb, Pd	SnPb, Pd	SnPb, Pd (BGA) Au, SnPb (Flip-Chip)

Abbildung 4-1: Einteilung und Merkmale des SMD-Bauelementenspektrums

Abbildung 4-2 zeigt die zurzeit verbreiteten quaderförmigen SMD-Bauformen mit den zugehörigen Abmessungen /Beine 1996, Burns, 2001, Luchs 1998/.

Code	L	W	T(max)	BW
0201	0,60±0,03	0,30±0,03	0,33	0,15±0,05
0402	1,00±0,05	0,50±0,05	0,55	0,25±0,10
0603	1,60±0,10	0,80±0,10	0,95	0,35±0,15
0805	2,00±0,20	1,25±0,20	1,40	0,45±0,25
1206	3,20±0,30	1,60±0,20	1,80	0,50±0,20
1210	3,20±0,30	2,50±0,20	2,70	0,60±0,30
1808	4,50±0,40	2,00±0,30	2,20	0,80±0,40
1812	4,50±0,40	3,20±0,30	3,30	0,80±0,40
2220	5,70±0,40	5,00±0,40	3,30	1,00±0,50

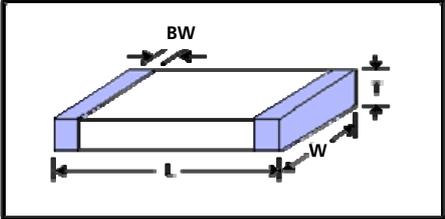


Abbildung 4-2: Abmessungen der quader- und zylinderförmigen SMD-Baureihen

Diese Bauelemente werden auf unterschiedliche Schaltungsträger geklebt bzw. miteinander verbunden und bilden zusammen mit vielen anderen Bauelementen die elektronische Einheit (Abbildung 4-3) /Dilthey 2001, Hof 1984/.

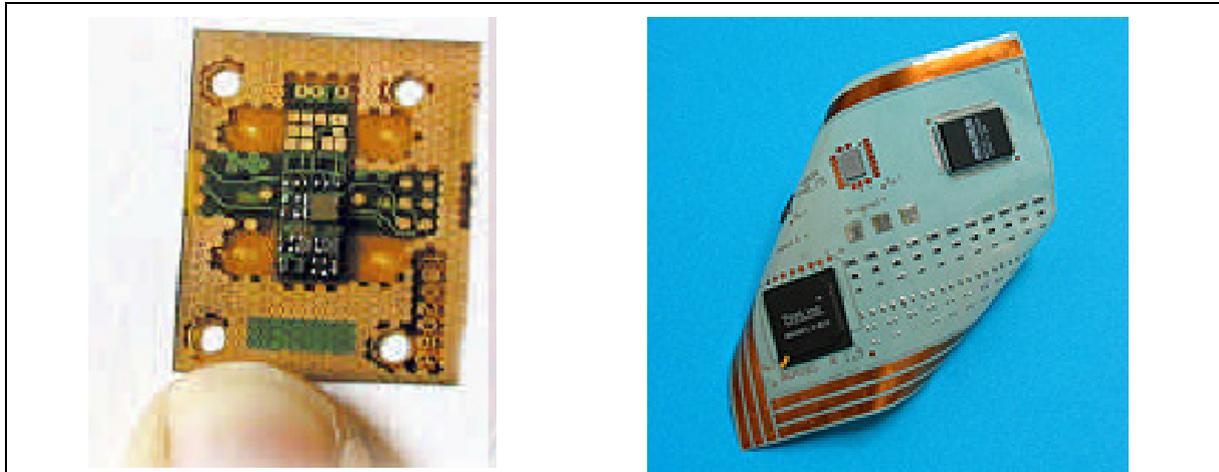


Abbildung 4-3: Bestückte Schaltungsträger

Eine besondere Herausforderung besteht unter anderem darin, die oben erwähnten SMD-Bauelemente auf diese kleinen Schaltungsträger zu kleben und die elektrische Verbindung zwischen diesen Bauelementen und beliebig geformten und räumlich ausgedehnten Trägern mit aus Leitkleber hergestellten Leiterbahnen herzustellen. Um diese Aufgabe zu erfüllen, werden Punkte mit einem Durchmesser kleiner als 150 μm und Linien mit einer Linienbreite kleiner als 100 μm angestrebt. Mit den zurzeit vorhandenen einfachen Dosiersystemen (Zeit-Druck-Dosiersystem, Kolbendosierer, Schraubendosierer und Peristaltik) ist ein reproduzierbarer Auftrag nicht möglich, da die

meisten Dosiersysteme, wie schon in der Analyse gezeigt wurde, erhebliche Defizite in dem Punkt- und Linienauftrag aufzeigen /Gaugel 2003, Peek 2001, VDE/VDI 1998/.

4.2 Auftragsverfahren

Mittlerweile sind zahlreiche Verfahren zum Punkt- und Linienauftrag von hochviskosem Leitkleber entwickelt worden /Schärli 2001a/. Bei der Betrachtung der unterschiedlichen Verfahren des Auftrags von Klebstoff ist es sinnvoll, zwischen dem reinen Auftragsvorgang, also dem Transfer von Klebstoff auf das Fügeteil, und dem Dosiervorgang, der Bereitstellung einer definierten Klebstoffmenge, zu unterscheiden. Im Prinzip gibt es also zwei Verfahrensvarianten des Klebstoffauftrags:

- Die Klebstoffmenge wird an einem Werkzeug, z. B. einer Dosiernadel, bereitgestellt und diese berührt die Klebfläche. In diesem Fall hat die Dosiernadel die Funktion eines adhäsiven Greifers.
- Die Klebstoffmenge wird als frei fliegender Tropfen erzeugt, der ohne weitere Werkzeugeinwirkung die Oberfläche berührt.

Daraus ergibt sich die Einleitung nach berührenden und berührungslosen Auftragsverfahren /Dixon1997, Müller 2002/.

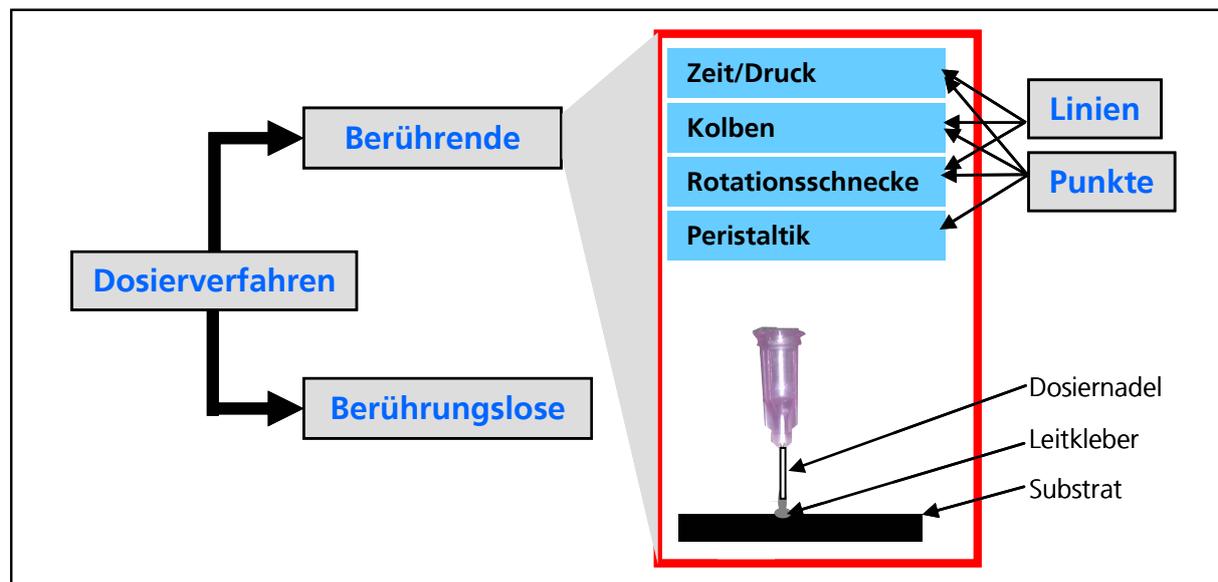


Abbildung 4-4: Die Dosierverfahren

4.2.1 Berührende Auftragsverfahren

Bei den berührenden Auftragsverfahren wurden vier Arten von Ventilen und Pumpen entwickelt und eingesetzt. Jeder Typ hat sehr spezifische Betriebseigenschaften mit speziellen Vor- und Nachteilen, die für die jeweilige Anwendung analysiert werden müssen /Schlücker 1994/.

4.2.1.1 Zeit-Druck-Dosiersysteme

Diese Standard-Ventiltype wird gegenwärtig für das Dosieren von Lötpaste und Leitkleber eingesetzt. Abbildung 4-5 zeigt schematisch den Aufbau und ein reales System. Sie bestehen aus einer Kartusche mit einer Dosiernadel an deren unterem Ende und einem Druckluftanschluss am oberen Ende. Die Flüssigkeit wird aufgrund eines schaltbaren Überdrucks durch die Dosiernadel gefördert bzw. hindurchgepresst. Durch die Kompressibilität der Luft und das durch das Entleeren zunehmenden Totvolumen innerhalb der Kartusche sowie die kontinuierliche Erwärmung des Fluids durch das zyklische Komprimieren und Entspannen der Luft neigt das System zu einer schlechten Wiederholgenauigkeit. Dieses zeigt sich an Änderungen des dosierten Volumens (bis zu 19% für eine 10 cm³-Kartusche), obwohl der Druck und die Taktung an der Kartusche unverändert blieben. Die wesentlichen Vorteile dieses Dosiersystems liegen in seinem geringen Preis und dem einfach zu handhabenden Einwegprinzip /Burns 2001, Luchs1998/.

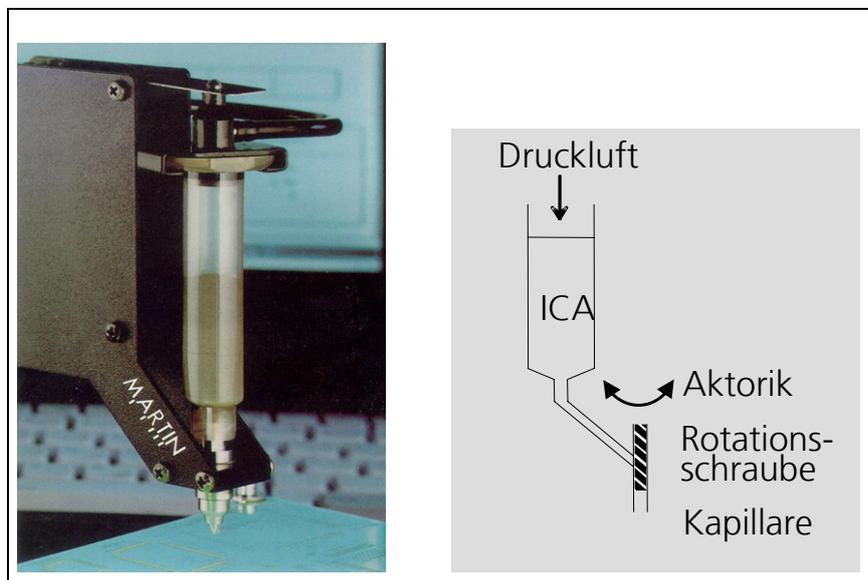


Abbildung 4-5: Zeit/Druck-Dosiersystem

4.2.1.2 Schrauben-Dosiersystem

Dieses Dosiersystem, allgemein unter Archimedes oder Auger-Ventil bekannt, wird meistens noch mit einem positiven Displacement-System kombiniert. Dieses unterstützt den Fluss des Klebers bzw. der Lötpaste durch einen permanent anliegenden geringen Überdruck in der Kartusche hin zur Förderschraube. Die steuerbare Drehbewegung der Förderschraube drückt das Material durch die Dosiernadel. Abbildung 4-6 zeigt schematisch den Aufbau und die Funktionsweise eines solchen Systems.

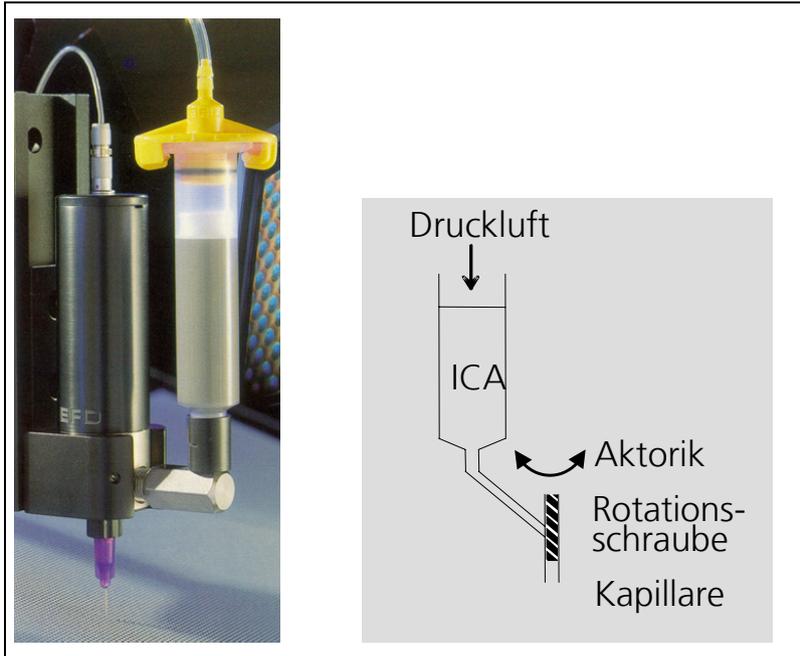


Abbildung 4-6 Schrauben-Dosiersystem

Seine wesentlichen Vorzüge liegen in der Unabhängigkeit von kompressiblen Treibmedien sowie der insgesamt höheren Steifigkeit des Aufbaus. Die Förderschraube lässt sich definiert steuern und eignet sich gleichermaßen für das periodische Dosieren kleinster Mengen wie Einzelpunkte als auch für Linien. Wie bei einem Zeit-Druck-Dosiersystem wird jedoch die Volumenwiederholgenauigkeit durch Viskositätsänderungen des Mediums beeinträchtigt, diese treten im Allgemeinen nur in geringen Umfang auf. Allerdings zeigen gefüllte Klebstoffe Separationstendenzen, wofür primär die Rutsch-Schereffekte der Förderschraube und ihrer Passung verantwortlich zu machen sind. Diese Systeme erreichen allgemein qualitativ bessere Prozessergebnisse als Zeit-Druck-Dosiersysteme /Kohler 1991, Schlücker 1994/.

4.2.1.3 Peristaltik-Dosiersystem

Das Dosiersystem ist auch unter dem Begriff Pintch tube bekannt und zusätzlich mit einer positiv-Displacement-Technik ausgestattet. Eine mit Kleber gefüllte Kartusche dient als Vorlagebehälter, aus dem der Kleber mit einem geringem Überdruck (ca. 0,3 bis 0,8 bar) in eine Plastiktube gefördert wird. Diese Tube ist anfangs auf beiden Seiten verschlossen. Öffnet man den Verschluss kartuschenseitig, kann Kleber in die Tube einfließen. Nach dem Befüllen wird das System zur Kartusche hin verschlossen, das zweite Ventil wird geöffnet und ein Stößel drückt auf die Tube, um das Material in die Dosiernadel zu fördern (Abbildung 4-7).

Der peristaltische Dosierer ist den vorangestellten Systemen überlegen. Der Kleber wird dem System unter niedrigem Druck zugeführt, wodurch eine Separation von Partikeln des Klebers auszuschließen ist. Durch die Funktionsweise wirken sich Variationen von Druck und Temperatur geringer auf das dosierte Volumen aus. Eine größere

Volumenwiederholgenauigkeit als beim Zeit-Druck-Dosiersystem und dem Rotationsventil sind das Ergebnis.

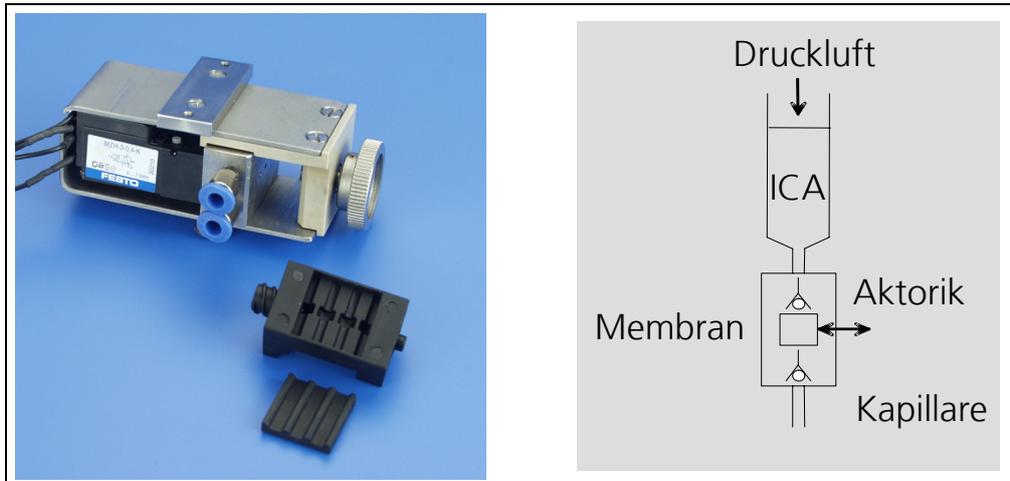


Abbildung 4-7: Peristaltisches Dosiersystem

Zwei verfahrensbedingte Verschleißerscheinungen beeinflussen jedoch die Wiederholgenauigkeit. Der Stößel, der auf die Tube drückt, führt an dieser zu Ermüdungserscheinungen und/oder zur Veränderung der elastischen Eigenschaften zu Mikrorissen und/oder Dehnungen an der Tube. Durch einen rechtzeitigen Austausch der Tube kann allerdings diesen Veränderungen vorgebeugt werden. Dies sichert dem peristaltischen Ventil über einen längeren Zeitraum eine gute Prozessstabilität.

Die Einsatzfähigkeit des peristaltischen Dosierers für das Auftragen von Lotpaste wird durch sein kleines Tubenvolumen eingeschränkt, weshalb Lotpunkte, nicht aber Linien dosiert werden können. Üblicherweise liegt der Minstdurchmesser für Punkte, die reproduzierbar mit dem peristaltischen Dosierer erreicht werden können, bei ca. 100 µm /Kohler 1991/.

4.2.1.4 Kolben-Positiv-Displacement-Dosiersystem

Diese Art des Dosierens stellt mehr eine Pump- als eine Ventiltechnik dar, da diese das Material tatsächlich aus einer Kammer pumpt.

Eine gefüllte Kartusche wird als Behälter benutzt und der Kleber unter geringem Druck (0,3 bis 0,8 bar) durch einen Kanal zu einer Pumpkammer geleitet. Wenn sich der Kolben nach oben bewegt, entsteht eine Saugwirkung und das Material strömt in die Dispenserkammer. Wenn sich der Kolben anschließend senkt, wird die Materialzuführung unterbrochen und der Kolben drückt die gewünschte Menge des Klebers durch die Dosiernadel (Abbildung 4-8).

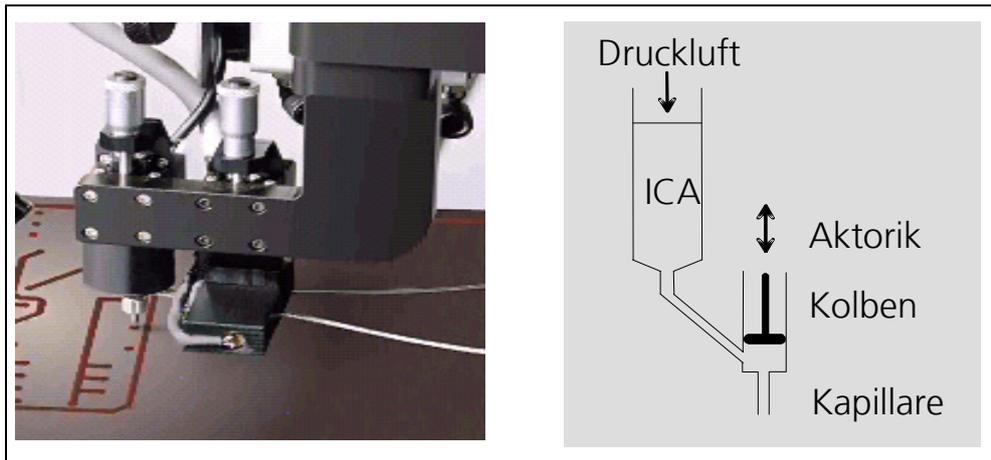


Abbildung 4-8: Kolbendispenser mit Positiv Displacementsystem

Dieses Kolbenpumpenprinzip vermeidet die Nachteile der vorherigen Systeme. Änderungen von Druck und Viskosität haben nur noch unbedeutende Auswirkungen auf das dosierte Volumen. Ein wesentlicher Vorteil des Kolbendosierers liegt in der Kombination kleiner Volumina (ca. 0,3 mm Punktdurchmesser) und hoher volumetrischer Wiederholgenauigkeit ($\pm 5\%$). Diese Genauigkeit übertrifft die vorher genannten Dosiersysteme und kann so entscheidend für die Einsatzfähigkeit in der SMD-Technik sein.

Der Kolbendosierer besitzt allerdings als zyklisches System den Nachteil eines begrenzten Dispensvolumens. Wie das peristaltische Ventil eignet es sich daher eher zum Auftragen von Punkten oder kurzen Linien. Als weitere Schwachstelle hat sich die Kolbendichtung erwiesen, die medienabhängig frühzeitig ermüden kann /Dixon,1997, Kohler 1991/.

4.2.2 Berührungslose Auftragsverfahren

In dem Makrobereich gibt es verschiedene Berührungslose Auftragsverfahren, wie das Sprühverfahren, in dem Klebstoff flächig oder kreisförmig aufgetragen wird. Diese Verfahren sind für Leitkleber jedoch ungeeignet, da die Leitpartikel in dem Leitkleber zur Verstopfung des Systems führen /Cortez 2001/.

4.3 Zusammenfassung

Zum Auftragen geringster Dosiervolumina von Leitkleber eignen sich insbesondere robotergeführte Dosierverfahren. Wie die Untersuchungen des Standes der Technik zeigen, sind die derzeit verwendeten Verfahren größtenteils berührende Verfahren. Zwar können bei einigen dieser Dosierverfahren Einstellungen der Dosiermengen vorgenommen werden, jedoch liegen entscheidende Defizite bei der Reproduzierbarkeit und Genauigkeit vor. Weiterhin lässt sich folgern, dass keine der untersuchten Dosierverfahren über eine hinreichende Intelligenz verfügt, um bestimmte Parameter, wie z. B. Dosierdruck zu regeln bzw. Dosierfehler zu erkennen.

Abbildung 4-9 zeigt zusammengefasst eine Bewertung der einzelnen verfügbaren Verfahren zum Punkt- und Linienauftrag von hochviskosem Leitkleber.

	Zeit-Druck Dosierer	Schrauben Dosierer	Kolben Dosierer	Peristaltik
Drucküberwachung	teilweise Vorhanden	fehlt	fehlt	fehlt
Druckregelung	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt
Durchflussüberwachung	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt
Durchflussregelung	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt
Dosierabstandsüberwachung	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt
Bildverarbeitung	fehlt	fehlt	fehlt	fehlt

Abbildung 4-9: Vergleich der verfügbaren Verfahren zum Punkt- und Linienauftrag

Die Betrachtung verfügbarer Systeme zeigt, dass derzeit nur bei Zeit/Druck-Systemen teilweise eine Drucküberwachung vorhanden ist. Intelligente Systeme, die den Druck und den Durchfluss überwachen und regeln existieren nicht. Eine Abstandsüberwachung für einen optimalen Dosierabstand ist bei keinem der Systeme standardmäßig vorgesehen. Frühes Erkennen der Auftragsdefizite durch die Integration eines Visualisierungsmoduls existiert auch nicht.

Aus Anwendersicht bedürfen alle aufgeführten Verfahren einer Überwachung des Betriebsdrucks und des Dosierabstandes während eines Dosiervorgangs sowie die Regelung dieser Parameter, wenn es zur Abweichung in Folge eines Fehlers kommt.

Ausgehend von den oben durchgeführten Untersuchungen wird deutlich, dass der Anwender ein Verfahren zum Punkt- und Linienauftrag vom hochviskosen Leitkleber mit einem intelligenten und geregelten Dosiersystem braucht.

5 Entwicklung eines Mikrodosiersystems zum präzisen Punkt- und Linienauftrag von hochviskosem Leitkleber

5.1 Konzeption des Mikrodosiersystems

In einem ersten Schritt werden die verfügbaren Mikrodosierverfahren den in der Analyse erarbeiteten Anforderungen an das Mikrodosiersystem zum präzisen Punkt- und Linienauftrag von hochviskosem Leitkleber mit einem geregelter Mikrodosiersystem gegenübergestellt und hinsichtlich ihrer diesbezüglichen Eignung bewertet. In Abbildung 5-1 ist eine Bewertung der möglichen Mikrodosierverfahren vorgenommen.

		Zeit-Druck Dosierer	Schrauben Dosierer	Kolben Dosierer	Peristaltik
Transporteinheit	Präziser Transport	nicht geeignet	bedingt geeignet	geeignet	geeignet
	Punkt dosierung	geeignet	geeignet	geeignet	geeignet
	Linien dosierung	geeignet	geeignet	geeignet	nicht geeignet
	Keine Lufteinschlüsse	nicht geeignet	nicht geeignet	geeignet	geeignet
	Dichtheit	nicht geeignet	nicht geeignet	geeignet	geeignet
	Minimale Ausdehnung	nicht geeignet	geeignet	geeignet	geeignet
Sensorintegration (Messung)		geeignet	nicht geeignet	geeignet	nicht geeignet
Steuereinheitsintegration (Einstellung)		geeignet	nicht geeignet	geeignet	nicht geeignet

Abbildung 5-1: Bewertung der verfügbaren Mikrodosierverfahren hinsichtlich der erarbeiteten Anforderungen an das Mikrodosiersystem

Die Erfüllung der Anforderungen ist ein notwendiges Kriterium für eine Eignung der verfügbaren Gerätetechnik als Entwicklungsbasis für das zu entwickelnde Mikrodosiersystem. Die in Abbildung 5-1 durchgeführte Bewertung zeigt, dass besonders Kolbendosierer in der Lage sind die Basis für ein zu entwickelndes Mikrodosiersystem zum präzisen Punkt- und Linienauftrag von hochviskosem Leitkleber hinsichtlich der gestellten Anforderungen zu liefern.

5.2 Entwicklung von Funktionsgruppen des Mikrodosiersystems

Resultierend aus den in Abbildung 5-1 dargestellten Anforderungen, kommt für präzisen Punkt- und Linienauftrag von hochviskosem Leitkleber ein Kolbendosierer als Entwicklungsbasis in Betracht.

in einem ersten Schritt werden die für das Mikrodosiersystem notwendigen Funktionsgruppen abgeleitet. Nachfolgend wird das zu entwickelnde Mikrodosiersystem in seinen Funktionsgruppen konzipiert, umgesetzt und schließlich hinsichtlich dessen Funktion überprüft.

Das Mikrodosiersystem muss die in den vorangegangenen Analysen erarbeiteten Anforderungskriterien an eine Transport-, Mess- und Regeleinheit für hochviskose Leitkleber erfüllen. Diese Anforderungen schlagen sich in allen Funktionsgruppen des zu entwickelnden Mikrodosiersystems nieder.

Das zu entwickelnde Mikrodosiersystem muss folgende Grundfunktionen erfüllen können:

Transportieren

Bei der Konzeption der Transporteinheit muss Rücksicht auf die Kartuschenausdehnung, Dichtheit, Lufteinschlüsse, Nachtropfen, Nadelgeometrien und die Viskosität des zu dosierenden Leitkleber genommen werden. Bei dem Dosieren von Punkten oder von Linien muss die Möglichkeit einer kontinuierlichen bzw. diskontinuierlichen Bewegung gegeben sein.

Messen

Die Druckmessung im Dosiersystem soll den aktuellen Druck in der Kartusche ermitteln. Nur durch die Integration eines Drucksensors ist die Vermeidung des Nachtropfens und ein frühes Erkennen einer Verstopfung möglich.

Mit der Auswahl eines geeigneten Sensors soll der Füllstand der Kartusche ermittelt werden, um den richtigen Druck in der Kartusche in Abhängigkeit des Füllstandes einstellen zu können.

Die Abstandsmessung zwischen der Dosiernadel und dem Substrat soll den aktuellen Dosierabstand ermitteln. Nur dadurch ist die Vermeidung einiger Defizite der Punkt- bzw. Linienfüllung möglich.

Die Durchflussmengenmessung soll einen direkten Vergleich zwischen dem Ist-Wert und dem Soll-Wert des aus der Dosiernadel herausströmenden Leitklebers ermöglichen. Dadurch ist es möglich, das System zu regeln.

Die Geometrienmessungen der dosierten Punkte bzw. Linien sollen Abweichungen aufzeigen. Dadurch ist die Vermeidung von weiteren Dosierfehlern bzw. die Regelung eines Parameters möglich.

Regeln

Zur Erfassung der Messdaten und Regelung des Dosierdrucks sowie Einstellung der Dosierparameter muss ein geeignetes Regelungskonzept erarbeitet werden.

5.2.1 Transportieren

5.2.1.1 Transporteinheit

Damit der Leitkleber aus der Kartusche gefördert werden kann, muss der Kolben, der in der Analyse als geeignete Transportmöglichkeit gefunden wurde, in Bewegung gesetzt werden. Dies ist erst möglich, wenn eine der unten aufgelisteten Möglichkeiten verwendet wird:

Pneumatisch

Piezo

Mechanisch

Abbildung 5-2 zeigt eine Bewertung der möglichen verfügbaren und in fragekommenden Energieübertragungssysteme, mit deren Hilfe ein Kolben in Bewegung gesetzt werden kann.

	Pneumatisch	Piezo	Mechanisch
Präzision	nicht geeignet	nicht geeignet	geeignet
Diskontinuierliche Bewegung	geeignet	geeignet	geeignet
Kontinuierliche Bewegung	geeignet	nicht geeignet	geeignet
Kleine Schrittbewegung	nicht geeignet	geeignet	geeignet
Kleine Baugröße	geeignet	geeignet	geeignet

Abbildung 5-2: Bewertung verfügbarer Transporthilfsmittel

Wie man aus der Abbildung 5-2 entnehmen kann, eignet sich das mechanische Energieübertragungssystem, insbesondere der Mikroschrittmotor, zur Erfüllung der oben genannten Anforderungen.

Der ausgewählte Mikroschrittmotor

Zu den interessantesten Kapiteln in der Mikrosystemtechnik gehört sicherlich die Beschäftigung mit Antriebsmotoren. Vor allem Schrittmotoren sind hier beliebt, da man mit ihnen genaue Positionen anfahren kann, ohne eine aufwändige Wegstreckenerkennung zu implementieren. Jeder Schritt eines Schrittmotors entspricht einem exakt vorgegebenen Winkel. Die Elektronik zählt alle Schritte im Links- und Rechtslauf und kennt daher immer die exakte Position der Achse.



Abbildung 5-3: Mikroschrittmotor der Firma escap

Die Schrittmotoren werden als hochpräzise Stellelemente in der Elektrotechnik und der Feinmechanik benötigt. Man findet sie z. B. in Diskettenlaufwerken, Scannern, Plottern, CD-Playern, alten Festplatten usw.. Überall dort, wo ganz exakte Positionierungen ausgeführt werden müssen, ist der Schrittmotor der richtige Antrieb.

Da das Rotieren des Mikroschrittmotors in sehr kleinen Schritten bzw. Winkeln erfolgen kann (der kleinste Schritt mit dem Motor 915:1 beträgt $2,56E-4^\circ$), ist dieser für diese Applikation besonders geeignet. Auf diese Weise kann sich der Kolben mit diesem Motor mit minimalen Schritten bewegen.

Auf Grund der Bewertung der oben beschriebenen Eigenschaften der verschiedenen Motoren bezüglich der gerätetechnischen Anforderungen wird für das Mikrodosiersystem ein Mikroschrittmotor, Modell WE 0902, der Firma escap mit der Untersetzung 915 bzw. 450 eingesetzt. In Zusammenhang mit der verwendeten Kolbenstange mit der Steigung 0,5 mm beträgt die axiale Bewegung des Kolbens bei einer Umdrehung des Mikroschrittmotors 0,5 nm.

5.2.1.2 Lufteinschlüsse

Um die Luft zwischen dem Kolben und dem Kleber in der Kartusche zu beseitigen und damit die Komprimierung der Luft in der Kartusche zu vermeiden, wurden verschiedene

Kolben konzipiert. Nach den unten aufgelisteten Kriterien wurden mehrere Varianten konzipiert und anschließend miteinander verglichen.

Variante A: Hier handelt es sich um einen einfachen Kolben, der in die Kartusche geschoben wird. Durch die entstehende Ausdehnung der Kartusche durch den ausgeübten Druck entweicht die Luft zwischen der Dichtung und der Innenwand der Kartusche.

Variante B: In dieser Variante entweicht die Luft durch einen Luftspalt zwischen dem Drucksensor und der Aussparung, in der sich der Drucksensor befindet.

Variante C: Hier wurde ein kegelförmiger Stößel in den Kolben integriert. Wenn sich der Kolben nach unten bewegt, dann entweicht die Luft durch den Luftspalt in dem Kolben. Dieser Stößel wird von dem Kleber solange nach oben bewegt, bis die Aussparung in dem Kolben vollständig geschlossen wird.

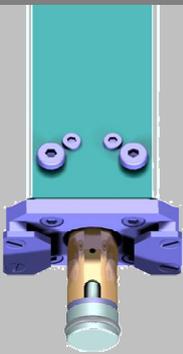
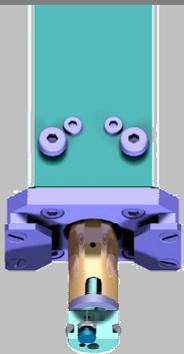
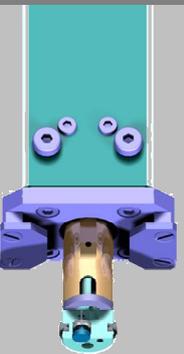
Konzept Kriterien	 Variante A	 Variante B	 Variante C
Luftfreiheit	nicht geeignet	geeignet	geeignet
Dichtheit	nicht geeignet	nicht geeignet	geeignet
Reinigung	geeignet	nicht geeignet	geeignet
Herstellungsaufwand	geeignet	nicht geeignet	geeignet

Abbildung 5-4: Bewertung der Entlüftungsmöglichkeiten

Mit Variante C wurden zahlreiche Versuche mit verschiedenen Flüssigkeiten in unterschiedlichen Viskositäten durchgeführt. Es hat sich ergeben, dass diese Variante sogar für Flüssigkeiten mit 1 mPa. s (Wasser) bis 120000 mPa. s geeignet war.

5.2.1.3 Kartuschenausdehnung

Um die Kartuschenausdehnung zu minimieren bzw. zu beseitigen, wurden die folgenden Maßnahmen ergriffen:

Halterung am Kartuschenanfang

Hier wurde eine Halterung angefertigt, um die Biegung des oberen Randes der Kartusche zu verhindern und damit die axiale Ausdehnung zu minimieren. Die Versuche, die in der Analyse durchgeführt worden sind, wurden hier nochmals wiederholt. Die Ausdehnung konnte dadurch nicht beeinflusst werden, da die eigentliche Verformung an dem Mantel der Kartusche stattfindet. Die gemessene Ausdehnung in diesem Versuch ist mit der Ausdehnung in Abbildung 3-9 identisch.

Zylindrische Hülse

Um die gemessenen Werte der Volumenausdehnung, die durch die Ausdehnung der Manteloberfläche der Kartusche entsteht, zu verringern, wurde eine Aluminium-Hülse angefertigt, welche die Kartusche soweit möglich anliegend umschließt (Abbildung 5-5).



Abbildung 5-5: Angefertigte zylindrische Hülse aus Aluminium

Hierbei trat jedoch ein Problem auf. Die Kartusche ist nicht zylindrisch, sondern konisch und verringert ihren Durchmesser von der Halterung zur Spitze um ca. 150 μm . Der Luftspalt, der dadurch zwischen der Manteloberfläche und der Hülse entsteht, sorgt weiterhin für Ausdehnung, solange die Kartusche unter Druck steht. Diese Ausdehnung wurde in Abhängigkeit unterschiedlicher Füllstände gemessen und in Abbildung 5-6 grafisch dargestellt.

Mit der zylindrischen Hülse hat sich die Ausdehnung im Vergleich zu der gemessenen Ausdehnung nach Abbildung 3-9 um ca. 55 Prozent reduziert. Diese erhebliche

Reduzierung der Kartuschenausdehnung ist leider nicht ausreichend für eine präzise Dosierung.

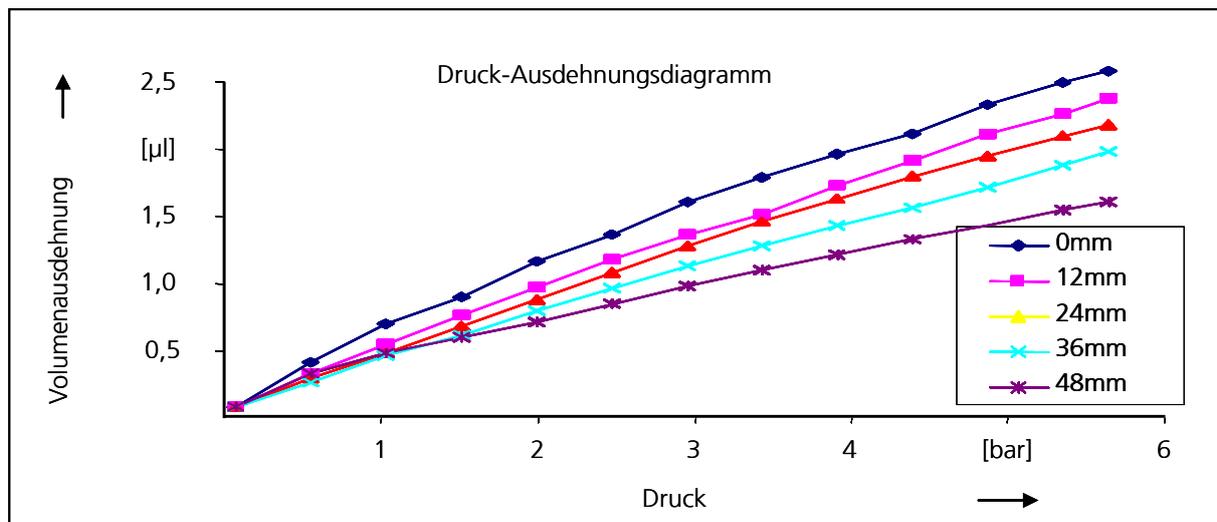


Abbildung 5-6: Grafische Darstellung der Ausdehnung unter der Verwendung einer zylindrischen Hülse

Konisch verschraubbare Hülse

Um eine genau angepasste Hülse anzufertigen, wurde eine konisch verschraubbare Hülse erstellt. Mit dieser Konstruktion ist gesichert, dass die Hülse die Manteloberfläche der Kartusche ohne Luftspalt anliegend umschließt (Abbildung 5-7).

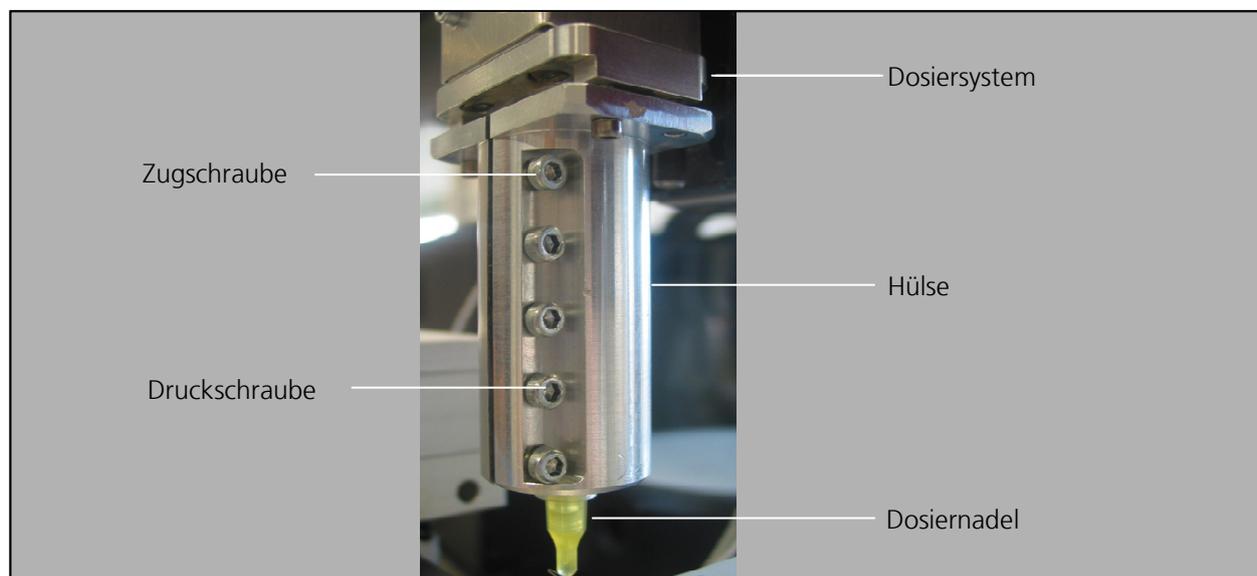


Abbildung 5-7: Angefertigte konisch verschraubbare Hülse aus Aluminium

Die oben durchgeführten Versuche wurden mit der konischen Hülse wiederholt. Die Ergebnisse waren unter Verwendung der konischen Hülse überzeugend und sprechen für die Verwendung solcher Hülsen, wenn Kartuschen solcher Art für präzise Dosierzwecke benutzt werden (Abbildung 5-8).

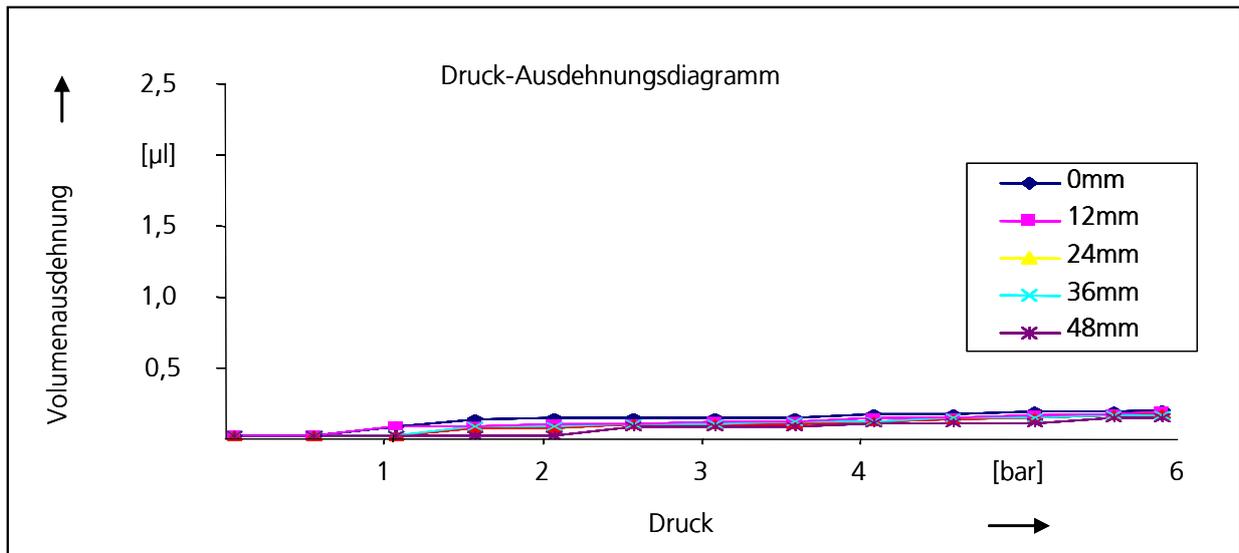


Abbildung 5-8: Grafische Darstellung der Ausdehnung unter der Verwendung einer konisch verschraubbare Hülse

Der Hersteller der Kartusche gibt Garantie für Drucke unter 7 bar. Mit der Verwendung dieser konischen Hülsen kann die Kartusche Drucke bis 100 bar aushalten.

Die Bewertung der konzeptionellen Varianten erfolgt anhand der in der Analyse festgelegten Entwicklungsziele für die Kartuschausdehnung und ist in Abbildung 5-9 dargestellt.

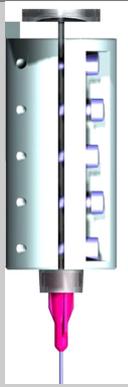
Konzept			
Kriterium			
Minimale Ausdehnung	nicht erfüllt	nicht erfüllt	erfüllt
Minimaler Herstellungsaufwand	erfüllt	erfüllt	erfüllt
Kompakte Bauweise	erfüllt	erfüllt	erfüllt
Einfache Montage	erfüllt	erfüllt	erfüllt

Abbildung 5-9: Bewertung der Möglichkeiten zur Vermeidung der Volumenausdehnung

Um den Druckaufbau mit dem ausgewählten Mikroschrittmotor und Kolben mit und ohne verschraubbare Hülse in der Kartusche zu vergleichen, wurden zahlreiche Experimente mit verschiedenen Leitklebern unterschiedlicher Viskositäten durchgeführt. In Abbildung 5-10 ist der Druck in der Kartusche ohne verschraubbare Hülse mit einem Leitkleber (Ablebond 84-1) der Firma Ablestek (Anhang 3), einer Standarddosiernadel mit dem Innendurchmesser von 160 µm und einem Mikroschrittmotor mit der Untersetzung 915:1 in Abhängigkeit der Zeit grafisch dargestellt.

Die Zeit, die vergeht, bis in der Kartusche mit 3000 Umdrehungen/Minute von dem Mikroschrittmotor die 6 bar Grenze erreicht wird, dauert ca. 3,4 Sekunden.

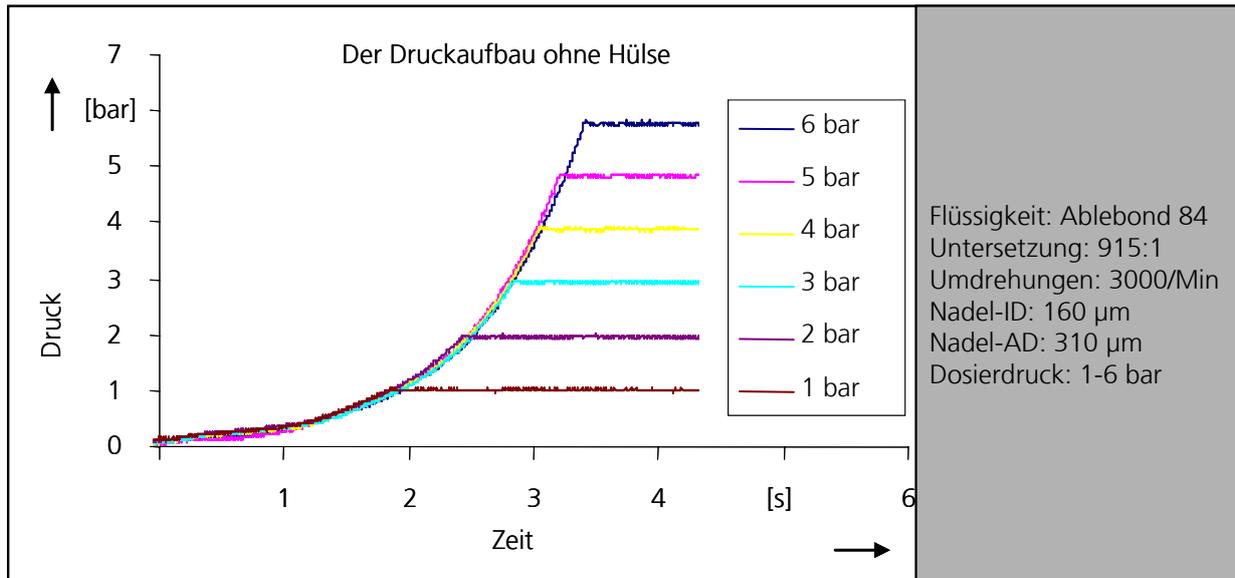


Abbildung 5-10: Druckaufbau in der Kartusche ohne verschraubbare Hülse

Die gleichen Versuche unter den gleichen Bedingungen und dem gleichen Leitkleber wurden mit der oben ausgewählten verschraubbaren Hülse wiederholt. Dabei hat sich die Zeit bis zum Erreichen desselben Drucks verkürzt und beträgt unter Verwendung der konische verschraubbare Hülse 2 Sekunden (Abbildung 5-11).

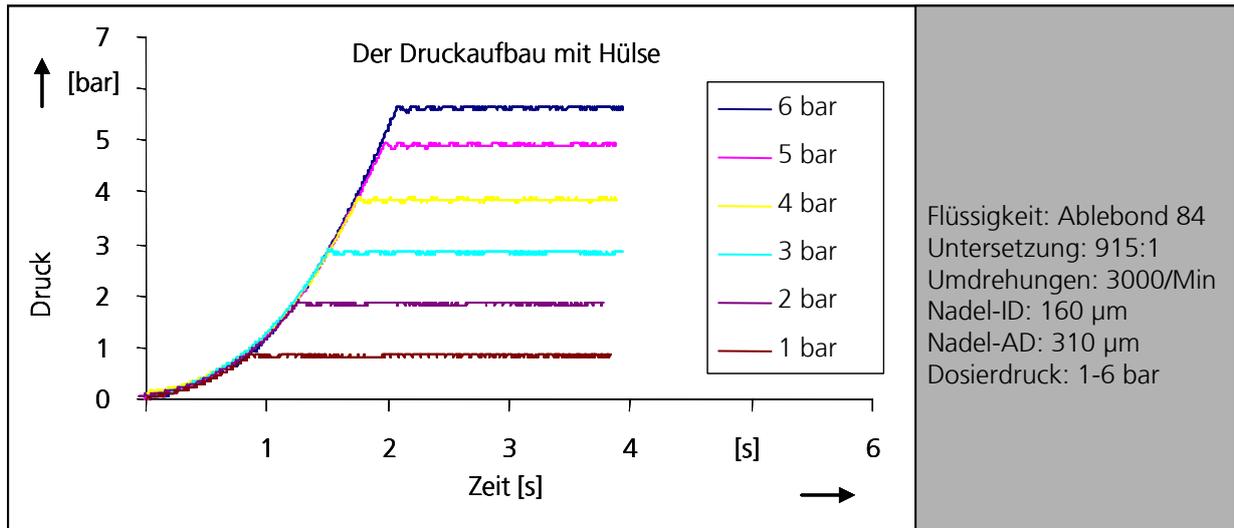


Abbildung 5-11: Druckaufbau in der Kartusche mit verschraubbarer Hülse

Weitere Reduzierung der Druckaufbauzeiten, wenn die Geometrien der Dosiernadeln nicht verändert werden sollen, kann durch die Reduzierung der Untersetzung des Mikroschrittmotors bzw. durch die Erhöhung der Steigung der Spindel und durch die Erhöhung der Anzahl der Umdrehungen des Mikroschrittmotors erzielt werden.

5.2.1.4 Nachtropfen

Am Ende eines Dosiergangs bzw. während der Verweilzeit kommt es zu einem Effekt, unter dem fast alle Dosiersysteme leiden, dem "Nachtropfen". Der Hauptgrund dieses Effekts ist der vorhandene Druck in der Kartusche nach dem Dosieren. Auch sehr kleine Werte dieses Drucks werden nach bestimmter Zeit abgebaut. Dieser Druckabbau hängt von der Viskosität des Mediums, Kartuschenrückbildung, Nadelmaterial und -innendurchmesser etc. ab. Abbildung 5-12 zeigt die Zeiten, in denen der Druck in der Kartusche von Glycerin und dem Leitkleber Heraeus 3001 von 6 auf 0 bar abgebaut wird.

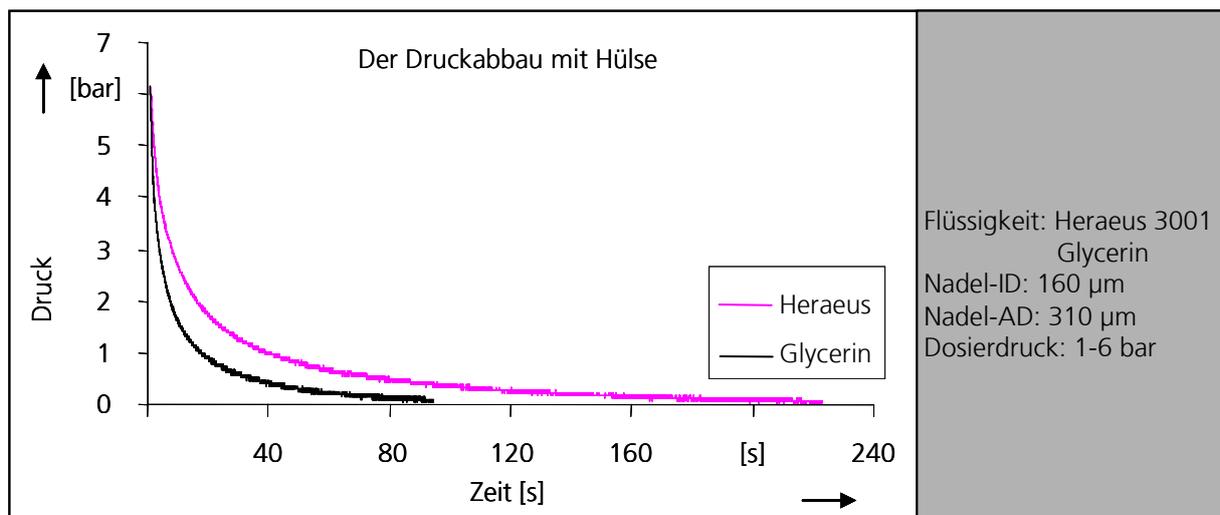


Abbildung 5-12: Druckabbau von einem Kolbendosierer

Wie aus der obigen Abbildung zu entnehmen ist, ändert sich die Zeit, in der sich der Druck in der Kartusche abbaut, in Abhängigkeit der Viskosität des dosierenden Mediums. Das Volumen, das aus der Dosiernadel gefördert wird, ist aber das gleiche. In der Konzeption der Methode werden wir dem Problem nochmals begegnen und das Volumen berechnen können.

Das Nachtropfen kann vermieden werden, wenn nach einem Dosiervorgang dafür gesorgt wird, dass der Druck in der Kartusche auf 0 bar in kürzerer Zeit zurückgesetzt wird. Dies ist möglich, wenn der Mikroschrittmotor solange zurückdreht, bis der Druck in der Kartusche gleich 0 bar wird. Die Zahl der Umdrehungen, die der Mikroschrittmotor machen muss, um diesen Druckwert zu erreichen, hängt von der Ausdehnung der Kartusche, den Lufteinschlüssen im Leitkleber, Dosiernadelinnendurchmesser etc. ab.

In Abbildung 5-13 ist der Druckabbau mit Hilfe des Mikroschrittmotors mit 3000 Umdrehungen/Minute für die gleichen Flüssigkeiten (Leitkleber und Glycerin) und dem gleichen Dosiernadelinnendurchmesser, -Material und der gleichen -länge grafisch dargestellt.

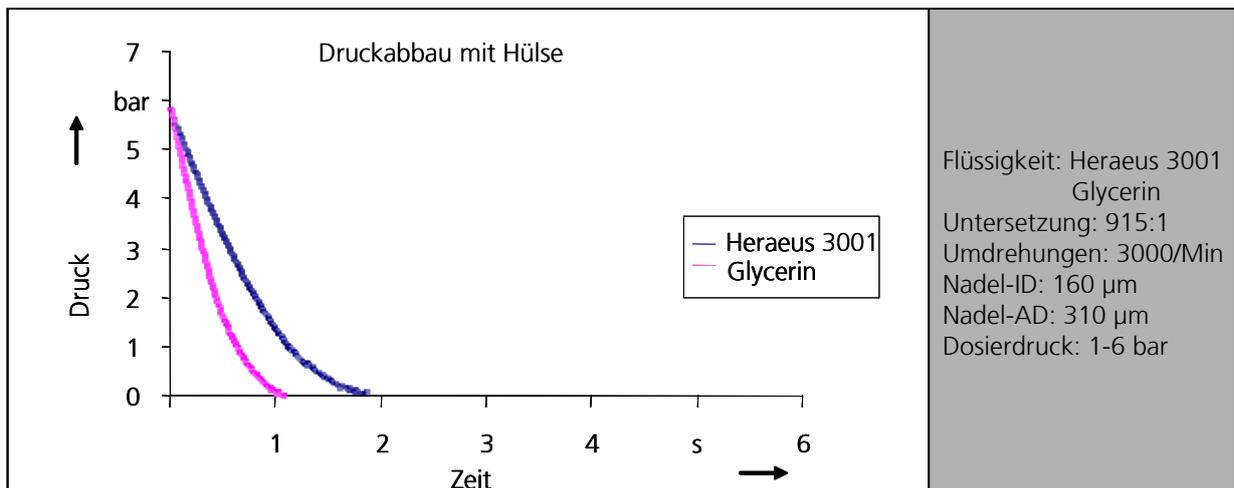


Abbildung 5-13: Druckabbau von einem Kolbendosierer mit einem Mikroschrittmotor

In der Zeit, die der Mikroschrittmotor braucht, um den Druck von einem bestimmten Wert bis auf 0 bar zu setzen, bildet sich ein Tropfen an der Spitze der Nadelspitze. Dieses Volumen ist sehr klein, hat aber einen großen Einfluss auf den folgenden Dosiervorgang. Dieses Volumen, das dabei entsteht wird später in der Entwicklung der Dosiermethode berechnet.

5.2.1.5 Dichtigkeit

Die Standardkartusche kann laut Herstellerangaben bis zu 7 bar aushalten. Bei 6 bar entstehen, wie schon in der Analyse gezeigt wurde, radiale Ausdehnungen in der Kartusche um 200 µm. Diese Ausdehnung ist ausreichend, um für eine undichte Stelle zwischen der Innenwand der Kartusche und des Kolbens zu sorgen.

Auch wenn die Kartusche keine Ausdehnung oder minimale Ausdehnung aufweist, könnte der Leitkleber unter Umständen seitlich zwischen der Kartuschenwand und dem Kolben fließen, wenn an dieser Stelle nicht die richtige Dichtung eingesetzt wird.

Diesbezüglich wurden mehrere Dichtungen in das Mikrodosiersystem integriert und auf ihre Dichtheit untersucht. Die Versuche zur Überprüfung der Dichtheit der konzipierten Kolbendichtung wurden mit der oben konzipierten verschraubbaren Hülse und einem Mikroschrittmotor mit einer Untersetzung von 915:1 durchgeführt. Wichtig bei der Durchführung der Versuche war die Verwendung von Flüssigkeiten unterschiedlicher Viskositäten.

Als Dichtung kommen die folgenden Varianten in Frage:

Variante A: Metalring

Variante B: O-Ring

Variante C: Stopfen

Variante D: X-Ring

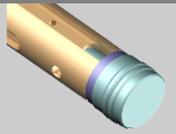
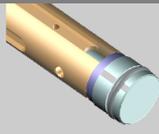
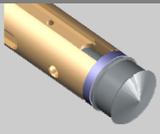
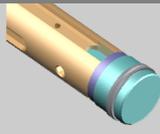
Konzept				
Kriterium	Variante A	Variante B	Variante C	Variante D
Dichtheit bei hohen Drücken	nicht geeignet	nicht geeignet	geeignet	geeignet
Verformung bei hohen Drücken	geeignet	geeignet	nicht geeignet	geeignet
Kosten	geeignet	geeignet	nicht geeignet	geeignet

Abbildung 5-14: Gegenüberstellung der Lösungsvarianten einer Dichtung

Der Vergleich der Konzepte zeigt, dass die Varianten A und B aufgrund der minimalen Berührungsfläche an der Kartuscheninnenwand entscheidende Nachteile in Bezug auf die Dichtheit aufweisen. Die Variante C kommt trotz ihrer ausgezeichneten Dichtheit nicht in Frage, weil sie sich auch bei niedrigen Drücken verformt und damit muss der Mikroschrittmotor länger drehen, um einen bestimmten Dosierdruck zu erreichen. Abbildung 5-15 zeigt den entstehenden Druck in der Kartusche in Abhängigkeit von den Gesamtdrehungen des Mikroschrittmotors der Varianten C und D.

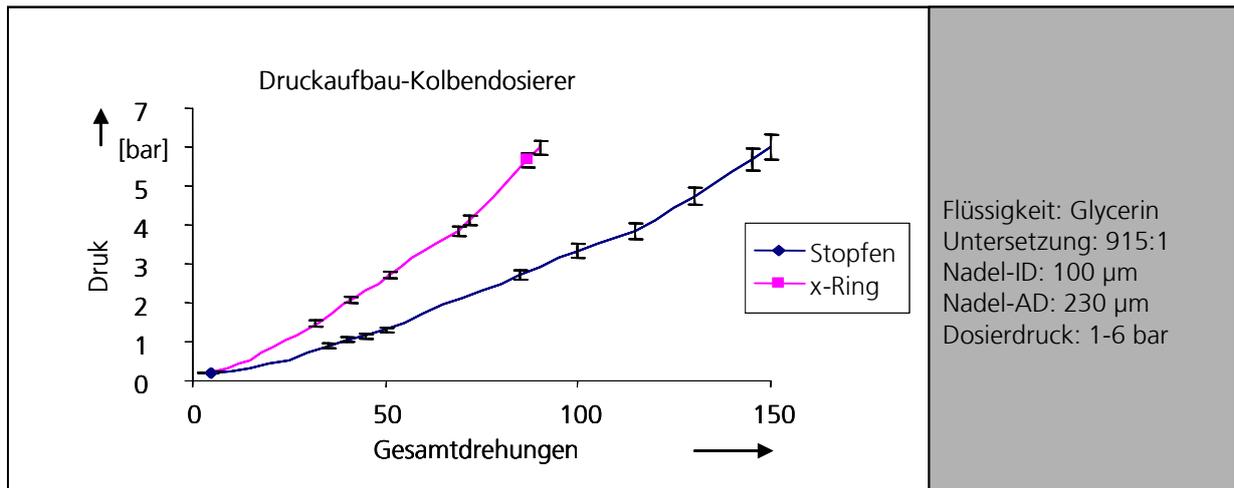


Abbildung 5-15: Abhängigkeit des Innendrucks in der Kartusche von den Gesamtdrehungen des Mikroschrittmotors

Der Vergleich macht deutlich, dass ein Kolben mit einem x-Dichtungsring aufgrund der Erfüllung der gestellten Kriterien die beste Eignung zur Vermeidung undichter Stellen für die Entwicklung des Mikrodosiersystems aufweist.

5.2.2 Messen

Um ein optimales Dosiersystem konzipieren zu können, müssen einige Sensoren in dieses Mikrodosiersystem integriert werden. Sensoren, die hierbei in Frage kommen, sind:

- Durchflusssensoren
- Temperatursensoren
- Drucksensoren
- Abstandssensoren
- Drehzahlmesser bzw. -decoder

5.2.2.1 Durchflusssensoren

Für die Überwachung, Regelung, Führung und Beurteilung vieler technischer Prozesse ist das Messen fluider Massenströme von entscheidender Bedeutung. Bei der Messung von Massenströmen sind die Fluideigenschaften zu berücksichtigen. Handelt es sich bei den zu messenden Medienströmen um Ströme inkompressibler Fluide, so kann ohne weiteres vom Volumenstrom auf den Massenstrom geschlossen werden. Handelt es sich hingegen um ein kompressibles Fluid, so können zusätzliche Messungen notwendig werden.

Die Durchflussmessung ungefüllter und gefüllter Klebstoffe stellt aufgrund der erhöhten Viskositäten derzeit noch ein Problem dar. Bei Mikrokanälen scheiden Messverfahren, die mit einem Druckverlust als Messprinzip arbeiten sowie volumetrische Messverfahren,

die einen größeren Bauraum benötigen, aus. Denkbare Messverfahren sind alle berührungslos arbeitenden Messverfahren wie

- thermische Messverfahren
- induktive Messverfahren
- Ultraschallmessverfahren
- optische Messverfahren.

Die oben erwähnten Durchflusssensoren wurden alle getestet. Es hat sich ergeben, dass keines dieser Prinzipien für das Messen von kleinen Leitklebstoffmengen geeignet ist. Die Untersuchungen haben gezeigt, dass die meisten dieser Sensoren geeignet sind, um den Durchfluss von ungefüllten transparenten Medien zu messen.

5.2.2.2 *Temperatursensor*

Durch die Strömung der Flüssigkeit in einer Dosiernadel mit einem kleinen Innendurchmesser ergibt sich eine Temperaturänderung in der Flüssigkeit und dadurch wird die Viskosität der Flüssigkeit verändert.

In den durchgeführten Versuchen war die Änderung der Temperatur so klein, dass auf die Integration eines Temperatursensors in diesem Mikrodosiersystem verzichtet werden kann.

5.2.2.3 *Drucksensor*

Um die Geometrien der dosierten Punkte bzw. Linien zu kontrollieren und gegebenenfalls zu regeln, muss zunächst ein geeignetes Bildverarbeitungssystem gefunden werden. Daran anschließend muss die Auswertung der erfassten Daten erfolgen. Mit Hilfe dieser erfassten Daten werden die entsprechenden Parameter, wie Druck, Verfahrensgeschwindigkeit und Abstand geregelt, um eine optimale Einstellung eines bestimmten Dosiervorgangs zu gewährleisten.

5.2.2.3.1 *Ermittlung des geeigneten Messprinzips*

Für die Messung des auf den Leitkleber ausgeübten Drucks während des Dosierprozesses stehen verschiedene Drucksensoren zur Verfügung. Es wird hierbei zwischen federelastischen Druckmessgeräten und Drucksensoren unterschieden.

Konzept Kriterium	Federelastische Druckmessgeräte	Drucksensoren
Auslenkung	nicht geeignet	geeignet
Stabilität	nicht geeignet	geeignet
Kleine Baugröße	nicht geeignet	geeignet
Auslesbarkeit	geeignet	geeignet
Messbereich	geeignet	geeignet
Genauigkeit	nicht geeignet	geeignet

Abbildung 5-16: Gegenüberstellung der Druckmessprinzipien

Bei federelastischen Druckmessgeräten tritt eine Auslenkung von 1 bis 3 mm auf. Bei elektrischen Drucksensoren beträgt die Formänderung nur wenige μm . Aufgrund dieser sehr geringen mechanischen Verformung weisen elektrische Druckmessgeräte/-sensoren ein ausgezeichnetes dynamisches Verhalten und eine geringe Materialbeanspruchung auf. Dies hat eine hohe Lastwechselbeständigkeit und Langzeitstabilität zur Folge. Die elektrischen Druckmessgeräte sind auch in sehr kleinen Baugrößen herstellbar. Ein weiterer Vorteil ist die genaue Ablesbarkeit der Anzeige. Beim heutigen Stand der Technik wird eine genaue Druckmessung immer wichtiger.

Präzisionsmessgeräte haben eine Genauigkeit von $\pm 0,05$ Prozent vom Endwert. Bei mechanischen Manometern sind solche Genauigkeiten aufgrund des Parallaxefehlers und des mechanischen Verhaltens von Federn nicht mehr ablesbar. Die elektrischen Präzisionsmessgeräte mit LCD-Display haben teilweise eine Auflösung im Tausendstel-Bereich.

5.2.2.3.2 Ermittlung des geeigneten Drucksensors

Es existiert eine Vielzahl von elektrischen Drucksensoren mit unterschiedlichsten Messprinzipien. Im Folgenden werden hier nur einige wichtige Verfahren genannt und miteinander verglichen:

Konzept Kriterium	Dehnungs- messstreifen (DMS)	Halbleiter (DMS)	Piezoresistive Drucksensoren	Piezoelektrische Drucksensoren	Resistive Folien- Drucksensoren
Medien getrennt	geeignet	geeignet	nicht geeignet	nicht geeignet	nicht geeignet
Kleine Baugröße	geeignet	geeignet	geeignet	geeignet	geeignet
Auslesbarkeit	geeignet	geeignet	geeignet	geeignet	geeignet
Messbereich	geeignet	geeignet	geeignet	geeignet	geeignet
Genauigkeit	nicht geeignet	geeignet	nicht geeignet	geeignet	geeignet

Abbildung 5-17: Bewertung zur Auswahl eines geeigneten Drucksensors

Für diese Aufgabe wurde ein Halbleiterleiter (DMS) gewählt. Der Drucksensor XPR30 ist ein Ultraminiaturdruckaufnehmer mit einer formbündigen Membran, deren Durchmesser nur 3 mm beträgt. Dieser kleine Durchmesser war einer der wichtigsten Gründe zur Auswahl dieses Sensors. Dieser Drucksensor besteht komplett aus Titan, da er insbesondere für aggressive Medien entwickelt wurde.

Direkt auf der Membranoberfläche ist eine Messbrücke aus mikromechanisch gefertigten Silizium-Dehnungsmessstreifen appliziert. Dadurch wird ein für diese Sensorart und Sensorgröße außergewöhnlich gutes Verhalten und eine gute Stabilität erreicht.

5.2.2.4 Integration des Drucksensors

Nach der Auswahl eines geeigneten Drucksensors zur Messung und Überwachung des Dosierdrucks muss dieser Drucksensor im nächsten Schritt im Dosiersystem integriert werden. In Abbildung 5-18 stehen zwei Möglichkeiten zur Wahl.

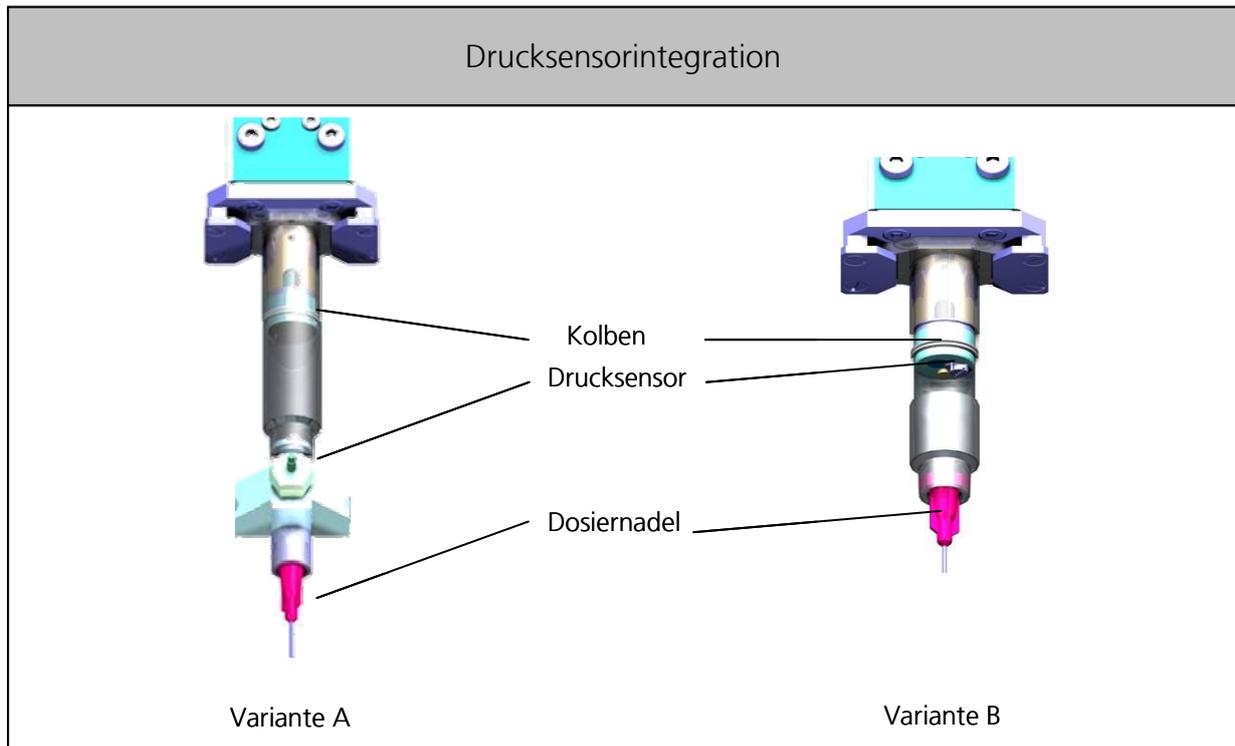


Abbildung 5-18: Zwei mögliche Varianten zur Integration des Drucksensors

Bei der Variante A handelt es sich um die Integration des Drucksensors in einem aus Aluminium angefertigten Adapter zwischen der Kartusche und der Dosiernadel und in der Variante B ist der Drucksensor in den Kolben integriert.

Die beiden Varianten wurden untersucht. Auf die Messung und Auswertung des Drucks während eines Dosiervorgangs haben die beiden Varianten keinen Einfluss. In Abbildung 5-19 ist eine Gegenüberstellung der beiden Varianten dargestellt.

Konzept	Variante A	Variante B
Kriterium		
Totvolumen	groß	kein
Vorbereitung	aufwändig	leicht
Reinigung	aufwändig	leicht

Abbildung 5-19: Bewertung der Varianten zur Integration des Drucksensors

Die Gegenüberstellung zeigt, dass die Variante A aufgrund der erforderlichen Anforderungskriterien entscheidende Nachteile aufweist. Variante B überzeugt zwar

durch eine kompakte und leichte Konzeption, weist jedoch aufgrund der Anfertigung der Aussparung in dem Kolben zur Integration des Drucksensors viel Aufwand auf.

5.2.2.5 Abstandssensor

Beim Präzisionsdosieren von Leitklebstoffen ist infolge von Unebenheiten der Substratoberfläche eine Messung bzw. Regelung des Abstandes zwischen der Dosiernadel und der Substratoberfläche erforderlich, um eine möglichst exakte Klebstoffdosierung realisieren zu können.

Es gibt prinzipiell zwei Verfahren, mit denen der Abstand gemessen werden kann, das berührende und das berührungslose Verfahren. Das berührende Verfahren wird in dieser Arbeit nicht berücksichtigt, da die Beschädigungsgefahr durch die Berührung des Substrats sehr groß ist.

Die folgenden Verfahren ermöglichen das berührungslose Abtasten:

Optisch (Lasertriangulation)

Induktiv

Kapazitiv

Akustisch

Pneumatisch

In Abbildung 5-20 sind diese Verfahren schematisch dargestellt.

Die wesentlichen Eigenschaften der möglichen oben genannten Abstandssensoren werden hinsichtlich der Anforderungen in der Analyse und ihrer Eignung zur Messung des Abstandes zwischen der Dosiernadel und dem Substrat (LTCC-Keramikplättchen und Silizium-Wafer) bewertet. (Abbildung 5-21)

Aufgrund der vereinbarten Betrachtung des Substrateinflusses wird die Rauigkeit des Substrats als Parameter gehalten. Als Substrat werden für sämtliche Versuche LTCC-Keramikplättchen und Silizium-Wafer verwendet.

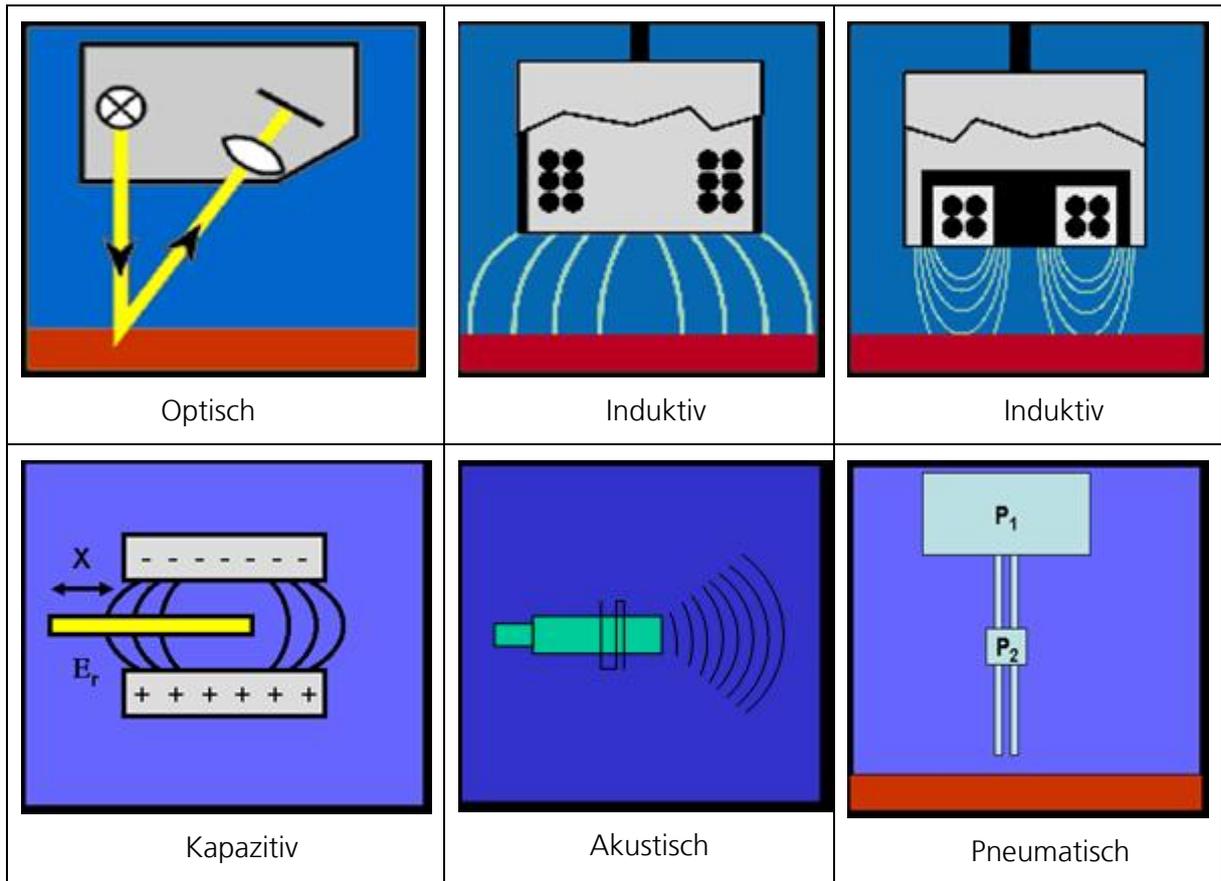


Abbildung 5-20: Messprinzipien zur Abstandsbestimmung

Die Gründe für die Auswahl der Keramikplättchen liegen einerseits bei der häufigen Verwendung dieser Werkstoffe bei dreidimensionalen und hybriden Schaltungsträgern und andererseits bei den schlechten Ebenheitstoleranzen, die diese Substrate aufweisen. Die Silizium-Wafer hingegen weisen sehr gute Ebenheitstoleranzen auf und werden bei der Untersuchung verwendet, um den Einfluss der Rauigkeit beim Dosieren zu untersuchen.

Konzept Kriterium	Optisch	Induktiv	Akustisch	Kapazitiv	Pneumatisch
Hohe Genauigkeit	geeignet	geeignet	nicht geeignet	nicht geeignet	geeignet
Flexibilität nach Werkstückgeometrien	nicht geeignet	nicht geeignet	nicht geeignet	nicht geeignet	geeignet
Messung bei verschiedenen Werkstückoberflächen	nicht geeignet	nicht geeignet	geeignet	nicht geeignet	geeignet
Schneller Messlauf	geeignet	geeignet	geeignet	geeignet	geeignet
Einfache Datenauswertung	geeignet	geeignet	geeignet	geeignet	geeignet
Speicherung der gemessenen Werte	geeignet	geeignet	geeignet	geeignet	geeignet
Sicherheit für den Bediener	nicht geeignet	geeignet	geeignet	geeignet	geeignet
Keine Beschädigungsgefahr	geeignet	geeignet	geeignet	geeignet	geeignet
Wirtschaftlichkeit	nicht geeignet	geeignet	geeignet	geeignet	geeignet

Abbildung 5-21: Bewertung der Abstandssensoren

Im Rahmen dieser Arbeit wurde ein pneumatischer Abstandssensor entwickelt und erprobt. Der Versuchsaufbau und die Versuchsergebnisse werden im Kapitel 7 vorgestellt.

Im Folgenden sind Versuchsergebnisse für verschiedene Dosiernadellängen und verschiedene Drucke grafisch dargestellt. Mit dem pneumatischen Prinzip ist es möglich, den Abstand im Mikrometerbereich zu bestimmen.

Die Druckmessung mit dem pneumatischen Prinzip hängt von dem Durchmesser der Zuleitung, dem Nadelinnendurchmesser und dem Luftdruck ab. Um die richtigen Verhältnisse zu finden, mit denen dieser Sensor am besten arbeitet, wurden zahlreiche Versuche durchgeführt. In Abbildung 5-22 sind die Ergebnisse für verschiedene Nadelinnendurchmesser grafisch dargestellt.

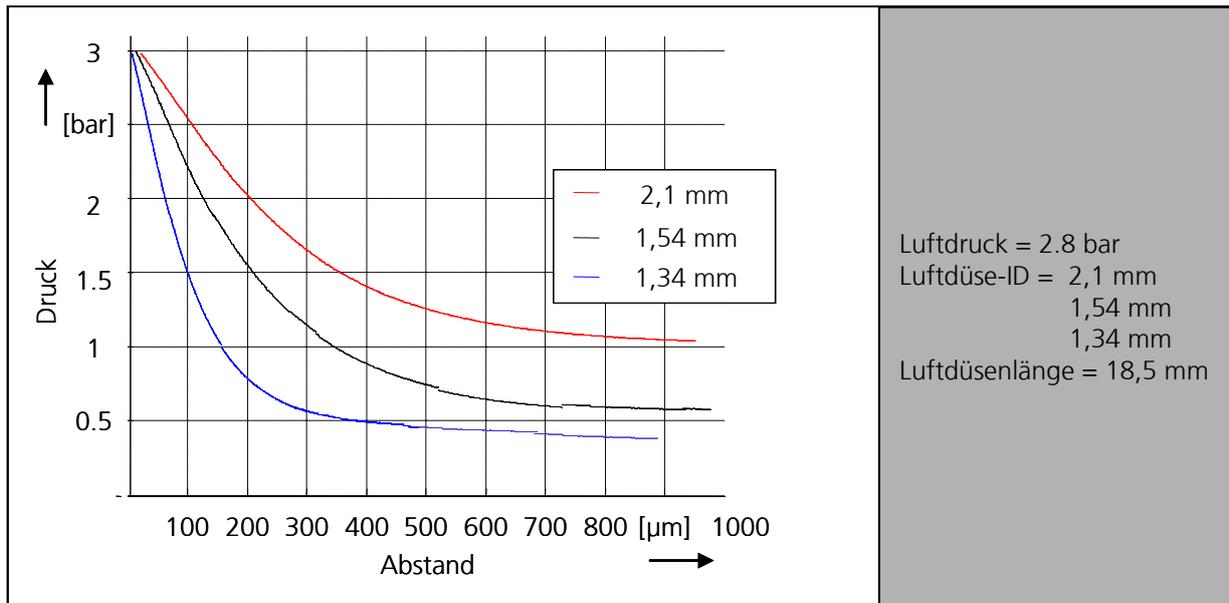


Abbildung 5-22: Druck-Abstands-Diagramm in Abhängigkeit des Nadelinnendurchmessers des pneumatischen Abstandssensors

Wie man aus dem Diagramm entnehmen kann, eignet sich die Nadel mit dem Innendurchmesser 1,54 gut zur Bestimmung des Abstands in dem Bereich 0 bis 300 μm , da die Kurve dort fast linear ist.

In weiteren Versuchen wurde die Länge der Nadel variiert. Hier wurden drei Nadeln mit verschiedenen Längen und gleichen Innendurchmessern in diesem Abstandssensor integriert. Es ergab sich, dass die Nadellänge keine wesentliche Rolle bei der Messung des Abstands spielt (Abbildung 5-23).

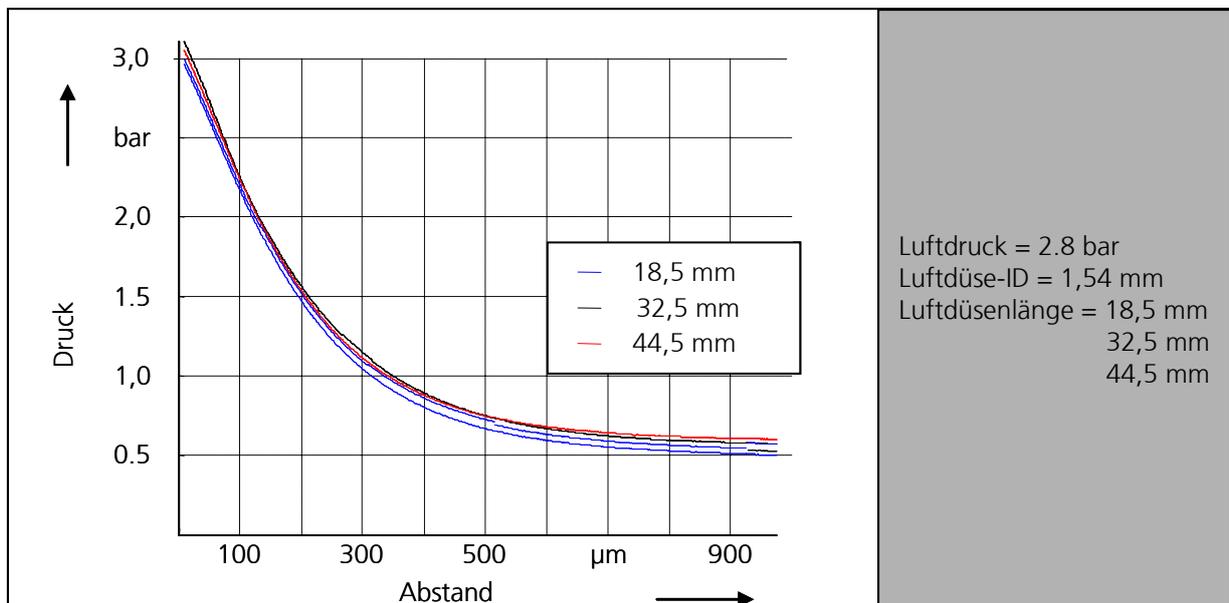


Abbildung 5-23: Druck-Abstands-Diagramm in Abhängigkeit der Nadellänge des pneumatischen Abstandssensors

Bei der Variierung des Luftdrucks ergab sich, dass der Messbereich bei kleineren Druckwerten kleiner wird und dass reproduzierbare Ergebnisse erst ab 3 bar möglich sind (Abbildung 5-24).

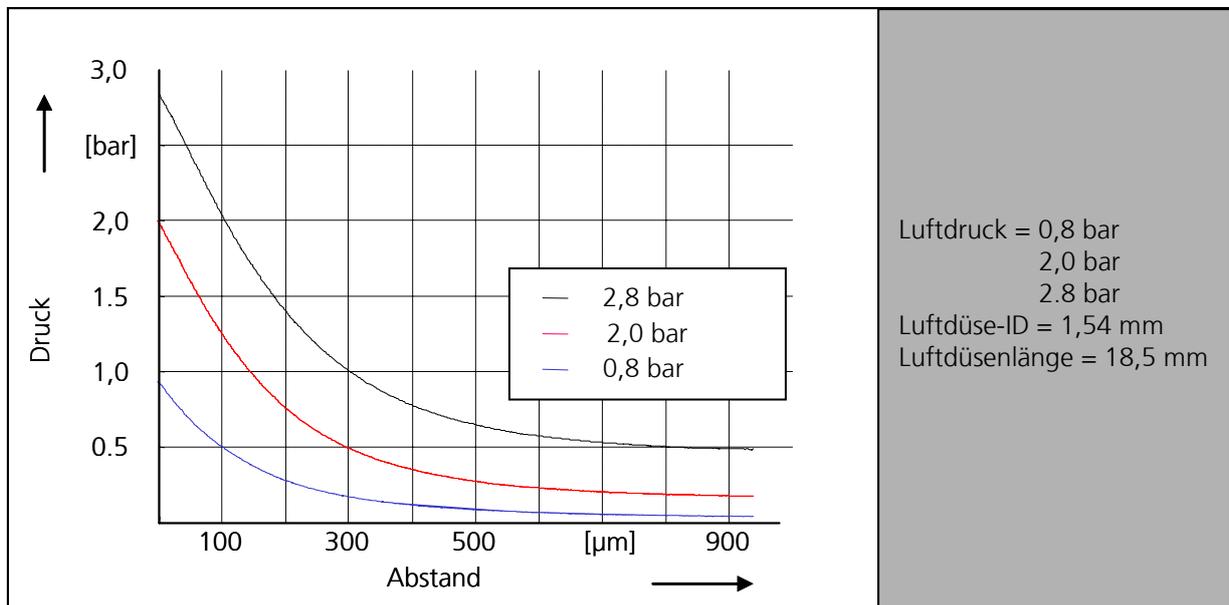


Abbildung 5-24: Druck-Abstands-Diagramm in Abhängigkeit des Luftdrucks

Aufgrund dieser Ergebnisse wurden für den Abstandssensor die in Abbildung 5-25 dargestellten Parameter gewählt.

Parameter	Wert
Luftdruck	3 bar
Nadelinnendurchmesser	1,54 mm
Nadellänge	18,5 mm
Messbereich	0-300 µm

Abbildung 5-25: Parameter des Abstandssensors

Zur Messung des Abstands in Abhängigkeit des gemessenen Luftdrucks wird zunächst die Gleichung für den Verlauf der in Abbildung 5-23 dargestellten Kurve mit dem Programm MatLab™ gerechnet. Daraus ergab sich die folgende Gleichung:

$$P(d) = c_1 e^{-\lambda_1 d} + c_2 e^{-\lambda_2 d} \tag{Formel 5-1}$$

Mit den Konstanten:

$$\begin{aligned} \lambda_1 &= 0,00446 & c_1 &= 2,67496 \\ \lambda_2 &= -0,00051 & c_2 &= 0,27935 \end{aligned}$$

Der Verlauf dieser Gleichung stimmt mit dem experimentell dargestellten Diagramm überein (Abbildung 5-26).

Mit dieser Gleichung ist es möglich, den Dosierabstand vor dem Dosiervorgang zu messen. Man braucht lediglich den Wert des optimalen Dosierabstands einzugeben. Der Roboter bewegt sich dann so lang, bis der Drucksensor den Soll-Wert erreicht. Mit dieser Methode kann der Nadel-Substrat-Abstand präzise gemessen werden.

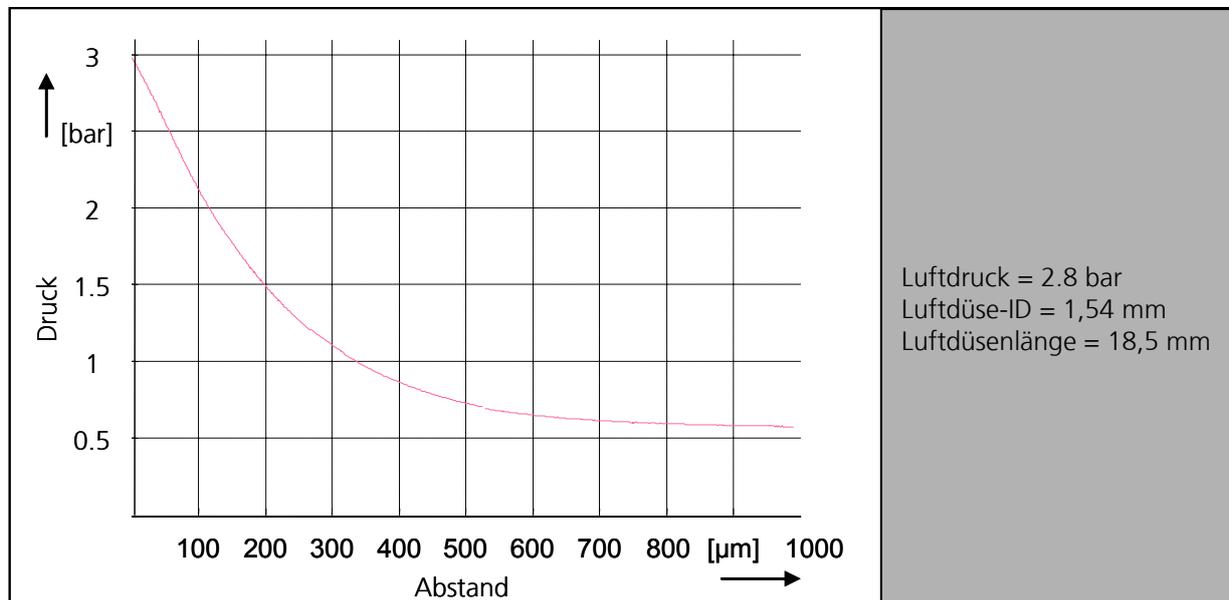


Abbildung 5-26: Druck-Abstands-Diagramm der mit MatLab berechnete Gleichung

5.2.2.6 Bildverarbeitungsmesssystem

Die Analyse hat gezeigt, dass die aufgetragenen Punkte bzw. Linien Defizite zeigen. Selbst Punkte mit einem Durchmesser kleiner als 500 µm und Linien mit einer Linienbreite < 500 µm können mit bestimmten Bildverarbeitungssystemen erfasst werden. Die Defizite können dadurch mit solchen Bildverarbeitungsprogrammen erkannt und gemeldet werden. Um ein für diese Anwendung geeignetes Bildverarbeitungsprogramm zu finden, werden zuerst die möglichen Bildverarbeitungsprogramme vorgestellt.

SCC-Kamera

Das Messprinzip einer SCC-Kamera basiert auf der streifenden Beleuchtung der zu untersuchenden Oberfläche (Abbildung 5-27). Hierdurch wird erreicht, dass auch auf rauen technischen Oberflächen ein ausreichender Kontrast zwischen den aufgetragenen Punkten bzw. Linien und der Oberfläche erzeugt wird. Dieser kann mittels Bildverarbeitungsmethoden dazu genutzt werden, um Punkte oder Linien automatisch zu erfassen. Das System ist geeignet, um Punkte bzw. Linien bis zu einem Durchmesser bzw. einer Linienbreite von ca. 5 µm sicher zu erfassen /Grimme 1998/.

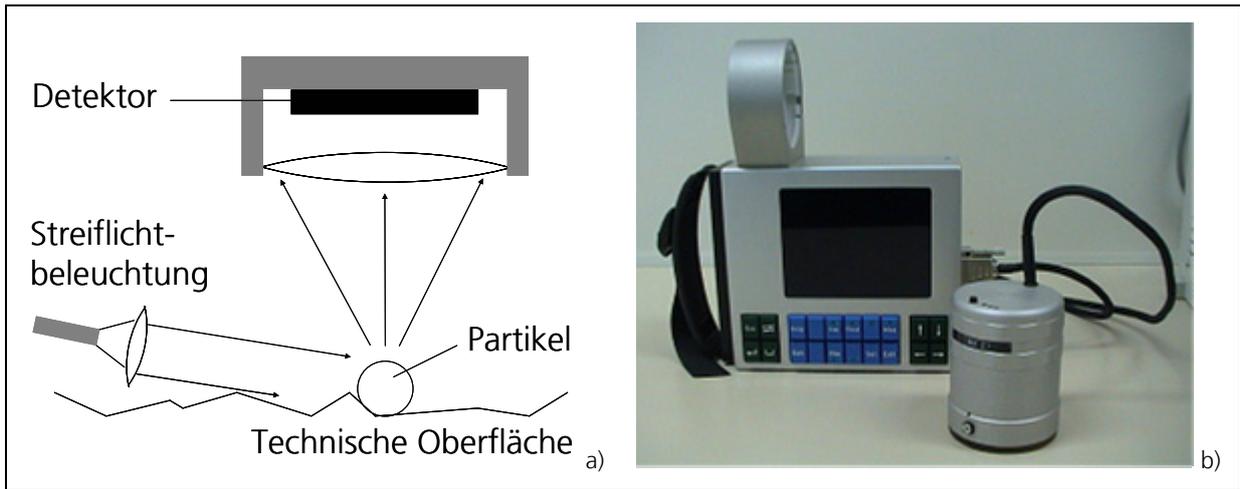


Abbildung 5-27: Prototyp eines Handgeräts zur Erkennung von Punkten bzw. Linien auf Oberflächen
 a) Prinzipskizze der Streiflichtanregung im Prüfkopf /Grimme 1998/
 b) Handgerät mit Prüfkopf

Lasertriangulation

Die Funktionsweise der Lasertriangulation basiert auf der Messung der Reflexion eines auf der zu untersuchenden Oberfläche fokussierten Lichts. Das reflektierte Licht trifft auf einen optischen Sensor und kann mittels der angeschlossenen Software weiterverarbeitet werden. Abbildung 5-28 stellt einen Vergleich der oben dargestellten Varianten dar.

Konzept \ Kriterium	SCC-Kamera	Laser-Triangulation
	A	B
Messbereich	geeignet	geeignet
Auflösung	geeignet	geeignet
Oberflächenabhängigkeit	geeignet	nicht geeignet
Schnelle Bearbeitung	geeignet	nicht geeignet

Abbildung 5-28: Bewertung möglicher Bildverarbeitungssysteme

Die Lösungsvariante A erfüllt also die Anforderungskriterien, die zur Überwachung der mit Leitkleber präzise aufgetragenen Punkte bzw. Linien gestellt werden, in vollem Umfang.

5.3 Realisierung des Mikrodosiersystems

Für die Gesamtkonzeption des Mikrodosiersystems müssen die ermittelten Komponenten in eine geeignete Anordnung gebracht werden. Um exakte Werte bei der Versuchsdurchführung zu erhalten, sind Berechnungen für die Abstände zwischen den einzelnen Komponenten nötig. Sie werden für die korrekten Messungen des Nadel-Substrat-Abstands und der Punkt- bzw. Liniengeometrien benötigt.

Vor dem Dosierprozess werden die Unebenheiten des Substrats mit dem Abstandssensor gemessen. Die Daten, die sich daraus ergeben, werden separat gespeichert, um später mit einem optimalen Dosierabstand Punkte bzw. Linien auftragen zu können. Abbildung 5-29 zeigt die Versuchsanordnung zur Messung der Unebenheiten des Substrats.

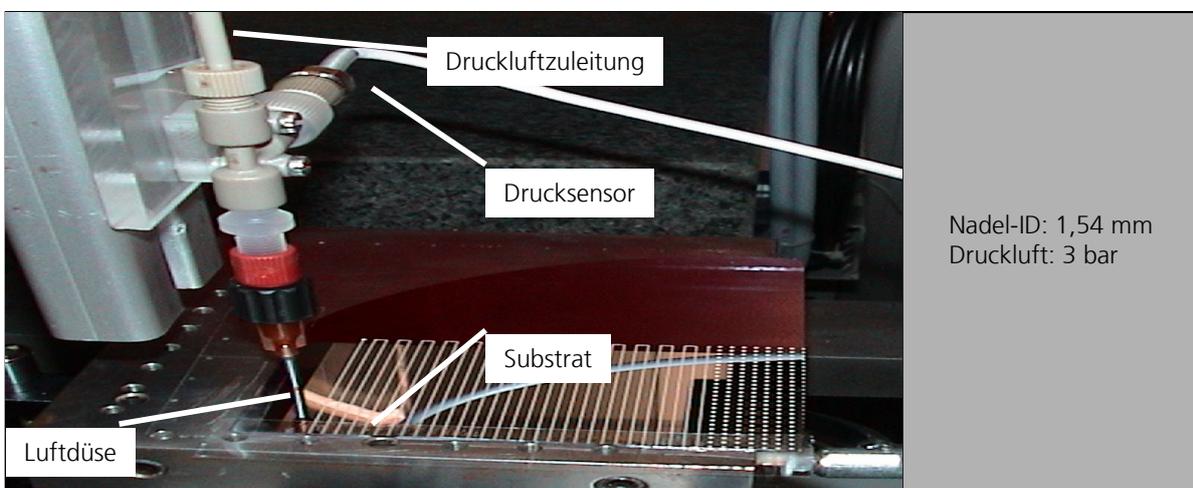


Abbildung 5-29: Anordnung zur Messung der Unebenheiten des Substrats

Abbildung 5-30 a) zeigt den Versuchsaufbau in seiner konzeptionellen Auslegung. Die Dosiernadel und der Abstandssensor, der den Abstand des Substrats von der Nadel ermitteln soll, müssen die gleiche Höhe an einem bestimmten Punkt haben.

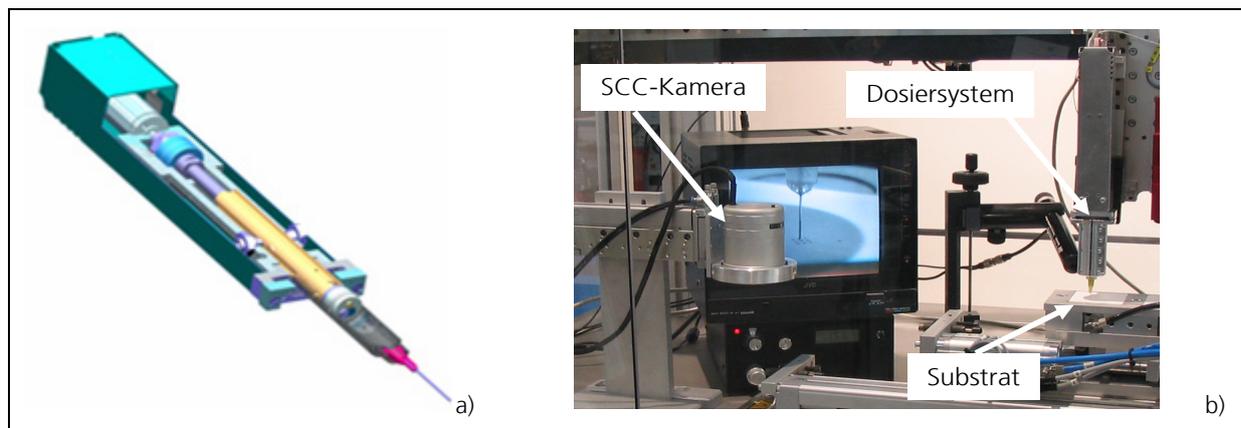


Abbildung 5-30: Anordnung der verwendeten Komponenten im Mikrodosiersystem
a) Schematische Darstellung des Mikrodosiersystems
b) Das Mikrodosiersystem im Einsatz

Nach der Ermittlung des optimalen Dosierabstands werden Punkte bzw. Linien mit dem Mikrodosiersystem aufgetragen. Nach dem Auftrag wird das Substrat, das sich auf einer Linearachse befindet, zu einer bestimmten Position transportiert, damit die Punkte bzw. die Linien mit der SCC-Kamera auf ihre Höhe, Breite und Volumina untersucht werden können. Abbildung 5-30b zeigt die verwendeten Komponenten und deren Anordnung im Versuchsaufbau.

Anschließend werden die Punkte bzw. Linien ausgewertet und grafisch dargestellt (Abbildung 5-31).

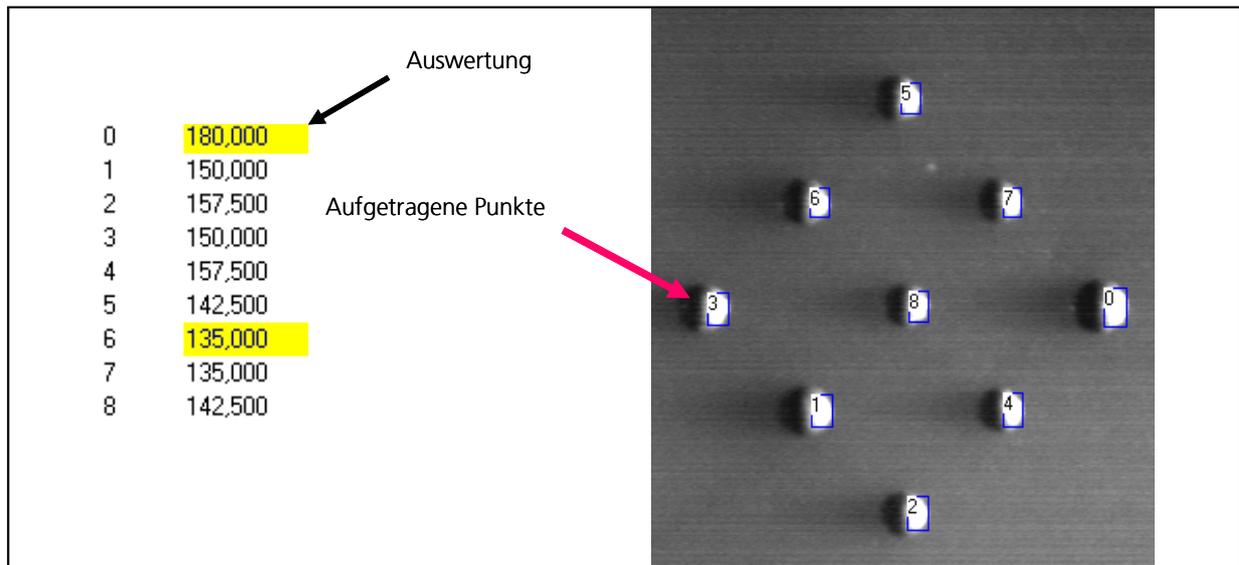


Abbildung 5-31: Aufgenommenes Bild mit dem SCC-Kamera

Anhand dieser Auswertung werden die Ist- und Sollwerte miteinander verglichen und gegebenenfalls die Fehler gemeldet.

5.4 Zusammenfassung

Im Rahmen der Funktionsüberprüfung konnte gezeigt werden, dass das entwickelte Dosiersystem zum präzisen Punkt- und Linienauftrag von hochviskosem Leitkleber geeignet ist. Gleichzeitig wurde bestätigt, dass eine Online-Überwachung mit Hilfe der Bildverarbeitung (SCC-Kamera) zur Regelung möglich ist.

Der größte Teil der an das Dosiersystem gestellten Anforderungskriterien zum präzisen Punkt- und Linienauftrag von hochviskosem Leitkleber wurde bereits erfüllt. Zur eindeutigen Erfüllung der restlichen Anforderungskriterien muss noch die Mikrodosiermethode entwickelt und in Experimenten verifiziert werden (s. nachfolgende Kapitel).

6 Entwicklung einer Mikrodosiermethode zum präzisen Punkt- und Linienauftrag von hochviskosem Leitkleber mit einem geregelten Mikrodosiersystem

6.1 Konzeption der Mikrodosiermethode

Die Mikrodosiermethode beschreibt, wie mit Hilfe des Mikrodosiersystems präziser Punkt- und Linienauftrag von hochviskosem Leitkleber durchzuführen ist. Nach der Vorgabe der Einstellparameter, wie die Viskosität, Nadelinnen- und -außendurchmesser, zur Erzielung bestimmter Geometrienauftrag (Volumen eines Punkts, Querschnittsfläche einer Linie usw.) werden die optimalen Einstellwerte, wie Abstand, Druck und Verfahrensgeschwindigkeit, basierend auf einem Berechnungsalgorithmus übermittelt.

Basierend auf der Mikrodosiermethode werden in Abhängigkeit der erarbeiteten Anforderungskriterien Experimente abgeleitet, mit deren Hilfe das Mikrodosierverfahren verifiziert wird. Bedingung für eine erfolgreiche Verifizierung des Mikrodosierverfahrens ist der Nachweis der Erfüllung der Anforderungskriterien an die Mikrodosiermethode.

6.2 Theoretische Grundlagen und Zusammenhänge

Wie in Kapitel 2 erarbeitet, werden aus den Kenntnissen der Einflussparameter zum präzisen Punkt- und Linienauftrag von hochviskosem Leitkleber die theoretischen Zusammenhänge der zu entwickelnden Mikrodosiermethode zur Berechnung des optimalen Dosierabstands sowie das optimale Verhältnis der Verfahrensgeschwindigkeit des Roboters zu der mittleren Strömungsgeschwindigkeit des Leitklebers in Abhängigkeit von dem Dosierdruck in der Kartusche bzw. vor der Dosiernadel ermittelt. In der nachfolgenden Abbildung 6-1 sind die wichtigsten Parameter der theoretischen Zusammenhänge der zu entwickelnden Mikrodosiermethode grafisch dargestellt.

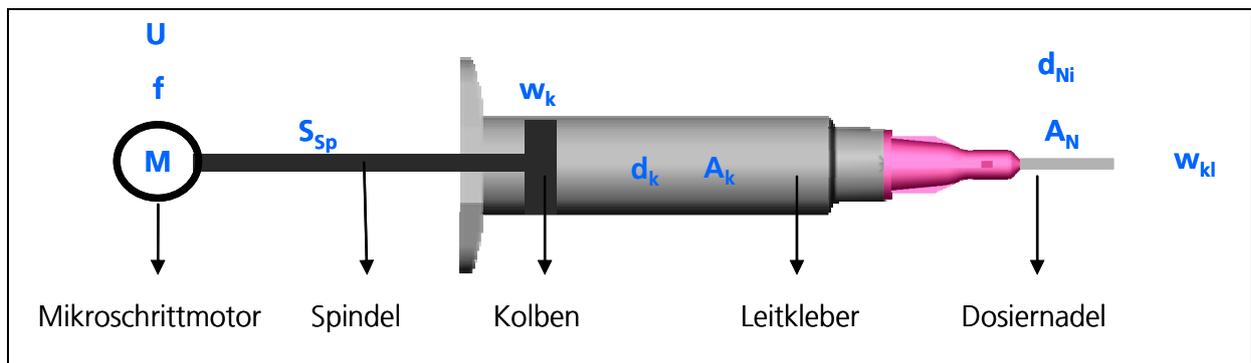


Abbildung 6-1: Anordnung der verwendeten Komponenten und wichtiger Parameter im Mikrodosiersystem

Der Dosiervorgang ist bei der Verwendung eines Kolbendosierers, wie in der Analyse gezeigt wurde, unabhängig vom Temperatureinfluss auf Viskosität und Fließgrenze oder

weiteren zeitlichen oder scherratenabhängigen Veränderungen des Klebstoffs. Daher tritt an der Kapillare genau das Volumen aus, das von dem Dosierkolben verdrängt wurde.

Das durch die Drehung des Mikroschrittmotors gedrängte Volumen kann mit der Formel 6-1:

$$V = \frac{\pi}{4} d_k^2 x_k \quad \text{Formel 6-1}$$

berechnet werden. Wobei

$$x_k = \frac{NS_{sp}}{U} \quad \text{Formel 6-2}$$

Bei sehr kleinen Bewegungen des Kolbens $x_k < 1 \mu\text{m}$ entstehen sehr kleine Menisken an der Spitze der Dosiernadel. Um den Kolben $1 \mu\text{m}$ in die axiale Richtung zu bewegen, muss der Motor (mit $U = 915$ und $S_{sp} = 0,5 \text{ mm}$) 1,83 Umdrehungen machen (Formel 6-2). Dabei entsteht an der Nadelspitze ein Volumen von $0,127 \text{ mm}^3$ (Formel 6-1). Bei dieser Berechnung handelt es sich um einen rechnerischen Soll-Wert. Der Ist-Wert ist abhängig von der Homogenität des Klebers und von den in dem Kleber enthaltenen Luftblasen.

Die Form dieser Menisken ist unter anderem vom Leitkleber abhängig. Um das Volumen (Ist-Wert) des entstehenden liegenden Meniskus und des hängenden Meniskus zu bestimmen, müssen diese Menisken auf Substrate aufgetragen werden und anschließend mit einem geeigneten Bildverarbeitungssystem vermessen werden. Das Problem dabei ist, wie schon bei der Analyse erwähnt wurde, dass es bei der Berührung mit einem Substrat nicht zu einem vollständigen Auftrag kommt. Deshalb muss der hängende Meniskus solange nach jedem Auftrag aufgetragen werden, bis an der Nadelspitze kein hängender Meniskus bleibt. Die Punkte, die sich auf dem Substrat befinden, werden mit einem Laser-Scanning-Mikroskope nach Volumen gemessen, ausgewertet und mit dem Soll-Wert verglichen (Abbildung 6-2).

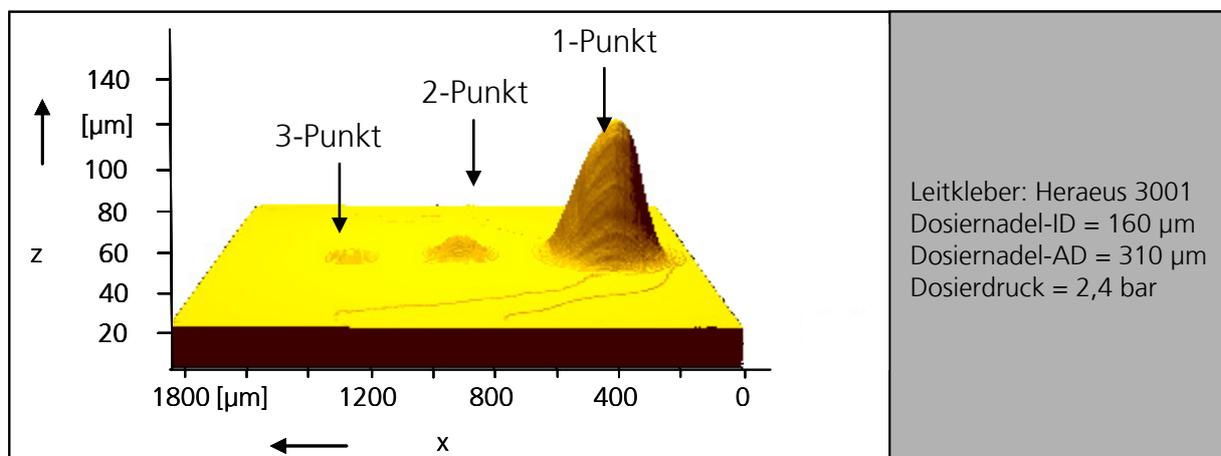


Abbildung 6-2: Bildaufnahme mit dem LSM

Die Summe der Volumina aller aufgetragenen Punkte (Ist-Volumen) werden addiert und in einem Diagramm dargestellt (Abbildung 6-3).

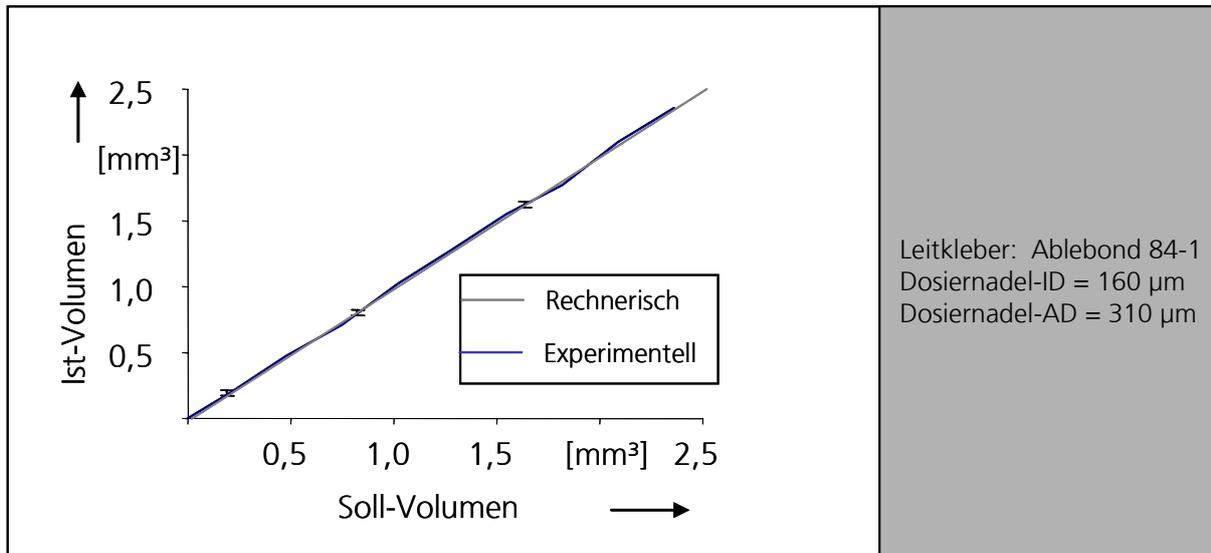


Abbildung 6-3: Grafische Darstellung der Ist- und Soll-Volumina

Aus diesem Versuch lässt sich folgern, dass mit dem konzipierten Kolbendosierer eine exakte Einstellung eines Ist-Werts möglich ist. Wie die Untersuchungen zeigen, ist der Ist-Wert des dosierten Volumens hierbei von der Anzahl der Umdrehungen des Mikroschrittmotors, der Untersetzung und der Spindelsteigung abhängig.

6.2.1 Ermittlung des optimalen Dosierabstandes

6.2.1.1 Punktdosierung

Die oben durchgeführten Versuche zur Bestimmung des Verhältnisses des Ist-Volumens zum Soll-Volumen haben gezeigt, dass sich nach einem Punktauftrag kein hängender Meniskus bildet, wenn der Meniskus an der Dosiernadel ein bestimmtes Volumen und eine bestimmte Höhe besitzt. In diesem Fall findet ein vollständiger Auftrag statt.

Das Problem dabei ist, das Volumen bzw. die Höhe des Meniskus zu bestimmen. In den oben durchgeführten Versuchen mit den Leitklebern Heraeus 3001 und Ablebond 84-1, für $0,1 \mu\text{m} < x_k < 1 \mu\text{m}$, weil sich in diesem Bereich ein symmetrischer Meniskus bildet, wurde festgestellt, dass der Durchmesser und das Volumen des ersten Punktes von der Größe des Meniskus abhängt.

Nach dem ersten Punktauftrag bildet sich an der Nadelspitze ein hängender Meniskus. Nach dem Auftrag dieses hängenden Meniskus bildet sich wieder an der Spitze der Dosiernadel ein Klebstoffrest als hängender Meniskus zurück. Die Geometrien des zweiten aufgetragenen Punktes haben im Gegensatz zu dem ersten aufgetragenen Punkt nahezu konstante Volumina, Höhe und Durchmesser. Bei dem dritten Punkt handelt es sich um eine besondere Eigenschaft des Leitklebers, weil sich, nach dem Auftrag des

dritten Punktes, Punkte mit konstantem Volumen, Durchmesser und Höhe, bilden und weil nach diesem Auftrag kein Klebstoffrest als hängender Meniskus zurückbleibt.

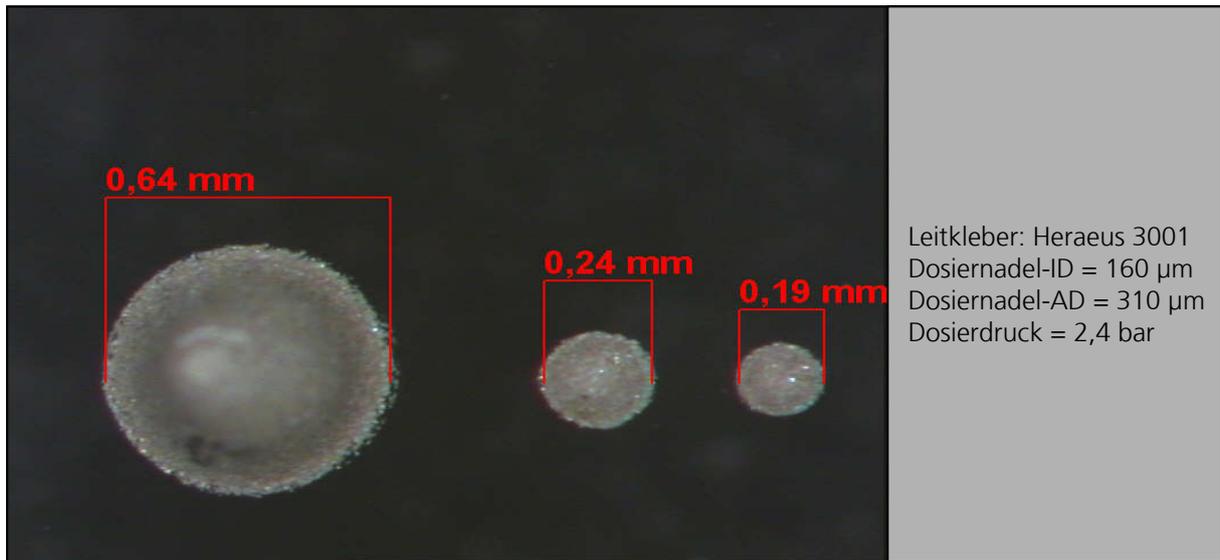


Abbildung 6-4: Bildaufnahme mit dem Axio-vision

Der optimale Dosierabstand des dritten Punktes kann während des Auftrags ermittelt werden. Das Volumen hingegen soll zuerst vermessen werden, um die Drehzahl des Mikroschrittmotors zur Erzeugung des Soll-Werts aus der Formel 6-1 zu berechnen.

Nachfolgende Abbildung 6-5 zeigt die mehrstufige Vorgehensweise zur Bestimmung eines definierten Volumens bzw. einer Höhe zum präzisen Punktauftrag von hochviskosem Leitkleber.

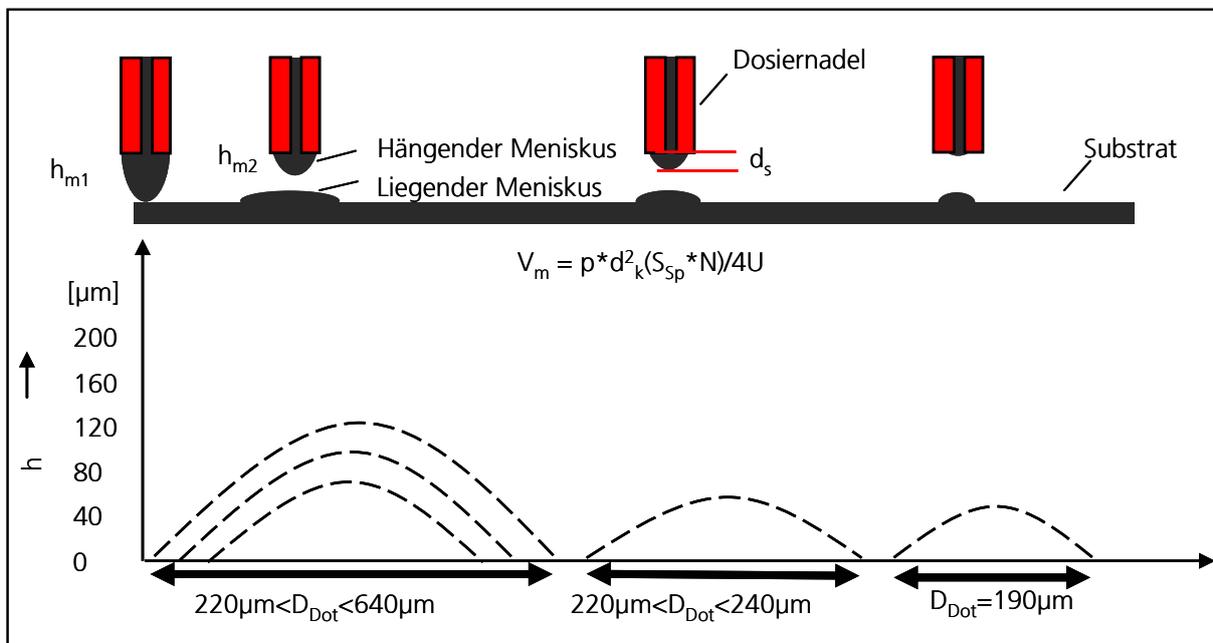


Abbildung 6-5: Methode zur Bestimmung des optimalen Dosierabstands

Je nach Anzahl der Drehungen bzw. Wert des beaufschlagten Drucks bilden sich, bei dem ersten Punktauftrag, Punkte mit einem Durchmesser zwischen 220 μm und 640 μm . Bei dem zweiten Punktauftrag ergab sich ein Spektrum zwischen 220 μm und 240 μm . Bei dem dritten Punktauftrag war der Durchmesser immer konstant und betrug 190 μm .

Nachfolgende Abbildung 6-6 verdeutlicht schematisch die mehrstufige Vorgehensweise für die Bestimmung des Meniskusvolumens zur Bestimmung des optimalen Dosierabstands sowie des Dosiervolumens, die zum präzisen Punktauftrag benötigt werden.

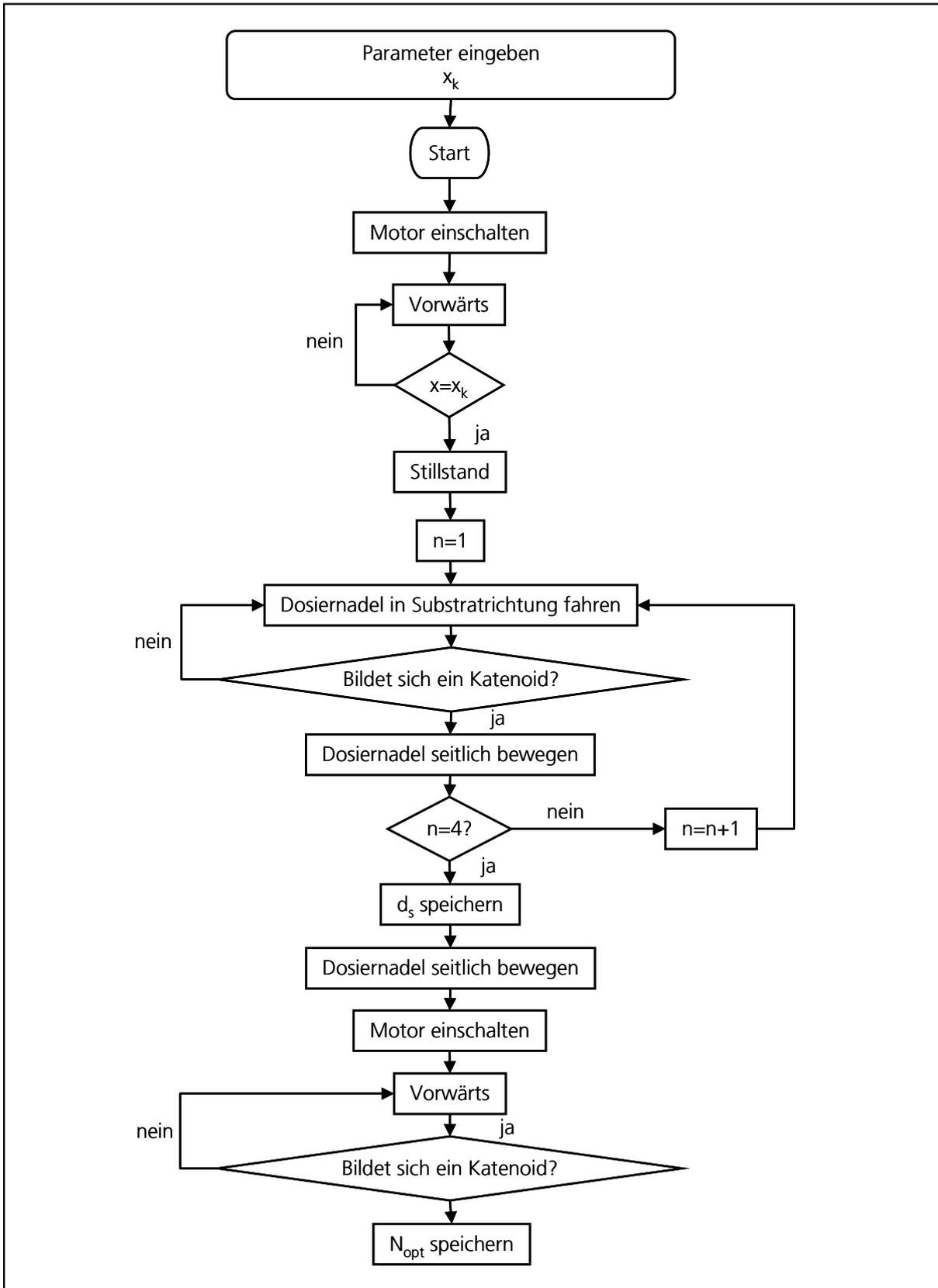


Abbildung 6-6: Methodik zur Berechnung des optimalen Dosierabstands und Dosiervolumens

6.2.1.2 Liniendosierung

Um den Dosierabstand bei dem Linienauftrag zu bestimmen, muss das oben durchgeführte Verfahren wiederholt werden. Wenn die Ermittlung des optimalen Abstands abgeschlossen ist, kann das Dosiersystem mittels eines Handhabungssystems in Bewegung gesetzt werden. In diesem Fall muss das richtige Verhältnis zwischen der Verfahrgeschwindigkeit des Roboters und der mittleren Strömungsgeschwindigkeit des Leitklebers aus der Nadel ermittelt werden, da es sonst zu Defiziten im Linienauftrag kommen kann.

6.2.2 Ermittlung des Geschwindigkeitsverhältnisses

Zur vereinfachten Betrachtung der Geschwindigkeitsverteilung in den verschiedenen Flüssigkeitsschichten einer Flüssigkeit in einer Dosiernadel, um auf das einfache Gesetz des Hagen-Poiseuille zurückzugreifen, wird von nur einer Sorte Flüssigkeit ausgegangen, die homogen ist.

Durch die Zugrundelegung einer stationären Strömung herrscht innerhalb der betrachteten Dosiernadel an jedem Ort und in jedem Zeitschritt eine mittlere Strömungsgeschwindigkeit w_{kl} . Dafür braucht es einen gewissen Druckunterschied, um überhaupt fließen zu können, da die Flüssigkeit naturgemäß zäh ist. Diese Zähigkeit (Viskosität) wird mit η bezeichnet. Von Schicht zu Schicht wirkt eine Kraft, die die Geschwindigkeitsunterschiede zwischen den Schichten ausgleichen will. Diese Kraft ist proportional zur Fläche, dem Geschwindigkeitsunterschied, der Viskosität und antiproportional zum Abstand der Schichten (Formel 6-3). Also:

$$F \sim A; F \sim \Delta w_{kl}; F \sim \eta; F \sim \frac{1}{\Delta h} \quad \text{Formel 6-3}$$

Hieraus erhält man die Kraft, die von einer Schicht auf die nächste wirkt. Da der Geschwindigkeitsunterschied und der Abstand der Schichten zueinander verschwindend gering ist, kann der Differenzenquotient als Ableitung dw/dh geschrieben werden und man gelangt für die Kraft zu folgendem Ausdruck:

$$F = A\eta \frac{\partial w_{kl}}{\partial h} \quad \text{Formel 6-4}$$

Nun wirkt auf die Flüssigkeit in der Dosiernadel zum einen die Druckkraft aus Fläche mal Druck, wobei die Fläche eine Kreisfläche ist, also $F = \pi r^2(p_1 - p_2)$, die die Flüssigkeit beschleunigt.

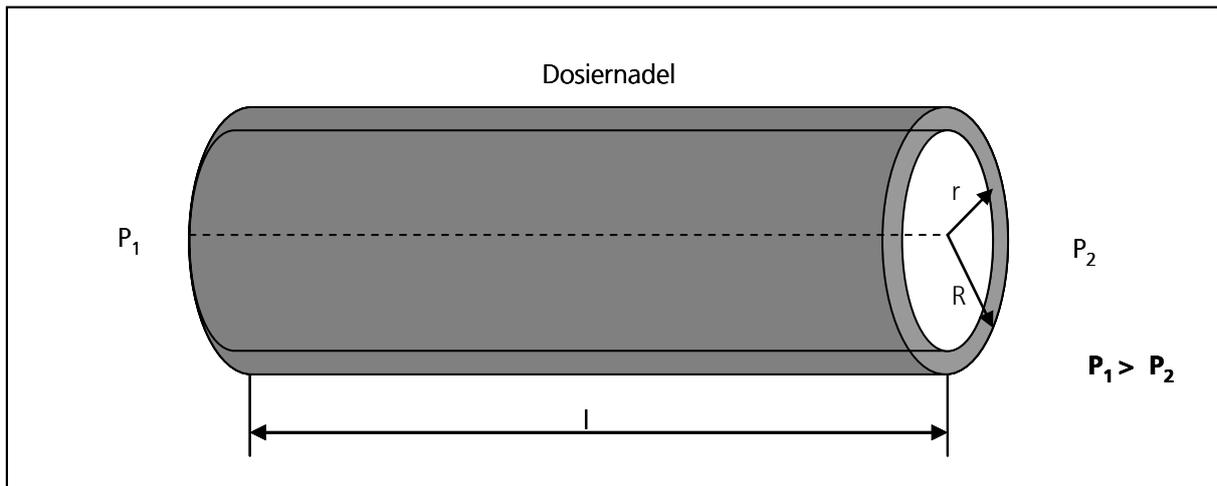


Abbildung 6-7: Zur Herleitung der Hagen-Poiseulleschen Gleichung

Zum zweiten wirkt die Reibungskraft, oben beschrieben, als bremsende Kraft. Wobei hier nun die Fläche A die Rohrmantelfläche ist, die sich aus dem Umfang mal der betrachteten Dosiernadellänge l berechnet:

$$F = 2\pi r l \eta \frac{\partial w_{kl}}{\partial h} \quad \text{Formel 6-5}$$

An der Dosiernadelwand heben sich nun beide Kräfte gerade auf, die Flüssigkeit haftet an der Dosiernadelwand, so dass die Addition beider Kräfte 0 ergibt. Somit ist die Schubkraft gleich der Reibungskraft, die in entgegengesetzte Richtung wirkt. Als Kräftebilanz erhält man:

$$\pi r^2 (P_1 - P_2) = -2\pi r l \eta \frac{\partial w_{kl}}{\partial h} \quad \text{Formel 6-6}$$

Es lässt sich $\pi \cdot r$ herauskürzen und die Gleichung umgestellt von dem betrachteten Radius r bis zum Dosiernadelinnenradius R integrieren. Auf der rechten Seite wird das Geschwindigkeitsprofil von der unbekanntes Geschwindigkeit, die abhängig vom betrachteten Nadelinnenradius ist, bis zur Geschwindigkeit 0 integriert, die an der Dosiernadelinnenwand herrscht.

$$\int_r^R (P_1 - P_2) r dr = -2l\eta \int_{w(r)}^0 \frac{\partial w_{kl}}{\partial h} \quad \text{Formel 6-7}$$

Durch Integration bekommt man:

$$\frac{1}{2} (P_1 - P_2) (R^2 - r^2) = 2l\eta w_{kl}(r) \quad \text{Formel 6-8}$$

Um das Geschwindigkeitsprofil zu erhalten, muss man nun nur noch das Ganze nach $w_{kl}(r)$ umstellen:

$$w_{kl}(r) = \frac{(P_1 - P_2)}{2l\eta} (R^2 - r^2) \quad \text{Formel 6-9}$$

Dieses Geschwindigkeitsprofil ist ein Paraboloid.

Mehr als das Geschwindigkeitsprofil des Leitklebers in der Dosiernadel, interessiert uns der Volumenstrom, also die Stromstärke in dieser Dosiernadel. Dafür muss man sich jeden einzelnen Hohlzylinder anschauen. Da diese verschiedene Geschwindigkeiten haben, wird für jeden einzelnen das pro Zeit geflossene Volumen berechnet. Dabei ist die betrachtete Fläche $A = \pi r dr$. Die Stromstärke wird durch i bezeichnet und durch das Volumen pro Zeit bestimmt. Durch Integration der Fläche mal dem Geschwindigkeitsprofil erhält man den Volumenstrom. Als Formel ausgedrückt (Hagen - Poiseuille – Gesetz):

$$i = \frac{\Delta V}{\Delta t} = \int_0^R 2\pi r w_{kl}(r) dr = \frac{\pi (P_1 - P_2)}{8\eta l} R_{Ni}^4 \quad \text{Formel 6-10}$$

Damit haben wir die Geschwindigkeitsverteilung des Leitklebers in einer Dosiernadel und seinen Volumenstrom ermittelt. Es zeigt sich, dass der Volumenstrom von r^4 abhängig ist, und wenn man den Dosiernadelinnenradius nur um ein wenig verändert, dann verändert sich der Volumenstrom um ein Mehrfaches. Eine Vergrößerung um ein Viertel des Dosiernadelinnenradius ergibt eine 256-fachstel Vergrößerung des Volumenstroms (Abbildung 6-8).

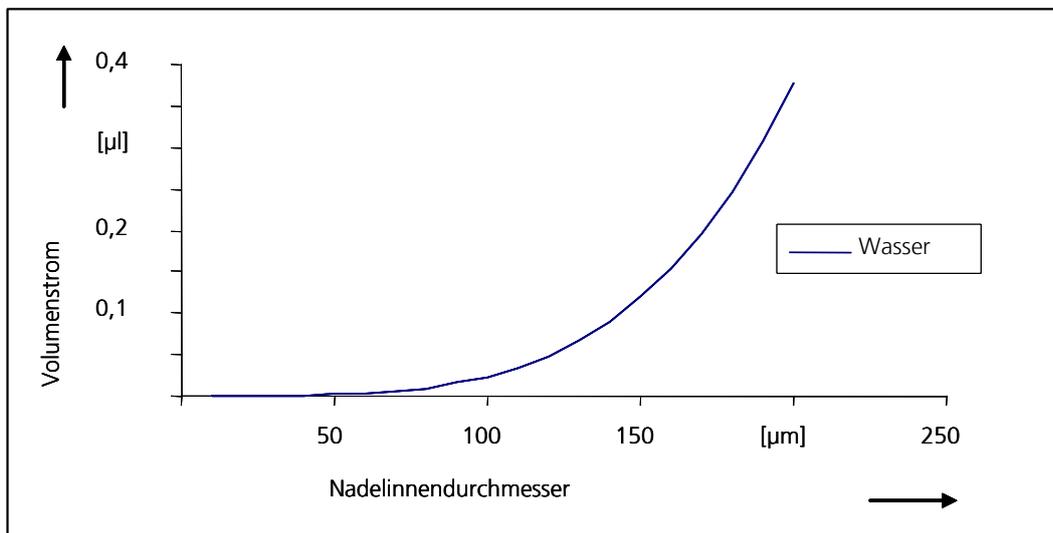


Abbildung 6-8: Volumenstrom in Abhängigkeit des Dosiernadelinnenradius

Um den Volumenstrom in Abhängigkeit von der Geschwindigkeit des Kolbens zu bestimmen, gilt:

$$w_k A_k = w_{kl} A_{kl} = i$$

Formel 6-11

Auf der Basis der oben dargestellten theoretischen Zusammenhänge ist nachfolgend die Herleitung der Geschwindigkeit beschrieben, mit der sich der Kolben bewegen soll, um einen bestimmten Volumenstrom zu erreichen.

$$w_k = \frac{1}{8\eta} \frac{(P_1 - P_2)}{l} \frac{R_{kl}^4}{R_k^2}$$

Formel 6-12

In einem weiteren Berechnungsschritt kann in Verbindung mit den Formeln Formel 6-11 und Formel 6-12 die Ermittlung der Roboterverfahrgeschwindigkeit w_R erfolgen, die erforderlich ist, um eine Linie mit bestimmter Breite bzw. Querschnitt A_l zu dosieren.

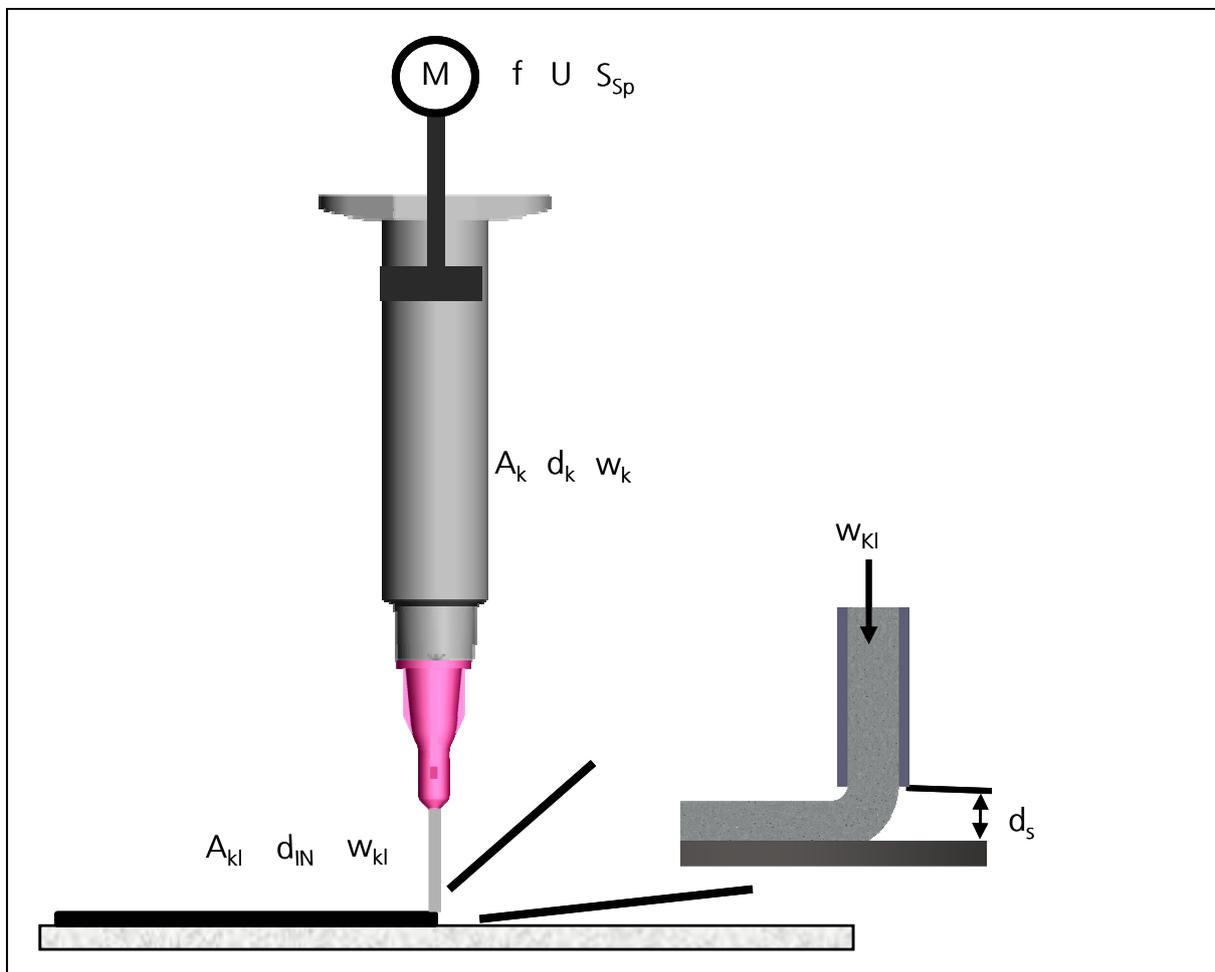


Abbildung 6-9: Linienauftrag

In der Aufbau- und Verbindungstechnik ist der Querschnitt eines elektrischen Leiters von großer Bedeutung. Um eine Linie zu dosieren, die eine bestimmte Querschnittsfläche A_l hat, muss die Verfahrgeschwindigkeit des Roboters an den Volumenstrom des

Leitklebers angepasst werden. Auf der Basis der oben dargestellten theoretischen Betrachtungen ergibt sich die folgende Beziehung zwischen dem Volumenstrom und der Verfahrensgeschwindigkeit.

$$A_i w_R = i \rightarrow A_i = \frac{i}{w_R} \quad \text{Formel 6-13}$$

Diese Formel ist allgemein und gilt für ein bestimmtes Verhältnis der Querschnittsfläche des Klebers zu der Fläche der Dosiernadel.

Zur Bestimmung des optimalen Verhältnisses A_{Ni}/A_i werden in Kapitel 7 Versuche mit unterschiedlichen Verfahrensgeschwindigkeiten des Roboters und unterschiedlichen Leitklebern durchgeführt. Der optimale Dosierabstand wird hierbei vor jedem Versuch für jeden Leitkleber eingestellt.

Das Verhältnis w_R/w_{Kl} kann auch bei einer konstanten Verfahrensgeschwindigkeit des Roboters w_R variiert werden, wenn die mittlere Strömungsgeschwindigkeit des Klebers w_{Kl} geändert wird. Die mittlere Strömungsgeschwindigkeit ist abhängig von dem eingestellten Druck in der Kartusche, der wiederum von der Drehzahl des Mikroschrittmotors abhängig ist. Die Zahl der Umdrehungen pro Sekunde, die der Mikroschrittmotor machen soll, um diesen Druck P_2-P_1 zu erreichen, beträgt:

$$\frac{N}{t} = \left(\frac{1}{8\eta} \frac{(P_1 - P_2) R_{Kl}^4}{l R_k^2} \right) \frac{U}{S_{sp}} \quad \text{Formel 6-14}$$

Nachfolgende Abbildung 6-10 verdeutlicht schematisch die mehrstufige Vorgehensweise für die Bestimmung des Meniskusvolumens zur Bestimmung des optimalen Dosierabstands.

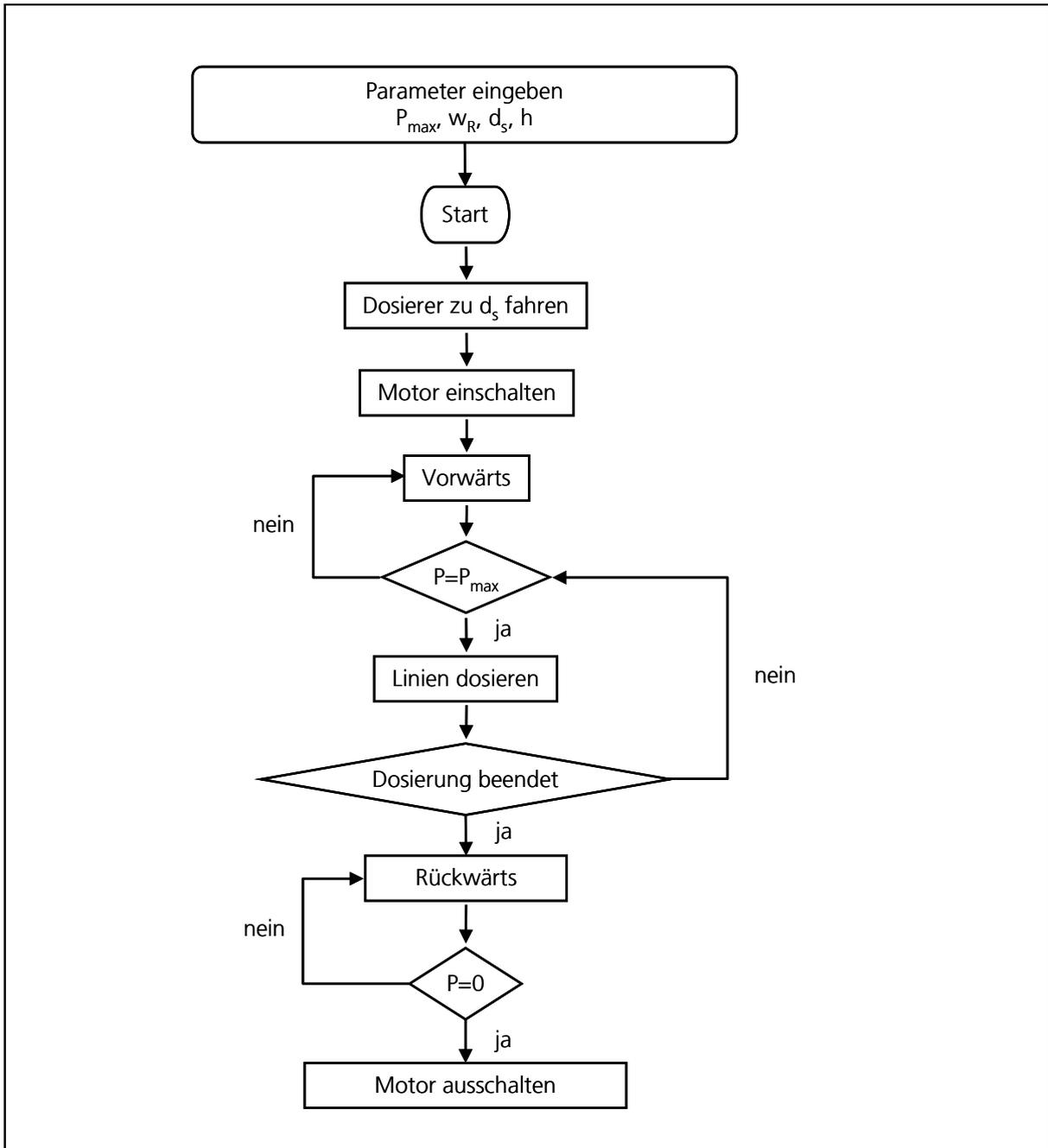


Abbildung 6-10: Methodik zur Liniendosierung

6.2.3 Ermittlung des Füllstandes

Da der Kolben in der Kartusche den Kleber ständig berührt, ist die aktuelle Position des Kolbens mit dem Füllstand identisch. Die Position des Kolbens kann mit der Formel 6-2 ermittelt werden. Mit Hilfe eines Enkoders werden die Umdrehungen gezählt und mit der Formel 6-2 kann die exakte Position des Kolbens berechnet werden. Die aktuelle Position des Kolbens ist wichtig für die Regelung des Drucks. Vor dem Erreichen der Endposition gibt das System ein Signal, um die leere Kartusche zu wechseln.

6.2.4 Ermittlung des Nachtropfvolumens

Zur Messung des Volumens während des Druckabbaus in Abhängigkeit von der Zeit wurde zunächst die Gleichung für den Verlauf des Drucks der in Abbildung 5-23 dargestellten Kurve mit dem Programm MatLab™ gerechnet. Daraus ergab sich die folgende Gleichung:

$$P(d) = c_1 e^{-\lambda_1 d} + c_2 e^{-\lambda_2 d} \quad \text{Formel 6-15}$$

Die Konstanten, die von den Eigenschaften der jeweiligen Flüssigkeit abhängen, betragen beispielsweise für Ablebond 84-1:

$$\begin{array}{ll} \lambda_1 = 0,00793 & c_1 = 1,01777 \\ \lambda_2 = 0,00029 & c_2 = 4,51492 \end{array}$$

und für Glycerin:

$$\begin{array}{ll} \lambda_1 = 0,15645 & c_1 = 3,65895 \\ \lambda_2 = 0,01804 & c_2 = 1,84679 \end{array}$$

Das Volumen, das innerhalb der Zeit Δt aus der Dosiernadel fließt, kann mit der Formel 6-16 berechnet werden.

$$V = \frac{\pi}{8\eta l} R_{NI}^4 \int_{t_1}^{t_2} P(t) dt \quad \text{Formel 6-16}$$

6.3 Ableitung von Experimenten zur Verifizierung des Dosierverfahrens

Die Ableitung der Experimente orientiert sich an den erarbeiteten Anforderungskriterien an das Mikrodosierverfahren. Ein definierter Versuchsablauf, ausgewählte Leitkleber, Dosiernadel und eine geeignete Versuchsumgebung bilden die Rahmenbedingungen für die durchzuführenden Experimente. Für jedes zu verifizierende Anforderungskriterium wird ein Experiment definiert. Die Versuchsabläufe der einzelnen Versuche müssen dabei identisch ablaufen. Hier kommt einem geeigneten Roboter der Firma Sysmelec besondere Bedeutung zu. So wird sichergestellt, dass die Ergebnisse der einzelnen Experimente, was die Verfahrensgeschwindigkeit, Genauigkeit etc. betrifft, untereinander vergleichbar sind.

6.3.1 Randbedingungen für die Experimente

6.3.1.1 Auswahl von Leitklebern

Die Verifizierung des Dosierverfahrens muss mit zwei unterschiedlichen isotropischen hochviskosen Leitklebern vorgenommen werden. Zur besseren Vergleichbarkeit der Ergebnisse sollten die physikalischen Parameter der verwendeten Leitkleber, wie z. B.

Viskosität und Größe der Leitpartikel nicht zu stark voneinander differieren. Die Datenblätter der verwendeten Leitkleber sind im Anhang 2 und Anhang 3 beigefügt.

6.3.1.2 Auswahl von Dosiernadel

Im Wesentlichen kommt fast immer die Standarddosiernadel mit Luer-lock-Anschluss für die Dosieraufgaben mit Leitkleber in Frage. Die Verifizierung des Dosierverfahrens wird hier mit zwei verschiedenen Dosiernadeln vorgenommen:

	Innendurchmesser [mm]	Außendurchmesser [mm]	Länge [mm]	Material
Nadel A	0,09-0,13	0,23-0,24	14,4-10,8	Nylon/Edelstahl
Nadel B	0,14-0,18	0,3-0,32	15,2-11,5	Nylon/Edelstahl

Abbildung 6-11: Geometrie und Material der verwendeten Dosiernadel

Der Außendurchmesser ist ein wichtiges Funktionsmerkmal. Durch diesen Durchmesser wird der Durchmesser des an der Kapillare hängenden Meniskus mitbestimmt. Die Länge und der Innendurchmesser der Kapillare haben sehr großen Einfluss auf den Volumenstrom. Deshalb müssen diese Geometrien (Nadelinnendurchmesser, Nadelaußendurchmesser und Länge) vor jedem Versuch mit einer neuen Dosiernadel gemessen werden. Jede kleine Abweichung besonders bei dem Nadelinnendurchmesser hat Einfluss auf die Versuchsergebnisse.

6.3.1.3 Geeignete Prüfumgebung

Um eine unerwünschte Kontamination der Substrate durch die unmittelbare Versuchsumgebung, durch den Versuchsaufbau oder den Versuchsdurchführenden zu vermeiden, müssen die Experimente in einer reinen Umgebung durchgeführt werden. Die Durchführung der Versuche in einer Umgebung mit höchsten Anforderungen an die Reinheit der Versuchsumgebung gewährleistet das reproduzierbare Durchführen von Experimenten auch mit gering kontaminierten Oberflächen.

Als Versuchsumgebung wird ein Reinraumlabor der Luftreinheitsklasse 5, ISO14644 gewählt.

6.3.2 Experimente zur Verifizierung des Mikrodosierverfahrens

Nachfolgend werden die notwendigen Experimente für eine Verifizierung der jeweiligen Anforderungskriterien an das Mikrodosierverfahren beschrieben.

Dosiergenauigkeit

Auf der Basis des in Kapitel 6.2.1 und Kapitel 6.2.2 entwickelten Berechnungsalgorithmus in Verbindung mit zwei unterschiedlichen Kapillaren (mit unterschiedlichen Geometrien) und zwei unterschiedlichen Leitklebern (mit unter-

schiedlichen Viskositäten und Füllstoffen) für verschiedene Verfahrgeschwindigkeitseinstellungen erfolgt die Untersuchung der Genauigkeit der erzielten Ergebnisse.

Reproduzierbarkeit der aufgetragenen Punkte bzw. Linien

Für die Untersuchung der Reproduzierbarkeit wird für jede Einstellung ein Versuch durchgeführt. Um die Reproduzierbarkeit der aufgetragenen Punkte zu untersuchen, werden pro Versuch 10.000 Punkte dosiert und anschließend werden 100 Punkte ausgewertet. Die Auswertung beinhaltet die Messung des Durchmessers, des Volumens und der Höhe der dosierten Punkte bzw. Linien.

Für die Untersuchung der Reproduzierbarkeit der Linien werden 100 Linien aufgetragen und anschließend 10 Linien ausgewertet. Die Auswertung der aufgetragenen Linien beinhaltet die Messung der Linienbreite und der Querschnittsfläche.

Messgenauigkeit des Dosierabstands

Der Dosierabstand ist ein erforderliches Kriterium zum präzisen Punkt- und Linienauftrag. Deshalb muss dieser Abstand vor dem Dosierprozess bestimmt werden. Dazu ist es zuerst erforderlich, die Unebenheiten des Substrats zu messen.

Zur Bestimmung der Genauigkeit des Dosierabstands werden ebenso verschiedene Versuchsreihen mit unterschiedlichen Substraten und Luftdüsen mit unterschiedlichen Innendurchmessern durchgeführt. Für jede Einstellung werden 1000 Positionen vermessen und anschließend werden die Ergebnisse ausgewertet. Nach der Auswertung soll herausgefunden werden, bei welchem Abstand Luftdüse-Substrat die Luftdüse zur Abstandsmessung am besten geeignet ist.

Ermittlung des Verhältnisses w_r/w_{kl}

Zur Bestimmung des optimalen Bereiches, in dem gerade noch Linien aufgetragen werden können, sodass keines der in der Analyse dargestellten Defizite auftritt. Für die Ermittlung dieses Verhältnisses werden 50 Linien mit verschiedenen Verfahrgeschwindigkeiten (1 cm/s bis 90 cm/s) aufgetragen.

Die aufgetragenen Linien werden zuerst optisch ausgewertet, um die Grenzen zu bestimmen, bei denen weder Unterbrechung noch Raupenbildung entstehen. Die Linien in diesem optimalen Bereich werden dann nach Querschnittsfläche und Volumen untersucht, um eine Aussage über das Verhalten der Volumenverteilung in Abhängigkeit von der Verfahrgeschwindigkeit des Roboters treffen zu können.

Gesichertes Erkennen der aufgetragenen Geometrien

Das gesicherte Erkennen der aufgetragenen Geometrien ist erforderlich. Hierbei spielen die Geschwindigkeit und die Genauigkeit eine besondere Rolle. Das Experiment muss zeigen, dass die aufgetragenen Geometrien zuverlässig erkannt und Fehler gemeldet werden können.

6.3.3 Versuchsablauf zur Verifizierung des Prüfverfahrens

Um die Ergebnisse untenstehender Experimente miteinander vergleichen zu können, sind identische Versuchsabläufe und konstante Randbedingungen für die Untersuchungen erforderlich. Grundlegend für eine Vergleichbarkeit der Ergebnisse ist daher eine konstante Einstellung des Versuchsaufbaus. Nachfolgende Tabelle zeigt die erarbeiteten Parameter des Versuchsaufbaus für die Durchführung der Experimente.

Mikrodosiersystem	Mikroschrittmotor	Drehzahl	1 bis 7000 Umdrehungen/min
		Untersetzung	915 bzw 450
	Spindel	Steigung	0,5 mm
	Kartusche	Volumen	5 cm ³
Substrat	Wafer	Rauigkeit	R _a =,126 μm R _z =0,581 μm
	Keramik	Rauigkeit	R _a =5,197 μm R _z =33,643 μm
Leitkleber	Heraeus 3001	Viskosität	10,9 Pa.s
		Größe der Leitpartikel	10 bis 12 μm
	Ablebond 84-1	Viskosität	8 Pa.s
		Größe der Leitpartikel	10 bis 12 μm
Dosiernadel	Für Dosierversuche (Kapitel 6.3.1.2)		
Luftdüse	Für Abstandsmessung Luftdüse-Substrat (Kapitel 5.2.2.5)		

Abbildung 6-12: Verwendete Parameter des Mikrodosierverfahrens und Einstellungen des Versuchsaufbaus für die Durchführung der Experimente zur Verifizierung des Mikrodosierverfahrens zum präzisen Punkt- und Linienauftrag von hochviskosem Leitkleber

6.4 Zusammenfassung

Im Rahmen der Funktionsüberprüfung konnte gezeigt werden, dass das entwickelte Mikrodosiersystem zum präzisen Punkt- und Linienauftrag von hochviskosem Leitkleber geeignet ist. Gleichzeitig wurde bestätigt, dass eine Regelung bestimmter Parameter mit Hilfe des Mikrodosiersystems möglich ist.

Eine sichere und schnelle Überwachung der aufgetragenen Geometrien kann mit Hilfe der SCC-Kamera erfolgen, ohne dass die Produktion dadurch beeinflusst wird.

Das an das Mikrodosiersystem gestellte Anforderungskriterium zum präzisen Punkt- und Linienauftrag von hochviskosem Leitkleber mit einem geregelten Mikrodosiersystem wurde bereits erfüllt. Zur eindeutigen Erfüllung des Anforderungskriteriums muss dieses jedoch in Experimenten mit der als Detektor ausgewählten Kamera verifiziert werden (s. nachfolgende Kapitel).

Das Anforderungskriterium der Messung und Regelung muss in weiteren Untersuchungen verifiziert und erprobt werden.

7 Verifizierung des Mikrodosierverfahrens zum präzisen Punkt- und Linienauftrag von hochviskosem Leitkleber mit einem geregelten Mikrodosiersystem

Aufbauend auf den theoretischen Betrachtungen und den Dosierversuchen wurden mit Hilfe des erstellten Versuchsaufbaus umfangreiche Versuchsreihen zum Dosieren bestimmter Volumina zum Kleben elektrischer Bauelemente und Antennen mit einem bestimmten Widerstandswert durchgeführt. Diese Versuchsreihen sollen zum einen zur Überprüfung der Theorie dienen und zum anderen den Einfluss weiterer Verfahrensparameter sowie die Grenzbereiche des Verfahrens klären.

Das Ablaufschema der Versuche ist in Abbildung 7-1 dargestellt. Um eine systematische Vorgehensweise gewährleisten zu können, wurde die Vielzahl der Prozessparameter, wie schon in der Analyse erwähnt wurde, in drei Kategorien "nicht veränderbare Parameter", "veränderbare Parameter vor dem Dosierprozess" und "veränderbare Parameter während des Dosierprozesses" eingeteilt.



Abbildung 7-1: Ablaufschema der Versuche

7.1 Abstandsmessungen

Vor einem Dosiervorgang muss zunächst die Position der Stellen, auf die der Klebstoff aufgetragen werden soll, sorgfältig gemessen werden, da diese Stellen nicht immer eben sind. Eine kurze Beschreibung der im Rahmen dieser Arbeit untersuchten Substrate ist in Abbildung 7-2 dargestellt. Die Angaben zu den Rauigkeiten stützen sich auf eigene Untersuchungen mit dem Laser-Scanning-Mikroskope.

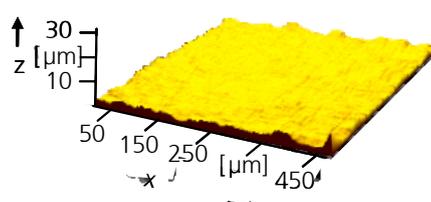
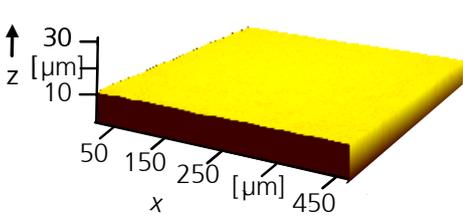
Substrat	LSM-Aufnahme	Rauigkeitsangaben
Keramik		$R_a=5,197 \mu\text{m}$ $R_z=33,643 \mu\text{m}$
Silizium-Wafer		$R_a=0,126 \mu\text{m}$ $R_z=0,581 \mu\text{m}$

Abbildung 7-2: Charakterisierung der untersuchten Substrate

In den nachfolgenden Versuchen handelt es sich um die Bestimmung des optimalen Dosierabstandes einerseits für den Punktauftrag und andererseits für den Linienauftrag. In den beiden Fällen müssen die Positionen der beiden Dosiernadeln (Dosiernadel und Luftdüse zur Messung der oben gezeigten Unebenheiten) exakt definiert. Mit dem benutzten Handhabungssystem ist es möglich, die Position der beiden Spitzen bis auf $0,5 \mu\text{m}$ zu positionieren. Die Auflösung der Messungen, mit der die Luftdüse arbeiten soll, hängt von der Art des Auftrags ab. Deshalb teilt sich die Messung in:

Diskontinuierliche Messung

Nach der Eingabe der Auftragspositionen in den Rechner wird der Abstandssensor (Luftdüse) von dem Roboter (Handhabungssystem) zu den einzelnen Auftragspunkten gefahren. Die Referenzhöhe des Abstandssensors von dem Substrat muss vor dem Messvorgang eingegeben werden. Diese Referenzhöhe, bei der die Messung stattfinden soll, ist abhängig von der Dosiernadel.

In den nachfolgenden Versuchen beträgt dieser Abstand $150 \mu\text{m}$. Nach der Messung des Luftdrucks fährt der Abstandssensor weitere $150 \mu\text{m}$ hoch und geht weiter mit diesem Gesamtabstand von $300 \mu\text{m}$ zum nächsten Punkt.

Nach dem Speichern der einzelnen Messungen werden die Werte mit der Formel in Abbildung 5-26 verglichen und anschließend wird die Abweichung durch die Unebenheiten des Substrats berücksichtigt, um später bei dem Auftrag mit dem optimalen Dosierabstand Leitkleber auftragen zu können.

In Abbildung 7-3 ist eine Versuchsanordnung zur Messung der Positionen, auf denen Punkte aufgetragen werden sollen (P_1 - P_4). Zunächst wird die Luftdüse zu einem Soll-Abstand (Referenzhöhe) von 150 μm über das Substrat gebracht. An dieser Stelle ergibt sich ein Druckwert. Dieser Druckwert (Ist-Druck) wird verglichen mit dem aus der Formel 5-1 errechneten Druck (Soll-Druck). Ist der Ist-Druck mit dem Soll-Druck identisch, dann ist der Abstand zwischen der Luftdüse und dem Substrat 150 μm . Sind die beiden Werte unterschiedlich, dann kann die Abweichung mit der Formel 5-1 berechnet werden und anschließend kann der Ist-Abstand ermittelt werden.

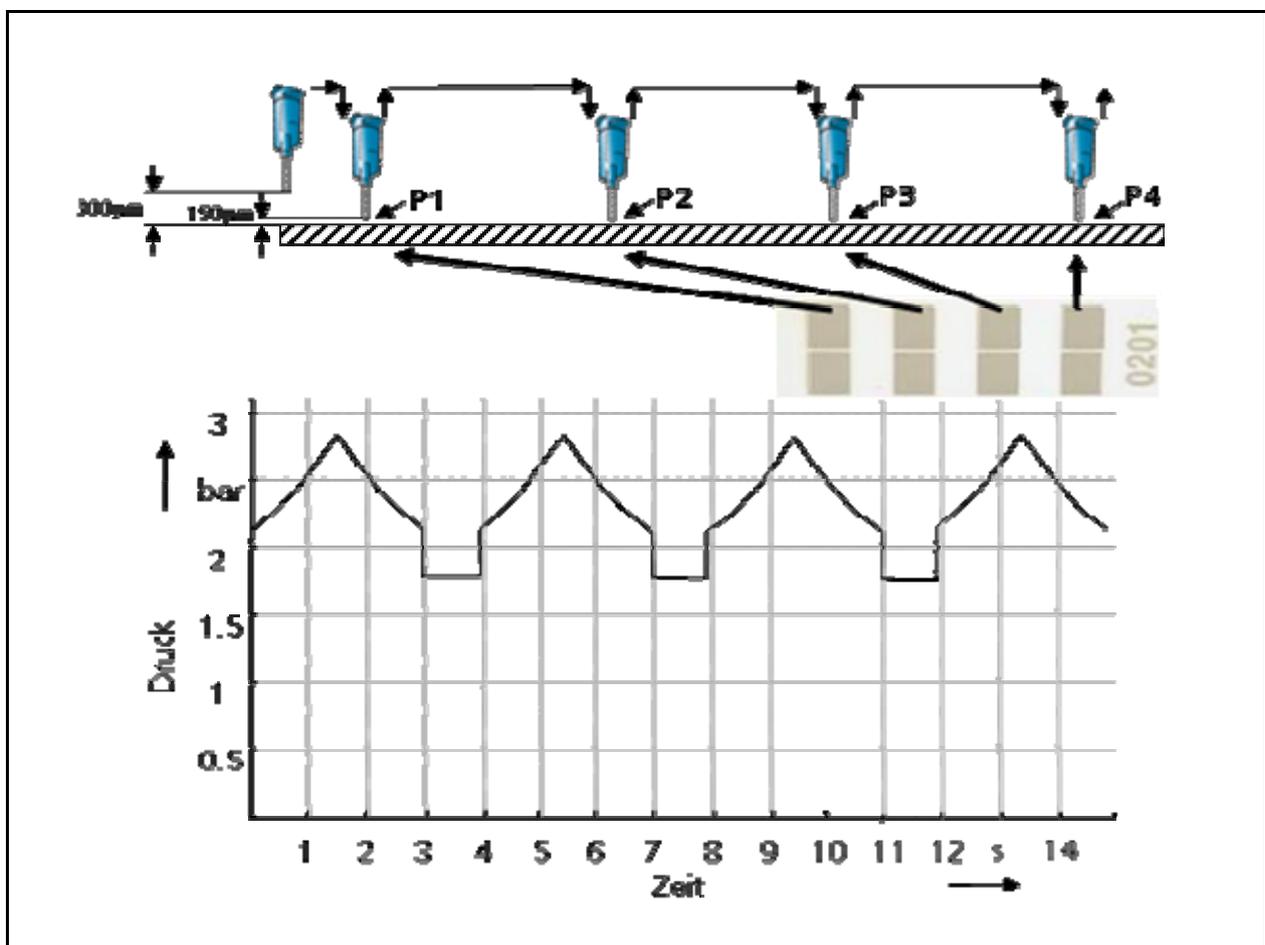


Abbildung 7-3: Versuchsanordnung zur Messung des optimalen Dosierabstands beim Punktauftrag

Kontinuierliche Messung

Nach der Eingabe der Liniengeometrien in den Rechner wird der Abstandssensor (Luftdüse) von dem Roboter zur Anfangsposition gebracht. Die Höhe (Referenzhöhe) des Abstandssensors von dem Substrat muss vor dem Messvorgang eingegeben

werden. Diese Höhe, bei der die Messung stattfinden soll, beträgt, wie bei dem diskontinuierlichen Auftrag, $150\ \mu\text{m}$. Nach dem Speichern der einzelnen Messungen werden die Werte mit der Formel in der Abbildung 5-26 verglichen und anschließend wird die Abweichung berechnet.

In Abbildung 7-4 ist eine Versuchsanordnung zur Messung des optimalen Dosierabstands. Zunächst wird der Abstandssensor zu einem Soll-Abstand von $150\ \mu\text{m}$ über das Substrat gebracht. An dieser Stelle ergibt sich ein Druckwert. Dieser Druckwert (Ist-Druck) wird verglichen mit dem aus der Formel errechneten Druck (Soll-Druck). Ist der Ist-Druck mit dem Soll-Druck identisch, dann ist der Abstand zwischen dem Abstandssensor und Substrat optimal ($150\ \mu\text{m}$). Sind die beiden Werte unterschiedlich, dann kann die Abweichung mit der Formel in der Abbildung 5-26 berechnet werden.

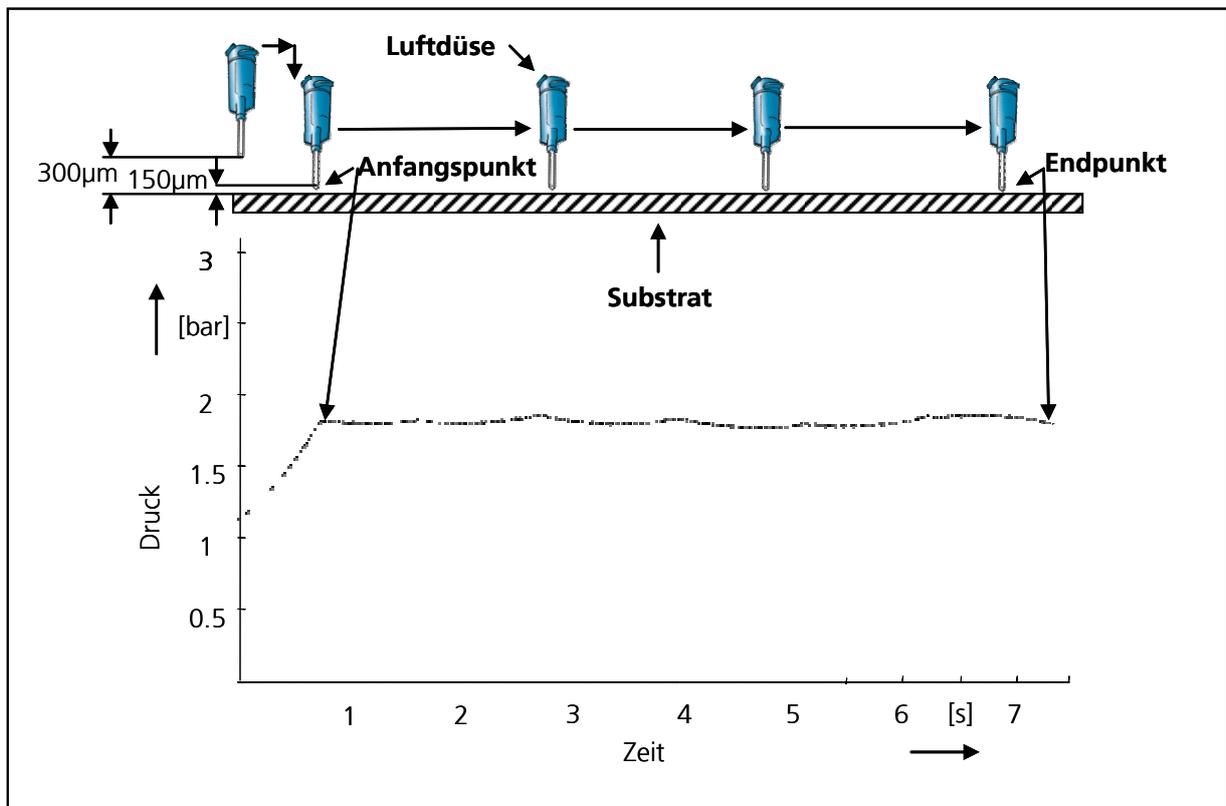


Abbildung 7-4: Versuchsanordnung zur Bestimmung des optimalen Dosierabstands beim Linienauftrag

Nach der experimentellen Bestimmung der Unebenheiten der Substrate und damit der Auftragsposition und zum Vergleich der in der Konzeption abgeleiteten numerischen Lösungen der Gleichung zur Abschätzung der Anzahl der Drehungen zum Erreichen eines bestimmten Volumens wurden Versuche zur Messung der realen geförderten Volumen durchgeführt.

7.2 Punktauftrag

7.2.1 Volumenbestimmung durch die Anzahl der Drehungen

Es gibt insgesamt zwei Möglichkeiten um ein bestimmtes Volumen durch die Dosiernadel zu fördern:

- Am Anfang eines Dosiervorgangs ist der Druck in der Kartusche und vor der Dosiernadel gleich null. Erst wenn der Mikroschrittmotor anfängt zu rotieren, dann baut sich der Druck in der Kartusche auf. Nach einer bestimmten Zeit, in der der Druck in der Kartusche aufgebaut wird, wird der Druck in der Kartusche konstant. Der Verlauf des Drucks in Abhängigkeit von den Drehungen ist in Abbildung 7-5 dargestellt. Dieser Druck ist, wie schon in der Analyse erwähnt, abhängig von der Viskosität und dem Dosiernadelinnendurchmesser.

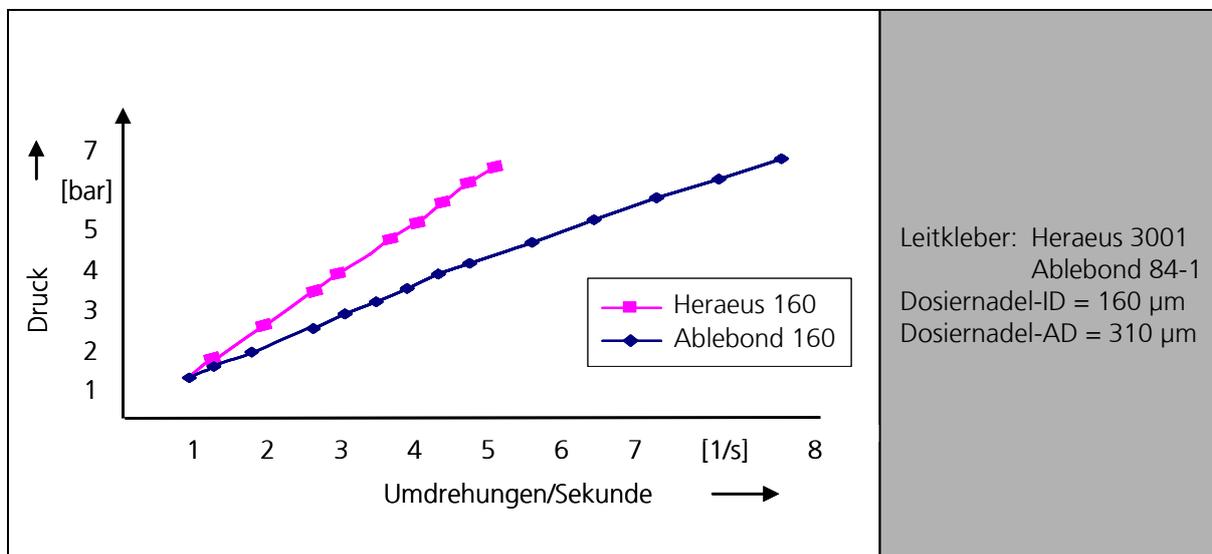


Abbildung 7-5: Der Druck vor der Dosiernadel in Anhängigkeit der Drehungen

Das Volumen, das durch diese Drehungen entstanden ist, wurde mit dem Volumen, das man mit der Formel 6-14 berechnet, verglichen. Das Ergebnis ist in Abbildung 7-6 dargestellt.

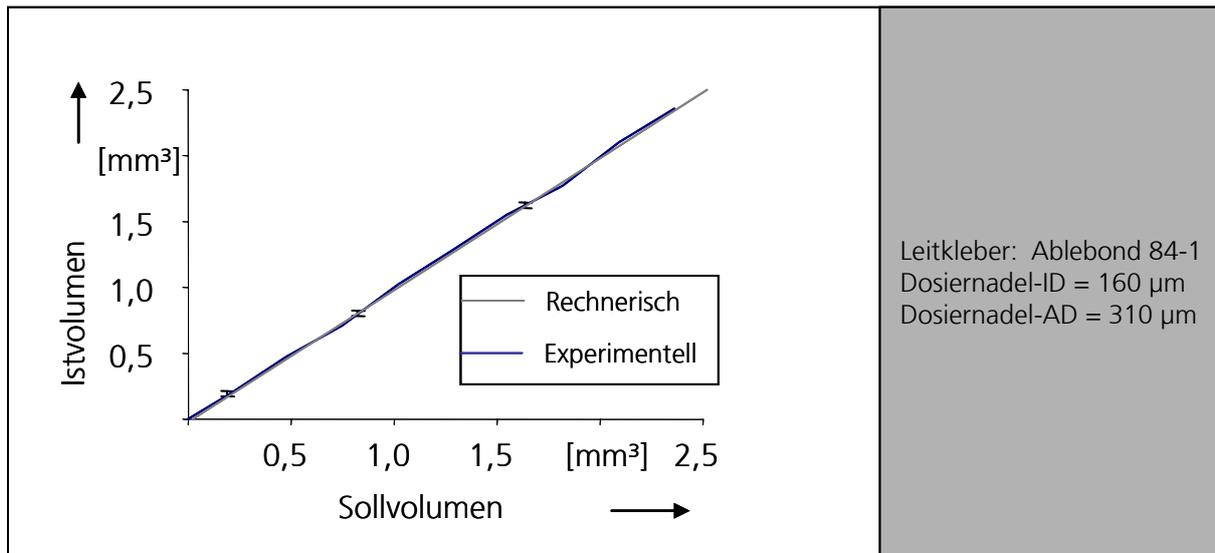


Abbildung 7-6: Vergleich zwischen dem gemessenen und dem berechneten Volumen

Der Vergleich zeigt, dass es eine gewisse Übereinstimmung zwischen den berechneten und den experimentell erreichten Ergebnissen gibt. Bei den durchgeführten Versuchen ergab sich ein Fehlerprozent von +/- 1,5.

7.2.2 Volumenbestimmung durch den Druckaufbau und -abbau

Die Zeit, die nötig ist, um den Druck zu erreichen, der in der Abbildung 7-5 dargestellt ist, hängt unter anderem von der Untersetzung des Getriebes, der Spindelsteigung und den Umdrehungen ab, die der Motor pro Sekunde macht.

Der Mikroschrittmotor ist in der Lage 7000 Umdrehungen/Minute zu machen. Mit dieser Geschwindigkeit kann der nötige Druck innerhalb kürzester Zeit erreicht werden. In Abbildung 7-7 ist der Druckaufbau für zwei verschiedene Leitkleber mit 3000 Umdrehungen/Minute dargestellt.

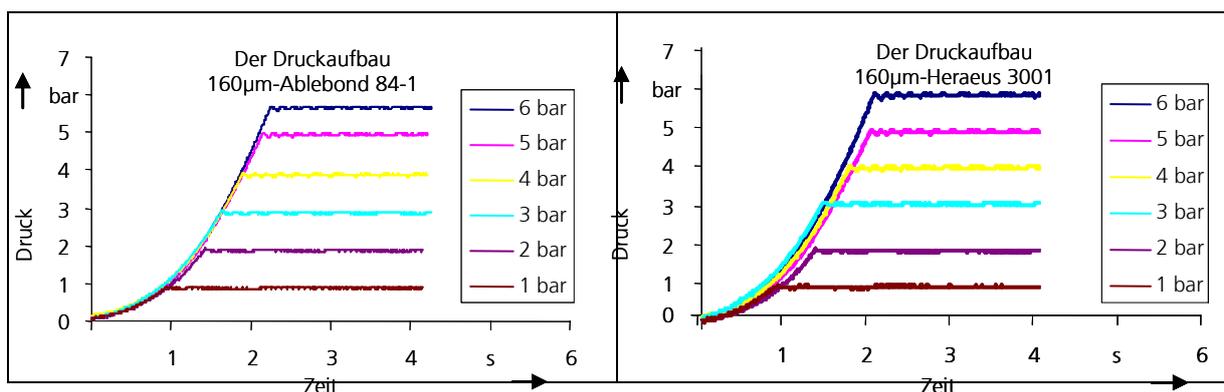


Abbildung 7-7: Druckaufbau in Anhängigkeit der Zeit für zwei verschiedene Leitkleber

Mit der in der Konzeption abgeleiteten Formel ist es möglich, das Volumen während des Aufbaus zu berechnen. Wenn dieser Druck, nach dem Erreichen eines bestimmten Wertes, abgebaut wird, dann kommt aus der Dosiernadel genau das gleiche Volumen

heraus wie bei dem Druckaufbau. Die Zeit, in der der Druck abgebaut wird, ist der Zeit zum Druckaufbau gleich. In Abbildung 7-8 ist der Druckaufbau und -abbau grafisch dargestellt.

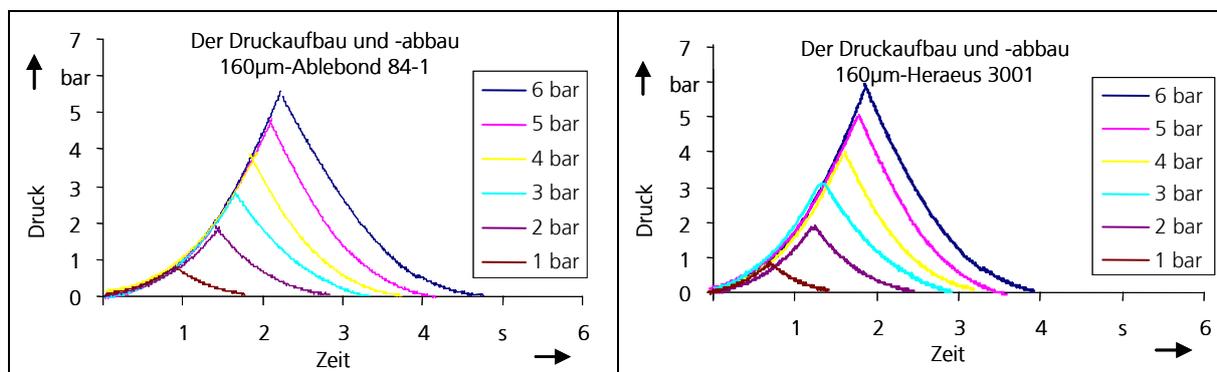


Abbildung 7-8: Der Druckaufbau und -abbau in Abhängigkeit der Zeit für zwei verschiedene Leitkleber

Diese besondere Eigenschaft kann ausgenutzt werden. Wenn der Dosierer mit der vorgegebenen Geschwindigkeit des Motors einen bestimmten Druck erreicht und danach der Druck in der Kartusche auf null gebracht wird, dann bildet sich ein Meniskus mit einem bestimmten Volumen. Abbildung 7-9 zeigt, dass es eine sehr gute Übereinstimmung zwischen den berechneten und den experimentell erreichten Ergebnissen gibt.

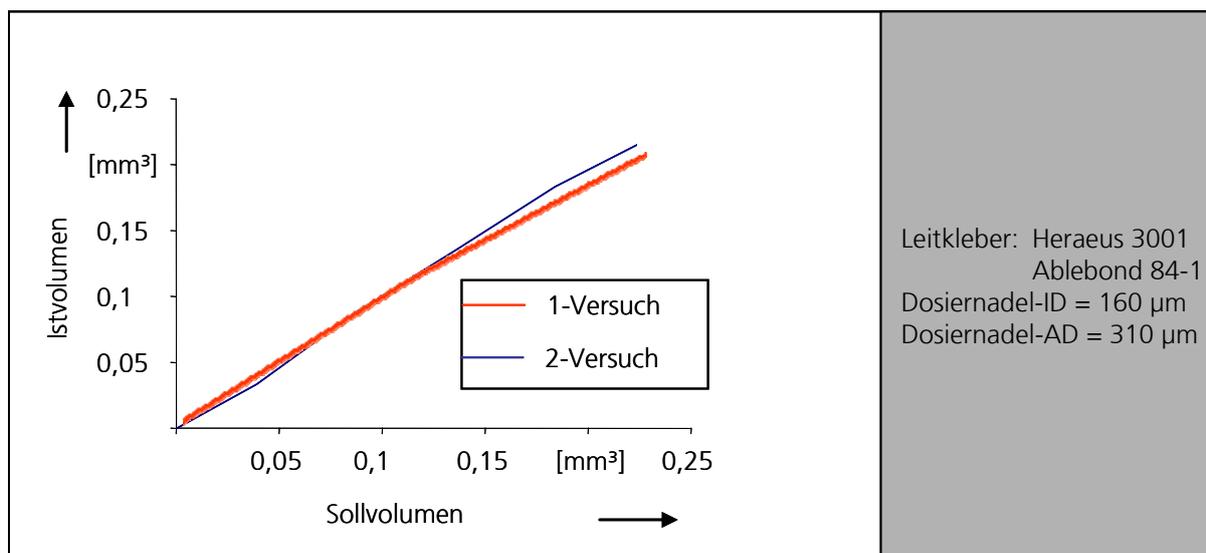


Abbildung 7-9: Ist-Volumen und Soll-Volumen für zwei verschiedene Leitkleber

7.3 Dosierversuche zum Punktauftrag

Nach der Bestimmung des optimalen Dosierabstandes und nach der Entscheidung, mit welcher der oben genannten Möglichkeiten dosiert wird, wird die Spitze der Dosiernadel in die Startposition gebracht. Die Dosiernadel mit dem Innendurchmesser 160 µm hat nach den durchgeführten Versuchen in Kapitel 6.2.1.1, einen optimalen

Dosierabstand von 77 μm , bei dem sich nach dem Auftrag kein hängender Meniskus bildet. Der optimale Dosierabstand der Dosiernadel mit dem Innendurchmesser 100 μm ist 42 μm .

Befindet sich die Dosiernadel in der Startposition, dann wird der Motor solange gedreht, bis der Kleber das Substrat berührt. Das Volumen, das aufgetragen wurde, kann durch die Anzahl der Umdrehungen berechnet werden. Diese Methode ist geeignet, wenn die Abstände der zu dosierenden Punkte unregelmäßig sind. Sind die Abstände gleich, dann kann je nach Verfahrzeit mit einem bestimmten Druck dosiert werden.

Um die Reproduzierbarkeit und Genauigkeit zu untersuchen, wurden 10000 Punkte auf Silizium-Wafer und Keramik-Substrate aufgetragen.

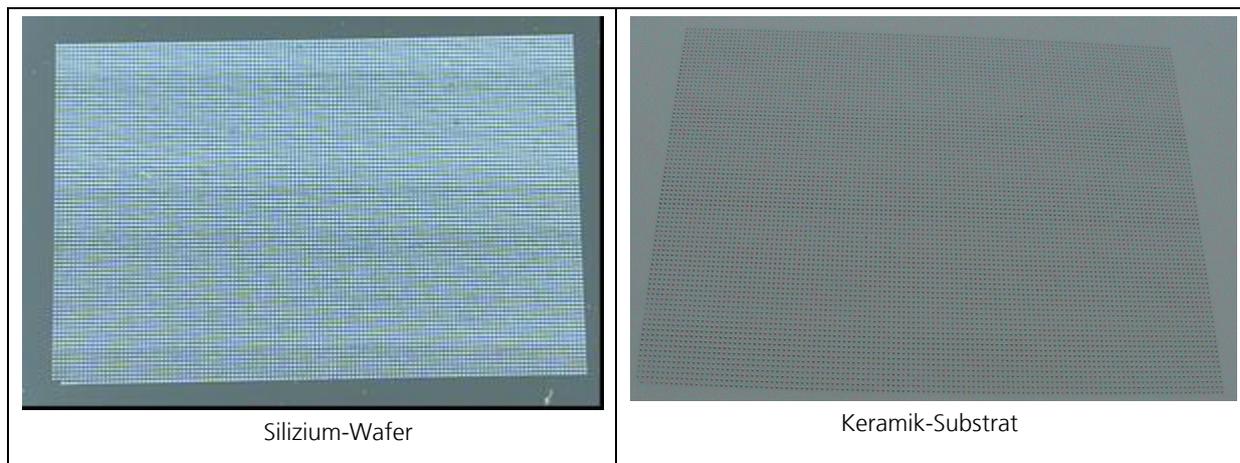


Abbildung 7-10: Langzeitversuche zur Untersuchung der Reproduzierbarkeit und Genauigkeit

Es wurden 100 Punkte pro Substrat unter dem LSM untersucht. Die Untersuchung umfasste die Messung der Volumina und den Durchmesser der einzelnen aufgetragenen Punkte. Mit den obigen Einstellungen haben sich Punkte ergeben, die einen Durchmesser von 190 μm mit einem Fehlerprozent von 3,1 aufweisen. Der Mittelwert der Volumina der vermessenen Punkte beträgt 0,000125 mm^3 mit einem Fehlerprozent von 2,3.

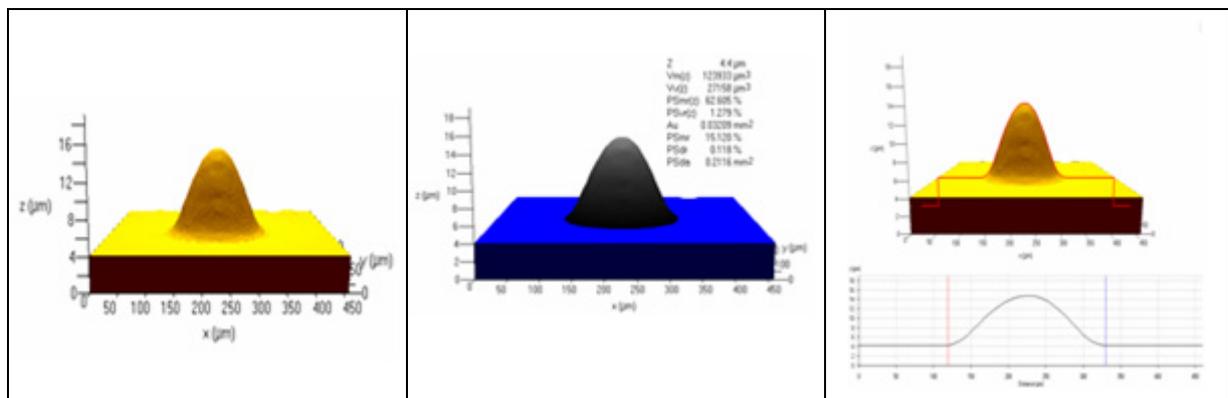


Abbildung 7-11: Langzeitversuche zur Untersuchung der Reproduzierbarkeit und Genauigkeit

7.4 Dosierversuche zum Linienauftrag

Im Gegensatz zum Punktauftrag geht es beim Linienauftrag um konstante Strömung. Um solche Strömungen zu erzeugen, muss der Druck in der Kartusche konstant sein.

7.4.1 Volumenbestimmung durch konstanten Druck

In diesem Fall wird der Druck mit der vorgegebenen Geschwindigkeit des Motors aufgebaut. Durch die Regelung hält das Dosiersystem den Druck mit bestimmter Drehzahl konstant. Nach dem Dosieren baut sich der Druck auch mit der gleichen Geschwindigkeit ab, bis der Druck in der Kartusche gleich Null ist.

Um die Reproduzierbarkeit und Genauigkeit zu untersuchen, wurden 100 Linien auf Silizium-Wafer und Keramik-Substrate mit folgenden Einstellungen aufgetragen.

Dosierdruck [bar]	Dosierabstand [μm]	Kleber	w_R [cm/s]	l_{Nadel} [mm]	r_{NI} [μm]
2-5	42	Ablebond 84-1	1-10	10	50

Abbildung 7-12: Einstellungen zu den Linienauftragsversuchen

Es wurden 10 Linien pro Substrat unter dem LSM untersucht. Die Untersuchung umfasste die Messung der Volumina der ganzen aufgenommenen Linien und die Linienbreite der einzelnen aufgetragenen Linien. Die Querschnittsfläche der aufgetragenen Linien konnte durch die Division des Volumens der vermessenen Linienstücke durch die Länge berechnet werden.

Mit einer Einstellung von 5 bar und einer Verfahrgeschwindigkeit unter 2 cm/s wurden Linien aufgetragen mit einer inhomogenen Querschnittsfläche. Mit einer Verfahrgeschwindigkeit von mehr als 6,5 cm/s wurden die Linien mit Unterbrechung aufgetragen.

Mit einer Verfahrgeschwindigkeit von 2 bis 6,5 cm/s haben sich Linien ergeben, die eine Linienbreite von 98 μm bis 226 μm mit einem Fehlerprozent von 2,1 aufweisen.

Der Mittelwert der Querschnittsfläche der vermessenen Linien mit einer Verfahrgeschwindigkeit von 6,5 cm/s und 5 bar beträgt 252 μm^2 mit einem Fehlerprozent von 2,4.

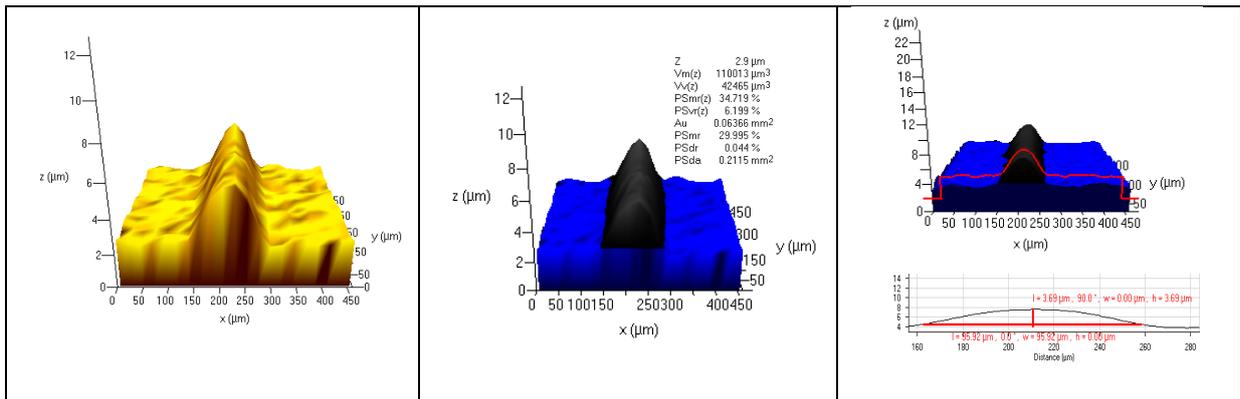


Abbildung 7-13: Langzeitversuche zur Untersuchung der Reproduzierbarkeit und Genauigkeit

Die Untersuchungen zeigen, dass dadurch eine sichere und präzise Volumenförderung stattfindet.

An dieser Stelle muss darauf aufmerksam gemacht werden, dass

- die Verfahrensgeschwindigkeit des Roboters Einfluss auf das aufgetragene Volumen pro Längeneinheit bzw. auf die Querschnittsfläche nimmt. Der Kurvenverlauf zeigt eine degressiv abnehmende Querschnittsfläche bei steigender Roboterverfahrensgeschwindigkeit. Dies entspricht qualitativ dem rechnerisch ermittelten Kurvenverlauf (Abbildung 7-14).

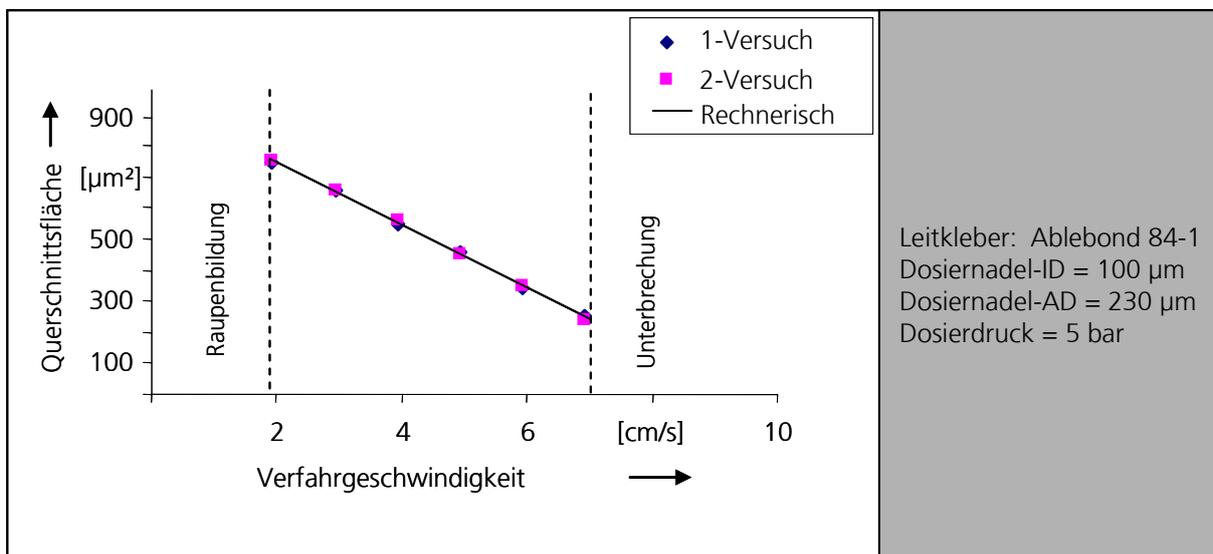


Abbildung 7-14: Ergebnisse des Zusammenhangs zwischen Verfahrensgeschwindigkeit und der erzeugten Querschnittsfläche

- Der Druck sowie der Nadelinnendurchmesser und Nadellänge nehmen ebenso Einfluss auf die mittlere Strömungsgeschwindigkeit des Klebers bzw. auf den Volumenstrom.

7.4.2 Überwachung der Dosierergebnisse

Zur Überwachung des Dosierauftrags werden anhand der in der Analyse beschriebenen Qualitätsmerkmale Bewertungsmerkmale definiert. Diese Bewertung kann nach jedem Auftragsprozess mit einer SCC-Kamera vorgenommen werden. Abbildung 7-15 zeigt eine Aufnahme eines Punkt- bzw. Linienauftrags mit einer Bewertung nach der Vermessung der aufgetragenen Geometrien, die zu dem Fazit kommt "Teil ist in Ordnung" oder "Teil ist nicht in Ordnung"

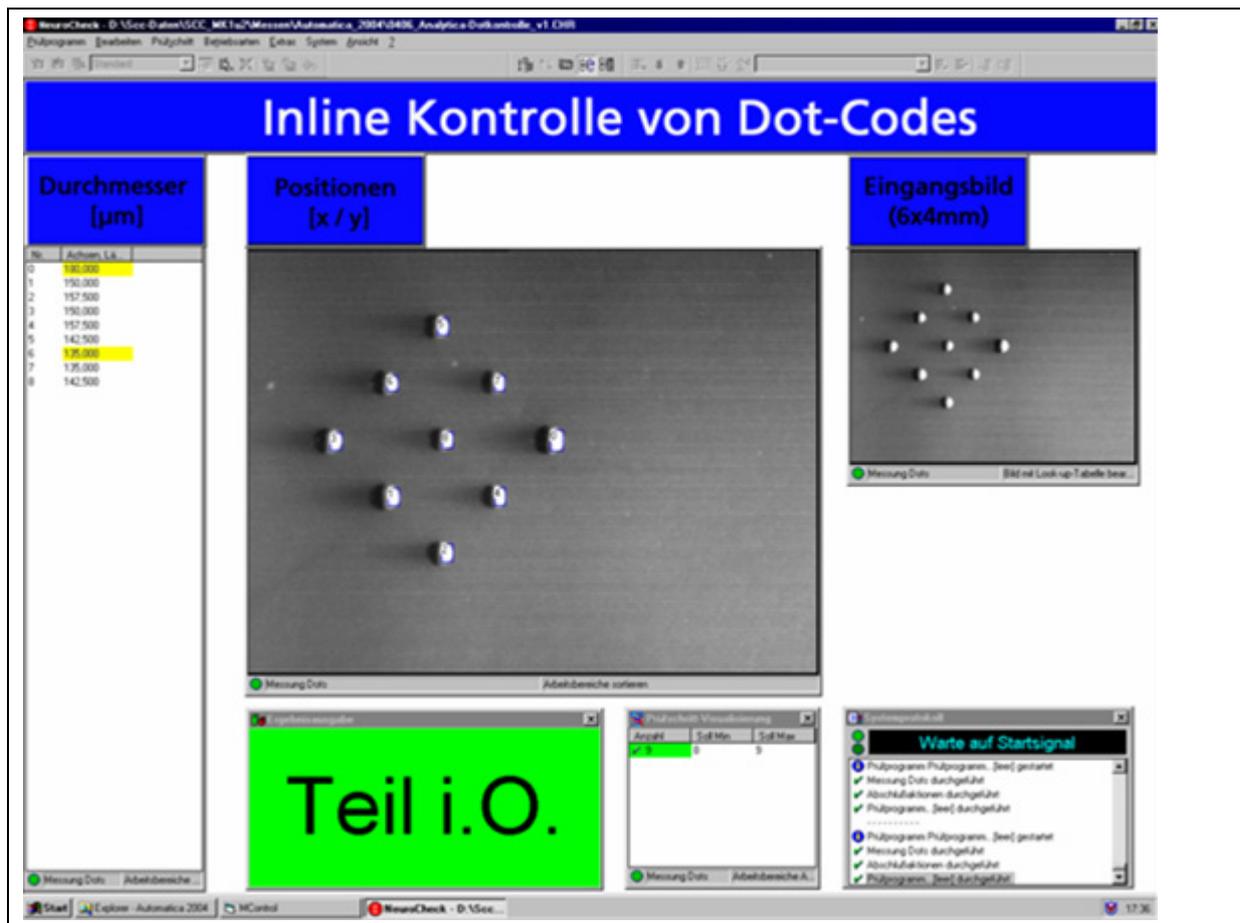


Abbildung 7-15: SCC-Kameraaufnahme

Je nach Erfüllungsgrad des Bewertungsmerkmals, wie in Abbildung 7-16 und Abbildung 7-17 beschrieben, werden Bewertungen „Teil ist in Ordnung“ bzw. „Teil ist nicht in Ordnung“ für das Dosier- bzw. Auftragsergebnis vergeben. Die „Teil ist nicht in Ordnung-Bewertung“ eines Ausschlusskriteriums, führt dabei in jedem Falle zur „schlecht Bewertung“ des Gesamtergebnisses. Um die Fehler beim nächsten Auftrag zu vermeiden, sind mögliche Regelungsmaßnahmen zur Behebung auftretender Fehler in Abbildung 7-16 und Abbildung 7-17 aufgelistet.

Merkmal	Bewertung	Regelungsmaßnahme
Überdosierung	Nicht in Ordnung	Druck reduzieren Abstand kontrollieren
Unterdosierung	Nicht in Ordnung	Druck erhöhen Abstand kontrollieren
unsymmetrisch	Nicht in Ordnung	Druck kontrollieren Abstand kontrollieren
Fadenziehen	Nicht in Ordnung	Viskosität ändern

Abbildung 7-16: Bewertungsmaßstab des Punktauftrags

Das gleiche gilt auch beim Linienauftrag. Mögliche Merkmale und Regelungsmaßnahmen für den Linienauftrag stehen in Abbildung 7-17

Merkmal	Bewertung	Regelungsmaßnahme
Unterbrechung	Nicht in Ordnung	Druck erhöhen w_R reduzieren Abstand kontrollieren
Dicke Linien	Nicht in Ordnung	Druck reduzieren w_R erhöhen r_{NI} kleiner Abstand kontrollieren
Dünne Linien	Nicht in Ordnung	Druck erhöhen w_R reduzieren r_{NI} größer Abstand kontrollieren
Fadenbildung	Nicht in Ordnung	Viskosität ändern
Anfahr- und Endklecks	Nicht in Ordnung	Abstand kontrollieren Druck kontrollieren

Abbildung 7-17: Bewertungsmaßstab des Linienauftrags

7.5 Zusammenfassung und Diskussion der Ergebnisse

Nachfolgend werden die Ergebnisse der durchgeführten Experimente zusammengefasst und den Anforderungskriterien an das Mikrodosierverfahren gegenübergestellt.

Der „Präzise Punktauftrag“ ist mit Hilfe des Mikrodosierverfahrens möglich. Auf Grund der Einstellung der Schrittgröße des Mikroschrittmotors ist die eindeutige vordefinierte Forderung bestimmter Volumina möglich.

Das Anforderungskriterium „Präziser Linienauftrag“ wird von dem Prüfverfahren ebenfalls erfüllt. Mit der kontinuierlichen Forderung durch die Rotation des Mikroschrittmotors konnten Linien präzise aufgetragen werden.

Das Experiment zum „Langzeitversuch“ zeigt, dass reproduzierbarer Punkt- bzw. Linienauftrag mit diesem erarbeiteten Mikrodosierverfahren möglich ist.

Das Anforderungskriterium „Auftrag von hochviskosem Leitkleber“ kann mit Einschränkungen von dem Mikrodosierverfahren erfüllt werden. Diese Einschränkung besteht in der Größe der Leitpartikel im Kleber.

Das Anforderungskriterium „Druckmessung“ wird ebenfalls von dem Mikrodosierverfahren erfüllt. Das Experiment zeigte, dass der Druck in der Kartusche pausenlos überwacht und kontrolliert werden kann.

Das Anforderungskriterium „Druckregelung“ wird ebenfalls von dem Mikrodosierverfahren erfüllt. Das Experiment macht deutlich, dass der Druck in der Kartusche so geregelt wird, dass immer der gleiche Druck in der Kartusche herrscht.

Das Anforderungskriterium „Abstandmessung“ wird von dem Mikrodosierverfahren erfüllt. Vor dem Auftrag werden zuerst die Unebenheiten der Substrate mit dem Druckluftabstandssensor gemessen, um den optimalen Dosierabstand zwischen dem Substrat und der Dosiernadel zu ermitteln und dann kann mit dem Auftrag angefangen werden.

Das Anforderungskriterium „Online-Überwachung“ wird ebenfalls von dem Mikrodosierverfahren erfüllt. Das Experiment zeigte, dass die qualitative Bewertung der aufgetragenen Punkte bzw. Linien mit Hilfe der SCC-Kamera möglich ist.

Die Zusammenführung der experimentellen Ergebnisse und der Abgleich mit den bereits verifizierten Anforderungskriterien zeigt, dass mit Hilfe des Mikrodosierverfahrens ein präziser Punkt- und Linienauftrag von hochviskosem Leitkleber vorgenommen werden kann (Abbildung 7-18).

7.6 Bewertung der industriellen Anwendbarkeit des Verfahrens

Die Verifizierung des erarbeiteten Mikrodosierverfahrens hat gezeigt, dass mit diesem Mikrodosierverfahren präziser Punkt- bzw. Linienauftrag von hochviskosem Leitkleber durchgeführt werden kann. Das Anforderungskriterium „Präziser Punkt- und Linienauftrag“ konnte mit dem entwickelten Mikrodosierverfahren für die verwendeten hochviskosen Leitkleber zufrieden stellend gezeigt werden.

Die weiteren an das Mikrodosierverfahren gestellten Anforderungskriterien konnten vollständig erfüllt werden. Die Untersuchungen stellen somit die Basis zur Weiterentwicklung des Mikrodosiersystems für einen industriellen Einsatz dar. Abbildung 7-18 zeigt eine Bewertung des entwickelten Mikrodosiersystems hinsichtlich der zu erfüllenden Anforderungskriterien sowie die zur Weiterentwicklung des Mikrodosiersystems für den industriellen Einsatz durchzuführenden Maßnahmen. Die Bewertung der experimentellen Ergebnisse und der Abgleich mit den Anforderungskriterien zeigt, dass das Mikrodosiersystem für einen präzisen Punkt- und Linienauftrag von hochviskosem Leitkleber geeignet ist. Das entwickelte Mikrodosierverfahren bietet hierzu eine konkrete Basis für die Weiterentwicklung für den industriellen Einsatz.

Zur Entwicklung eines industrietauglichen Mikrodosiersystems empfiehlt es sich, frühzeitig die Anwender in die Entwicklung mit einzubinden. So wird sichergestellt, dass die Erarbeitung von Spezifikationen der Gerätetechnik des Mikrodosierverfahrens einen ständigen Bezug zu den Anforderungen der Anwender besitzt.

	Anforderungskriterium	Forderung	Weitere Maßnahmen für ein industrietaugliches Mikrodosierverfahren
Mikrodosiersystem	Punktauftrag	erfüllt	keine weiteren Maßnahmen
	Linienauftrag	erfüllt	keine weiteren Maßnahmen
	Aufbau	erfüllt	kleinere Bauweise
Messen	Druck	erfüllt	keine weiteren Maßnahmen
	Abstand	erfüllt	keine weiteren Maßnahmen
Regelung	Druck	erfüllt	keine weiteren Maßnahmen
	Abstand	erfüllt	keine weiteren Maßnahmen

Abbildung 7-18: Bewertung des entwickelten Prüfaufbaus und Ableitung von Maßnahmen für eine industrietauglichen Prüfaufbau

Mit Hilfe der gewonnenen Erkenntnisse aus den Untersuchungen mit dem Mikrodosiersystem besteht die Möglichkeit, einen Prototypen zu entwickeln und zu realisieren. Hierbei stehen die

- Weiterentwicklung der Auswertung für eine automatisierte Bildverarbeitung zur erleichterten und beschleunigten Bildauswertung
- die Miniaturisierung des Mikrodosiersystems bzw. einzelner Komponenten zur erleichterten Integration in automatisierte Prozessabläufe
- sowie die Integration eines Temperatursensors, um die Änderung der Viskosität durch die Temperaturerhöhung unter Kontrolle zu halten

im Vordergrund.

8 Zusammenfassung und Ausblick

Das Problem der heutigen Produktion in der Mikrosystemtechnik ist, dass die Bauelemente immer kleiner und die Anforderungen immer größer werden. Grund dafür sind die immer klein werdenden elektronischen Bauteile. Solche kleinen Bauteile müssen zuerst auf die Schaltungsträger geklebt werden, um sie richtig zu platzieren. Danach können diese Bauteile geschweißt bzw. gelötet werden.

Mit dem passenden elektrisch leitenden Kleber können diese Bauteile mittlerweile direkt auf die entsprechenden Schaltungsträger geklebt werden. Dadurch kann ein elektrischer Kontakt hergestellt werden. Mit einem richtigen Mikrodosierverfahren können diese Bauteile auch miteinander, mittels mit Leitkleber aufgetragenen Leiterbahnen, verbunden werden. Dazu müssen hochgenaue Mikrodosiersysteme in Betrieb genommen werden.

Das Problem ist nicht nur das richtige Mikrodosiersystem zu finden, sondern hier wird eine Mikrodosiermethode gesucht, mit der man die Einstellung einiger Parameter, wie den Dosierdruck, Verfahrensgeschwindigkeit etc., bestimmen kann. Ein Verfahren zum präzisen Punkt- und Linienauftrag von hochviskosem Leitkleber mit einem geregelten Mikrodosiersystem existiert nicht und wird deshalb im Rahmen dieser Arbeit das Verfahren entwickelt.

In einer Analyse wurden zunächst die seitens des zu entwickelnden Mikrodosiersystems sowie die seitens der zu entwickelnden Mikrodosiermethode gestellten Anforderungskriterien an ein Mikrodosierverfahren zum Punkt- und Linienauftrag abgeleitet. Gleichzeitig wurden entsprechende Anforderungskriterien an ein zu entwickelndes Mikrodosierverfahren abgeleitet. Weiter wurde gezeigt, dass es derzeit keine verfügbaren Mikrodosierverfahren gibt, die die Anforderungskriterien vollständig erfüllen. Durch die Kombination einzelner Funktionsprinzipien und in Frage kommender Komponenten teilweise geeigneter Mikrodosierverfahren wurde ein Mikrodosiersystem zum Punkt- und Linienauftrag von hochviskosem Leitkleber entwickelt.

Auf Basis der in der Analyse dargestellten Anforderungen wurde im Rahmen dieser Arbeit ein Dosiersystem entwickelt, das im Wesentlichen aus einem Antriebsmodul mit Förderkolben und integriertem Drucksensor, einer Kartuschenaufnahme und einer Steuerungseinheit besteht. Das Verstellen des in der Kartusche geführten Kolbens erfolgt durch einen Schrittmotor. Mit der dadurch möglichen definierten Positionierung des Kolbens können unterschiedliche Volumina hochgenau dosiert werden. Das Einstellen der Dosiermenge erfolgt über die Steuerung. Eine Kompensation des dabei auftretenden Dosierfehlers wird vom System durch ein entsprechendes Nachregeln des Kolbenvorschubs vorgenommen. Hinsichtlich einer hohen Reproduzierbarkeit ist es weiterhin möglich, ausgehend von dem mit diesem Drucksensor gemessenen Dosierdruck, einen dem aktuellen Füllstand der Kartusche angepassten Förderdruck einzustellen. Ein weiterer Vorteil, der sich aus der gewählten Kombination von motorischem Antrieb und Drucksensor ergibt, ist der durch eine definierte

Kolbenrückstellung mögliche Abbau des Überdrucks in der Kartusche und die daraus resultierende Vermeidung des Nachtropfens.

Weitere in der Analyse festgestellte Defizite haben gezeigt, dass eine Mikrodosiermethode zur Bestimmung weiterer Prozessparameter erforderlich ist. Die in dieser Arbeit entwickelte Mikrodosiermethode beschreibt, wie die Bestimmung des optimalen Dosierabstands durchzuführen ist. Nach der Bestimmung des Dosierabstandes kann das optimale Verhältnis zwischen der Verfahrgeschwindigkeit des Roboters zu der mittleren Strömungsgeschwindigkeit des Klebers mit der entwickelten Mikrodosiermethode berechnet werden. Hierzu ist eine Regelung des Dosierdrucks in der Kartusche erforderlich.

Zur Kontrolle der Reproduzierbarkeit wurden die aufgetragenen Punkte bzw. Linien mit einer SCC-Kamera überprüft. Wenn die Ist-Werte der aufgetragenen Punkten bzw. Linien mit den Soll-Geometrien übereinstimmen, dann kann weiter dosiert werden und wenn nicht, dann müssen die entsprechenden Parameter geregelt werden. Nach jedem Kontrollvorgang muss eine Meldung erscheinen, ob die dosierten Geometrien in Ordnung sind oder nicht.

Die Verifizierung des Mikrodosierverfahrens bezüglich der erarbeiteten Anforderungen erfolgte in entsprechenden Untersuchungen. Für die Anforderungskriterien „Reproduzierbarkeit“, „gesicherte Erkennung von Dosiernadel-Substrat-Abstand“ etc., wurden Experimente entwickelt und durchgeführt.

Die Verifizierung des entwickelten Mikrodosierverfahrens hatte weiterhin zum Ziel, die Anwendbarkeit des entwickelten Mikrodosiersystems als Basis für ein industrietaugliches Mikrodosierverfahren unter Beweis zu stellen. Die Verifizierung wurde mit hochviskosen isotropischen Leitklebern durchgeführt. Die Überprüfung des Mikrodosiersystems erfolgte hinsichtlich der in der Analyse erarbeiteten Anforderungskriterien:

- Präzision
- Punkt- und Linienauftrag
- Dosierung hochviskoser Leitkleber
- Überwachung und Regelung des Dosierdrucks in der Kartusche
- Ermittlung des optimalen Dosierabstands
- Ermittlung des optimalen Verhältnisses der Strömungsgeschwindigkeit des Klebers zur Roboterverfahrgeschwindigkeit
- Online-Überwachung der Volumina, Durchmesser und Höhen der aufgetragenen Geometrien.

Die Zusammenführung der experimentellen Ergebnisse und der Abgleich mit den bereits verifizierten Anforderungskriterien zeigte, dass das Mikrodosierverfahren zum Punkt- und Linienauftrag von hochviskosem Leitkleber geeignet ist. Das Mikrodosierverfahren bietet eine konkrete Basis für die Weiterentwicklung für den industriellen Einsatz.

9 Summary

The manufacture of micro systems is characterized by an increasing degree of component miniaturization and frequently-changing product variants and lot sizes. This means that manufacturers need to rapidly adapt their production systems to new conditions and achieve adequate process stability with the required piece numbers. This is also the case in the assembly of micro systems where adhesive techniques are used to fix and bond components. The dispensing system utilized must be capable of being easily and accurately adjusted as well as of producing and maintaining high volume constancy when applying the adhesive.

Although current dispensing systems are capable of producing tiny structures using filled conductive adhesives under laboratory conditions, the changing conditions encountered in industry - such as fluctuations in material temperature due to machine-warming - lead to deviations in feeding volumes and thus faulty structures.

Most of the dispensing systems which are available on today's market do not meet the increasing requirements of the micro manufacturing industry. Due to the lack of sensors, relevant process changes are not recognized and therefore corrections cannot be made. As far as increased productivity, flexibility and reliability are concerned, controlled systems are required which are capable of accurately dispensing highly-viscous conductive adhesives in line and dot form.

Experience gained in the dispensing of conductive adhesives has shown that a dispensing process is not only dependent upon the selection of the right application process but also to a large extent upon the right parameter settings for the job at hand. As well as the actual dispenser and associated reservoir (e.g. cartouche), the dispensing needle, the substrate and the positioning unit also need to be taken into consideration.

The parameters influencing the dispensing result can be divided into three groups. The influencing factors summarized in Parameter Group A are parameters which cannot be influenced by the user. One example of such a parameter is the viscosity of the conductive adhesive. The conductive adhesive is generally supplied by the manufacturer together with a data sheet. This contains information concerning the properties of the conductive adhesive, such as viscosity, dropping time or conductivity.

The influencing factors summarized in Parameter Group B can be fixed before commencing the dispensing process but cannot be altered once the process is running. This includes parameters such as expansion of the cartouche, which can be minimized by the user before starting the process.

The influencing factors summarized in Parameter Group C are those which can be altered during the dispensing process. These include parameters such as the traversing speed of the robot which can be altered any time during the process.

The technological parameters summarized in Groups B and C need to be taken especially into account when defining the requirements of a reliable overall system. Many of these parameters have been investigated. This work describes a dispensing system suitable for industrial use which has been developed based on the knowledge gained and which is capable of recognizing and compensating for disturbing influences.

The first phase in the development was to analyze the micro dispensing methods currently available on the market for applying highly-viscous conductive adhesives in the form of dots and lines as well as to assess them with regard to their suitability for use in the system planned. Not only the time-pressure dispensing process which is commonly utilized but also rotational screw systems, piston positive-displacement dispensers and peristaltic dispensing systems were taken into account. The following assessment criteria were considered:

- Precise transportation
- Conceivable dot dispensing
- Conceivable line dispensing
- Hazard of air inclusion
- Impermeability of the system
- System stability
- Conceivable sensor integration
- Control technology integration.

The fulfillment of these criteria formed the basis of the development of the micro dispensing system. The assessment carried out showed the considerable potential of piston dispensing systems. Such a system for automated use must be capable of fulfilling the basic functions listed below.

a) Transportation

When designing a transportation unit, expansion of the cartouche, impermeability, post-dripping, needle shape and the viscosity of the conductive adhesive to be dispensed must all be taken into account. It must also be possible to achieve continuous or discontinuous movement respectively when applying lines or dots.

b) Measurement

Measurement of pressure in the dispensing system should show the pressure level at any moment in time in the cartouche. Only by integrating a pressure sensor can post-dripping be avoided and blockages rapidly recognized.

By selecting a suitable sensor, the fill level in the cartouche can be determined so that the correct pressure can be set in the cartouche in accordance with this level.

c) Control

An appropriate control and regulating concept has to be developed for recording measurement data, controlling the dispensing pressure and setting dispensing parameters.

This section of the work is concerned with the concepts chosen as solutions in the development of the system. The aim was to realize a reliable dispensing system based on the piston principle for use in industry to apply conductive adhesives in line and dot form.

First, conceivable energy transmission systems for supplying the required piston forward feed were researched and assessed. Mechanical energy transmission systems proved to be the most suitable for fulfilling the above-mentioned requirements, especially the micro step motor.

Many of the systems available on the market have the disadvantage of so called "post-dripping" either at the end of a dispensing process or during holding times. The main reason for this is the existing overpressure in the cartouche after dispensing. Even slight pressure levels are reduced after a certain length of time. The reduction in pressure is dependent upon the viscosity of the medium, return of the cartouche to its original form, composition and internal diameter of the needle, etc. Post-dripping can be avoided if the pressure inside the cartouche can be rapidly reduced. The new system is capable of this because the micro step motor pulls back the piston until the appropriate pressure prevails. The reversing distance of the piston required to achieve this pressure is dependent upon the expansion of the cartouche, the inclusion of air in the conductive adhesive, the internal diameter of the dispensing needle, etc. A variety of pressure sensors can be used to measure the pressure exerted on the adhesive during the dispensing process. A miniature pressure sensor was selected with a stretched membrane possessing a diameter of three millimeters. A measurement bridge composed of silicone resistance strain gauges manufactured micro mechanically was applied directly to the surface of the membrane. In this way, exceptionally good behavior and a high level of stability could be achieved as far as this type and size of sensor are concerned. The pressure sensor is composed purely of titanium and is therefore especially suitable for aggressive media. The sensor has been integrated directly into the piston head, thus permitting pressures to be measured directly at feeding level. A separate adapter with an integrated pressure and temperature sensor has also been developed and realized. This can be adapted to any dispensing system to monitor process-relevant parameters.

The implementation of the selected integration concept demands that the piston or sensor is in direct contact with the medium. However, through the desired use of standard cartouches as adhesive reservoirs, the fact that these are sealed elements when they are supplied represents a problem. In order for the system to function, the

seal has to be removed before inserting the cartouche. This in turn means that air enclosed in the cartouche has to be removed when the piston is pushed into the cartouche. Different pistons were designed and tested for this purpose. The best solution is to integrate a conically-shaped plunger into the piston. When the piston moves downwards, air escapes via the air gap in the piston. The plunger is moved upwards by the adhesive until the space in the piston is completely closed. Tests with liquids of varying viscosity have shown that this method is suitable for liquids with 1 mPa·s (water) right up to 120000 mPa·s.

After completing the design of the actual dispensing system, further constructive measures were taken to stabilize the system. One influencing parameter which is important as far as accuracy and dynamics are concerned is the deformation of the cartouche due to the pressure exerted. According to manufacturer information, current standard cartouches are capable of withstanding overpressures up to 7 bars. Tests have shown that the cartouche wall expands radially up to 200 µm at 6 bars. This degree of expansion is sufficient to cause a leak between the piston and the inner wall of the cartouche. However, in the case of piston dispensers, even if the cartouche does not expand or only expands minimally, adhesive could flow out at the side between the cartouche wall and the piston if the seal is inadequate. For this reason, several seals were tested for impermeability using liquids of different viscosities. In the development of the micro dispensing system, the comparison clearly showed that a piston with an x-sealing ring was best-suited for preventing leakages because it fulfilled the requirements set.

To minimize cartouche expansion, a geometrically-adapted, screw-on sheath was realized. The sheath constructed fits closely around the surface shell of the cartouche without any air gaps. The benefit of this could be proved in tests.

By stabilizing the cartouche with a sheath, it is possible to build up pressure in the system faster, thus increasing system dynamics which is important in series assembly. Also, due to the reduced expansion of the cartouche, post-dripping caused among other things by contraction in the initial situation is also minimized.

The piston inside the cartouche is adjusted using a step motor. By using this to define the position of the piston, different volumes can be dispensed in a highly accurate manner. The dispensing volume is adjusted via the control unit. It is possible to dispense dots with a diameter of less than 150 µm and lines with a width smaller than 200 µm. A pressure sensor is integrated into the piston head to monitor the process parameters relevant to the dispensing accuracy. The system builds up a defined feeding pressure by appropriately driving the piston. Based on the system pressure measured by the pressure sensor, in order to obtain a high degree of reproducibility, a feed pressure can be set according to the actual fill level in the cartouche. A further advantage of using the selected combination of motor drive and pressure sensor is the reduction of excess pressure in the cartouche made possible by pulling the piston back a defined distance with the result that post-dripping is avoided.

The system has been made to take standard commercial disposable cartouches, thus avoiding the need for time-consuming cleaning procedures. Only the piston needs to be cleaned; this is made easy by the modular construction of the system and can be carried out in a short time. The essentially compact construction of the dispensing unit enables it to be easily integrated into existing equipment.

To prove its efficiency and reproducibility, the dispensing system was tested in a laboratory. In this way, for example, 10,000 dots were applied to a silicone wafer and a ceramic substrate and then measured. To do this, 100 dots per substrate were examined under a LSM (Laser Scanning Microscope). The test included measurement of the volume and the diameter of each of the dots applied. With the settings used for the test, dots with a diameter of 190 μm showed an error rate of 3.1%. The mean value of the volume of the dots measured was 0.000125 mm^3 with an error rate of 2.3%.

In a further test, 100 lines were applied to silicone wafers and ceramic substrates and then measured. 10 lines on each substrate were measured under the LSM. The test included measurement of the volume and the widths of each of the lines applied. The cross-sectional area of the lines applied could be calculated by dividing the volume of the line segments measured by their length. With a traversing speed between 20 and 65 mm/s , lines with widths ranging between 98 and 226 μm could be applied. The error rate was found to be 2.1%.

10 Literatur

10.1 Bücher, Zeitschriften und Konferenzen

- Bauer, 1997 Bauer, A.; Novotny, M.; Schwaab, G.; Gramann, U.: *Präzisionsdispensen von Leitlebstoff: Erfahrungen im industriellen Umfeld.*
In: Tagungsband Micro Engineering '97 in Stuttgart : Stuttgarter Messe- und Kongress-Gesellschaft. 1997, S. 1-7
- Beine, 1996 Beine, H.: *Durchbruch beim SMD-Klebstoffdruck.*
In: Productronic 16 (1996) Nr. 5, S. 16-18
- Beine, 1999 Beine, H.: *Dispensen von Lotpaste und SMT-Klebstoffen.*
In: Productronic 19 (1999) Nr. 10, S. 22-28
- Beine, 1999d Beine, H.: *Qualitätssicherung und Verfahrenstechnik in Mikroverbindungen.*
In: Productronic (1999) Nr. 1, S. 53-55
- Beine, 2002 Beine, H.: *Strahlungshärtende Kleber für Hightech-Applikationen.*
In: Productronic 22 (2002) Nr. 3/4, S. 32-35
- Bohl, 1989 Bohl, W. : *Technische Strömungslehre.*
8., überarbeitete Auflage, Würzburg: Vogel, 1989
- Breidenthal, 2001 Breidenthal, S.; Cortez, M.: *ESD-sicher dosieren.*
In: EPP-Spezial (2001)Nr. 6, S. 56
- Bornside, 1987 Bornside, D., Macosko, C., Scriven, L.: *On the Modelling of Spin Coating.*
In: Journal of Imaging Technology, 13 (1987) Nr. 7, S. 122
- Bornside, 1989 Bornside, D.: *Spin Coating: One - dimensional Model.*
In: Journal of Applied Physics, 66 (1989) Nr. 11, S. 5185-5193
- Burns, 2001 Burns, B.; Fisher, E.: *Adhesives, Epoxies and Dispensing.*
In: SMT – Step-by-Step (2001) Mai, S. 74-79
- Bush, 1997 Bush, R.: *Matching fluid dispensers to materials for electronics applications.*
In: Electronic Packaging and Production 37 (1997) Nr. 9, S. 56-62
- Carbin, 1999 Carbin, J.W.: *Better Flip Chip Underfill Through.*
In: SMT 13 (1999) Januar, S.64-67
- Cortez, 2001 Cortez, M.: *The Dispensing Process.*
In: SMT 13 (2001), Februar, S. 72-76

- Darby, 1976 Darby, R.: *Viscoelastic Fluids*.
New York: Dekker, 1976
- Dealy, 1995 Dealy, J.M.: *Official nomenclature for material functions describing the response of a viscoelastic fluid to various shearing and extensional deformations*.
In: Journal of Rheology 39 (1995), Nr. 15, S. 253-265
- Delepine, 1996 Delepine, M.: *Prüfkriterien für Leitklebverbindungen*.
In: Productronic 16 (1996), Heft 1/2, S. 26, 28
- Dilthey, 2001 Dilthey, U.; Möller, M.: *Mikrokleben - Mikroapplikation von Klebstoffen*.
In: Statuskolloquium SFB 440, 6. September 2001, Aachen/Mainz
Wissenschaftsverlag, 2001, S. 99-108
- Doering, 2000 Doering, M.: *Microdrops for microparts*.
In: Proceedings. MICRO.tec 2000. VDE World Microtechnologies
Congress, 25.-27.9.2000, Berlin Vol. 2, Berlin VDE Verlag, 2000
- Dilthey, 1999 Dilthey, U.; Brandenburg, A.; Möller, M.: *Kleben von Mikrokomponenten*.
In: F&M 107 (1999) Nr. 4, S. 78-80
- Dixon, 1997 Dixon, D.; Kazalski, J.; Murch, F. ; Marongelli, S.:
Kleber-Dosierverfahren in Theorie und Praxis.
In: productronic 17 (1997) Nr. 10
- Duhm, 1994 Duhm, L. : *Fließverhalten und innerer Strukturaufbau von hochgefüllten Klebstoffsystemen im Hinblick auf technische Verarbeitungsprozesse*.
Hamburg, Uni., Diss.1994
- Eggelaar, 1997 Eggelaar, E.: *Variante-reich-Dosiertech-nik für die Mikroelektronik*.
In: Productronic 17 (1997), Nr. 9, S. 8
- Emslie, 1958 Emslie, A., Bonner, F., u. a.: *Flow of a Viscous Liquid on a Rotating Disk*.
In: Journal of Applied Physics 29 (1958) Nr. 5, S. 858
- Erickson, 1997 Erickson, M.: *Two novel applications of adhesives for optical microelectronics*.
In: Microelectronics International, (1997) Nr. 42, S. 4-5,8
- Frittrang, 1998 Frittrang, A.: *Flüssigkeitsdosierung ab 250 Picoliter*.
In: Labor Praxis 22 (1998) Nr. 2, S. 36-37
- Gaugel, 2003 Gaugel, Tobias: *Verfahren zum flexiblen Mikrodosieren von isotrop leitfähigen Klebstoffen*.
Stuttgart, Universität, Fak. für Maschinenbau, Diss., 2003

- Geng, 2001 Geng, X.; Yuan, H.; Oguz, H.N.; Prosperetti, A.:
Bubble-based micropump for electrically conducting liquids.
In: Journal of Micromechanics and Microengineering 11 (2001) Nr. 1,
S. 270-276
- Gerlach, 1999 Gerlach, A.; Lambach, H.; Seidel, D.: *Propagation of adhesives in joints
during capillary adhesive bonding of microcomponents.*
In: Microsystem Technologies 6 (1999) S.19-22
- Gesang, 1997 Gesang, T.; u.a.: *Elektrisch leitfähiges Kontaktieren von Fine-Pinch-
Baulementen mit nicht-gefüllten Klebstoffen.*
In: VTE 9 (1997) Nr. 4, S.194-197
- Gesang, 1998 Gesang, T.; u.a.: *Fine-Pitch-Dispensen: Klebstoffe auf den Punkt
gebracht.*
In: Adhäsion – kleben & dichten 42 (1998) Nr. 11, S. 28-33
- Gesang, 2000 Gesang, T.; Schäfer, H.; Hennemann, O.: *Elektrisch leitfähige
Klebverbindungen im Vergleich.*
In: Adhäsion – kleben & dichten 44 (2000) Nr. 4, S. 10-15
- Gesang, 2000a Gesang, T., Knäbel, H., u.a.: *The use of adhesives in manufacturing
adaptronic microsystems for light weight structures.*
In: Proc. SPIE - Int. Soc. Opt. Eng. (USA). - Newport Beach, CA, USA,
USA: SPIE-Int. Soc. Opt. Eng, vol.3991, (2000) S.37-42
- Gilleo, 2000 Gilleo, K.: *Flip chip assembly with conductive adhesives.*
In: Proceedings 2000 HD International Conference on High-Density
Interconnect and System Packaging, 25.-28. April 2000, Reston /
IMAPS-Int.Microelectron. & Packaging Soc. Reston: 2000, S. 256-260
- Goldbacher, 1999 Goldbacher, A. : *Neues Dosierverfahren in der Biotechnologie.*
In: Elektronik 48 (1999) Nr. 23, S.36
- Grimme 1998 Grimme, R.; Klumpp, B.: *Vorrichtung und Verfahren zur
Überprüfung einer Oberfläche eines Gegenstandes.* (1998–10–22)
Patent Offenlegungsschrift DE 197 16 264 A1
- Günther, 1998 Günther, B.; Schäfer, H.; Battermann, A.: *New conductive adhesives for
mikroelectronic applications.*
In: EuPac'98: 3rd European Conference on Electronic Packaging
Technology & 9th International Conference on Interconnection
Technology in Electronics, Nuernberg, June 17-17, 1998. Düsseldorf:
DVS-Verlag, 1998, S. 69-71
- Günther, 1999 Günther, B.; Schäfer, H.: *Hochporöse Metallpulver für elektrisch
leitfähige Polymere.*
In: 5. Nationales Symposium SAMPE Deutschland, 11./12.3.1999,
Hamburg / TU Hamburg-Harburg. Hamburg 1999, S.1-2

- Hartenstein, 2000 Hartenstein, R.R.: *Guidelines for optimum results with thermally conductive paste or liquid materials.*
In: Sensors (2000) Nr. 12, S. 44-45
- Hartwig, 1996a Hartwig, A.; Döring, M.; Hennemann, O.-D.:
Kleben mit kleinsten Klebstoffmengen.
In: Adhäsion 40 (1996) Nr. 7-8, S. 31-33
- Hartwig, 1999b Hartwig, A.; Hennemann, O.-D.:
Mikrokleben mit ungefüllten Klebstoffen – Dosierung, Härungsverhalten und Klebeigenschaften.
In: VTE 11 (1999) Nr. 5, S. 254-258
- Hartwig, 2000c Hartwig, A.; Hennemann, O.-D.: *Besonderheiten beim Mikrokleben mit ungefüllten Klebstoffen.*
In: Schweißen & Schneiden 52 (2000) Nr. 11, S. 685-687
- Hayes, 1999 Hayes, D.J.; Wallace, D.B.; Cox, W.R.: *MicroJet Printing of Solder and Polymers for Multi-Chip Modules and Chip-Scale Packages.*
In: SPIE IMPAS: International Conference on High Density Packaging and MCMs, 6.-9. April 1999, Denver, USA: SPIE-Int. Soc. Opt. Eng., 1999, S.242-247
- Hennemann, 1988 Hennemann, O.-D.: *Kleben in der Feinwerktechnik.*
In: VDI-Berichte, Band 1031, DVS-Verlag, Düsseldorf 1988, S. 163-172
- Hennemann, 1991 Hennemann, O.-D., Dorbath, B., Mieskes, H.
Entwicklung von neuen Klebtechnologien in der Elektronik.
In: München: Vogel, 1991.
- Hennemann, 1992 Hennemann, O.D; Brockmann; Kollek:
Handbuch Fertigungstechnologie Kleben.
Bremen: Carl Hanser Verlag München Wien 1992
- Hof, 1984 Hof, M.: *Klebertechniken in der Mikroelektronik.*
In: F+M 92 (1984) Nr. 2, S. 67-69
- Hof, 1998 Hof, M.; Messmer, R.:
Polymer Flip Chip Technik, Leitklebstoffe und Underfiller.
In: Abschlußbericht zum Verbundprojekt Flip Chip Technik für die Mikrosystemtechnik - Flip Chip / Universitätsbibliothek Hannover, Techn. Informationsbibliothek. Hannover, 1998, S. 1-8
- Holloway, 1999 Holloway, M.; Crane, L.; Peters, S.: *Flip-Chip-Montage mit weiterentwickelten Klebstoffen.*
In: VTE 11 (1999) Nr. 5, S. 246-253
- Ishibashi, 1996 Ishibashi, K.; Kimura, J. :
A new anisotropic conductive film with arrayed conductive particles.

- In: IEEE Transactions on components, packaging, and manufacturing technology - Part B Vol. 19 (1996) Nr.4, S. 752-757
- Jang, 1999 Jang, L.-S.; Morris, C.J.; Nigel, R.S.; Bardell, R.L.; Forster, F.K.:
Transport of particle-laden fluids through fixed-valve micropumps.
In: MEMS-Microelectromechanical Systems Vol.1 (1999) S. 503-509
- Jang, 2000 Jang, L.S.; Sharma, N.R.; Forster, F.K.: *The effect of particles on performance of fixed-valve micropumps.*
In: μ TAS '2000 Workshop, 14-18. Mai.2000, Enschede , NL. Boston u.a.: Kluwer Academic Publishers. 2000, S. 1-4
- Jefferson, 2001 Jefferson, R.; Marongelli, S.R.: *rough guide to tiny dots.*
In: SMT 15 (2001) Nov. S. 54-55
- Kang, 2001 Kang, S.K.;Buchwalter, S.L.; LaBianca, N.C.; Gelorme, J.; Purushothaman, S.: *Development of a conductive adhesive via fill applications.*
In: IEEE Transactions on Components and Packaging Technologies 24 (2001) Nr. 3, S. 431-435
- Kalide, 1990 Kalide, W. : *Einführung in die technische Strömungslehre.*
München: Carl Hanser Verlag, 1990
- Kang, 2000 Kang, S.K.; Buchwalter, S.; Tsang, C.:
Characterization of Electroplated Bismuth-Tin Alloys for Electrically Conducting Materials.
In: Journal of Electronic Materials Vol. 29 (2000) Nr. 10, S. 1278-1283
- Keck, 1999 Keck, M.: *Silberleitklebstoffe auf den Punkt gebracht.*
In: Adhäsion - Kleben & Dichten 43 (1999) Nr. 10, S.12-15
- Kim, 2001 Kim, H.K.; Shi, F.G.: *Electrical reliability of electrically conductive adhesive joints: depence on curing condition and current density.*
In: Microelectronics Journal 32 (2001) Nr. 4, S. 315-321
- Klein, 1997 Klein, A.; Huck, E.; Gerlach, G.; Schwarz, P.: *Verhaltens- und strukturorientierte Modellierung einer Mikroejektionspumpe.*
In: 3. Fachtagung Mikrosystemtechnik-Mikromechanik & Mikroelektronik, 13./14.10.1997, Chemnitz / Technische Universität Chemnitz. Chemnitz: 1997, S. 50-59
- Krause, 1998 W. Krause: *Konstruktionselemente der Feinmechanik.*
Karl Hanser Verlag München Wien, 1998
- Kriebel, 1998 Kriebel, F.: *Leitkleben - eine Alternative zum Löten in der Oberflächenmontagetechnik.*
In: VTE 10 (1998) Nr. 4, S.182-191

- Kristiansen, 1995 Kristiansen, H.; Liu, J.; Bjorneklepp, A.:
A Comparison of Non-Conductive and Anisotropic Conductive Adhesive for Surface Mount Application.
In: 10th European Microelectronics Conference (ISHM-NORDIC), 5. Mai. 1995, Kopenhagen/Int. Society for Hybrid.Kopenhagen:1995, S.35-43
- Kohler, 1991 Kohler, F.: *Punkt für Punkt - Die Techniken für das Dispensen von Lotpasten.* In: Productronic (1991) Nr. 4, S.18-20
- Kulesza, 1997 Kulesza, F.; Estes, H.:
Assembling Smart Cards With Polymer Flip Chip Technology.
In: Electronic Packaging & Production 37 (1997) Nr. 16, S. 39-44
- KSW, 1998 KSW Microtec GmbH: *Workshop "Mikrotechnische Produktion".*
Dresden, 1998 – Firmenschrift
- Lai, 1996 Lai, Z.; Liu J.: *Anisotropically Conductive Adhesive Flip-Chip Bonding on Rigid and Flexible Printed Circuit Substrates.*
In: IEEE Transactions on components, packaging, and manufacturing technology - Part B Vol.19 (1996) Nr. 3, S. 644-660
- Lathrop, 1998 Lathrop, R.,R.,Jr. : *A flexible method for applying adhesives to printed circuit boards.*
In: Adhesive Age 41 (1998) Nr. 12, S.22-33
- Lee, 2000 Lee, C.: *Ultra high-speed dispensing enhances production throuhput.*
In: Advanced Packaging 9 (2000) Nr. 7, S. 37-42
- Leidl, 2003 Leidl, A: *Produktdatenblatt: Sensoren für Viskosität, Dielektrizitätszahl und Leitfähigkeit.*
Fraunhofer IMS, München
- Leuschner, 1967 Leuschner, G.: *Kleines Pumpenhandbuch für Chemie und Technik.*
Weinberg: Verlag Chemie, 1967
- Leone, 1999 Leone, D.: *Meter, mix, and dispense tools for adhesive sealants.*
In: ADHESIVES'99: Meter, mix, and Dispense Tools for Adhesives and Sealants, Sep 22-Sep 23 1999, Chicago, IL, USA. Dearborn: Society of Manufacturing Engineers (SME), 1999, S. 1-14
- Lewis, 1999 Lewis, A.; u.a.: *Noncontact Dispensing - Achieves Practical Results.*
In: SMT 13 (1999) May, S. 66-67
- Lewis, 1999a Lewis, A.; Reighard, M.: *Adhesives/Epoxies & Dispensing.*
In: SMT 13 (1999) May, S.106-113
- Lewis, 1999b Lewis, A.; Reighard, M.; Suriawidjaja, F.: *Kontaktloses Kleber-Dispensen; Oberflächentechnologie.*
In: Productronic 19 (1999) Nr. 11, S. 108-110

- Lieske, 2000 Lieske, R.; Coleman, W.: *Adhesive deposition*.
In: SMT 14 (2000) Jan., S. 70-76
- Liu, 1998 Liu, J. : *Recent advances in conductive adhesives for direct chip attach applications*.
In: Microsystem Technologies 5 (1998), S. 72-80
- Luchs, 1998 Luchs, R. : *Einsatzmöglichkeiten leitender Klebstoffe zur zuverlässigen Kontaktierung elektronischer Bauelemente in der SMT*.
Bamberg: Meisenbach Verlag, 1998, zugl. Erlangen, Univ., Diss., 1998
- Mayerhofer, 1978 Mayerhofer, D.: *Characteristics of Resist Films Produced by Spinning*.
In: Journal of Applied Physics 49 (1978) p. 3993
- Meinhart, 2000 Meinhart, C.D., Zhang, H.: *The flow structure inside a microfabricated inkjet printhead*.
In: Journal of Microelectromechanical Systems 9 (2000), Nr.1
- Microdrop, 2001 Microdrop GmbH: *Ein Rechner-gesteuertes Mikrodosiersystem für Klebstoffe*.
Norderstedt, 2001– Firmenschrift
- Miric, 1997 Miric, A.Z.: *Ein höherer Durchsatz ist erwünscht. Das Drucken von SMD-Kleber erfreut sich wachsender Beliebtheit*.
In: Elektronik Produktion und Prüftechnik (1997) Nr. 4, S. 20,22,24-25
- Möller, 2002 Möller, Markus: *Mikroapplikation von ungefüllten Klebstoffen zum Kleben in der Mikrosystemtechnik*.
Aachen: Shaker Verlag 2002, zugl. Aachen, Technische Hochschule, Diss., 2001
- Monno, 1997 Monno, B. : *Montage und Austausch von BGA, CSP und Flip-Chip*.
In: VTE 9 (1997) Nr. 5, S.260-265
- Moore, 2000 Moore, S.C.; Kurcz, T.J.: *Robotic flange cleaning and formed-in-place gasket application systems*.
In: Industrial Robot: An international Journal 27 (2000) Nr. 1, S. 30-33
- Ness, 1998 Ness, C. Q.; Lewis, A.R.: *Adhesives/Epoxies & Dispensing*.
In: SMT's Pathways to SMT (1998) Nr. 5, S.28-32
- Nguyen, 2001 Nguyen, N.T.; Dötzel, W.: *Mikropumpen - der Entwicklungsstand im Überblick*.
In: F&M 109 (2001) Nr. 3, S. 69-73
- Ogunjimi, 1996 Ogunjimi, A.O.; Mannan, S.H.; Whalley, D.C.; Williams, D.J.:
Assembly of Planar Array Components, Using Anisotropic Conducting Adhesives, A Benchmark Study: Part I-Experiment.
In: IEEE Transactions on components, packaging, and manufacturing technology-Part C Vol. 19 (1996) Nr.4, S. 257-263

- Orthmann, 1995a Orthmann, K.: *Leitklebstoffe - mehr als ein Lötersatz (Teil 1)*.
In: Adhäsion - Kleben & Dichten 39 (1995) Nr. 7, S.32-34
- Orthmann, 1995b Orthmann, K.; Dorbath, B.; Klatt, H.; Richly, W.; Schmidt, J. :
Kleben in der Elektronik. Elektrisch leitende Klebstoffe: Anwendungen, Aufbau, Applikation, Qualität, Zuverlässigkeit.
Renningen-Malsheim: expert verlag, 1995
- Othman, 2004 a Othman, Nabih: *Präzise Mikrodosierung von nieder-, mittel- und hochviskosen Medien*.
In: Adhäsion 48 (2004), Nr. 6, S. 22-24
- Othman, 2004 b Othman, Nabih: *Intelligentes Dosiersystem*.
In: Productronic 24 (2004), Nr. 3, S. 7
- Pan, 2003 Pan, L.S., Ng, T.Y., Wu, X.H., Lee, H.P.: *Analysis of valveless micropumps with inertial effects*.
In: Journal of Micromechanics and Microengineering 13 (2003) Nr. 9, S. 390-399
- Peek, 2001 Peek, R.: *Small-volume dispensing*.
In: Advanced Packaging 10 (2001) Nr. 2, S. 33-36
- Piracci, 2001 Piracci, A.F.: *SMA - Dispensing Trends*.
In: SMT 15 (2001) Jan., S. 86-92
- Pohlentz, 1984 Pohlentz, W.: *Pumpen für Flüssigkeiten*.
Berlin: Verlag Technik, 1984
- Pohlmann, 2000 Pohlmann, W.; Jacob, A.F.; Schäfer, H.; Hennemann, O.D.:
Neues Verbindungskonzept für die interne Zusammenschaltung von M³ICs. In: VTE 12 (2000) Nr. 1, S. 21-26
- Polytec, 2002 Polytec GmbH: *Duralco / Durapot Epoxide: Klebstoffe, Vergussmassen, Wärmeleitpasten*.
Waldbronn, 2002-Firmenschrift
- Reichl, 1998 Reichl, H.: *Direktmontage - Handbuch für die Verarbeitung ungehäuster Ics*.
Heidelberg: Springer Verlag, 1998
- Robins, 1999 Robins, M.: *Intelligent adhesive dispensing*.
In: Electronic Packaging and Production 39 (1999) Nr. 10, S. 22-28
- Roscher,2000 Roscher, D.: *Mikrodosiersystem für die Injektion von Medikamenten*.
In: inno (2000) Nr. 16, S. 8-9
- Ruf, 1995 Ruf, C.: *Klebstoffe in der Elektronik-eine Übersicht*.
In: VTE 7 (1995) Nr. 2, S. 107-110

- Schlücker, 1994 Schlücker, E.: *Dosierpumpen für hochviskose Klebstoffe*.
In: Wägen und Dosieren 25 (1994) Nr. 6, S. 19-26
- Strandjord, 1995 Strandjord, A., Garrou, P., u. a.: *MCM-LD : Large Area Processing Using Photosensitive-BCB*.
In: IEEE Transaction on Components, Packaging, and Manufacturing Technology-Part B, Vol. 18, May 1995, S. 269
- Schärli, 2001b Schärli, A.: *Dispensing with the printing process*.
In: SMT- EP 01 (2001) January, S. 31-32
- Schärli, 2001a Schärli, A.: *Dispensen oder Drucken?*
In: EPP-Spezial 01 (2001) Juni, S. 30-32
- Seitz, 2001 Seitz, H.: *Rapid-Prototyping mit neuem Mikrodosiersystem*.
In: F&M 109 (2001) FORMICROSYS-Sonderteil, S. 16-18
- Simon, 2001 Simon, G.: *Neue Beitragsfolge: Einfache Prüfungen erleichtern die Klebstoffauswahl (Teil 1)*.
In: Adhäsion – Kleben & Dichten 45 (2001) Nr. 3, S. 38-42
- Tetzner, 1998 Tetzner, G.; Battermann, A.; Schäfer, H.; Günther, B.:
Neue Leitklebstoffe für Anwendungen in der Mikroelektronik.
In: Adhäsion - Kleben & Dichten 42 (1998) Nr. 5, S.10,12-14
- VDE, 1998 Gesellschaft Mikroelektronik: *VDE - Mikroelektronik-Studie 1998-2003*.
Frankfurt am Main, 1998
- VDE/VDI, 2002 VDE/VDI-Gesellschaft Mikroelektronik: *Bestimmung der Maschinenfähigkeit von Dispenssystemen*.
Düsseldorf: VDI-Verlag, 2002
- VDE/VDI, 1998 VDI/VDE: 1. Statusseminar: *Elektrisch leitfähiges Kleben von SMT-Bauelementen zur Anwendung in der Mikrosystemtechnik*.
Bremen: 1998
- Vetter, 1994 Vetter, G. (Hrsg.): *Handbuch Dosieren*.
Essen: Vulkan-Verlag, 1994
- Weser, 1980 Weser, C.: *Die Messung der Grenz- und Oberflächenspannung von Flüssigkeiten*.
In: GIT 24 (1980) Nr. 1, S. 642-648 und 734-742
- Westkämper, 2002 Westkämper, E.; Gaugel, T.: *Mikrokleben in der Montage: neues Mikrodosierverfahren für Leitklebstoffe*.
In: Wt Werkstatttechnik 92 (2002) Nr. 9, S. 432-435

- Whalley, 1997 Whalley, D.C.; Mannan, S.H.; Williams, D.J.:
Anisotropic conducting adhesives for electronic assembly.
In: Assembly Automation Vol.17 (1997) Nr. 1, S. 66-74
- Wilde, 2003 Wilde, J., Deier, E.: *Thermomechanische Einflüsse der Chipklebung auf die Genauigkeit Mikromechanischer Drucksensoren Teil 1: Simulation.*
In: tm – Technisches Messen 70 (2003) Nr. 5 , S. 251-257
- Wiemer, 2001 Wiemer, M.; Otto, T.; Gessner, T.: *Übersicht zur Mikrosystemtechnik.*
In: VTE 13 (2001) Nr. 5, S. 253-259
- Wolf, 1968 Wolf, H.: *Tropfen, Blasen und Lamellen.*
Springer-Verlag, Berlin, Heidelberg 1968
- Wolf, 1991 Wolf, H., Lasch, M.: *Möglichkeiten zur Bewertung von Montageklebstoffen.* In: Adhäsion 35 (1991) Heft 12, S. 34-37

10.2 Internet

- AHC, 2000 AHC-Oberflächentechnik GmbH&Co. OHG: *Metallisierung von Zwei-Komponenten-Polyamid/3 D-MID.*
<http://www.ahc-oberflaechentechnik.de/3-d-mid.html>
Kerpen, D, [Stand 2000.05. 31]
- Geßner, 1999 Geßner : *Ionensensitiver Feldeffekttransistor (ISFET) .*
<http://www.infotech.tu-chemnitz.de/~hofmann/isfet1.html>
Chemnitz, D, [Stand 1999.11.23]
- GLT, 2004 Gesellschaft für Löttechnik mbH
<http://www.glt-pforzheim.de/>
Pforzheim, D [Stand 2004.10.30]
- HNP, 2001 HNP Mikrosysteme GmbH: *Mikrozahnringprinzip.*
<http://www.hnp-mikrosysteme.de/prinzip.htm>
Parchim, D, [Stand 2004.01.30]
- IPC, 2002a IPC- Association Connecting Electronics Industries: *Screen Printing Terms and Definition.*
<http://www.ipc.org/html/smema5.pdf>
Anaheim, CA, [Stand 2002.04.03]
- IPC, 2002b IPC- Association Connecting Electronics Industries: *Fluid Dispensing Terms and Definition.*
<http://www.ipc.org/html/smema7.pdf>
Anaheim, CA, [Stand 2002.04.03]

- Ismatec, 2001 Ismatec SA: *Ventillose Kolbenpumpe*.
www.ismatec.ch/de_d/pumpen/k_misc/animated_pistpump.htm
Glattbrugg, CH, [Stand. 2001.01.18]
- Murch, 2002 Murch, F.: *Different Dispensers for Different Materials: DCA, Flip Chip Underfill and SMA*.
http://smt.pennnet.com/Articles/Article_Display.cfm?Section=Archives&Subsection=Display&ARTICLE_ID=139057&KEYWORD=Dispensers
Nashua, NH, [Stand 2002.04.03]
- Lenser, 1999 Lenser: *Berechnung der Schließkräfte bei der Verwendung von Membran-Filterelementen*.
<http://www.lenser.de/deutsch/schließ.html>
Senden, D, [Stand 1999.11.23]
- Männer, 1999 Männer, O.: *Offene Düse oder Nadelverschlussdüse*.
<http://www.m-form.com/nadelver/duese.htm>
Bahlingen, D, [Stand 1999.11.23]
- Schiller, 2002 S. Schiller GmbH: *Zukunftsmarkt Mikroelektronik*.
<http://www.sschiller.de/dispens.htm>
Sonnenbühl, D, [Stand 2002.04.04]
- Wijngaart, 2000 van der Wijngaart, W.; Olsson, A.; Enoksson, P.; Stemme, G.: *Valv-less Diffuser Micropumps*.
<http://www.s3.kth.se/instrlab/research/projects/pump.html>
Stockholm, Sweden [Sand 2000.06.07]
- Vondein, 1999a Vondein ; M. : *Überblick-Membran*.
<http://www.gkss.de/GKSS/ad94/S.26-27.html>
Geesthacht, D [Stand 1999.11.23]
- Vondein, 1999b Vondein ; M. : *Benzindampfrückgewinnung - ein großer Beitrag zur Umweltverbesserung mit Membranverfahren*.
<http://www.gkss.de/GKSS/ad94/S.28-31.html>
Geesthacht, D [Stand 1999.11.23]
- Vondein, 1999c Vondein, M. : *Molecular Modelling - Membranen mit Computern designed*. <http://www.gkss.de/GKSS/ad94/S.32-33.html>
Geesthacht, D [Stand 1999.11.23]
- Vondein, 1995d Vondein, M. : *Membranentstehung - aus Kunststoffen entstehen feine Häutchen*.(1995).
<http://www.gkss.de/GKSS/ad94/S.34-35.html>
Geesthacht, D [Stand 1999.11.23]
- Vondein, 2003e Vondein, M. : *Druckluftentfeuchtung mit Membranen*.
<http://www.gkss.de/GKSS/ad94/S.36-37.html>
Geesthacht, D [Stand 1999.11.23]

- Vondein, 1999f Vondein, M. : *Nanofiltration - eine Membrantrenntechnik setzt sich durch*. <http://www.gkss.de/GKSS/ad94/S.38-39.html>
Geesthacht, D [Stand 1999.11.23]
- Schleser, 2004 Schleser, M., Smolka, G.: *Mikrofügen*.
www.isf.rwth-aachen.de/arbeitsg/forschung/mikro/mikro.html
Aachen, D, [Stand 2004-09-30]
- Vieweg, 2004 Vieweg GmbH.
http://www.dosieren.de/kataloge/pdf/10_zubeh_adapter_31_36.pdf
Kranzberg, D, [Stand 2004-10-30]

Anhang 1: Datenblatt der 5cm³-Kartuschen

Technische Daten:

Density:	0,8 g/cm ³	
Melt flow rate:	10 g/10 min	bei 230°C, 2,18kg
Tensile yield strength:	880 kg/cm ²	bei 50mm/min
Elongation at break:	36	80mm/min
E-Modul:	13000 kgf/cm ²	bei 23°C
Hardness:	98	R Scale Rockwell
Izod impact strength:	6,0kgf	bei 23°C
Vicat softening point:	140kgf	
FDA status:	yes	



ABLEBOND® 84-1LMISR4
ELECTRICALLY CONDUCTIVE DIE ATTACH ADHESIVE

DESCRIPTION

ABLEBOND® 84-1LMISR4 electrically conductive die attach adhesive has been formulated for use in high throughput, automatic die attach equipment. The rheology of ABLEBOND 84-1LMISR4 adhesive allows minimum adhesive dispense and die put down dwell times, without tailing or stringing problems. The unique combination of adhesive properties makes this material one the most widely used die attach materials in the semiconductor industry.

FEATURES

- Excellent dispensability with minimal tailing and stringing
- Box oven cure

Typical Uncured Properties	ABLEBOND 84-1LMISR4	Test Description	Test Method
Filler Type	Silver		
Viscosity @ 25°C	8000 cP	Brookfield CP51 @ 5 rpm	ATM-0018
Thixotropic Index	5.6	Viscosity @ 0.5/Viscosity @ 5 rpm	ATM-0089
Work Life @ 25°C	18 hours	Physical worklife by % filler	ATM-0067
Storage Life @ -40°C	1 year		ATM-0068

Cure Process Data	ABLEBOND 84-1LMISR4	Test Description	Test Method
Weight Loss on Cure	5.3%	10 x 10 mm Si die on glass slide	ATM-0031
Recommended Cure Condition	1 hour @ 175°C		
Alternate Cure Condition ⁽¹⁾	3 - 5°C / min ramp to 175°C + 1 hour @ 175°C		
⁽¹⁾ The ramp was observed to yield reduced bondline voiding and increased strength			

PHYSIOCHEMICAL PROPERTIES - Post Cure	ABLEBOND 84-1LMISR4	Test Description	Test Method
Ionics	Chloride Sodium Potassium	5 ppm 3 ppm 1 ppm	Teflon flask, 5 gm sample/20-40 mesh, 50 gm DI water, 100°C for 24 hours
Water Extract Conductivity	13 µmhos/cm	Conductometer	ATM-0044
pH	6	pH meter	ATM-0002
Weight Loss @ 300°C	0.35%	Thermogravimetric analysis	ATM-0073
Glass Transition Temperature	120°C	TMA penetration mode	ATM-0058
Coefficient of Thermal Expansion	Below Tg Above Tg	40 ppm/°C 150 ppm/°C	TMA expansion mode

The figures shown above are typical values only. If you need to write a specification, please request our current Standard Release Specification.

Anhang 3: Leitleber Heraeus 3001

Heraeus

Circuit Materials Division

W.C. Heraeus GmbH & Co. KG . Pf. 1553, D-63405 Hanau

Fraunhofer-Institut
Nobelstrasse 12
D-70569 STUTTGART

Qualitätsprüfzeugnis

Datum
08.12.2003
Bestellposition/Datum

Lieferposition/Datum

Auftragsposition/Datum

Kundennummer
73920

Material: Unsere / Ihre Bezeichnung
89950609 PC 3001 AG-LEITKLEBER IN KART.1 (20 g) /

Charge 3633630600 / Verfallsdatum 14.06.2004 bei sachgemäßer Lagerung

Merkmal	Einheit	Wert
Aushärtung	-	150°C - 10 min
Spezifischer el. Widerstand	mOhmcm	0,10
Viskosität bei 50 1/s, 23°C	Pa.s	10,9
Viskosität bei 10 1/s, 23°C	Pa.s	27,6

Produktfreigabe
Datum: 03.11.2003
Qualitätsmanagement
D. Klein J. Freitag

Dunkel lagern bei < - 40 °C
Das Material sollte vor dem Öffnen des Behälters Raumtemperatur erreicht haben, damit sich kein Kondenswasser bilden kann.

Dieses Zeugnis wurde sorgfältig und nach bestem Wissen im Rahmen des Qualitätsmanagementsystems der W.C. Heraeus GmbH & Co. KG erstellt. Es erbindet unsere Kunden jedoch nicht von ihrer Obliegenheit zur Wareneingangskontrolle und begründet keine Ansprüche Dritter, an die es weitergeleitet wird. Eine Eigenschaftszusicherung im rechtlichen Sinne ist hiermit nicht verbunden, sofern dies nicht vorher ausdrücklich schriftlich bestätigt wurde.
Dieses Zeugnis entspricht einem Abnahmeprotokoll 3.1.8 gemäß DIN EN 10204.
(2036_01_ÇAD)