

1	Motivation und Zielstellung der Arbeit	1
2	Stand von Wissenschaft und Technik	3
2.1	Dehnungsmessstreifen	3
2.1.1	Eine historische Rückschau	4
2.1.2	Physikalische Funktionsweise metallischer Dehnungsmessstreifen	5
2.1.3	Wheatstonesche Brückenschaltung	7
2.1.4	Herstellung von Dehnungsmessstreifen	9
2.1.4.1	Laminiertechnik	10
2.1.4.2	Dünnschichttechnik	10
2.1.5	Installation von Folien-Dehnungsmessstreifen auf metallische Bauteile	11
2.1.6	Messung von zweiachsigen Spannungszuständen mit unbekannten Hauptrichtungen	12
2.2	Drop-on-Demand Inkjet-Druck von nanopartikulären Metalldispersionen	13
2.2.1	Transportmechanismen in flüssigen Schichten	17
2.2.2	Dateiformate und Bildverarbeitung CAD Inkjet	19
2.2.3	Einfluss der Druckrichtung und Orientierung von Linien-Strukturen auf die Schichtmorphologie	21
2.3	Sintern von nanopartikulären, metallischen Schichten	23
2.3.1	Ofensintern	23
2.3.2	Photonisches Blitzsintern	24
2.3.3	Selektives Lasersintern	24
2.4	Additive Fertigung von Dehnungssensoren	24
2.4.1	Foliensysteme zur kleintechnischen Applizierung	26
2.4.2	Direkt bauteilverbundene Dehnungssensoren	27
3	Problemstellung, Zielsetzung und Vorgehensweise	29
3.1	Problemstellung	29
3.2	Zielsetzung	30
3.3	Forschungsfragen	32
3.4	Vorgehensweise	33
4	Material und Methoden	35
4.1	Werkstoffe	35
4.2	Geräte und Anlagentechnik	36
4.2.1	Inkjetdrucker	36
4.2.2	Ofen	37

4.3	Analyse-Verfahren	37
4.3.1	Auflichtmikroskopie	37
4.3.2	Weißlichtinterferometrie	37
4.3.3	Widerstandsmessung	38
5	Inkjet-Druck von DMS-Messgittern senkrechter Gitterorientierungen	39
5.1	Änderung der Druckrichtung je Gitterorientierung	39
5.2	Rotation der Druckvorlage um 45°	40
5.2.1	Aufbereitung CAD-Daten und Probleme gängiger Bildverarbeitungsrouterien	41
5.2.2	Diagonal-Gitter	44
5.2.3	<i>u-v</i> -Rotations-Gitter	46
5.3	Experimentelle Untersuchungen Inkjet Druck Verfahrensentwicklung	50
5.3.1	Teststruktur und Konvertierung	50
5.3.2	Drucktechnische Herstellung von DMS auf diagonalen Gittern	54
5.3.3	Elektrische Charakterisierung	57
5.4	Zwischenfazit	60
6	Inkjet-Druck von Dehnungsmessstreifen-Rosetten dreier Gitterorientierungen	63
6.1	DMS-Rosetten	63
6.2	Inkjet-Druck von DMS-Rosetten	64
6.2.1	Design von DMS-Rosetten auf Basis von Diagonal-Gittern	65
6.2.2	Design von DMS-Rosetten auf Basis von Hexagonal-Gittern	67
6.2.2.1	Hexagonal-Gitter und Symmetrie-Eigenschaften	67
6.2.2.2	Definition von Hexagonal-Gittern für den Inkjet-Druck und Ausrichtung	69
6.2.2.3	MaterialdichteVerteilung beim Inkjet-Druck von Hexagonal-Gittern	70
6.2.2.4	Datenformate zum Inkjet-Druck von Hexagonal-Gittern	72
6.2.2.5	Erstellung von Druckvorlagen	74
6.3	Experimentelle Untersuchungen	78
6.3.1	Drucktechnische Herstellung	79
6.3.2	Elektrische Eigenschaften der DMS-Rosetten	83
6.3.2.1	Rechtwinkel-Rosetten	83
6.3.2.2	Delta-Rosetten	87
6.4	Zwischenfazit	90

7	Mehrlagen-Druckstrategie zur Unterdrückung von Materialtransport in Inkjet-gedruckten Strukturen	93
7.1	Materialtransport in nassen, Inkjet-gedruckten partikulären Schichten	93
7.2	Mehrlagendruckstrategie	99
7.2.1	Mehrlagendruck auf Pixel-Gittern	101
7.2.2	Mehrlagendruck auf $u\text{-}v$ - und Hexagonal-Gittern	104
7.2.3	Erstellung der Druckvorlagen	106
7.3	Experimentelle Untersuchungen	107
7.3.1	Elektrische Eigenschaften der Vollbrücken	109
7.3.2	Schichtmorphologie	111
7.4	Zwischenfazit	113
8	Zusammenfassung und Ausblick	115
8.1	Zusammenfassung	115
8.1.1	Ergebnisse Druck DMS-Vollbrücken	115
8.1.2	Ergebnisse Druck DMS-Rosetten	117
8.1.3	Fazit	119
8.2	Ausblick	120
9	Abkürzungsverzeichnis	125
10	Anhang	127
10.1	Kaltklebeverfahren	127
10.2	Flugdynamik der Tintentröpfchen	129
10.3	Verwendete Druckvorlagen	130
10.4	Wertetabellen $u\text{-}v$ -Gitter	136
10.5	Überprüfung der Korrelation von Widerstand und Verstimmung bei DMS-Rosetten	138
11	Literaturangaben	139