

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	vii
Tabellenverzeichnis	xv
Abkürzungsverzeichnis	xix
Symbolverzeichnis Formelzeichen	xxi
1 Einleitung	1
1.1 Bedeutung von Drucktechnologien für die Herstellung funktionaler Mikrostrukturen	1
1.2 Entwicklungsstand	2
1.2.1 Einkanalige digitale Druckverfahren für die gedruckte Elektronik	2
1.2.2 Grundstruktur vektorieller Drucksysteme	12
1.2.3 Materialien und Hilfsprozesse für die gedruckte und hybride Elektronik	13
1.2.4 Einflussfaktoren auf die Fertigungsqualität	20
1.3 Ziele und Aufgaben	23
2 Neue Methodik zur Optimierung druckprozessbasierter Fertigungsverfahren	25
2.1 Anforderungen an den Fertigungsprozess	25
2.1.1 Neue Produktgestaltungsmöglichkeiten additiver Fertigungsverfahren	25
2.1.2 Anforderungen an das Produkt	26
2.1.3 Anforderungen an den Prozess	26
2.1.4 Vollständig digitaler Fertigungsprozess	26
2.1.5 Fertigungsprozesskette	28
2.2 Methodische Vorgehensweise	31
2.3 Vorgehensweise zur Auffindung robuster Druckparameter	33
2.3.1 Vorgehensweise zur Evaluierung der Druckbarkeit funktionaler Tinten für den Extrusionsdruck	34
2.3.2 Vorgehensweise zur Evaluierung der Druckbarkeit funktionaler Tinten für den Piezo-Inkjet-Druck	36
2.3.3 Vorgehensweise zur Evaluierung der Bedruckbarkeit von Substraten	40
2.4 Zusammenstellung der verwendeten Tinten, Substrate, Druckköpfe und Prozessparameter	44
2.5 Zusammenfassung	46
3 Neue Hardwarerealisierungen	47
3.1 Neues System für den reproduzierbaren und zuverlässigen Extrusionsdruck	47
3.1.1 Entwicklung von Druckköpfen für den Extrusionsdruck	47
3.1.2 Entwicklung der neuen Grundplattform MiBBS I	49
3.1.3 Realisierung eines Extrusionsdruckprozesses zum Bedrucken planarer und flexibler Substrate in 2D und 3D	50
3.1.4 Realisierung eines Extrusionsdruckprozesses zum Bedrucken rotationssymmetrischer Bauteile	52
3.1.5 Evaluierung des Extrusionsdruckprozesses für Strukturen auf gekrümmten Substraten	56
3.2 Neues System für den reproduzierbaren und zuverlässigen Piezo-Inkjet-Druck	57
3.2.1 Analyse des vorhandenen Systems und Optimierung des Druckkopfes	57

3.2.2	Entwicklung der neuen Plattform MiBBS II	57
3.2.3	Komplettes Inkjet-Drucksystem	57
3.2.4	Evaluierung Inkjet-Drucksystem	59
3.2.5	Realisierung eines Prüfstands zur Evaluierung der Spreitung von Inkjet-Tintentropfen	60
3.3	Zusammenfassung	60
4	Experimentelle Ergebnisse für das Extrusionsdruckverfahren	61
4.1	Ergebnisse Ds-Druckdüsen	61
4.1.1	Drucken vollständiger Teststrukturen	61
4.1.2	Bewertung	64
4.2	Ergebnisse Dm-Druckdüsen	65
4.2.1	Parameterstudien	65
4.2.2	Bewertung	69
4.3	Ergebnisse Dg-Druckdüsen	69
4.3.1	Parameterstudien Linienstrukturen	69
4.3.2	Drucken vollständiger Teststrukturen	74
4.3.3	Drucken von dreidimensionalen Teststrukturen auf Glas	77
4.3.4	Bewertung	78
4.4	Zusammenfassung	78
5	Evaluierung ausgewählter Tinte-Inkjet-Drucksystem-Substrat Kombinationen	81
5.1	Evaluierung der Druckbarkeit ausgewählter funktionaler Tinten	81
5.1.1	Tinten Ti4, Ti5 und Ti6 und 50 µm-Druckkopf	81
5.1.2	Weitere Tinten und 50 µm-Druckkopf	84
5.2	Evaluierung der Bedruckbarkeit ausgewählter Substrate	89
5.2.1	Evaluierung der Benetzung von Tintentropfen auf PET	89
5.2.2	Evaluierung von Tropfenspreitung und -trocknung auf Glas	92
5.2.3	Bewertung	93
5.3	Zusammenfassung	93
6	Experimentelle Ergebnisse für das neue Inkjet-Druckverfahren	95
6.1	Ergebnisse für Testlinienstrukturen Leiterbahnen	95
6.1.1	Parameter für das Drucken von Kontaktflächen	95
6.1.2	Parametervariation: Linien ohne Kontaktflächen	97
6.1.3	Parametervariation: Linien mit Kontaktflächen	100
6.1.4	Linienbreiten kleiner als Einzeltropfendurchmesser	103
6.1.5	Reproduzierbarkeit	105
6.1.6	Eigenschaften ungesinterter Teststrukturen	106
6.2	Ergebnisse für Testlinienstrukturen Widerstände	110
6.2.1	Widerstandslinien mit Kontaktflächen aus Kohlenstoff	110
6.2.2	Widerstandslinien mit Kontaktflächen aus Silber	112
6.2.3	Eigenschaften Widerstandsstrukturen	117
6.3	Ergebnisse der Nachbehandlung	119
6.3.1	Ofensintern	119
6.3.2	Blitzlicht-Sintern	126
6.3.3	Vergleich der Sinterergebnisse	130
6.4	Zusammenfassung	130
7	Ultraschall-Plottverfahren und Aerosol on Demand Jet-Druckverfahren	131
7.1	Optimierung des Ultraschall-Plottverfahrens	131
7.1.1	Problemidentifizierung	131
7.1.2	Optimiertes Dispenser-Konzept	132

7.1.3	Experimentelle Evaluierung	132
7.1.4	Varianten	133
7.2	Neuentwicklung des Aerosol on Demand Jet-Druckverfahrens	134
7.2.1	Problemidentifizierung	135
7.2.2	Neues Aerosol on Demand Konzept	135
7.2.3	Simulative Evaluierung	138
7.2.4	Experimentelle Evaluierung	139
7.2.5	Varianten	140
7.3	Zusammenfassung	140
8	Anwendung der gesamtheitlichen Fertigungsstrategie anhand ausgewählter Beispiele	141
8.1	Spulen für die Kernspinresonanz-Probenanalyse	141
8.1.1	Hintergrund	141
8.1.2	Silber-Solenoidspulen	143
8.1.3	Silber-Sattelspulen	148
8.1.4	Fazit und Zusammenfassung	151
8.2	Flexible hybride elektronische Schaltungen	151
8.2.1	Hintergrund	152
8.2.2	Demonstrator Blinkerschaltung	152
8.2.3	Demonstrator Summerschaltung	153
8.2.4	Fazit und Zusammenfassung	164
8.3	Neue Fertigungsansätze für smarte Kontaktlinsensysteme	164
8.3.1	Hintergrund	164
8.3.2	Materialien und Teststrukturen	166
8.3.3	Versuchsdurchführung	169
8.3.4	Auswertung	171
8.3.5	Vergleich und Fazit	178
8.4	Zusammenfassung	179
9	Zusammenfassung	181
	Literaturverzeichnis	185
A	Anhang	205
A.1	Anforderungen an das neue Extrusionsdrucksystem	205
A.2	Anforderungen an das neue Piezo-Inkjet-Drucksystem	206
A.3	Entwicklung des neuen Piezo-Inkjet-Drucksystems	207
A.3.1	Evaluierung der bestehenden Systemkomponenten	207
A.3.2	Optimierung des Piezo-Inkjet-Basis-Systems von MicroFab	210
A.4	Bewertung von Fehlern und Ursachen, Bestimmung von Risiken und Priorisierung der Fehler	219
A.5	Optimierter Reinigungsprozess für den neuen Piezo-Inkjet-Druckkopf	231
A.6	Steuerung Piezo-Inkjet-Drucksystem MiBBS II	232