

# Inhaltsverzeichnis

1	Einleitung	1
1.1	Wirtschaftliche Relevanz	4
1.2	Ausgangssituation und Motivation der Arbeit	5
1.3	Zentrale Defizite und daraus abgeleitete Ziele der Arbeit	7
1.4	Vorgehensweise	8
2	Stand der Technik	11
2.1	Definition von Smart Textiles	11
2.2	Einordnung der Smart Textiles nach Anwendungsfeldern	14
2.3	Fertigung konventioneller Leiterplatten	15
2.3.1	Definition: Printed Circuit Board (PCB)	15
2.3.2	Fertigung starrer Leiterplatten	16
2.3.3	Flexible Leiterplatten	18
2.4	Elektrisch leitfähige Textilien	19
2.4.1	Faserbeschichtung mit elektrisch leitfähigen Polymeren	20
2.4.2	Silberbeschichtung von Textilien und Garnen	21
2.4.3	Isolierung leitfähiger Garne zur Prävention von Kurzschlüssen	22
2.5	Herstellen elektrisch leitfähiger Strukturen in textilen Flächen	23
2.5.1	Weben	24
2.5.2	Maschenwaren	25
2.5.3	Sticken	26
2.6	Drucken elektrisch leitfähiger Strukturen auf Textilien	28
2.6.1	Elektrisch leitfähige Tinten	29
2.6.2	Tintenstrahldruck	29
2.6.3	Sieb- und Schablonendruck	32
2.6.4	Dispensdruck	34
2.7	Bauteilapplikation in der Leiterplattenfertigung	35
2.7.1	Oberflächenmontagetechnik von Surface-mounted Devices	36
2.7.2	Fügen elektronischer Bauteile auf textilen Leiterplatten	38
2.7.2.1	Löten von SMD-Bauteilen auf gestickten Leiterbahnen	40
2.7.2.2	Kleben mit thermoplastischem Polyurethan (TPU)	40
2.8	Aktuelle Defizite und Fazit	42

3	Technische Ausgangslage für textile Leiterplatten	46
3.1	Druckverfahren für funktionelle organische Materialien	46
3.1.1	Schlitzdüsen-Beschichten mit funktionalen Tinten auf Folien	47
3.1.2	Siebdruck funktionaler Tinten auf Folien	48
3.2	Eignung textiler Oberflächen für die Elektronikapplikation	50
3.3	Bauweisen elektronischer Komponenten	57
3.3.1	Through-Hole Technology (THT)	58
3.3.2	Surface-mounted Devices (SMD)	58
3.4	Fügeverfahren für mikroelektronische Bauteile	60
3.4.1	Löten	61
3.4.2	Kleben	63
3.4.3	Elektrisch leitfähige Klebstoffe	66
4	Systematik zur Auslegung gedruckter Elektronik auf Textilien	69
4.1	Zielsetzung	69
4.2	Grundlegende Eigenschaften textiler Werkstoffe	71
4.3	Festlegung des Untersuchungsraums	72
4.4	Bewertung der Substrateignung	74
4.5	Gesamtsystematik zur Auslegung textiler Leiterplatten	75
4.6	Eingrenzung der Anforderungen an die jeweiligen Subsysteme	77
4.6.1	Anforderungen an die Oberflächenbeschaffenheit von Textilien	81
4.6.2	Auslegung gedruckter Leiterbahnen auf Textilien	83
5	Validierung der Drucktechnologien	88
5.1	Eignung des Dispensdruckverfahrens für Textilien	89
5.2	Siebdruck	98
5.2.1	Einflussgrößen auf die resultierende Schichtdicke	99
5.2.2	Topografieuntersuchungen	101
5.3	Vorbeschichtung der Druckfläche	104
6	Verbindungstechnik für SMD-Elemente auf Textilien	108
6.1	Anforderungen an die Fügeverbindung	108
6.2	Kontaktierung elektronischer Bauteile auf Textilien	109
6.2.1	Festigkeit von Löt- und Klebeverbindungen	110
6.2.2	Positioniergenauigkeit von SMDs auf textilen Leiterplatten	114

6.2.3	Härteprozess	115
6.3	Verbesserung der Gebrauchsbeständigkeit	117
6.3.1	Einfluss der Vorbeschichtung auf die Waschbeständigkeit	118
6.3.2	Auslegung der Leiterbahngeometrie	120
6.4	Fazit zur Verbindungstechnik	123
7	Kostenkalkulation der Produktionsprozesse	125
7.1	Materialkosten	129
7.2	Prozesszeiten	134
7.3	Wirtschaftlichkeitsbetrachtung	138
8	Anwendungsbeispiel organische Photovoltaik	142
8.1	Gewebe als Substrate für gedruckte organische Photovoltaik	144
8.1.1	Textilcharakterisierung	145
8.1.2	Topografie der unbeschichteten Gewebe	147
8.1.3	Bestimmung der Barrierewirkung gegen Wasser und Sauerstoff	148
8.1.4	Ermittlung relevanter Parameter auf den Funktionaldruck	149
8.2	Einfluss der Vorbeschichtung	153
8.2.1	Schichtdicke und Topografie der Vorbeschichtung	154
8.2.2	Luftdurchlässigkeit mit Vordruck	155
8.2.3	Wasserdampfdurchlässigkeit mit Vordruck	158
8.3	Siebdruck der Elektroden	161
8.3.1	Elektrische Widerstände bei Flächendruck	162
8.3.2	Referenzdruck auf Folie für theoretische Schichtdicke	164
8.3.3	Topografieuntersuchungen siebgedruckter Grundlektroden	164
8.4	Siebdruck der PEDOT:PSS-Schicht	166
8.5	Aktive Schicht	168
8.6	Zinkoxid-Schicht	169
8.7	Validierung der gedruckten OPV-Zellen	169
8.8	Fazit zum Drucken organischer Photovoltaik auf Textilien	173
9	Auslegung textiler Produkte mit gedruckter Elektronik	175
9.1	Methodisches Vorgehen: Smart-7-Step-Tool	176
9.2	Produktentwicklung	178
9.2.1	Anforderungsdefinition	178

9.2.2	Energiefluss und Messtechnik	186
9.2.3	Herstellung des Prototyps	187
9.2.4	Performance-Test, Evaluation und Grenzwertermittlung	190
9.3	Fazit zur Produktentwicklung	193
10	Prozesskettenauslegung für textilintegrierte Elektronik	195
10.1	Auslegung der Prozesskette	198
10.2	Generieren der Technologiekette	200
10.3	Konzeptionierung der Maschinenanordnung	205
10.4	Validierung	206
10.5	Wirtschaftliche Bewertung	209
10.6	Fazit der Prozesskettenauslegung	210
11	Zusammenfassung	212
12	Ausblick	216
13	Summary	218
14	Verzeichnisse	222
14.1	Abbildungen	222
14.2	Tabellen	229
14.3	Abkürzungen	231
14.4	Literatur	232
14.5	Studentische Arbeiten	257