

## Inhaltsverzeichnis

<b>Inhaltsverzeichnis .....</b>	I
<b>Abbildungsverzeichnis .....</b>	V
<b>Tabellenverzeichnis .....</b>	IX
<b>Formelverzeichnis.....</b>	XI
<b>Abkürzungsverzeichnis .....</b>	XVII
<b>1 Hochpräzise Positionsdaten zur Befähigung einer flexiblen Großbauteilmontage.</b> 1	
1.1 Herausforderungen bei der Positionsmessung mobiler Objekte .....	2
1.2 Forschungsdesign und Aufbau der Arbeit.....	4
1.3 Heuristischer Bezugsrahmen .....	6
<b>2 Verteilte Messsysteme in rekonfigurierbaren Montageumgebungen.....</b> 9	
2.1 Messtechnisch-gestützte Montage von Großbauteilen .....	9
2.1.1 Paradigmenwechsel zur linienlosen mobilen Montage für Großbauteile..	11
2.1.2 Einsatz verteilter LSM-Systeme als räumliche Absolutreferenz.....	13
2.2 Industrielle Einsatzgebiete und Trends verteilter Messsysteme .....	16
2.2.1 Industrielle Anwendungsbeispiele zum Einsatz verteilter Messsysteme ..	16
2.2.2 Virtuelle Messprozesse zur bedarfsgerechten Konfiguration.....	18
2.2.3 Positionsdaten als Service in der vernetzten Fabrik .....	20
2.3 Grundlagen und Ansätze zur Konfiguration verteilter Messsysteme .....	21
2.3.1 Taxonomie zur Konfiguration verteilter Messsysteme .....	21
2.3.2 Einfluss der rekonfigurierbaren Montage auf die Konfiguration .....	23
2.3.3 Bestehende Ansätze zur Konfiguration verteilter LSM-Systeme .....	24
2.3.4 Bewertung bestehender Ansätze .....	27
<b>3 Forschungsbedarf zur Konfiguration verteilter LSM-Systeme .....</b> 31	
3.1 Handlungsbedarf zur Umsetzung fähiger Messprozesse.....	31
3.2 Forschungsfragen der Arbeit .....	32
<b>4 Methodik zur Konfiguration verteilter LSM-Systeme.....</b> 35	
4.1 Anwendungsfälle verteilter LSM-Systeme in der Montage .....	35
4.1.1 Flugzeugbau: Linienlose mobile Rumpfmontage .....	35
4.1.2 Automobilbau: Vorrichtungslose Montage von Karosseriebauteilen ..	37
4.2 Anforderungen und Prämissen zur Konfigurationsoptimierung .....	39
4.3 Analyse relevanter Einflussgrößen auf die Konfiguration .....	40
4.3.1 Einsatzbedingungen verteilter LSM-Systeme .....	43
4.3.2 Wirkzusammenhänge zwischen Messsystem und Montageumgebung ..	44
4.4 Modellierung der Konfigurationsoptimierung .....	45
4.4.1 Definition relevanter Modellgrößen .....	46
4.4.2 Modellbasierte Kopplung von virtueller Messung und Optimierung ..	47

<b>4.5</b>	<b>Zwischenfazit zur Methodik der Konfigurationsoptimierung .....</b>	<b>48</b>
<b>5</b>	<b>Messunsicherheitsbestimmung von multiangulierenden Messsystemen .....</b>	<b>49</b>
<b>5.1</b>	<b>Definition der Messaufgabe und Einflussgrößen.....</b>	<b>50</b>
<b>5.2</b>	<b>Versuche zur Modellbildung und Validierung .....</b>	<b>51</b>
<b>5.2.1</b>	<b>Versuchsaufbau .....</b>	<b>51</b>
<b>5.2.2</b>	<b>Statistische Versuchsplanung .....</b>	<b>52</b>
<b>5.2.3</b>	<b>Test auf Normalverteilung und Störgrößeneinflüsse .....</b>	<b>56</b>
<b>5.3</b>	<b>Modell der Messung.....</b>	<b>57</b>
<b>5.3.1</b>	<b>Modellbildung mittels künstlicher neuronaler Netze.....</b>	<b>58</b>
<b>5.3.2</b>	<b>Modellbildung mittels numerischer Optimierung .....</b>	<b>62</b>
<b>5.3.3</b>	<b>Modellauswahl und Validierung .....</b>	<b>64</b>
<b>5.4</b>	<b>Messunsicherheitsmodell nach GUM .....</b>	<b>67</b>
<b>5.4.1</b>	<b>Standardunsicherheiten der Eingangsgrößen.....</b>	<b>67</b>
<b>5.4.2</b>	<b>Bestimmung der kombinierten Messunsicherheit.....</b>	<b>69</b>
<b>5.4.3</b>	<b>Vergleich mit existierenden Kenntnissen zur Messunsicherheit.....</b>	<b>70</b>
<b>5.5</b>	<b>Zwischenfazit zur konfigurationsabhängigen Messunsicherheit .....</b>	<b>72</b>
<b>6</b>	<b>Konfigurationsoptimierung über Minimierung der Messunsicherheit.....</b>	<b>73</b>
<b>6.1</b>	<b>Auswahl eines globalen Optimierungsalgorithmus.....</b>	<b>73</b>
<b>6.1.1</b>	<b>Charakterisierung des Optimierungsproblems.....</b>	<b>74</b>
<b>6.1.2</b>	<b>Bestimmung eines geeigneten Optimierungsalgorithmus.....</b>	<b>76</b>
<b>6.2</b>	<b>Aufbau der Konfigurationsoptimierung .....</b>	<b>79</b>
<b>6.2.1</b>	<b>Anwendung der Partikelschwarmoptimierung.....</b>	<b>79</b>
<b>6.2.2</b>	<b>Ablauf von Partikelschwarmoptimierung und Simulation.....</b>	<b>82</b>
<b>6.3</b>	<b>Modifizierung der Partikelschwarmoptimierung .....</b>	<b>83</b>
<b>6.3.1</b>	<b>Erweiterung des Standardalgorithmus für eine effektivere Konvergenz ..</b>	<b>83</b>
<b>6.3.2</b>	<b>Zielfunktion zur Berücksichtigung der Messunsicherheit .....</b>	<b>86</b>
<b>6.3.3</b>	<b>Straffunktion zur Berücksichtigung valider Messungen .....</b>	<b>89</b>
<b>6.4</b>	<b>Kopplung an den virtuellen Messprozess .....</b>	<b>95</b>
<b>6.4.1</b>	<b>Aufbau und Ablauf des virtuellen Messprozesses .....</b>	<b>95</b>
<b>6.4.2</b>	<b>Parameteroptimierung für eine schnelle und robuste Konvergenz.....</b>	<b>100</b>
<b>6.4.3</b>	<b>Verifizierung der Konfigurationsoptimierung am Anwendungsfall .....</b>	<b>104</b>
<b>6.5</b>	<b>Lösbarkeit bei zunehmender Komplexität des Lösungsraumes .....</b>	<b>108</b>
<b>6.5.1</b>	<b>Erstellung von Testfällen mit unterschiedlicher Komplexität.....</b>	<b>108</b>
<b>6.5.2</b>	<b>Erfolgsquote der Lösungskonfigurationen .....</b>	<b>111</b>
<b>6.6</b>	<b>Zwischenfazit zur Konfigurationsoptimierung .....</b>	<b>115</b>
<b>7</b>	<b>Validierung der Konfigurationsoptimierung .....</b>	<b>117</b>
<b>7.1</b>	<b>Abbildungsgenauigkeit der virtuellen Messung .....</b>	<b>117</b>
<b>7.1.1</b>	<b>Versuchsaufbau zur Untersuchung der Abbildungsgenauigkeit.....</b>	<b>117</b>

<b>7.1.2</b>	<b>Bewertung der Abbildungsgenauigkeit .....</b>	119
<b>7.2</b>	<b>Minimierungspotenzial der Messunsicherheit .....</b>	120
<b>7.2.1</b>	<b>Versuchsaufbau und Vorgehensweise der Referenzmessung .....</b>	120
<b>7.2.2</b>	<b>Vergleich zwischen Worst-Case- und Lösungskonfiguration .....</b>	123
<b>7.2.3</b>	<b>Fazit zur Modellvalidität und Mehrwert für den Montageprozess .....</b>	128
<b>8</b>	<b>Kritische Reflexion der Forschungsergebnisse.....</b>	131
<b>8.1</b>	<b>Beantwortung der Forschungsfrage.....</b>	131
<b>8.2</b>	<b>Reflexion der Forschungsmethodik.....</b>	133
<b>9</b>	<b>Zusammenfassung und Ausblick .....</b>	135
<b>9.1</b>	<b>Zusammenfassung der Forschungsergebnisse .....</b>	135
<b>9.2</b>	<b>Ausblick über zukünftige Forschungsfragen.....</b>	137
	<b>Literaturverzeichnis .....</b>	139
	<b>Liste der veröffentlichten Teilergebnisse .....</b>	153
	<b>Betreute Abschlussarbeiten.....</b>	155
	<b>Anhang.....</b>	157