

Inhalt

1	Einleitung	1
	<i>Hans Kurt Tönshoff, Ulf Kruse und Joachim Imiela</i>	
2	Arbeitssysteme unter Wasser	12
	<i>Heinz Haferkamp</i>	
2.1	Arbeitsschwerpunkte im Bereich Handhabungstechnik und Sensorik	13
2.2	Modulare Träger- und Handhabungssysteme	14
2.3	Unterstützende Systeme	15
2.4	Sensorische Erfassung von Arbeitsraum und Werkstück	16
3	Basissystem	17
	<i>Heinz Haferkamp und Matthias Blaschke</i>	
3.1	Aufgaben des Teilprojekts	17
3.1.1	Einleitung	17
3.1.2	Arbeitsschwerpunkte	18
3.2	Stand der Forschung	19
3.3	Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse	20
3.3.1	Entwicklung und Aufbau von Unterwasserfahrzeugen	20
3.3.2	Vorteile modular aufgebauter Fahrzeuge	21
3.3.3	Systemstudie Unterwasserfahrzeug IKARUS	22
3.3.4	Unterwasserfahrzeug μ -FAUST	23
3.3.5	Unterwasser-Robotersystem FAUST III	25
3.3.6	Unterwasser-Robotersystem TRIBUN	26
3.3.6.1	Das modulare Steuerkonzept und die Module von TRIBUN	26
3.3.6.2	Grundkörper mit integrierten Modulen	27
3.3.6.3	Die Propellerantriebe	28
3.3.6.4	Beleuchtungseinheiten	29
3.3.6.5	Der Greifer	30
3.3.6.6	Die Zwei-Achsen-Linearführungsmaschine	30
3.3.6.7	Der Manipulator mit einer Schnellkupplung	31
3.3.6.8	Energieversorgung	31
3.3.6.9	Positions- und Lageerfassung	32

3.3.6.10	Die Feldbusanbindung	32
3.3.6.11	Steuerung und Bedienung	33
3.3.6.12	Handbediengerät und Eingabemedien	33
3.3.6.13	Internet-Funktionalität für die Fernbedienung	34
3.3.7	Simulation und Bedienertraining	34
3.3.7.1	Durchführung von Messreihen	37
3.3.7.2	Auswertung der Messreihen	37
3.3.7.3	Überprüfung der Simulation durch Tauchversuche	38
3.3.8	Visualisierung und Monitoring	38
3.3.8.1	Visualisierung mit KISMET	39
3.3.8.2	Visualisierung mit OpenGL	39
3.3.8.3	Visualisierung mit VRML97	40
3.3.8.4	Betriebssicherheit	42
3.4	Zusammenfassung und Ausblick	43
3.4.1	Zusammenfassung	43
3.4.1.1	Durchgeführte Arbeiten	43
3.4.1.2	Ergebnisse	44
3.4.2	Ausblick	45
3.4.2.1	Weiterentwicklung der Simulation mit Industriepartnern	45
	Literatur	45
	Veröffentlichungen der Arbeitsergebnisse des Sonderforschungsbereichs	47
4	Sensorsysteme zur Erfassung von 3D-Objekten unter Wasser	48
	<i>Hans Kurt Tönshoff und Ulf Kruse</i>	
4.1	Aufgaben des Teilprojekts	48
4.2	Stand der Forschung	49
4.2.1	Akustische Verfahren zur Geometrieerfassung unter Wasser	50
4.2.2	Optische Verfahren zur Geometrieerfassung unter Wasser	52
4.3	Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse	53
4.3.1	Sensorsystem für reines Wasser	53
4.3.1.1	Scanner mit Blattfeder	54
4.3.1.2	Entfernungsmessung unter Wasser mittels differentieller Dämpfung	55
4.3.1.3	Aufbau der experimentellen Anordnung	56
4.3.1.4	Optische Eigenschaften von Wasser	58
4.3.1.5	Realisierung der Signalverarbeitung	60
4.3.1.6	Ergebnisse	64
4.3.2	Sensorsystem für natürliche Gewässer	65
4.3.2.1	Vorverarbeitung der Sonar- und Kamerabilder	67
4.3.2.2	Berechnung von Transformationsparametern anhand der Sonardaten	67
4.3.2.3	Matching des transformierten Objektmodells mit den Kameradaten	69
4.3.2.4	Ergebnisse	70
4.4	Zusammenfassung und Ausblick	71

	Literatur	72
	Veröffentlichungen der Arbeitsergebnisse des Sonderforschungsbereichs	73
5	Struktur- und Bahnplanung für Reparatur und Zerlegung	75
	<i>Hans Kurt Tönshoff, Hans-Jörg Mahner und Ezzedine Bedhief</i>	
5.1	Aufgaben des Teilprojekts	75
5.2	Stand der Forschung	76
5.2.1	Rechnergestützte Auslegung von Handhabungsgeräten	77
5.2.2	Roboterkalibrierung	78
5.3	Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse	80
5.3.1	Theoretische Grundlagen	80
5.3.1.1	Modellierung von Handhabungsgeräten	80
5.3.1.2	Lösungsverfahren für nicht lineare Optimierungsprobleme	81
5.3.2	Auslegung kinematischer Ketten mit evolutionären Algorithmen	84
5.3.2.1	Optimierungsverfahren zur Synthese kinematischer Systeme	84
5.3.2.2	Festlegung von Bewertungs- und Einflussgrößen	85
5.3.2.3	Beispielhafte rechnergestützte Auslegung kinematischer Ketten	87
5.3.3	Entwicklung eines Systems zur Kalibrierung von Robotern	89
5.3.3.1	Modellierung	90
	Modellparameterfehler	90
	Berechnung der Reaktionskräfte und -momente	91
	Abweichung durch Achsnachgiebigkeit	92
	Abweichung durch Nachgiebigkeit der Elemente zur Leistungsübertragung	93
	Ermittlung der resultierenden Verformung eines Handhabungsgeräts	94
5.3.3.2	Vermessung von Handhabungsgeräten	95
5.3.3.3	Parameteridentifizierung	95
	Ermittlung der Jacobi-Matrix	96
	Analyse der Jacobi-Matrix	96
5.3.3.4	Implementierung	98
5.3.3.5	Beispielhafte Kalibrierung eines Industrieroboters	99
5.4	Zusammenfassung und Ausblick	103
	Literatur	104
	Veröffentlichungen der Arbeitsergebnisse des Sonderforschungsbereichs	105
6	Prüftechnik und Sensorik	107
	<i>Dieter Stegemann und Andreas Krys</i>	
6.1	Aufgaben des Teilprojekts	107
6.2	Stand der Forschung	108
6.3	Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse	110
6.3.1	Ultraschall	110
6.3.1.1	Messen des Oberflächenprofils	110

6.3.1.2	Bestimmung der Fugengeometrie und des Fugenversatzes	114
6.3.1.3	Bestimmung der Dicke nicht durchschallbarer Oberflächenschichten	115
6.3.2	Wirbelstromtechnik	119
6.3.2.1	Detektion von Schweißnähten unter Oberflächenschichten	120
6.3.2.2	Messung von Spannungen in Bauteilen mit Hilfe der Harmonischen-Analyse	121
6.3.3	Mustererkennung	128
6.3.3.1	Verringerung des Rechenaufwands bei der Mustererkennung	130
6.3.3.2	Mustererkennung	132
6.4	Zusammenfassung	137
	Literatur	138
	Veröffentlichungen der Arbeitsergebnisse des Sonderforschungsbereichs	139
7	Trennprozesse	142
	<i>Goswin Schreck</i>	
8	Thermisches Schneiden	145
	<i>Goswin Schreck und Jens-Heiko Perleberg</i>	
8.1	Aufgaben des Teilprojekts	145
8.2	Stand der Technik	147
8.2.1	Ausgangssituation zu Beginn der ersten Finanzierungsperiode	147
	a) Reparatur und Schweißnahtvorbereitung im Offshore-/Flachwasserbereich	147
	b) Zerlegearbeiten im Flachwasser- und Offshore-Bereich	148
	c) Zerlegung und Reparatur in kerntechnischen Anlagen	148
	d) Fertigung unter Wasser	148
8.2.2	Stand der Technik der einzelnen Schneidverfahren	148
8.2.2.1	Autogenes Brennschneiden unter Wasser	148
8.2.2.2	Plasmaschmelzschnneiden unter Wasser	149
8.2.2.3	Lichtbogen-Wasserstrahlschnneiden	150
8.2.2.4	Lichtbogen-Sauerstoffschnneiden (Oxy-Arc-Verfahren)	150
8.2.2.5	Kontakt-Lichtbogen-Metallschnneiden (CAMC – Contact-Arc-Metal-Cutting)	151
8.3	Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse	151
8.3.1	Arbeiten zum autogenen Brennschneiden unter Wasser	151
8.3.1.1	Entwicklung und Erprobung verschiedener Hüllgaskappen	152
8.3.1.2	Untersuchungen zur Schneidleistung und Schnittqualität beim mechanisierten Unterwasser-Brennschneiden in geringer Wassertiefe	156
8.3.1.3	Untersuchungen zum mechanisierten autogenen Brennschneiden in Wassertiefen bis 35 m	161
8.3.2	Arbeiten zum Plasmaschmelzschnneiden unter Wasser	165
8.3.2.1	Untersuchungen zum Einfluss des Sekundärgases und der Plasmagasgemischzusammensetzung	165

8.3.2.2	Untersuchungen zum Einsatz in Wassertiefen bis 100 m	166
8.3.3	Lichtbogen-Wasserstrahlschneiden	169
8.3.3.1	Grundlagenuntersuchungen zum Lichtbogen-Wasserstrahl- schneiden in geringen Wassertiefen	169
8.3.3.2	Hyperbar-nasse Schneidversuche zum Lichtbogen- Wasserstrahlschneiden	171
8.4	Zusammenfassung und Ausblick	172
	Literatur	174
	Veröffentlichungen der Arbeitsergebnisse des Sonder- forschungsbereichs	175
9	Mechanisches Trennen	177
	<i>Hans Kurt Tönshoff, Goswin Schreck, Hilmar Hilmann-Apmann und Arndt Szलगowski</i>	
9.1	Aufgaben des Teilprojekts	177
9.2	Stand der Forschung	178
9.2.1	Seilsägen	178
9.2.1.1	Seilsägewerkzeuge	178
9.2.1.2	Werkzeugaufbau	179
9.2.1.3	Kräfte beim Seilsägen	181
9.2.1.4	Verschleiß der Werkzeugkomponenten	181
9.2.1.5	Voruntersuchungen	183
9.2.2	Drahtsägen	183
9.2.2.1	Drahtsägewerkzeuge	185
9.2.2.2	Werkzeugaufbau	186
9.2.2.3	Schleifmittel	186
9.2.2.4	Prozesskräfte beim Drahtsägen	186
9.3	Versuchsaufbau	187
9.3.1	Seilsägen	187
9.3.1.1	Versuchsbecken	188
9.3.1.2	Maschinenkomponenten (Antriebssystem)	188
9.3.1.3	Maschinenstruktur	189
9.3.1.4	Messtechnik	190
9.3.2	Drahtsägen	190
9.3.2.1	Versuchsbecken	191
9.3.2.2	Manipulator/Führungsmaschine	191
9.3.2.3	Drahttrennschleifmaschine DS750-S	192
9.3.2.4	Diamantdrahtsäge 6234	192
9.3.2.5	Messtechnik	194
9.4	Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse	195
9.4.1	Seilsägen	195
9.4.1.1	Verschleißverhalten der Werkzeuge beim Seilsägen	195
9.4.1.2	Einsatzverfahren	198
9.4.2	Drahtsägen	199
9.5	Zusammenfassung und Ausblick	202
	Literatur	203

	Veröffentlichungen der Arbeitsergebnisse des Sonderforschungsbereichs	204
10	Wasserabrasivstrahlen	206
	<i>Hartmut Louis und Stefan Brandt</i>	
10.1	Aufgaben des Teilprojekts	206
10.2	Stand der Forschung	207
10.2.1	Wasserabrasivstrahlen	207
10.2.2	Wasserabrasivinjektorstrahlen	208
10.2.3	Wasserabrasivsuspensionsstrahlen	209
10.3	Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse	210
10.3.1	Versuchsvorbereitung	210
10.3.2	Wasserabrasivinjektorstrahlen bei erhöhten Volumenströmen	211
10.3.3	Wasserabrasivsuspensionsstrahlen	211
10.3.3.1	WASS-Laboranlage	212
	Komponenten der Laboranlage	212
10.3.3.2	Bearbeitungsstationen	214
10.3.4	Prozesskontrolle	214
10.3.4.1	Abrasivmassenstrom	215
	Wägezelle	218
	Coriolis-Massendurchflussmesser	219
10.3.4.2	Betriebszustände	220
10.3.5	Experimentelle Kerb- und Abtragsuntersuchungen	223
10.3.5.1	Einfluss von Verfahrensparametern beim Kerben unter Wasser	223
	Umgebungsbedingungen	223
	Wassertiefe	225
	Bearbeitungsabstand	225
10.3.5.2	Möglichkeiten zur Strahlaufweitung unter Wasser	227
	Direkte Strahlaufweitung	228
	Indirekte Strahlaufweitung	232
10.3.6	WAS-Bewertungsmatrix	235
10.4	Zusammenfassung und Ausblick	235
	Literatur	238
	Veröffentlichungen der Arbeitsergebnisse des Sonderforschungsbereichs	239
11	Reinhaltung des Wassers	240
	<i>Sven Scheuch, Matthias Creutz, Helmut Steinkamp und Dieter Mewes</i>	
11.1	Aufgaben des Teilprojekts	240
11.2	Stand der Forschung	240
11.2.1	Emissionen der thermischen Schneidverfahren	241
11.2.2	Trennen von Gasgemischen mit Druckwechseladsorption	241
11.2.3	Bekannte Verfahren zur Separation mehrphasiger, instationär strömender Gemische	242
11.3	Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse	244

11.3.1	Separation von Strömen aus Wasser, Gas und Partikeln	244
11.3.1.1	Funktionsweise und konstruktiver Aufbau des Separators	244
11.3.1.2	Berechnen der Strömung im Separator	246
	Die Lage der Phasengrenze im Flügelrad	246
	Die Strömung im Flügelrad	248
	Berechnen der dreidimensionalen Strömung	249
11.3.1.3	Experimentelle Untersuchungen	250
	Messen des Gasgehalts im Laufrad des Separators	251
11.3.1.4	Experimentelle Ergebnisse	252
11.3.2	Rückgewinnen von Edelgasen beim Schweißen und Schneiden unter Wasser	254
11.3.2.1	Verfahrensbeschreibung	255
11.3.2.2	Berechnen der Konzentrationsverläufe im Adsorber	257
11.3.2.3	Auslegen des Adsorbers zur Produktion von Plasmagas	260
11.4	Zusammenfassung und Ausblick	263
	Literatur	264
	Veröffentlichungen der Arbeitsergebnisse des Sonder- forschungsbereichs	266
12	Fügeprozesse unter Wasser	268
	<i>Ulrich Draugelates</i>	
13	Schweißen in extremer Umgebung	272
	<i>Ulrich Draugelates, Jörg Bartzsch und Belkacem Bouaifi</i>	
13.1	Aufgaben des Teilprojekts	272
13.2	Stand der Forschung	273
13.3	Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse	275
13.3.1	Gasaufnahme	275
13.3.2	Abschirmsysteme	279
13.3.2.1	Mehrdüsenysteme	280
13.3.2.2	Abschirmsystem in Zwangspositionen	282
13.3.2.3	Einfluss der Prozessführung und Abschirmwahl	283
13.3.3	Schweißtechnische Untersuchungen	285
13.3.3.1	Reparaturbleche	286
13.3.3.2	Plattierungen	287
13.3.3.3	Nutfüllungen	288
13.3.3.4	Bestimmung des Ferritgehalts	289
13.3.3.5	Biegeprüfung	290
13.3.3.6	Korrosionsverhalten	291
13.3.4	Anpassung des Schweißsystems an die Position PC	292
13.4	Zusammenfassung und Ausblick	294
	Literatur	295
	Veröffentlichungen der Arbeitsergebnisse des Sonder- forschungsbereichs	297

14	Strukturmechanik	299
	<i>Oskar Mahrenholtz</i>	
14.1	Aufgaben des Teilprojekts	299
14.2	Stand der Forschung	300
14.3	Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse	302
14.3.1	Thermisches Schneiden	302
14.3.2	Schweißen	303
14.3.2.1	Modellbildung	303
14.3.2.2	Abschreckexperiment	304
14.3.2.3	Numerische Untersuchungen mit ANSYS	305
14.3.2.4	Numerische Untersuchungen mit SYSWELD	310
14.3.2.5	Phasenumwandlungen	313
14.3.3	Bruchmechanik	317
14.3.3.1	Geometrie	318
14.3.3.2	Diskretisierung	318
14.3.3.3	Werkstoffverhalten	320
14.3.3.4	Randbedingungen und Belastung	320
14.3.3.5	Einfluss der Diskretisierung	320
14.3.3.6	Vergleich mit experimentellen Ergebnissen	322
14.4	Zusammenfassung und Ausblick	323
	Literatur	324
	Veröffentlichungen der Arbeitsergebnisse des Sonder- forschungsbereichs	325
15	Bruchmechanische Bewertung	327
	<i>Karl-Heinz Schwalbe und Hans-Martin Bauschke</i>	
15.1	Aufgaben des Teilprojekts	327
15.2	Stand der Forschung	328
15.3	Durchgeführte Arbeiten und Ergebnisse	329
15.3.1	Ausgangsmaterial: Zusammensetzung, Mikrostruktur, Zugversuche, Härte	329
15.3.2	Bruchmechanische Untersuchungen	334
15.3.3	Reparaturschweißnähte	339
15.4	Anwendung der bruchmechanischen Fehler- bewertungsprozedur SINTAP [1]	340
15.4.1	Anwendung von SINTAP	345
15.5	Zusammenfassung und Ausblick	346
	Literatur	350
	Veröffentlichungen der Arbeitsergebnisse des Sonder- forschungsbereichs	351
	Dokumentarischer Anhang	352