

# Inhaltsübersicht

Abbildungsverzeichnis	xv
Tabellenverzeichnis	xvii
Symbol- und Abkürzungsverzeichnis	xix
1 Einleitung	1
2 Industrialisierung des Faserverbundleichtbaus in der Praxis	15
3 Fertigungsintegrierte Messtechnik in der Wissenschaft	33
4 Machine-Vision-Messsystem	59
5 Fallstudien zur Machine-Vision-Integration	93
6 Industrialisierungstheorie zur Machine-Vision-Integration	123
7 Industrialisierende Machine-Vision-Integration im Faserverbundleichtbau	151
8 Zusammenfassung	159
Literaturverzeichnis	161
A Musterkatalog CFK-Gelege	173

# Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	xv
Tabellenverzeichnis	xvii
Symbol- und Abkürzungsverzeichnis	xix
<b>1 Einleitung</b>	<b>1</b>
1.1 Problemstellung	2
1.2 Ziel der Arbeit	5
1.3 Forschungsdesign	8
1.4 Vorgehensweise und Aufbau der Arbeit	11
<b>2 Industrialisierung des Faserverbundleichtbaus in der Praxis</b>	<b>15</b>
2.1 Industrialisierung	15
2.1.1 Industrialisierungsbegriff	15
2.1.2 Prozessfähigkeit als Industrialisierungskennzahl	15
2.2 Faserverbundkunststoffe	17
2.2.1 Allgemeine Eigenschaften	17
2.2.2 Verstärkungsfasern	17
2.2.3 Matrix	19
2.2.4 Textile Faserhalbzeuge	19
2.3 Branchenübersicht	20
2.4 Industrialisierung der Fertigungsverfahren	22
2.4.1 Heutiger Stand der Fertigung	22
2.4.2 Neue Textil- und Imprägnierverfahren	23
2.4.3 Industrialisierungsansätze	24
2.5 Handlungsbedarf aus der Praxis	30
<b>3 Fertigungsintegrierte Messtechnik in der Wissenschaft</b>	<b>33</b>
3.1 Fertigungsmesstechnik im Qualitätsmanagement	33
3.2 Nutzenbewertung von Messungen für die Produktion	35
3.2.1 Wert- und Wertschöpfungsbegriff	35
3.2.2 Qualitätsbezogene Kosten- und Leistungsrechnung	36
3.3 Fertigungsintegrierte Messungen in Qualitätsregelkreisen	41
3.3.1 Informationen über die Produktion durch Messen	41
3.3.2 Informationen im Qualitätsmanagement	42
3.3.3 Informationen in der Entscheidungstheorie	43

3.4	Lösungsansätze für die fertigungsintegrierte Faserverbundprüfung . . . . .	45
3.4.1	Potenzial der etablierten Verfahren . . . . .	46
3.4.2	Machine-Vision . . . . .	47
3.4.3	Konzepte zur Sensordatenfusion . . . . .	50
3.5	Grundlagen zur Beschreibung orientierter Strukturen . . . . .	51
3.6	Implikationen zur industrialisierenden Messtechnik-Integration . . . . .	54
3.6.1	Anforderungen an ein Machine-Vision-System . . . . .	55
3.6.2	Anforderungen an eine industrialisierende Integrationsgestaltung . . . . .	56
<b>4</b>	<b>Machine-Vision-Messsystem</b>	<b>59</b>
4.1	Machine-Vision-Systemkonzept . . . . .	59
4.2	Aufbau des Machine-Vision-Basissystems . . . . .	60
4.3	Ausdetaillierung der Machine-Vision-Methoden . . . . .	61
4.3.1	Bildanalytische Messung der Faserorientierung . . . . .	61
4.3.2	Optische 3D-Geometrie-Messung . . . . .	71
4.4	Untersuchung der Messunsicherheit . . . . .	74
4.4.1	Statistische Optimierung der Faserorientierungsmessung . . . . .	75
4.4.2	Bestimmung der Messunsicherheit . . . . .	88
4.5	Zwischenfazit zur technischen Machine-Vision-Gestaltung . . . . .	92
<b>5</b>	<b>Fallstudien zur Machine-Vision-Integration</b>	<b>93</b>
5.1	Auswahl der Fallbeispiele . . . . .	93
5.2	Komplexe Drapierung von CFK-Halbzeugen . . . . .	96
5.2.1	Ausgangssituation . . . . .	96
5.2.2	Zielsetzung . . . . .	98
5.2.3	Aktion: Machine-Vision-Integration . . . . .	99
5.2.4	Ergebnisse . . . . .	101
5.2.5	Erkenntnisse zum Industrialisierungspotenzial . . . . .	103
5.3	Automatisierte Handhabung von GFK-Halbzeugen . . . . .	104
5.3.1	Ausgangssituation . . . . .	104
5.3.2	Zielsetzung . . . . .	105
5.3.3	Aktion: Machine-Vision-Integration . . . . .	105
5.3.4	Ergebnisse . . . . .	107
5.3.5	Erkenntnisse zum Industrialisierungspotenzial . . . . .	109
5.4	Automatisiertes Flechten von CFK-Preforms . . . . .	110
5.4.1	Ausgangssituation . . . . .	110
5.4.2	Zielsetzung . . . . .	111
5.4.3	Aktion: Machine-Vision-Integration . . . . .	111
5.4.4	Ergebnisse . . . . .	113
5.4.5	Erkenntnisse zum Industrialisierungspotenzial . . . . .	116
5.5	Automatisches Tapelegen . . . . .	116
5.5.1	Ausgangssituation . . . . .	116
5.5.2	Zielsetzung . . . . .	118
5.5.3	Aktion: Machine-Vision-Integration . . . . .	118
5.5.4	Ergebnisse . . . . .	119

---

5.5.5	Erkenntnisse zum Industrialisierungspotenzial . . . . .	119
<b>6</b>	<b>Industrialisierungstheorie zur Machine-Vision-Integration</b>	<b>123</b>
6.1	Fallübergreifende Analyse der Integration . . . . .	123
6.2	Modellgrundlage zur Industrialisierungstheorie . . . . .	125
6.3	Konstitutive Bestandteile . . . . .	127
6.3.1	Stochastische Abhängigkeit von Fertigungs- und Messprozess . . . . .	127
6.3.2	Entscheidungsabhängige Umweltsituationen . . . . .	128
6.3.3	Quantifizierung des Integrationsnutzens . . . . .	129
6.3.4	Integration von Entscheidungsbaum und Qualitätsregelkreis . . . . .	130
6.3.5	Systemgrenzen bei generativer Fertigung . . . . .	130
6.3.6	Zwischenfazit . . . . .	130
6.4	Entscheidungsbasierte Industrialisierungstheorie . . . . .	132
6.4.1	Basismodell „Wert von Informationen durch Messen“ . . . . .	132
6.4.2	Modelleinbettung von Qualitätsregelkreisen . . . . .	136
6.4.3	Nutzenbewertung der Fertigungsintegration . . . . .	140
<b>7</b>	<b>Industrialisierende Machine-Vision-Integration im Faserverbundleichtbau</b>	<b>151</b>
7.1	Erkenntnisgewinn . . . . .	151
7.2	Handlungsempfehlungen für die Praxis . . . . .	154
7.2.1	Integrationsgestaltung „Lernen über Material und Fertigung“ . . . . .	154
7.2.2	Integrationsgestaltung „Fertigungsintegrierte Qualitätssicherung“ . . . . .	154
7.2.3	Integrationsgestaltung „Automatisierende Qualitätsregelkreise“ . . . . .	155
7.3	Kritische Reflexion . . . . .	155
7.4	Zukünftige Machine-Vision-Integration im Faserverbundleichtbau . . . . .	157
<b>8</b>	<b>Zusammenfassung</b>	<b>159</b>
	<b>Literaturverzeichnis</b>	<b>161</b>
<b>A</b>	<b>Musterkatalog CFK-Gelege</b>	<b>173</b>
A.1	Erläuterungen zum Musterkatalog . . . . .	173
A.2	Musterkatalog . . . . .	175