



Masterarbeit

Thema

„Entwicklung von technischen Entscheidungsgrundlagen zur Implementierung automatisierter Schweißtechnologien bezüglich der firmenspezifischen Strukturen und strategischen Ausrichtungen der Kiel Zulieferungen GmbH“

Zur Erlangung des Grades

eines

Master of Engineering (M.Eng.)

im Studiengang

Maschinenbau / Mechatronik / Physiktechnik

von Herrn Vitalis Donhauser

geboren am: 17.08.1986

in: Kapal

Erstprüfer: Prof. Dr.-Ing. Rolf Kademann

Zweitprüfer: Dipl. Kfm. David Kirschner, Kiel Zulieferungen GmbH

Merseburg, 01. August 2017

Erklärung

Ich erkläre hiermit, dass ich die vorliegende Masterarbeit selbständig verfasst, nur die angegebenen Quellen und Hilfsmittel benutzt und aus fremden Quellen direkt oder indirekt übernommene Überlegungen als solche kenntlich gemacht habe. Darüber hinaus wurde folgende Arbeit auch nicht veröffentlicht und bisher keinem anderen Prüfungsamt in gleicher oder vergleichbarer Form vorgelegt.

Merseburg, den 01. August 2017

.....

Vitalis Donhauser

Sperrvermerk

In dieser Arbeit sind Geschäftsgeheimnisse der KIEL Zulieferungen GmbH enthalten. Eine Weitergabe oder Vervielfältigung der Arbeit sowie Verwertung und Mitteilung ihres Inhaltes ist ohne ausdrückliche, schriftliche Genehmigung der KIEL Zulieferungen GmbH nicht gestattet.



KIEL Zulieferungen GmbH
Metallbearbeitung & Oberflächentechnik
Schwerzer Straße 1
06188 Landsberg

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	6
Abkürzungsverzeichnis	8
Tabellenverzeichnis	10
Diagrammverzeichnis	10
1 Einleitung und Aufgabenstellung	11
2 Das Unternehmen	12
2.1 Firmengeschichte	12
2.2 Kompetenzbereiche	13
3 Einführung Schweißen	14
3.1 Grundlagen einer Schmelzschweißverbindung	15
3.1.1 Fügen durch Schweißen.....	15
3.1.2 Die Schweißbarkeit.....	16
3.1.3 Stoß- und Nahtarten, Nahtformen	18
3.1.4 Schweißnahtgüte.....	20
3.1.5 Gestaltungsrichtlinien	20
3.1.6 Schweißzusätze und Schweißpositionen	21
4 Schmelzschweißverfahren	23
4.1 Verfahrensübersicht	23
4.2 Wichtigste Schmelzschweißprozesse	24
4.3 Automatisierbare Schweißverfahren	25
4.3.1 Schweißen mit Lichtbogen	25
4.3.1.1 Unterpulverschweißen (UP)	25
4.3.1.2 Schutzgasschweißen (MSG (MIG, MAG) / WSG (WIG, WP)).....	27
4.3.2 Schweißen mit Strahlen	32
4.3.2.1 Laserstrahlschweißen (LA).....	33
4.3.2.2 Elektronenstrahlschweißen (EB)	35
4.3.3 Schweißen mit Widerstandserwärmung	36
4.3.3.1 Elektroschlackeschweißen (RES).....	36
4.3.4 Komponenten, Zusatzwerkstoffe, Verfahrensvarianten	39
5 Automatisierungstechnologien	40
5.1 Mechanisierungsgrad	40
5.2 Hilfsmittel zur Mechanisierung	41
5.2.1 Werkstückpositioniereinrichtungen	41
5.2.2 Bauteilfixiervorrichtungen.....	44
5.2.3 Automatenträger	48
5.2.4 Schweißroboter	49
5.2.4.1 Grundaufbau eines Roboters	50

5.2.4.2	Bauformen	52
5.2.4.3	Robotersteuerung.....	53
5.2.4.4	Roboterprogrammierung	54
5.2.4.5	Wechselsysteme für Bearbeitungswerkzeuge	57
5.2.5	Bewegungssysteme zum Laserstrahlschweißen	58
5.2.5.1	2D / 3D Bewegungseinrichtungen.....	58
5.2.5.2	Strahlpositioniersysteme für das Remote -/ Scanner - Schweißen	59
5.2.6	Sensortechnik.....	59
5.2.6.1	Sensoren für das Lichtbogenschweißen	60
5.2.6.2	Sensoren für das Strahlschweißen	65
5.2.6.3	Sensoren für das Widerstandsschweißen.....	69
5.2.7	Gefahren und Schutzvorrichtungen	69
5.3	Personalqualifikation	71
5.4	Räumliche Begebenheiten	71
6	Parameterformulierung und Verfahrensqualifikation.....	72
6.1	Definieren von Anforderungskriterien	72
6.2	Auswahl geeigneter Schmelzscheidverfahren	73
6.2.1	Ergebnisse aus der Verfahrensqualifikation	74
7	Dreidimensionale Schweißmöglichkeiten	78
7.1	Marktanalyse geeigneter 3D - Schmelzschweißtechnologien	78
7.1.1	Anlagenübersicht	78
7.1.1.1	Anlagenkonzepte der TRUMPF GmbH & Co KG.....	79
7.1.1.2	Anlagenkonzepte der AKON Robotics	88
7.1.1.3	Anlagenkonzept der AMADA GmbH.....	92
7.1.1.4	Anlagenkonzepte der FÖRSTER welding systems GmbH	95
7.1.1.5	Anlagenkonzepte der ABB Automation GmbH.....	97
7.1.2	Ergebnisse der Marktforschung (Tabelle)	101
7.2	Bewertung und Interpretation der Ergebnisse	103
7.3	Auswahl einer Anlagentechnologie	108
8	Ausblick	110
	Quellenverzeichnis	111
	Literatur	111
	Internet - Adressen	116
	Anlagenverzeichnis.....	118

Abbildungsverzeichnis

Abb. 1: Firmensitz in Landsberg	12
Abb. 2: Kompetenzbereiche	13
Abb. 3: Einteilung der Fertigungsverfahren nach der DIN 8580	14
Abb. 4: Aufbau einer Schweißstelle	15
Abb. 5: Definition Schweißbarkeit	16
Abb. 6: Nahtarten	19
Abb. 7: Schweißpositionen nach DIN EN ISO 6947	22
Abb. 8: Einteilung der Schmelzschweißprozesse (nach Killing)	23
Abb. 9: UP - Schweißprozess	25
Abb. 10: Verfahrensprinzip des MSG	28
Abb. 11: Verfahrensprinzip Wolfram - Inertgasschweißen.....	30
Abb. 12: Prinzipien des Laserstrahlschweißens	33
Abb. 13: Bildungsmechanismus des Dampfkanals	35
Abb. 14: Verfahrensprinzip des RES - Verfahrens mit nicht abschmelz. Drahtzuführung.....	37
Abb. 15: Zusammenhänge einer Automatisierung	40
Abb. 16: Drehkipptisch D653 von Merkle	42
Abb. 17: Einständer- und Orbital - Drehkipptische.....	42
Abb. 18: Doppelständer - Drehkipptisch / Spindelreitstock - Drehtisch v. ROBITAL.....	43
Abb. 19: Rollenblock R1003 von Merkle und Funktionsprinzip	43
Abb. 20: Grundkörper mit T - Nutsystem (Ausführungsbeispiele).....	45
Abb. 21: Grundkörper mit Bohrungssystem.....	46
Abb. 22: Mechanisierung der Schweißbewegung	48
Abb. 23: Bauarten von Portalrobotern.....	52
Abb. 24: Die wichtigsten Programmierverfahren.....	54
Abb. 25: Funktionsträger und Lösungselemente	57
Abb. 26: Sensoreinteilung beim Lichtbogenschweißen	60
Abb. 27: Gasdüse als taktiler Sensor	61
Abb. 28: Induktiver Sensor.....	62
Abb. 29: Scannersensor	62
Abb. 30: Lichtschnittsensor	63
Abb. 31: Wirkungsweise eines Lichtbogensensors	64
Abb. 32: Möglichkeiten zur Bahnführung beim LS - Schweißen	65
Abb. 33: Prinzip taktiler Fokuslagensensoren	66
Abb. 34: Aufbau einer Ringdüse als pneumatischer Abstandssensor	67
Abb. 35: TruLaserRobot5020 der Firma TRUMPF GmbH & Co. KG.....	80
Abb. 36: High - Accuracy - Roboter, Bearbeitungsoptik mit einem drehbaren Modul	81

Abb. 37: Dreh - Kipp - Positionierer, Zwei - Stationen - Drehtisch, Rotationswechsler	82
Abb. 38: Modulares Spannsystem, TeachLine - Software	82
Abb. 39: TruLaserCell7040 der Firma TRUMPF GmbH & Co. KG.....	84
Abb. 40: Technologie Schweißen und Schneiden	85
Abb. 41: Trennwand, Linearwechsler, Rotationswechsler.....	86
Abb. 42: Ergonomisches Bedienpult, 6 - D - Maus.....	86
Abb. 43: Hochreflektierende Seitenwand und absorbierendes Dach	87
Abb. 44: Schweißroboter - Anlage Typ ASA - 1003	88
Abb. 45: KUKA Roboter KR6R1820 arc HW, KRC4 Steuerung, KUKA SmartPAD	89
Abb. 46: KR6R1820 arc HW Roboter mit einer Dreh - Schwenk - Positioniereinheit.....	90
Abb. 47: Roboter mit Fokussieroptik, Gas- und Fühldrahtzufuhr.....	92
Abb. 48: Programmierung CAM 3i - Software	93
Abb. 49: Schutzkabine der FLW - 4000 III.....	93
Abb. 50: FLW - 4000 III: Modell 1, Modell 2, Modell 3.....	94
Abb. 51: Roboterschweißanlage von FÖRSTER welding systems GmbH.....	95
Abb. 52: FANUC Arc Mate 120iC 10L, FANUC iPendant Touch, Positionierer	96
Abb. 53: IRB 1600 ID, IRB 2600 ID und IRC - Steuerung	98
Abb. 54: ABB Positionierer: Model IRBP K, IRBP B und IRBP D.....	98
Abb. 55: ABB FlexArc Welding Cell (Multimove)	99

Abkürzungsverzeichnis

Abkürzung	Benennung	Einheit
a	Nahtdicke	[mm]
AC	Wechselstrom (alternating current)	[A]/[V]
AWPP	Arc Welding Power Pac	-
CAD	Computer aided design	-
CCD	Charge Coupled Devices	-
CMOS	Complementary Metal Semiconductor	-
CNC	Computerized Numerical Control	-
CP	Bahnsteuerung	-
CO ₂	Kohlendioxid	-
DC	Gleichstrom (direct current)	[A]/[V]
DIN	Deutsches Institut für Normung	-
EN	Europäische Norm	-
I	Stromstärke	[A]
IR	Industrieroboter	-
ISO	International Organization for Standardization	-
K _{ges}	Kosten (gesamt)	[€]
K _t	Kosten pro Teil	[€]
k _{satz}	Stundensatz	[€]
k _v	Vorrichtungskosten	[€]
MAG	Metall - Aktivgasschweißen	-
MIG	Metall - Inertgasschweißen	-
MSG	Metall - Schutzgasschweißen	-
n	Stückzahlen	[Stck]
PA (w)	Wannenposition	-
PB (h)	Horizontal - Vertikalposition	-
PC (q)	Querposition	-
PD (hü)	Horizontal - Überkopfposition	-
PE	Polyethylen	-
PE (ü)	Überkopfposition	-
PF (s)	Steigposition	-
PG (f)	Fallposition	-
PM	Projektmanager	-
PP	Polypropylen	-
PTP	Punkt - zu - Punktsteuerung	-
PC	Personal Computer	-

pin - Diode	Engl. positive intrinsic negative Diode	-
Q	Wärmeleistung	[J]
R	Rastermaß	[mm]
R ₁	Elektrischer Widerstand	[Ω]
RES	Elektroschlackeschweißen	-
RK	Kammerschweißen	-
TAS	Teach - Assistent - System	-
TCP	Tool Center Point (eigentlicher Wirkpunkt)	-
T _{ges}	Zeitaufwand (gesamt)	[min]
TR	Technical Report	-
T	Schweißzeit	[s]
t _h	Handlingzeit pro Teil	[min]
t _n	Nacharbeit pro Teil	[min]
t _p	Programmierzeit	[min]
t _r	Rüstzeit pro Teil	[min]
t _s	Schweißzeit pro Teil	[min]
UP	Unterpulverschweißen	-
WEZ	Wärmeeinflusszone	-
WSG	Wolfram - Schutzgasschweißen	-
WPL	Plasmalichtbogenschweißen	-
WPS	Plasmastrahlschweißen	-
WPSL	Plasmastrahl - Plasmalichtbogenschweißen	-
WIG	Wolfram - Inertgasschweißen	-
WP	Wolfram - Plasmaschweißen	-
WHG	Wolfram - Wasserstoffschweißen	-
W _{max}	Maximale Leistung	[W]

Tabellenverzeichnis

Tab. 1: Vor- und Nachteile von Schweißverbindungen	15
Tab. 2: Schweißbeignung für unlegierte Stähle	16
Tab. 3: Stoßarten	19
Tab. 4: Wichtigste Schmelzschweißprozesse.....	24
Tab. 5: Verfahrensgruppen des Lichtbogenschweißens.....	25
Tab. 6: Verfahrensgruppe Schutzgasschweißen SG	27
Tab. 7: Verfahrensvarianten des Wolfram - Plasmaschweißens.....	31
Tab. 8: Anlagenkomponenten, Schweißzusätze, Verfahrensvarianten	39
Tab. 9: Gegenüberstellung von Baukasten- und Sondervorrichtung	45
Tab. 10: Kinematische Ketten	51
Tab. 11: Vor- / Nachteile der Laserportale /-roboter	59
Tab. 12: Bauteilanalyse der KIEL Zulieferungen GmbH	72
Tab. 13: Anforderungen von der Geschäftsführung.....	73
Tab. 14: Prozessbewertung UP - Schweißen	74
Tab. 15: Prozessbewertung MSG - Schweißen.....	74
Tab. 16: Prozessbewertung WSG (WIG) - Schweißen	75
Tab. 17: Prozessbewertung WSG (WP) - Schweißen	75
Tab. 18: Prozessbewertung LA - Schweißen	76
Tab. 19: Prozessbewertung EB - Schweißen	76
Tab. 20: Prozessbewertung RES - Schweißen	77
Tab. 21: Firmen- und Anlagenübersicht	79
Tab. 22: Technische Daten der TruLaserRobot5000er Serie	83
Tab. 23: Technische Daten der TruLaserCell 7040	87
Tab. 24: Technische Daten der ASA - 1003 und der ASA - 1012	91
Tab. 25: Technische Daten der FLW - 4000 III.....	94
Tab. 26: Technische Daten der Roboterschweißanlage	97
Tab. 27: Technische Daten ABB FlexArc Welding Cell	100
Tab. 28: Ergebnisse der Marktforschung (Teil 1)	101
Tab. 29: Ergebnisse der Marktforschung (Teil 2)	102
Tab. 30: Bewertung der Schweißanlagen.....	103

Diagrammverzeichnis

Diagramm 1: Ergebnisse aus der Prozessbewertung	77
--	----

1 Einleitung und Aufgabenstellung

In der Fortentwicklung der heutigen Industriebranche ist die Produktionstechnik von großer Bedeutung. Vor diesem Hintergrund wird das Leistungsvermögen eines Unternehmens oft von Faktoren wie den verwendeten Produktionsmitteln, den angewandten Produktionsverfahren und der Produktionsorganisation entscheidend beeinflusst. Damit die Beziehung zwischen Mensch, Struktur und Technologie unter Beachtung signifikanter Faktoren wie Kosten, Zeit und Qualität bestmöglich vorangetrieben wird, werden bestimmte, innerbetriebliche Fertigungsabläufe ständig neu gebildet und weiterentwickelt. Diese Maßnahmen führen oft dazu, dass sich Unternehmen für bestimmte, innovative Technologien entscheiden, die sich im Hinblick auf die Wirtschaftlichkeit und die Fertigungsflexibilität erfolgreich durchgesetzt haben. Somit haben sich zum Schweißen von Baugruppen neben den klassischen Verfahren mit 3D - kompatibler Robotertechnik, speziell die laserbasierten Bearbeitungszentren als nützliche Fügetechniken erwiesen. Die KIEL Zulieferungen GmbH bearbeitet bereits seit mehreren Jahren plattenförmiges Material und dreidimensionale Körper mit Hilfe jenes thermischen Trennverfahrens. Dabei werden auf Anlagen der Firma TRUMPF präzise Teile, mit kratzerfreien Kanten unter einer hohen Bearbeitungsgeschwindigkeit erzeugt, um den Qualitätsansprüchen der Kunden gerecht zu werden.

Ziel dieser Masterarbeit ist die Durchführung einer Marktforschung auf technischer Ebene. Hierbei sollen Informationen zu den auf dem Markt vorhandenen Anlagen und deren notwendiger, wesentlicher, technischer Parameter zur Anschaffung einer programmierbaren Schweißanlage gesammelt werden. Damit soll der Folgearbeitsgang Schweißen automatisiert und somit der Einstieg in die 3D - Schweißbearbeitung mit am besten geeigneter Lösung einfach und kostengünstig ermöglicht werden.

Die Masterarbeit beinhaltet folgende Aufgaben:

1. Identifikation von möglichen 3D - Schweißtechniken
2. Untersuchung der verschiedenen Technologien auf technische Voraussetzungen (Software / Hardware / Personal / Peripherie / räumliche Begebenheiten / Hilf- und Betriebsstoffe / Logistik)
3. Erstellung einer Marktforschung zu 3D - Schmelzschweißverfahren
4. Identifikation von Synergien, Zusammenhängen und Abgrenzungen der verschiedenen zu untersuchenden Technologien und der bereits bestehenden Fertigungsverfahren (z.B. Laserschneiden → Vorrichtungsbau / Umrüsten Schweißkopf → Schneidkopf)
5. Definieren von Kriterien (firmenspezifisch) und Identifikation von Serienfertigungsteilen
6. Qualifikation der Technologien nach Anforderungen von Fertigungsteilen aus der bestehenden Produktion und strategischen Ausrichtung

2 Das Unternehmen

2.1 Firmengeschichte

Die KIEL Zulieferungen GmbH wurde im Jahr 1990 vom selbstständigen Schlossermeister Hans - Jürgen Kiel gemeinsam mit Angehörigen der Familie Kolb aus Babenhausen in Halle (Saale) gegründet. Nach einem gelungenen Direkteinstieg in die CNC - Blechbearbeitung (mit einer Trumpf Stanz- und Nibbelmaschine TC225) führte diese Zusammenarbeit zur Entstehung eines sehr erfolgreichen Unternehmens in der Region Halle / Leipzig. Hinsichtlich der geringen Raumkapazität während einer geplanten Erweiterung des Maschinenparks, folgte



Abb. 1: Firmensitz in Landsberg (Quelle: /I10/)

ein Umzug von dem zu Beginn genutzten Hinterhofs in der ehemaligen Leninallee in Halle, in die größere Werkhalle in der Otto - Stomps - Straße. Nachdem die Problematik Platzmangel erneut entstanden war, wurde 1995 beschlossen den heutigen Firmensitz in Landsberg zu errichten (Abb.1). Im Jahr 2000 wurde durch Investitionen in die Infrastruktur dieser im Bereich der Verwaltung und Logistik weiter ausgebaut. Durch die Anschaffungen von modernsten Technologien war die KIEL Zulieferungen GmbH, bezogen auf die Region, eines der ersten Unternehmen mit einem Stanzautomat. Künftig folgte der Einstieg in die Laserschneid- sowie auch in die Wasserstrahlschneidtechnik, wodurch es nach dem Umzug nach Landsberg zu einer Vergrößerung des Angebotspektrums kam. Somit war die Firma in der Lage vom Zuschnitt über die Baugruppe bis hin zum fertig lackierten Teil alles selbst und innerhalb kürzester Zeit zu fertigen. Mit Beginn des Jahres 2013 kam es zu einer Übernahme des Unternehmens durch Steven Karnstedt. Er war bereits während seines gesamten Studiums und später als Projektmanager im Unternehmen fast zehn Jahre tätig. Dabei wurden auch alle Geschäftsanteile der bisherigen Gesellschafter durch die Karnstedt Holding GmbH übernommen. Herr Kiel blieb der neuen Geschäftsleitung, welche durch David Kirschner erweitert wurde, noch zwei weitere Jahre in der Position als Berater erhalten. Am 4. September 2015 feierte die Firma Kiel ihr 25 jähriges Firmenbestehen.

Nach dem letzten Stand befand sich das Unternehmen, welches aus circa 30 hochqualifizierten Mitarbeitern gebildet wird, bei einem Jahresumsatz von circa 5 Millionen Euro.¹

2.2 Kompetenzbereiche

Nach dem heutigen Stand der Technik und dem Bedarf des regionalen und überregionalen Marktes strebt das Unternehmen durch technische und organisatorische Maßnahmen eine stetige Steigerung der Effektivität und der Gewinnspanne an. Hierzu stellt die Abbildung 2 die Hauptkompetenzen des Angebotsspektrums für weitreichende CNC - Blechbearbeitungen dar.

Wasserstrahlschneiden  <p>Hohe Genauigkeit und Zuschneiden fast aller Materialien, wie Metall, Glas, Keramik, Gummi, Verbundwerkstoffen uvm., bei geringer thermischer Belastung.</p>	Laserschneiden  <p>Oxydfreies und kratzerfreies Schneiden bei hoher Genauigkeit und Bearbeitungsgeschwindigkeit.</p>
Stanzen/Nibbeln  <p>Reduzierte Werkzeugkosten durch Stanzen und Nibbeln bei kurzen Fertigungszeiten.</p>	Laserbeschriften  <p>Mit modernen Laserbeschriftungsanlage sind sehr hochwertige Markierungen, Beschriftungen und Gravuren von Metall- und Kunststoffteilen möglich.</p>
Abkanten  <p>Höchste Genauigkeit durch Einsatz von Winkelmeßsystem, Abkanten von komplexen Teilen ohne Zwischenablage.</p>	Rundbiegen und Konenwalzen  <p>Umformen von Blechen mit bis zu 2.000 mm Breite und bis zu 8 mm Dicke. Walzen von bis zu 10 mm dicken Blechmänteln.</p>
Brennschneiden  <p>Flexibel durch CNC-Steuerung, bei Dickblech die Alternative zum Laserschneiden.</p>	Baugruppenfertigung  <p>Unsere Schweißer sind kompetent im Umgang mit Werkstoffen und modernster Technik.</p>

Abb. 2: Kompetenzbereiche (Quelle: /110/)

¹ Vgl.: [KIEL], Firmengeschichte.

3 Einführung Schweißen

Die erforderlichen Bearbeitungsabläufe für die Herstellung von Gütern mit bestimmten Formeigenschaften werden als Fertigungsverfahren bezeichnet. Die bereits bekannten, aber auch die in ferner Zukunft neu entstehenden Bearbeitungsvorgänge, werden in einem Ordnungssystem nach der DIN 8580 in sechs Hauptgruppen eingeordnet. Hierbei werden die einzelnen Verfahren nach der Art des Zusammenhalts und deren Wirkungsweisen aufgeteilt. (Abb.3)

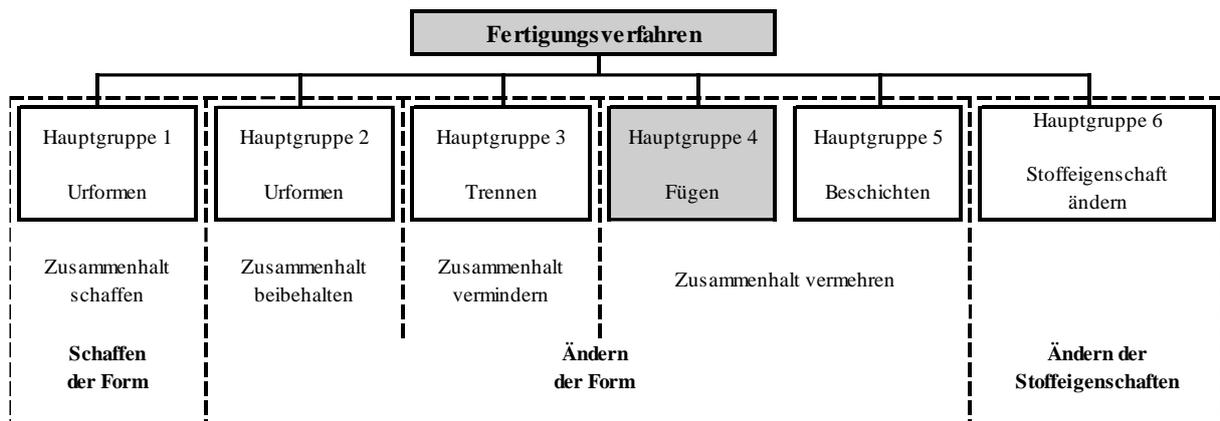


Abb. 3: Einteilung der Fertigungsverfahren nach der DIN 8580 (Quelle: /36, S.15/)

Das Hauptaugenmerk liegt auf der Fertigungsverfahrensgruppe „Fügen“, welche aus den essentiellen Prozessen wie dem Umformen, dem Schweißen, dem Löten und dem Kleben zusammengesetzt wird. Das Fügen kann wie folgt definiert werden:

„Fügen ist ein auf Dauer angelegtes Verbinden oder sonstiges Zusammenbringen von zwei oder mehreren Werkstücken (Fügeteilen) geometrisch bestimmter fester Form oder von ebensolchen Werkstücken mit formlosem Stoff, dabei wird der Zusammenhalt örtlich geschaffen und im Ganzen vermehrt.“²

Alle in der Hauptgruppe vier genannten Prozesse zählen zu den unlösbaren Verbindungen, welche in der DIN 8593 - 0 nach der Art des Zusammenhalts und unter Beachtung der Art der Erzeugung unterteilt werden. Eines der wichtigsten Verbindungsverfahren aus der erwähnten Gruppe „Fügen“ stellt derzeit die Schweißbearbeitung dar. Folgende lässt sich als das Vereinigen (Verbindungsschweißen) oder als das Beschichten (Auftragsschweißen) von gleichen oder artgleichen Werkstoffen unter Einfluss von Wärme und / oder Kraft mit oder ohne Schweißzusätze (Schweißstäbe oder Schweißdrähte aus dem Material mit ähnlichen Schmelzverhalten) definieren.³

² Vgl.: [Matthes / Schneider], Definition „Fügen“, S.17.

³ Vgl.: [Matthes / Schneider], S.15-19.

Vgl.: [Fahrenwaldt / Schuler], S.1-3.

3.1 Grundlagen einer Schmelzschweißverbindung

3.1.1 Fügen durch Schweißen

Eine Schweißverbindung zwischen zwei Teilen besteht im Wesentlichen aus dem gebildetem Schweißgut und einer sogenannten Wärmeinflusszone (WEZ), in der die ursprünglichen Werkstoffeigenschaften infolge einer verfahrensabhängigen Auswirkung verändert wurden.

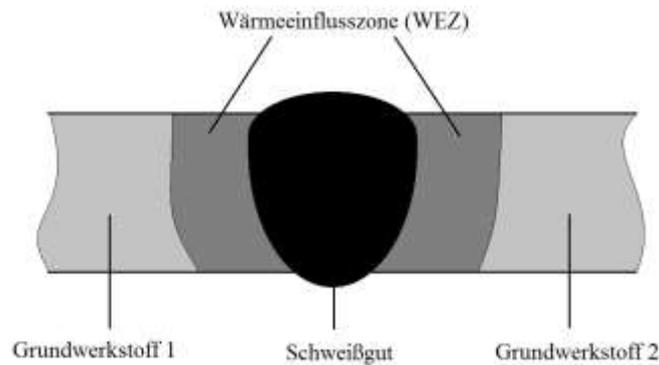


Abb. 4: Aufbau einer Schweißstelle

Jene Beeinflussung entsteht an dieser Stelle meistens durch eine von außen auf die Fügestelle aufgebrachte und zum Stoffverbinden notwendige, thermische Energie in Form von Wärme. Folgende Wärmeenergie wird in der Regel durch den Einfluss chemischer Reaktionen, Elektrizität, Reibung oder Strahlen / Wellen erzeugt. Hierzu liegen zwei Schweißprozessgruppen vor, welche nach der Art ihrer physikalischen Abläufe unterschieden werden. Die Schmelzschweißverfahren, die durch ein Fügen bei örtlich begrenztem Schmelzfluss ohne Anwendung von Kraft mit oder ohne Schweißzusatz angewendet werden und die Pressschweißverfahren, die unter Anwendung von Kraft ohne oder mit Schweißzusatz eingesetzt werden.⁴

Vorteile	Nachteile
<p>Wirtschaftliches, werkstoffsparendes Verfahren</p> <p>Gewichtersparnis durch Wegfall der Überlappungen, Laschen, Nietköpfe (Nieten)</p> <p>Gewichtersparnis durch geringere Wanddicken und Querschnitte (Gusskonstruktionen)</p> <p>Wegfall von Modellkosten bei Einzel- und Kleinserienfertigung</p> <p>Große konstruktive Gestaltungsfreiheit</p>	<p>Gefügebeeinflussung durch Wärmezufuhr (Wärmeinflusszone WEZ)</p> <p>Gefahr der Spröbruchneigung und Rissbildung</p> <p>Erzeugen innerer Spannungen durch Schrumpfen</p> <p>Verzug sowie Ungleichmäßigkeiten in der Nahtgüte</p>

Tab. 1: Vor- und Nachteile von Schweißverbindungen (Quelle: /18,S.68/)

⁴ Vgl.: [Matthes / Schneider], S.17-21.

3.1.2 Die Schweißbarkeit

Internationale Definition (DIN Fachbericht ISO/TR 581):

„Die Schweißbarkeit eines Bauteils aus metallischem Werkstoff ist vorhanden, wenn der Stoffschluss durch Schweißen mit einem gegebenen Schweißprozess bei Beachtung eines geeigneten Fertigungsablaufs erreicht werden kann. Dabei müssen die Schweißnähte hinsichtlich ihrer örtlichen Eigenschaften und ihres Einflusses auf die Konstruktion, deren Teil sie sind, die gestellten Anforderungen erfüllen.“⁵

Die Schweißbarkeit eines Bauteils ist von den folgenden Einflussgrößen abhängig:

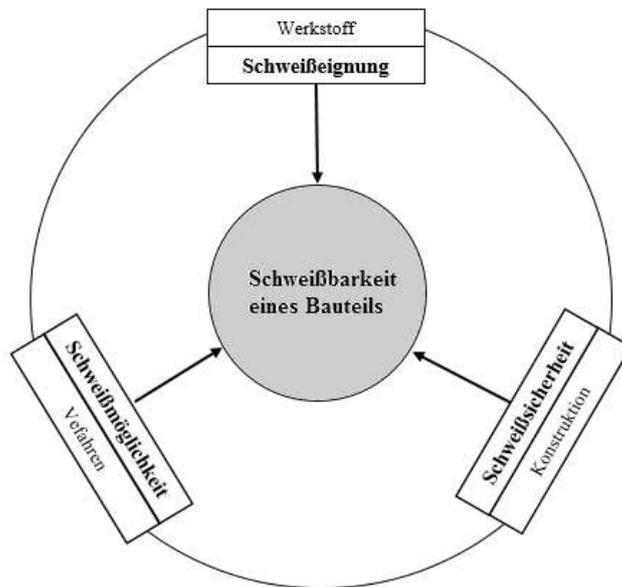


Abb. 5: Definition Schweißbarkeit

Schweißbeignung (Verfahren - Werkstoff)

Werkstoffbedingte Schweißbeignung hängt in der Regel von der chemischen Zusammensetzung, den metallurgischen und den physikalischen Eigenschaften des zu verschweißenden Materials ab.

Art	C-Gehalt [%]	Schweißbeignung	Vorwärmtemperatur
S 235	0,17	gut schweißbar	-
S 275	0,18	gut schweißbar	-
S 355	0,20	gut schweißbar	-
E 295	0,30	bedingt schweißbar	≈ 150 °C
E 335	0,40	schwierig schweißbar	≈ 230 °C
E 360	0,50	schwierig schweißbar	≈ 320 °C

Tab. 2: Schweißbeignung für unlegierte Stähle (Quelle: /18,S.70/)

⁵ Vgl.: [Matthes / Schneider], Definition „Schweißbarkeit“, S.29.

Unlegierte Baustähle: Im Allgemeinen lassen sich alle Stähle der Gütegruppe JR, JO, J2G3, J2G4, K2G3, K2G4 und einem Kohlenstoffgehalt bis etwa 0,25% gut schweißen. Mit zu hohen Kohlenstoffanteilen sowie Verunreinigungen (Silicium, Mangan, Schwefel, Phosphor, Stickstoff, Wasserstoff) erhöht sich die Gefahr der Aufhärtung. Dies führt zur Spröbruchneigung oder Bildung von Spannungsrissen. Daher wird ein Aufwärmen der Bauteile vorausgesetzt.

Niedriglegierte Stähle: Die Einsatzstähle werden im nicht eingesetzten Zustand geschweißt. Finden daher kaum als bevorzugte Schweißwerkstoffe den Einsatz. Die Vergütungsstähle lassen sich meistens im vergüteten Zustand schweißen, jedoch unter Einhaltung besonderer Vorsichtsmaßnahmen, aufgrund des hohen Kohlenstoffgehaltes. Diese müssen nach dem Schweißen durch Wärmebehandlungen erneut vergütet werden.

Hochlegierte Stähle: Die austenitischen, kohlenstoffarmen Chrom-Nickel- und Mangan-Stähle sind (meist mittels Lichtbogenschweißen) gut schweißbar. Die weiteren, dazugehörigen ferritischen Chromstähle weisen jedoch nur eine bedingte Eignung auf.

Eisen - Gusswerkstoffe: Die Schweißbarkeit von Stahl- und weißem Temperguss wird ebenfalls am Kohlenstoffgehalt gemessen. Daraufhin können diese mehr oder weniger als gut schweißbare Werkstoffe bezeichnet werden. Hingegen sind Graugussteile sowie Werkstücke aus schwarzem Temperguss schlecht zu schweißen, da diese einen sehr hohen Kohlenstoffgehalt aufweisen (oft nur für Reparaturen).

Aluminium und Alu - Legierungen (Nichteisenmetalle) sind im Gegensatz zu Stahl schwieriger zu schweißen. Grund dafür ist die schnelle Oxidation und der schnellere Übergang in den flüssigen Zustand. Zum Schutz vor der Oxidation muss der Schweißstelle ein Flussmittel zugefügt werden.

Schwermetalle wie Kupfer (Schutzgasverfahren) und Kupferlegierungen (Metall - Lichtbogenschweißen) lassen sich sehr gut schweißen. Hierbei lässt sich insbesondere Messing (niedriger Zinkgehalt → gute Schweißbarkeit) besser schweißen als Bronze, welche eher zum Löten eingesetzt werden.

Bei *Kunststoffen* findet ausschließlich Thermoplaste (PE, PP) als bevorzugtes Schweißmaterial den Einsatz. Diese wurden in vielen Anwendungen von der Klebtechnik verdrängt.⁶

⁶ Vgl.: [Haberhauer / Bodenstein], S.70.
Vgl.: [Fahrenwaldt / Schuler], S.3.
Vgl.: [Matthes / Schneider] S.31.

Schweißsicherheit (Werkstoff - Konstruktion)

Die Schweißbarkeit eines Bauteils oder einer Baugruppe ist des Weiteren von seiner konstruktiven Gestaltung abhängig. Sie liegt vor, wenn ein Bauteil mit dem dafür verwendeten Werkstoff infolge einer sicheren Konstruktion während des Betriebes funktionsfähig bleibt. Hierbei könnten zum Beispiel die Rissanfälligkeit bestimmter Werkstoffe in Folge einer nachgiebigen (verformungsfähigen) Gestaltung beeinflusst oder die Gefahren einer Aufhärtung (Versprödung durch Wärmeeinfluss) durch den Einsatz kleiner und gleichmäßiger Wandstärken (niedrige Abkühlgeschwindigkeiten) kompensiert werden. Den größten Einfluss auf die Schweißsicherheit einer Konstruktion haben dabei *die Konstruktive Gestaltung* (Lage der Schweißnaht, Kraftfluss, Wandstärken), *der Beanspruchungszustand* (Belastungsart, Beanspruchungsgeschwindigkeit) und *die Betriebstemperatur*.⁷

Schweißmöglichkeit (Verfahren - Konstruktion)

Die Schweißmöglichkeit umfasst bestimmte Fertigungsvoraussetzungen, die erfüllt werden müssen, damit alle Nähte einer Schweißkonstruktion fachgerecht hergestellt werden können. Dies soll durch die Wahl eines optimalen Fertigungsverfahrens im Zusammenhang mit dem gewählten Werkstoff, mit einer ausführlichen Nahtvorbereitung und der Möglichkeit einer guten Zugänglichkeit gewährt werden. Weiterhin sind hier von Bedeutung die Schweißfolge und der Nahtaufbau. Eine Schweißmöglichkeit wird im Wesentlichen von den Faktoren wie *der Vorbereitung zum Schweißen* (Stoßarten, Vorwärmung), *der Ausführung der Schweißarbeiten* (Qualifikation, Schweißverfahren) und *der Nachbehandlung* (Glühen) beeinflusst.⁸

3.1.3 Stoß- und Nahtarten, Nahtformen

Stoßarten- und Nahtarten

Schweißstoß ist die Bezeichnung für die Stelle an der die Schweißteile stoffschlüssig miteinander verbunden werden. Hierzu gibt es verschiedene Stoßarten, welche durch die konstruktive Anordnung der Teile zueinander unterschieden werden. Die Wichtigsten sind in der Tabelle 3 zusammengestellt. Mit Hilfe etwaiger Stoßarten lässt sich die Art der Naht, welche die Teile am Schweißstoß verbindet, bestimmen. Die wichtigsten *Nahtarten* stellen die Stumpfnähte, Kehlnähte und sonstigen Nähte dar. Die Stumpfnähte (Abb.6a und b) liegen

⁷ Vgl.: [Haberhauer / Bodenstein], S.72.

Vgl.: [Fahrenwaldt / Schuler], S.3.

Vgl.: [Matthes / Schneider], S.36.

⁸ Vgl.: [Fahrenwaldt / Schuler], S.3.

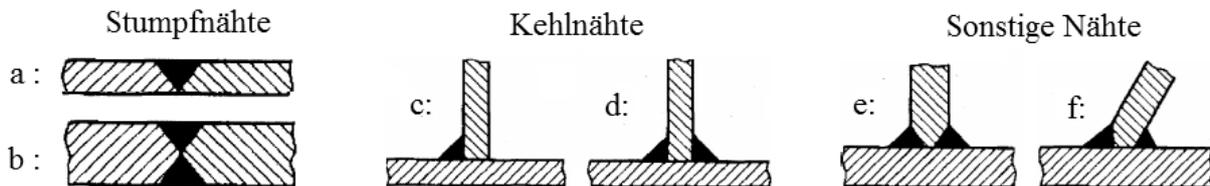
Vgl.: [Matthes / Schneider], S.44.

vor, wenn die zu verbindenden Teile in einer Ebene liegen und dabei eine Fuge bilden. Werden die Teile in zwei Ebenen rechtwinklig zueinander verbunden, handelt es sich entweder um einfache (Abb.6c) oder doppelte (Abb.6d) Kehlnähte.

Stoßart	Lage der Teile	Beschreibung	Stoßart	Lage der Teile	Beschreibung
Stumpfstoß		Die Teile liegen in einer Ebene.	Schrägstoß		Ein Teil stößt schräg gegen ein zweites.
Parallelstoß		Die Teile liegen parallel aufeinander.	Eckstoß		Zwei Teile stoßen unter beliebigem Winkel aneinander.
Überlappstoß		Die Teile liegen parallel aufeinander und überlappen sich.	Mehrfachstoß		Drei oder mehr Teile stoßen unter beliebigem Winkel aneinander.
T-Stoß		Ein Teil stößt rechtwinklig (T-förmig) auf ein zweites.	Kreuzungsstoß		Zwei Teile liegen kreuzend übereinander.
Doppel-T-Stoß		Zwei Teile stoßen rechtwinklig auf ein drittes.			

Tab. 3: Stoßarten (Quelle: /4,S.97/)

Die Kategorie der sonstigen Nähte (Abb.6e und f) bilden jene Nähte, die weder der Stumpfnah, noch der Kehlnah zugeordnet werden können oder Kombinationen aus beiden sind.⁹



a: V-Naht, d: Doppel - V - Naht (X - Naht), c: Kehlnaht, d: Doppelkehlnaht, e: Doppel - HY - Naht mit Doppelkehlnaht (K - Steгнаht mit Doppelkehlnat), f: HY - Naht mit Kehlnähten am Schrägstoß

Abb. 6: Nahtarten (Quelle: /4, S.97/)

Die dazugehörige Nahtdicke **a** ist in Bezug auf die Nahtarten wie folgt zu betrachten. Bei Stumpfnähten ist diese gleich der Dicke der zu verbindenden Teile (Anl.1). Wobei im Stoß verschieden dicker Teile die kleinere Dicke maßgebend ist. Bei Kehlnähten ist sie gleich der Höhe des größten gleichschenkligen Dreiecks, unabhängig davon, ob es sich um eine Flach-, Wölb-, Hohl- oder ungleichschenklige Kehlnaht handelt (Anl.2).¹⁰

Nahtformen

Weitere Begriffe zur Beschreibung einer Nahtverbindung stellen die Fuge und der Spalt dar.

⁹ Vgl.: [Haberhauer / Bodenstern], S.74.

Vgl.: [Matthes / Schneider], S.45.

Vgl.: [Decker], S.97.

¹⁰ Vgl.: [Haberhauer / Bodenstern], S.75.

Vgl.: [Decker], S.97.

Die **Fuge** ist die Stelle an dem die Verbindungspartner am Schweißstoß verbunden werden. Der **Spalt** befindet sich zwischen zwei parallelen Flächen oder Kanten der zu schweißenden Fügeteile. Während einer Schweißvorbereitung der Fügestelle können in Abhängigkeit von dem Schweißstoß verschiedene Fugenformen (Anl.3) umgesetzt werden. Entscheidende Einflussgrößen sind hierbei die Dicke der zu verbindenden Teile und die erforderliche Festigkeit der zukünftigen Schweißverbindung. Mit einer aufbereiteten Fugenform soll gezielt Einfluss auf das Aufschmelzverhalten von Bauteilflanken und auf das Durchschweißen der Wurzel genommen werden. Weiterhin soll eine verbesserte Aufnahme des abgeschmolzenen bzw. eingebrachten Schmelzzusatzes ermöglicht werden. Die dabei wichtigsten Stumpfnahthformen bilden die I-, V-, X-, HV- und K- Nähte.¹¹

3.1.4 Schweißnahtgüte

Die Herstellung von Schweißverbindungen ist oft fehlerbehaftet. Jene Unregelmäßigkeiten treten sowohl im äußeren (z.B. als Einbrandkerben, Poren, Schlackeneinschlüsse, Zündstellen, äußere Risse), als auch im inneren Bereich (z.B. als Bindefehler, innere Risse, Gaseinschlüsse) einer Schweißnaht auf und beeinträchtigen mit ihren geometrischen Merkmalen das Festigkeitsverhalten einer Schweißverbindung. Um die Bewertung der Nahtqualität einheitlich durchführen zu können, wurden die Bewertungsgruppen **B** (hohe Anforderung), **C** (mittlere Anforderung) und **D** (niedrige Anforderung) eingeführt. Sie schaffen die Voraussetzungen mögliche Fehler so zu definieren, dass diese nur in bestimmtem Grenzmaß auftreten dürfen. Demnach können Schweißverbindungen als definierte Konstruktionselemente betrachtet werden, welche den Qualitätsanforderungen zuständiger Prüfstellen entsprechen.¹²

3.1.5 Gestaltungsrichtlinien

Im Zusammenhang mit der Schweißnahtgüte soll bei Entstehungsprozessen von anforderungsgerechten Schweißkonstruktionen auf bestimmte Richtlinien geachtet werden. Hierbei ist die Gestaltung eines geschweißten Bauteils während seiner Entwicklungsphase besonders kritisch und unter Beachtung bestimmter, allgemeiner Konstruktionsregeln zu prüfen. Jene grundsätzlichen Richtlinien setzten sich wie folgt zusammen:

1. Kraftumlenkung in der Schweißzone vermeiden!
2. Zugbeanspruchung der Nahtwurzel vermeiden!
3. Anhäufung von Nähten vermeiden und geringes Nahtvolumen anstreben!

¹¹ Vgl.: [Haberhauer / Bodenstein], S.74.

Vgl.: [Matthes / Schneider], S.4.

Vgl.: [Decker], S.98.

¹² Vgl.: [Haberhauer / Bodenstein], S.72.

Vgl.: [Decker], S.101.

4. Nahtkreuzungen vermeiden!
5. Auf Zugänglichkeit der Nähte achten!
6. Lagefixierung für den Schweißvorgang vorsehen!
7. Verzug beim Schweißen berücksichtigen!¹³

3.1.6 Schweißzusätze und Schweißpositionen

Schweißzusätze

Schweißzusätze sind Erzeugnisse, welche bei einem Schweißvorgang abschmelzen und mit dem aufgeschmolzenen Grundwerkstoff die Schweißnaht bilden. Beim Verbindungsschweißen werden dabei die Eigenschaften der Schweißnaht soweit beeinflusst, dass das Schweißgut aufgrund des verwendeten Schweißzusatzes meistens die gleichen Eigenschaften wie der Grundwerkstoff, z.B. gleiche Zähigkeit, Festigkeit, Dehnung, aufweist. Die am häufigsten eingesetzten Schweißzusätze werden zu einem in Form von *nicht Strom führenden*, abschmelzenden **Schweißdrähten** oder **Schweißstäben** und zum anderem als *Strom führende*, abschmelzende **Drahtelektroden** oder umhüllte **Stabelektroden** eingesetzt. Bei einigen Schweißprozessen wird auch Pulver als Schweißzusatz verwendet. Die Auswahl des richtigen Zusatzes ist je nach Schweißaufgabe unterschiedlich und hängt im Wesentlichen davon ab, welcher Werkstoff geschweißt wird und welches Verfahren seine Anwendung findet. Somit wird beim Gasschweißen von Stählen hauptsächlich mit legierten oder unlegierten Schweißdrähten und Schweißstäben (DIN 8554) geschweißt. Beim Lichtbogenschweißen setzt man auf Massivdrahtelektroden, -drähte, -stäbe und Fülldrahtelektroden mit einer Füllung aus Titanoxid (zur Lichtbogenstabilisierung) nach der DIN EN 758 (DIN 8559) zum Gasschweißen sowie umhüllte Elektroden DIN EN 499 (DIN 1913) für das Verbindungsschweißen von legierten und niedriglegierten Stählen. Die dafür erforderlichen Angaben, z.B. die normgerechten Bezeichnungen der Schweißzusätze, werden in den internationalen oder europäischen Normen ausführlich erläutert.¹⁴

Schweißpositionen

Die zuvor erwähnten, genormten Bezeichnungen auf den Zusatzwerkstoffen liefern dem Schweißer Informationen über mögliche Schweißpositionen. Die erlaubten Schweißpositionen und Kurzzeichen sind in der DIN EN ISO 6947 enthalten und werden wie folgt definiert.¹⁵

¹³ Vgl.: [Fahrenwaldt / Schuler], S.322.

¹⁴ Vgl.: [Kramer], S.64.

Vgl.: [Decker], S.95.

¹⁵ Vgl.: [Decker], S.96.

Vgl.: [Fahrenwaldt / Schuler], S.514-515.

- PA (w) *Wannenposition:* Waagrechtes Arbeiten, Nahtmittellinie senkrecht, Decklage oben,
PB (h) *Horizontal - Vertikalposition:* Horizontales Arbeiten, Decklage oben,
PF (s) *Steigposition:* Steigendes Arbeiten senkrecht nach oben,
PG (f) *Fallposition:* Fallendes Arbeiten senkrecht nach unten,
PC (q) *Querposition:* Waagrechtes Arbeiten, Nahtmittellinie horizontal,
PE (ü) *Überkopfposition:* Waagrechtes arbeiten, Nahtmittellinie senkrecht, Decklage unten,
PD (hü) *Horizontal - Überkopfposition:* Horizontales Arbeiten, Decklage unten.

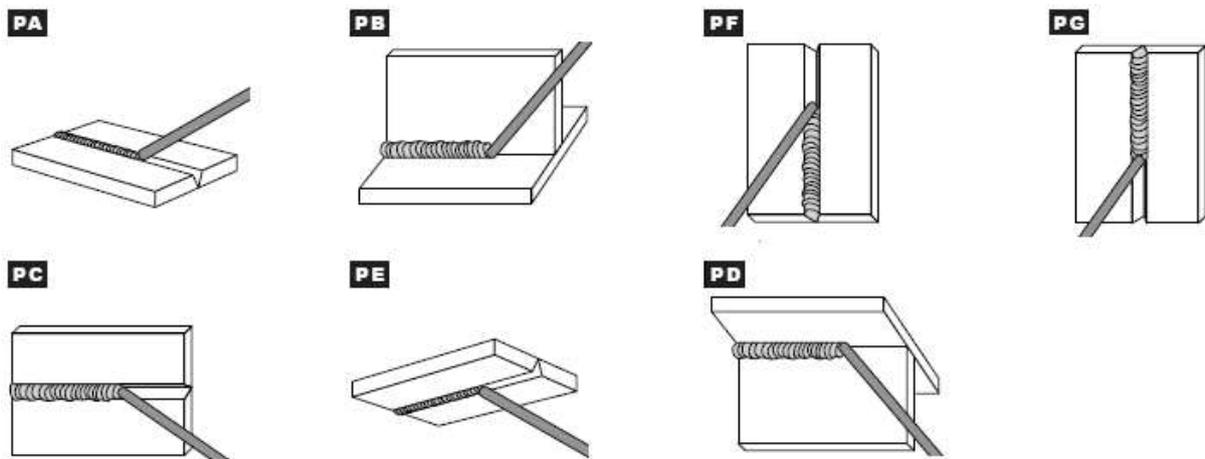


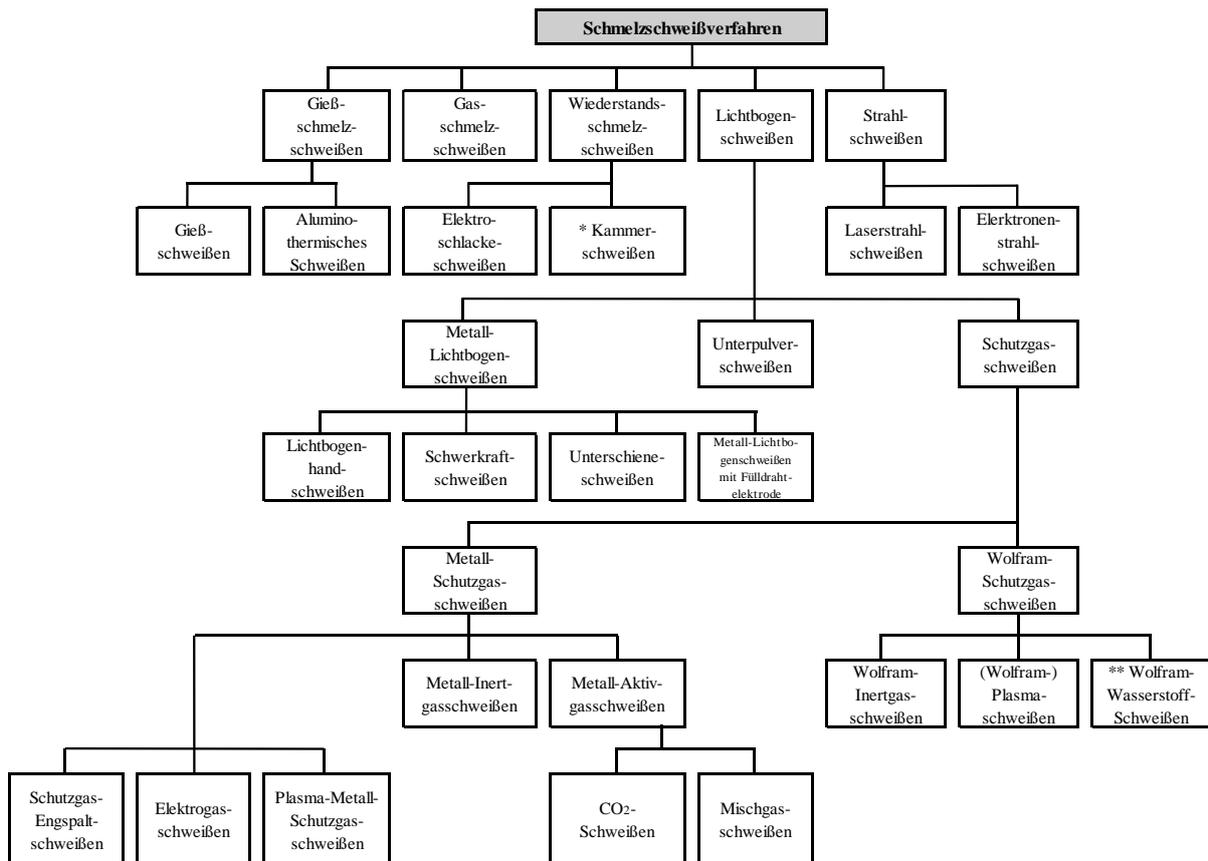
Abb. 7: Schweißpositionen nach DIN EN ISO 6947

4 Schmelzschweißverfahren

4.1 Verfahrensübersicht

Wie im Abschnitt 3.1.1 beschrieben, wird eine Schweißverbindung dadurch erzeugt, indem der Fuge zwischen zwei zu verbindenden Teilen, eine von außen notwendige Wärmeenergie zugeführt wird und in Folge einer Werkstoffverschmelzung diese miteinander verbunden werden. Die dabei erfolgte Wärmezufuhr ist je nach Schweißprozess unterschiedlich. Die Einteilung dieser Prozesse wird nach der Art des von außen wirkenden Energieträgers (z.B. Gas, Strahl, elektrischer Strom), nach dem Material des Grundwerkstoffes, nach dem Ziel des Schweißens (Verbindungs- oder Auftragsschweißen) und nach der Höhe des Automatisierungsgrades vorgenommen.

Somit lässt sich das Fügen (Verbindungsschweißen) von mehreren Einzelteilen zu einer Baugruppe oder einem Formstück, in der Regel mit folgenden Schmelzschweißverfahren realisieren.



* Kammer-schweißen in der Praxis relativ selten eingesetzt.

** Wolfram - Wasserstoffschweißen international nicht mehr genannter und ein veralteter Schweißprozess.

Abb. 8: Einteilung der Schmelzschweißprozesse (nach Killing) (Quelle: /13, S.7/)

4.2 Wichtigste Schmelzschweißprozesse

Die bedeutendsten und am häufigsten eingesetzten Schmelzschweißprozesse aus der Abbildung 8 und deren Eignung zur Mechanisierbarkeit werden in der Tabelle 4 gemeinsam mit weiteren, ausschlaggebenden Verfahrensparametern wie folgt dargestellt.

Verfahren	Kurzzeichen	Leistungsdichte [W/cm ²]	Schweißgeschw. [m/min]	Blechkickenbereich [mm]	Aufmischungsgrad mit GW [%]	Automatisierbarkeit	Anlagenkosten [T€]
Gasschweißen							
Gasschmelzschweißen	G	10 ³	0,03-0,15	0,5-8,0	5-30%	keine	0,5
Lichtbogenschweißen							
Metalllichtbogenschweißen							
Lichtbogenhandschweißen	E	10 ⁴	0,15-0,3	1-100	15-40%	keine	0,5
Unterpulverschweißen	UP	10 ⁶	0,3-1,2	3-100	40-60%	sehr gut	20-30
Schutzgasschweißen							
Metall-Schutzgasschweißen							
Metall-Inertgasschweißen	MIG	10 ⁵	0,2-1,8	0,6-100	25-35%	sehr gut	20-30
Metall-Aktivgasschweißen	MAG						
Wolfram-Schutzgasschweißen							
Wolfram-Inertgasschweißen	WIG	10 ⁴	0,1-0,3	0,1-7	bis 100%	gut	4-14
Wolfram-Plasmaschweißen	WP	10 ⁶	0,2-0,6	2,5-12	bis 100%	sehr gut	40
Strahlschweißen							
Laserstrahlschweißen	LA	10 ⁹	0,2-22	0,01-10	bis 100%	sehr gut	50-1000
Elektronenstrahlschweißen	EB	10 ⁸	0,2-5	0,01-260	bis 100%	sehr gut	50-1000
Widerstandsschmelzschweißen							
Elektroslackeschweißen	RES	10 ⁴	0,01-0,1	10-300	5-20%	sehr gut	20-40

Tab. 4: Wichtigste Schmelzschweißprozesse (Quelle: /13,S.4-6/)

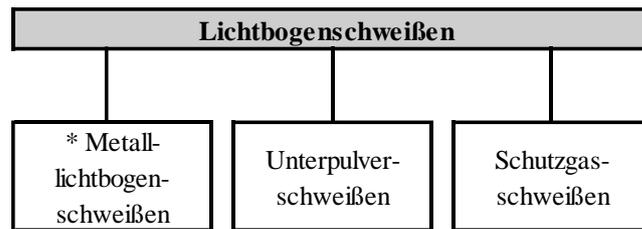
Ableitend daraus, werden in den kommen Abschnitten die allgemeinen Funktionsprinzipien, Vor- / Nachteile und die Anwendungsfelder jener Verfahren näher erläutert, deren Betrachtung im Zusammenhang mit einer möglichen Mechanisierung einer Schweißanlage sich als essentiell erweisen könnte. Wie aus der Aufstellung 4 zu entnehmen, zählen hierzu überwiegend Prozesse mit lichtbogenschweißenden (Prozesse: UP, MIG, MAG, WIG, WP), strahlschweißenden (Prozesse: LA, EB) und widerstandsschmelzschweißenden (Prozess: RES) Verbindungstechniken. Die Vor- und Nachteile sowie die jeweiligen Einsatzgebiete werden insbesondere mit dem Schwerpunkt auf den Mechanisierungsgrad, die Nahtqualität, die Prozessgeschwindigkeit, die möglichen Schweißpositionen, die notwendige Nahtvorbereitung, die Wirtschaftlichkeit und die Umweltfreundlichkeit betrachtet.¹⁶

¹⁶ Vgl.: [Fahrenwaldt / Schuler], S.4-6.

4.3 Automatisierbare Schweißverfahren

4.3.1 Schweißen mit Lichtbogen

Beim Lichtbogenschweißen entsteht ein Schweißbad durch eine Aufschmelzung infolge der Einwirkung eines elektrisch erzeugten Lichtbogens. Dieser brennt zwischen dem Werkstück und einer Schweißelektrode, zwischen zwei Elektroden und / oder zwischen den Werkstücken. Beim Lichtbogenschweißen wird zwischen den folgenden Verfahren unterschieden:



* Hauptvertreter → Lichtbogenhandschweißen (E) → keine Automatisierung

Tab. 5: Verfahrensgruppen des Lichtbogenschweißens

4.3.1.1 Unterpulverschweißen (UP)

Einen Prozess aus der Gruppe „Schweißen mit Lichtbogen“, welches als voll mechanisiertes Schweißverfahren angewendet wird, stellt neben dem Schutzgasschweißen (SG) das Unterpulverschweißen (UP) dar. **Verfahrensprinzip:** Ein Lichtbogen brennt unter einer Schicht aus körnigem Pulver, unsichtbar zwischen einer abschmelzenden Elektrode und dem

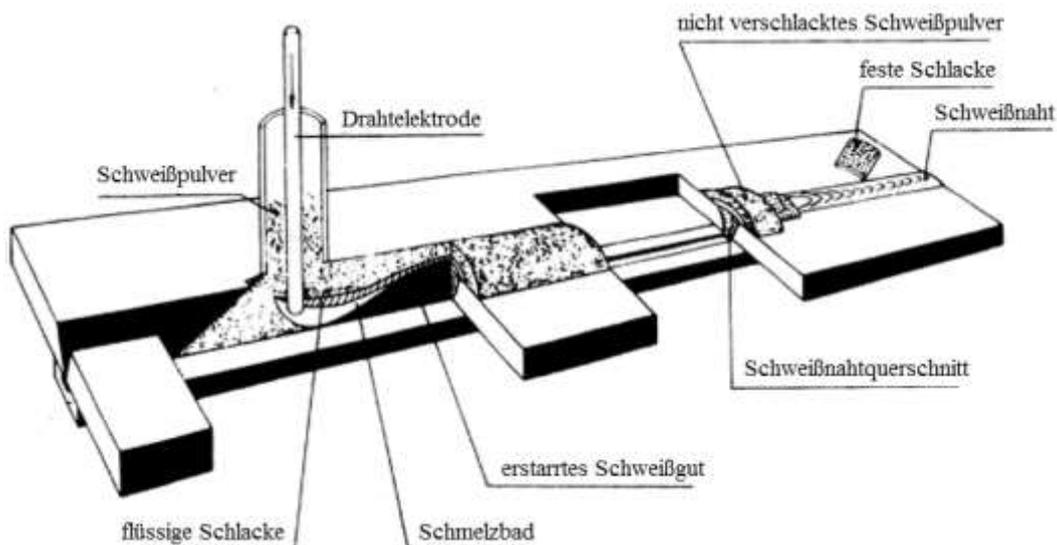


Abb. 9: UP - Schweißprozess (Quelle: /25,S.2/)

Grundwerkstoff ab. Das Schweißpulver hat an dieser Stelle die Aufgabe das Schmelzbad vor den Einflüssen aus der Atmosphäre zu schützen und um die Lichtbogenstabilität

aufrechtzuerhalten. Unter der Pulverschicht bildet sich beim Zünden aus dem verdampften Pulver und den Metaldämpfen eine Kaverne, welche durch Schlacke begrenzt wird. In ihr kommt es infolge des Aufschmelzens zu einem tropfenförmigen Werkstoffübergang und Bildung eines entgegen der Schweißrichtung geprägten Schmelzbades. Die zuvor erwähnte Elektrode wird durch entsprechende mechanische Vorrichtungen der mit Gas gefüllten Kaverne ständig zugeführt. Sie wird sowohl in Form von blanken Drahtelektroden (üblich \varnothing 1,2 mm...6 mm), als auch Bandedelektroden eingesetzt und je nach dem zu schweißenden Werkstoff ausgewählt.¹⁷

Zusammenfassend sind die Attribute eines UP - Verfahrens: Das Schweißen unter Luftabschluss bei voller Energieausnutzung durch einen verdeckten Lichtbogen sowie ein tiefer Einbrand infolge hoher Stromstärken und die Möglichkeit mit dicken, blanken und dadurch kostengünstigen Drahtelektroden schweißen zu können.

Daraus resultieren folgende **Vorteile und Nachteile**: Erster Positiver Aspekt ist das Schweißen unter einer geschlossenen Kaverne. Diese schützt die Schweißstelle vor der Atmosphäre und sorgt somit für einen stabilen Schweißprozess. Anbei werden Voraussetzungen geschaffen um die Schweißparameter wie Stromstärke (300...1200 A), Schweißspannung (25...40 V) und Schweißgeschwindigkeit (30...120 cm/min) innerhalb weiter Grenzen mühelos verändern zu können. Des Weiteren verhindert die Pulverabdeckung, dass weder Strahlung, Geräusche, noch Rauch oder Gase in nennenswerter Menge emittiert werden. Das Verfahren verfügt aufgrund des hohen thermischen Wirkungsgrades über einen geringen spezifischen Energiebedarf wodurch nur sehr kleine Winkelverformungen, insbesondere bei Kehlnähten, hervorgerufen werden. Weitere Vorteile liefern die hohe Abschmelzleistung, geringe Schweißzeiten, hohe Arbeitsgeschwindigkeiten und die daraus resultierenden, geringen Lohnkosten. Ferner überzeugt das Unterpulverschweißen mit günstigen Anpassungsmöglichkeiten des Zusatzwerkstoffes und Schweißpulvers an die Güte des Grundwerkstoffes, mit einer hohen Festigkeit der Naht und einer gleichmäßigen Nahtgüte. Als ein voll mechanisiertes Verfahren werden menschliche Fehler in der Regel ausgeschlossen, wodurch wiederkehrende und gleichbleibende Nahtqualität ermöglicht wird. Als ungünstig in Bezug auf eine 3D - Schweißbearbeitung kann beim UP - Schweißen eine begrenzte Auswahl der Schweißpositionen aufgeführt werden. Denn durch die langen Schmelz- und Schlackenbäder sowie die Pulverabdeckung ist das Schweißen ohne zusätzliche Hilfseinrichtungen nur in Horizontal- und Wannelage möglich. Des Weiteren ist eine gründliche Vorbereitung der Nahtfuge vor dem Schweißen notwendig, da das Bad während des Schweißens zum einen nicht sichtbar ist und zum anderen Korrekturen während des Schweißens nur begrenzt ermöglicht werden. Einen weiteren Nachteil stellt die

¹⁷ Vgl.: [Matthes / Schneider], S.224.

Vgl.: [Fahrenwaldt / Schuler], S.42.

Vgl.: [Decker], S.92.

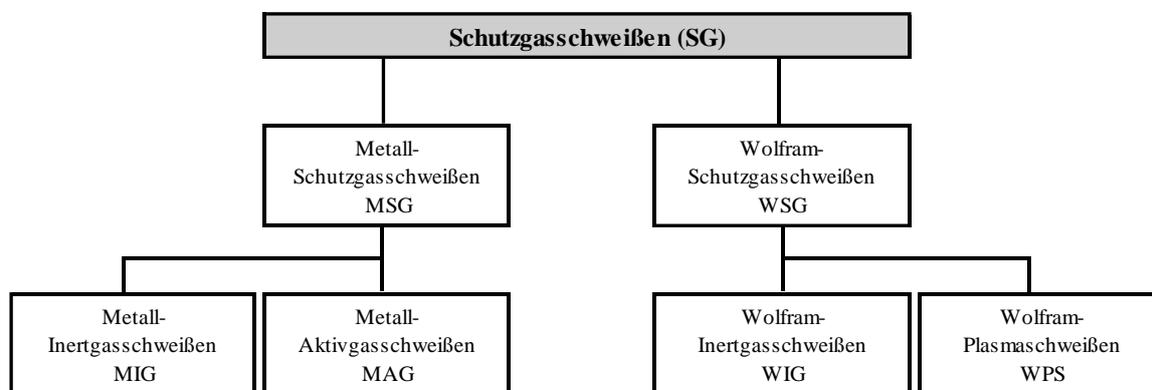
Vgl.: [Hochreiter], S.1.

Durchbruchgefahr der Schmelze bei einem unzureichend gesicherten Schmelzbad dar. Somit ist neben einer Nahtfugenvorbereitung zusätzlich eine Badsicherung der Wurzellagen durch eingebrachte Handlagen oder Kupferschienen, keramische Unterlagen und Pulverkissen auf denen geschweißt wird vorzunehmen. Ein wirtschaftliches Arbeiten ist erst ab größeren Stückzahlen möglich.

Anwendungen: Hauptanwendungsbereiche des Verfahrens liegen im Schweißen langer, gerader Nähte oder von Rundnähten an größeren Querschnitten bzw. Rohrdurchmessern. Die hierbei wichtigsten Industriezweige bilden Behälterbau, Rohrfertigung, Schiffbau, Fahrzeugbau, Stahlbau, Offshore - Industrie.¹⁸

4.3.1.2 Schutzgasschweißen (MSG (MIG, MAG) / WSG (WIG, WP))

Der Schutzgasschweißvorgang kann ebenfalls als Fügen durch eine Aufschmelzung des Werkstoffes während der Einwirkung eines elektrischen Lichtbogens beschrieben werden. Etwaiger Lichtbogen brennt sichtbar zwischen einer Elektrode und dem Werkstück oder zwischen zwei Elektroden. Hierbei übernimmt ein stetig zugeführtes, inertes (reaktionsunfähiges) oder aktives Schutzgas die Aufgabe den Lichtbogen und das Schweißbad von der Umgebungsluft abzuschirmen. Nach der DIN 1910 lässt sich das Schutzgasschweißen in weitere Prozessvarianten wie folgt aufteilen:



Tab. 6: Verfahrensgruppe Schutzgasschweißen SG

In der ersten Ebene wird das Verfahren in zwei Gruppen nach der Art der Elektrode (Metall / Wolfram) gegliedert. Die zweite Einteilung innerhalb der Gruppen wird nach der Art des Lichtbogens und des eingesetzten Schutzgases vorgenommen.

Metall - Schutzgasschweißen (MSG)

Die *Funktionsweise* des MSG - Schweißens wird wie folgt charakterisiert: Der elektrisch, erzeugte Lichtbogen (Gleichstrom) brennt zwischen einer abschmelzenden Elektrode und dem

¹⁸ Vgl.: [Matthes / Richter], S.135.
Vgl.: [Hochreiter], S.3.

Einbrand ermöglicht werden. Aufgrund der hohen Arbeitsgeschwindigkeit kommt es zu geringeren Wärmeeinflüssen des umliegenden Materials. Dies führt zu einem geringen Verzug der geschweißten Teile. Als Ergebnis lassen sich schlackenfreie Nähte mit guter Qualität nachweisen.

Typisch für das Verfahren sind die aufredenden Unregelmäßigkeiten in der Verbindung in Form von Bindefehlern und Poren. Des Weiteren bilden die Notwendigkeit einer geeigneten Fugenvorbereitung sowie ein kontinuierlicher, funktionsbedingter Einsatz eines Zusatzwerkstoffes die weiteren negativen Aspekte des MSG - Schweißens. Als spezielle Gefährdungen bezüglich der Umweltfreundlichkeit können jene aufgeführt werden, welche durch die metallurgischen und chemischen Reaktionen, entweder zwischen Schweißzusatz und Grundwerkstoff oder Schmelzbad und Beschichtung, erzeugt werden. Somit sind Absaugungen von schädlichen Gasen und Rauchen unmittelbar am Entstehungsort vorzunehmen und eine ausreichende Zufuhr von Frischluft zu gewährleisten.²⁰

Anwendungen: Im Allgemeinen kann mit MSG das Fügen aller metallischen Werkstoffe erfolgen. Es wird jedoch vorrangig zum Schweißen aller Stahlsorten (MAG) und Aluminiumlegierungen (MIG) eingesetzt. Die bevorzugten Fertigungszweige des MSG - Schweißens liegen in den Bereichen des Automobil- und Fahrzeugbaues (MAG) sowie im Schienenfahrzeugbau (Aluminiumschweißen mittels MIG). Weiterhin bilden der Stahlbau, Brückenbau aber auch Bagger- und Kranbau die weiteren, wesentlichen Einsatzbereiche des Prozesses.²¹

Wolfram - Schutzgasschweißen (WSG)

Die grundlegenden Verfahrensmerkmale des Wolfram - Schutzgasschweißens bilden die Verwendung eines Schutzgases sowie der Einsatz einer nicht abschmelzenden Wolframelektrode (Dauerelektrode). **Prinzip des WSG - Schweißens:** Ähnlich wie beim MSG - Schweißen wird hierbei ein Lichtbogen mit Temperaturen, die weit über dem Schmelzpunkt des Grundwerkstoffes liegen, als Wärmequelle zum Schweißen genutzt. Dieser brennt zwischen einer Dauerelektrode aus Wolfram und dem Werkstück (oder der Innenwand einer Düse, oder zwischen zwei Elektroden) ab. Zeitgleich wird mit einem zusätzlichem Draht Schweißmaterial zugeführt. Das Schutzgas ist inert oder aktiv. Die Untergruppen des WSG - Schweißens sind unterteilt in **WIG -** und **WP - Prozesse**.

Wolfram - Inertgasschweißen (WIG): Der Lichtbogen brennt frei zwischen dem Werkstück und einer nicht abschmelzenden Wolframelektrode unter Einwirkung eines inerten Schutzgases. Als Schutzgas wird meistens Argon mit einer 99,5 % Reinheit (um die

²⁰ Vgl.: [Matthes / Richter], S.178, S.190, S.192.

Vgl.: [Matthes / Schneider], S.188-189.

Vgl.: [Fahrenwaldt / Schuler], S.56-58.

Vgl.: [Heubner / Klöwer], S.86.

²¹ Vgl.: [Matthes / Richter], S.193.

Oxidation der Wolframelektrode zu vermeiden) eingesetzt. Dieses wird über eine Düse dem Schweißbereich kontinuierlich hinzugefügt und schirmt dabei die Elektrode, den Lichtbogen und die Schmelze vor der Atmosphäre ab. Weiterhin können in Abhängigkeit vom zu schweißenden Material auch Gasgemische auf Argon Basis mit einem Zusatz von Helium, Wasserstoff oder Stickstoff eingesetzt werden. Bei diesem Verfahren kann mit oder ohne Zusatzwerkstoff geschweißt werden. Dadurch aber, dass die Elektrode während des Brennvorganges nicht abschmilzt, ist deren Einsatz nicht zwingend notwendig.²²

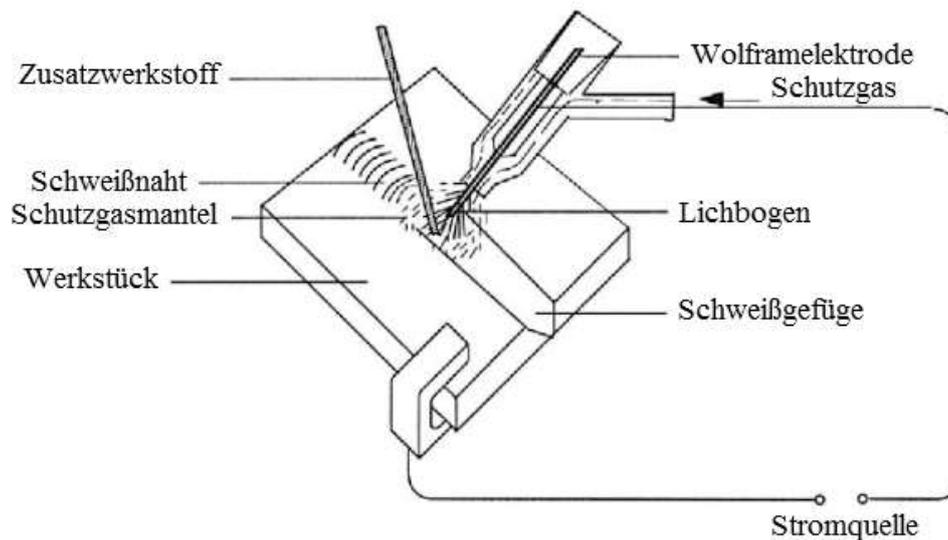


Abb. 11: Verfahrensprinzip Wolfram - Inertgasschweißen (Quelle: /16,S.79/)

Vorteile / Nachteile: Als vorteilhaft lassen sich beim WIG - Schweißen folgende Merkmale aufzeigen. Materialbezogen kann dieser Prozess nahezu zum Schweißen von allen metallischen Werkstoffen eingesetzt werden. Weiterhin verfügt das Verfahren über eine hohe Leistungsdichte bei Materialdicken von 0,5 bis 5 mm (ohne Fugenvorbereitung) und ist aufgrund der Möglichkeit des Schweißens in allen Positionen universell einsetzbar. Ferner überzeugt er durch glatte und ebene Nähte ohne Spritzer und Schlacken, mit einer sehr hohen Qualität der Schweißverbindung. Die Lichtbogenleistung lässt sich einfach kontrollieren, wodurch in der Regel ein stabiler elektrischer Lichtbogen erzeugt wird. Weiterer positiver Aspekt ist der fehlende Einfluss des Schutzgases auf das Schweißgut. Negativ zeigt sich das WIG - Schweißen vor allem bei wirtschaftlicher Betrachtung. Begründet mit der geringen Produktivität (relativ kleine Schweißgeschwindigkeiten bis ca. 30 cm/min) des Verfahrens, wird dieses in der Regel bei dickeren Verbindungen erst in Kombination mit anderen produktiven Schweißtechniken effizienter (MIG / MAG). Weiterer Nachteil ist ein starker Verzug der Fügepartner aufgrund der geringen Schweißgeschwindigkeit. Hierzu kommt, dass beim Schweißen mit Wolframelektroden die Thoriumoxid (Typ: WTh) enthalten,

²² Vgl.: [Matthes / Schneider], S.127-130.

Vgl.: [Fahrenwaldt / Schuler], S.52-56.

Vgl.: [Decker], S.93.

Vgl.: [Gerthsen], S.78-80.

Gefährdungen durch innere oder äußere Exposition radioaktiver Strahlung entstehen. Die gebildeten radioaktiven Stäube führen zu Schäden des menschlichen Körpers. Weiterhin werden bei Schweißvorgängen mit Wechselstrom Aerosole erzeugt, welche ebenfalls zu vermeiden sind (Absaugvorrichtungen).²³

Anwendungen: Die relevanten Einsatzfelder des Verfahrens umfassen den Kessel-, Behälter-, Apparate- und Rohrleitungsbau sowie den Luft- und Raumfahrtgerätebau. Besonders die vollmechanisierten WIG - Schweißanlagen werden vorzugsweise bei der Herstellung längsnahtgeschweißter Rohre oder Spiralnaht geschweißter Rohre aus nicht rostendem Stahl und Aluminium eingesetzt. Weiterhin wird das Verfahren vorzugsweise zum Schweißen kurzer Nähte sowie zum Durchschweißen von Wurzellagen bei dicken Werkstücken angewendet.²⁴

Wolfram - Plasmaschweißen (WP): Plasmaschweißen stellt einen Schmelzvorgang dar, bei welchem mit einem eingeschnürten Lichtbogen zwischen einer nichtabschmelzenden Wolframelektrode und einem Werkstück gearbeitet wird.

Verfahrensvariante	Prozess	Funktionsmerkmale	Wirkungen
Plasmalichtbogenschweißen	WPL	Ein übertragener Lichtbogen direkt zwischen der Wolframelektrode und dem Werkstück. Eie Plasmadüse schnürt den Lichtbogen ein.	Eine effektive Wärmeeinbringung ins Bauteil. Hohe Enregiedichte durch die künstliche Fokussierung
Plasmastrahlschweißen	WPS	Nicht übertragener Lichtbogen. Der Lichtbogen brennt zwischen der Wolframelektrode und der Plasmadüse und wird durch das Prozessgas ausgetrieben.	Geringe Energiedichte und Wärmeeinbringung. Abnahme dieser mit zunehmender Länge und Ausbreitung des Strahls.
Plasmastrahl- Plasmalichtbogenschweißen	WPSL	Kombination aus WPL und WPS. Nicht übertragener und direkt übertragener Lichtbogen werden zeitgleich genutzt.	Stabilisierung des übertragenen Hauptlichtbogen bei geringen Leistungen mit Hilfe des nicht übertragenen Hauptlichtbogens. Ruhig brennender Lichtbogen auch bei geringsten Stromstärken.

Tab. 7: Verfahrensvarianten des Wolfram - Plasmaschweißens (Quelle: /36,S.157-159/)

Es ist eine Erweiterung des WIG - Schweißens mit dem Unterschied, dass beim Plasmaschweißen der Lichtbogen mit Hilfe einer Fokusdüse und einer Gasströmung (Plasmagas) künstlich geformt wird. Diese Maßnahme führt zur Steigerung der Energiedichte und einer verbesserten Plasmastrahlqualität. Die eingesetzten Schutzgase können sowohl inert

²³ Vgl.: [Matthes / Richter], S.210-211.
Vgl.: [Matthes / Schneider], S.127-128.
Vgl.: [Fahrenwaldt / Schuler], S.52-54.
Vgl.: [Heubner / Klöwer], S.84.

²⁴ Vgl.: [Matthes / Richter], S.212.

(wie Argon oder Helium) oder aktiv (wie Wasserstoff), aber auch Gemische aus inerten und / oder aktiven Gasen sein. Die Tabelle 7 zeigt mögliche Verfahrenstypen (Anl.4), welche nach der Art der Lichtbogenübertragung unterschieden werden.²⁵

Vorteile / Nachteile: Ein durch die Lichtbogenbündelung und Plasmagasströmung stabiler und schier zylindrischer Lichtbogen mit einer hohen Energiedichte am Werkstück ist das kennzeichnende Merkmal eines WP - Schweißverfahrens. Im Gegensatz zum WIG - Schweißen ist ein Plasmalichtbogen „steifer“. Das Verfahren lässt sich durch positive und negative Merkmale in folgenderweise erläutern.

Als vorteilhaft können der geringe Einfluss der Schweißparameter auf die Lichtbogenform sowie ein tiefer Einbrand im I - Stoß generiert werden. Wegen der hohen Prozessgeschwindigkeit erfolgt eine mäßige Wärmebeeinflussung des Grundwerkstoffes, wodurch sich die Bauteile nur geringfügig verziehen. Hierbei lassen sich fast alle zum schmelzschweißen geeigneten Metalle mit Dicken von bis zu 10 mm (überwiegend PA-Position, PB- und PC- Positionen nur bedingt möglich) ohne besondere Fugenvorbereitung und überwiegend voll mechanisch (wirtschaftlich) mühelos Plasmaschweißen. Das Ergebnis sind sehr glatte und ebene Schweißnahtoberflächen.

Die negativen Kriterien bilden eine ausführliche Schweißnahtvorbereitung, eine beschränkte Zugänglichkeit zur Schweißstelle sowie die hohen Investitionskosten der Anlagen. Vor allem die Schweißnahtvorbereitungen (ohne Spalt) erfordern besondere Maßnahmen in Bezug auf die Genauigkeit der Schweißvorrichtungen. Ein weiterer unvorteilhafter Punkt ist die eingeschränkte Sicht auf die Schweißstelle. An speziellen Gefährdungen bezüglich der Umweltfreundlichkeit sind die höhere Leerlaufspannung, die intensivere Strahlungsintensität des Plasmabogens und die starke Geräusentwicklung zu erwähnen.²⁶

Anwendungen: Eingesetzt wird WP - Schweißen dort, wo meist hochlegierte oder Nichteisenmetalle bearbeitet werden. Dies erfolgt überwiegend im chemischen Apparatebau sowie in Luft- und Raufahrttechnik.²⁷

4.3.2 Schweißen mit Strahlen

Beim Strahlschweißen wird eine gebündelte und energiereiche Strahlung zum Erhitzen und Schmelzen des Werkstückmaterials verwendet. Nach dem Schmelzprozess erstarrt der Werkstoff wieder und es entsteht eine Schweißnaht. Die Verfahren können in der freien Atmosphäre, unter Vakuum oder auch Schutzgas und ohne Zusatzwerkstoff eingesetzt werden. Je nach Art des Strahls unterscheidet man zwischen dem Laserstrahlschweißen, dem

²⁵ Vgl.: [Matthes / Schneider], S.155.

Vgl.: [Decker], S.93.

²⁶ Vgl.: [Heubner / Klöwer], S.85.

Vgl.: [Matthes / Richter], S.238-239.

²⁷ Vgl.: [Matthes / Richter], S.240.

Elektronenstrahlschweißen und dem Lichtstrahlschweißen (nicht essentiell, da die wichtigsten Anwendungszweige hauptsächlich beim Kunststoffschweißen liegen).

4.3.2.1 Laserstrahlschweißen (LA)

Das LASER steht für **L**ight **A**mplification by **S**timulated **E**mission of **R**adiation was so viel bedeutet wie Verstärkung von Licht durch stimulierte Emission. **Funktionsprinzip:** Das besagte Laserlicht ist kohärent und stimmt in der Frequenz, Richtung und Phase überein. Somit wird beim Laserschweißen die erforderliche Prozesswärme durch einen auf die Schweißstelle mithilfe einer optischen Anordnung fokussierten Laserstrahls (bis \varnothing 0,1 mm) erzeugt. Anbei schirmt ein Schutzgas (Helium, Stickstoff, Argon oder CO₂ und Gemische) die Schweißnaht vor den atmosphärischen Einflüssen ab und schützt diese somit vor Oxidation. Der Laserstrahlschweißprozess kann dabei als das „**Wärmeleitungsschweißen**“ oder als das „**Tiefschweißen**“ durchgeführt werden.

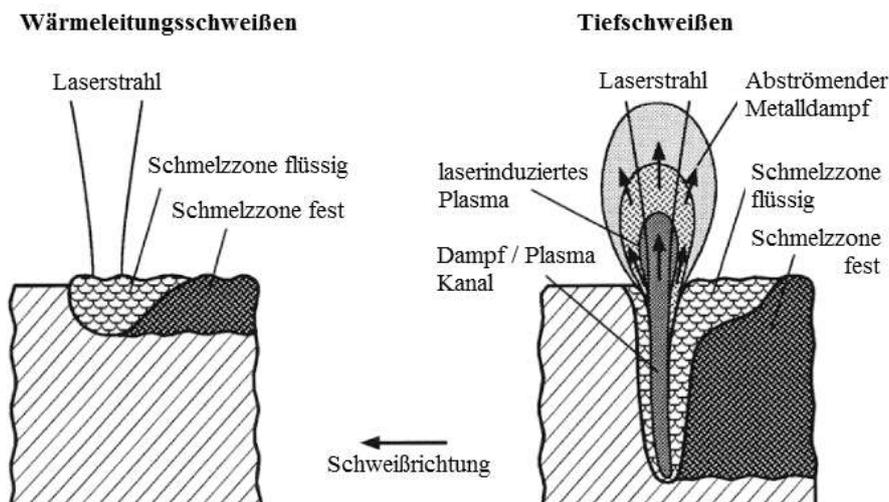


Abb. 12: Prinzipien des Laserstrahlschweißens (Quelle: /2,S.5/)

Beim *Wärmeleitungsschweißen* schmilzt der Laserstrahl (Intensität liegt unterhalb der kritischen Grenze von ca. 10^6 W/cm²) die zu verbindenden Werkstücke entlang der Fügeflanken auf. Das flüssige Material läuft ineinander über und es bildet sich eine flache Schweißnaht (kein Tiefschweißeffekt). Beim *Tiefschweißen* hingegen liegt die Intensität des Laserstrahls über der kritischen Grenze von 10^6 W/cm². In diesem Fall wird der Werkstoff aufgeschmolzen und zum Teil verdampft. Zeitgleich strömt der Dampf ab und übt zeitgleich Druck auf die Schmelze aus, wodurch diese zum Teil verdrängt wird. Das Werkstück schmilzt noch weiter auf und es kommt zur Bildung von mit Metallschmelze umschlossenen Dampfkapillare. Diese ist von der Position des Laserstrahls abhängig und wandert mit ihm durch das Werkstück mit, wenn dieser über die Schweißstelle bewegt wird. Die

Metallschmelze umfließt die Dampfkapillare und erstarrt an der Rückseite. Auf diese Weise bildet sich eine schmale, tiefe Schweißnaht mit gleichmäßigem Gefüge.²⁸

Vorteile / Nachteile: In einer Gegenüberstellung mit den konventionellen Schweißverfahren überzeugt das Laserstrahlschweißen mit einer konzentrierten, lokalen Energieeinbringung bei gleichzeitig hohen Prozessgeschwindigkeiten und zeitgleich sehr geringen Streckenenergien. Hierbei werden Werkstücke artgleicher oder unterschiedlicher Werkstoffe bei geringfügiger thermischer Belastung des Werkstücks, ohne Zusatzwerkstoff und ohne spezielle Nahtvorbereitung stoffschlüssig verbunden. Zusätzlich entstehen in Folge eines mäßigen Wärmeeinflusses qualitativ sehr hochwertige Nähte mit einer schmalen Wärmeeinflusszone. Des Weiteren überzeugt das Verfahren mit einem geringen Verzug der Fügepartner und begründet mit der Gegebenheit Schweißungen an schwer zugänglichen Stellen des Werkstücks ausführen zu können, sein vielseitiges 3D - Potential in Hinsicht auf die Schweißpositionen. Auch von Vorteil sind ein hoher Automatisierungsgrad, die hohe Steifigkeit der durchgehenden Schweißnähte sowie eine gute, einseitige Zugänglichkeit des Laserstrahls. Weiterhin positiv ist die geringe Spritzerbildung und die daraus resultierende, gute Nahtoberfläche, welche die Zeiten für die Nacharbeit der Teile deutlich kürzer ausfallen lässt und somit einen Zeitgewinn in der Produktion ermöglicht.

Unvorteilhaft ist je nach Ausführung die Anschaffung und Wartung der Schweißanlagen, die mit einem kostenintensiven Aufwand verbunden ist. Weiterhin nachteilig sind die geforderten engen Toleranzen der zulässigen Spaltbreiten. Diese sind einzuhalten, sonst besteht die Gefahr, dass große Abstände nicht überbrückt werden. Folgende Problematik lässt sich jedoch durch den Einsatz eines Zusatzwerkstoffes oder durch eine mögliche Kombination des Laserstrahls mit Lichtbögen konventioneller Schweißtechniken (z.B. MSG - Lichtbogen → Laser - MSG - Hybrid - Schweißen) beseitigen. Potenzielle Gefahren für den Menschen treten sowohl in Form von direkter Strahlung aber auch als Reflexionen und Streuungen an optischen Komponenten der Strahlführung oder am Werkstück auf. Hierzu werden die geforderten Sicherheitsmaßnahmen nach der Schwere der Schädigung in der DIN EN 60825 - 1:2001 - 11 in vier Schutzklassen zusammengeführt.²⁹

Anwendungen: Die wesentlichen industriellen Anwendungsbereiche von Laserschweißanlagen umfasst die Automobilindustrie, der Anlagen- und Behälterbau sowie der Stahl- und Schiffsbau. Auch im medizinischen und medizintechnischen Raum werden ausweitend Laserschweißanlagen eingesetzt.³⁰

²⁸ Vgl.: [Schuler], S.10.

Vgl.: [Bayer], S.5-15.

²⁹ Vgl.: [Rick], S.16.

Vgl.: [Fahrenwaldt / Schuler], S.84-86.

³⁰ Vgl.: [Matthes / Richter], S.397.

Vgl.: [Matthes / Schneider], S.421.

4.3.2.2 Elektronenstrahlschweißen (EB)

Verfahrensprinzip: Die zum Schmelzen notwendige Wärme entsteht aus der umgewandelten Bewegungsenergie eines Elektronenstrahls. Hier werden unter Vakuum (ca. $5 \cdot 10^{-5}$ Pa) fokussierte Elektronen auf eine vorbereitete Schweißstelle mit $2/3$ der Lichtgeschwindigkeit mithilfe eines Strahlerzeugungssystems beschleunigt. Die Oberfläche des Werkstücks bremst den auf $\varnothing 0,1 - 0,2$ mm gebündelten Elektronenstrahl so ab, dass seine Energie in Wärme und Bremsstrahlung umgesetzt wird. Aufgrund der hohen Energiedichte schmilzt das Material und verdampft zuerst. Hinter dem Strahl kondensiert der Werkstoff wieder und erstarrt anschließend, was zu einer Verschweißung der Stoßkanten führt (Abb.13).³¹

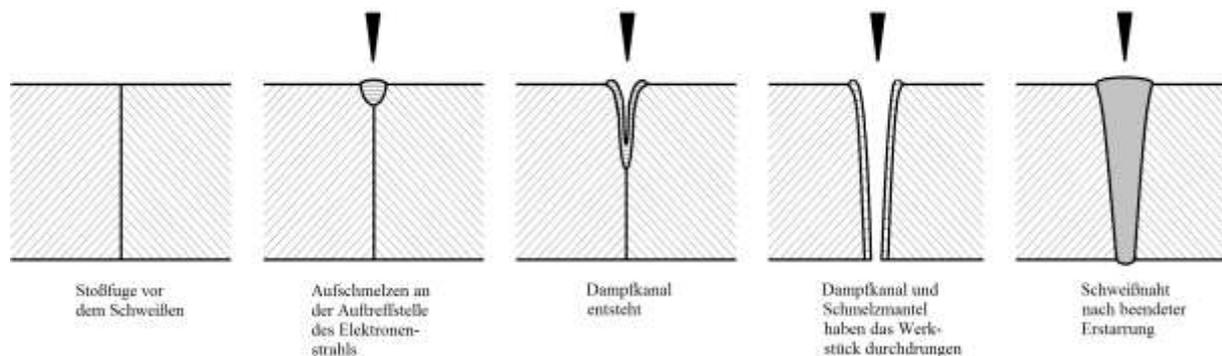


Abb. 13: Bildungsmechanismus des Dampfkanals (Quelle: /38,S.371/)

Vorteile / Nachteile: Ähnlich wie beim Laserschweißen werden Elektronenstrahl - Schweißverfahren hauptsächlich als vollautomatisierte Prozesse angewendet. Das führt zu einer hohen Reproduzierbarkeit und einer qualitativ, hochwertigen Schweißverbindung. Die hohen Schweißleistungen und die hohe Geschwindigkeit des Verfahrens bewirken eine geringe Wärmeeinbringung wodurch verhältnismäßig kleine Eigenspannungen und ein geringer Verzug in den Schweißteilen hervorgerufen werden. Unter der Ausnutzung des Tiefschweißeffekts (Abb.12) und der Möglichkeit einer genauen Energieregulierung wird ermöglicht nahezu alle metallischen, leitenden Werkstoffe (besonders gut geeignet für hochschmelzende bzw. gasempfindliche Metalle und Legierungen) stoffschlüssig fügen zu können. Anbei schützt die Vakuumkammer die Bauteile vor den Einflüssen der Atmosphäre und des Schutzgases. In Hinsicht auf eine mögliche Gefährdung in Form von frei werdender Röntgenstrahlung werden die entsprechenden Anlagenbestandteile mit einem strahlungsresistenten Bleimantel ausgestattet. Unvorteilhaft, wie schon beim Laserschweißen, sind die hohen Anschaffungs- und Wartungskosten. Hinzu kommt die Einschränkung in Bezug auf die Bauteilabmessungen, die von der Größe der erforderlichen und aufwendigen Vakuumkammer abhängig gemacht werden. Weiterhin ist darauf zu achten, dass die Teile vor dem Schweißen eben, sauber und frei von Rückständen gehalten werden. Aus diesem Grund sind die zu verschweißenden Flächen und die Auftrefffläche für den Elektronenstrahl vor dem

³¹ Vgl.: [Schuler], S.9.
Vgl.: [Lehner], S.63.

Fügen zu reinigen. Wie beim LA - Schweißen dürfen auch hier die Anhaltswerte für eine zulässige Spaltbreite von I - Längsnähten nicht überschritten werden, wodurch hohe Genauigkeitsanforderungen an die jeweiligen Vorrichtungen gefordert werden.³²

Anwendungen: Aus der Notwendigkeit des Schweißens in einer Vakuumkammer hat sich das Verfahren besonders bei Schweißungen von kleinen und hoch beanspruchten, kostenintensiven Teilen bewährt. Aus diesem Grund bilden die Luft- und Raumfahrtindustrie sowie die Energie- und Nukleartechnik die Hauptanwendungsgebiete dieser Methode. Weiterhin erfolgt ein Schweißereinsatz in der Massenfertigung von anspruchsvollen Teilen des Automobil- und Maschinenbaus sowie in weiteren industriellen Einsatzzweigen wie: im Werkzeug- und Strömungsmaschinenbau, in der Armaturenfertigung, im Werkzeugbau, in der Elektrotechnik und Elektronik, in der Gerätetechnik usw.³³

4.3.3 Schweißen mit Widerstandserwärmung

Es sind Schweißverfahren bei den elektrisch leitfähige Werkstoffe infolge eines Stromflusses (AC / DC) durch die Verbindungsstelle gefügt werden. Gegenwärtig werden auf Basis des Jouleschen Gesetzes (Formel 1) die Stoßflächen der Fügeflanken und verwendete Zusatzwerkstoffe aufgeschmolzen und verflüssigt.

$$Q = I^2 \cdot R_1 \cdot t \quad (1)$$

Q...Wärme in [J]; **I**...Stromstärke in [A]; **R₁**...Elektrischer Widerstand der Verbindungsstelle in [Ω]; **t**...Schweißzeit in [s]

Nach der Beendigung des Stromflusses entsteht nach der erneuten Erstarrung der Schmelze eine Schweißverbindung. Im Gegensatz zu den meisten Widerstandsschweißverfahren erfolgt Widerstandsschmelzschweißen berührungslos. Die Verfahrensvarianten stellen das Elektroschlackenschweißen und Kammerschweißen dar. Da das Kammerschweißen generell selten angewendet wird, wird bei folgender Betrachtung nur das Elektroschlackeschweißen behandelt.

4.3.3.1 Elektroschlackeschweißen (RES)

Verfahrensprinzip: Als Schweißquelle dient bei folgender Variante die Widerstandswärme eines flüssigen und elektrisch leitenden Schlackenbades (20 - 25 mm hoch). Zu Beginn wird infolge eines Kurzschlusses zwischen der Elektrode und des Grundwerkstoffes ein

³² Vgl.: [Moeller], S.161.

Vgl.: [Ehrlenspiel / Kiewert], S.275.

³³ Vgl.: [Heubner / Klöwer], S.380.

Vgl.: [Ehrlenspiel / Kiewert], S.275.

Lichtbogen gezündet. Durch die hohe Lichtbogentemperatur schmilzt das Schlackepulver und bildet ein Schlackenbad, welches den Lichtbogen wieder zum Erlöschen bringt und zeitgleich den Stromfluss zwischen der Elektrode und dem Grundwerkstoff übernimmt. Somit entsteht zwischen den zu verbindenden Blechen, ähnlich wie beim UP - Schweißen, ein von der flüssigen Schlacke verdecktes Schmelzbad. Das elektrisch leitfähige Schmelzbad verfügt über einen sehr großen Widerstand, der vom Strom zuerst überwunden werden muss. Durch den Stromdurchgang entsteht Wärmeleistung, welche die Materialien verschmelzen lässt. Die Schweißstelle ist zur Führung und Kühlung des Schmelzbades durch wassergekühlte Kupferbacken (Gleitschuh) eingeformt. Den Schweißzusatz bildet eine Band- bzw. Drahtelektrode, die dem Schlackenbad kontinuierlich zugeführt wird.³⁴

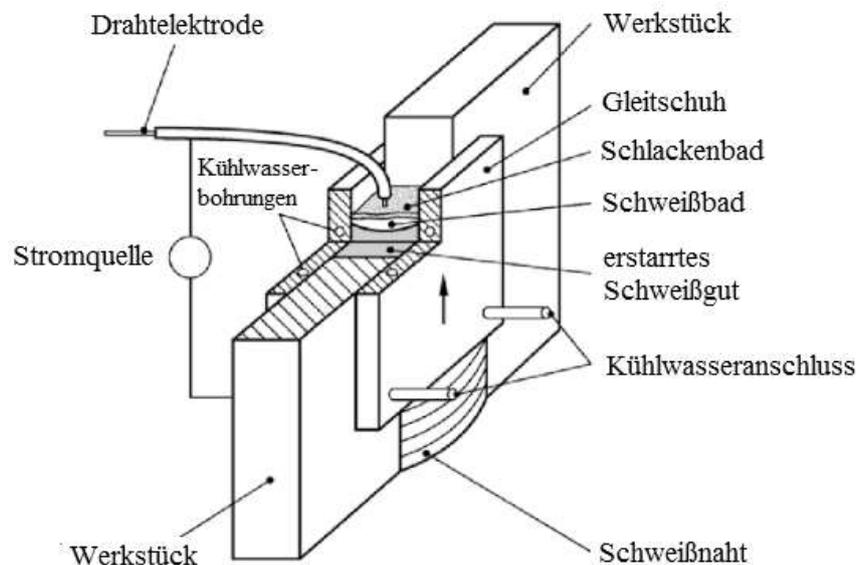


Abb. 14: Verfahrensprinzip des RES - Verfahrens mit nicht abschmelzender Drahtzuführung (Quelle: /15,S.211/)

Vorteile / Nachteile: Das RES ist ein sicherer und sauberer Schweißprozess, der wie bereits erläutert, lichtbogenfrei arbeitet, da das Schmelzbad abgeschirmt wird. Wie beim UP - Schweißen verhindert die flüssige Schlacke, dass weder Strahlung, Geräusche noch Rauch oder Gase in nennenswerter Menge emittiert werden. Meistens als vollmechanisierter Prozess mit niedriger Anlagenkomplexität überzeugt das Verfahren mit hoher Abschmelzleistung und Möglichkeit des Schweißens großer Werkstückdicken unter einfacher I - Naht - Vorbereitung. Hierbei lassen sich Nahtquerschnitte bereits mit einem Durchgang ausfüllen, wodurch die geforderte chemische Zusammensetzung oder der gewünschte Härtewert der Bauteiloberfläche häufig schon mit der ersten Lage erreicht wird. Anbei führt ein langsames Aufwärmen und Abkühlen der Schweißzone dazu, dass kaum Fehler im Gefüge (Aufhärtung, Risse und Poren) hervorgerufen werden. Weiterhin kann durch die Verwendung von

³⁴ Vgl.: [Decker], S.92.
 Vgl.: [Fahrenwaldt], S.77.
 Vgl.: [Fritz / Schulze], S.212.
 Vgl.: [Ruge], S.79.

Fülldrahtelektroden auf Wärmebehandlung verzichtet und somit an der Nacharbeitszeit gespart werden.

Als negativ erweist sich beim Elektroschlackeschweißen die Werkstückvorbereitung. Denn zu einem sind die Schweißteile exakt zueinander auszurichten und zum anderen muss ein Schweißspalt von etwa 30 mm eingehalten werden. Weiterhin nachteilig sind die geringen Schweißgeschwindigkeiten, lange Abkühlphase der Schlacke sowie die eingeschränkte Gegebenheit bezüglich der Schweißpositionen (vorwiegend in senkrechter Position). Hinzu kommt, dass jede Unterbrechung des Schweißvorganges Fehlstellen herbeiführt, die nur unter großen Schwierigkeiten beseitigt werden können.³⁵

Anwendungen:

Das RES wird überwiegend zum Schweißen von unlegierten und niedrig legierten Stählen eingesetzt. Die wichtigsten Einsatzbereiche bilden an dieser Stelle der Schwer- und Großmaschinenbau, der Brücken- und Stahlbau sowie der Apparate- und Behälterbau.³⁶

³⁵ Vgl.: [Matthes / Richter], S.302-304.
Vgl.: [Matthes / Schneider], S.391.
Vgl.: [Meins], S.222.
Vgl.: [Fahrenwaldt / Schuler], S.88-89.

³⁶ Vgl.: [Matthes / Schneider], S.391.

4.3.4 Komponenten, Zusatzwerkstoffe, Verfahrensvarianten

Verfahren	UP - Schweißen	MIG - / MAG - Schweißen	WIG - / WP - Schweißen	LA - Schweißen	EB - Schweißen	RES - Schweißen
Anlagenkomponenten:	Stromquelle (AC oder DC), Schweißgeräteträger, Stromkontaktierung, Draht-/Bandrichtwerk, Draht-/Bandvorschubrollen, Pulverzufuhr, Anzeigeräte, Draht-/Bandhaspel,	Stromquelle (DC), Drahtvorschubgerät, Steuergerät, Schlauchpaket, Brenner, Druckminderer und Druckflussmesser	Stromquellen, Schweiß- / Plasmabrenner, Schlauchpaket, Steuergerät, Zündhilfen, Kraterfüllenrichtung	Laserstrahlquelle (Nd:YAG-Festkörper, CO ₂ , Dioden-, Excimerlaser), Gasversorgung, Kühlung, Strahlführung, Strahlformung/Fokussierung, Werkzeilkhandhabung, Steuerung, Sicherheitskabine, Absaugung	Elektronenstrahlkanone mit Hochspannungsquelle, Arbeitskammer, Bewegungseinrichtungen, Vakuumpumpstand, Steuerschrank, Bedienpult	Stromquelle (AC oder DC), Schweißkopfförderung, Wassergekühlte Gleitschuh-, rüsselförmige Drahtführungssysteme,
Zusatzwerkstoffe und Hilfsstoffe:	Elektroden (Drahtelektroden / Bandlektroden), Schweißpulver (DIN EN 760)	Elektroden (abschmelzend -> artgleich zudem zu schweißenden Material / nicht abschmelzend -> Wolfram), Schutzgase (inerte / aktiv)	Schweißdrähte, -stäbe, Schweißpulver, Schutzgase (Argon, Helium, Gemische der beiden)	Prozess- und Schutzgase je nach Schweißaufgabe Schweißzusatz in Draht- oder Pulverform (ebanfalls Aufgabenabhängig)	keine	Drahtelektroden (DIN EN 756)
Verfahrensvarianten:	Kaltdrahtschweißen, Heißdrahtschweißen, Paralleldrahtschweißen, Tandemschweißen, Schweißen mit Metallpulverzugabe (in die Fuge / an die Elektrode), Mehrdrahtschweißen in Tandemstellung (mit 2 Drähten / mit 3 bis 6 Drähten), Bandschweißen, Engspaltschweißen	CO ₂ - Hochstromschweißen, MIG-Dickdrahtschweißen, MAG-Schweißen mit Fülldrahtelektroden, MAG-Punktschweißen, MSG-Engspaltschweißen, Elektrogasschweißen, Plasma-Metal-Schutzgasschweißen	WIG-Impulsschweißen, WIG-Punktschweißen, Plasmastrahlschweißen, Plasmalichtbogenschweißen, Plasmastrahl- Plasmalichtbogenschweißen, Mikroplasmenschweißen, Plasma-Dickblechschweißen, Auftragschweißen, Plasma-MIG-Schweißen	Wärmeleitungsschweißen, Tiefschweißen, Schweißen mit Zusatzwerkstoffen	Wärmeleitungsschweißen, Tiefschweißen, Schweißen mit Zusatzwerkstoffen	Elektroschlackeschweißen mit abschmelzender Drahtführung, Elektroschlacke-Auftragschweißen,

Tab. 8: Anlagenkomponenten, Schweißzusätze, Verfahrensvarianten (Quelle: /13, S.43,56,71,75,78,88/ ,/38, S.133,138,144,179,193,206,235/ ,/36, S.243,391,399,421/ ,/1,S.3./)

5 Automatisierungstechnologien

5.1 Mechanisierungsgrad

Gleichbleibend hohe Qualität, steigende Lohnkosten sowie ein zunehmender Mangel an qualifizierten Schweißfachkräften sind die essentiellen Entscheidungskriterien für einen möglichen Einsatz von teilmechanischen bzw. vollmechanischen Schweißeinrichtungen. An dieser Stelle lassen sich bestimmte Wechselwirkungen wie in Abbildung 15 dargestellt definieren. Für eine bestmögliche Umsetzung komplexer, reproduzierbarer Schweißaufgaben, werden daher unter Einhaltung jener Beziehungen Anlagen mit hohen Mechanisierungsgraden und aufwendigen Hilfsvorrichtungen auf der Werkstückseite benötigt. Etwaige Mechanisierungsklassen

lassen sich bei konventionellen Prozessen, wie dem Schweißen mit einem Lichtbogen nach der Art der Brennerführung, der Zusatzwerkstoffzufuhr und der Ablaufart (z.B. Werkstück → Schweißstelle) auf folgende Weise beschreiben: **Manuelles Schweißen (m)** stellt einen Vorgang dar, bei dem die Brennerführung bzw. die des Lichtbogens, die Zuführung des Zusatzwerkstoffes und die Werkstückbewegung von Hand durchgeführt werden (z.B. Lichtbogenhandschweißen, Kohlelichtbogenschweißen, WIG - bzw. TIG - Schweißen, Mikroplasma - schweißen). Beim **teilmechanischem Schweißen (t)** werden der Lichtbogen und das Werkstück manuell bewegt, die Zuführung des Zusatzwerkstoffes erfolgt jedoch mechanisch (z.B. WIG - Schweißen, MSG - Schweißen (MAGC, MAGM, MIG), Fülldrahtschweißen mit Schutzgas oder selbstschützend, UP - Schweißen (Fülldraht, Massivdraht)). Der **vollmechanische Schweißvorgang (v)** wird durch eine mechanisierte Relativbewegung des Lichtbogens, eine ebenfalls mechanisierte Zufuhr des Schweißzusatzes und eine manuelle Werkstückhandhabung charakterisiert (z.B. WIG - Schweißen, Mikroplasma - schweißen, MSG - Schweißen, UP - Schweißen). Beim **automatischen Schweißen (a)** finden alle drei Bewegungsvorgänge automatisch (z.B. siehe vollmechanisches Schweißen) statt. Ergänzend dazu verfügen die strahlschweißenden (Laserstrahlschweißen, Elektronenstrahlschweißen) und die widerstandsschmelzschweißenden Verfahren über

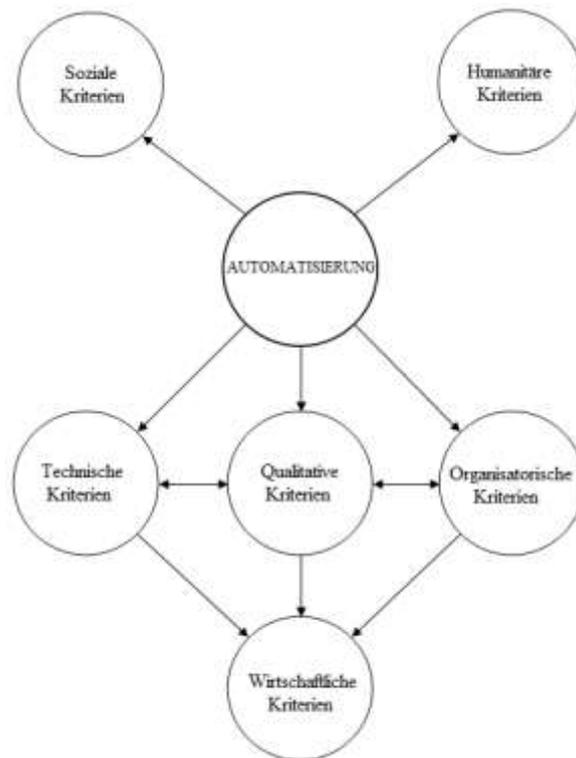


Abb. 15: Zusammenhänge einer Automatisierung
(Quelle: /7,S.142/)

Mechanisierungsgrade, welche ausschließlich in die Kategorie der vollmechanischen bzw. automatischen Vorgänge eingeteilt werden.³⁷

5.2 Hilfsmittel zur Mechanisierung

Für die Erhöhung des Mechanisierungsgrades einzelner Fügeverfahren werden spezielle Vorrichtungen und unterstützende Technologien eingesetzt, welche den Schweißprozess zum einen erleichtern und zum anderen an innovative Automatisierungslösungen heranführen sollen. Hierzu werden zur Erweiterung der Einsatzmöglichkeiten die grundlegenden Anlagenkomponenten der zur Mechanisierung geeigneter Schweißverfahren (Tab.8) meistens mit folgenden Hilfskomponenten ausgerüstet:

- Werkstückpositioniereinrichtungen (Dreh- und Wendevorrichtungen)
- Bauteilfixiervorrichtungen (Spannvorrichtungen)
- Automatenträger
- Schweißroboter
- Bewegungssysteme zum Laserstrahlschweißen
- Sensortechnik
- Schutzvorrichtungen

5.2.1 Werkstückpositioniereinrichtungen

Die Werkstückbewegung in einer zum Schweißen optimalen Lage erfolgt in der Regel mit Hilfe der sogenannten Werkstückpositioniereinrichtungen. Sie bewirken eine Erhöhung der Schweißgeschwindigkeit, Minimierung der Schweißgutmengen gegenüber dem Schweißen in Zwangslagen und sorgen zeitgleich für einen reduzierten Teileverzug. Diese Hilfsvorrichtungen gehören zur Standardausrüstung aller teil- und vollmechanischer Schweißanlagen und werden je nach Anwendungsfall in ihrer Bauart, Größe und der Vielfalt an möglichen Richtungen der Werkstückbewegung unterschieden. Im allgemeinen verfügen sie über eine oder mehrere Dreh- und Kippachsen, welche mit Hilfe entsprechender Programme kombiniert oder einzeln angesteuert werden können, wodurch eine sehr gute Erreichbarkeit der zu schweißenden Teile in einer bestmöglichen Schweißlage erzielt wird. Hierbei können entweder nur bestimmte, definierte Positionen angefahren werden oder zum Beispiel durch Robotersteuerungen Bewegungen parallel mit roboterinternen Achsen ausgeführt werden. Zu den Hauptvertretern gehören **Drehkipptische** (Abb.16). Diese bestehen in der Regel aus einer Drehachse mit horizontal angeordneter Tischplatte (Planscheibe), die an einer Kippachse montiert wird. Die Kippachse verändert dabei die Position der drehbaren

³⁷ Vgl.: [Dilthey_7], S.142.
Vgl.: [DVS_9], S.19.
Vgl.: [Dilthey_8], S.277.

(360°) Planscheibe von horizontaler in vertikale Lage in den Winkeln von / bis max. 135° und bringt somit komplexe Werkstücke in optimale Schweißpositionen. Derartige Positionierer können für Werkstücke von einigen Kilogramm bis hin zu mehreren hundert Tonnen Stückgewicht ausgelegt werden.

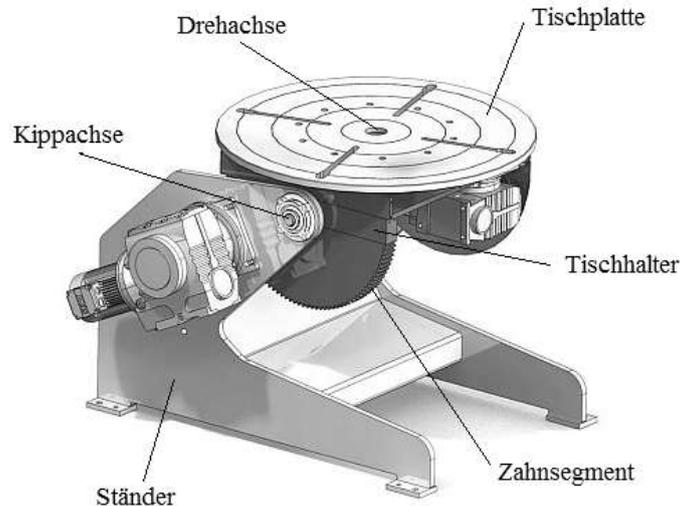


Abb. 16: Drehkipptisch D653 von Merkle (Quelle: /112/)

Weitere Möglichkeiten zur Positionierung eines Werkstückes stellen die **Einrichtungen in Orbitalbauweise** (Abb.17) dar. Es sind weiterentwickelte Drehkipptische mit einem Ständer und einer horizontal liegenden Kippachse, an der ein Tischhalter montiert wird. An diesem befindet sich eine vertikale Drehachse mit horizontaler Tischplatte, die zur Aufnahme des Werkstücks dient. Besonders vorteilhaft ist diese Ausführungsvariante in Kombination mit einem Schweißroboter, denn es wird nahegelegt, dass bei einer Rotation des Tisches um die Kippachse der Abstand zwischen dem Bauteil und dem Roboter nicht verändert wird.

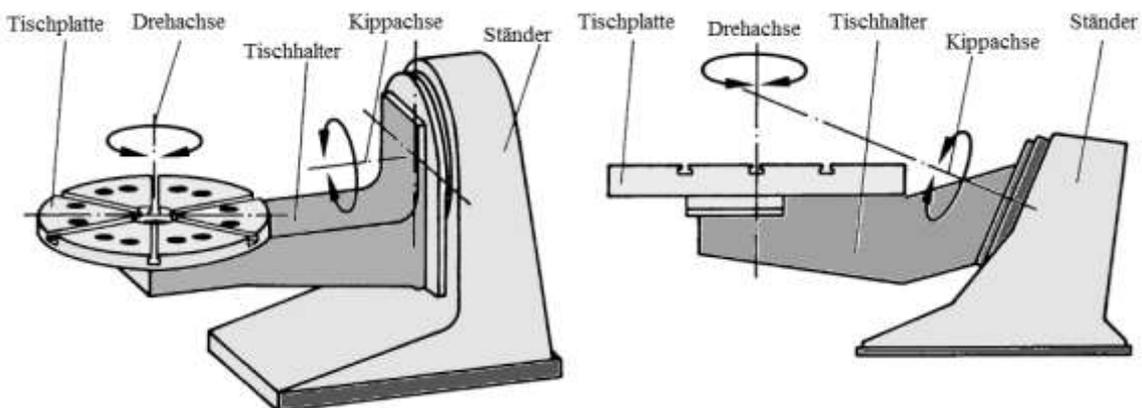


Abb. 17: Einständer- (Links) und Orbital- (Rechts) Drehkipptische (Quelle: /8,S.282/)

Ebenfalls essentiell und oft vertreten sind Werkstückpositionierer mit Gegebenheit zu einer Dreh- / Schwenkbewegung (Abb.18), die sogenannten **Doppelständer - Drehkipptische**. Sie bestehen aus einer horizontal liegenden Schwenkachse, an der ein U - förmiger Tischhalter montiert und meistens durch ein Gegenlager gestützt wird. In der Mitte des U - förmigen Tischhalters befindet sich eine horizontal angeordnete Tischplatte, die über eine vertikale

Drehachse bewegt wird. Diese Vorrichtungsmöglichkeiten werden oft für spezielle und komplexe Bauteilgeometrien, als auch zum Schweißen aller Nähte in den optimalen Lagen, (PA-, PB- Positionen) verwendet. Ähnlich wie die Doppelständer - Drehkipptische bezüglich der Werkstückzugänglichkeit / Schweißlage sind die sogenannten **Spindelreitstock - Drehtische** konzipiert. Diese Positionierer verfügen über zwei vertikal angeordnete Planscheiben (Tischplatten). Zwischen den beiden befinden sich entsprechende Fixiervorrichtungen mit der Aufgabe die meistens schweren und langen Werkstücke so zu fixieren, damit diese optimal positioniert und geschweißt werden.

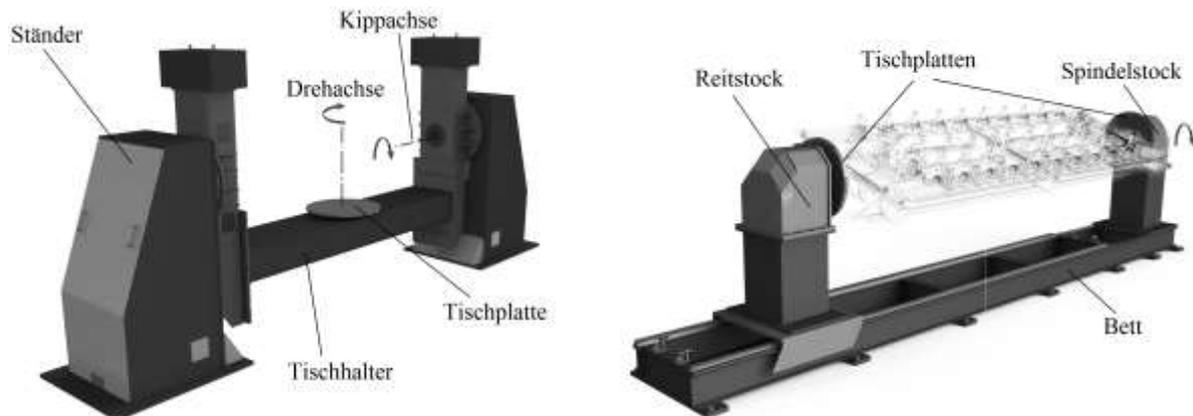


Abb. 18: Doppelständer - Drehkipptisch (Links) / Spindelreitstock - Drehtisch (Rechts) v. ROBITAL (Quelle: /113/)

Ebenso häufig eingesetzt werden drehbare Vorrichtungen (**Rollenblöcke**) zum Beispiel beim Schweißen von Rundnähten. Sie bestehen aus einer Kombination von motorisch verstellbar angeordneten Rollen, deren Stellung je nach Teiledurchmesser sich mühelos verändern lässt (Abb.19).

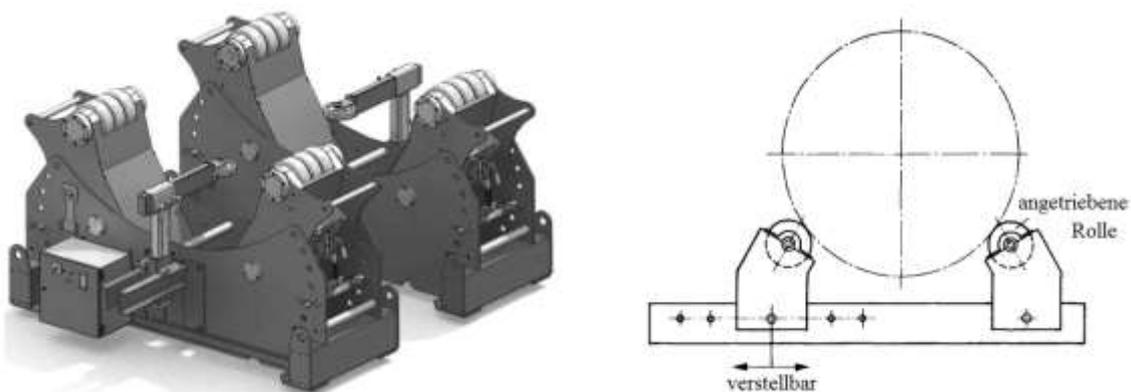


Abb. 19: Rollenblock R1003 von Merkle (Links) und Funktionsprinzip (Rechts) (Quelle: /47,S.306/, /112/)

Die in diesem Kapitel beschriebenen Vorrichtungen stellen die allgemeinen Grundausführungen für die Bewegung und Positionierung eines Werkstückes dar. Zur Erhöhung der Effizienz des Schweißvorganges, für eine verbesserte Erreichbarkeit von Schweißnähten und einer Erweiterung von Einsatzmöglichkeiten lassen sich diese zusätzlich miteinander kombinieren bzw. durch andere Technologien (weitere Dreh- / Kippachsen, zusätzliche Tischplatten /

Planscheiben) modifizieren, um nahezu alle Schweißaufgaben bestmöglich realisieren zu können.³⁸

5.2.2 Bauteilfixiervorrichtungen

Weitere Hilfsmittel für eine wirtschaftliche Fertigung und Optimierung von Schweißprozessen sind Bauteilfixiervorrichtungen / Spannvorrichtungen. Sie werden meist auf den Werkstückpositioniereinrichtungen angebracht (Aufnahme erfolgt mittels: Vorrichtungsfüße, Nutensteine, Anlageleisten, Befestigungsschrauben, Aufnahmekegel, Aufnahmebolzen etc.) und ermöglichen, dass die einzelnen Füge­teile in einer definierten Orientierung und Position unter Beteiligung von Kraftschluss zum Heften oder zum Zusammenschweißen fixiert werden. Hierbei müssen sie, ohne das Werkstück aus den zulässigen Bearbeitungsgrenzen verdrängen zu müssen, einen sicheren Halt der Schweißteile gewährleisten, hohe Schrumpfkraft aufnehmen, als auch Formveränderungen wie Verzug und Schrumpfungen der Baugruppen oder des Werkstückes verhindern bzw. reduzieren. Die Spannvorrichtungen werden nach mechanischen, pneumatischen, magnetischen, elektrostatischen und adhäsiven Prinzipien ausgeführt, wenngleich die mechanischen Spann­möglichkeiten jene sind, die am häufigsten verwendet werden. Durch den erforderlichen Einsatz von Fixiervorrichtungen ergeben sich einige positive aber auch negative Kriterien. Vorteilhaft kann die Einsparung von Arbeitsgängen durch den Wegfall wiederholender Einrichtevorgänge aufgeführt werden. Weiterhin kann durch Anwendung von sicheren und genauen Vorrichtungen weniger Fachpersonal in Anspruch genommen werden. Die Nebenzeiten sowie die Werkstückwechselzeiten lassen sich senken und zeitgleich eine hohe wiederkehrende Reproduzierbarkeit / Gleichmäßigkeit des Schweißvorganges erzielen. Negativ dagegen ist, dass für komplizierte Teile mit variierenden Abmessungen extra werkstückspezifische Vorrichtungen neu zu entwerfen sind, wodurch die Umsetzung von mechanisierten Fertigungs­serien durch den zusätzlichen Konstruktionsaufwand erschwert wird. Des Weiteren kann eine Überschreitung der Spannkraft sich nachteilig auf die Qualität und die Formgenauigkeit des Werkstückes auswirken. Denn unkontrollierte Abweichungen aus der Sollposition der zuvor fixierten Teile können Fertigungsfehler verursachen.

Bei der Entwicklung einer Fixiervorrichtung werden in der Regel alle essentiellen Einflussfaktoren untersucht und ausgewertet, um das gewisse Hilfsmittel bestmöglich an ihre zukünftigen Spannaufgaben anpassen zu können. Die Tabelle 9 zeigt die typischen, einsatzbestimmenden Faktoren, als Unterstützung für den Entwurf und Konzipierung einer am besten geeigneten Vorrichtungstechnologie. Hierbei unterscheidet man zwischen den **Sondervorrichtungen** welche normalerweise zur Fixierung nur einer Baugruppe / Werkstückes

³⁸ Vgl.: [Dilthey_7], S.145-146, S.149.
Vgl.: [Matthes / Richter], S.133-134.
Vgl.: [Matthes / Schneider], S.244.
Vgl.: [Ruge_47], S.305-306.

mit großen Stückzahlen verwendet werden und den **Baukastenvorrichtungen**, die für Muster-, Klein- / Mittelserien aufgrund ihrer guten Zerlegbarkeit, für mehrere, ähnliche Werkstücke wiederholt genutzt werden.

Eigenschaften	Sondervorrichtungen	Baukastenvorrichtung
Beschaffungszeitraum	langfristig	kurzfristig
Anpassungsfähigkeit	sehr gering	gut möglich
Genauigkeit	sehr hoch möglich	hoch
Steifigkeit	hoch	gering
Einsatzkosten	niedrig	hoch
Serienfertigung	geeignet	weniger geeignet
Wiederverwendbarkeit	kaum möglich	gut, weil zerlegbar

Tab. 9: Gegenüberstellung von Baukasten- und Sondervorrichtung (Quelle: /20,S.4/)

Während die Form einer Sondervorrichtung von den Anforderungen spezifischer Schweißaufgaben geprägt wird, lassen sich Baukastenvorrichtungen aus einer Auswahl an standardisierten Komponenten nach Belieben aufbauen und wieder zerlegen. Hierzu stehen zwei Vorrichtungsvarianten welche in **Nutssysteme** und **Bohrungssysteme** eingeteilt werden. **Nutsystem** steht für eine Ausführung bei der die steckbaren Einzelteile (als H7 / h6 Passung) durch Einfach- oder Kreuzpassnuten (T - Nuten) zur einer gewünschten Vorrichtung zusammengesteckt werden (Abb.20). Jene Systeme beinhalten in nahezu allen Fällen eine Grundplatte, Spannwinkel zur Befestigung in vertikaler Richtung sowie eine bestimmte Anzahl an weiteren spezifischen Bestimm- bzw. Positionierelementen mit diversen Abmessungen und Formen. Zur Erweiterung der Fixieroberfläche besteht die Möglichkeit mit Hilfe von Verbindungsleisten mehrere Grundplatten zur einen Größeren miteinander verbinden zu können. Die Positioniergenauigkeit liegt hierbei bei etwa $\pm 0,02$ mm.

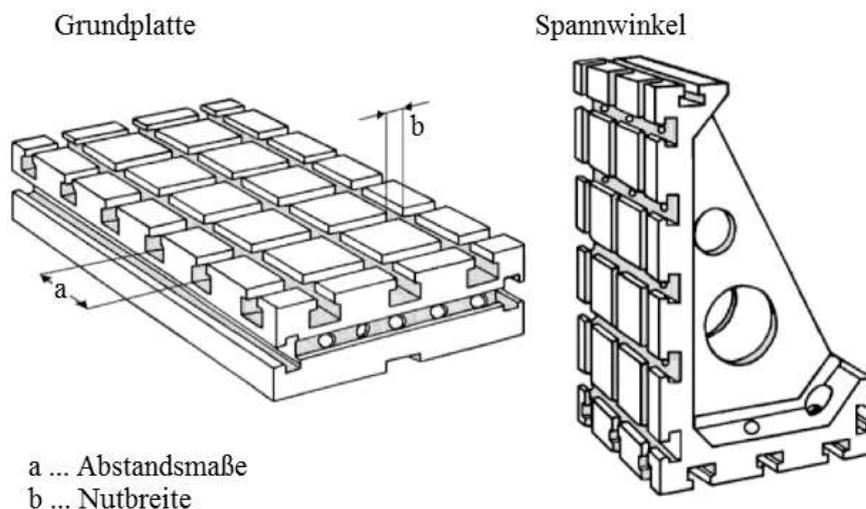


Abb. 20: Grundkörper mit T - Nutsystem (Ausführungsbeispiele) (Quelle: /20,S.75/)

Beim **Bohrungssystem** werden die einzelnen Vorrichtungselemente durch Pass- und Gewindebohrungen befestigt. Diese werden bei einer erzielten Genauigkeit von $\pm 0,01$ mm in einem vom Hersteller vorgegebenen Rasterabstand auf den jeweiligen Vorrichtungselementen angebracht. Anbei werden die Vorrichtungen in Systeme mit Bohrungen ohne Passmaß oder Systeme mit Pass- und Gewindebohrungen eingeteilt (Abb.21). Die Baukastensysteme mit Bohrungen ohne Passmaß erfüllen oft nur beschränkte Genauigkeitsanforderungen und werden daher nur als diverse Schweiß- und Montagevorrichtungen verwendet. Vielseitig einsetzbar, jedoch nicht zum Schweißen oder für andere Verfahren, welche mit hohen Temperaturen arbeiten, sind die Bohrungssysteme mit Pass- und Gewindebohrungen (Lagepositionierung über Passstifte, Lagesicherung über Schrauben). Eine Modifikation davon sind Baukastenvorrichtungssysteme mit Passbohrungen mit koaxialem Gewindegusatz (Passschrauben positionieren und befestigen die Bauelemente zeitgleich). Im Vergleich zu den Nutsystemen sind die Bohrungssysteme weniger flexibel und verfügen aufgrund der abwechselnden Anordnung von Gewinde- und Passbohrungen in der Regel über größere Abmessungen.

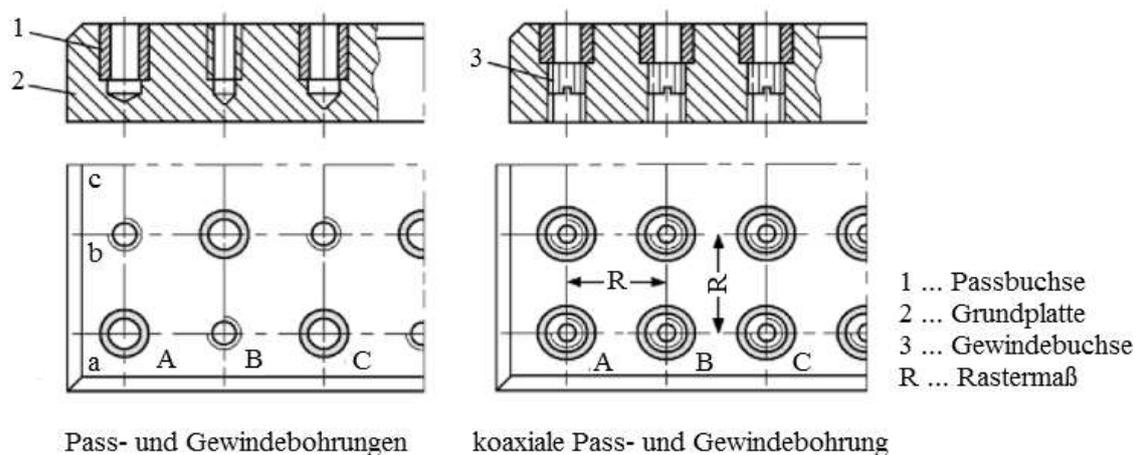


Abb. 21: Grundkörper mit Bohrungssystem (Quelle: /20,S.76/)

Eine weitere Form eines Bohrungssystems stellen Gitterplatten dar. Auf diesen werden meistens kleinere Werkstücke auf einem Bohrungsraster von 10 mm mit Gewindebohrungen von M 2,5 - Gewinde mit Hilfe von Aufsatzteilen, Adaptern, Schwenkarmen, Schraubböcken und Fußelementen maschinenfest fixiert und verarbeitet.

Die beschriebenen Sonder- und Baukastenvorrichtungen lassen sich weiter in Heftvorrichtungen, Schweißvorrichtungen und Heft - Schweiß - Vorrichtungen untergliedern, für jene sich folgende Gestaltungsregeln aufstellen lassen. Im Allgemeinen werden in den Heftvorrichtungen Einzelteile oder Baugruppen positioniert, fixiert und zuerst nur geheftet. Hierbei ist besonders auf Zugänglichkeit der essentiellen Schweißstellen zu achten.

Nach dem Anheften der Fügeile müssen diese weiterhin in der Schweißvorrichtung gespannt bleiben, um mittels Werkstückpositioniereinrichtungen in eine möglichst optimale Schweißlage (Wannenlage) geschwenkt zu werden, damit die Wärmeeinflusszone klein

gehalten wird. An dieser Stelle ist es trotz einer optimalen Schweißlage und somit einer verringerten WEZ zwingend notwendig die beim Schweißprozess gebildete Wärme abzuführen sowie die Entstehung von Wärmestauungen in der Schweißvorrichtung und dem Werkstück zu meiden. Dies gilt besonders beim Schweißen von Eisen mit $< 0,2\%$ C - Gehalt. Somit sind bei unzureichender Luftkühlung Kupferplatten, Kupferschuhe oder wassergekühlte Kupferrohre u.a. einzusetzen. Bei Werkstoffen mit $> 0,2\%$ C - Gehalt müssen die Teile zur Meidung einer Aufhärtung (Martensitgefüge) langsam abgekühlt werden. Dementsprechend werden in die Vorrichtungen Erwärmungseinrichtungen integriert, mit deren Hilfe verzögerte Abkühlungsvorgänge realisiert werden. Ein weiteres Gestaltungsmerkmal erfordert hinreichende Kenntnisse über Schrumpfungen und Schweißspannungen. Hierzu sind die Vorrichtungen so zu konzipieren, dass die Schweißteile verzugsarm schrumpfen können, ohne von diesen behindert zu werden. Weiterhin sind die zu schweißenden Baugruppen so zu konstruieren, dass diese mit sehr wenig an möglichen Nähten ausgeschweißt werden, um die Spannungen, Schrumpfungen und Verwerfungen gering halten zu können. Zurückgreifend auf die benötigten, kleinen Spannkräfte sollen die Schweißvorrichtungen so gestaltet werden, dass man mit einer minimalen Anzahl an Werkstückaufspannungen auskommt, womit auf bestimmte Spann- und Kraftübertragungselemente verzichtet werden soll.

Die erwähnten Spann - und Kraftübertragungselemente gehören zu der Gruppe an Hilfsmitteln, aus denen eine Vorrichtung aufgebaut wird. Somit lassen sich Vorrichtungen in der Regel aus folgenden Bestandteilen erzeugen:

- *Bestimm- und Positionierelemente* (z.B. Auflagen, Druckstücke, Positionierstifte/-bolzen usw.)
- *Spann- und Kraftübertragungselemente* (z.B. Federn, Gewindestifte, Haltemagneten, Klemm- / Spannhebel, Spannhaken / -gelenke, Zugspanner, Spanneisen, Spannunterlagen usw.)
- *Schnellspanner*
- *Auswerfer* (z.B. Säulengestell)
- *Basiselemente und Baugruppen* (z.B. Grundplatte, Aufspannplatte, Führungen, Profile, Gleitlager, Konsolen usw.)
- *Stützelemente* (z.B. Gelenkfuß, Schraubbock, Dämpfer usw.)
- *Indexier-, Verriegelungs- und Verschlüsselemente* (z.B. Arretierbolzen, Riegel, diverse Spanner usw.)
- *Verbindungselemente* (z.B. Bolzen, Kupplungen, Gabelstücke usw.)
- *Bedien- und Schutzelemente* (z.B. Griffe)
- *Sensoren* (z.B. Taster)³⁹

³⁹ Vgl.: [Krahn / Storz], S. 60.

Vgl.: [Hesse / Krahn / Eh], S.2-3, S.92-93, S.105.

Vgl.: [Trummer / Wiebach], S.7, S.169-170.

5.2.3 Automatenträger

Parallel zu den im Kapitel 5.2.1 erläuterten Werkstückpositioniereinrichtungen lässt sich die Bewegung des Schweißkopfes oder eines Schweißgerätes ebenfalls vollmechanisch realisieren. Anbei stellt sich die Frage, ab wann sich ein Bauteil kostengünstiger mit einfachen Automatisierungsvorrichtungen oder einem Industrieroboter schweißen lässt. Ausschlaggebend für die Auswahl eines Verfahrens, als auch einer geeigneten Mechanisierungsmöglichkeit, lassen sich an dieser Stelle die Bauteilabmessungen und die Zugänglichkeit der Teile aufführen. Denn die Zugänglichkeit, welche von der Komplexität des Werkstückes geprägt wird, beeinflusst die Schweißzeiten und damit die Höhe der Kosten. Diese lässt sich durch den Einsatz einfacher Dreh- und Wendevorrichtungen (Umwandlung aus der Zwangslage in Normalposition PA, PB) bei unkomplizierten Bahnverläufen relativ problemlos erreichen. Wonach die Bewegungen des Schweißkopfes über folgende Bewegungssysteme ausgeführt werden könnten.

Die einfachste Möglichkeit zur Mechanisierung einer Schweißbewegung stellt das **Traktorfahrwerk** (Abb.22a) dar. Diese Variante wird vorrangig beim UP - und MAG - Schweißen angewendet. Hierbei läuft das Gerät entweder auf ausgelegten Schienen oder auf dem Werkstück selbst, befördert den Zusatzwerkstoff und führt zeitgleich die Zugabe sowie die Absaugung des Schweißpulvers durch.

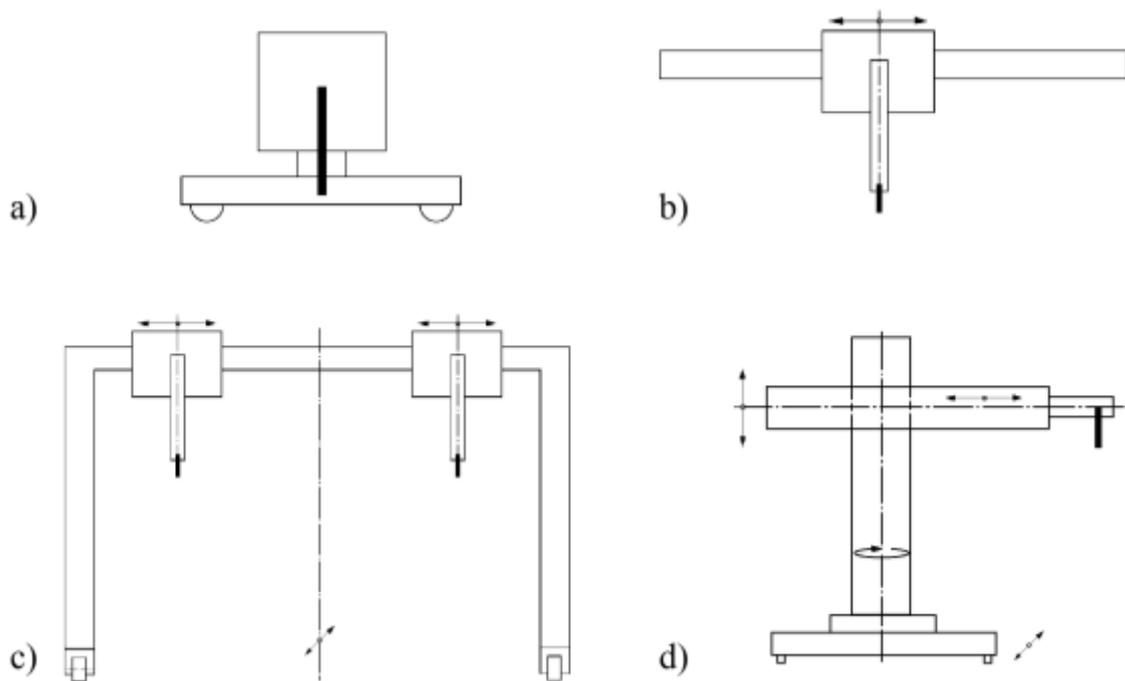


Abb. 22: Mechanisierung der Schweißbewegung (Quelle: /38,S.191/)

Weiterhin für viele Anwendungen geeignet, sind die sogenannten **Balkenfahrwerke** (Abb.22b). Sie bestehen in der Regel aus einem stabilen Gestell, welches über Mehrfachrollen auf Schienen oder Trägern geführt wird. An dem Gestell befindet sich eine

Montagevorrichtung an der je nach Verfahren diverse Schweißköpfe sowie das entsprechende Zubehör befestigt werden. Oft in Kombination mit geeigneten Dreh - Kipp - Vorrichtungen stellen diese Automatenträger eine weitere Lösung zum mechanisieren von Schweißaufgaben dar. Eine ebenfalls äußerst flexible und schnelle Lösung für die Mechanisierung von Läng- als auch Rundschweißungen sind Technologien, welche als Portale ausgeführt werden. Zusammen mit den verfahrensspezifischen Bestandteilen lassen sich diese als komplette und leistungsfähige Schweißstation ausführen. Die *Schweißportale* (Abb.22c) sind für die unterschiedlichsten Werkstücke geeignet, solange diese von den Abmaßen in den Arbeitsbereich des Portals passen. Weiterhin können zur Mechanisierung einer Schweißbewegung *Schweißmasten* (Abb.22d) benutzt werden. Das sind Automatenträger mit fahrbarem Ausleger, an dem der Schweißkopf bzw. der Schweißautomat montiert wird. Hierzu gibt es viele Möglichkeiten, die es erlauben folgende Bewegungseinheiten entsprechend den Einsatzzwecken so auszustatten, dass die Schweißköpfe genauestens positioniert und bewegt werden. Dies führt zu einer optimalen Zugänglichkeit auch bei engen Werkstücken und einer universellen Einsetzbarkeit für verschiedene Schweißaufgaben. Im Zusammenspiel mit Rollenbock - Drehvorrichtungen oder Drehkipptischen können exakte Rundschweißnähte oder Längsnähte innen und außen ausgeführt werden.⁴⁰

5.2.4 Schweißroboter

Zur Steigerung der Produktivität, des Mechanisierungsgrades und Realisierung von sehr komplexen Bahnverläufen, werden Schweißroboter eingesetzt. Das sind freiprogrammierbare, sensorgeführte Handhabungsgeräte mit mindestens drei Achsen, die je nach Ausführung mit entsprechenden Werkzeugen oder Fertigungsmitteln ausgestattet werden. Zusammen mit geeigneten Schweißverfahren und kontinuierlichen Prozessparametern ermöglichen sie flexible Mechanisierungslösungen zum Schweißen mittlerer Seriengrößen, mit sowohl hoher, als auch reproduzierbarer Qualität der Schweißnähte. Hierbei lassen sich oft infolge der erzielten Gleichmäßigkeit der Nähte und der geringeren Menge von Schweißspritzern Nachtarbeiten ausschließen, wonach die durch Nebenzeiten entstehenden Kosten minimiert werden. Ferner ermöglicht das Aufzeichnen und die Überwachung der Prozessparameter beim Roboterschweißen eine einfache Auswertung für die Qualitätssicherung. Darüber hinaus helfen Schweißroboter die Gesundheit der Mitarbeiter zu schonen, in dem die eingeatmete Menge an schädlichem Schweißrauch und giftigem Metaldampf minimiert wird. Zum anderen werden körperliche Belastungen durch die Handhabung schwerer Bauteile und die psychische Belastung bei gleichbleibenden Schweißaufgaben reduziert. Als problematisch für einen Schweißroboter lassen sich die nur zum Teil definierten Bahnverläufe und unvorhersehbaren Lageänderungen der zu schweißenden Teile aufweisen. Denn selbst wenn

⁴⁰ Vgl.: [Dilthey_7], S.148.

Vgl.: [Matthes / Richter], S.191-192.

Schweißbahninformationen dem Roboter zuvor übermittelt wurden, entsteht etwaige Problematik trotzdem, besonders wenn Werkstücke infolge einer Wärmeeinwirkung verzogen werden. Weiterhin als negativ kann die zeitintensive Programmierung eines Schweißroboters aufgeführt werden. Besonders bei Kleinserien mit mehrfach gekrümmten Nahtverläufen erfordert die Programmierung des Roboters einen enormen Zeitaufwand, wobei das manuelle Schweißen im Gegenzug deutlich vorteilhafter wäre. Daher sollte schon in der Planungsphase die technologische Betrachtung in Bezug auf die zu erwartenden Stückzahlen und Qualitätsanforderungen die Grundlage für weitere Entscheidungen sein. Die prinzipielle Auslegung eines Schweißroboters leitet sich in der Regel aus dem jeweiligen Aufgabengebiet ab. Neben den dabei zu berücksichtigenden allgemeinen Auslegungskriterien, wie dem Arbeitsraum, der Tragkraft, der Geschwindigkeit, als auch der Genauigkeit, sind die Kosten zu berücksichtigen, um den Einsatz eines Roboters wirtschaftlich sinnvoll gestalten zu können. Hierzu wird versucht das Zusammenspiel zwischen der Steuerung, der ausführenden Einrichtung (Roboterarm / Manipulator, Bewegungseinheit), dem Schweißkopf und der Schweißroboterperipherie (Werkstückpositionierer) bestmöglich aufeinander abzustimmen.⁴¹

5.2.4.1 Grundaufbau eines Roboters

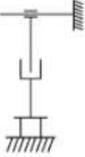
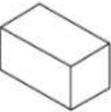
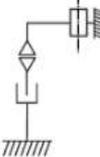
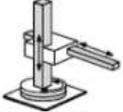
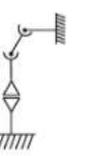
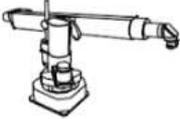
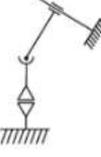
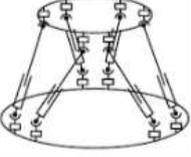
Im allgemeinem setzen sich die Industrieroboter aus den Teilsystemen

- Kinematik
- Antriebe
- Gestell
- Steuerung und Programmiersysteme
- Effektor / Bearbeitungswerkzeug (z.B. diverse Schweißbrenner)
- Sensoren
- Schutzsysteme zusammen.

Die *Kinematik* eines IR hat zum einem die Aufgabe den Effektor in dem Arbeitsbereich geeignet zu führen und zum anderen eine räumliche Anpassung zwischen dem Werkzeug, dem Werkstück und der Fertigungseinrichtung zu schaffen. Die dabei am häufigsten eingesetzte Form eines IR als Schweißroboter beinhaltet 6 Achsen (3 Grundachsen / Hauptachsen und 3 Nebenachsen / Handachsen). Die drei Grund- oder Hauptachsen bilden den Hauptarbeitsbereich und sind für eine optimale Ausrichtung des Bearbeitungswerkzeuges zuständig. Die Nebenachsen oder Handachsen dienen zur Unterstützung dieser und sorgen für eine optimale Orientierung des Effektors zu der Schweißstelle. Hierzu lassen sich durch die Kombinationen der translatorischen und rotatorischen Grundbewegung kinematische

⁴¹ Vgl.: [Gevatter / Grünhaupt], S.778.
Vgl.: [Dilthey_7], S.148.
Vgl.: [Matthes / Richter], S.192.
Vgl.: [DVS_10], S.45.

Ketten zusammensetzen. Die anbei wichtigsten und technisch sinnvollsten Variationsmöglichkeiten lassen sich wie folgt realisieren. (Tab.10)

Robotertyp	Achskonfiguration		Robotertyp	Achskonfiguration	
	Hauptachsen	Arbeitsraum		Hauptachsen	Arbeitsraum
 Kartesischer Roboter			 Horizontaler Knickarmroboter		
 Zylindrischer Roboter			 Vertikaler Knickarmroboter		
 Polarroboter			 Parallelroboter		

Tab. 10: Kinematische Ketten (Quelle:/17,S.744/)

Einen weiteren Bestandteil des Systems stellt das **Gestell** dar. Dieses lässt sich als Fundament zur Aufstellung eines Roboters mit der Aufgabe der Ableitung von Gewichtskräften und Momenten definieren. Für die Bewegung einzelner Glieder, vorab erwähnter, kinematischer Ketten, sind die **Antriebe** (pneumatisch, elektrisch oder hydraulisch) zuständig. Sie bestehen aus einem Motor, einem Getriebe und einer Messeinrichtung. Ihre Aufgaben sind: Die Umwandlung und Übertragung von Bewegungsenergie sowie die Ermittlung von Lage und Geschwindigkeit des Armes. Eine andere Systemkomponente bildet die **Steuerung**. Als Punkt - zu - Punktsteuerung (PTP) oder als Bahnsteuerung (CP) sichert, überwacht und gibt sie die Bewegungen sowie das Verhalten des IR vor, welche zuvor bei der Programmierung mittels Funktionen und Befehlen eingegeben worden sind. Die entsprechenden **Programmiersysteme**, welche oft zusammen mit der Robotermechanik und der Robotersteuerung als Einheit vom Hersteller geliefert werden, dienen an dieser Stelle dem möglichen Zweck die Bewegungsprogramme aufstellen, korrigieren und testen zu lassen. Nach der Programmierung und Übertragung der Befehle, erfolgt die Abarbeitung des Programms in dem ein Effektor gemäß der Aufgabe im Raum über das Werkstück bewegt wird. Die **Effektoren (Schweißbrenner)** sind die sogenannten Bindeglieder zwischen dem Werkstück und dem Roboter, die vom Führungsgetriebe programmabhängig im Arbeitsbereich bewegt werden. Insbesondere die optionalen Werkzeugschnellwechselsysteme mit modulartigem Aufbau lassen sich an dieser Stelle als vorteilhafte Lösungen aufführen (Möglichkeit zum programmgesteuerten Werkzeugwechsel). Über **Sensoren** lässt sich die Führung verschiedener Schweißbrenner, die Regelung der während eines Arbeitsganges sich

ändernder, physikalischer Größen von Schweißungen sowie Kontrolle der Werkstücke, insbesondere in Bezug auf die Nahtqualität, umsetzen. Letztendlich haben diverse **Schutzsysteme** den Zweck den Roboter mit seinem Werkzeug, die Umwelt, den Bediener und die dazugehörigen Anlagenkomponenten vor Schaden zu schützen.⁴²

5.2.4.2 Bauformen

Industrieroboter werden in der Regel für Aufgaben im eingeschränkten Arbeitsbereich eingesetzt. Zur Erweiterung der Einsatzmöglichkeiten eines Roboters werden sie mit anderen Gestelltechnologien zu Maschinenbaugruppen kombiniert. Das soll eine Vergrößerung des Arbeitsbereichs bewirken sowie weitere Vorteile mit Fokus auf bestimmte Schweißaufgaben herbeiführen. Die häufigste Bauform bilden an dieser Stelle die **Portalroboter** (Abb.23).

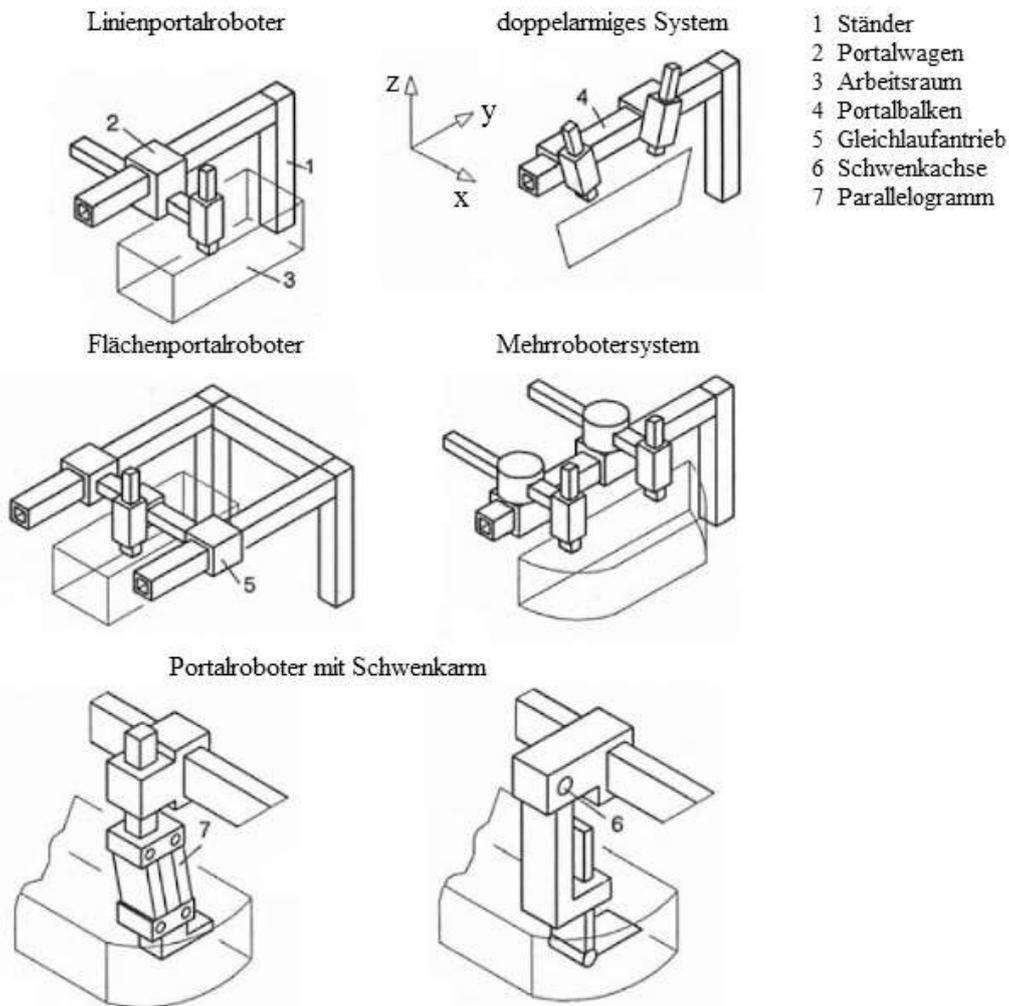


Abb. 23: Bauarten von Portalrobotern (Quelle: /21,S.30/)

⁴² Vgl.: [Gevatter / Grünhaupt], S.743.

Vgl.: [Hesse], S.17-19.

Vgl.: [Weber], S.17, 18, 21.

Vgl.: [Kreuzer / Meißner / Lugtenburg / Truckenbrodt], S.8.

Ähnlich wie bei bestimmten Automateträgern (Abb.22) werden bei diesen Ausführungsformen die Roboter in hängender oder stehender Position auf Linien- oder Flächenportalen bewegt. Die erste oder die ersten beiden Achsen werden dabei meistens als Linearachsen ausgeführt. Die weiteren lassen sich je nach Aufgabe auch als Drehachsen realisieren. Diese Portale sind dabei so konzipiert, dass mehrere Roboterarme gleichzeitig und unabhängig voneinander bewegt werden, um problemlos an mehreren Stellen zu verfahren und somit Schweißarbeiten an großen Werkstücken durchführen zu können.

Ebenso lassen sich Roboteranlagen nach dem **Baukasten**prinzip zusammensetzen, in dem sie mit Hilfe von aufeinander abgestimmten Bausteinen, Baueinheiten oder Modulen aufgebaut werden. Solche Bauformen erlauben mit der Möglichkeit diverse Schweißeinrichtungen so variabel gestalten zu können, dass für spezielle Aufgaben optimal abgestimmte Lösungsmöglichkeiten entwickelt werden.⁴³

5.2.4.3 Robotersteuerung

Als Mittelpunkt eines mechanisierten Industrierobotersystems für bestimmte Schweißaufgaben lässt sich die Steuerung definieren. Sie liefert und verarbeitet Bewegungsinformationen für entsprechende Werkzeuge oder Bewegungsvorrichtungen anhand von Befehlen die dem Programm zuvor übermittelt wurden. Wie bereits erwähnt, lässt sich die Bewegungssteuerung als **Punkt - zu - Punktsteuerung (PTP)** oder als **Bahnsteuerung (CP)** ausführen. Die **PTP - Steuerung** stellt die einfachste Steuerungsart dar, die meistens zum Anfahren von nur bestimmten Punkten eingesetzt wird. Hierbei werden die Roboter schnell beschleunigt, mit der gewünschten Geschwindigkeit bewegt und anschließend an einer zuvor vorgegebenen Zielstellung schnellstmöglich abgebremst. Das führt zu kürzeren Bewegungszeiten, aber auch zu starken Beanspruchungen der Robotermechanik, infolge schlagartiger Beschleunigungsvorgänge. Die anbei vorhandenen Ungenauigkeiten in der Positionierung werden meistens in den Regelkreisen durch Vergleiche von Ist- und Sollpositionen der Bewegungsachsen erfasst und ausgeglichen. Zur PTP liegen folgende Steuerungsvarianten vor: Asynchrone PTP, synchrone PTP, PTP mit Überschleifen und Multipunktsteuerung. Die typischen schweißtechnischen Einsatzmöglichkeiten einer PTP - Steuerung liegen beim Punktschweißen. Die **Bahnsteuerung (CP)** hingegen steht für definierte Bewegungen des Effektors im Raum (z.B. Bahnschweißen, Laserschneiden usw.). Prinzipiell arbeitet CP ähnlich wie PTP mit dem Unterschied, dass hierbei fortlaufend Soll - Positionen längs einer Bahn zur seiner Charakterisierung vorliegen. Somit wird nicht nur der Zielpunkt vorgegeben, sondern auch die Bahn auf welcher das Werkzeug bewegt wird. Aufgrund dessen, dass die Steuerung die einzelnen Zwischenpunkte berechnen muss, ist die

⁴³ Vgl.: [Dilthey_7], S.150.
Vgl.: [Hesse], S.32,33.
Vgl.: [Schüler], S.108.

Verfahrgeschwindigkeit langsamer im Vergleich zu PTP. Die am meisten eingesetzten CP - Bahnsteuerungsarten sind die Linearbahn und die Zirkularbahn.⁴⁴

5.2.4.4 Roboterprogrammierung

Ein Programm ist als eine Datenfolge von vorgegebenen Handlungen und Informationen zu definieren. Dieses beinhaltet alle Steuerinformationen (Positionen, Orientierungen, Ablauffolgen, zeitliche Vorgaben, Kontrollen, Überwachungen und Kommunikationserfordernisse), die den Roboter zur Umsetzung einer technischen Aufgabe unter Einhaltung bestimmter, essentieller Prozessparameter veranlasst. Das Programmieren erfolgt in der Regel durch die Eingabe des Programms in eine Steuerung. Dabei beinhalten die meisten modernen Steuerungen eine komplexe Programmierumgebung, in die noch zusätzliche Peripherieelemente mit binären Signalen integriert werden. Das ermöglicht eine nahtlose Einbindung von Modulen, mit deren Hilfe externe Sensoren, wie. z. B. ein Kamerasystem in das Roboterprogramm eingebunden werden. Somit werden sowohl das Verhalten, als auch die Bewegungsabläufe eines Roboters, an die äußeren Einflüsse bestmöglich angepasst oder weiter modifiziert. In Bezug auf die auszurichtenden Aufgaben lassen sich mit Hilfe folgender *Programmierverfahren* (Abb.24) die dazu erforderlichen Befehle erzeugen.

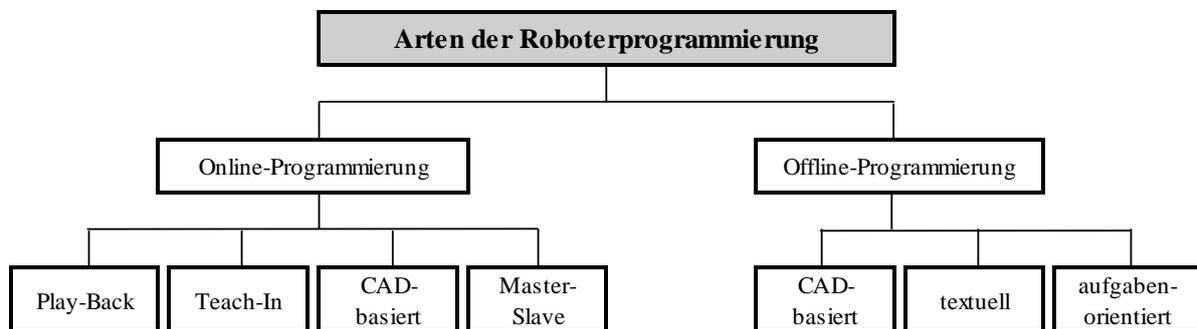


Abb. 24: Die wichtigsten Programmierverfahren (Quelle: /52,S.107/)

Online - Programmierung

Bei der Online - Programmierung / direkten Programmierung / prozessnahen Programmierung erfolgt die Programmierung des Roboters gleich am oder mit dem Roboter selbst. Anbei wird dem Roboter die Bewegung vorgemacht, in dem der Anwender mit dem IR die Arbeitsstelle z.B. Schweißbahn manuell abfährt. Man unterscheidet:

- Teach - In - Programmierung
- Play - Back - Programmierung

⁴⁴ Vgl.: [Dilthey_7], S.152.
 Vgl.: [Hesse], S.167-168.
 Vgl.: [Weber], S.71.

- Master - Slave - Programmierung

Beim **Teach - In - Verfahren** (Lernverfahren) fährt der Programmierer den Roboter mit Hilfe eines Handprogrammiergeräts in die erforderlichen Zielstellungen. Hierbei werden zum Beispiel per Joystick oder Tastenfeld dem Roboter die Bewegungen so vorgegeben, dass dieser mit der gewünschten Position des TCP und der Orientierung des Effektors zu den jeweiligen Punkten ausgerichtet wird. Alle so erreichten Raumpunkte werden solange angefahren und in der Steuerung gespeichert bis der gesamte Arbeitszyklus einmal durchlaufen ist. Die weiteren Parameter (z.B. Geschwindigkeit, Beschleunigung, Genauigkeit usw.) für die Bewegung zwischen den einzelnen Punkten werden anschließend über Funktionstasten an die Steuerung übermittelt. Als vorteilhaft lassen sich bei folgender Variante die Einfachheit des Lernprozesses und ein direkter Bezug zum Roboter sowie der Umgebung aufführen. Negativ hingegen ist die eingeschränkte Programmierbarkeit bei der Realisierung von komplexen Bewegungsabläufen (z.B. Schweißnahtgeometrien). Hierzu gibt es jedoch eine Möglichkeit zur Erleichterung des Teach - Vorganges durch den Einsatz eines ansteckbaren Handprogrammiergerätes (Ausgestattet mit 6D - Sensor → Beeinflussung von bis zu 6 Bewegungskoodinaten).

Ein weiteres Online - Programmierverfahren ist die **Play - Back - Programmierung**. Beim Play - Back führt der Bediener den Effektor manuell über der vorgesehenen Bahn ab. In der Zeit des Abfahrens erfolgt in kurzen und definierten Abständen die Messung und Aufzeichnung der Gelenkkoodinaten. Das manuelle Führen wird dabei über einen Griff in der Nähe des Effektors ermöglicht. Positive Eigenschaft dieser Methode ist ebenfalls die einfache und leichte Handhabung. Nachteilig an dieser Stelle sind die hohen Kosten aufzuführen. Die häufigsten Einsatzfelder dieser Methode bilden Lackierarbeiten an komplexen Freiformflächen.

Eine wie Play - Back ähnliche Methode der Online - Programmierung stellt die **Master - Slave - Programmierung** dar. Prinzipiell basiert folgende Programmierungsmöglichkeit auf der Nutzung von zwei Armen. Zur Bewegungsvorgabe wird ein Bedienarm (Master - Arm) bewegt, wodurch ein zweiter ein sogenannter Arbeitsarm (Slave - Arm) etwaige Bewegung ausführt. Vorteil dieser Methode ist die einfache und anschauliche Bewegungsvorgabe. Nachteilig sind dagegen der höhere Steuerungsaufwand und die zusätzlichen Kosten. Als signifikante Programmierungstechnik ist diese in der Medizin- und Weltraumtechnik zu finden.⁴⁵

Zusammenfassend stellt die Online - Programmierung eine einfache und genaue Programmiermöglichkeit dar, welche keine besonderen Kenntnisse in einer bestimmten Programmiersprache erfordert. Nachteilig jedoch ist an dieser Stelle die verlorene Zeit, in der

Vgl.: [Hesse / Seitz], S.100.

⁴⁵ Vgl.: [Dilthey_7], S.152.

Vgl.: [Hesse], S.195-199.

Vgl.: [Weber], S.107-110.

Vgl.: [Lienenbach], S.64.

der Roboter während der Programmierung der Produktion nicht zur Verfügung steht. Um folgenden negativen Aspekt zu vermeiden bieten sich die Möglichkeiten einer indirekten Programmierung (offline).

Offline - Programmierung

Die Programmerstellung wird ohne Inanspruchnahme eines Roboters durchgeführt. Sie erfolgt Offline an einem vom Roboter unabhängigen Computer und ermöglicht anbei mit Hilfe entsprechender Simulationssysteme die Brauchbarkeit des erzeugten Programms testen zu können. Der Roboter kann während der Programmentwicklung weiter betrieben werden, wodurch die Stillstandzeiten sehr stark verringert und die Produktivität der Anlage gesteigert werden. Die Offline - Programmierung besteht aus

- Textuellen Programmerstellung
- CAD - gestützten Programmierung
- Aufgabenorientierten Programmierung

Die **Textuelle Programmierung** findet auf Basis problemorientierter Sprachen statt. Somit ist das Verfahren vergleichbar mit dem Programmieren in einer höheren Programmiersprache wie C oder Java. Hierbei werden Befehle mit den jeweiligen Parametern als Text in die herstellerebenen, unterstützenden Programmiersysteme eingegeben, von diesen überprüft und anschließend auf die Robotersteuerung übertragen. Vorteile dieser Möglichkeit sind die leichte Lesbarkeit für den Programmierer, die einfachen Dokumentations- und Änderungsmöglichkeiten sowie eine vom Roboter unabhängige Programmierung. Als negativ erweist sich die Vielzahl der an die Hersteller gebundenen Programmiersysteme und die Notwendigkeit eines ausreichend qualifizierten Anwenders.

Eine weitere Offline - Variante bildet die grafisch unterstützte oder **CAD - gestützte Programmierung**. Hierzu wird der gesamte Arbeitsbereich bestehend aus kompletten Schweißzellen inklusive Roboter, Werkstück, Peripherie usw. am PC in einer dreidimensionalen Bildschirmumgebung festgelegt bzw. nachgebildet. In dieser kann der Anwender auf Grundlage von Konstruktionszeichnungen und Simulationen die erforderlichen Positionen vorgeben, diese anfahren und zwischenspeichern (virtuelles Teach - In). Zeitgleich ermöglicht die Simulationsumgebung das Planungs- und Konstruktionsfehler frühzeitig entdeckt und behoben sowie Programme bereits vor dem Bestehen einer Anlage geschrieben werden. Durch Kollisionsprüfungen kann überprüft werden, ob das Bewegungsprogramm ausführbar ist oder geändert werden muss. Nachteile folgender Variante liegen darin, dass die bestimmten Umgebungselemente wie z.B. Pfeiler, Träger oder Traversen oft nicht berücksichtigt werden, was dazu führt, dass das 3D - Model als ungenau abgebildet wird. Dies wiederum führt zu zusätzlichen Kalibrierungsvorgängen am Roboter, um die simulierte Umgebung bestmöglich an die realen Verhältnisse anzupassen zu können.

Mit einer **aufgabenorientierten Steuerung** hat man die Möglichkeit die Robotersysteme so zu gestalten, dass diese während der Aufgabenausführung flexibel interagieren. Hierbei gibt der Programmierer die Aufgabe vor, die von der Robotersteuerung fast selbstständig umgesetzt wird. Die dazu notwendigen Komponenten sind: Sensorintegration, Umweltmodelle, Aktionsplanungssysteme, Koordinierung der Roboteraktionen mit der Umgebung, Aufgabentransformator.

Ebenfalls erwähnenswert ist eine **Makroprogrammierung** (Bei wiederholenden Arbeitsvorgängen werden zur Verkürzung der Programmierzeit dem Steuerprogramm einmalig programmierte Befehlsfolgen (Makros) in komprimierter Form eingeführt) und eine **akustische Programmierung** (Programmierung des Programmtextes über akustische Befehle mit Hilfe eines Mikrofons).

Um die positiven Eigenschaften einer Online- und Offline - Programmierung ausnutzen zu können, werden diese oft miteinander kombiniert und als **hybride Programmierverfahren** (auch als kombinierte Verfahren) angewendet.⁴⁶

5.2.4.5 Wechselsysteme für Bearbeitungswerkzeuge

Die Vielseitigkeit der Robotersysteme lässt sich dadurch erweitern, in dem austauschbare Vorrichtungen zum Wechseln des Werkzeuges eingesetzt werden. Diese Systeme sind das Koppellement zwischen dem Effektor und dem Roboterarm, die im allgemeinen aus folgenden Funktionsträgern und Lösungselementen zusammengesetzt werden.

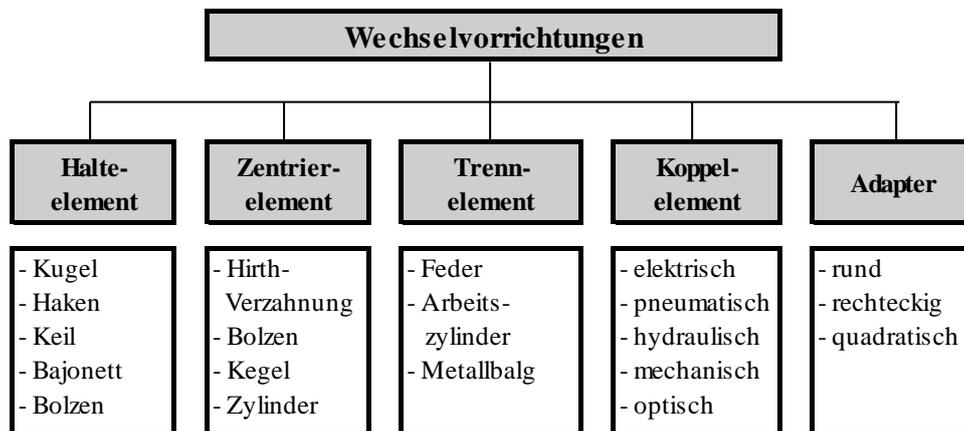


Abb. 25: Funktionsträger und Lösungselemente (Quelle: /35,S.242/)

Die einzelnen Träger und Elemente werden dabei je nach Aufgabe in einem Ober- und Unterteil so zusammengeführt, dass eine einfache, genaue und wiederkehrende mechanische Kopplung des Werkzeugsystems erzielt wird. Des Weiteren soll der Energie- und

⁴⁶ Vgl.: [Dilthey_7], S.153.
 Vgl.: [Hesse], S.199-204.
 Vgl.: [Weber], S.111-114.
 Vgl.: [Zabel], S.10-14.

Informationsfluss unterstützt werden, in den Steckverbindungen für elektrische bzw. pneumatische Leitungen in die Systeme mit eingelassen werden. So wird zum Beispiel beim Lichtbogenschweißen mit einem IR dieser mit einem austauschbarem Pistolenhalswechselsystem ausgerüstet. Hierbei soll durch das Variieren der unterschiedlich ausgeführten Schweißköpfe die Zugänglichkeit an die jeweiligen Werkstückgeometrien gesteigert werden. Zusätzlich dazu lässt sich neben den anderen koppelnden Anschlüssen, eine Rauchgasabsaugung zur Beseitigung von Schadstoffen in die Kopplungseinheit mit integrieren.⁴⁷

5.2.5 Bewegungssysteme zum Laserstrahlschweißen

5.2.5.1 2D / 3D Bewegungseinrichtungen

Die Wirtschaftlichkeit einer Laserschweißanlage und die entsprechende Schweißnahtqualität lassen sich im Wesentlichen durch das Fertigungsumfeld bestimmen. Neben der Strahlquelle, den strahlführenden sowie strahlformenden Anlagenkomponenten (Spiegelsysteme, Lichtleitfaser), ist die Auswahl einer entsprechenden Bewegungseinrichtung ebenfalls von großer Bedeutung. Folgende Mechanisierungskomponenten sind mehrachsige Handhabungsgeräte, die neben der Erzeugung einer Relativbewegung zwischen dem Werkstück und dem Werkzeug parallel den Laserstrahl in geeigneter Form an das Bauteil zu lenken haben. In Abhängigkeit von der Bauteilgeometrie und -masse stehen hierzu zwei Bewegungskonzepte zur Auswahl. Die erste Variante bilden die Einrichtungen für eine zweidimensionale Bearbeitung (*kartesisch*). Diese Systeme bestehen meist aus mindestens zwei Linearachsen und einer zusätzlichen Zustellachse (Z - Achse). Die andere Möglichkeit erlaubt es in mehrere Raumrichtungen arbeiten zu können (*rotatorisch*). Hierzu werden mindestens fünf Bewegungsachsen benötigt, um zwei- als auch dreidimensionale Aufgaben problemlos realisieren zu können. Die gewünschte Vorschubbewegung zwischen dem Werkzeug und dem Werkstück wird bei den Bewegungskonzepten entweder durch die Bewegung der Strahlquelle (fliegende Optik), des Werkstücks (feststehende Optik), der Optik (bei interner / externer Strahlführung) oder durch Kombination beider Bewegungen (Hybridlösungen) generiert. Für die kinematische Umsetzung, der in diesem Kapitel beschriebenen Bewegungskonzepte, stehen Ausführungen als Portal- oder Knickarmroboter zur Auswahl. Die am häufigsten eingesetzte Variante stellen die Portalanlagen mit drei Grundachsen (rechtwinklige Anordnung zueinander) und zwei bis drei Handachsen dar. Diese Anlagen werden so konzipiert, dass die Strahlführung in der Regel innerhalb der Achsen mit Hilfe angepasster Konstruktionen intern umgesetzt wird. Als Knickarmroboter werden standardisierte Industrieroboter bevorzugt, welche zusätzlich zur Strahlführung je nach

⁴⁷ Vgl.: [Hesse], S.149-151.

Vgl.: [Lotter / Wiendahl], S.242.

Vgl.: [Kief / Roschiwal / Schwarz], S.443.

Lasertyp mit internen / externen Strahlführungssystemen (CO₂ - Laser) oder mit Lichtwellenleitern (Nd: YAG - Laser) ausgestattet werden. Aus diesen beiden Anlagenkonzepten lassen sich folgende Vor- und Nachteile ableiten.⁴⁸

Laserportale	Laserroboter
<p>Vorteile:</p> <ul style="list-style-type: none"> - hohe Bahngenauigkeit - großer Arbeitsraum - kompakte Bauweise der Strahlführung <p>Nachteile:</p> <ul style="list-style-type: none"> - großer Raumbedarf - hohe Anschaffungskosten - starke Veränderung der Strahlwege im Arbeitsraum 	<p>Vorteile:</p> <ul style="list-style-type: none"> - geringe Anschaffungskosten - geringer Raumbedarf - leichte Integrierbarkeit <p>Nachteile:</p> <ul style="list-style-type: none"> - rel. kleiner Arbeitsraum - eingeschränkte Beweglichkeit

Tab. 11: Vor- / Nachteile der Laserportale /-roboter (Quelle: /43,S.15-16/)

5.2.5.2 Strahlpositioniersysteme für das Remote- / Scanner - Schweißen

Bei einem herkömmlichen Schweißvorgang mit Laserstrahlen erfolgen die Positionierung und die Bewegung der Bearbeitungsoptik mit einer festen Brennweite über die Anwendung der zuvor beschriebenen 2D - oder 3D - Bewegungseinrichtungen. Zur Erhöhung der Positioniergeschwindigkeit, Positioniergenauigkeit und der räumlichen Zugänglichkeit zu den versperrten Schweißstellen werden sie mit sogenannten Scannersystemen ausgerüstet. Diese verfügen über rotierende Facettenspiegel oder verkippbare Ablenkspiegel, die es erlauben den Laserstrahl bei relativ großen Abständen zwischen dem Bearbeitungskopf und dem Schweißteil über die einstellbaren Winkel der Spiegel fokussieren bzw. positionieren zu können. Die dabei erzielten, möglichen Prozessgeschwindigkeiten während der Positionierung des Strahls, erreichen anbei den 100 fachen Wert der typischen Schweißgeschwindigkeiten. Durch die geringen Beschleunigungs- und Abbremsvorgänge der Spiegelachsen kommt es zusätzlich zur Erhöhung der Positioniergenauigkeit. Die Anwendung folgender Einrichtungen erfordern, dass der Laser einen Laserstrahl sehr hoher Strahlqualität bei vergleichsweise hoher Laserleistung liefert (Faserlaser, Scheibenlaser, CO₂ - Slab - Laser o. ä.).⁴⁹

5.2.6 Sensortechnik

Eine qualitätsgerechte Schweißung wird in der Regel in Abhängigkeit von der Nahtgeometrie, Nahtlage und den entstandenen Nahtfehlern charakterisiert. Demnach ist man bestrebt, die auf

⁴⁸ Vgl.: [König], S.237-238.

Vgl.: [Reek], S.12.

Vgl.: [Neubert / Weinhhammer], S.16.

⁴⁹ Vgl.: [Neubert / Weinhhammer], S.21.

den Schweißprozess von außen wirkenden Störungen rechtzeitig zu erfassen, um die in der Fugestelle auftretenden Schwankungen über entsprechende Maßnahmen ausgleichen zu können. Bei einem manuellen Schweißvorgang erkennt der Schweißer optisch die Problematik und korrigiert diese gemäß seiner Erfahrungen und erlernten Fähigkeiten. Ein mechanisierter / automatisierter Schweißprozess benötigt hierzu bestimmte Sensoren. Diese liefern Informationen zu den erfassten Unregelmäßigkeiten und Abweichungen auf die das Steuerungssystem rechtzeitig reagieren soll.

In den folgenden Kapiteln soll auf die wichtigsten Sensorprinzipien in Abhängigkeit von der Schweißtechnologie eingegangen werden.

5.2.6.1 Sensoren für das Lichtbogenschweißen

Beim Schweißen mit einem Lichtbogen haben die Sensoren die Aufgabe:

- den Schweißkopf entlang einer Schweißfuge zu führen,
- das System durch Konfiguration der Schweißparameter an die Änderungen in der Schweißstelle anzupassen,
- sowie die Fehler auf der Nahtoberfläche zu erkennen.

Diese werden, wie in der Abbildung 26 dargestellt wird, nach der Art der Signalgewinnung und dem Messprinzip wie folgt charakterisiert.

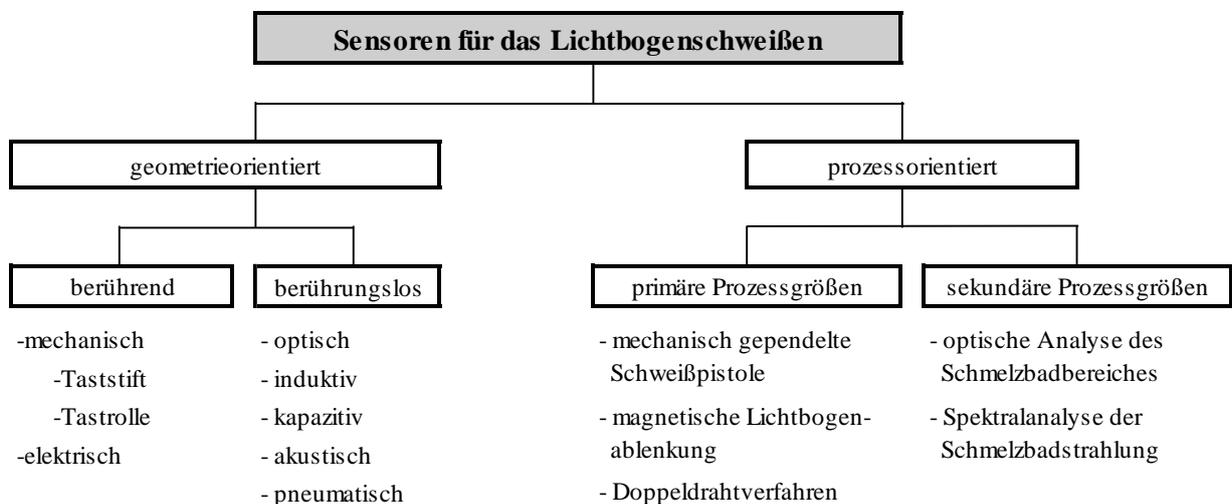


Abb. 26: Sensoreinteilung beim Lichtbogenschweißen (Quelle: /21,S.237/)

Ableitend daraus werden die einzelnen Sensorsysteme anschließend nach dem Einsatzzweck gegliedert. Hierzu bestehen drei Sensorbereiche, welche entweder zur Abstandsmessung, zur Fugenverfolgung oder zur Oberflächenerkennung eingesetzt werden.⁵⁰

Vgl.: [Munzert], S.12.
⁵⁰ Vgl.: [Hesse], S.237.
 Vgl.: [Matthes / Schneider], S.273.
 Vgl.: [Dilthey_7], S.155.

Taktile Sensoren

Folgende Sensorausführung gehört in die Gruppe der geometrieorientierten Sensoren, die zur Ermittlung der Start- und / oder Endposition der Naht eingesetzt werden. Berührend gewinnen sie ihre Informationen aus der Geometrie der Fuge oder einer definiert dazu verlaufenden Werkstückkante / -fläche. Hierzu werden insbesondere beim Roboterschweißen die sogenannten **Gasdüsensensoren** (Abb.27) (elektrisch berührende Sensoren) angewendet.

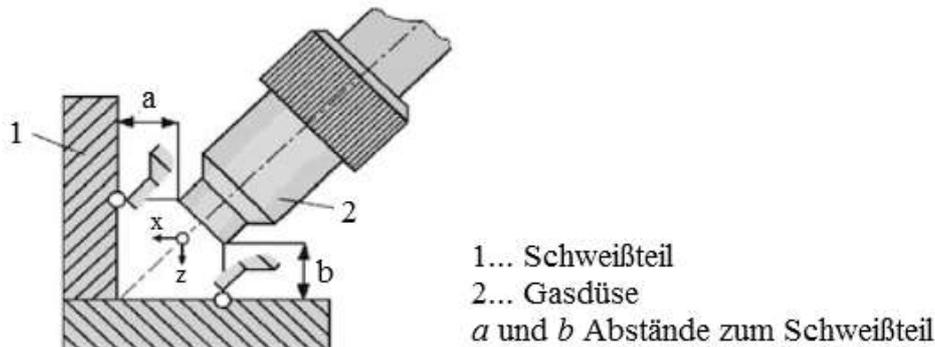


Abb. 27: Gasdüse als taktile Sensor (Quelle: /23,S.28/)

Bei folgender Sensorvariante wird die Gasdüse als Messelement tastend gegen die beiden Flächen geführt. Anbei wird an die Düse eine Messspannung angelegt, wodurch es bei einem Kontakt zwischen dem Werkstück und der Gasdüse zum Stromfluss kommt. Anschließend wird etwaiger Stromfluss als Signal ausgewertet. Die Abstände a und b bestimmen dabei die tatsächliche Position der Ecke, wodurch die programmierten Bahnverläufe an die eigentliche Ausrichtung der Naht angepasst werden. Als eine weitere Erfassungsmöglichkeit dieser Sensoren kann der Schweißdraht (Drahtelektrode beim MSG) oder ein separat angebrachter Taststift genutzt werden.⁵¹

Elektromagnetische Sensoren

Eine preisgünstige Option zur Abstandserfassung sowie Seiten- und Höhenkorrektur des Schweißwerkzeuges stellen die sogenannten Elektromagnetischen Sensoren dar. Das sind berührungslos arbeitende Elemente, die nach dem Prinzip der Auswertung von elektromagnetischen Größen interagieren. Je nach Aufbau können diese als **induktive** oder als **kapazitive Sensoren** ausgeführt und wie folgt beschrieben werden. Im Kopf eines induktiven Sensors befindet sich eine Spule mit einem Kern aus Ferrit. Diese Spule erzeugt ein magnetisches Feld. Bringt man in dieses magnetische Feld einen metallischen Leiter (Werkstück) kommt es zur Entstehung von Wirbelströmen, wodurch eine Dämpfung des hochfrequenten, elektromagnetischen Feldes hervorgerufen wird. Diese Dämpfung wertet die

⁵¹ Vgl.: [Hesse], S.239.

Vgl.: [Matthes / Schneider], S.274.

Vgl.: [Hesse / Schell], S.28.

Sensorelektronik aus und verarbeitet diese zu einem Ausgangssignal. Da die kapazitive Sensorart hauptsächlich bei nichtmetallischen Werkstoffen eingesetzt wird, wird diese im folgenden Abschnitt nicht näher erläutert.⁵²

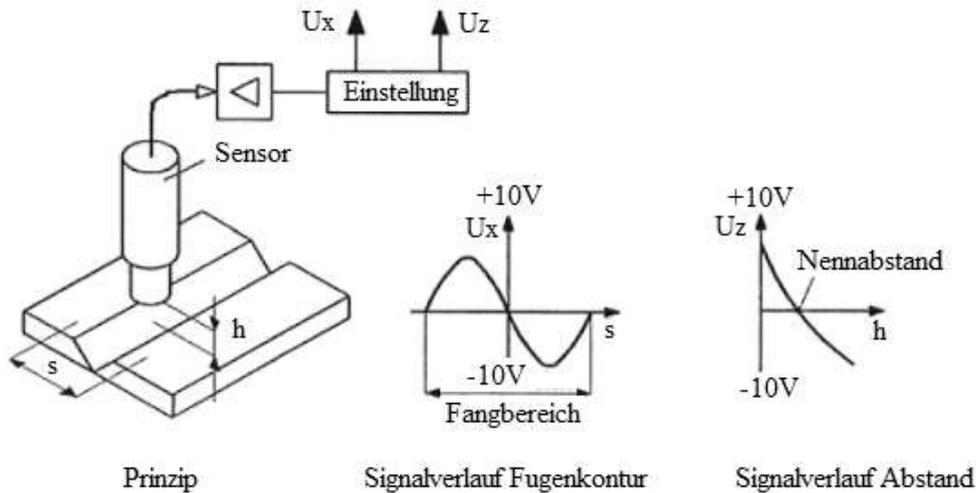


Abb. 28: Induktiver Sensor (Quelle: /21,S.240/)

Lasersensoren

Lasersensoren arbeiten ebenfalls berührungslos und werden zur Bestimmung des Abstandes (eindimensional) zwischen dem Brenner und dem Werkstück, als auch zur Geometrievermessung (Zweidimensional), eingesetzt. Abhängig von ihrer Funktion werden sie als **Laser - Abstandssensoren**, als **Laserscanner** oder als **Lichtschnittsensoren** ausgeführt. Diese Varianten arbeiten nach dem Prinzip der Triangulation. Bei **Abstandssensoren** mit einem integrierten Laser wird ein Licht mit einer bestimmten Wellenlänge auf die Werkstückoberfläche ausgesendet. Das vom Bauteil diffus reflektierte Licht trifft auf eine CCD - Zeilenkamera und wird dort gebündelt.

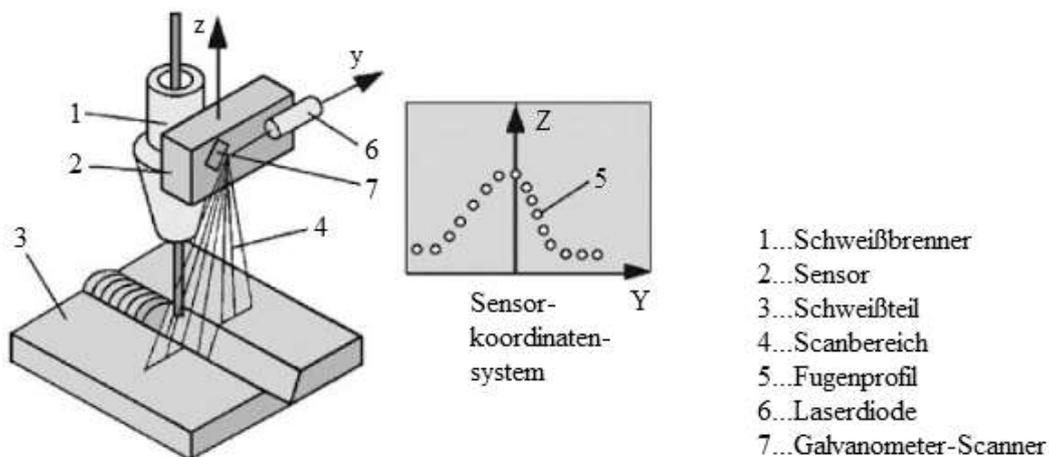


Abb. 29: Scannersensor (Quelle: /23,S.126/)

⁵² Vgl.: [Hesse], S.239.
 Vgl.: [Matthes / Schneider], S.275.
 Vgl.: [Hesse / Schell], S.34.

Durch die Triangulation erfolgt anschließend die Bestimmung des Abstandes zwischen dem Sensor und dem Objekt.

Die **Laserscanner** (Abb.29) hingegen tasten die Fuge über bewegliche Spiegelkomponenten mit einer Pendelbewegung ab, bündeln das reflektierte Licht in einer 2D - CCD - Matrix und werten anschließend die einzelnen Positionspunkte aus.

Eine weitere Möglichkeit um die Geometrie der Fuge erfassen zu können bieten die **Lichtschnittsensoren** (Abb.30). Hierbei wird die Oberfläche linienförmig abgetastet (Lichtmuster z.B. mit Streifen wie bei einer Jalousie) und das reflektierte Muster auf einer CCD - Matrix projiziert. Die einzelnen Abknickpunkte der Laserlinie im Streifenmuster ergeben dabei die Objektkanten, welche nach dem zuvor erwähnten geometrischen Prinzip der Triangulation zweidimensional erfasst (CCD - oder CMOS - Kameras) und ausgewertet werden.⁵³

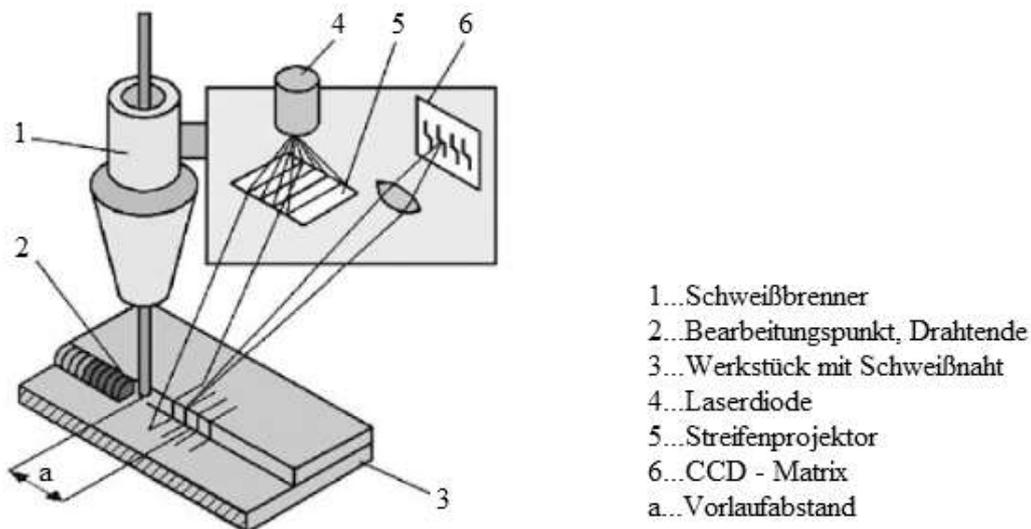


Abb. 30: Lichtschnittsensor (Quelle: /23,S.376/)

Lichtbogensensoren

Lichtbogensensoren sind prozessabhängige Sensoren, die den Schweißstrom und / oder die Lichtbogenspannung eines pendelnden Lichtbogens zur Generierung von Höhen- und Seitenkorrektursignalen verwenden. Hierzu wird der Lichtbogen über eine Auslenkung des Brenners quer pendelnd zu einer Schweißfuge geführt. An den Umkehrpunkten kommt es zur Veränderung der Lichtbogenlänge, wodurch proportional dazu Änderungen der Schweißspannung und entsprechend der Kennliniencharakteristik einer Stromquelle, Änderungen der Stromstärke verursacht werden. Aus Messung und Bildung einer Differenz

⁵³ Vgl.: [Dilthey_7], S.156.

Vgl.: [Hesse], S.237.

Vgl.: [Matthes / Schneider], S.276.

Vgl.: [Hesse / Schell], S.126, S.376.

der entstandenen Ströme auf den Flanken einer Naht lässt sich ein Signal zur Seitenführung des Schweißkopfes ermitteln (Formel 2).

$$I_1 - I_2 = 0 \quad (2)$$

Vergleicht man diese Veränderungen mit vorprogrammierten Sollwerten, können die dabei ermittelten Signale zur Abstands-(Höhen-) Regelung genutzt werden. (Formel 3)

$$I_1 + I_2 = 2 \cdot I_{\text{Soll}} \quad (3)$$

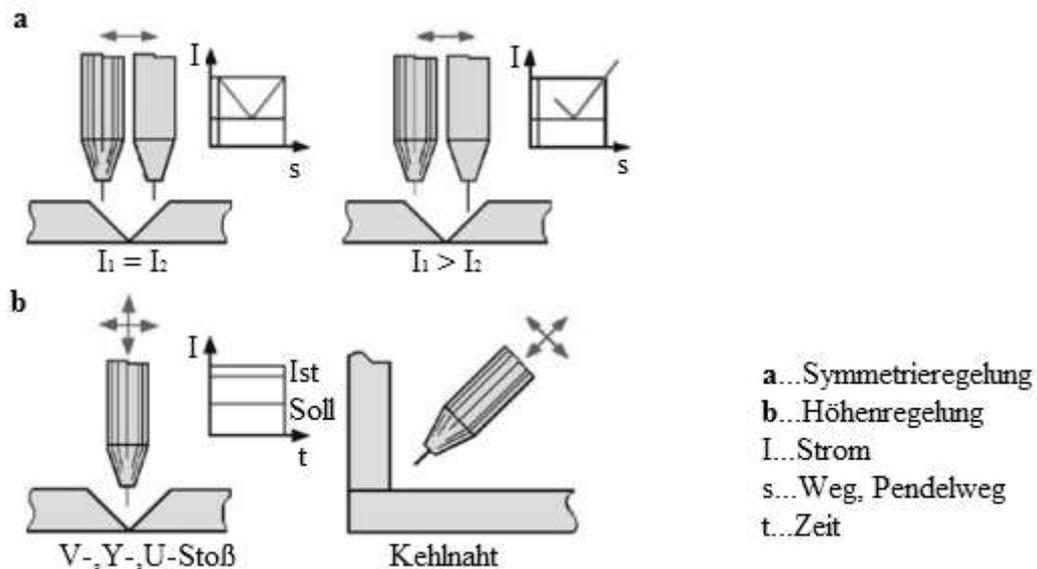


Abb. 31: Wirkungsweise eines Lichtbogensensors (Quelle: /23,S.29/)

Der Vorteil dieser Sensortechnologie besteht darin, dass zur Anwendung keine zusätzlichen Sensorelemente am Brenner benötigt werden, jedoch lässt sich die Anwendung auf eine gewisse Mindestflankenhöhe beschränken.⁵⁴

⁵⁴ Vgl.: [Dilthey_7], S.157.
 Vgl.: [Hesse], S.238.
 Vgl.: [Matthes / Schneider], S.277.
 Vgl.: [Hesse / Schell], S.126, S.29.
 Vgl.: [Rogos], S.13.

5.2.6.2 Sensoren für das Strahlschweißen

Die hohen Qualitätsansprüche an die laserstrahlgeschweißten Bauteile erfordern eine ausreichende Prozessüberwachung in Bezug auf die Nahtgeometrie, Nahtlage sowie die Nahtfehler. Sowohl zur Bahnführung, als auch zur Qualitätssicherung, können verschiedene Arten von Signalen durch bestimmte Sensortechnologien erfasst und wie folgt beschrieben werden.

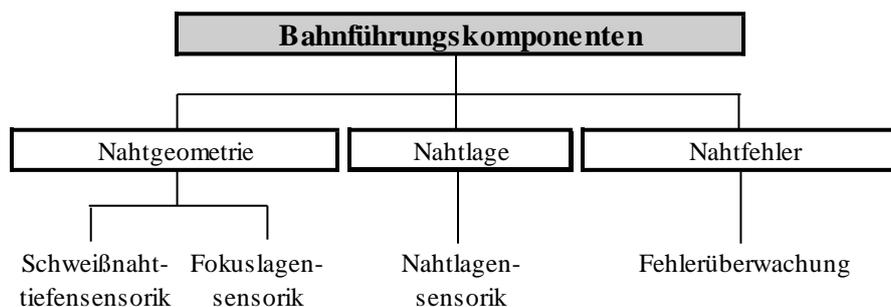


Abb. 32: Möglichkeiten zur Bahnführung beim LS - Schweißen

Schweißnahttiefensensoren

Zu einer kontrollierten und sicheren Bahnführung gehört die Überwachung der Schweißnahttiefe. Diese wird im allgemeinen mit Hilfe von *Prozesssensoren* umgesetzt. Ähnlich wie bei Lichtbogensensoren, welche über bestimmte Prozessgrößen (Schweißstrom und / oder die Lichtbogen Spannung) die Positionierung des Brenners realisieren, agieren folgende Sensoren nach dem Prinzip der Detektion und Analyse der beim Schweißprozess entstehenden Strahlung bzw. Emissionen. Die entsprechenden Strahlungsemissionen eines Laserschweißprozesses sowie die jeweiligen Sensoren zu ihrer Erfassung können derart beschrieben werden.

Plasma- und Metaldampfstrahlung:

(Die Sensorik stellen **Fotodioden** mit Empfindlichkeit im ultravioletten Spektralbereich dar)

Reflektierte Laserleistung:

(Sensoren sind einfach zu handhabende **transmittive Optiken** sowie hochauflösende und preisgünstige **Fotodioden**)

Wärmestrahlung der Schmelzbadoberfläche:

(Sensorik: **Thermographe, Pyrometer, Thermoelemente**)

Akustische Emission:

(**Piezoelektrische Körperschallaufnehmer** und **Luftschallmikrophone**)⁵⁵

⁵⁵ Vgl.: [Breitschwerdt], S.12.
Vgl.: [Reek], S.46.

Fokuslagensensoren

Ebenfalls ein essentieller Bestandteil der Bahrführung ist die Bestimmung des Abstandes und Positionierung eines Fokuspunktes. Hierzu lassen sich während eines Schweißvorganges folgende Fokuslagensensoren einsetzen.

Prozesssensoren: Basierend auf Auswertung und Untersuchungen des Prozessleuchtens, die durch gezielte Beeinflussung des Fügevorganges hervorgerufen werden. Hierbei werden zur Detektion der Einschweißtiefe spektral interagierende Aufnahmen der Intensität des Leuchtens mit einer Fotodiode durchgeführt. Dabei gilt: Bei maximaler Einschweißtiefe ist die Intensität des Plasmaleuchtens am geringsten.⁵⁶

Taktile Sensoren: Es sind einfache und robuste Sensoren, welche mit Hilfe von Tastfühlern und Laufrollen (Abb.33) interagieren. Sie gehören zu den Technologien, die den Verlauf der Fügestelle aktiv erfassen und entsprechende Messsignale generieren. Folgende Systeme werden in der Regel mit der Fokussieroptik mechanisch kombiniert, um den tatsächlichen Bahnverlauf nachzustellen und um Abweichungen zwischen dem Strahl sowie dem Fügestellenverlauf ausgleichen zu können. Negativ bei folgenden Sensoren ist, dass diese für komplexe und feine 3D - Konturen nicht einsetzbar sind.

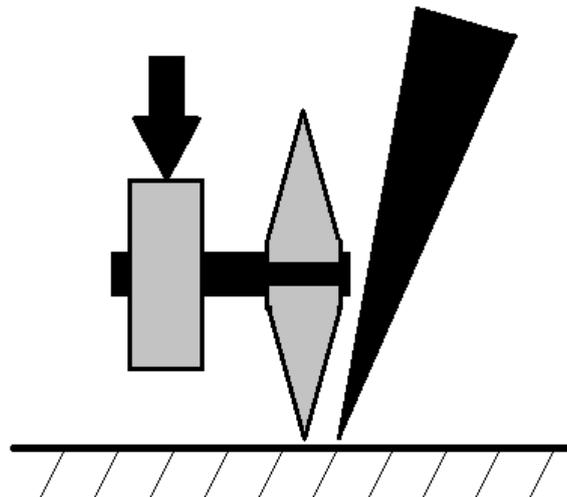


Abb. 33: Prinzip taktile Fokuslagensensoren

Für kleine Schweißgeometrien (Bewegungsgrenzen 50 x 50 mm) können zur Verbesserung der Zugänglichkeit weiterhin die sogenannten Laserpicker eingesetzt werden.⁵⁷

Pneumatische Sensoren: Hierbei handelt es sich um Sensortechnologien, welche nach dem Prinzip der Detektion des Staudrucks funktionieren. Etwaiger Staudruck wird infolge einer eingegengten Strömung eines gasförmigen Mediums in einer über der Werkstückoberfläche

⁵⁶ Vgl.: [Breitschwerdt], S.26.

⁵⁷ Vgl.: [Breitschwerdt], S.29.
Vgl.: [Reek], S.51.

verfahrenden Gasdüse hervorgerufen. Ein Transmitter erfasst diesen Druck und wandelt die gewonnenen Informationen in ein entsprechendes Abstandssignal um. Die pneumatischen Abstandssensoren (Arbeitsbereiche liegen i.d.R. zwischen 0,3 mm und 3 mm) stellen somit sehr robuste, genaue (Maßgenauigkeit $\pm 0,2$ mm) und vielseitig einsetzbare Sensorsysteme, insbesondere für das Schweißen mit Lasern im dreidimensionalen Arbeitsraum dar.⁵⁸

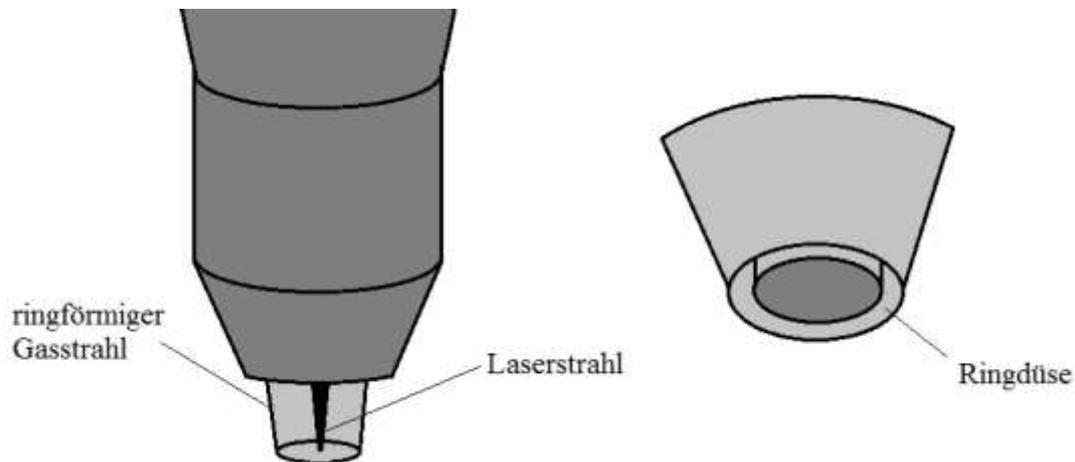


Abb. 34: Aufbau einer Ringdüse als pneumatischer Abstandssensor

Optische Sensoren: Die Sensorsysteme mit optischen Messprinzipien werden zu einer berührungslosen Abstandsmessung unter Anwendung der bereits im vorangegangenen Kapitel erwähnten Triangulation eingesetzt. Als Detektoren dienen hierbei positionsempfindliche pin - Dioden oder CCD - Zeilen.⁵⁹

Nahtlagesensoren

In vielen Fällen werden Schweißprozesse oft von bestimmten Fehlerparametern enorm beeinflusst. Etwaige negative Einflüsse lassen sich in den meisten Fällen auf fehlerbehaftete Positionierung (z.B. nicht eingehaltene Bauteil- und Spannvorrichtungstoleranzen) oder Prozesseinflüsse (thermischer Verzug während des Schweißens) zurückführen. Um diese kompensieren und eine korrekte Führung des Laserstrahls gewährleisten zu können werden hierzu unterschiedliche Nahtführungssysteme eingesetzt. Diese dienen der Fugstellendetektion und lassen sich folgendermaßen beschreiben.

Laserscanner und **Lichtschnittsensoren:** Folgende sind berührungslos und ebenfalls nach dem Triangulationsprinzip arbeitende Sensoren, welche zur Abstandsmessung über eine Erfassung der Oberflächentopografie interagieren (Prinzip siehe Kapitel 5.2.6.1).⁶⁰

⁵⁸ Vgl.: [Breitschwerdt], S.31.

Vgl.: [Reek], S.51.

⁵⁹ Vgl.: [Breitschwerdt], S.32.

Vgl.: [Reek], S.52.

⁶⁰ Vgl.: [Breitschwerdt], S.35,37.

Auflichtsensoren: Ähnlich wie bei Lichtschnittsystemen sendet eine im Sensor integrierte Lichtquelle (z.B. Glühbirne, Laserdiode, Kleinlaser) ein diffuses Licht auf die Oberfläche eines Werkstückes. Dieses wird reflektiert und anschließend von Zeilen- oder Matrixkameras nach passivem (das diffus von dem Werkstück reflektierte Umgebungslicht wird genutzt) oder aktivem (gezielte Erhöhung des Kontrasts an der Fugestelle) Prinzip erfasst und ausgewertet. Bevorzugter Einsatz dieser Sensorsysteme erfolgt bei Erfassung von Stumpfnähten (geringe Reflexion des Spaltes).⁶¹

Taktile Sensoren: Mechanische Nahtführungssysteme mit Positioniergenauigkeiten von < 0,1 mm, die in der Regel für die Nahtführung bei Überlapp - und T - Stößen benutzt werden. Die entsprechende Leitung des Laserstahls lässt sich dabei mechanisch oder anderenfalls elektronisch mit Hilfe von Stellegliedern realisieren.⁶²

Fehlerüberwachungssensoren

Zur Fehler- oder Qualitätsüberwachung werden in vielen Fällen Messsignale aus Plasmadetektion, Schalldetektion, optischer Detektion oder kombinierten Systemen verarbeitet. Anbei werden diese nicht vollständig ausgewertet sondern nur relativ zum Referenzsignal abgebildet. Die Erfassung der essentiellen Prozessgrößen wird dabei über folgende Technologien umgesetzt.

Die Messung von *Plasmastrahlung* wird durch den Einsatz von optischen Hilfsmitteln durchgeführt. Zu diesen gehören die bereits im Abschnitt zur Schweißnahttieferfassung erwähnten **Fotosensoren** mit reduzierter Bandbreite. Folgende funktionieren nach der einfachsten Möglichkeit der Messwerterfassung und zwar nach dem Prinzip des Vergleichs der aktuellen Schweißung mit einer Referenzschweißung.

Der *emittierte Schall* hängt stark vom Verhalten des Plasmaleuchtens ab. In Folge einer Zunahme des Leuchtens kommt es aufgrund einer verdichteten Menge an Plasmaströmung zu einem verstärkten Schallaustritt. Um diesen Vorgang detektieren und beschreiben zu können werden im allgemeinen **omnidirektionale Standardmikrofone** (Empfindlichkeitsbereich: 20Hz - 20KHz) verwendet.

Eine sehr einfache Variante zur Fehlerüberwachung stellen **optische Detektoren** dar. Diese erlauben durch einen Einsatz aktiver (Schweißstelle wird mit infrarotem oder schmalbandigem Laserlicht beleuchtet) und passiver (Beobachtung der Schweißstelle erfolgt über Filter) Aufnahmesysteme das Schmelzbad visuell darstellen zu können. Die Bildaufnahme übernimmt in der Regel CCD - Chip mit einer Aufnahme Frequenz im Bereich von 50 Hz. Aufgrund einer geringen Automatisierbarkeit erfolgt die Anwendung folgender Visualisierungssysteme, meistens bei Schweißarbeiten kleiner Losgrößen. Um die

⁶¹ Vgl.: [Breitschwerdt], S.40.

⁶² Vgl.: [Breitschwerdt], S.43.

Aussagekraft des Sensors zu erhöhen werden *kombinierte Sensorsysteme* entwickelt. Diese können zum einen *Spannungsmesser* sein, welche oft zur Messung des elektrischen Potentials zwischen einer Düse und dem Werkstück angewendet werden. Weiterhin werden einige Systeme parallel zur Plasmaüberwachung (z.B. über *Fotodioden*) mit *CCD - Kameras* ausgestattet, um eine zusätzliche Erfassung möglicher Schweißfehler optisch realisieren zu können. Eine andere Kombinationsmöglichkeit ist der *Laser welding monitor* mit integrierter Spritzerüberwachung.⁶³

Zur Ermittlung und Überwachung von Prozessinformationen, aber auch Führung der Strahlkanone, werden beim Elektronenstrahlschweißen die sogenannten Einblicksysteme (*Fernrohr mit Beleuchtung, Okular* oder *CCD - Kameras*) eingesetzt. Diese verfahren nach dem lichtoptischen Prinzip. Zweite Möglichkeit um die Fuge vor und während des Schweißens auf der Oberfläche der zu schweißenden Werkstücke auffangen zu können, bieten die elektronenoptischen Systeme. Diese scannen die Fuge automatisch ab und werten das Signal über eine CNC - Steuerung aus.⁶⁴

5.2.6.3 Sensoren für das Widerstandsschweißen

Beim Widerstandsschweißen werden im Allgemeinen ähnliche Sensortechnologien verwendet, die bereits im Kapitel 5.2.6.1 ausführlicher vorgestellt wurden. Aus dem Grund werden jene an dieser Stelle nicht näher erläutert.

5.2.7 Gefahren und Schutzvorrichtungen

Bestimmte Schmelzschweißverfahren und Anlagenausführungen verfügen über ein hohes Gefahrenpotenzial in Bezug auf die Umgebung. So werden zum Beispiel bei Lichtbogenschweißverfahren mögliche Risiken durch den Strom (speziell Hochfrequenz), durch die UV - Strahlung und insbesondere durch luftverunreinigende Stoffe (Gase oder Partikel) hervorgerufen. Weitere Gefahrenquellen stellen das wellenabhängige und besonders für das Auge gefährliche, energiereiche, fokussierte und kohärente Licht bei Schweißprozessen mit einem Laserstrahl, magnetische Strömungen beim Widerstandsschweißen sowie die frei werdende Röntgenstrahlung beim Elektronenstrahlschweißen dar. Aber es gilt nicht nur die durch einen Prozess hervorgerufenen Gefährdungen zu vermeiden und zu kompensieren (Arbeitssicherheit), sondern den Menschen, als auch die Anlage, vor eventuellen Kollisionen zu bewahren und

⁶³ Vgl.: [Breitschwerdt], S.45.

⁶⁴ Vgl.: [Breitschwerdt], S.35.

Vgl.: [Reek], S.53.

Vgl.: [Matthes / Schneider], S.407.

zu schützen (Arbeitssicherheit). Dies betrifft insbesondere das Schweißen mit einer roboterbezogenen Schweißquellenführung.

Prozessabhängige Gefährdungen bei mechanisiertem **Lichtbogenschweißen** stellen in erster Linie die elektromagnetische Strahlung und die aus der Schweißstelle austretenden Schadstoffe dar. Zwar muss der Bediener bei einem mechanisierten Schweißvorgang im Vergleich zum manuellen Schweißen die Schweißquelle nicht selber führen, soll aber seinerseits dem Tragen einer *Schutzbrille* und *entsprechender Kleidung* trotzdem nachkommen. Weiterhin sind je nach Anwendung die *Anlagen als Kabinen* zu realisieren oder mit *Schutzvorhängen* auszustatten. Für Prozesse in geschlossenen Arbeitsräumen lassen sich die freigesetzten Schadstoffe direkt am Entstehungsbereich mit *Absaugeinrichtungen* oder *Filtern* beseitigen (gilt ebenfalls für das **Widerstandsschmelzschweißen**).

Schweißarbeiten mit einem Laserstrahl erfordern ebenfalls das Tragen *schützender Kleidung* und *geeigneter Augenschutzhilfen*. Für die Abschirmung des Arbeitsbereichs sollen eine *kabinenförmige Einhausung* oder *Laserschutzvorhänge* dienen. Für Verfahren mit hoher Strahlqualität (Remote - Technologien) soll die Einhausung über *Laserschutzwände mit doppelwandiger Konstruktion* umgesetzt werden.

Aus dem Funktionsprinzip einer **Elektronenstrahlschweißanlage** ist zu entnehmen, dass die Teile unter Vakuum in einer geschlossenen und mit *Bleimänteln abgeschirmten Kammer* gefügt werden. Hierbei ist darauf zu achten, dass die Kammer *keine Risse* enthält oder beschädigt ist.⁶⁵

Beim Schweißen mit einem Industrieroboter oder einer programmierbaren Technologie zur Bewegung der Schweißquelle oder des Werkstückes kommt es selten dazu, dass diese vollautomatisiert arbeitet. In meisten Fällen befindet sich ein Bediener in ihrem Umfeld und arbeitet dem System zu. Läuft jedoch ein selbstständiger Schweißzyklus ab, so ist der Anlagenbetreuer sowie weitere Beobachter von benachbarten Arbeitsplätzen vor den energiereichen Bewegungen der einzelnen mobilen Anlagenkomponenten zu schützen. Aus diesem Grund sollen die Anlagen zur Gewährleistung eines ausreichenden Sicherheitsabstandes (nach EN ISO 13857) mit festen *Absperrungen*, *Verkleidungen*, *Schutzgittern* u. ä. abgeschirmt werden. Kommt es jedoch dazu, dass in den aktiven Arbeitsbereich eingegriffen wird oder ein bewegter Bestandteil der Anlage durch fehlerhafte Bewegungen die Umzäunung verlässt, haben die an der Anlage eingesetzten Schutzvorrichtungen die Aufgabe den Schweiß- und Bewegungsprozess schnellstmöglich zu unterbinden. Dies gilt in der Regel über *mechanische Anschläge (Puffer)*, *überwachte Robotersteuerung*, *sichere kontaktbehaftete oder sichere elektronische Achsnocken*,

⁶⁵ Vgl.: [Matthes / Schneider], S.279, 420, 449.

Vgl.: [Hiersig], S.41.

*Lichtschranken bzw. -vorhänge, Sensoren zur Erkennung von Personen oder Kraft- und Bremssystemen am IR zu realisieren.*⁶⁶

5.3 Personalqualifikation

Unabhängig vom Einsatzbereich und der Schweißaufgabe ist die Erzeugung von Schweißnähten durch qualifiziertes Personal zu generieren. Bei den üblichen Schweißverfahren wird diese Qualifikation durch eine Schweißerprüfung nach DIN EN ISO 9606 ff. abgedeckt. Für ein vollmechanisiertes bzw. teilweise automatisiertes Schweißverfahren reicht jedoch eine standardisierte Schweißerprüfung nicht mehr aus, um an den entsprechenden Anlagen Schweißarbeiten durchführen zu können. Demnach werden neben der Ausbildung im Bedienen und Einrichten der Schweißautomaten nach DIN EN ISO 14732 noch weitere Kenntnisse in Bereichen der Schweißdatenüberwachung, Qualitätsbeurteilung von Schweißnähten und Korrektur von Schweißparametern übermittelt. Das eingesetzte Schweißpersonal soll Verständnis für den Schweißprozess und die Bedienung der Schweißanlage zeigen und damit nachweisen, dass es sowohl die Schweißmaschine, als auch den Schweißprozess beherrscht. Allerdings ist zu erwähnen, dass das Gelernte in regelmäßigen Zeitabständen aufgefrischt und mit neuen Erkenntnissen erweitert wird. Hierzu bieten die meisten Anlagenhersteller eine Vielzahl an Bediener-, Programmier- und Wartungskursen, um das Potenzial von Maschinen und der Software bestmöglich ausnutzen zu können.⁶⁷

5.4 Räumliche Begebenheiten

Für die Gestaltung eines geeigneten Anlagenkonzeptes richten sich die räumlichen Begebenheiten in der Regel nach den Abmessungen der geschweißten Teile sowie dem angewendeten Schweißverfahren. So werden zum Beispiel um den Platzbedarf minimal halten zu können, Anlagen die als kompakte kabinenförmige Zellen ausgeführt werden eingesetzt, welche zur Erhöhung der Zugänglichkeit noch zusätzlich mit externen Achsen optimiert (z.B. Roboter in hängender Position auf Linien- oder Flächenportalen) werden. Verfahrensabhängig müssen jedoch alle Anlagenkonzepte mit Sicherheitsvorrichtungen (z.B. Abschirmungen des Arbeitsbereichs, Absaug- und Filteranlagen, usw., siehe Kapitel 5.2.7) und prozessunterstützende Technologien (z.B. Schutzgaszufuhrkomponenten beim Laserschweißen oder Wende- und Werkstückpositionierer usw.) ausgerüstet werden.

⁶⁶ Vgl.: [arbeitssicherheit], Abschnitt 4.2: Industrieroboter (DGUV Information 209-074).

Vgl.: [Hesse], S.352.

⁶⁷ Vgl.: [DVS_9], S.57.

Vgl.: [DVS_11], S.38.

Vgl.: [Kuhlmann], S.367.

6 Parameterformulierung und Verfahrensqualifikation

Für eine zielgerichtete Untersuchung des Marktes auf entsprechende mechanisierte Anlagenkonzepte, wurden als erstes die einzelnen firmeninternen Anforderungskriterien festgelegt, welche sich aus der Sicht des Unternehmens als entscheidend bei der Wahl einer passenden Schweißtechnologie erweisen sollten.

6.1 Definieren von Anforderungskriterien

Die Anforderungen wurden zum einen anhand einer Teileanalyse (Tab.12) der im Betrieb gefertigten Werkstücke aus laufender Produktion erstellt und zum anderen durch die Geschäftsführung vordefiniert (Tab.13). Die notwendigen Informationen zur Erstellung besagter Teilecharakteristik ergaben sich aus den Gesprächen mit den einzelnen Projektmanagern (PM). Diese wurden protokolliert und wie folgt zusammengefasst.

Pos.	Auswertungsmerkmale	Bauteilanalyse	PM	Auswertung
1	Stückzahlen	hauptsächlich Einzelteile	Hr.W	Einzelteil / Kleinserie (unter 20 Stück pro Monat.)
		Einzelteil / Kleinserie	Hr.D	
		Einzelteil / Kleinserie	Hr.M	
		Einzelteil / Kleinserie	Hr.We	
		Kleinserie - Mittelserie	Hr.K	
2	Teileformat	bis 3000mm x 1500mm	Hr.W	bis 3000mm x 1500mm
		bis 800mm x 600mm	Hr.D	
		bis 4000mm und mehr	Hr.M	
		bis 3000mm x 1500mm	Hr.We	
		bis 3000mm x 1500mm	Hr.K	
3	Materialdicken	1,5mm - 20mm	Hr.W	1,0mm - 20mm
		1,0mm - 10mm	Hr.D	
		1,0mm - 60mm	Hr.M	
		2,0mm - 15mm	Hr.We	
		1,5mm - 5mm	Hr.K	
4	Werkstoffe	Baustahl, Edelstahl, evtl. Aluminium	Hr.W	Baustahl, Edelstahl, evtl. Aluminium
		Edelstahl	Hr.D	
		Baustahl, Edelstahl, evtl. Aluminium	Hr.M	
		Baustahl, Edelstahl, evtl. Aluminium	Hr.We	
		Baustahl, Edelstahl, evtl. Aluminium	Hr.K	
5	Komplexität der Teile	einfache bis komplizierte Baugruppen	Hr.W	einfache bis komplizierte Baugruppen
		einfache Teile und Baugruppen	Hr.D	
		komplizierte Teile und Baugruppen	Hr.M	
		einfache bis komplizierte Baugruppen	Hr.We	
		einfache bis komplizierte Baugruppen	Hr.K	
6	Vorrichtungen	auftragsabhängig	Hr.W	auftragsabhängig
		einfache Vorrichtungen	Hr.D	
		Sondervorrichtungen	Hr.M	
		einfache Vorrichtungen	Hr.We	
		auftragsabhängig	Hr.K	

Tab. 12: Bauteilanalyse der KIEL Zulieferungen GmbH

Mit Hilfe dieser beiden Übersichten sollte anschließend als erstes eine Auswahl, der für das mechanisierte Schweißen am besten geeigneten Schmelzschweißverfahren, getroffen werden. Hierzu wurden die einzelnen Prozesse (Kapitel 4.3) in Bezug auf einige ausgewählte, firmenspezifische Rahmenbedingungen untersucht.

Pos.	Anforderungsmerkmal	Firmenwunsch
1	Stückzahlen *	Kleinserie bis Mittelserie (20 - 1000 Stück pro Monat.)
2	Teileformat	bis 3000mm x 1500mm
3	Materialdicken	1mm - 10mm
4	Werkstoffe	Baustahl, Edelstahl, evtl. Aluminium
5	Vorrichtungen	Baukastenvorrichtungen
6	Personenbedarf	max. 1 Programmierer max. 1 Anlagenbediener

* Einzel- und Kleinserienfertigung → unter 20 Stück pro Monat.

Mittelserienfertigung → 20 - 1000 Stück pro Monat.

Großserienfertigung → über 1000 Stück pro Monat.

Tab. 13: Anforderungen von der Geschäftsführung

In den Betrachtungen sollte insbesondere zum einen die Qualifikation des Verfahrens für Schweißungen komplexer 3D - Baugruppen* geprüft werden. Des Weiteren galt die Prozesswirtschaftlichkeit aufgrund von Stückzahlen** und Kosten*, als auch das Maß für die erforderlichen Vorbereitungsmaßnahmen*, zu untersuchen und ebenfalls zu beurteilen. Zusätzlich war es zu prüfen inwieweit die für den Prozess bewährten, üblichen Materialdicken** und Werkstoffe** den geforderten Kriterien des Unternehmens entsprachen bzw. diese erfüllten.

* allgemeine Vergleichspunkte

** unternehmensspezifische Anforderungen

6.2 Auswahl geeigneter Schmelzscheidverfahren

Für die Qualifizierung und Beurteilung einzelner Schweißprinzipien (UP - Schweißen, MSG - Schweißen, WSG - Schweißen, LA - Schweißen, EB - Schweißen, RES - Schweißen) wurde eine Bewertungsskala eingeführt. Anhand dieser sollte eine systematische Verfahrensauswahl resultierend aus einer Punktevergabe und einer abschließenden Auswertung durchgeführt werden. Die Wertigkeit einzelner Beurteilungspunkte setzte sich folgendermaßen zusammen.

- nicht erfüllt bzw. hoch → (0) Punkte
- zum Teil erfüllt bzw. mittel → (1) Punkte
- voll erfüllt bzw. gering → (3) Punkte

6.2.1 Ergebnisse aus der Verfahrensqualifikation

UP - Schweißen

Pos.	Bewertungskriterien	Verfahreneigenschaften	Wertung
1	Fertigung komplexer 3D - Baugruppen	Ist begrenzt in der Auswahl der Schweißpositionen. D.h. Ohne zusätzliche Hilfseinrichtungen ist ein Schweißen nur in Horizontal- und Wannelage möglich.	(0)
1.1	Verfahrensflexibilität	Korrekturen während des Schweißens nur geringfügig möglich. D.h. Einfluss auf das Ergebnis beschränkt.	(1)
1.2	Verbindungsqualität	Hohe Festigkeit der Naht und eine gleichmäßige Nahtgüte, bei einer wiederkehrenden und gleichbleibenden Nahtqualität.	(3)
2	Wirtschaftlichkeit		
2.1	Stückzahlen (<i>Kleinserie bis Mittelserie</i>)	Ein wirtschaftliches Arbeiten ist erst ab größeren Stückzahlen möglich. D.h. Einzel- bis Kleinserie möglich.	(1)
2.2	Vorbereitungsaufwand	Eine gründliche Vorbereitung der Nahtfuge vor dem Schweißen und eine Badsicherung der Wurzellagen sind erforderlich.	(0)
2.3	Kosten	Geringe Lohn- und Anschaffungskosten, verhältnismäßig günstige Zusatzwerkstoffe.	(3)
3	Materialstärken (<i>1mm bis 10mm</i>)	Prozess wird vorwiegend bei Blechen mit Dicken > 10mm angewendet. Kleinere Dicken sind ebenfalls möglich, wirtschaftlich erst ab 4mm.	(1)
4	Werkstoffe (<i>Baustahl, Edelstahl, evtl. Aluminium</i>)	Un- und niederlegierte, Hochfeste und hochlegierte Stähle.	(3)
Gesamt:			(12)

Tab. 14: Prozessbewertung UP - Schweißen

MSG - Schweißen

Pos.	Bewertungskriterien	Verfahreneigenschaften	Wertung
1	Fertigung komplexer 3D - Baugruppen	Die Vielzahl möglicher Schweißpositionen erlaubt ein Schweißen von sehr komplexen Bahnverläufen an dreidimensionalen Schweißteilen.	(3)
1.1	Verfahrensflexibilität	In Verbindung mit gut mechanisierbaren Anlagen ist ein Fügen unterschiedlicher Teile bei hoher Prozessflexibilität realisierbar.	(3)
1.2	Verbindungsqualität	Geringer Verzug der geschweißten Teile, schlackenfreie Nähte von guter Qualität, Unregelmäßigkeiten (Bindefehlern und Poren).	(1)
2	Wirtschaftlichkeit		
2.1	Stückzahlen (<i>Kleinserie bis Mittelserie</i>)	Prozess erlaubt Fertigung von kleiner bis mittlerer Seriengrößen bei hoher Produktivität.	(3)
2.2	Vorbereitungsaufwand	Je nach Schweißaufgabe unterschiedlich.	(1)
2.3	Kosten	Verhältnismäßig geringe Investitions- und Prozesskosten.	(3)
3	Materialstärken (<i>1mm bis 10mm</i>)	Bei geeigneter Fugenvorbereitung für Dicken < 100mm einsetzbar.	(3)
4	Werkstoffe (<i>Baustahl, Edelstahl, evtl. Aluminium</i>)	MSG erlaubt das Fügen aller metallischer Werkstoffe. (mit (MAG) alle Stahlsorten und mit (MIG) Aluminiumlegierungen)	(3)
Gesamt:			(20)

Tab. 15: Prozessbewertung MSG - Schweißen

WSG - Schweißen (WIG)

Pos.	Bewertungskriterien	Verfahrenseigenschaften	Wertung
1	Fertigung komplexer 3D - Baugruppen	Ist aufgrund der Möglichkeit des Schweißens in allen Positionen universell einsetzbar.	(3)
1.1	Verfahrensflexibilität	Kombinierbar mit anderen produktiven Schweißtechniken (MIG/MAG). Lichtbogenleistung lässt sich einfach kontrollieren und es besteht kein Einfluss durch das Schutzgas.	(3)
1.2	Verbindungsqualität	Glatte und ebene Nähte ohne Spritzer und Schlacken, mit einer sehr hohen Qualität der Schweißverbindung. Ein starker Verzug der Fügepartner aufgrund der geringen Schweißgeschwindigkeit.	(1)
2	Wirtschaftlichkeit		
2.1	Stückzahlen (<i>Kleinserie bis Mittelserie</i>)	Es ist ein langsames Verfahren mit geringer Produktivität, einzeln daher eher für Einzel- bis Kleinserienfertigung geeignet.	(1)
2.2	Vorbereitungsaufwand	Je nach Schweißaufgabe unterschiedlich.	(1)
2.3	Kosten	Investitions- und Prozesskosten verhältnismäßig gering.	(3)
3	Materialstärken (<i>1mm bis 10mm</i>)	Dicken von 0,5mm bis 5mm haben sich bewährt. Dickere Verbindungen sind mit anderen Verfahren wirtschaftlicher.	(1)
4	Werkstoffe (<i>Baustahl, Edelstahl, evtl. Aluminium</i>)	Materialbezogen kann dieser Prozess nahezu zum Schweißen aller metallischen Werkstoffe eingesetzt werden.	(3)
Gesamt:			(16)

Tab. 16: Prozessbewertung WSG (WIG) - Schweißen

WSG - Schweißen (WP)

Pos.	Bewertungskriterien	Verfahrenseigenschaften	Wertung
1	Fertigung komplexer 3D - Baugruppen	Schweißarbeiten überwiegend in PA-Position, die PB- und PC-Positionen sind nur bedingt möglich.	(1)
1.1	Verfahrensflexibilität	Negativ ist eine beschränkte Zugänglichkeit als auch eine eingeschränkte Sicht auf die Schweißstelle.	(1)
1.2	Verbindungsqualität	Tiefer Einbrand besonders im I – Stoß, geringfügiger Verzug der Bauteile, sehr hohe Nahtqualitäten sind erreichbar.	(3)
2	Wirtschaftlichkeit		
2.1	Stückzahlen (<i>Kleinserie bis Mittelserie</i>)	Es ist ein schnelles Verfahren mit hoher Produktivität, Kleinserie bis Mittelserie möglich.	(3)
2.2	Vorbereitungsaufwand	Schweißnahtvorbereitungen (ohne Spalt) erfordern besondere Maßnahmen in Bezug auf die Genauigkeit der Schweißvorrichtungen.	(0)
2.3	Kosten	Hohe Investitionskosten, Sondervorrichtungen.	(1)
3	Materialstärken (<i>1mm bis 10mm</i>)	Ohne besondere Fugenvorbereitung alle Dicken < 10mm möglich.	(3)
4	Werkstoffe (<i>Baustahl, Edelstahl, evtl. Aluminium</i>)	Materialbezogen kann dieser Prozess nahezu zum Schweißen von allen metallischen Werkstoffen eingesetzt werden.	(3)
Gesamt:			(15)

Tab. 17: Prozessbewertung WSG (WP) - Schweißen

LA - Schweißen

Pos.	Bewertungskriterien	Verfahrenseigenschaften	Wertung
1	Fertigung komplexer 3D - Baugruppen	Hat die Gegebenheit Schweißungen an schwer zugänglichen Stellen des Werkstücks ausführen zu können. D.h. vielseitiges 3D – Potential.	(3)
1.1	Verfahrensflexibilität	Hoher Automatisierungsgrad sowie eine gute, einseitige Zugänglichkeit des Laserstrahls. Laserschneiden ist ebenfalls möglich.	(3)
1.2	Verbindungsqualität	Qualitativ sehr hochwertige Nähte mit einer schmalen Wärmeeinflusszone, geringer Verzug der Fügepartner, geringe Spritzerbildung und die daraus resultierende, gute Nahtoberfläche.	(3)
2	Wirtschaftlichkeit		
2.1	Stückzahlen (<i>Kleinserie bis Mittelserie</i>)	Es ist ein schnelles Verfahren mit hoher Produktivität, vorwiegend mechanisch, Kleinserie bis Mittelserie möglich.	(3)
2.2	Vorbereitungsaufwand	Die engen Toleranzen der zulässigen Spaltbreiten erfordern besondere Maßnahmen in Bezug auf die Genauigkeit der Schweißvorrichtungen. Mit Zusatzwerkstoff und in Kombinationen mit anderen Verfahren überbrückbar.	(1)
2.3	Kosten	Anschaffung und Wartung der Schweißanlagen, sind mit einem kostenintensiven Aufwand verbunden. Sondervorrichtungen.	(0)
3	Materialstärken (<i>1mm bis 10mm</i>)	Dicken von 0,01mm bis 10mm möglich.	(3)
4	Werkstoffe (<i>Baustahl, Edelstahl, evtl. Aluminium</i>)	Werkstücke artgleicher oder unterschiedlicher Werkstoffe sind realisierbar.	(3)
Gesamt:			(19)

Tab. 18: Prozessbewertung LA - Schweißen

EB - Schweißen

Pos.	Bewertungskriterien	Verfahrenseigenschaften	Wertung
1	Fertigung komplexer 3D - Baugruppen	Haben die Gegebenheit Schweißungen an schwer zugänglichen Stellen des Werkstücks ausführen zu können. D.h. vielseitiges 3D – Potential.	(3)
1.1	Verfahrensflexibilität	Hoher Automatisierungsgrad. Bauteilmaße sind jedoch von der Größe der erforderlichen und aufwendigen Vakuumkammer abhängig.	(1)
1.2	Verbindungsqualität	Sehr hochwertige Nähte mit einer schmalen Wärmeeinflusszone, kleine Eigenspannungen, geringer Verzug der Fügepartner, geringe Spritzerbildung und die daraus resultierende, gute Nahtoberfläche.	(3)
2	Wirtschaftlichkeit		
2.1	Stückzahlen (<i>Kleinserie bis Mittelserie</i>)	Es ist ein schnelles Verfahren mit hoher Produktivität, vorwiegend zum Schweißen von kleinen und hoch beanspruchten, kostenintensiven Teilen. Einzel- bis Kleinserie.	(1)
2.2	Vorbereitungsaufwand	Die engen Toleranzen der zulässigen Spaltbreiten erfordern besondere Maßnahmen in Bezug auf die Genauigkeit der Schweißvorrichtungen. Teile müssen vor dem Schweißen eben, sauber und frei von Rückständen sein.	(0)
2.3	Kosten	Anschaffung und Wartung der Anlagen, sind mit einem kostenintensiven Aufwand verbunden. Sondervorrichtungen.	(0)
3	Materialstärken (<i>1mm bis 10mm</i>)	Wirtschaftliche Dicken von 0,01mm bis ca. 200mm möglich.	(3)
4	Werkstoffe (<i>Baustahl, Edelstahl, evtl. Aluminium</i>)	Alle metallischen, leitenden Werkstoffe (besonders gut geeignet für hochschmelzende bzw. gasempfindliche Metalle und Legierungen)	(3)
Gesamt:			(14)

Tab. 19: Prozessbewertung EB - Schweißen

RES - Schweißen

Pos.	Bewertungskriterien	Verfahreigenschaften	Wertung
1	Fertigung komplexer 3D - Baugruppen	Eingeschränkte Gegebenheit bezüglich der Schweißpositionen. (vorwiegend I - Stöße in senkrechter Position).	(0)
1.1	Verfahrensflexibilität	Jede Unterbrechung des Schweißvorganges führt Fehlstellen herbei, die nur unter großen Schwierigkeiten beseitigt werden.	(0)
1.2	Verbindungsqualität	Kaum Fehler im Gefüge, (wenn keine Unterbrechungen) sowie saubere Nähte mit hohen Härtewerten.	(3)
2	Wirtschaftlichkeit		
2.1	Stückzahlen (Kleinserie bis Mittelserie)	Es ist ein langsames Verfahren mit geringer Produktivität, dass vorwiegend zum Schweißen von großer, dickwandiger Teile genutzt wird. Einzel- bis Kleinserie.	(1)
2.2	Vorbereitungsaufwand	Die Schweißteile sind exakt zueinander auszurichten. Es gilt einen Schweißspalt von etwa 30mm einzuhalten.	(0)
2.3	Kosten	Geringe Anschaffungs- und Wartungskosten, basierend auf die niedrige Anlagenkomplexität.	(3)
3	Materialstärken (1mm bis 10mm)	Dicken > 10mm.	(1)
4	Werkstoffe (Baustahl, Edelstahl, evtl. Aluminium)	Überwiegend unlegierte und niedrig legierte Stähle.	(3)
Gesamt:			(11)

Tab. 20: Prozessbewertung RES - Schweißen

Nach dem Bewertungsvorgang wurden für alle Verfahren Zwischenergebnisse errechnet und in einer gemeinsamen Übersicht (Diagramm 1) zusammenfassend wie folgt gegenübergestellt.

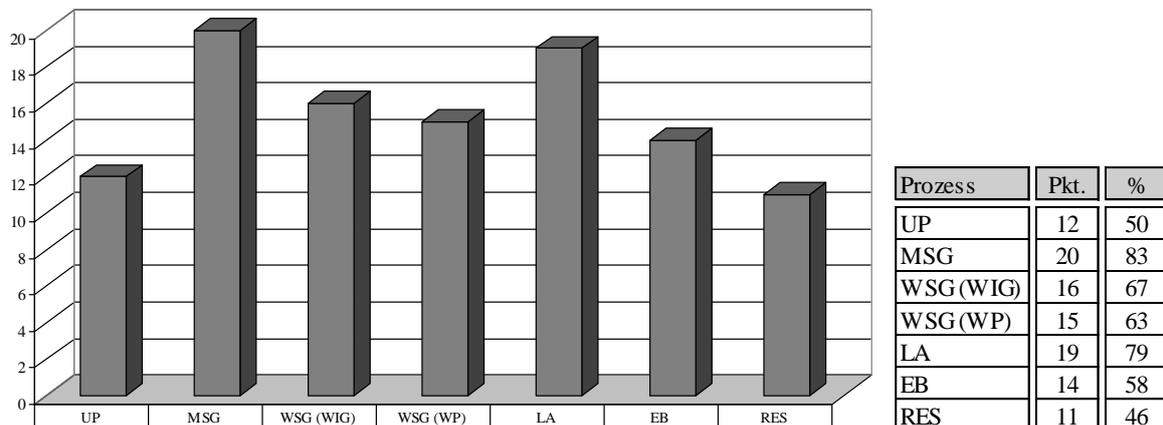


Diagramm 1: Ergebnisse aus der Prozessbewertung

Aus etwaiger Darstellung ließ sich ableiten, dass insgesamt zwei Verfahrenstechniken die aufgrund ihrer spezifischen und allgemeinen Eigenschaften in mehreren Bewertungspunkten (beide ca. 80 % von den möglichen 24 Punkten) überzeugt haben bzw. die geforderten, festgelegten Bedingungen am meisten erfüllten. Somit konnten das **Metallschutzgasschweißen** und das **Laserstrahlschweißen** für den weiteren Verlauf dieser Arbeit als die beiden favorisierten Prozesse festgelegt werden.

7 Dreidimensionale Schweißmöglichkeiten

Die Hauptaufgabe der in diesem Kapitel durchzuführender, systematischer Untersuchungen war eine technologisch orientierte Recherche gegenwärtiger Schweißtechnologien mit dem Zweck der Gewinnung, Auswertung und Interpretation gesammelter Informationen. Etwaige Auskünfte zu den einzelnen Anlagen wurden größtenteils von diversen, führenden Anbietern auf ihren Onlineportalen in Form von umfangreicher Produktbeschreibung zur Verfügung gestellt. Beim Fehlen einiger wichtiger Parameterangaben wurden diese nachhaltig über telefonisch geführte Fachgespräche mit den zuständigen Ansprechpartnern ermittelt und ebenfalls ausgewertet.

7.1 Marktanalyse geeigneter 3D - Schmelzschweißtechnologien

Nach dem im Abschnitt 6.2 eine ausführliche Qualifizierung favorisierter Schweißverfahren anhand spezifischer Anforderungen durchgeführt wurde, sollte basierend darauf eine ebenfalls weitgehend umfassende Datensammlung über derzeit mögliche Anlagenausführungen zusammengestellt werden. Hierzu galt es diese nach folgenden Charakterisierungsparametern zu untersuchen und auszuwerten.

- Anlagenausführungen
- Maschinenabmessungen (Kabinenabmessungen)
- Arbeitsraum (max. mögliche Werkstückabmessungen)
- Kombinationsmöglichkeiten (Baukastenfähigkeit, Verfahrensflexibilität)
- Zugänglichkeit (Ausrichtung des Bearbeitungskopfes)
- Positioniereinrichtungen / Vorrichtungen
- Programmierung (z.B. Offline- / Online - Programmierung)
- Prozessüberwachung (z.B. Sensorik)
- Umweltschutz (z.B. Absaugvorrichtung, Anlageneinhausung)

7.1.1 Anlagenübersicht

An erster Stelle wurde in der Tabelle 21 ein zusammenfassender Überblick zu einigen ausgewählten Herstellern und den von ihnen angebotenen Anlagenkonzepten zusammengetragen. Hierzu wurden aufgrund einer hohen Vielzahl der auf dem Markt vorhandenen Technologien zur Eingrenzung nur bestimmte Anbieter betrachtet, welche bereits standardisierte und schlüsselfertige, dennoch weiterhin erweiterbare Anlagen für dreidimensionale Schweißbearbeitungen zur Verfügung bereitstellten. Hiernach konnten Informationen für insgesamt sieben folgende unterschiedlich ausgeführte Schweißtechnologien zusammengetragen werden.

7 Dreidimensionale Schweißmöglichkeiten

Pos	Firma	Kontakt	Anlagenkonzept	Prozess
1		TRUMPF GmbH + Co. KG Johann-Maus-Str. 2 D - 71254 Ditzingen	TruLaserRobot 5020	Laserschweißen
		Tel.: +49 (0) 7156 303-0 Fax: 07156 303930309 E - Mail: info@de.trumpf.com	TruLaserCell Series 7040	Laserschweißen Laserschneiden
2		AKON Robotics Oppenheimer Straße 21 D - 28307 Bremen	Schweißroboter - Anlage Typ ASA - 1003	MSG - Schweißen (MAG)
		Tel.: +49 (0) 421 322 63 - 6 Fax: +49 (0) 421 322 63 - 71 Internet: www.akon.de E - Mail: info@akon-robotics.de	Schweißroboter - Anlage Typ ASA - 1012	MSG - Schweißen (MIG)
3		AMADA GmbH Amada Allee 1 D - 42781 Haan	Faser - Laser - Technologie FLW - 4000 III	Laserschweißen
4		FÖRSTER welding systems GmbH Gewerbering 21-23 D - 09337 Hohenstein-Ernstthal	Roboterschweißanlagen zum Fertigen schwerer Bauteile	MAG - Schweißen
		Telefon: +49 (0) 3723-4018-0 Telefax: +49 (0) 3723-4018-18 Internet: www.forster-welding-systems.com E - Mail: info@weldingsystems.de		
5		ABB Automation GmbH Unternehmensbereich Robotics Grüner Weg 6 D - 61169 Friedberg	ABB Flex Arc Welding Cell	MSG - Schweißen
		Telefon: +49 (0) 6031 85-0 Internet: www.abb.de/robotics E - Mail: bettina.neubauer@de.abb.com		

Tab. 21: Firmen- und Anlagenübersicht

7.1.1.1 Anlagenkonzepte der TRUMPF GmbH & Co KG

Folgender Abschnitt umfasst zwei unterschiedlich ausgeführte Technologien für das automatisierte Laserschweißen.

Die erste zu betrachtende Anlagenmöglichkeit ist die **TruLaserRobot5020** aus der TruLaserWeld5000er Serie. Es ist ein schlüsselfertiges und modular aufgebautes System, welches mit einem Roboter, Laser (TruDisk mit bis zu $W_{\max} = 16000\text{W}$), einer fliegenden Bearbeitungsoptik, Schutzkabine und bewegten Positioniereinheiten ausgestattet wird. Dieses Maschinenkonzept ermöglicht Fertigung kleiner Stückzahlen bis hin zu Großserien und ist

aufgrund unterschiedlicher Automatisierungslösungen bestens geeignet zur Bearbeitung komplexer Geometrien.



Abb. 35: TruLaserRobot5020 der Firma TRUMPF GmbH & Co. KG (Quelle:/51/)

Hierbei erlaubt die besagte modulare Bauweise die Maschine an die unternehmensspezifischen Anforderungen mühelos anpassen zu können, wonach diese sich aus ausgefeilten Standardkomponenten individuell zusammensetzen lässt. Weiterhin ist es möglich verschiedene Schweißverfahren wie Wärmeleit-, Tief-, Laserauftragschweißen, Remote - Schweißen oder das neue FusionLine in einem System realisieren zu können. Die letzte Verfahrensvariante wurde speziell für den Einstieg in das Laserschweißen entwickelt, um dieses so einfach wie möglich gestalten zu können. Die besagte Variante erlaubt Spalte bis zu 1 mm Breite zu schließen und somit wirtschaftlich Laserschweißen zu können, ohne das aktuelle Bauteilportfolio des Unternehmens für das Laserschweißen zusätzlich optimieren zu müssen.

Die wichtigsten Maschinenbestandteile wurden zu Beginn bereits genannt. Hierbei ist der Roboter jene Anlagenkomponente, welche für die Bewegung der Bearbeitungsoptik zuständig ist. Bei diesem handelt es sich um einen sechsachsigen High - Accuracy - Roboter (Wiederholgenauigkeit: $\pm 0,05\text{mm}$, Traglast: 30kg) mit einer Standardsteuerung (Abb.36) und einem von der Firma TRUMPF speziell entwickelten, vielseitigen Programmiersystem. Mit der zugehörigen Offline - Programmiersoftware (TruTopsCell) können gängige 3 - D - CAD - Daten importiert, aufbereitet und Roboterprogramme automatisch erzeugt werden. Des Weiteren lassen sich mit ihr Simulationen durchführen, um die Bauteilzugänglichkeit zu überprüfen und um Kollisionen bereits im Vorfeld zu erkennen. Die dabei von der Software gegebene Möglichkeit einer Offline - Programmierung erlaubt es Programme während eine Maschine produziert zu erstellen, wodurch die Anlagenverfügbarkeit deutlich erhöht wird.

Eine weitere sich ebenfalls auf die Zeitvariable positiv auswirkende Technologie liefert die Gegebenheit eine Bearbeitungsoptik mit einem drehbaren Modul (Abb.36) für die Gaszuführung einsetzen zu können. Hierbei dreht sich die Schutzgasdüse stufenlos um die Optik herum, wodurch ein ständiges umorientieren des Roboters vermieden wird. Das führt dazu, dass die Bauteile besser zugänglich und deutlich schneller geschweißt werden, wonach der Aufwand für Spanntechnik und Programmierung ebenfalls reduziert wird.



Abb. 36: High - Accuracy - Roboter (Links), Bearbeitungsoptik mit einem drehbaren Modul (Rechts) (Quelle: /51/)

Eine nächste wichtige Maschinenkomponente bildet die Laserstrahlquelle. An dieser Stelle bieten sich unterschiedliche Hochleistungsfestkörperlaser der Reihe TruDisk (Tab.22) an, welche im Allgemeinen zum Schweißen, Schneiden und zur Oberflächenbearbeitung von Metallen eingesetzt werden. Die TruDisk - Laser sind modular aufgebaute Lasersysteme (Strahlführung, Stromversorgung, Kühlung und Steuerung in einem kompakten Gehäuse untergebracht und perfekt aufeinander abgestimmt), welche als äußerst zuverlässig und robust ausgeführt werden. Diese eignen sich insbesondere für Anwendungen, wo hohe Leistung bei gleichzeitig höchster Strahlqualität vorausgesetzt wird. Weitere Bestandteile dieser Technologie stellen verschiedene Werkstückpositionierer (max. Arbeitsräume siehe Tab.22) mit variablen Aufstellvarianten dar. Hierzu stehen drei Tische zur Auswahl, welche flexibel und individuell mit dem Roboter kombiniert werden können. Diese sind: Ein Dreh - Kipp - Positionierer (Abb.37) mit einer in die Robotersteuerung integrierten NC - Rundachse, mit Gegebenheit Schweißarbeiten auch an schwer zugänglichen Bauteilen in nur einer Aufspannung ausführen zu können. Des Weiteren ein Zwei - Stationen - Drehtisch (Abb.37), mit dem ein Rüsten während des Schweißvorgangs außerhalb der Zelle gewährt werden kann. Die dritte Möglichkeit ist ein automatischer Rotationswechsler (Abb.37), welcher sich als eine Dreheinheit mit integrierter Wendeachse realisieren lässt. Diese erlaubt ein Rüsten nicht nur hauptzeitparallel, sondern auch vollautomatisch. In Bezug auf die Positionierer bietet TRUMPF ebenfalls einige Möglichkeiten für eine geeignete und sichere

Werkstückeinspannung. Da die geforderten engen Toleranzen der zulässigen Spaltbreiten für Einsteiger ins Laserschweißen oft das Gestalten von Spannvorrichtungen zu einer Herausforderung machen, wurden sogenannte modulare Spannsysteme entwickelt.



Abb. 37: Dreh - Kipp - Positionierer (Links), Zwei - Stationen - Drehtisch (Mitte), Rotationswechsler (Rechts) (Quelle: /51/)

Das modulare Spannsystem (Abb.38) ermöglicht ein Fixieren von Bauteilen unterschiedlicher Größe und Form mit nur einer Vorrichtung. Bei komplizierten und besonders aufwendigen Schweißteilen, dessen Umsetzung mit Hilfe erwähnter modularer Vorrichtungen nicht unterschätzt wird, bietet der Anlagenhersteller Workshops zur Laserschweißgestaltung sowie Vorrichtungsgestaltung an. Dort sollen konstruktive und fertigungstechnische Kenntnisse übermittelt werden, um die Vorteile des Laserschweißens effektiv bei der Gestaltung der Bauteile und Schweißvorrichtungen ausnutzen zu können.

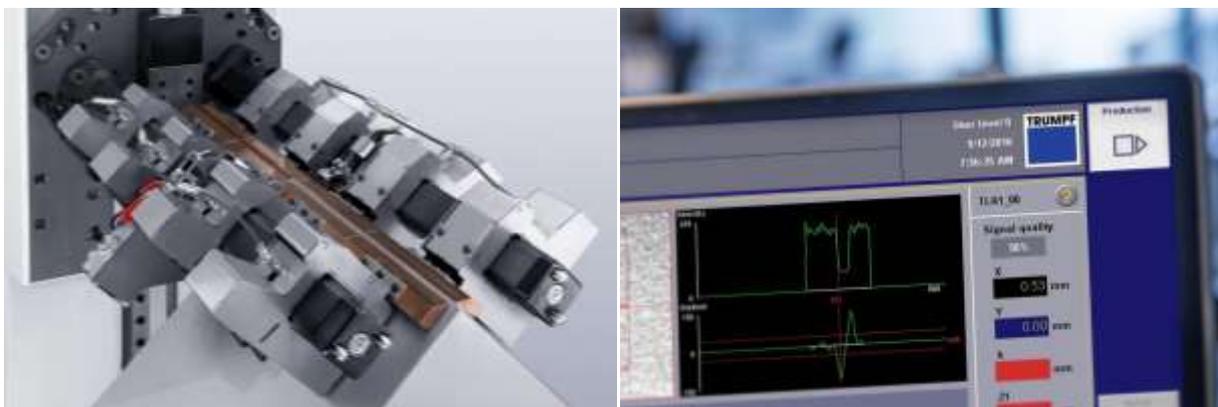


Abb. 38: Modulares Spannsystem (Links), TeachLine - Software (Rechts) (Quelle: /51/)

Als Prozessüberwachungseinheit dient das Offline - Sensorsystem TeachLine (Abb.38) mit dem das Schweißen der Bauteile kein zeitintensives Nachteachen erfordert. Hierbei erkennen und korrigieren die Sensoren mit Hilfe des Lichtschnittverfahrens automatisch die Platzierung der Naht, selbst dann wenn deren Ist - Position leicht von der Soll - Position abweichen sollte. In Bezug auf den Umweltschutz überzeugt die Anlage durch ihre kabinenförmige Einhausung. Diese schützt den Bediener und Beobachter vor den Gefahren des stark fokussierten und kohärenten Lichtes sowie vor eventuellen Kollisionen mit bewegten Anlagenkomponenten. Zusätzliche Elemente, wie ein Statusmonitor und große Fenster,

machen es möglich den Stand des aktuellen Auftrages gefahrlos überwachen zu können, ohne sich in den Arbeitsbereich der Anlage begeben zu müssen. Bei Bedarf gewährt eine automatisierte Tür einen schnellen Zugang in die Schweißkabine, die einen laufenden Prozess sofort unterbricht sobald diese geöffnet wird, wodurch der Bediener gefahrlos das Fertigungsumfeld betreten könnte.

Zusammenfassend stellt der Anlagenhersteller für eine optimale Umsetzung der dargelegten Technologie eine Vielzahl verschiedener Anlagentechnologien (Tab.22) zur Auswahl. Einige Angaben sind Richtwerte, die sich im weiteren Verlauf der Maschinenplanung, infolge kundenspezifischer Angaben und bestimmter Einflussfaktoren, noch ändern sollten.

Technische Daten							
Schweißkabine							
Mögliche Kabinenabmessungen	mm	4800 x 4800 x 3200	4800 x 5950 x 3200	5950 x 4800 x 3200	5950 x 5950 x 3200	7200 x 4800 x 3200	
Max. Arbeitsraum							
Dreh - Kipp - Tisch	mm	2000 x 1000 x 700					
Zwei - Stationen - Drehtisch	mm	1600 x 800 x 1200					
Rotationswechsler	mm	2000 x 1000 x 1100					
Max. Beladung							
Dreh - Kipp - Tisch*	kg	400					
Zwei - Stationen - Drehtisch	kg	250 (pro Seite)					
Rotationswechsler	kg	750					
Laser							
Verfügbare Laser		TruDisk 2000, 3001, 3002, 4001, 4002, 5001, 5002, 6001, 6002, 8001, 8002					
Max. Blechdicken beim Wärmeleitschweißen*							
Leistung	W	2000	3000	4000			
Edelstahl	mm	1,5	2,5	3			
Baustahl	mm	1,5	2,5	3			
Aluminium	mm	1	2	2,5			
Max. Einschweißiefen beim Tiefschweißen**							
Leistung	W	2000	3000	4000	5000	6000	8000
Edelstahl	mm	3	5	7	8	10	11
Baustahl	mm	3	5	7	8	10	11
Aluminium	mm	2	3	4	5	6	7

* Typische Maximalwerte, weitere Breiten-/ Tiefen-/ Höhenverhältnisse möglich.

** Richtwerte: Genaue Maximalwerte sind beispielsweise abhängig von der Materialbeschaffenheit.

Tab. 22: Technische Daten der TruLaserRobot5000er Serie (Quelle: /51/, /I14/, /I15/)

Das zweite Schweißanlagenkonzept der Firma TRUMPF GmbH & Co. KG bildet ein Produkt aus der Serie TruLaserCell 7000. Die **TruLaserCell 7040** (Abb.39) ist ein flexibles, modular aufgebautes und individuell nachrüstbares Lasersystem zur Bearbeitung von 2D / 3D Bauteilen oder Rohren. Dieses stellt ein portalähnliches Anlagenkonzept mit mehreren Linear (X/Y/Z)- und Rotationsachsen (B/C) dar, bei welchem die gewünschte Vorschubbewegung zwischen dem Werkzeug und dem Werkstück durch die Bewegung der Strahlquelle (fliegende Optik) generiert wird. In Bezug auf die Stückzahlen eignet sich folgende Technologie für die

Herstellung von Einzelteilen genauso gut, wie für die Serienfertigung von Werkstücken mit hohen Produktionsmengen. Hierbei lassen sich sowohl dünne, als auch dicke Blechteile aus Baustahl, verzinktem Blech, Aluminium oder Edelstahl Laserschweißen, Laserauftragschweißen und sogar Laserschneiden.



Abb. 39: TruLaserCell7040 der Firma TRUMPF GmbH & Co. KG (Quelle: /51/)

Die modulare Ausführung dieser Schweißzelle nach dem Baukastenprinzip und die dadurch geschaffene Möglichkeit einer gesonderten Anpassung und Nachrüstung, machen es dem Anlagenbetreiber möglich auf sich ändernde Kundenanforderungen jederzeit optimal reagieren zu können. Hierzu bietet TRUMPF in Abhängigkeit vom Aufgabenspektrum unterschiedliche Lösungen an, wie zum Beispiel die Auswahl eines geeigneten Lasers oder einer passenden Positionierungstechnologie.

Als Laser lassen sich zwei verschiedene Ausführungstypen in besagter Anlage integrieren. Eine davon ist der kompakte, thermisch und mechanisch belastbare CO_2 - Laser (*TruFlow*). Dieser verfügt über eine hohe Laserleistung und gute Strahlqualität die von der Länge des Resonators abhängig gemacht werden. Seine Wellenlänge von $10,6 \mu m$ und sein großes Leistungsniveau bis 6000 kW schließen ein breites Umfeld an Anwendungen ein, wonach der TruFlow als vielseitig einsetzbar charakterisiert werden kann. Weitere Lasermerkmale sind die lebenslange Grundjustierung, integrierte, gekapselte Strahlformung sowie eine verschleißfreie Gasumwälzung. Eine Besonderheit im Zusammenhang mit einem Einsatz

derartiger Laserquelle stellt die Verfahrensflexibilität dar. Denn eine für den Festkörperlaser speziell entwickelte 2 in 1 - Faser macht es möglich, dass das Schweißen und Schneiden mit nur einem Laserlichtkabel realisiert werden kann. Beim Wechsel zwischen den beiden Verfahren muss lediglich die Bearbeitungsoptik / Prozessadapter ausgetauscht werden und die Systemsteuerung passt anschließend den Laserstrahl automatisch an (Abb.40).

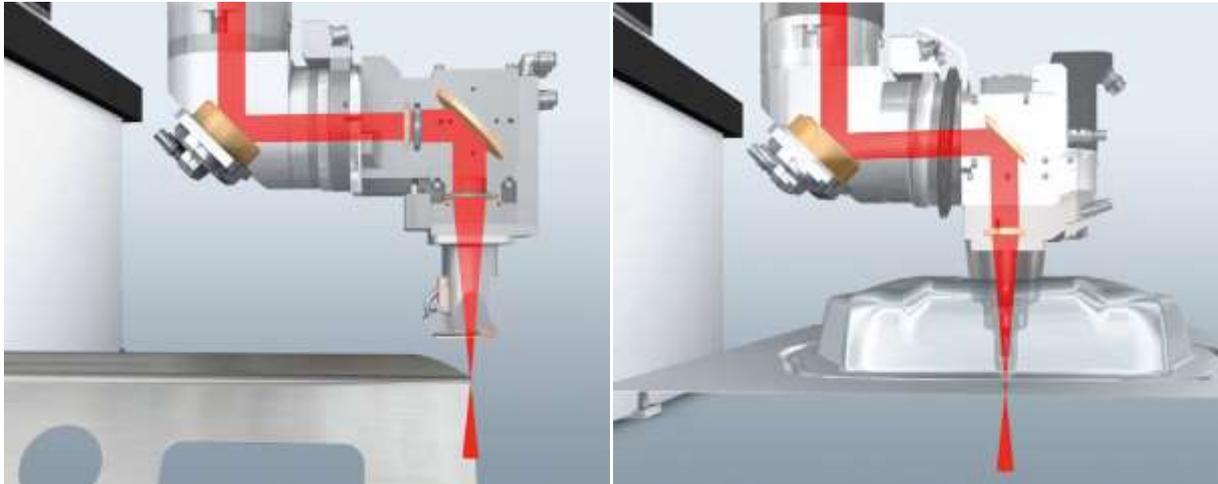


Abb. 40: Technologie Schweißen (Links) und Schneiden (Rechts) (Quelle: /51/)

Die zweite mögliche Lasertechnologie stellt der Hochleistungsfestkörperlaser (TruDisk) mit W_{\max} bis 6600 W dar. Dieser wurde bereits beim TruLaserRobot5020 in Grundzügen vorgestellt und wird daher nicht nochmal thematisiert. Eine detaillierte Beschreibung (Bauformen, Leistungsparameter, Angaben zur Aufstellung usw.) der beiden Strahlquellen sowie die verschiedenen Ausführungsvarianten lassen sich auf der offiziellen Webseite des Anlagenherstellers wiederfinden.

Zu einer wirtschaftlichen Fertigung und einer erhöhten Produktivität, Verkürzung von Nebenzeiten und Beschleunigung von Fertigungsprozessen lässt sich die dargelegte Technologie durch viele zeitsparende Optionen erweitern. Die erste Alternative ermöglicht eine Teilung des Arbeitsraumes in zwei Nutzflächen. Hierzu kann die Anlage unabhängig von der eingesetzten Laserquelle (CO₂ - oder Festkörperlaser) mit einer Trennwand (Abb.41) geteilt werden, um im Zwei - Stationen - Betrieb, gleichzeitig Rüsten, Be- und Entladen und Laserbearbeiten zu können. Eine andere Lösung, besonders in Bezug auf die Zugänglichkeit, um die Be- und Entladevorgänge einfacher gestalten zu können, stellen die Linearwechsler (Abb.41) dar. Die dabei eingesetzten Arbeitstische besagter Linearwechsler lassen sich in alle Achsrichtungen ausfahren wonach die Teile leichter ausgetauscht werden. Für eine Fertigung mit besonders hohen Stückzahlen kann die Anlage mit einem Rotationswechsler (Abb.41) optimiert werden. Der etwaige Rotationswechsler sorgt für einfaches Bauteilhandling an einer Be - und Entladeposition und erhöht dadurch die Produktivität und die Ergonomie der Anlage enorm. Als Gegebenheit für die Erstellung von Programmen zur dreidimensionalen Bearbeitung dient an dieser Stelle ebenfalls die Offline - Programmiersoftware TruTopsCell.

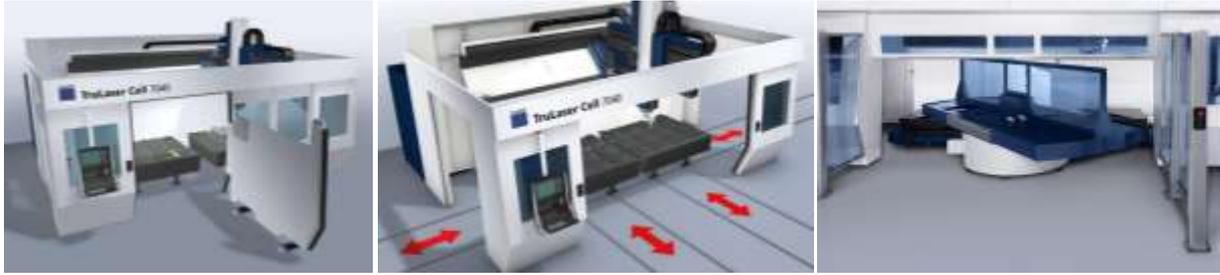


Abb. 41: Trennwand (Links), Linearwechsler (Mitte), Rotationswechsler (Rechts) (Quelle: /51/)

Im Zusammenspiel mit den in der Anlage integrierten Standardoptiken zum Laserschneiden, Laserschweißen oder Laserauftragsschweißen erlaubt diese auch bei folgendem Anlagenkonzept diverse 3D - CAD - Daten erstellen, über zahlreiche Schnittstellen einlesen und bei Bedarf korrigieren zu können. Anbei erzeugt das System automatisch Vorschläge für Schneidprozesse in allen drei Dimensionen und errechnet zeitgleich verschiedene Varianten zur geeigneten Gestaltung von Vorrichtungen. Neben einer von der Produktion unabhängigen Offline - Programmierung ist es ebenfalls möglich mit besagter Software Programme direkt an der Maschine verändern bzw. anpassen zu können. Hierzu befindet sich ein ergonomisches Bedienpult (Abb.42) platzsparend an der Kabine, welches nach Belieben bewegt werden könnte. Ergänzend dazu kann zusätzlich eine 6 - D - Maus (Abb.42) verwendet werden, um ein schnelles Einfahren, Teachen und Verfahren der Achsen noch einfacher realisieren zu können.



Abb. 42: Ergonomisches Bedienpult (Links), 6 - D - Maus (Rechts) (Quelle: /51/)

Ähnlich wie beim Konzept des TruLaserRobot 5020 schützt eine kabinenförmige Einhausung den Bediener und Beobachter vor den Gefahren des Laserstrahls. Hierzu umschließen hochreflektierende Seitenwände und ein absorbierendes Dach den Arbeitsbereich der Anlage (Abb. 43), in dem sich ebenfalls über große Fenster der Stand des aktuellen Auftrages überwachen lässt. Eine automatisierte Tür und bestimmte Schutzvorrichtungen (wie z.B. Lichtschranken) sorgen auch hier sowohl für einen schnellen Zugang in die Schweißkabine, als auch eine sofortige Unterbrechung des laufenden Prozess. Zusammenfassend lassen sich weitere, allgemeine Anlagenparameter zusammenführen, welche folgendermaßen beschrieben werden können.

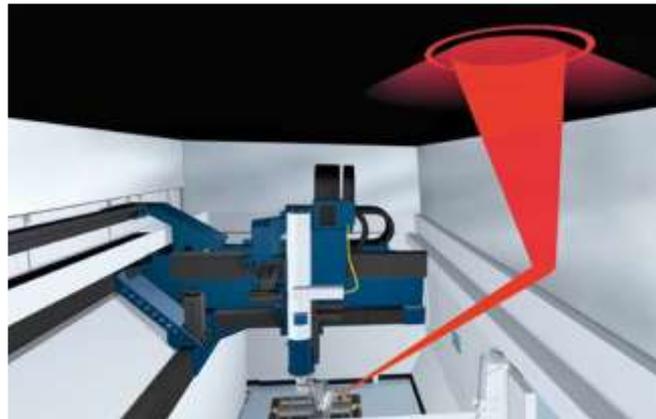


Abb. 43: Hochreflektierende Seitenwand und absorbierendes Dach (Quelle: /51/)

Um das Potential der beiden vorgestellten Schweißtechnologien optimal ausnutzen zu können bietet der Hersteller neben einer umfassenden Anlageneinführung und Beratung, zusätzliche Schulungen in Bezug auf die Bedien-, Programmier- und Wartungstätigkeiten an.⁶⁸

Technische Daten

Achsverfahrenbereich					
Y-Achse	X-Achse	Z-Achse	B-Achse	C-Achse	Dyn. Schneidoptik
1500 mm / 2000 mm	4000 mm	750 mm	± 135°	n x 360°	± 10 mm

Max. Werkstückgröße	
Max. Werkstückgröße in X	Max. Werkstückgröße in Z
3540 mm	520 mm

Achsgeschwindigkeiten		
Simultan	X/Y/Z - Richtung	B/C - Achse
173 m/min	100 m/min	90 1/min

Achsbeschleunigungen			
Simultan	X/Y/Z - Richtung	B/C - Achse	Dyn. Schneidoptik
16 m/s ²	9/10/10 m/s ²	200 / 100 rad/s ²	40 m/s ²

TRUMPF Laser	
Max. Leistung TruFlow	Max. Leistung TruDisk
2000 - 6000 W	2000 - 6000 W

Positioniergenauigkeit	
Positioniergenauigkeit Linearachsen (X/Y/Z)	Positioniergenauigkeit Rotationsachsen (B/C)
0,08 mm	0,015°

Tab. 23: Technische Daten der TruLaserCell 7040 (Quelle: /51/, /I14/, /I15/)

⁶⁸ Vgl.: [Trumpf], Dokumentation zur Laserbearbeitung.
 Vgl.: [Trumpf_I14], Laserschweißanlagen.
 Vgl.: [Trumpf_I15], Dokumentation „TruLaserWeld“.

7.1.1.2 Anlagenkonzepte der AKON Robotics

Nach Rücksprache mit dem zuständigen Kundenbeauftragten der AKON Robotics wurden folgende Vorschläge für zwei unterschiedlich ausgeführte Schweißroboterkonzepte bereitgestellt.

Eines davon ist die **Schweißroboter - Anlage Typ ASA - 1003** (Abb.44). Dies ist ein flexibles und modular aufgebautes Schweißsystem mit einer geteilten Kabine, bei der ein Schweißroboter variabel mit Hilfe einer Roboter - Linearverfahreinheit LVA3000 der Firma AKON Robotics die einzelnen Arbeitsplätze anfährt und die entsprechenden Schweißaufgaben getrennt voneinander abarbeitet.



Abb. 44: Schweißroboter - Anlage Typ ASA - 1003 (Quelle: /14/)

Hierzu erlaubt die Kombination aus einem stehend angeordneten 6 Achs - KUKA Roboter KR6R1820 (Traglast: 6 kg, Wiederholgenauigkeit: $\pm 0,04$ mm) mit einer KRC4 Steuerung (Abb.45) und den beiden Horizontal - Dreh - Positionierern mit adaptiven Einspannweiten zwischen dem Antriebslager und dem Gegenlager, dass komplexe Schweißbauteile oder Schweißbaugruppen je nach Kundenwunsch flexibel und schnell geschweißt werden. Ergänzend dazu gilt es noch die dabei notwendigen Werkstückspannvorrichtungen in Abhängigkeit von den geschweißten Bauteilen zusätzlich zu konzipieren.

In Bezug auf die Verfahren bietet der Hersteller neben dem MAG - Schweißen noch weitere Verfahrensmöglichkeiten wie zum Beispiel MIG-, WIG- oder Mikroplasmenschweißen, dessen Anwendung ohne zusätzliche und kostenintensive Veränderungen an der Anlage ebenfalls möglich wäre. Als Schweißstromquelle für dargelegte Anlagenvariante dient eine flüssiggekühlte DINSE PI - 400 Anlage mit einem Drahtvorschubkoffer WF50SE - R, welche in Kombination mit einer DINSE Schweißausrüstung zum MAG - Schweißen und einer AKON Brennerreinigungsstation ausgeliefert wird.

Für die Programmierung kann unabhängig vom Verfahren unter anderem die Software KUKA ArcTech Basic angewendet werden. Diese ist eine Erweiterung des Befehlssatzes einer standardisierten KUKA Roboter Steuerung KRC4 um zusätzliche Anweisungen, mit denen Schweißvorgänge programmiert werden, um dadurch alle typischen Standard - Schweißaufgaben realisieren zu können. Die entsprechende Programmierung erfolgt auf der Bedienoberfläche eines KUKA SmartPAD's (Abb.45) mit dem neben der Möglichkeit einer Online und Offline - Optimierung essentieller Schweißparameter noch andere Tools und Funktionen einfach und komfortabel über mehrere praktische Statustasten programmiert und gesteuert werden.



Abb. 45: KUKA Roboter KR6R1820 arc HW (Links), KRC4 Steuerung (Mitte), KUKA SmartPAD (Rechts) (Quelle: /111/)

Zum Schutz vor elektromagnetischer Strahlung besitzt die Anlage eine vollflächige, pulverbeschichtete Anlagenumhausung mit Systemfosten. Anbei sind im Einlegebereich manuelle Schiebetüren mit Sichtfenster aus Makrolon (400 x 300 mm) angebracht, die dafür sorgen, dass die Schweißbaugruppen der Anlage mühelos zugeführt und entnommen werden. Weitere Sicherheitsmaßnahmen bilden eine Mitteltrennwand mit einer Sicherheitsabfrage für den Anlagenbetreuer sowie moderne Sicherheitstechniken wie zum Beispiel Sicherheitslichtschranken. Für die Beseitigung von freigesetzten Schadstoffen ist eine mitfahrende Schweißrauch - Absaugesse mit innen liegenden Prallblechen zur besseren Luftführung und Minimierung der Abluftleistung auf der Roboter - Linearverfahreinheit mit integriert. Negativer Aspekt bei folgender Anlageneinhausung ist die eingeschränkte Verfahrensflexibilität. Denn die Umhausung ist nur für das MSG - Schweißen und ähnliche Verfahren ausgelegt, wonach für Laserschweißen (andere Schutzklasse) folgende Kabine nicht ausreichend geeignet wäre.

Eine andere Möglichkeit für das mechanisierte 3D - Schweißen bietet die AKON Robotics mit der **Schweißroboteranlage vom Typ ASA 1012** an. Es ist eine Roboteranlage mit Grundplatte und vollflächiger Stahlblechkabine (nach oben offen) in der ein auf einem speziell für die Bodenmontage entwickelten hohen Fuß feststehender Schweißroboter

(inklusive Steuerung und Schweißausrüstung) und die für die Positionierung der Schweißteile entsprechende Doppeldrehereinheit untergebracht werden. Bei dem Roboter handelt es sich um ein KR6R1820 arc HW - Model mit Fuß (Traglast: 6 kg, Wiederholgenauigkeit: $\pm 0,04$ mm), dessen Ansteuerung und Programmierung nach dem gleichen Prinzip wie bei der *Schweißroboter - Anlage Typ ASA - 1003* bereits beschrieben wurde durchgeführt wird. Für eine optimale Ausrichtung von komplexen Schweißbaugruppen bietet der Hersteller in Kombination zu dem etwaigen Roboter eine Dreh - Schwenk - Positioniereinheit (Positionswechsler) (Abb.46) mit der Möglichkeit einer pneumatischen Verriegelung für eine stabile Lagesicherung in den Endlagen. Anbei werden durch den modernen Antrieb der 180° horizontalen Wendeachse, die Nebenzeiten beim Tischseitenwechsel reduziert und eine hervorragende Zugänglichkeit der Anlage im Einlege- und Entnahmebereich gewährleistet, ohne dass der Produktionsvorgang extra unterbrochen wird. Die Steuerung des besagten Drehtisches erfolgt ebenfalls über die Robotersteuerung, die in Kombination mit dem eingesetzten spielfreien Getriebe sicherstellt, dass eine sehr hohe Wiederholgenauigkeit erreicht wird.



Abb. 46: KR6R1820 arc HW Roboter mit einer Dreh - Schwenk - Positioniereinheit (Quelle: /14/)

In Bezug auf das Verfahren erlaubt folgende Technologie mit MIG - Schweißen zu können, wonach als Stromquelle ebenfalls eine flüssiggekühlte DINSE PI - 400 Anlage mit entsprechender Schweißausrüstung zum MIG - Schweißen und einer AKON Brennerreinigungsstation in die Kabine mitintegriert sind (gleichzeitige Überwachung von Strom, Spannung, Draht und Gas). Weitere mögliche Verfahren sind ebenfalls das MAG-, WIG- oder Mikroplasmenschweißen.

Im Punkte Arbeitssicherheit überzeugt die Roboterzelle durch ihre gepulverte Vollblecheinhausung mit seitlich angebrachten Sichtscheiben aus Makrolon zum Schutz vor Strahlung sowie einer Schweißrauch - Absaugesse aus gelaserten und gekanteten Stahlblechen für eine effektive Absaugung des sich während der Produktion gebildeten Schweißrauches. Des Weiteren sorgt eine große Schiebtür für einen gesicherten Zugang in

den Arbeitsbereich, während gleichzeitig die modernste Sicherheitstechnik sicherstellt, dass der Bediener und die Maschine nicht in eine Konfliktsituation geraten. Ebenfalls nachteilig ist die eingeschränkte Flexibilität der Anlage. Denn die Umhausung sowie die einzelnen Anlagenkomponenten sind nur für das MIG - Schweißen und ähnliche Verfahren ausgelegt.

Als Teil des Angebotes bietet die AKON Robotics neben einer ausführlichen Konzipierung bauteilspezifischer Spannvorrichtungen, Schulungen in Bezug auf die notwendige Programmierung, das Aufstellen der Anlage mit anschließender Unterweisung, regelmäßige Wartungen sowie weitere umfangreiche Serviceleistungen an. Weiterhin ist der Hersteller bereit eine Bauteilanalyse und weitere Fachgespräche vor Ort durchzuführen um die Anlagen bestmöglich an die Bedürfnisse des Unternehmens anpassen zu können.

Die Ausführung, Abmessungen und Arbeitsräume sowie weitere detaillierte Informationen der beiden vorgestellten Anlagen können aus der Tabelle 24 und den vom Hersteller bereitgestellten Angeboten und den Anlagenlayouts (Anl.5 und 6) entnommen werden.⁶⁹

Technische Daten			
Schweißkabine			
		Typ ASA – 1003	Typ ASA – 1012
Mögliche Kabinenabmessungen	mm	10040 x 3480 x 1500	8100 x 5500 x 2200
Max. Arbeitsraum			
		Typ ASA – 1003	Typ ASA – 1012
Horizontal – Drehpositionierer	mm	3000 x ø1500	
Dreh – Schwenk – Positionierer			
Einlegehöhe			
		Typ ASA – 1003	Typ ASA – 1012
Horizontal – Drehpositionierer	mm	ca. 850	
Dreh – Schwenk – Positionierer			
Max. Beladung			
		Typ ASA – 1003	Typ ASA – 1012
Horizontal – Drehpositionierer	kg	500	
Dreh – Schwenk – Positionierer			
Verfahren			
		Typ ASA – 1003	Typ ASA – 1012
MSG - Schweißen		MAG / MIG - Schweißen	

Tab. 24: Technische Daten der ASA - 1003 und der ASA - 1012

⁶⁹ Vgl.: [AKON], Schweißrobotersysteme.
Vgl.: [KUKA], Robotersysteme.

7.1.1.3 Anlagenkonzept der AMADA GmbH

Für eine problemlose Verarbeitung von anspruchsvollen Blechmaterialien bietet die AMADA GmbH als Lösung eine laserbasierte Schweißanlage der **FLW - 4000 III** Serie an. Diese als ein modulares System aufgebaute Technologie besteht aus einer geschlossenen Strahlschutzkabine in der ein Schweißrobotersystem mit einem AMADA - Schweißkopf (Fokussieroptik) in Kombination mit entsprechender Peripherie für die Positionierung der Schweißbaugruppen zum Laserschweißen eingesetzt wird. Als Roboter kommt in der Standardausführung ein flexibler 6 - Achsen Hochgeschwindigkeit - Industrieroboter M - 710iC/50 (Wiederholgenauigkeit: $\pm 0,07$ mm, Traglast: 50 kg) (Abb.47) mit dazugehöriger Steuerung SYSTEM R - 30iA der Firma FANUC zum Einsatz. Dieser wird je nach Spezifikation entweder feststehend auf einem Fuß oder auf einer Linearfahrbahn angebracht. Des Weiteren sorgt der besagte Roboter dafür, dass Fülldraht bis zu 20 kg und die Gaszufuhr (Abb.47) je nach Schweißaufgabe mitgeführt werden. Beim Schweißkopf handelt es sich um ein von AMADA patentiertes „Weaving - System“ mit einer integrierten, rotierenden Optik, die den Laserstrahl kreisen lässt.

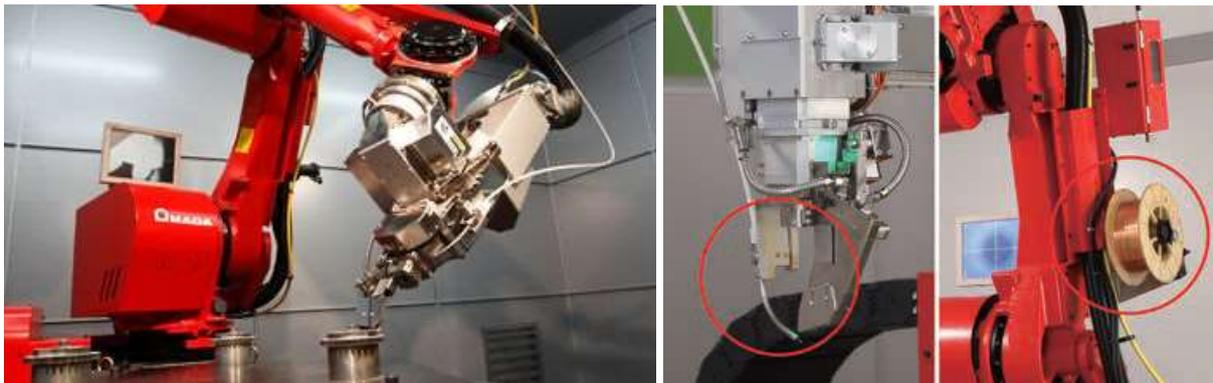


Abb. 47: Roboter mit Fokussieroptik (Links), Gas- und Fülldrahtzufuhr (Rechts) (Quelle: /15/)

Somit wird dieser nicht mehr rein punktuell ausgerichtet, sondern er kreist in einem engen Bereich, wodurch größere sowie unregelmäßige Spaltmaße überbrückt werden und ein sauberer Schweißprozess gewährleistet wird. Ferner stellt ein NC - Fokus System automatisch die optimale Fokusposition für die jeweilige Schweißbedingung ein und hilft somit, dass gleichermaßen einfache Stumpfstoße, wie auch schwer zugängliche Ecken geschweißt werden.

Für die Programmierung bietet der Hersteller die FLW - CAM 3i an. Die AMADA FLW - CAM 3i Software, optimiert den Schweißprozess mittels Offline - Programmierung und Simulation auf Basis von 3D - Daten (Abb.48). Die dabei erstellten Programme werden am Anlagenbedienpult mit Hilfe der AMNC - Steuerungstechnologie heruntergeladen und bearbeitet. Weiterhin werden die notwendigen Einrichtungsinformationen vor Ort visualisiert und in einer Datenbibliothek hinterlegt. Besonders anwenderfreundlich wird der Schweißroboter

durch ein weiteres speziell entwickeltes System (TAS) in Kombination mit einer CCD Kamera.



Abb. 48: Programmierung CAM 3i - Software (Quelle: /15/)

Dieses dient beim Nachteachen, dem Positionieren des Schweißkopfes und der Definition des genauen Schweißverlaufs. Hierbei sorgt eine hochauflösende CCD - Kamera dafür, dass Abweichungen des programmierten zum tatsächlichen Nahtverlauf bei einem Testlauf erkannt und ausgeglichen werden.

Die Schweißquelle folgender Anlage bildet ein unsichtbarer Faserlaser der Klasse 4 mit einer Wellenlänge von 1070 - 1080 μm und einer Laserleistung von bis zu 6000 kW. Hiernach gilt es die Umgebung vor direkter oder gestreuter Strahlung zu schützen. Daher wird die Umhausung folgender Technologie als eine komplett geschlossene Strahlenschutzkabine ausgeführt (Abb.49).



Abb. 49: Schutzkabine der FLW - 4000 III (Quelle: /15/)

Sie soll eine gefahrlose Nutzung der Anlage gewährleisten, um sowohl den Bediener, als auch die Beobachter, ausreichend vor gefährlicher Laserstrahlung zu schützen. Weiterhin verfügt die besagte Schutzkabine über elektronisch überwachte Schutz - Schiebetüren mit integrierten Einsichtfenstern, die bei einem unplanmäßigen Öffnen den Schweißvorgang unterbrechen und die Kabine begehbar machen sollen. Die Abmessungen der besagten Schutzkabine, die aus der Tabelle 25 zu entnehmen sind, richten sich nach der gemäß dem Kundenwunsch

ausgewählten Anlagenspezifikation. Hierzu kann diese entweder nur mit einem Roboter (Modell 1), mit einem Roboter in Kombination mit einem Drehkipptisch (Modell 2) oder Roboter, Positioniertisch und einer Roboterfahrbahn (Modell 3) ausgeführt werden (Abb.50).

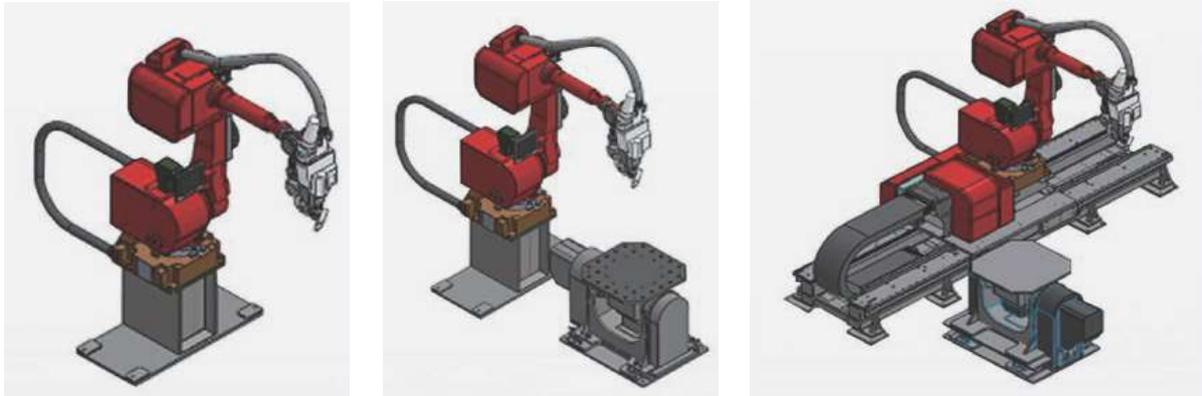


Abb. 50: FLW - 4000 III: Modell 1 (Links), Modell 2 (Mitte), Modell 3 (Rechts) (Quelle: /I6/)

Als Service bietet der Hersteller neben den Installationen, technischen Unterweisungen, Maschinenwartungen, Reparaturen, technischer Beratung sowie einer telefonischen Störungsbehebung noch weitere essentielle Leistungen an. Diese bestehen sowohl aus theoretischen, als auch praxisbezogenen Schulungsangeboten für einen sicheren Umgang mit der Programmiersoftware und entsprechender Schweißtechnologie.⁷⁰

Technische Daten		
Schweißkabine		
		Mögliche Kabinenabmessungen
Roboter	mm	4340 x 4000 x 3000
Roboter und Positionierer	mm	5800 x 4000 x 3000
Roboter, Positionierer, Roboterfahrbahn	mm	6600 x 5500 x 3500
Dreh - Kipp - Positionierer		
Max. Werkstückgröße	mm	2000 x 1000 x 700
Einlegetiefe	mm	700
Max. Beladung	kg	500
Drehachse	grad	±720
Kippachse	grad	± 90
Roboterfahrbahn		
Standard Fahrlängen	mm	1500 (optional 6000)
Verfahrgeschwindigkeit	m/min	60
Wiederholgenauigkeit	mm	± 0,1
Resonator		
Strahlquelle		Faser - Laser
Wellenlänge	mm	1070 - 1080
Laserleistung	kW	bis zu 6000

Tab. 25: Technische Daten der FLW - 4000 III (Quelle: /I6/)

⁷⁰ Vgl.: [AMADA], Schweißtechnologie.
Vgl.: [AMADA_I6], Datenblatt FLW - Serie.

7.1.1.4 Anlagenkonzepte der FÖRSTER welding systems GmbH

Die nächste zu betrachtende Technologie für eine mechanisierte Schweißfertigung stellt die **Roboterschweißanlage** (Abb.51) der Firma FÖRSTER welding systems GmbH dar.

Diese Roboterschweißanlage besteht aus einem Portalroboter, zwei Positionierern, zwei Fahrwerken (für den Schweißroboter mit gesteuerter Roboterachse und für den Positionierer mit Elektromotor) sowie Schweißtechnik für das MAG - Schweißen, die in einer Einhausung gemeinsam untergebracht werden. Anbei erlaubt die portalartige Umsetzung besagter Schweißtechnologie, große und schwere Baugruppen (Gewicht bis 6t), dessen Zugänglichkeit mit einem einfach ausgeführten Schweißroboter nicht vollständig abgedeckt wird, fertigen zu können.



Abb. 51: Roboterschweißanlage von FÖRSTER welding systems GmbH (Quelle: /19/)

Bei dem Schweißroboter handelt es sich um einen FANUC Arc Mate 120iC 10L Model mit zusätzlichen Achsen (9 Roboterachsen und 12 Bewegungsachsen) (Abb.52), welcher mit einem elektronischen Kollisionsschutz (High Sensitive Collision Detect) und einer induktiven Nahtverfolgung (Arc Sensor Test) angeboten wird. Des Weiteren verfügt er über eine taktile Nahtanfangssuche (Touch Sensing), einen pendelnden Schweißbrenner sowie eine Brennerreinigungstechnologie mit einem Drahtabschneider und einer Einsprühvorrichtung. Zur Erhöhung der Zugänglichkeit ist dieser auf einem Portal aufgehängt, welcher durch eine gesteuerte Roboterachse auf einer entsprechenden Verfahrbahn bewegt wird.

Die Programmierung des besagten Roboters wird online vor Ort mit Hilfe des FANUC iPendant Touch Bedienpultes (Abb.52) durchgeführt. Anbei werden auf seiner intuitiven, grafischen Benutzeroberfläche Bewegungsbahnen und Programmpunkte in einer Knotenzuordnung erfasst, dargestellt und anschließend nach Eingabe weiterer Parameter (z.B. Geschwindigkeit, Beschleunigung, Genauigkeit usw.) für die Bewegung zwischen den einzelnen Knoten über Funktionstasten an eine R30iB - Steuerung übermittelt. Gleichzeitig

setzt eine zusätzliche Software (Coordinated Motion Software) die Einbindung weiterer gesteuerter Achsen um.

Für die Erzeugung des Lichtbogens dient eine 400 Volt MAG - Roboterstromquelle Lincoln PowerWave, welche einschließlich Schlauchpaket, Brenner, Drahtvorschub und Schnittstelle zum Roboter in der Anlage integriert werden.

Die weiteren, relevanten Komponenten der Anlage stellen die beiden separat gesteuerten Schweißmanipulatoren (Tandembetrieb ebenfalls möglich) mit einer integrierten Hub- und Drehfunktion dar (Abb.52). Hierzu wird ein Positionierer fest angebracht, wonach ein zweiter gegenüberliegend auf einer Linearfahrbahn mit Hilfe eines elektromotorischen Antriebes bewegt wird. Somit macht folgende Technologie es möglich, dass unterschiedliche Einspannweiten flexibel realisiert und gleichzeitig Bauteile mit einem Gewicht von 3,0 Tonnen um 1,8 Meter gehoben und exakt positioniert werden. Ergänzend dazu bietet der Anlagenhersteller eine Vielzahl passender Spannvorrichtungen an, die in Kombination mit den erwähnten Positionierern für ein optimales Bauteilhandling und eine hinreichende Einspannung von Baugruppen konzipiert werden.



Abb. 52: FANUC Arc Mate 120iC 10L (Links), FANUC iPendant Touch (Mitte), Positionierer (Rechts) (Quelle: /19/)

Wie zuvor beschrieben dient eine komplett vormontierte Einhausung mit integrierter Sicherheitsüberwachung dem Schutz vor elektromagnetischer Strahlung, in die zur Begehung des Arbeitsraumes sowie Bestückung der Station ein sich manuell öffnendes Tor eingearbeitet ist. Sobald sich der Anlagenbediener außerhalb des Arbeitsbereiches befindet, das manuelle Tor geschlossen und der Schalter für „Station bereit“ betätigt ist sowie die Türüberwachung aktiviert wird, kann der Roboter mit seinem Schweißprogramm beginnen. Werden die Teile fertig geschweißt, so wird das Tor freigegeben und erst dann kann das Bauteil entnommen werden. Weiterhin ist es möglich in die Einhausung eine Trennwand setzen zu können. Diese wird ebenfalls mittels Steuerung überwacht und soll dabei den Arbeitsbereich in zwei Stationen aufteilen. Das führt dazu, dass auf einer Seite geschweißte Baugruppen entnommen werden und die Station neu bestückt wird, während auf der anderen Seite die zu schweißenden Teile unabhängig davon gefertigt werden. Ebenfalls in der Einhausung mit

untergebracht ist eine Absaugvorrichtung, welche die in die Umgebung aus den der Schweißstelle austretenden Schadstoffe beseitigen bzw. absaugen soll.

Die angebotenen Serviceleistungen der FÖRSTER welding systems GmbH umschließen die Einrichtung der Schweißanlage (kundenspezifisch), Konzipierung einer passenden Vorrichtung (Bauteilanhängig), die Programmierung und Betreuung sowie entsprechende Schulungen zur Programmerstellung, als auch der Anlagenbedienung.⁷¹

Technische Daten			
Schweißkabine			
		Ein - Stationen - Betrieb	Zwei - Stationen - Betrieb
Mögliche Kabinenabmessungen	mm	keine Angaben	
Max. Arbeitsraum			
		Ein - Stationen - Betrieb	Zwei - Stationen - Betrieb
Positionierer mit Hub- und Drehfunktion	mm	6000 x 3000 x 3000	3000 x 3000 x 3000
Hubhöhe			
Positionierer mit Hub- und Drehfunktion	mm	ca. 1800	
Max. Beladung			
		Ein - Stationen - Betrieb	Zwei - Stationen - Betrieb
Positionierer mit Hub- und Drehfunktion	kg	6000	3000
Verfahren			
MSG - Schweißen		MAG - Schweißen	

Tab. 26: Technische Daten der Roboterschweißanlage (Quelle: /I9/)

7.1.1.5 Anlagenkonzepte der ABB Automation GmbH

Eine weitere individuelle Lösung bestehend aus standardisierten Komponenten stellt die Technologie **ABB FlexArc Welding Cell** (Abb.55) der Firma ABB Automation GmbH dar.

Als Roboter bietet der Hersteller zwei Modelle an, die einzeln (Single) oder doppelt (Multimove) innerhalb der Schweißzelle untergebracht werden. Bei folgenden handelt es sich um Roboter der Reihen IRB 1600ID (Wiederholgenauigkeit: $\pm 0,02 - 0,05$ mm, Traglast: 4 kg) und IRB 2600ID (Wiederholgenauigkeit: $\pm 0,023$ mm - 0,026 mm, Traglast: 15 kg) (Abb.53), bei denen die Führung aller Kabel, Leitungen und Schläuche im Inneren des Oberarms und des Handgelenks realisiert wird. Der Vorteil dabei ist, dass die Stillstandszeiten aufgrund von Störkonturen oder Verschleiß auf ein Minimum reduziert werden und dank innen geführter Kabel ein unkontrolliertes Schwingen vermieden wird, wonach sich die Simulation und Programmierung des Roboters erheblich einfacher gestalten lässt. Für die

⁷¹ Vgl.: [FÖRSTER], Roboteranlagen.

Bewegungssteuerung besagter Robotertechnologien sowie eine schnelle Integration von zusätzlicher Hardware sorgt eine leistungsstarke und hochflexible IRC5 - Steuerung (Abb.53) inklusive RobotWare.



Abb. 53: IRB 1600 ID (Links), IRB 2600 ID (Mitte) und IRC - Steuerung (Recht) (Quelle: /I1/)

In Bezug auf die Programmerstellung bietet die ABB eine anwenderfreundliche Offline - Programmiersoftware RobotStudio AWPP (Anl.7) mit der Gegebenheit einer zusätzlichen, detailgetreuen Simulation des Schweißprozesses in einer 3D - Umgebung. Anbei erlaubt diese, dass alle Arbeitsabläufe bereits im Vorfeld zu Gunsten einer hohen Prozesssicherheit optimiert werden, um später an der realen Roboterzelle die zuvor erstellte Programmierung ganz einfach und innerhalb kürzester Zeit 1:1 übernehmen und ausführen zu können. Als Schweißverfahren lässt sich bei folgender Technologie das MIG / MAG - Schweißen anwenden. Wonach die Anlage in der Standardausführung mit einer luftgekühlten Fronius TS 4000 Schweißstromquelle und einer ebenfalls luftgekühlten Fronius MTG 4000 / 22 Brennergarnitur ausgestattet werden kann. Ergänzend dazu bietet der Anlagenhersteller noch weitere Zusatztechnologien und Schweißausrüstungsmöglichkeiten (Drahtführungsstation, Brennerservicestation, Brennerreinigung, BullsEye TCP Vermessung, Drahtabschneider usw.) diverser Hersteller (Miller, Lincoln Electric, Fronius, SKS, etc.), um die Technik bestmöglich an die Schweißaufgabe anpassen zu können.

Für eine optimale Ausrichtung des Werkstückes während des Schweißens, stehen verschiedene Positionierer der Reihe IRBP (z.B. IRBP K, IRBP B, IRBP D) zur Auswahl (Abb.54), die je nach Schweißaufgabe und Werkstückgröße in unterschiedlichen Ausführungen und mit verschiedenen Abmessungen bereitgestellt werden.



Abb. 54: ABB Positionierer: Model IRBP K (Links), IRBP B (Mitte) und IRBP D (Rechts) (Quelle: /I2/)

Zum Schutz vor Kollision mit bewegten Technologien und gefährlicher Strahlung dient eine nach oben offene Einhausung. Zu dieser gehört ein einteiliger Grundrahmen aus Stahlblech in dem ebenfalls alle Leitungen für Medien sowie Kabelkanäle untergebracht werden. Folgender wird inklusive einer Servicetür mit Kontrollfenster für alle Zellen gleich ausgeführt und kann am Eintrittsbereich für die Werkstückzufuhr nach Bedarf erweitert werden. An dieser Stelle kann der Anwender zwischen einem Rolltor oder einem mit Lichtschranken gesicherten Zutritt wählen um die Stationen gefahrlos direkt beladen zu können. Zur Beseitigung von Schadstoffen lässt sich entweder eine Esse nur über dem Schweißbereich oder sowohl über dem Schweiß- als auch zusätzlich über dem Einlegebereich realisieren.



Abb. 55: ABB FlexArc Welding Cell (Multimove) (Quelle: /I3/)

Neben der Konzipierung und Auslieferung einer schlüsselfertigen Schweißzelle bietet der Hersteller noch weitere zusätzliche Serviceleistungen an, die wie folgt zusammengesetzt werden. Hierzu gehören z.B.: Wartungen, Nachrüstung, Modernisierung, Upgrades für bestehende Anlage, Austausch von Einzelkomponenten, Reparaturen, Bereitstellung von Ersatzteilen und Betriebsstoffen, Installation und Inbetriebnahme, Erneuerung von

gebrauchter Ausrüstung, Schulungen hinsichtlich der Handhabung sowie Programmierung von an Schweißanlagen, Beratung usw.⁷²

Technische Daten			
Schweißkabine			
		Version Lichtschanke (L x B x H)	Version Rolltor (L x B x H)
Mögliche Kabinenabmessungen	mm	ca. 6000 x 5300 x 3000	ca. 4800 x 5300 x 3000
Max. Arbeitsraum			
IRBP K - 1000/1400	mm	3150 x ø1400	3150 x ø1400
IRBP B - 500		1000 x ø1450	1000 x ø1450
IRBP D - 600		2000 x ø1200	2000 x ø1200
Einlegetiefe			
IRBP K - 1000/1400	mm	950	950
IRBP B - 500		900	900
IRBP D - 600		1000	1000
Max. Beladung			
IRBP K - 1000/1400	kg	1000	1000
IRBP B - 500		500	500
IRBP D - 600		600	600
Verfahren			
MSG - Schweißen		MIG / MAG - Schweißen	

Tab. 27: Technische Daten ABB FlexArc Welding Cell (Quelle: /I2/)

⁷² Vgl.: [ABB], Roboteranwendungen Lichtbogenschweißen / Roboter / Programmierung.

Vgl.: [ABB_I2], Positionierer.

Vgl.: [ABB_I3], Roboteranwendungen Lichtbogenschweißen / ABB FlexArc Welding Cell.

7.1.2 Ergebnisse der Marktforschung (Tabelle)

Pos.	Hersteller	TRUMPF GmbH + Co. KG		AKON Robotics	
		TruLaserRobot 5020	TruLaserCell Series 7040	Anlage Typ ASA - 1003	Anlage Typ ASA - 1012
1	Bezeichnung				
2	Anlagenausführung	System mit Roboter, Laser, einer fliegenden Bearbeitungsoptik, Schutzkabine und bewegten Positioniereinheiten.	Modular aufgebautes, nachrüstbares Lasersystem als portables Anlagenkonzept mit mehreren Linear und Rotationsachsen.	Schweißsystem mit geteilter Kabine, mit Schweißroboter auf einer Linearverfahrinheit und 2 Horizontal – Drehpositionierern.	Roboteranlage mit Grundplatte und vollflächiger Stahlblechkabine mit Schweißroboter und einer Doppeldrehinheit.
3	Verfahren	Laserschweißen	Laserschweißen Laserschneiden	MSG (MAG) - Schweißen	MSG (MIG) - Schweißen
4	Mögl. Werkstoffe	Edelstahl, Baustahl, Aluminium	Edelstahl, Baustahl, Aluminium	Edelstahl, Baustahl	Edelstahl, Baustahl, Aluminium
5	Mögl. Blechdicken	Edelstahl (> 11 mm >) Baustahl (> 11 mm >)	Edelstahl (> 11 mm >) Baustahl (> 11 mm >)	Edelstahl (> 10 mm >) Baustahl (> 10 mm >)	Edelstahl (> 10 mm >) Baustahl (> 10 mm >)
6	Schweißmöglichkeiten	Kleine bis mittlere Bauteile (einfach bis komplex)	Kleine bis mittlere 2D / 3D Bauteile (einfach bis komplex) oder Rohre	Kleine bis mittlere Bauteile (einfach bis komplex)	Kleine bis mittlere Bauteile (einfach bis komplex)
7	Mögl. Stückzahlen	Klein bis hin zu Großserie	Einzelteile bis mittlere Produktionsmengen	kleine bis mittlere Produktionsmengen	kleine bis mittlere Produktionsmengen
8	Max. Arbeitsraum L x B x H / L x Ø in mm	2000 x 1000 x 1100 (Rotationswechsler)	3540 x 1500 x 520 (Arbeitstische)	3000 x Ø1500 (Horizontal - Drehpositionierer)	3000 x Ø1500 (Dreh - Schwenk - Positionierer)
9	Max. Beladung in kg	750 (Rotationswechsler)	keine Angabe	ca. 850 (Horizontal - Drehpositionierer)	ca. 850 (Dreh - Schwenk - Positionierer)
10	Anlagenabmessungen L x B x H in mm	7200 x 4800 x 3200	keine Angaben	10040 x 3480 x 1500	8100 x 5500 x 2200
11	Programmierungsart	Offline - Programmierung	Offline - Programmierung	Offline - Programmierung	Offline - Programmierung
12	Max. Personalbedarf	1 Programmierer 1 Anlagenbediener	1 Programmierer 1 Anlagenbediener	1 Programmierer 1 Anlagenbediener	1 Programmierer 1 Anlagenbediener

Tab. 28: Ergebnisse der Marktforschung (Teil 1)

7 Dreidimensionale Schweißmöglichkeiten

Pos.	Hersteller	AMADA GmbH	FÖRSTER welding systems GmbH	ABB Automation GmbH
1	Bezeichnung	FLW - 4000 III	Roboterschweißanlagen zum Fertigen schwerer Bauteile	ABB Flex Arc Welding Cell
2	Anlagenausführung	System mit einer Strahlenschutzkabine, einem Schweißroboter und Peripherie für die Positionierung der Schweißbaugruppen.	Roboterschweißanlage mit Portalroboter, zwei Positionierern und zwei Fahrwerken.	Modulares System mit einem oder zwei Robotern, einem Werkstückpositionierer, umgrenzt von einem Schutzzaun und / oder Blechwänden.
3	Verfahren	Laserschweißen	MSG (MAG) - Schweißen	MSG (MAG / MIG) - Schweißen
4	Mögl. Werkstoffe	Edelstahl, Baustahl, Kupfer	Edelstahl, Baustahl	Edelstahl, Baustahl, Aluminium
5	Mögl. Blechdicken	Edelstahl (> 10 mm) Baustahl (> 9 mm) Kupfer (> 4 mm)	Edelstahl (> 10 mm >) Baustahl (> 10 mm >)	Edelstahl (> 10 mm >) Baustahl (> 10 mm >)
6	Schweißmöglichkeiten	Kleine Bauteile (einfach bis komplex)	Für große und schwere Baugruppen	Kleine bis mittlere Bauteile (einfach bis komplex)
7	Mögl. Stückzahlen	Klein bis hin zu Großserie	Einzelteile bis kleine Produktionsmengen	Klein bis hin zu Großserie
8	Max. Arbeitsraum L x B x H / L x Ø in mm	2000 x 1000 x 700 (Drehkipptisch)	6000 x 3000 x 3000 (Hub - Dreh - Positionierer)	3150 x Ø1400 (Horizontal - Drehpositionierer IRBP - 1000/1400)
9	Max. Beladung in kg	500 (Drehkipptisch)	6000 (Hub - Dreh - Positionierer)	1000 (Horizontal - Drehpositionierer IRBP - 1000/1400)
10	Anlagenabmessungen L x B x H in mm	6600 x 5500 x 3500	keine Angaben	6000 x 5300 x 3000
11	Programmierung	Offline - Programmierung	Online - Programmierung	Offline - Programmierung
12	Max. Personenbedarf	1 Programmierer 1 Anlagenbediener	1 Anlagenbediener	1 Programmierer 1 Anlagenbediener

Tab. 29: Ergebnisse der Marktforschung (Teil 2)

Nach der Zusammenstellung von Informationen, galt es für die Auswahl einer geeigneten Schweißanlage die einzelnen Ergebnisse auszuwerten und diese zu Interpretieren. Hierzu sollten in den kommenden Kapiteln die in der Tabelle 28 und 29 aufgeführten Anlagenparameter der zu untersuchenden Technologien hervorgehoben, anhand von definierten, firmenspezifischen Anforderungen qualifiziert (Kapitel 6.1) und bewertet werden. Die Bewertung wurde nach der gleichen Methode durchgeführt, welche bereits bei der Auswahl eines geeigneten Schweißverfahrens mit Hilfe theoretischer Grundlagen angewendet wurde (Kapitel 6.2). Dementsprechend setzte sich die Wertigkeit einzelner Beurteilungspunkte ebenfalls folgendermaßen zusammen.

- nicht erfüllt bzw. trifft nicht zu → (0) Punkte
- zum Teil erfüllt bzw. trifft zum Teil zu → (1) Punkte
- voll erfüllt bzw. trifft voll zu → (3) Punkte

Ergänzend dazu, wurde für jede weitere vorteilhafte Anlageneigenschaft ein Zusatz - Bewertungspunkt vergeben, um bei der Qualifizierung ausgewählter Schweißtechnologien anlagenspezifische Besonderheiten in die Bewertung mit einbeziehen zu können.

7.2 Bewertung und Interpretation der Ergebnisse

Pos.	Schweißanlage	Hauptmerkmale						Zusatz	Gesamt
		Werkstoffe	Materialdicken	Teileformat	Stückzahlen	Personenbedarf	Vorrichtungen		
1	TruLaserRobot 5020	(3)	(3)	(0)	(1)	(3)	(3)	(5)	(18)
2	TruLaserCell Series 7040	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)	(3)	(6)	(24)
3	Schweißroboter Typ ASA - 1003	(3)	(3)	(3)	(1)	(3)	(3)	(5)	(21)
4	Schweißroboter Typ ASA - 1012	(3)	(3)	(3)	(1)	(3)	(3)	(5)	(21)
5	FLW - 4000 III	(3)	(1)	(0)	(1)	(3)	(3)	(4)	(15)
6	Roboterschweißanlage	(3)	(3)	(3)	(1)	(3)	(3)	(3)	(19)
7	ABB FlexArc Welding Cell	(3)	(3)	(3)	(1)	(3)	(3)	(4)	(20)

Tab. 30: Bewertung der Schweißanlagen

Das Maß für die Wertigkeit der in der Übersicht 30 verteilter Bewertungspunkte ließ sich wie folgt interpretieren.

TruLaserRobot 5020

Werkstoffe und Materialdicken: Die Gegebenheit zum Schweißen von Teilen mit festgelegten Materialstärken und Werkstoffen ist vom Leistungsbereich der Lasertechnologie abhängig. Die beiden Merkmale gelten daher als voll erfüllt, da der Hersteller eine Vielzahl leistungsstarker Strahlquellen anbietet, welche für die Abdeckung geforderter Parameter überaus geeignet wären. Für die Auswahl der jeweiligen Laserquelle wird empfohlen eine Bauteilanalyse sowie einige Probeschweißungen durchzuführen.

Teileformat: Der mit dem größten Arbeitsraum mögliche Werkstückpositionierer, welcher in der Anlage realisiert werden kann, ist in der Lage Teile mit Abmessungen von 2000 x 1000 x 1100 mm bewegen und entsprechend ausrichten zu können. Dieser entspricht den Anforderungen nicht, wonach folgendes Merkmal als nicht erfüllt bewertet wurde.

Stückzahlen: Wie den Ergebnissen aus der Marktforschung bzw. den Angaben des Herstellers zu entnehmen war, eignet sich die dargelegte Technologie sowohl zur Fertigung von Baugruppen mit kleinen Stückzahlen, als auch für Teile mit größeren Produktionsmengen.

Betrachtet man jedoch die zusammengeführten Merkmale aus der Teileanalyse (Einzelteil / Kleinserie) und die Anforderungen der Geschäftsleitung (Kleinserie - Mittelserie), lässt sich daraus ableiten, dass folgendes Anlagenkriterium nur als zum Teil geeignet charakterisiert werden kann, da die TruLaserRobot 5020 bei einer Einzelteilerfertigung von wirtschaftlicher Seite weniger Vorteile bringen würde.

Personenbedarf: Sowohl für die Programmierung (Programmierer), als auch für die Bedienung der Anlage (Mechaniker), kann jeweils eine Person angesetzt werden. Ebenfalls möglich eine Person für beide Aktivitäten einzuplanen. Jedoch wäre die Anlagenkapazität mit folgender Maßnahme nicht optimal ausnutzen.

Vorrichtungen: Alle für die Technologie geeigneten Werkstückpositionierer lassen sich seitens des Herstellers sowohl für die Aufnahme von Baukasten-, als auch von Sondervorrichtungen zum Spannen der Teile auslegen. Hierzu bietet der Hersteller als weiteren Service zusätzliche Schulungen und Lehrgänge an, um die Gestaltung bzw. Konzipierung einer für den Werkstücktisch bzw. Positionierer geeigneten Vorrichtung bestmöglich realisieren zu können

Zusatzmerkmale der TruLaserRobot 5020:

- Verfahrensflexibilität (Wärmeleit-, Tief-, Remote - Schweißen oder das neue FusionLine)
- Erlaubt das Schweißen von Aluminium
- Bearbeitungsoptik mit einem drehbaren Modul
- Offline - Programmiersoftware TruTopsCell
- Modulare Bauweise

TruLaserCell Series 7040

Als Begründung der Ergebnisse für *Werkstoffe*, *Materialdicken*, *Personenbedarf* und *Vorrichtungen* gilt die gleiche Interpretation, welche zuvor bei der TruLaserRobot 5020 dargelegt wurde.

Teileformat: Die Größe der Arbeitstische sowie die langen Verfahrswege der Linearachsen (X/Y/Z) ermöglichen das Teile mit Abmessungen von 3540 x 1500 x 520 mm problemlos geschweißt werden, demnach folgendes Bewertungsmerkmal als erfüllt bewertet wurde.

Stückzahlen: Laut Hersteller ist die TruLaserCell Series 7040 Technologie sowohl zur Fertigung einzelner Baugruppen, als auch für Teile mit mittleren Produktionsmengen geeignet. Somit entspricht folgende Anlagenausführung nicht nur den Anforderungen der Geschäftsleitung, sondern auch den Ergebnissen aus der Bauteilanalyse und kann daher in Bezug auf die Produktionsmengen als voll zutreffend bewertet werden.

Zusatzmerkmale der TruLaserCell Series 7040:

- Die wichtigste Besonderheit folgender Technologie ist die Gegebenheit Teile nicht nur schweißen, sondern auch schneiden zu können. Beim Wechsel zwischen den beiden Arbeitsgängen muss lediglich die Bearbeitungsoptik / Prozessadapter ausgetauscht werden und die Systemsteuerung passt anschließend den Laserstrahl automatisch an.
- Erlaubt das Schweißen von Aluminium
- Verbesserte Zugänglichkeit im Vergleich zu einem Roboter (Es kommt vor das der Roboter sich selber behindert)
- Offline - Programmiersoftware TruTopsCell
- Die modulare Bauweise
- Möglichkeit im Zwei - Stationen - Betrieb zu fertigen (Trennwand)

Schweißroboter Anlage Typ ASA - 1003 und Anlage Typ ASA - 1012

Werkstoffe und Materialdicken: Im Gegensatz zu den mit Laser arbeitenden Technologien der Firma TRUMPF bietet sich mit den Anlagen der Firma AKON GmbH die Möglichkeit Teile mittel des MAG / MIG - Verfahren zu fügen. Wie in den Verfahrensgrundlagen bereits beschrieben (Kapitel 4.3.1.2) und vom Hersteller bestätigt wurde, decken beide Verfahrensmöglichkeiten die geforderten und abgeleiteten Material- und Werkstoffbereiche so ab, dass folgende Anforderungsmerkmale mit als erfüllt zu bewerten sind. Auch hier empfiehlt der Anlagenproduzent ausgewählte Bauteile aus aktueller Produktion und das Werkstoffverhalten üblicher Materialien anhand von Probeschweißungen vorher zu untersuchen, um die Technologien noch weiter optimieren zu können.

Teileformat: Beide Schweißanlagen enthalten Positionierer, welche nach dem geforderten Teileformat von 3000 x Ø1500 mm ausgelegt und angeboten wurden. Daher gilt folgendes Merkmal als erfüllt.

Stückzahlen: Ähnlich wie bei der TruLaserRobot 5020 kann die Interpretation für die Bewertung von Stückzahlen der beiden AKON Anlagen zusammengesetzt werden. Diese werden erst wirtschaftlich bei Baugruppen mit kleinen Stückzahlen sowie Bauteilen mit mittleren Produktionsmengen. Daher kann das Anforderungskriterium nur als zum Teil erfüllt betrachtet werden.

Als Begründung für die Punkteverteilung *Personenbedarf und Vorrichtungen* sind die Ergebnisse ähnlich wie bei der TruLaserRobot 5020 zu interpretieren.

Zusatzmerkmale der Anlage Typ ASA - 1003:

- Verfahrensflexibilität (MIG-, WIG- oder Mikroplasma-schweißen)
- Offline und Online - Programmiersoftware

- Die modulare Bauweise, jederzeit nachrüstbar oder erweiterbar
- Möglichkeit im Zwei - Stationen - Betrieb zu fertigen (Trennwand) mit Hilfe einer Linearverfahreinheit LVA3000, um Arbeitsplätze einzeln anzufahren und die Schweißaufgaben getrennt voneinander abzuarbeiten.
- Mitfahrende Absaugvorrichtung

Zusatzmerkmale der Anlage Typ ASA - 1003:

- Verfahrensflexibilität (MAG-, WIG- oder Mikroplasmenschweißen)
- Mit MIG das Schweißen von Aluminium möglich
- Offline und Online - Programmiersoftware
- Die modulare Bauweise, jederzeit nachrüstbar oder erweiterbar
- Möglichkeit im Zwei - Stationen - Betrieb zu fertigen mittels Dreh - Schwenk - Positionierer

Faser - Laser - Technologie FLW - 4000 III

Werkstoffe: Die Eignung zum Schweißen geforderter Materialien ist auch bei folgender Anlage von der Art und dem Leistungsbereich der Laserstrahlquelle abhängig. In Bezug auf den Werkstoff deckt der hierbei eingesetzte Faser - Laser alle notwendigen Materialvorgaben ab und erhält daher die volle Punktzahl.

Materialdicken: Hierbei erfüllt die FLW - 4000 III die Vorgaben nur zum Teil, da die Angaben des Herstellers über die möglichen, schweißbaren Materialstärken gegenüber den geforderten nur teilweise entsprechen.

Teileformat: In Bezug auf den möglichen Arbeitsraum fällt dieser im Zusammenhang mit dem in der geschlossenen Schweißkabine realisiertem Dreh - Kipp - Positionierer zu klein aus. Zwar sorgt die Kombination „Roboter, Positionierer und Roboterfahrbahn“ für eine verbesserte Zugänglichkeit und Reichweite des Roboters, dennoch ist die Anlage mit maximal möglichen Bauteilabmessungen von 2000 x 1000 x 700 mm weiterhin noch unter den gewünschten Vorgaben. Für den Einsatz eines Positionierers zur Realisierung von größeren Baugruppen wäre daher eine Vergrößerung der standardisierten Kabine nötig, welche mit einem zusätzlichen Investitionsaufwand verbunden wäre.

Stückzahlen: Mit folgender Schweißkabine lässt sich nach Vorgaben des Herstellers erst dann wirtschaftlich fertigen, wenn sich die Stückzahlen der Teile im Bereich kleiner bis großer Produktionsmengen einordnen würden. Daher kann das Anforderungskriterium nur als zum Teil erfüllt bewertet werden.

Als Begründung für die Punkteverteilung *Personenbedarf und Vorrichtungen* siehe Interpretation der TruLaserRobot 5020.

Zusatzmerkmale der FLW - 4000 III:

- NC - Fokus System für eine automatische Einstellung einer optimalen Fokusposition
- Offline - Programmiersoftware CAM 3i
- Verarbeitung von anspruchsvollen Blechmaterialien (Aluminium, Kupfer)
- „Weaving - System“ mit einer integrierten, rotierenden Optik, die den Laserstrahl kreisen lässt

Roboterschweißanlagen zum Fertigen schwerer Bauteile

Werkstoffe und Materialdicken: Da folgende Schweißanlage zum Fügen von Teilen mit Hilfe des MAG - Verfahrens angeboten wird, entspricht diese den ausformulierten Anforderungen in ganzer Linie und wurde daher mit voller Punktzahl bewertet.

Teileformat: Beim möglichen, maximalen Arbeitsraum erfüllt und übertrifft die Roboterschweißanlage die geforderten Formatvorgaben mit 6000 x 3000 x 3000 mm und gilt somit als erfüllt.

Stückzahlen: Aus dem Grund dass die Anlage der FÖRSTER welding systems GmbH zur Fertigung großer und schwerer Bauteile konzipiert wurde, liegen die Vorteile dieser beim Schweißen von Einzelteilen und Werkstücken mit kleinen Produktionsmengen. Bei verhältnismäßig kleinen Bauteilen ist ein weiterer Grund für die geringen Stückzahlen die Online - Programmierung der Anlage. Daher kann das Anforderungskriterium nur als zum Teil erfüllt betrachtet werden.

Personenbedarf: Die bereits erwähnte Online - Programmierung bringt den Vorteil in Bezug auf die Personalplanung, da eine Person sowohl für die Programmierung, als auch die Bedienung der Anlage angesetzt werden kann.

Vorrichtungen: Für Spannvorrichtungen lassen sich die Bewertungsergebnisse ähnlich wie bei der TruLaserRobot 5020 interpretieren. Zusätzlich kann ergänzt werden, dass der Hersteller neben der Konzipierung von Positionierern zur konform gerechten Aufnahme von Spannvorrichtungen, ein umfangreiches Spektrum jener Produkte zur Teilefixierung in Sonder- und Baukastenausführung anbietet.

Zusatzmerkmale der Roboterschweißanlagen zum Fertigen schwerer Bauteile:

- Portalartige Ausführung
- Erlaubt das Schweißen großer und schwerer Baugruppen
- Möglichkeit im Zwei - Stationen - Betrieb zu fertigen

ABB FlexArc Welding Cell

Werkstoffe und Materialdicken: Werkstücke werden mittels des MAG / MIG - Verfahrens gefügt, wonach alle vorgeschriebenen Material- und Werkstoffmerkmale mit als erfüllt zu begründen sind. Diese sind weiterhin noch abhängig von den Probeschweißungen produktionsüblicher Werkstoffe sowie den Ergebnissen aus der Teileanalyse seitens des Herstellers.

Teileformat: Laut ABB ist der für die FlexArc Welding Cell angebotene Horizontal - Dreh - Positionierer IRBP - 1000 / 1400 in der Lage Teile mit Größen von 3150 x Ø1400 mm in Abhängigkeit von der auszuführenden Aufgabe optimal ausrichten zu können. Daher gilt folgendes Merkmal als erfüllt.

Stückzahlen: Interpretation siehe Faser - Laser - Technologie FLW - 4000 III.

Als Begründung für die Punkteverteilung beim *Personenbedarf und Vorrichtungen* können die Ergebnisse ebenfalls wie bei der TruLaserRobot 5020 oder allen anderen Anlagen, welche über eine Offline - Programmierung verfügen und den ähnlichen Service bezüglich der Aufnahme einer Spannvorrichtung anbieten, interpretiert werden.

Zusatzmerkmale der Anlage Typ ASA - 1003:

- Verfahrensflexibilität (MIG - Schweißen)
- Möglichkeit zur Multimove - Ausführung (Zwei Roboter)
- Offline - Programmiersoftware RobotStudio AWPP
- Die modulare Bauweise, jederzeit nachrüstbar oder erweiterbar

7.3 Auswahl einer Anlagentechnologie

Aus der Qualifikation der Technologien nach den Anforderungen von Fertigungsteilen aus bestehender Produktion und der strategischen Ausrichtung seitens der Geschäftsleitung wurde die **TruLaserCell Series 7040** der Firma TRUMPF GmbH & Co. KG mit den meisten Punkten (24) bewertet. Entscheidend an dieser Stelle waren vor allem die einzelnen Sondermerkmale, aber insbesondere die Möglichkeit zwei Verarbeitungsvorgänge (Schweißen / Schneiden) in einer Technologie ohne besondere Umbaumaßnahmen realisieren zu können.

Demnach sollte es in Bezug auf die aktuelle Produktion des Unternehmens den Vorteil bringen, die Technologie als eine zusätzliche Laserschneidanlage einsetzen zu können. Somit ließe sich die Ausnutzung der Maschinenkapazität wirtschaftlicher gestalten, in dem die Stillstandzeiten in Abhängigkeit von der Auftragslage, aber vor allem während der Erstellung

von Schweißprogrammen, durch Schneidaufgaben zweidimensionaler Blechmaterialien verkürzt bzw. ausgefüllt wären.

Einen weiteren positiven Aspekt liefert die indirekte Offline - Programmierung mit der TruTopsCell Software. Denn neben der Möglichkeit unabhängig von der laufenden Produktion zu programmieren sowie dem simulieren erstellter Programme in einer dreidimensionalen Umgebung, ist ein weiterer positiver Aspekt folgender Anlagenspezifikation ihre Ähnlichkeit zur der TruTops Software zur Erstellung einer 2D - Laserschneidbearbeitung und Erzeugung von NC - Daten, welche bereits von der KIEL Zulieferungen GmbH aktuell genutzt wird. Mit folgender programmiert und arbeitet erfolgreich ein großer Teil aller PM des Unternehmens, wonach das Anlernen der neuen Software zur Erzeugung diverser Schweißapplikationen mit einer bereits vertrauten Umgebung leichter ausfallen sollte.

Ebenfalls als positiv kann die schon seit längerem bestehende Zusammenarbeit zwischen der KIEL Zulieferungen GmbH und der TRUMPF GmbH & Co. KG aufgeführt werden. Somit verfügt sowohl der Hersteller, als auch der mögliche Anlagennutzer bereits im Vorfeld über ein bestimmtes Informationsspektrum, welches bei der Optimierung einer neuen Technologie für beide Seiten von Nutzen sein könnte.

8 Ausblick

In diesem Kapitel soll erläutert werden, was zukünftig zu dem Thema „Mechanisierung von Schweißanlagen“ untersucht werden kann und welche weiteren Maßnahmen vorzunehmen sind. Angesichts einer großen Anzahl an Informationen zu besagtem Thema beschränkten sich die Untersuchungen bei der Erstellung folgender Masterarbeit auf die Analyse technischer Grundlagen sowie eine erstmalige Zusammenstellung unterschiedlich, ausgeführter Variantenvorschläge diverser Anlagenhersteller. Bei den an dieser Stelle vorgestellten Technologien handelte es sich daher um standardisierte Ausführungen, welche es bei einer möglichen Realisierung der Schweißanlage noch weitgehend zu optimieren galt. Aufgrund hoher Investitionskosten sowie weiterer anfallender Ausgaben (z.B. für Hilfsmittel und Zusatzwerkstoffe, Strom, Instandhaltung, Reparaturen, Vorrichtungen usw.) empfiehlt es sich zuerst alle essentiellen Kalkulationen durchzuführen, um sowohl die Wirtschaftlichkeit als auch die Notwendigkeit einer Mechanisierung in Hinsicht auf die aktuell zu produzierenden Teile und Teilmengen zu überprüfen (siehe Berechnungsbeispiel Anlage 8). Weiterhin soll die Eignung von Baugruppen und Materialien geprüft werden und ob die Beschaffung solch einer Technik im Vergleich zu einer manuellen Fertigung den Umsatz und den Gewinn steigern und langfristig sichern würde.

Des Weiteren gilt es eine Besichtigung seitens des Anlagenlieferanten in den Produktionsstätten der KIEL Zulieferungen GmbH zu vereinbaren. Damit soll sich dieser einen ersten Überblick über die vorhandenen Räumlichkeiten verschaffen und gemeinsam mit der Führungsebene des Unternehmens weitere Kriterien für eine erfolgreiche Realisierung und Optimierung favorisierter Mechanisierungsvariante ausarbeiten.

Ebenfalls wichtig für die Konzipierung der Anlage ist wie bereits erwähnt eine Teileanalyse aus der Sicht des Herstellers vorzunehmen. Um dabei vor allem das am besten für die Produktion geeignete Schweißverfahren und die daraus resultierenden Maschinenzeiten zu ermitteln, sollen mit Hilfe von Probeschweißungen wichtige Erkenntnisse gewonnen, gesammelt und ausgewertet werden.

Außerdem soll die Problematik einer genauen und sicheren Teileeinspannung mittels variabler Spannmöglichkeiten nach dem Baukastenprinzip untersucht werden. Dazu müssen in ferner Zukunft die essentiellen Eigenschaften unterschiedlicher Sondervorrichtungen ermittelt, dessen Gemeinsamkeiten zusammengefasst und je nach Anwendung in einer geeigneten, modularen Vorrichtungstechnologie untergebracht werden. Hierzu bietet zum Beispiel die FÖRSTER welding systems GmbH ein 3D - Schweißtisch - Spannsystem zum flexiblen Arbeiten in der T - Nut zum Lichtbogenschweißen oder die ANDREAS MAIER GmbH & Co. KG Spann- und Vorrichtungssysteme zum Laserschweißen an, welche bei weiterer, ausführlicher Betrachtung der besagten Problematik als Vorlage zur Entwicklung eines geeigneten Prototypen genutzt werden können.

Quellenverzeichnis

Literatur

- [1] **[Bayer]** E. Bayer; Schweißen mit Laser (Grundlagen); Springer - Verlag Berlin Heidelberg; 1., Auflage 1995
- [2] **[Bayer]** E. Bayer; Schweißen mit Laser (Grundlagen); Springer - Verlag Berlin Heidelberg 1995
- [3] **[Breitschwerdt]** S. Breitschwerdt; Qualitätssicherung beim Laserschweißen (Forschungsberichte des IFSW); Herbert Utz Verlag GmbH 2001
- [4] **[Decker]** Decker; Maschinenelemente (Funktion, Gestaltung und Berechnung); Carl Hanser Verlag München; 17., aktualisierte Auflage 2009
- [5] **[Dilthey]** U. Dilthey; Laserstrahlschweißen (Prozesse, Werkstoffe, Fertigung und Prüfung); Verlag für Schweißen und verwandte Verfahren DVS - Verlag GmbH, Düsseldorf 2000
- [6] **[Dilthey_6]** U. Dilthey; Schweißtechnische Fertigungsverfahren (Schweiß- und Schneidtechnologien); Springer - Verlag Berlin Heidelberg GmbH 1994; Band 1
- [7] **[Dilthey_7]** U. Dilthey; Schweißtechnische Fertigungsverfahren I (Materialsammlung zur Vorlesung); Verlag der Augustinus Buchhandlung; 5., Auflage 1996
- [8] **[Dilthey_8]** U. Dilthey; Schweißtechnische Fertigungsverfahren I (Schweiß und Schneidtechnologien); Springer - Verlag Berlin Heidelberg; 3., bearbeitete Auflage 2006
- [9] **[DVS_9]** DVS - Berichte; Roboter (Wege zur automatisierten schweißtechnischen Fertigung); Verlag für Schweißen und verwandte Verfahren DVS - Verlag GmbH; Düsseldorf 2002; Band 217
- [10] **[DVS_10]** DVS - Berichte; Roboter (Neue Wege zum wirtschaftlichen Schweißen mit Robotern und Automaten); Verlag für Schweißen und verwandte Verfahren DVS - Verlag GmbH; Düsseldorf 1999; Band 199

- [11] **[DVS_11]** R. Zwätz; Qualitätsanforderungen beim Schmelzschweißen metallischer Werkstoffen (Kommentar zur Normreihe DIN ISO 3834); Beuth Verlag GmbH /DVS - Verlag GmbH ; Berlin / Wien / Zürich / Düsseldorf; 1., Auflage 2007
- [12] **[Ehrlenspiel / Kiewert]** K. Ehrlenspiel / A. Kiewert / U. Lindemann / M . Mörtl; Kostengünstig Entwickeln und Konstruieren (Kostenmanagement bei der integrierten Produktentwicklung); Springer - Vieweg Verlag Berlin Heidelberg; 7., Auflage 2014
- [13] **[Fahrenwaldt / Schuler]** H.J. Fahrenwaldt / V. Schuler; Praxiswissen Schweißtechnik (Werkstoffe, Prozesse, Fertigung); Vieweg + Teubner Verlag / Springer Fachmedien Wiesbaden GmbH; 4., überarbeitete Auflage 2011
- [14] **[Fahrenwaldt]** H.J. Fahrenwaldt; Schweißtechnik (Verfahren und Werkstoffe); Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig/ Wiesbaden; 3., Auflage 1994
- [15] **[Fritz / Schulze]** Fritz / Schulze; Fertigungstechnik; Springer - Vieweg Verlag 2012; 10., neu bearbeitete Auflage
- [16] **[Gerthsen]** T. Gerthsen; Chemie für Maschinenbau 1 (Anorganische Chemie für Werkstoffe und Verfahren); Universitätsverlag Karlsruhe 2006
- [17] **[Gevatter / Grünhaupt]** H.-J. Gevatter / U. Grünhaupt; Handbuch der Mess- und Automatisierungstechnik in der Produktion; Springer - Verlag; Berlin Heidelberg 2006; 2., vollständig bearbeitete Auflage
- [18] **[Haberhauer / Bodenstein]** H. Haberhauer / F. Bodenstein; Maschinenelemente (Gestaltung, Berechnung, Anwendung); Springer - Verlag Berlin/Heidelberg 2007; 14., bearbeitete Auflage
- [19] **[Heubner / Klöwer]** U. Heubner / J. Klöwer; Nickelwerkstoffe und hochlegierte Sonderstähle Schweißtechnik (Eigenschaften, Verarbeitung, Anwendungen); Expert - Verlag; 4., völlig neu überarbeitete Auflage 2009
- [20] **[Hesse / Krahn / Eh]** S. Hesse / H. Krahn / D. Eh; Betriebsmittel Vorrichtung (Grundlagen und kommentierte Beispiele); Carl Hanser Verlag; München 2012; 2., überarbeitete und erweiterte Auflage

- [21] **[Hesse]** S. Hesse; Industrieroboterpraxis (Automatisierte Handhabung in der Fertigung); Vieweg - Verlag; Braunschweig / Wiesbaden 1998
- [22] **[Hesse / Seitz]** S. Hesse / G. Seitz; Robotik (Grundwissen für die berufliche Bildung); Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH; Braunschweig / Wiesbaden 1996
- [23] **[Hesse / Schnell]** S. Hesse / G. Schnell; Sensoren für die Prozess- und Fabrikautomation (Funktion - Ausführung - Anwendung); Springer - Vieweg Verlag; Wiesbaden 2014; 6., korrigierte und verbesserte Auflage
- [24] **[Hiersig]** H.M. Hiersig; Lexikon Produktionstechnik Verfahrenstechnik; Springer - Verlag Berlin Heidelberg GmbH 1995
- [25] **[Hochreiter]** G. Hochreiter; Unterpulverschweißen in der Praxis; Expert Verlag; Renningen - Malsheim 1995
- [26] **[Hügel / Graf]** H. Hügel / T. Graf; Laser in der Fertigung (Grundlagen der Strahlquellen, Systeme, Fertigungsverfahren); Springer Vieweg / Springer Fachmedien Wiesbaden; 3., überarbeitete und erweiterte Auflage 2014
- [27] **[Kramer]** K. Kramer; Qualitätssicherung in der Schweißtechnik (Schmelzschweißen und Bolzenschweißen von Metallen); expert Verlag Ehningen bei Böblingen 1993
- [28] **[Krahn / Storz]** H. Krahn / M. Storz; Konstruktionsleitfaden Fertigungstechnik (Anwendungsbeispiele aus der Praxis); Springer Vieweg - Verlag; Wiesbaden 2014
- [29] **[Kreuzer / Meißner / Lugtenburg / Truckenbrodt]** E. J. Kreuzer / H. -G. Meißner / J. -B. Lugtenburg / A. Truckenbrodt W. Weber; Industrieroboter (Technik, Berechnung und anwendungsorientierte Auslegung); Springer - Verlag; Berlin Heidelberg 1994
- [30] **[Kief / Roschival / Schwarz]** H. B. Kief / A. Roschival / K. Schwarz; CNC - Handbuch; Carl Hanser Verlag München 2017; 30., überarbeitete Auflage
- [31] **[König]** W. König; Fertigungsverfahren 3 (Abtragen, Generieren und Lasermaterialbearbeitung); Springer - Verlag Berlin Heidelberg 2007; 4., neu bearbeitete Auflage

- [32] **[Kuhlmann]** U. Kuhlmann; Stahlbau - Kalender 2011 (Eurocode 3 - Grundnorm, Verbindungen); Wilhelm Ernst & Sohn. Verlag für Architektur und technische Wissenschaften GmbH & Co. KG; Berlin 2011; 13., Jahrgang
- [33] **[Lehner]** C. Lehner; Beschreibung des Nd:YAG Laserschweißprozesses von Magnesiumdruckguss; Herbert Utz Verlag GmbH 2001; Band 147
- [34] **[Lienenbach]** S. Lienenbach; Interaktive Geschäftsprozessmodellierung (Dokumentation von Prozesswissen in einer Virtual Reality - gestützten Unternehmungsvirtualisierung); Deutscher Universitäts - Verlag GmbH; Wiesbaden 2000
- [35] **[Lotter / Wiendahl]** B. Lotter / H.-P. Wiendahl; Montage in der industriellen Produktion (Ein Handbuch für die Praxis); Springer - Verlag Berlin/Heidelberg 2006; 2., Auflage 2012
- [36] **[Matthes / Schneider]** K.-J. Matthes / W. Schneider; Schweißtechnik (Schweißen von metallischen Konstruktionswerkstoffen); Carl Hanser Verlag München; 6., aktualisierte Auflage 2016
- [37] **[Matthes / Seliga]** K.-J. Matthes / E. Seliga; Gerätetechnischer Forschungsbedarf in der Fügetechnik aus Sicht mittelständischer Anlagenhersteller oder Systemanbieter (Studie); Ausgabe 03/2003
- [38] **[Matthes / Richter]** K.-J. Matthes / E. Richter; Schweißtechnik (Schweißen von metallischen Konstruktionswerkstoffen); Carl Hanser Verlag München; 4., aktualisierte Auflage 2016
- [39] **[Meins]** W. Meins; Handbuch Fertigungs- und Betriebstechnik; Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH, Braunschweig 1989
- [40] **[Moeller]** E. Moeller; Handbuch Konstruktionswerkstoffe (Auswahl, Eigenschaften, Anwendung); Carl Hanser Verlag München Wien; 2., überarbeitete Auflage 2014
- [41] **[Munzert]** U. Munzert; Forschungsberichte IWB (Bahnplanungsalgorithmen für das robotergestützte Remote - Laserstrahlschweißen); Herbert Utz Verlag GmbH; München 2010; Band 234

- [42] **[Neubert / Weilhammer]** J. Neubert / G. Weilhammer; Laserstrahlschweißen (Leitfaden für die Praxis); DVS Media GmbH, Düsseldorf 2009; Band 29
- [43] **[Reek]** A. Reek; Strategien zur Fokuspositionierung beim Laserstrahlschweißen (Forschungsberichte); Herbert Utz Verlag GmbH 2000; Band 138
- [44] **[Rick]** F. Rick; Forschungsberichte des iwb (Simulationsgestützte Gestaltung von Produkt und Prozess am Beispiel Laserstrahlschweißen); Herbert Utz Verlag GmbH 2001; Band 148
- [45] **[Rogos]** J. Rogos; Intelligente Sensorsysteme in der Fertigungstechnik; Springer - Verlag; Berlin Heidelberg 1989
- [46] **[Ruge]** J. Ruge; Handbuch der Schweißtechnik (Verfahren und Fertigung); Springer - Verlag Berlin/Heidelberg 1980; 2., neu bearbeitete Auflage
- [47] **[Ruge_47]** J. Ruge; Handbuch der Schweißtechnik II (Verfahren und Fertigung); Springer - Verlag Berlin/Heidelberg 1993; 3., neu bearbeitete Auflage
- [48] **[Schuler]** V. Schuler; Schweißtechnisches Konstruieren und Fertigen; Friedr. Vieweg & Sohn Braunschweig/Wiesbaden 1992
- [49] **[Schüler]** U. Schüler; CIM - Lehrbücher (Grundlagen der rechnerintegrierten Produktion); Vieweg - Verlag; Braunschweig / Wiesbaden 1994
- [50] **[Trummer / Wiebach]** A. Trummer / H. Wiebach; Vorrichtungen der Produktionstechnik (Entwicklung, Montage, Automation); Springer Vieweg - Verlag + Wiesbaden 1994
- [51] **[Trumpf]** TRUMPF Werkzeugmaschinen GmbH + Co KG; Technische Dokumentation „Lasersysteme“; Ausgabe 02/2007
- [52] **[Weber]** W. Weber; Industrieroboter (Methoden der Steuerung und Regelung); Carl Hanser Verlag; München 2017; 3., neu bearbeitete Auflage
- [53] **[Zabel]** A. Zabel; Werkstattorientierte Programmierung von Industrierobotern für automatisiertes Lichtbogenschweißen (Neue Methoden zur Verkürzung der Programmierzeit); Friedr. Vieweg & Sohn Verlagsgesellschaft mbH; Braunschweig / Wiesbaden 1993

Internet - Adressen

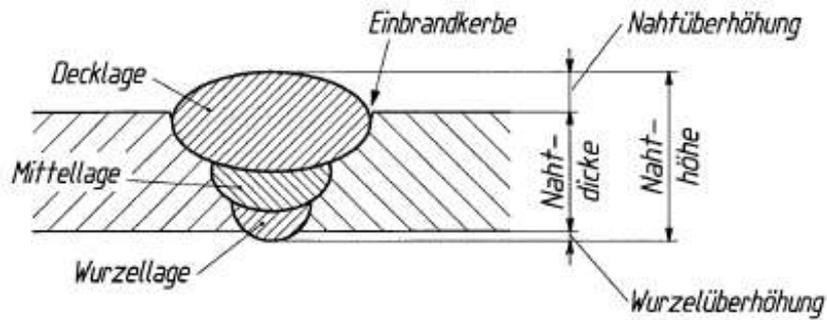
- [I1] **[ABB]** ABB Automation GmbH; online verfügbar unter: [http://new.abb.com/products/robotics/de/anwendungen-nach-industriezweigen/schweißen - schneiden](http://new.abb.com/products/robotics/de/anwendungen-nach-industriezweigen/schweißen-schneiden); zuletzt geprüft am 27.Juli.2017
- [I2] **[ABB_I2]** ABB Automation GmbH; online verfügbar unter: [http://new.abb.com/products/robotics/application-equipment-and-accessories/workpiece - positioners](http://new.abb.com/products/robotics/application-equipment-and-accessories/workpiece-positioners); zuletzt geprüft am 27.Juli.2017
- [I3] **[ABB_I3]** ABB Automation GmbH; online verfügbar unter: <http://new.abb.com/products/robotics/application-equipment-and-accessories/arc-welding-equipment/arc-welding-packages/flexarc>; zuletzt geprüft am 27.Juli.2017
- [I4] **[AKON]** AKON Robotics; online verfügbar unter: <http://www.akon-robotics.de/>; zuletzt geprüft am 27.Juli.2017
- [I5] **[AMADA]** AMADA GmbH; online verfügbar unter: <http://www.amada.de/de/home.html>; zuletzt geprüft am 27.Juli.2017
- [I6] **[AMADA_I6]** AMADA GmbH; Datenblatt FLW - Serie; Oktober 2013; online verfügbar unter: <http://www.amada.de/de/schweissen/flw/faserlaser-schweissroboter.html>; zuletzt geprüft am 27.Juli.2017
- [I7] **[arbeitssicherheit]** arbeitssicherheit.de; online verfügbar unter: <http://www.arbeitssicherheit.de/de/html/library/law/5004703%2C25%2C20150101>; zuletzt geprüft am 27.Juli.2017
- [I8] **[DVS]** Die Verbindungsspezialisten (DVS Media Schweißzusätze); online verfügbar unter: <https://www.die-verbindungs-spezialisten.de>; zuletzt geprüft am 27.Juli.2017
- [I9] **[FÖRSTER]** FÖRSTER welding systems GmbH; online verfügbar unter: <http://www.forster-welding-systems.com/automation/roboteranlagen.html>; zuletzt geprüft am 27.Juli.2017
- [I10] **[KIEL]** KIEL Zulieferungen GmbH; online verfügbar unter: <http://www.kielzulieferungen.de/home.html>; zuletzt geprüft am 27.Juli.2017

- [I11] **[KUKA]** KUKA AG; online verfügbar unter: <https://www.kuka.com/de-de>; zuletzt geprüft am 27.Juli.2017
- [I12] **[MERKLE]** MERKLE Schweißanlagen - Technik GmbH; online verfügbar unter: <http://www.merkle.de/de/produkte/automatisierung.html#c128>; zuletzt geprüft am 27.Juli.2017
- [I13] **[ROBITAL]** ROBITAL Robotic Systems; online verfügbar unter: <http://robital.com/>; zuletzt geprüft am 27.Juli.2017
- [I14] **[Trumpf_I14]** TRUMPF Werkzeugmaschinen GmbH + Co KG; online verfügbar unter: https://www.trumpf.com/de_DE/?LS=1; zuletzt geprüft am 27.Juli.2017
- [I15] **[Trumpf_I15]** TRUMPF Werkzeugmaschinen GmbH + Co KG; Technische Dokumentation „TruLaserWeld“; online verfügbar unter: https://www.trumpf.com/de_DE/produkte/maschinen-systeme/laserschweissanlagen/; zuletzt geprüft am 27.Juli.2017

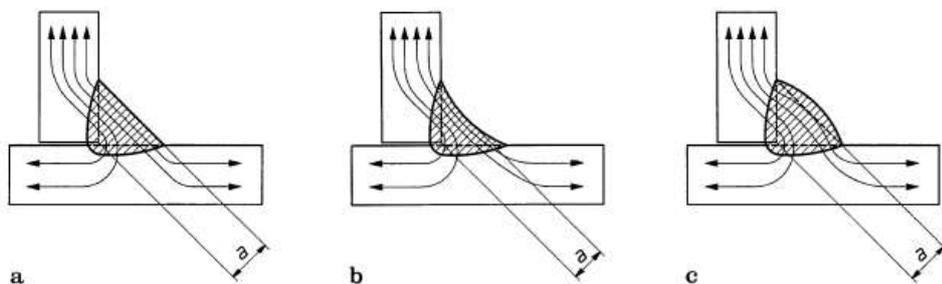
Anlagenverzeichnis

Anlage 1: Stumpfnah, einseitig durchgeschweißt	2
Anlage 2: Kehlnähte a) Flachkehlnah; b) Hohlkehlnah; c) Wölbkehlnah	2
Anlage 3: Nahformen beim Schmelzschweißen nach DIN EN 22553 (DIN 1912-5, Ausz.) ..	2
Anlage 4: Varianten des WP - Schweißens	3
Anlage 5: AKON Roboterschweißanlage ASA - 1003	4
Anlage 6: AKON ASA - 1012 Schweißanlage	19
Anlage 7: Programmiersoftware RobotStudio	34
Anlage 8: Berechnungsbeispiel „Haube“	35

Anlage 1: Stumpfnah, einseitig durchgeschweißt (Quelle: /18, S.75/)



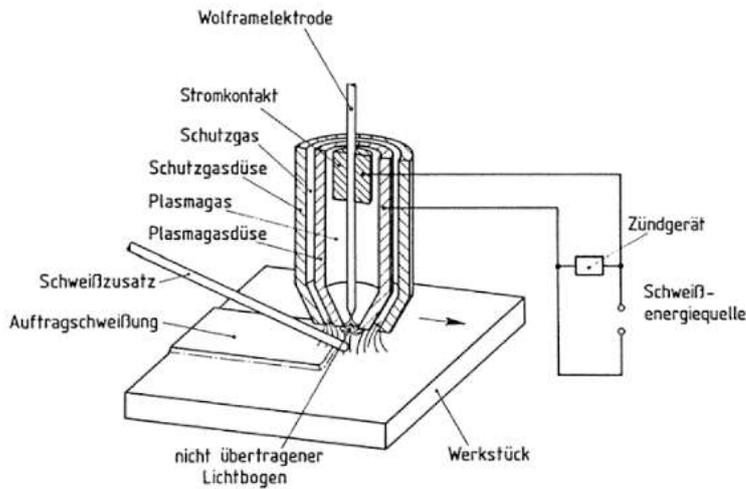
Anlage 2: Kehlnähte a) Flachkehlnah; b) Hohlkehlnah; c) Wölbkehlnah (Quelle: /18, S.75/)



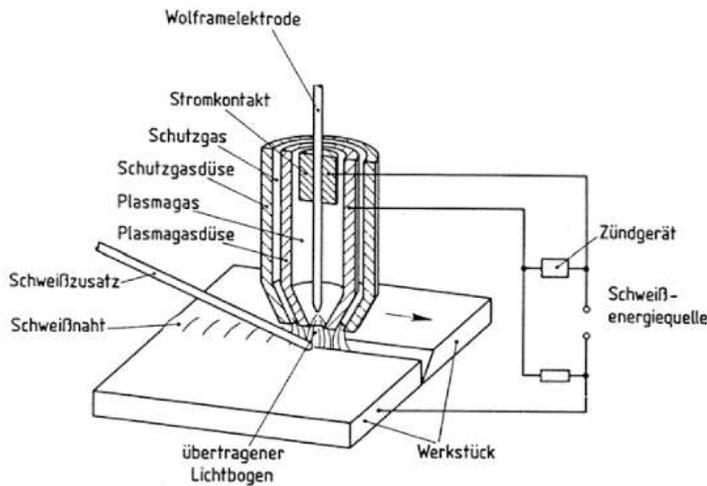
Anlage 3: Nahtformen beim Schmelzschweißen nach DIN EN 22553 (DIN 1912-5, Auszug) (Quelle: /4, S.98/)

Benennung	Symbol	Fugenform	Nahtform	Benennung	Symbol	Fugenform	Nahtform
Stumpfnähte							
Bördelnah				DV-Nah (X-Nah)			
I-Nah				DHV-Nah (K-Nah)			
V-Nah				DY-Nah			
HV-Nah				DHY-Nah (K-Stegnah)			
Y-Nah				DU-Nah			
HY-Nah				DHU-Nah (Doppel-Jot-Nah)			
U-Nah				VU-Nah			
HU-Nah (Jot-Nah)				V-Nah mit Gegennah			
Steiflankennah							
Halb-Steiflankennah							
Stirnflachnah							
Kehlnähte							
Kehlnah				Doppel-Kehlnah			
Sonstige Nähte							
HV-Nah mit Kehlnah				DHY-Nah mit Doppelkehlnah			

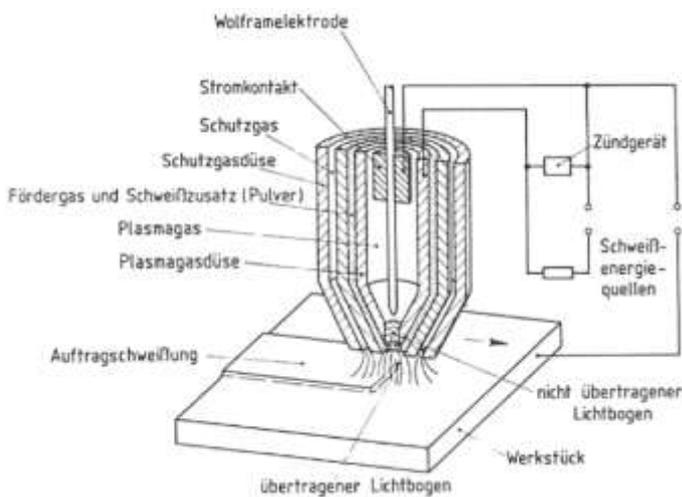
Anlage 4: Varianten des WP - Schweißens



Plasmastrahlschweißen (WPS)
(Quelle: /14, S.64/)



Plasmalichtbogenschweißen (WPL)
(Quelle: /14, S.64/)



Plasmastrahl - Plasmalichtbogenschweißen (WPSL) (Quelle: /14, S.65/)

Anlage 5: AKON Roboterschweißanlage ASA - 1003



AKON Robotics • Piepsche 7a • 28857 Syke

KIEL Zulieferungen GmbH
Vitalis Donhauser
Schwerzer Str. 1
06188 Landsberg

ANGEBOT

Angebot Nr.	: 1964
Datum	: 01.06.2017
Seite	: 1 von 14
Ihre ID Nr.	: 60491
Anfrage-Datum	: 31.05.2017
Projekt-Nr.	: 2014
Unsere Steuer Nr.	: 60/159/05148
Unsere USt.-ID Nr.	: DE217204404
Ansprechpartner	: Martin Huber
Durchwahl	: +49 (0) 421/32263-86
Fax	: +49 (0) 421/32263-76
E-Mail	: m.huber@akon-robotics.de

vielen Dank für Ihre Anfrage, nachfolgend bieten wir Ihnen freibleibend zu unseren bekannten Allgemeinen Geschäftsbedingungen folgende Positionen an:

Pos.	Bezeichnung	Menge	Einheit	Einzeln	Gesamtbetrag
------	-------------	-------	---------	---------	--------------

Roboterschweißanlage ASA 1003

1	V100014				1 Stück
---	---------	--	--	--	---------

Inhalt

ASA-1003 Schweißkabine

- KUKA Roboter KR6R1820 mit Steuerung KRC4,
- Dinse Schweißgerät PI400,
- Dinse Schweißausrüstung MAG ,
- Akon Brennerreinigungsstation,
- LVA3000 Linearverfahreinheit
- Drehpositionierer und Zusatzachsen,
- Absaugesse mitfahrend
- Schutzumhausung Roboteranlage
- Anlagensteuerung
- Inbetriebnahme
- Verpackung und Transport
- Montage und Inbetriebnahme im Werk Endkunde,
- Dokumentation
- Schulung

Option

- Rotolab Werkzeugvermessung

Firmierungsadresse:

AKON Robotics
Piepsche 7a
28857 Syke

Werksadresse:

AKON Robotics
Oppenheimer Straße 21
28307 Bremen

Kontakt:

Tel. +49 (0) 421 / 322 63 6
Fax: +49 (0) 421 / 322 63 71
Mail: info@akon-robotics.de
Web: www.akon-robotics.de



2. Seite zum Angebot 1964 an KIEL Zulieferungen GmbH

Angebot Nr.	: 1964
Seite	: 2 von 14

Pos.	Bezeichnung	Menge	Einheit	Einzeln	Gesamtbetrag
------	-------------	-------	---------	---------	--------------

2 A100092 1 Stück

Kuka Industrieroboter KR6R1820 mit Steuerung KRC4

bestehend aus folgenden Komponenten:

01. KUKA Industrieroboter KR6 R1820 arc HW

- in Standardausführung
- Traglast: 6 kg
- Zusatzlast Arm: Nenn-Zusatzlast 10kg / max. 15kg
- maximale Reichweite: 1.820 mm
- Achsen: 6
- Einbaulage: variabel (Boden, Decke, Wand, Winkel)
- Wiederholgenauigkeit (ISO 9283): <+- 0,04 mm
- Schutzart - Robotermechanik: IP 54 - Zentralhand: IP 54
- Umgebungstemperatur bei Betrieb: +5 °C bis +45 °C
- Farbe: Mechanik – KUKA Orange (ähnlich RAL 2003)
- Grundgestell / Abdeckung – Schwarz RAL 9005
- Zubehör Verbindungskabelsatz, Länge: 4m (nicht schleppfähig)

02. KUKA Robotersteuerung KR C4

- für höchste Leistung, Skalierbarkeit und Flexibilität
- in Standardausführung EU
- Netzeinspeisung HAN 6
- Tür mit Schließung Doppelbart
- Farbe: Korpus - RAL 7016 anthrazit / Tür - KUKA orange (ähnlich RAL 2003)
- Schutzart IP54
- Anschlussspannung 400V +-10%, dreiphasig

03. Programmierhandgerät KUKA smartPAD

- für den gesamten Dialog mit der Robotersteuerung
- verwendbar als portables Handgerät oder als steckbares Bedienfeld
- mit 10m Anschlusskabel und smartPAD-Halterung RAL 7016

04. Steuerungsoptionen

Irmiierungsadresse:

KON Robotics
iepsche 7a
3857 Sylke

Werksadresse:

AKON Robotics
Oppenheimer Straße 21
28307 Bremen

Kontakt:

Tel. +49 (0) 421 / 322 63 6
Fax. +49 (0) 421 / 322 63 71
Mail: info@akon-robotics.de
Web: www.akon-robotics.de

3. Seite zum Angebot 1964 an KIEL Zulieferungen GmbH

Angebot Nr.	: 1964
Seite	: 3 von 14

Pos.	Bezeichnung	Menge	Einheit	Einzel	Gesamtbetrag
------	-------------	-------	---------	--------	--------------

- Sicherheitsschnittstelle X11/X13 SafeOperation
- ProfiNet Controller / Device – EtherCAT
- Interface Ethernet X66

05. Zusatzachsen:

- KR C4 smallsize-2 drive box
- Schnittstelle 3 Zusatzachsen X7.1/.2/.3 bis max. 40 A
- Antriebsmodule: KPP 600-20 2x40 UL rechts
- Servomotoren
- Motorleitungen für Zusatzachsen
- Steuerleitungen für Zusatzachsen
- Justagemittelsatz für Zusatzachsen

06. Software

- KUKA SafeSingleBrake
- KUKA.ArcTech Basic

3	A100013			1 Stück	
---	---------	--	--	---------	--

Dinse Schweißstromquelle PI-400 flüssiggekühlt mit Drahtvorschubkoffer WF50SE-R ohne PUSH-PUSH Option

bestehend aus folgenden Komponenten:

01. Schweißstromquelle und integrierte Komponenten

- PI 400 Power Inverter
Primär getakteter Inverter mit elektronischer Blindstromkompensation. Moderne Prozessor- und Invertertechnik sichern eine schnelle Prozessregelung. Adaption von Zusatzkomponenten über integriertes BUS-System.
Leistungsdaten:
 - 40% ED 380A
 - 60% ED 350A
 - 100% ED 310A

02. Schnittstellenplatine

- Schnittstellenmodul zur Aufnahme des Busmoduls zu Roboterkommunikation

03. ProfiNet Schnittstellenmodul

<u>Firmierungsadresse:</u> AKON Robotics Piepsche 7a 28857 Syke	<u>Werksadresse:</u> AKON Robotics Oppenheimer Straße 21 28307 Bremen	<u>Kontakt:</u> Tel. +49 (0) 421 / 322 63 6 Fax. +49 (0) 421 / 322 63 71 Mail: info@akon-robotics.de Web: www.akon-robotics.de
---	---	---

4. Seite zum Angebot 1964 an KIEL Zulieferungen GmbH

Angebot Nr. : 1964
Seite : 4 von 14

Pos.	Bezeichnung	Menge	Einheit	Einzeln	Gesamtbetrag
------	-------------	-------	---------	---------	--------------

- Busmodul ProfiNet zur Roboteranbindung (AnyBus)

04. ProfiNet-15

- Buskabelset ProfiNet 15 mtr zur Verbindung zwischen Stromquelle und Robotersteuerung

05. Kühlmodul

- effizientes Kühlmodul zur Montage am Power Inverter.

Busanbindung für Datentransfer und Steuersignale an die PI Serie. Pumpe mit Metallgehäuse. Kühlleistung 1,2 kW gem. EN60974-2 mit 5 ltr Behälter

06. Drahtvorschubkoffer WF50SE-R

- Kompakter Drahtvorschub mit hochwertiger 4-Rollen Antriebseinheit, rechte Ausführung mit Euro Zentral Anschluß, beinhaltet Drahtförderrollen WFR-1012S

07. Drahtvorschubplatine

- Drahtvorschubsteuerung mit integriertem DSP und Montierbarkeit, Push-Pull Option, Einbau in Stromquelle

08. Drahtförderschlauch 5m

- Drahtförderschlauch für Stahl- CrNi-Drähte mit Bowdenspirale flach, 5m

09. Verbindungsschlauchpaket

- Verbindung zwischen Stromquelle und Drahtvorschub, flüssiggekühlt, Massekabel 95mm² Länge 5 mtr

10. Bedienung und Zubehör

- Bedienpanel
Einstellung aller Parameter zu Verfahren, Werkstoffen und Funktionen.
Bei laufenden Stromquellenbetrieb (de-) montierbar.
- Anschlußleitung 5m für Remote Panel

4 V100098 1 Stück

Dinse Schweißbrenner-System RETZ-600 Revo-Torch

Firmierungsadresse:

AKON Robotics
Piepsche 7a
28857 Syke

Werksadresse:

AKON Robotics
Oppenheimer Straße 21
28307 Bremen

Kontakt:

Tel. +49 (0) 421 / 322 63 6
Fax. +49 (0) 421 / 322 63 71
Mail: info@akon-robotics.de
Web: www.akon-robotics.de

5. Seite zum Angebot 1964 an KIEL Zulieferungen GmbH

Angebot Nr.	: 1964
Seite	: 5 von 14

Pos.	Bezeichnung	Menge	Einheit	Einzeln	Gesamtbetrag
------	-------------	-------	---------	---------	--------------

Das flüssiggekühlte Drehmedium RET 600 ermöglicht die unbegrenzte Drehbarkeit der Schweißpistole. Der entscheidender Vorteil: Der Programmieraufwand für komplexe Steckenabläufe inklusive Rückwege entfällt. Als zusätzlicher Bestandteil des Drehmediums ist der Crash-Schutz mit einem Auslenkbereich von 15°. Die automatische und präzise Rückstellung auf den TCP ist selbstverständlich. Eine optional verfügbare Sicherheitsabschaltung schützt zusätzlich Werkzeug

- Unbegrenzte Drehbarkeit der Pistolenköpfe
- Torsionsfreie Schweißgarnitur
- Keine Gasverluste durch separate Schutzgasführung
- Servicefreundliche Trennbarkeit der Garnitur am Drahtvorschub und am Drehmedium
- Keine zeitaufwendige Schutzgasspülung der Garnitur nach jedem Ausblasen
- Präzise Sicherheitsabschaltung mit maximaler Auslenkung von 15° bei Kollision
- Hohe Rückstellgenauigkeit mit $\pm 0,03$ mm bei 450 mm Länge ab Roboterflansch

Gewicht 2,7 kg

Kühlung flüssiggekühlt

Schweißverfahren MIG, MAG

Grundmaterial unlegierte Stähle; niedriglegierte Stähle; hochlegierte Stähle; Kupferlegierungen; Nickelbasislegierungen

Rückstellgenauigkeit 0,03 mm

Auslenkung 15 °

Drehbereich unbegrenzt °

Adapterflansch DIX ADFR 63xx

Drehmedium DIX RETZ 600 (L)

Schweißgarnitur DIX RETZ 610 - xx

Stutzen DIX MES 300/500

Drahtführungsspirale bzw. -kapillare

Pistolenkopf z.B. DIX METZ 548

5 V100014 1 Stück

AKON Brennerreinigungsstation**Gasdüsen-Reinigungsgerät mit Drahtschneider und Einsprühvorrichtung
TYP BRG-2000D/DA**

Reinigungsfräser

Endschalter Spannzylinder

Firmierungsadresse:AKON Robotics
Piepsche 7a
28857 Syke**Werksadresse:**AKON Robotics
Oppenheimer Straße 21
28307 Bremen**Kontakt:**Tel. +49 (0) 421 / 322 63 6
Fax. +49 (0) 421 / 322 63 71
Mail: info@akon-robotics.de
Web: www.akon-robotics.de

6. Seite zum Angebot 1964 an KIEL Zulieferungen GmbH

Angebot Nr. : 1964
Seite : 6 von 14

Pos.	Bezeichnung	Menge	Einheit	Einzel	Gesamtbetrag
------	-------------	-------	---------	--------	--------------

Gasdüsenfixierung variabel für unterschiedliche Gasdüsendurchmesser
Einsprühen mittels separater Einsprühdüsen
Kunststoffflasche für Antihafmittel
Versorgungsspannung 24 VDC
pneumatischer Anschluss 6bar, 87psi
mechanische Betätigung durch Roboter-Schweißbrenner
Incl. Ständer

6	V100014			2 Stück	
---	---------	--	--	---------	--

Drehpositionierer und Zusatzachsen

Horizontal-Drehpositionierer zur Aufnahme der Schweißvorrichtungen

- Lastaufnahme pro Seite 500Kg
- Abmaße: entnehmen Sie bitte dem Anlagenlayout
- Einspannweite: zwischen den Aufspannplatten max. 3000mm
- Durchrehdurchmesser: 1500mm
- Einlegehöhe: ca. 850mm

Zusatzachspakete 7+8

Robotergesteuerte Zusatzachsen auf dem Elektrodrehtisch. Antrieb über spielfreie Präzisionsfeingetriebe. Synchrone Bearbeitung der Werkstücke über mathematische Achskopplung durch die Robotersteuerung. Sicherheitsabschaltung für die Bedienerseite.

- Spielfreie Präzisionsfeingetriebe
- Masseübertragung über Schleifkontakte bis 500 Ampere
- Sicherheitsschalter für die Achsabschaltung Bedienerseitig
- Positionsmarke für Justage
- Aufspannklötze für schnellen und präzisen Vorrichtungswchsel
- Gegenlager schwimmend für Vorrichtung-Toleranzausgleich +/-25mm

7	V100112			1 Stück	
---	---------	--	--	---------	--

LVA 3000 Linear-Verfahrenheit, schräg verzahnt

Gewichtsklasse: 3000 kg

Roboterfahrtschiene: **8,5** m

Verfahrweg: **6,8** m (mit Energiekette)

Firmierungsadresse:

AKON Robotics
Piepsche 7a
28857 Syke

Werksadresse:

AKON Robotics
Oppenheimer Straße 21
28307 Bremen

Kontakt:

Tel. +49 (0) 421 / 322 63 6
Fax. +49 (0) 421 / 322 63 71
Mail: info@akon-robotics.de
Web: www.akon-robotics.de

7. Seite zum Angebot 1964 an KIEL Zulieferungen GmbH

Angebot Nr. : 1964
Seite : 7 von 14

Pos.	Bezeichnung	Menge	Einheit	Einzel	Gesamtbetrag
------	-------------	-------	---------	--------	--------------

- Zusatzachspaket Achse 9

- Grundgestell Stahlrahmen, normale Bauform 1,5m Breite (Lackierung: AKON Robotics Standard)
- Kugelumlaufführung
- Zahnstangenantrieb, gehärtet, schräg verzahnt
- Zahnritzel, schräg verzahnt
- Planetengetriebe i=1:10
- Fahrplatte Stahl, lackiert mit entsprechendem Roboter-Bohrbild (1000x850mm)
- Wiederholgenauigkeit in Verbindung mit entsprechender Servomotorik +/-0,15 mm
- Führungsschienen abgedeckt mit Riffelblech
- Endplatten mit Puffer
- Nullpunktjustage mittels Messpin
- Einstellbare Füße mit Grundplatte enthalten
- Bodenanker, Klebedübel
- Energiekette **6,8 m** geschlossene Ausführung
- Energiekettenwanne segmentiert, Stahlblech verzinkt

8 V100017 1 Stück

Absaugesse mitfahrend

Absaugesse aus gelaserten und gekanteten Stahlblechen, mitfahren auf LVA 3000
Innenliegende Prallbleche zur besseren Luftführung und Minimierung der Abluftleistung.
Schlitzkanal für mitfahrende Esse, an bauseitigem Ständerwerk (Hallenstützen /-wand) befestigt
Anschluss des Schlitzkanals an die Absauganlage über 1x Stutzen DN250 möglich.

9 V100062 1 Stück

Schutzumhausung Roboteranlage

Vollflächige, pulverbeschichtete Anlagenumhausung mit Systempfosten
Seitenwände ca. 4m lang, Rückwand 8,0m breit.
Pulverbeschichtung in RAL3003 (Pfosten) und RAL1015 (Bleche). Sicht- und Blendschutz
Im Einlegebereich manuelle Schiebetüren mit Sichtfenster aus Makrolon (400x300mm). Mitteltrennwand mit Sicherheitsabfrage für den Personenschutz. Bereichsabsicherung über Schiebetüren und 2xSicherheitslichtschranken, mit einer Servicetür.
Anbaumöglichkeit für Start-, Stop-, Freigabe- und Not-Aus Taster an den Systempfosten.

10 V100009 1 Stück

Anlagensteuerung Roboterkabine

Firmierungsadresse:

AKON Robotics
Piepsche 7a
28857 Syke

Werksadresse:

AKON Robotics
Oppenheimer Straße 21
28307 Bremen

Kontakt:

Tel. +49 (0) 421 / 322 63 6
Fax. +49 (0) 421 / 322 63 71
Mail: info@akon-robotics.de
Web: www.akon-robotics.de

8. Seite zum Angebot 1964 an KIEL Zulieferungen GmbH

Angebot Nr.	: 1964
Seite	: 8 von 14

Pos.	Bezeichnung	Menge	Einheit	Einzeln	Gesamtbetrag
	<ul style="list-style-type: none"> - Verdrahtung des Steuerschranks - Verkabelung aller Anlagenkomponenten - Einbindung aller externen Signale von Schweißgerät - Brennerreinigung und Bedienelementen - Erstellen der entsprechenden Konfiguration für die Kommunikation mit dem Schweißgerät - Programmierung der Anlagensteuerung über den Roboter - Bedienung über Start / Stop / Freigabe / Not-Aus Taster an der Bedienerseite , sowie über einen Reset-Taster an der Servicetür - Sicherheitstechnik nach Kat. 3, Performance Level D nach DIN/EN 13849-2 zweikanalige Ausführung für Not-Aus und Bedienerschutz. - Bedienelemente 2x4-Fach Einheit Start/Stop/Freigabe/Not-Aus, - Sicherheitssteuerung Pilz PNOZ Multi - E/A Sammler ProfiNet 24 Ein- / Ausgänge im Schrank - Absicherung für Roboter, Schweissgerät integriert - Anschlusswerte: 400V/50Hz/63A/N/PE - Zuleitung zum Schaltschrank Kundenseitig 				
11	<p>V100008</p> <p><u>Programmierung und Inbetriebnahme im Hause AKON Robotics</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Inbetriebnahme des Robotersystems - Einbinden der Schweißsoftware auf der Robotersteuerung - Einbinden der Anlagenfunktionalität in die Robotersteuerung - Keine Bauteil und Prozessprogrammierung 	1	Stück		
12	<p>V100010</p> <p><u>Verpackung, Verladung, Versand</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Verpackung - Verladung - Versand incl. Transportversicherung bis ins Werk Kiel Zulieferungen, Landsberg 	1	Stück		
13	<p>V100011</p> <p><u>Montage und Wiederinbetriebnahme</u></p> <ul style="list-style-type: none"> - Montage aller vorher beschriebenen Komponenten - Wiederinbetriebnahme des Robotersystems und der Anlagensteuerung 	1	Stück		

Firmierungsadresse:

AKON Robotics
Piepsche 7a
28857 Syke

Werksadresse:

AKON Robotics
Oppenheimer Straße 21
28307 Bremen

Kontakt:

Tel. +49 (0) 421 / 322 63 6
Fax. +49 (0) 421 / 322 63 71
Mail: info@akon-robotics.de
Web: www.akon-robotics.de

9. Seite zum Angebot 1964 an KIEL Zulieferungen GmbH

Angebot Nr. : 1964
Seite : 9 von 14

Pos.	Bezeichnung	Menge	Einheit	Einzeln	Gesamtbetrag
------	-------------	-------	---------	---------	--------------

14	V100012		1 Stück		
----	---------	--	---------	--	--

Dokumentation nach Maschinenrichtlinie (2006/42/EG)

- Sprache: Deutsch
- Herstellererklärung
- Wartungs- / Bedienungsanleitung
- Ersatzteildokumentation
- Pneumatikplan
- E-Plan
- 2 Satz, gebunden
- CD-Rom (pdf- Format)

Optional möglich:

- Übersetzung in andere Sprachen

15	V100013		1 Stück		
----	---------	--	---------	--	--

Schulung Anlage

Schulung von max. **4** Mitarbeiter auf das Robotersystem und die Anlagensteuerung, incl. Sicherheitsunterweisung.

Die Schulung findet im Werk AKON Robotics statt. Sollte der Wunsch bestehen die Schulung in Ihrem Werk durch zu führen, kommen noch die anfallenden Hotel-, Fahrt- und Mehrkosten für Personal hinzu.

- Schulungsunterlagen
- Dauer **4** Arbeitstage ca. **8** Std. täglich.

16	V100014		1 Stück	258.500,00	258.500,00
----	---------	--	---------	------------	------------

Anlagengesamtpreis

Optional

Option zur Roboterschweißanlage ASA 1003

17	Optional V100004		1 Stück	3.750,00	
----	---------------------	--	---------	----------	--

RotoLAB

Das RotoLAB ist ein Messgerät für die automatisierte Nachführung von Toolkoordinaten.

Firmierungsadresse:

AKON Robotics
Piepsche 7a
28857 Syke

Werksadresse:

AKON Robotics
Oppenheimer Straße 21
28307 Bremen

Kontakt:

Tel. +49 (0) 421 / 322 63 6
Fax. +49 (0) 421 / 322 63 71
Mail: info@akon-robotics.de
Web: www.akon-robotics.de

10. Seite zum Angebot 1964 an KIEL Zulieferungen GmbH

Angebot Nr. : 1964
Seite : 10 von 14

Pos.	Bezeichnung	Menge	Einheit	Einzeln	Gesamtbetrag
------	-------------	-------	---------	---------	--------------

Der Roboter fährt mit seinem Werkzeug zyklisch das RotoLAB an. Innerhalb von nur drei Sekunden Prüfzeit bekommt der Roboter die Information ob sein Werkzeugarbeitspunkt (TCP) noch im Toleranzbereich liegt. Ist dies nicht der Fall wird eine vollständige TCP-Vermessung ausgeführt und die neuen Werkzeugkoordinaten automatisch an den Roboter übertragen.

Der Vorgang dauert etwa 30 Sekunden.

Tauschen Sie Ihr Werkzeug, wird der neue TCP ebenfalls automatisiert vermessen. Sie erhalten mit dem RotoLAB, die Gewissheit dass Ihr Werkzeug immer korrekt ist. Somit verringern Sie Ihren Wartungsaufwand um bis zu 90% und steigern zusätzlich die Qualität.

Gesamtwert:	€	258.500,00
19% MwSt.:	€	49.115,00
Endbetrag:	€	307.615,00

Lieferbedingung: frei Haus, incl. Verpackung
 Versandart: Standard
 Lieferzeit: ausgehend ab hier 16 bis 18 Wochen
 Gültigkeit: 31.07.2017
 Zahlungsbedingung: 14 Tage nach Rechnungserhalt rein netto.

Firmierungsadresse:
 AKON Robotics
 Plepsche 7a
 28857 Syke

Werksadresse:
 AKON Robotics
 Oppenheimer Straße 21
 28307 Bremen

Kontakt:
 Tel. +49 (0) 421 / 322 63 6
 Fax. +49 (0) 421 / 322 63 71
 Mail: info@akon-robotics.de
 Web: www.akon-robotics.de

11. Seite zum Angebot 1964 an KIEL Zulieferungen GmbH

Angebot Nr. : 1964
Seite : 11 von 14

Allgemeine zusätzliche Lieferbedingungen:

- Preise: zuzügl. gesetzliche MwSt.
- Zahlungsmodi: 40% bei Auftragserteilung,
50% nach Lieferbereitschaftsanzeige,
10% nach Inbetriebnahme, spätestens jedoch 2 Wochen nach Beginn der produktiven Nutzung
- Preisstellung: frei Baustelle einschl. Verpackung und Transportversicherung
- Preisbindung: Wir halten uns bis zum angegebenen Datum an das ausgeführte Angebot gebunden.
- Liefertermin: ca. 16-18 Wochen nach schriftlicher Auftragsvergabe und Klärung sämtlicher technischen und kaufmännischen Details.
Die Lieferzeit ist im übrigen freibleibend und beginnt nach Eingang der ersten Anzahlung , Lieferort ist Westerstede, Deutschland
- Probelauf: Die Anlage wird vor Auslieferung im Werk erprobt.
Für den Probelauf ist uns auf Anforderung eine ausreichende Menge Originalprodukt kostenlos und frachtfrei zur Verfügung zu stellen.
- Haftung: Für Sach- und Personenschäden haften wir nach Umfang und Höhe im Rahmen der bestehenden Betriebshaftpflichtversicherung. Jede weitergehende Haftung für Folgeschäden, sowie jede Art von indirekten Schäden ist ausgeschlossen.
- Gewährleistung: 12 Monate im Einschicht-Betrieb unter der Voraussetzung, dass für unseren Leistungsumfang ein Wartungsvertrag abgeschlossen wird.
Verschleißteile sind hiervon ausgenommen. Für Fremderzeugnisse, die in unsere Geräte eingebaut werden (Motoren, Sensoren usw.) beschränkt sich die Haftung des Auftragnehmers auf die Haftungsansprüche, die ihm gegen den Lieferer des Fremderzeugnisses zustehen. Das gleiche gilt für Komponenten oder Anlagenteile, die vom Auftraggeber vorgeschrieben werden. Der Garantiebeginn erfolgt mit produktiver Nutzung der Anlage durch den AG, bzw. 4 Wochen nach erfolgter Inbetriebnahme.
- Fernüberwachung: je nach Wartungsvertrag

Dem Angebot haben wir zugrunde gelegt:

Betriebsspannung: 400 V, 50 Hz, 63A,

<u>Firmierungsadresse:</u>	<u>Werksadresse:</u>	<u>Kontakt:</u>
AKON Robotics	AKON Robotics	Tel. +49 (0) 421 / 322 63 6
Piepsche 7a	Oppenheimer Straße 21	Fax. +49 (0) 421 / 322 63 71
28857 Syke	28307 Bremen	Mail: info@akon-robotics.de
		Web: www.akon-robotics.de

12. Seite zum Angebot 1964 an KIEL Zulieferungen GmbH

Angebot Nr. : 1964
Seite : 12 von 14

Steuerspannung: 24V
Elektrische Anlage: Schaltschränke: Schutzart IP 54
Übrige Anlage: Schutzart IP 54
Installierte Leistung: ca. 19,8 kW
Druckluft: 6 bar, trocken, ungeölt und gereinigt
Luftverbrauch: ca. 250 nL pro Zyklus
Lackierung: RAL 7004, 3003, 1015

Konstruktive Änderungen:

Bezüglich der Ausführungen behalten wir uns konstruktive Änderungen die dem technischen Fortschritt dienen unter Beibehaltung der Funktionssicherheit vor.

Bauseitige Leistungen

Nicht zu unseren Leistungen gehören und in den Preisen nicht enthalten sind:

- Vorbereitung des Montageortes
- Fundamente, Wand- und Deckendurchbrüche
- Schaffung der Montagevoraussetzungen
- Bereitstellung der erforderlichen Energien und zur Montage und zum Betrieb der Anlage, wie Strom, Kühlwasser und Druckluft inkl. der Verbrauchskosten
- Bereitstellung von Hub- und Hebezeugen wie z.B. Autokran, Hubstapler, Flaschenzügen etc.
- Alle während der Montage entstehenden Kosten für Strom, Wasser, Druckluft und Beleuchtung
- Rammschutz entlang aller frei zugänglichen Bereiche der Förderanlage ist nicht vorgesehen, es sei denn, dies ist ausdrücklich erwähnt.
- Ein besonderer Schutz von Stützen von Stahlbaubühnen, Hallen bzw. der Fördertechnik ist nicht vorgesehen.
- Es werden ausschließlich anerkannte Markenfabrikate für Antriebe und Getriebe eingesetzt. Ein weiterer Schutz für Tropföl und Fette ist nicht vorgesehen.
- Sicherheitsbereiche z.B. Verfahrwagen werden nach den gesetzlich geltenden Vorschriften gesichert. Als Zutrittsverhinderungen sind Maßnahmen vorgesehen (z.B. Netze oder Gitter in Kettenförderern), welche vom TÜV und von der Gewerbeaufsicht anerkannt sind. Weitere besondere Maßnahmen können auf Wunsch durchgeführt werden, sind aber nicht Bestandteil dieses Angebotes.
- Bühnen, Aufstiegsleitern, Überstiege, Podeste usw. sind nicht enthalten, es sei denn, diese sind ausdrücklich beschrieben
- Statische Nachweise (z.B. Deckenbelastungen) sind bauseitige Leistungen
- Behördliche Abnahmen erfolgen bauseits
- Brandschutztechnische Abnahmen und Gutachten (z.B. VdS-Prüfung) sind bauseitige Leistungen
- Tablare oder sonstige Transporthilfsmittel sind nicht enthalten.
- Energieversorgung (z.B. 220V Steckdosen für Rechner usw.) und Beleuchtung von Arbeitsplätzen und

<u>Firmierungsadresse:</u>	<u>Werksadresse:</u>	<u>Kontakt:</u>
AKON Robotics Piepsche 7a 28857 Syke	AKON Robotics Oppenheimer Straße 21 28307 Bremen	Tel. +49 (0) 421 / 322 63 6 Fax. +49 (0) 421 / 322 63 71 Mail: info@akon-robotics.de Web: www.akon-robotics.de

Anlagenteilen (z.B. für Wartungs- und Reparaturarbeiten) sind nicht enthalten.

- Die Einspeisung erfolgt bauseits in den Verteilerschrank der Steuerung
- Netzwerkinstallationen sind bauseitige Leistungen. Wir erwarten an den jeweiligen Steuerständen eine Doppeldose für den Netzwerkzugang.
- Abzäunungen inkl. Türen und Gassenabsicherungen, es sei denn, diese sind ausdrücklich beschrieben
- Sowie Alles, was nicht ausdrücklich im Angebot aufgeführt ist.

Eigentumsvorbehalt:

1. Wir behalten uns das Eigentum an den Liefergegenständen bis zur Zahlung vor.
2. Bei vertragswidrigem Verhalten des Bestellers, insbesondere bei Zahlungsverzug, sind wir zur Rücknahme nach Mahnung berechtigt und der Besteller zur Herausgabe verpflichtet.
3. Die Geltendmachung des Eigentumsvorbehaltes sowie die Pfändung der Liefergegenstände durch uns gelten nicht als Rücktritt vom Vertrag, sofern nicht die Bestimmungen des Verbraucherkreditgesetzes Anwendung finden oder dies ausdrücklich durch uns schriftlich erklärt wird. Bei Verwendung gegenüber Kaufleuten, einer juristischen Person öffentlichen Rechts oder einem öffentlich-rechtlichen Sondervermögen gilt darüber hinaus folgendes:
4. Der Besteller ist berechtigt, die Liefergegenstände im ordentlichen Geschäftsgang weiterzuverkaufen; er tritt uns jedoch bereits jetzt alle Forderungen in Höhe des zwischen uns und dem Besteller vereinbarten Kaufpreises (einschließlich Mehrwertsteuer) ab, die dem Besteller aus der Weiterveräußerung erwachsen, und zwar unabhängig davon, ob die Liefergegenstände ohne oder nach Bearbeitung weiterverkauft werden. Zur Einziehung dieser Forderungen ist der Besteller nach deren Abtretung ermächtigt. Unsere Befugnis, die Forderungen selbst einzuziehen, solange der Besteller seinen Zahlungsverpflichtungen ordnungsgemäß nachkommt und nicht im Zahlungsverzug ist. Ist dies jedoch der Fall, können wir verlangen, dass der Besteller die abgetretenen Forderungen und deren Schuldner bekannt gibt, alle zum Einzug erforderlichen Angaben macht, die dazugehörigen Unterlagen aushändigt und den Schuldner (Dritten) die Abtretung mitteilt.
5. Die Verarbeitung oder Umbildung der Waren durch den Besteller wird stets für uns vorgenommen. Werden die Liefergegenstände mit anderen, uns nicht gehörenden Gegenständen verarbeitet, so erwerben wir das Miteigentum an der neuen Sache im Verhältnis des Wertes der Liefergegenstände zu den anderen verarbeiteten Gegenständen zur Zeit der Verarbeitung.
6. Werden die Liefergegenstände mit anderen, uns nicht gehörenden Gegenständen untrennbar vermischt, so erwerben wir das Miteigentum an der neuen Sache im Verhältnis des Wertes der Liefergegenstände zu den anderen vermischten Gegenständen. Der Besteller verwahrt das Miteigentum für uns.
7. Der Besteller darf die Liefergegenstände weder verpfänden, noch zur Sicherung übereignen. Bei Pfändungen sowie Beschlagnahme oder sonstigen Verfügungen durch Dritte, hat der Besteller uns unverzüglich davon zu benachrichtigen und uns alle Auskünfte und Unterlagen zur Verfügung zu stellen, die zur Wahrung unserer Rechte erforderlich sind. Vollstreckungsbeamte bzw. ein Dritter sind auf unser Eigentum hinzuweisen.
8. Gerichtsstand ist Syke

Firmierungsadresse:

AKON Robotics
Piepsche 7a
28857 Syke

Werksadresse:

AKON Robotics
Oppenheimer Straße 21
28307 Bremen

Kontakt:

Tel. +49 (0) 421 / 322 63 6
Fax. +49 (0) 421 / 322 63 71
Mail: info@akon-robotics.de
Web: www.akon-robotics.de

14. Seite zum Angebot 1964 an KIEL Zulieferungen GmbH

Angebot Nr. : 1964
Seite : 14 von 14

Wir hoffen, dass unser Angebot Ihr Interesse geweckt hat und würden uns freuen, Ihren Auftrag zu erhalten.

Mit freundlichen Grüßen



Martin Huber

Firmierungsadresse:

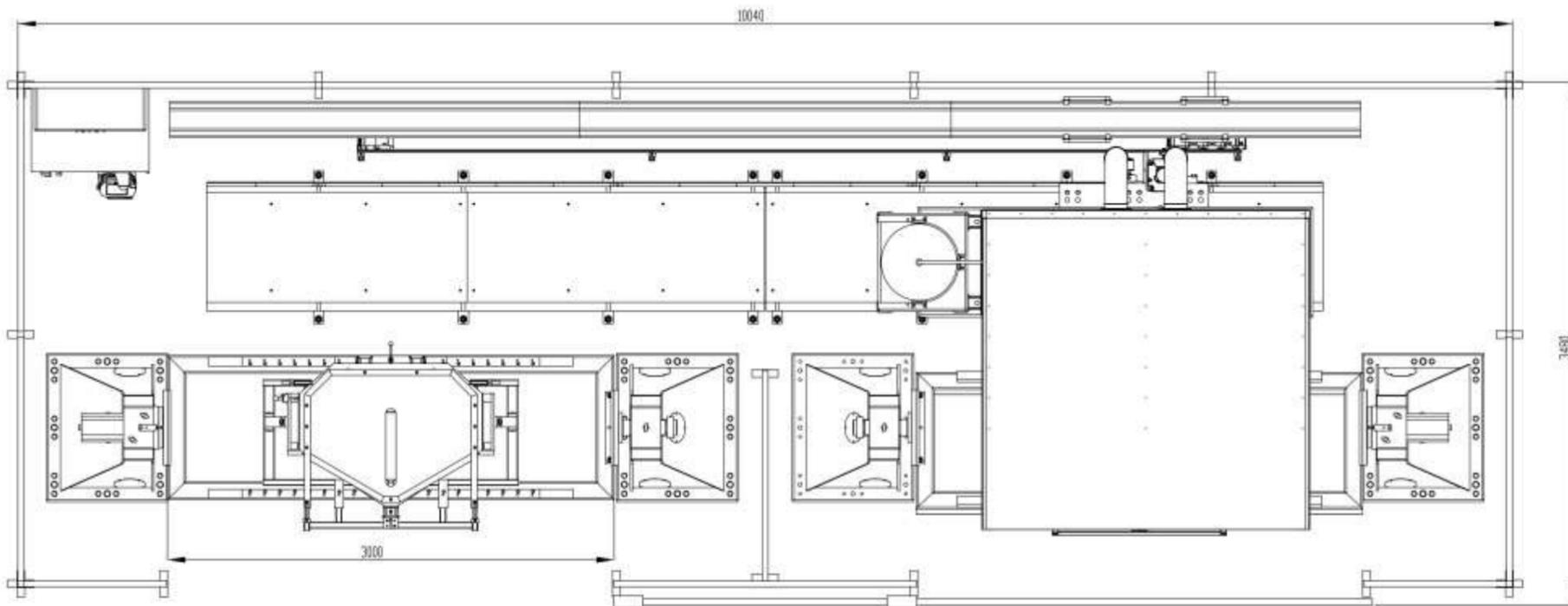
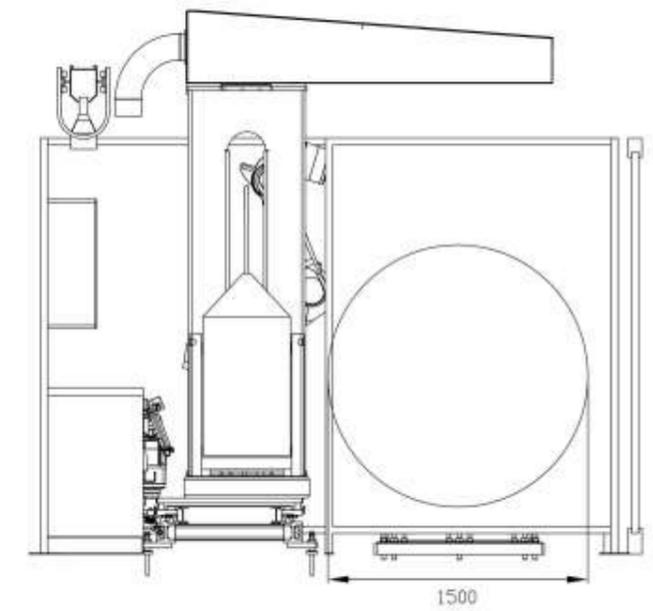
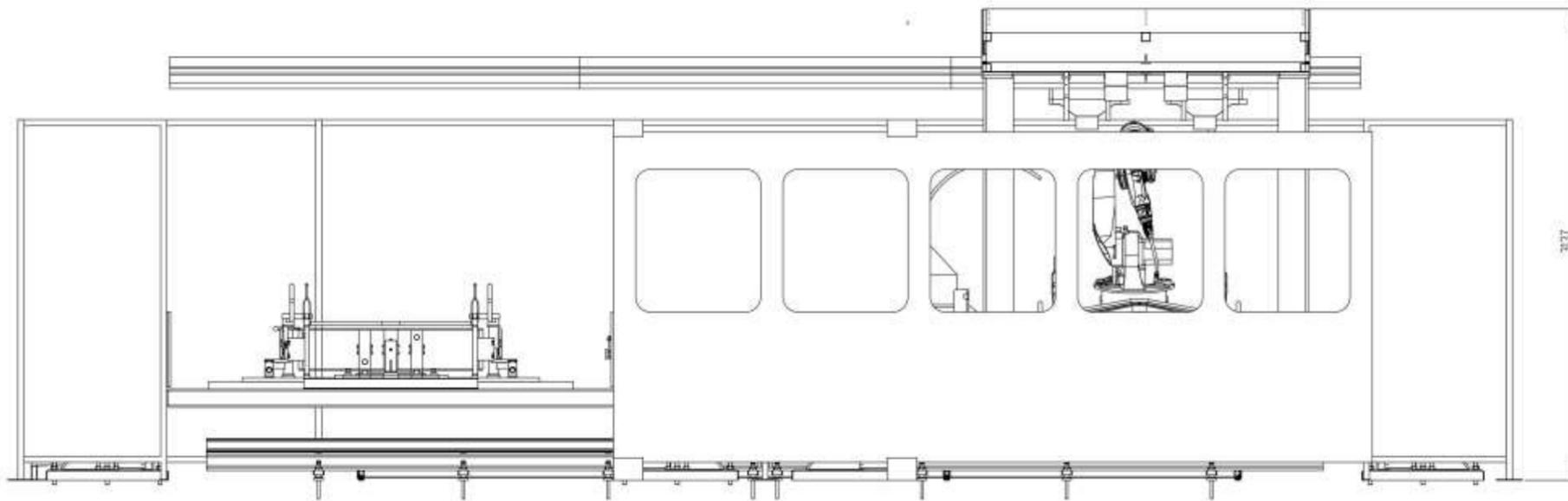
AKON Robotics
Piepsche 7a
28857 Syke

Werksadresse:

AKON Robotics
Oppenheimer Straße 21
28307 Bremen

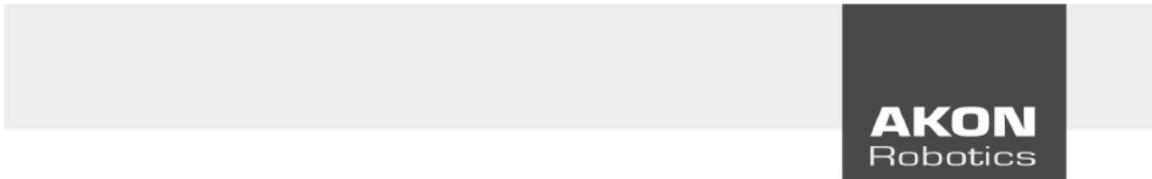
Kontakt:

Tel. +49 (0) 421 / 322 63 6
Fax. +49 (0) 421 / 322 63 71
Mail: info@akon-robotics.de
Web: www.akon-robotics.de



Projektleitung AKON CAD-Service 38634 Hildesheim Tel: 05131/2532-0 Fax: 05131-2532-20	Datum: 08.08.2017 Blatt: 1 Name:	Kon.-Nr.: 2014-1964 Projekt: 2014 Baugruppe:	Messstab 1:20 Blatt: A18
	Ihre eigene Genehmigung darf diese Zeichnung weder kopiert noch vervielfältigt, noch Dritten (Personen oder Unternehmen) zugänglich gemacht werden! © AKON 1980		Einzelteil Zeichnungs-Nr.: 2014-Layout V2.0

Anlage 6: AKON ASA - 1012 Schweißanlage



AKON Robotics • Piepsche 7a • 28857 Syke

KIEL Zulieferungen GmbH
Vitalis Donhauser
Schwerzer Str. 1
06188 Landsberg

ANGEBOT

Angebot Nr.	: 1963
Datum	: 01.06.2017
Seite	: 1 von 14
Ihre ID Nr.	: 60491
Anfrage-Datum	: 31.05.2017
Projekt-Nr.	: 2014
Unsere Steuer Nr.	: 60/159/05148
Unsere USt-ID Nr.	: DE217204404
Ansprechpartner	: Martin Huber
Durchwahl	: +49 (0) 421/32263-86
Fax	: +49 (0) 421/32263-76
E-Mail	: m.huber@akon-robotics.de

vielen Dank für Ihre Anfrage, nachfolgend bieten wir Ihnen freibleibend zu unseren bekannten Allgemeinen Geschäftsbedingungen folgende Positionen an:

Pos.	Bezeichnung	Menge	Einheit	Einzeln	Gesamtbetrag
1	V100014			1 Stück	

ASA 1012 Schweißanlage

Inhalt

ASA-1012 Schweißkabine mit Optionen

- Roboter Kuka KR6 R1820 arc HW mit Steuerung KRC4,
- DINSE Schweißstromquelle PI400 ,
- DINSE Schweißausrüstung,
- Akon Brennerreinigungsstation,
- Roboterzelle mit Elektrodrehtisch und Zusatzachsen,
- Absaugesse,
- Anlagensteuerung
- Inbetriebnahme
- Verpackung und Transport
- Montage und Inbetriebnahme im Werk Endkunde,
- Dokumentation
- Schulung

Optionen:

- Rotolab

Firmierungsadresse:

AKON Robotics
Piepsche 7a
28857 Syke

Werksadresse:

AKON Robotics
Oppenheimer Straße 21
28307 Bremen

Kontakt:

Tel. +49 (0) 421 / 322 63 6
Fax. +49 (0) 421 / 322 63 71
Mail: info@akon-robotics.de
Web: www.akon-robotics.de

2. Seite zum Angebot 1963 an KIEL Zulieferungen GmbH

Angebot Nr. : 1963
Seite : 2 von 14

Pos.	Bezeichnung	Menge	Einheit	Einzeln	Gesamtbetrag
2	A100092 KUKA Roboter KR6 R1820 arc HW		1 Stück		

bestehend aus folgenden Komponenten:

01. KUKA Industrieroboter KR6 R1820 arc HW

- in Standardausführung
- Traglast: 6 kg
- Zusatzlast Arm: Nenn-Zusatzlast 10kg / max. 15kg
- maximale Reichweite: 1.820 mm
- Achsen: 6
- Einbaulage: variabel (Boden, Decke, Wand, Winkel)
- Wiederholgenauigkeit (ISO 9283): <+- 0,04 mm
- Schutzart - Robotermechanik: IP 54 - Zentralhand: IP 54
- Umgebungstemperatur bei Betrieb: +5 °C bis +45 °C
- Farbe: Mechanik – KUKA Orange (ähnlich RAL 2003)
- Grundgestell / Abdeckung – Schwarz RAL 9005
- Zubehör Verbindungskabelsatz, Länge: 4m (nicht schleppfähig)

02. KUKA Robotersteuerung KR C4

- für höchste Leistung, Skalierbarkeit und Flexibilität
- in Standardausführung EU
- Netzeinspeisung HAN 6
- Tür mit Schließung Doppelbart
- Farbe: Korpus - RAL 7016 anthrazit / Tür - KUKA orange (ähnlich RAL 2003)
- Schutzart IP54
- Anschlussspannung 400V +-10%, dreiphasig

03. Programmierhandgerät KUKA smartPAD

- für den gesamten Dialog mit der Robotersteuerung
- verwendbar als portables Handgerät oder als steckbares Bedienfeld
- mit 10m Anschlusskabel und smartPAD-Halterung RAL 7016

04. Steuerungsoptionen

- Sicherheitsschnittstelle X11/X13 SafeOperation
- ProfiBus Master / Slave – EtherCAT

Firmierungsadresse:

AKON Robotics
Piepsche 7a
28857 Syke

Werksadresse:

AKON Robotics
Oppenheimer Straße 21
28307 Bremen

Kontakt:

Tel. +49 (0) 421 / 322 63 6
Fax. +49 (0) 421 / 322 63 71
Mail: info@akon-robotics.de
Web: www.akon-robotics.de

3. Seite zum Angebot 1963 an KIEL Zulieferungen GmbH

Angebot Nr. : 1963
Seite : 3 von 14

Pos.	Bezeichnung	Menge	Einheit	Einzeln	Gesamtbetrag
------	-------------	-------	---------	---------	--------------

- Interface Ethernet X66

05. Zusatzachsen:

- KR C4 smallsize-2 drive box
- Schnittstelle 2 Zusatzachsen X7.1/.2 bis max. 40 A
- Antriebsmodule: KPP 600-20 2x40 UL rechts
- Servomotoren
- Motorleitungen für Zusatzachsen
- Steuerleitungen für Zusatzachsen
- Justagemittelsatz für Zusatzachsen

06. Software

- KUKA SafeSingleBrake
- KUKA.ArcTech Basic

3	A100020			1 Stück	
---	---------	--	--	---------	--

Dinse Schweißstromquelle PI400

bestehend aus folgenden Komponenten:

Schweißstromquelle und integrierte Komponenten

- PI 400 Power Inverter
Primär getakteter Inverter mit elektronischer Blindstromkompensation. Moderne Prozessor- und Invertertechnik sichern eine schnelle Prozessregelung. Adaption von Zusatzkomponenten über integriertes BUS-System.
Leistungsdaten:
 - 40% ED 380A
 - 60% ED 350A
 - 100% ED 310A

Schnittstellenplatine

- Schnittstellenmodul zur Aufnahme des Busmoduls zu Roboterkommunikation

ProfiNet Schnittstellenmodul

- Busmodul ProfiNet zur Roboteranbindung (AnyBus)

<u>Firmierungsadresse:</u> AKON Robotics Piepsche 7a 28857 Syke	<u>Werksadresse:</u> AKON Robotics Oppenheimer Straße 21 28307 Bremen	<u>Kontakt:</u> Tel. +49 (0) 421 / 322 63 6 Fax. +49 (0) 421 / 322 63 71 Mail: info@akon-robotics.de Web: www.akon-robotics.de
---	---	---

4. Seite zum Angebot 1963 an KIEL Zulieferungen GmbH

Angebot Nr. : 1963
Seite : 4 von 14

Pos.	Bezeichnung	Menge	Einheit	Einzeln	Gesamtbetrag
------	-------------	-------	---------	---------	--------------

ProfiNet-5

- Buskabelset Profibus 5 mtr zur Verbindung zwischen Stromquelle und Robotersteuerung

Kühlmodul

- effizientes Kühlmodul zur Montage am Power Inverter.
Busanbindung für Datentransfer und Steuersignale an die PI Serie. Pumpe mit Metallgehäuse. Kühlleistung 1,2 kW gem. EN60974-2 mit 5 ltr Behälter

Drahtvorschubkoffer WD-300/PI

- Drehmomentgeregelter, kompakter Drahtvorschub

Antriebsrollen Stahl

- für Stahldrähte Ø1,0

Drahtvorschubplatine

- Drahtvorschubsteuerung mit integriertem DSP und Montierbarkeit Push-Pull Option,
Einbau in Stromquelle

Drahtförderschlauch 5m

- Drahtförderschlauch für Stahldrähte mit Bowdenspirale flach, 5m

Verbindungsschlauchpaket

- Verbindung zwischen Stromquelle und Drahtvorschub, flüssiggekühlt, Massekabel 70mm²
Länge 5 mtr

Bedienung und Zubehör

- Bedienpanel
Einstellung aller Parameter zu Verfahren, Werkstoffen und Funktionen.
Bei laufendem Stromquellenbetrieb (de-) montierbar.
- Anschlußleitung 5m für Remote Panel

Firmierungsadresse:

AKON Robotics
Piepsche 7a
28857 Syke

Werksadresse:

AKON Robotics
Oppenheimer Straße 21
28307 Bremen

Kontakt:

Tel. +49 (0) 421 / 322 63 6
Fax. +49 (0) 421 / 322 63 71
Mail: info@akon-robotics.de
Web: www.akon-robotics.de

5. Seite zum Angebot 1963 an KIEL Zulieferungen GmbH

Angebot Nr. : 1963
Seite : 5 von 14

Pos.	Bezeichnung	Menge	Einheit	Einzeln	Gesamtbetrag
4	V100098		1 Stück		

Dinse Schweißausrüstung

Das flüssiggekühlte Drehmedium RET 600 ermöglicht die unbegrenzte Drehbarkeit der Schweißpistole. Der entscheidender Vorteil: Der Programmieraufwand für komplexe Steckenabläufe inklusive Rückwege entfällt. Als zusätzlicher Bestandteil des Drehmediums ist der Crash-Schutz mit einem Auslenkbereich von 15°. Die automatische und präzise Rückstellung auf den TCP ist selbstverständlich. Eine optional verfügbare Sicherheitsabschaltung schützt zusätzlich Werkzeug

- Unbegrenzte Drehbarkeit der Pistolenköpfe
- Torsionsfreie Schweißgarnitur
- Keine Gasverluste durch separate Schutzgasführung
- Servicefreundliche Trennbarkeit der Garnitur am Drahtvorschub und am Drehmedium
- Keine zeitaufwendige Schutzgasspülung der Garnitur nach jedem Ausblasen
- Präzise Sicherheitsabschaltung mit maximaler Auslenkung von 15° bei Kollision
- Hohe Rückstellgenauigkeit mit $\pm 0,03$ mm bei 450 mm Länge ab Roboterflansch

Gewicht 2,7 kg

Kühlung flüssiggekühlt

Schweißverfahren MIG; MIG

Grundmaterial unlegierte Stähle; niedriglegierte Stähle; hochlegierte Stähle; Kupferlegierungen; Nickelbasislegierungen

Rückstellgenauigkeit 0,03 mm

Auslenkung 15 °

Drehbereich unbegrenzt °

Adapterflansch DIX ADFR 63xx

Drehmedium DIX RETZ 600 (L)

Schweißgarnitur DIX RETZ 610 - xx

Stutzen DIX MES 300/500

Drahtführungsspirale bzw. -kapillare

Pistolenkopf z.B. DIX METZ 548

Firmierungsadresse:

AKON Robotics
Piepsche 7a
28857 Syke

Werksadresse:

AKON Robotics
Oppenheimer Straße 21
28307 Bremen

Kontakt:

Tel. +49 (0) 421 / 322 63 6
Fax. +49 (0) 421 / 322 63 71
Mail: info@akon-robotics.de
Web: www.akon-robotics.de

6. Seite zum Angebot 1963 an KIEL Zulieferungen GmbH

Angebot Nr.	: 1963
Seite	: 6 von 14

Pos.	Bezeichnung	Menge	Einheit	Einzeln	Gesamtbetrag
5	V100014 <u>AKON Brennerreinigungsstation</u> Gasdüsen-Reinigungsgerät mit Drahtbschneider und Einsprühvorrichtung TYP BRG-2000D/DA	1	Stück		

Reinigungsfräser
Endschalter Spannzylinder
Gasdüsenfixierung variabel für unterschiedliche Gasdüsendurchmesser
Einsprühen mittels separater Einsprühdüsen
Kunststoffflasche für Antihafmittel
Versorgungsspannung 24 VDC
pneumatischer Anschluss 6bar, 87psi
mechanische Betätigung durch Roboter-Schweißbrenner
Incl. Ständer

6	V100014 <u>Roboterzelle mit Elektrodrehtisch und Zusatzachsen</u> Roboteranlage mit Grundplatte und vollflächiger Stahlblechumhausung nach oben offen, mit je einer Servicetür und Sichtscheibe aus Makrolon. Elektrodrehtisch mit pneumatischer Verriegelung zur stabilen Lagesicherung in den Endlagen. Bedienelemente in die Kabine integriert. Die Steuerung des Drehtisches erfolgt über die Robotersteuerung.	1	Stück		
---	--	---	-------	--	--

- Lastaufnahme pro Tischseite 500Kg
- Sicht- und Blendschutz auf dem Drehtisch
- Servicetür mit 2 kanaligem Sicherheitsschalter
- Vollblecheinhausung gepulvert mit Sichtscheibe seitlich aus Makrolon
- Robotersockel H-500mm 15° geneigt
- Abmaße: entnehmen Sie bitte dem Anlagenlayout (Höhe ohne Esse)
- Einspannweite: zwischen den Aufspannplatten max. 3000mm
- Durchdrehdurchmesser: 1500mm
- Einlegetiefe: ca. 850mm

Zusatzachspakete 7+8

Roboter gesteuerte Zusatzachsen auf dem Elektrodrehtisch. Antrieb über spielfreie Präzisionsfeingetriebe. Synchrone Bearbeitung der Werkstücke über mathematische

<u>Firmierungsadresse:</u> AKON Robotics Piepsche 7a 28857 Syke	<u>Werksadresse:</u> AKON Robotics Oppenheimer Straße 21 28307 Bremen	<u>Kontakt:</u> Tel. +49 (0) 421 / 322 63 6 Fax. +49 (0) 421 / 322 63 71 Mail: info@akon-robotics.de Web: www.akon-robotics.de
---	---	---

7. Seite zum Angebot 1963 an KIEL Zulieferungen GmbH

Angebot Nr. : 1963
Seite : 7 von 14

Pos.	Bezeichnung	Menge	Einheit	Einzeln	Gesamtbetrag
------	-------------	-------	---------	---------	--------------

Achskopplung durch die Robotersteuerung. Sicherheitsabschaltung für die Bedienerseite.

- Spielfreie Präzisionsfeingetriebe
- Masseübertragung über Schleifkontakte bis 500 Ampere
- Sicherheitsschalter für die Achsabschaltung Bedienerseitig
- Positionsmarke für EMT-Justage
- Aufspannklötze für schnellen und präzisen Vorrichtungswchsel
- Gegenlager schwimmend für Vorrichtung-Toleranzausgleich +/-25mm

7	V100017		1 Stück		
---	---------	--	---------	--	--

Absaugesse Roboterkabine

Absaugesse aus gelaserten und gekanteten Stahlblechen mit Aufständering an der bestehenden Roboterkabine.

Innenliegende Prallbleche zur besseren Luftführung und Minimierung der Abluftleistung.

Anschluss der Esse an die Absauganlage über 2 Stützen DN250 möglich.

8	V100009		1 Stück		
---	---------	--	---------	--	--

Anlagensteuerung Roboterkabine

- Verdrahtung des Steuerschranks
- Verkabelung aller Anlagenkomponenten
- Einbindung aller externen Signale von Schweißgerät
- Brennerreinigung und Bedienelementen
- Erstellen der entsprechenden Konfiguration für die Kommunikation mit dem Schweißgerät
- Programmierung der Anlagensteuerung über den Roboter
- Bedienung über Start / Stop / Freigabe / Not-Aus Taster an der Bedienerseite , sowie über einen Reset-Taster an der Servicetür
- Sicherheitstechnik nach Kat. 3, Performance Level D nach DIN/EN 13849-2 zweikanalige Ausführung für Not-Aus und Bedienschutz.
- Bedienelemente 4-Fach Einheit Start/Stop/Freigabe/Not-Aus, bzw. 1-Fach Reset Schutztür
- Sicherheitssteuerung Pilz PNOZ Multi
- E/A Sammler ProfiNet 24 Ein- / Ausgänge im Schrank
- E/A Sammler ProfibNet 8 Ein- / Ausgänge im Drehtisch
- Absicherung für Roboter, Schweissgerät und (optionaler) Absaugung integriert
- Anschlusswerte: 400V/50Hz/63A/N/PE
- Zuleitung zum Schaltschrank Kundenseitig

Firmierungsadresse:

AKON Robotics
Piepsche 7a
28857 Syke

Werksadresse:

AKON Robotics
Oppenheimer Straße 21
28307 Bremen

Kontakt:

Tel. +49 (0) 421 / 322 63 6
Fax. +49 (0) 421 / 322 63 71
Mail: info@akon-robotics.de
Web: www.akon-robotics.de

8. Seite zum Angebot 1963 an KIEL Zulieferungen GmbH

Angebot Nr. : 1963
Seite : 8 von 14

Pos.	Bezeichnung	Menge	Einheit	Einzeln	Gesamtbetrag
9	V100008 <u>Programmierung und Inbetriebnahme im Hause AKON Robotics</u> - Inbetriebnahme des Robotersystems - Einbinden der Schweißsoftware auf der Robotersteuerung - Einbinden der Anlagenfunktionalität in die Robotersteuerung - Keine Bauteil und Prozessprogrammierung	1	Stück		
10	V100010 <u>Verpackung, Verladung, Versand</u> - Verpackung - Verladung - Versand incl. Transportversicherung bis ins Werk Kiel Zulieferungen, Landsberg	1	Stück		
11	V100011 <u>Montage und Wiederinbetriebnahme</u> - Montage aller vorher beschriebenen Komponenten - Wiederinbetriebnahme des Robotersystems und der Anlagensteuerung	1	Stück		
12	V100012 <u>Dokumentation nach Maschinenrichtlinie (2006/42/EG)</u> - Sprache: Deutsch - Herstellererklärung - Wartungs- / Bedienungsanleitung - Ersatzteildokumentation - Pneumatikplan - E-Plan - 2 Satz, gebunden - CD-Rom (pdf- Format)	1	Stück		
	Optional möglich: - Übersetzung in andere Sprachen				

Firmierungsadresse:

AKON Robotics
Piepsche 7a
28857 Syke

Werksadresse:

AKON Robotics
Oppenheimer Straße 21
28307 Bremen

Kontakt:

Tel. +49 (0) 421 / 322 63 6
Fax. +49 (0) 421 / 322 63 71
Mail: info@akon-robotics.de
Web: www.akon-robotics.de



9. Seite zum Angebot 1963 an KIEL Zulieferungen GmbH

Angebot Nr. : 1963
Seite : 9 von 14

Pos.	Bezeichnung	Menge	Einheit	Einzel	Gesamtbetrag
13	V100013 Schulung Anlage Schulung von max. 4 Mitarbeiter auf das Robotersystem und die Anlagensteuerung, incl. Sicherheitsunterweisung. Die Schulung findet im Werk AKON Robotics statt. Sollte der Wunsch bestehen die Schulung in Ihrem Werk durch zu führen, kommen noch die anfallenden Hotel-, Fahrt- und Mehrkosten für Personal hinzu. - Schulungsunterlagen - Dauer 2 Arbeitstage ca. 8 Std. täglich.	1	Stück		
14	V100014 Anlagengesamtpreis	1	Stück	229.900,00	229.900,00

Optional
Option ASA 1012 Schweißanlage

15	Optional V100004 RotoLAB (Option)	1	Stück	3.750,00	
----	---	---	-------	----------	--

Das RotoLAB ist ein Messgerät für die automatisierte Nachführung von Toolkoordinaten.

Der Roboter fährt mit seinem Werkzeug zyklisch das RotoLAB an. Innerhalb von nur drei Sekunden Prüfzeit bekommt der Roboter die Information ob sein Werkzeugarbeitspunkt (TCP) noch im Toleranzbereich liegt. Ist dies nicht der Fall wird eine vollständige TCP-Vermessung ausgeführt und die neuen Werkzeugkoordinaten automatisch an den Roboter übertragen.
Der Vorgang dauert etwa 30 Sekunden.
Tauschen Sie Ihr Werkzeug, wird der neue TCP ebenfalls automatisiert vermessen. Sie erhalten mit dem RotoLAB, die Gewissheit dass Ihr Werkzeug immer korrekt ist. Somit verringern Sie Ihren Wartungsaufwand um bis zu 90% und steigern zusätzlich die Qualität.

Gesamtwert:	€	229.900,00
19% MwSt.:	€	43.681,00
Endbetrag:	€	273.581,00

Firmierungsadresse:
AKON Robotics
Piepsche 7a
28857 Syke

Werksadresse:
AKON Robotics
Oppenheimer Straße 21
28307 Bremen

Kontakt:
Tel. +49 (0) 421 / 322 63 6
Fax. +49 (0) 421 / 322 63 71
Mail: info@akon-robotics.de
Web: www.akon-robotics.de

10. Seite zum Angebot 1963 an KIEL Zulieferungen GmbH

Angebot Nr.	: 1963
Seite	: 10 von 14

Lieferbedingung:	frei Haus, incl. Verpackung
Versandart:	Standard
Lieferzeit	ausgehend ab hier 16 bis 18 Wochen
Gültigkeit	31.07.2017
Zahlungsbedingung:	14 Tage nach Rechnungserhalt rein netto.

Firmierungsadresse:
AKON Robotics
Piepsche 7a
28857 Syke

Werksadresse:
AKON Robotics
Oppenheimer Straße 21
28307 Bremen

Kontakt:
Tel. +49 (0) 421 / 322 63 6
Fax. +49 (0) 421 / 322 63 71
Mail: info@akon-robotics.de
Web: www.akon-robotics.de

11. Seite zum Angebot 1963 an KIEL Zulieferungen GmbH

Angebot Nr. : 1963
Seite : 11 von 14

Allgemeine zusätzliche Lieferbedingungen:

- Preise: zuzügl. gesetzliche MwSt.
- Zahlungsmodi: 40% bei Auftragserteilung,
50% nach Lieferbereitschaftsanzeige,
10% nach Inbetriebnahme, spätesten jedoch 2 Wochen nach Beginn der produktiven Nutzung
- Preisstellung: frei Baustelle einschl. Verpackung und Transportversicherung
- Preisbindung: Wir halten uns bis zum angegebenen Datum an das ausgeführte Angebot gebunden.
- Liefertermin: ca. 16-18 Wochen nach schriftlicher Auftragsvergabe und Klärung sämtlicher technischen und kaufmännischen Details.
Die Lieferzeit ist im übrigen freibleibend und beginnt nach Eingang der ersten Anzahlung, Lieferort ist Westerstede, Deutschland
- Probelauf: Die Anlage wird vor Auslieferung im Werk erprobt.
Für den Probelauf ist uns auf Anforderung eine ausreichende Menge Originalprodukt kostenlos und frachtfrei zur Verfügung zu stellen.
- Haftung: Für Sach- und Personenschäden haften wir nach Umfang und Höhe im Rahmen der bestehenden Betriebshaftpflichtversicherung. Jede weitergehende Haftung für Folgeschäden, sowie jede Art von indirekten Schäden ist ausgeschlossen.
- Gewährleistung: 12 Monate im Einschicht-Betrieb unter der Voraussetzung, dass für unseren Leistungsumfang ein Wartungsvertrag abgeschlossen wird.
Verschleißteile sind hiervon ausgenommen. Für Fremderzeugnisse, die in unsere Geräte eingebaut werden (Motoren, Sensoren usw.) beschränkt sich die Haftung des Auftragnehmers auf die Haftungsansprüche, die ihm gegen den Lieferer des Fremderzeugnisses zustehen. Das gleiche gilt für Komponenten oder Anlagenteile, die vom Auftraggeber vorgeschrieben werden. Der Garantiebeginn erfolgt mit produktiver Nutzung der Anlage durch den AG, bzw. 4 Wochen nach erfolgter Inbetriebnahme.
- Fernüberwachung: je nach Wartungsvertrag

Dem Angebot haben wir zugrunde gelegt:

Betriebsspannung: 400 V, 50 Hz, 63A,

<u>Firmierungsadresse:</u>	<u>Werksadresse:</u>	<u>Kontakt:</u>
AKON Robotics Piepsche 7a 28857 Syke	AKON Robotics Oppenheimer Straße 21 28307 Bremen	Tel. +49 (0) 421 / 322 63 6 Fax. +49 (0) 421 / 322 63 71 Mail: info@akon-robotics.de Web: www.akon-robotics.de

12. Seite zum Angebot 1963 an KIEL Zulieferungen GmbH

Angebot Nr. : 1963
Seite : 12 von 14

Steuerspannung: 24V
Elektrische Anlage: Schaltschränke: Schutzart IP 54
Übrige Anlage: Schutzart IP 54
Installierte Leistung: ca. 19,8 kW
Druckluft: 6 bar, trocken, ungeölt und gereinigt
Luftverbrauch: ca. 250 nL pro Zyklus
Lackierung: RAL 7004, 3003, 1015

Konstruktive Änderungen:

Bezüglich der Ausführungen behalten wir uns konstruktive Änderungen die dem technischen Fortschritt dienen unter Beibehaltung der Funktionssicherheit vor.

Bauseitige Leistungen

Nicht zu unseren Leistungen gehören und in den Preisen nicht enthalten sind:

- Vorbereitung des Montageortes
- Fundamente, Wand- und Deckendurchbrüche
- Schaffung der Montagevoraussetzungen
- Bereitstellung der erforderlichen Energien und zur Montage und zum Betrieb der Anlage, wie Strom, Kühlwasser und Druckluft inkl. der Verbrauchskosten
- Bereitstellung von Hub- und Hebezeugen wie z.B. Autokran, Hubstapler, Flaschenzügen etc.
- Alle während der Montage entstehenden Kosten für Strom, Wasser, Druckluft und Beleuchtung
- Rammschutz entlang aller frei zugänglichen Bereiche der Förderanlage ist nicht vorgesehen, es sei denn, dies ist ausdrücklich erwähnt.
- Ein besonderer Schutz von Stützen von Stahlbaubühnen, Hallen bzw. der Fördertechnik ist nicht vorgesehen.
- Es werden ausschließlich anerkannte Markenfabrikate für Antriebe und Getriebe eingesetzt. Ein weiterer Schutz für Tropföl und Fette ist nicht vorgesehen.
- Sicherheitsbereiche z.B. Verfahrwagen werden nach den gesetzlich geltenden Vorschriften gesichert. Als Zutrittsverhinderungen sind Maßnahmen vorgesehen (z.B. Netze oder Gitter in Kettenförderern), welche vom TÜV und von der Gewerbeaufsicht anerkannt sind. Weitere besondere Maßnahmen können auf Wunsch durchgeführt werden, sind aber nicht Bestandteil dieses Angebotes.
- Bühnen, Aufstiegsleitern, Überstiege, Podeste usw. sind nicht enthalten, es sei denn, diese sind ausdrücklich beschrieben
- Statische Nachweise (z.B. Deckenbelastungen) sind bauseitige Leistungen
- Behördliche Abnahmen erfolgen bauseits
- Brandschutztechnische Abnahmen und Gutachten (z.B. VdS-Prüfung) sind bauseitige Leistungen
- Tablare oder sonstige Transporthilfsmittel sind nicht enthalten.
- Energieversorgung (z.B. 220V Steckdosen für Rechner usw.) und Beleuchtung von Arbeitsplätzen und

Firmierungsadresse:	Werksadresse:	Kontakt:
AKON Robotics	AKON Robotics	Tel. +49 (0) 421 / 322 63 6
Piepsche 7a	Oppenheimer Straße 21	Fax. +49 (0) 421 / 322 63 71
28857 Syke	28307 Bremen	Mail: info@akon-robotics.de
		Web: www.akon-robotics.de

- Anlagenteilen (z.B. für Wartungs- und Reparaturarbeiten) sind nicht enthalten.
- Die Einspeisung erfolgt bauseits in den Verteilerschrank der Steuerung
 - Netzwerkinstallationen sind bauseitige Leistungen. Wir erwarten an den jeweiligen Steuerschränken eine Doppeldose für den Netzwerkzugang.
 - Abzäunungen inkl. Türen und Gassenabsicherungen, es sei denn, diese sind ausdrücklich beschrieben
 - Sowie Alles, was nicht ausdrücklich im Angebot aufgeführt ist.

Eigentumsvorbehalt:

1. Wir behalten uns das Eigentum an den Liefergegenständen bis zur Zahlung vor.
2. Bei vertragswidrigem Verhalten des Bestellers, insbesondere bei Zahlungsverzug, sind wir zur Rücknahme nach Mahnung berechtigt und der Besteller zur Herausgabe verpflichtet.
3. Die Geltendmachung des Eigentumsvorbehaltes sowie die Pfändung der Liefergegenstände durch uns gelten nicht als Rücktritt vom Vertrag, sofern nicht die Bestimmungen des Verbraucherkreditgesetzes Anwendung finden oder dies ausdrücklich durch uns schriftlich erklärt wird. Bei Verwendung gegenüber Kaufleuten, einer juristischen Person öffentlichen Rechts oder einem öffentlich-rechtlichen Sondervermögen gilt darüber hinaus folgendes:
4. Der Besteller ist berechtigt, die Liefergegenstände im ordentlichen Geschäftsgang weiterzuverkaufen; er tritt uns jedoch bereits jetzt alle Forderungen in Höhe des zwischen uns und dem Besteller vereinbarten Kaufpreises (einschließlich Mehrwertsteuer) ab, die dem Besteller aus der Weiterveräußerung erwachsen, und zwar unabhängig davon, ob die Liefergegenstände ohne oder nach Bearbeitung weiterverkauft werden. Zur Einziehung dieser Forderungen ist der Besteller nach deren Abtretung ermächtigt. Unsere Befugnis, die Forderungen selbst einzuziehen, solange der Besteller seinen Zahlungsverpflichtungen ordnungsgemäß nachkommt und nicht im Zahlungsverzug ist. Ist dies jedoch der Fall, können wir verlangen, dass der Besteller die abgetretenen Forderungen und deren Schuldner bekannt gibt, alle zum Einzug erforderlichen Angaben macht, die dazugehörigen Unterlagen aushändigt und den Schuldnern (Dritten) die Abtretung mitteilt.
5. Die Verarbeitung oder Umbildung der Waren durch den Besteller wird stets für uns vorgenommen. Werden die Liefergegenstände mit anderen, uns nicht gehörenden Gegenständen verarbeitet, so erwerben wir das Miteigentum an der neuen Sache im Verhältnis des Wertes der Liefergegenstände zu den anderen verarbeiteten Gegenständen zur Zeit der Verarbeitung.
6. Werden die Liefergegenstände mit anderen, uns nicht gehörenden Gegenständen untrennbar vermischt, so erwerben wir das Miteigentum an der neuen Sache im Verhältnis des Wertes der Liefergegenstände zu den anderen vermischten Gegenständen. Der Besteller verwahrt das Miteigentum für uns.
7. Der Besteller darf die Liefergegenstände weder verpfänden, noch zur Sicherung übereignen. Bei Pfändungen sowie Beschlagnahme oder sonstigen Verfügungen durch Dritte, hat der Besteller uns unverzüglich davon zu benachrichtigen und uns alle Auskünfte und Unterlagen zur Verfügung zu stellen, die zur Wahrung unserer Rechte erforderlich sind. Vollstreckungsbeamte bzw. ein Dritter sind auf unser Eigentum hinzuweisen.
8. Gerichtsstand ist Syke

Firmierungsadresse:

AKON Robotics
Piepsche 7a
28857 Syke

Werksadresse:

AKON Robotics
Oppenheimer Straße 21
28307 Bremen

Kontakt:

Tel. +49 (0) 421 / 322 63 6
Fax. +49 (0) 421 / 322 63 71
Mail: info@akon-robotics.de
Web: www.akon-robotics.de

14. Seite zum Angebot 1963 an KIEL Zulieferungen GmbH

Angebot Nr.	: 1963
Seite	: 14 von 14

Wir hoffen, dass unser Angebot Ihr Interesse geweckt hat und würden uns freuen, Ihren Auftrag zu erhalten.

Mit freundlichen Grüßen



Martin Huber

Firmierungsadresse:

AKON Robotics
Piepsche 7a
28857 Syke

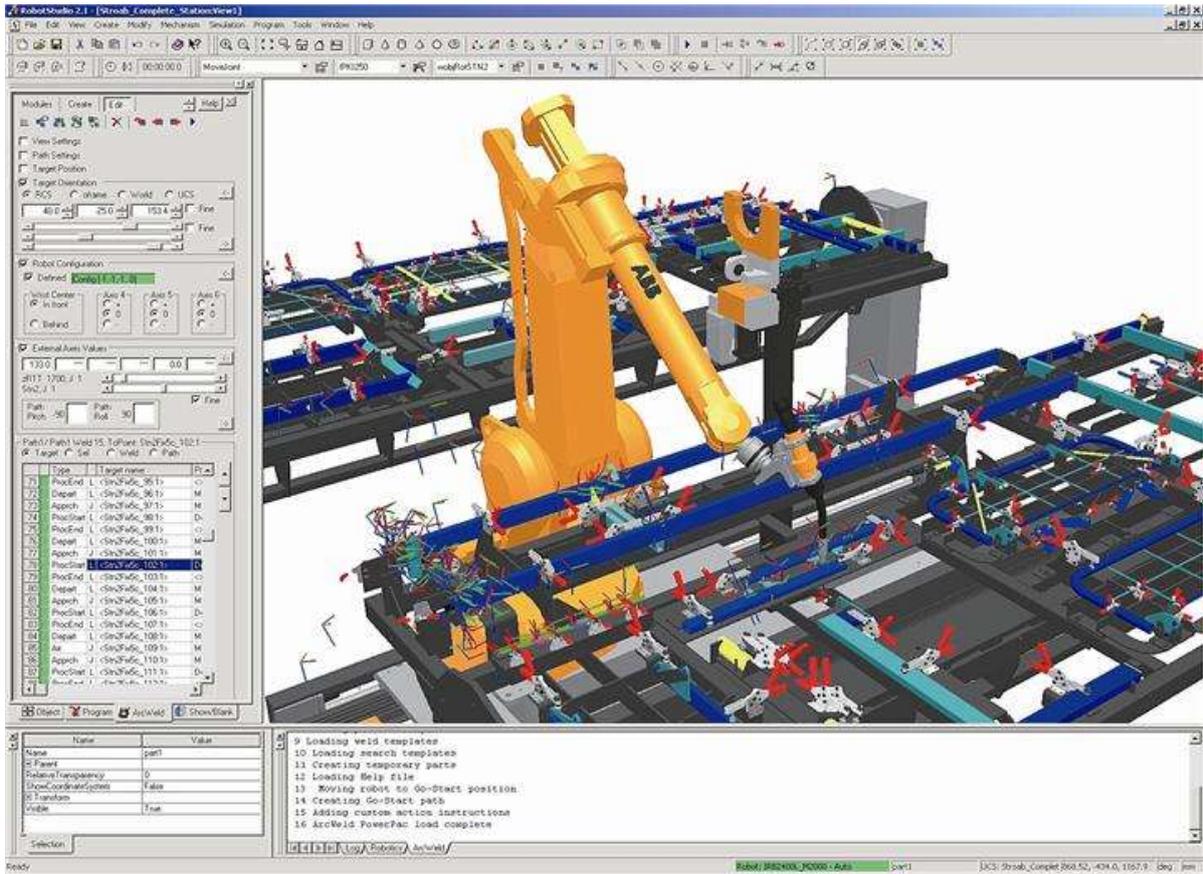
Werksadresse:

AKON Robotics
Oppenheimer Straße 21
28307 Bremen

Kontakt:

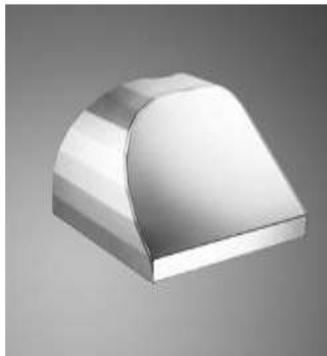
Tel. +49 (0) 421 / 322 63 6
Fax. +49 (0) 421 / 322 63 71
Mail: info@akon-robotics.de
Web: www.akon-robotics.de

Anlage 7: Programmiersoftware RobotStudio AWP (Quelle: /I6/)



Anlage 8: Berechnungsbeispiel „Haube“ (Quelle: /I15, S.10/)

Gegeben: Eine Haube aus 1,5 mm dickem Baustahl und einer 122 cm langen Schweißnaht soll nach folgenden Parametern gefertigt werden:



		WIG - Handschweißen			Laserschweißen		
		1	20	500	1	20	500
n	Stückzahlen in [Stck] (monatlich)	1	20	500	1	20	500
k _{satz}	Stundensatz in [€]	60	60	60	149	149	149
k _v	Vorrichtungskosten in [€]	0	0	0	4000	4000	4000
t _p	Programmierzeit in [min]	0	0	0	240	240	240
t _r	Rüstzeit pro Teil in [min]	0,1	0,1	0,1	0,3	0,3	0,3
t _s	Schweißzeit pro Teil in [min]	45	45	45	2	2	2
t _h	Handlingzeit pro Teil in [min]	2	2	2	2	2	2
t _n	Nacharbeit pro Teil in [min]	10	10	10	0	0	0

- Gesucht:**
- Zeitaufwand (gesamt) T_{ges} in [h] für 1, 20 und 500 Stck.
 - Kosten (gesamt) K_{ges} in [€] für 1, 20 und 500 Stck.
 - Kosten pro Teil K_t in [€] für 1, 20 und 500 Stck.

Berechnungsformeln für das WIG - Handschweißen:

$$T_{ges} = ((n \cdot t_r) + (t_s + t_h + t_n) \cdot n) \div 60 \quad \text{in [h]} \quad (A8.1)$$

$$K_{ges} = T_{ges} \cdot k_{satz} \quad \text{in [€]} \quad (A8.2)$$

$$K_t = K_{ges} \div n \quad \text{in [€]} \quad (A8.3)$$

Berechnungsformeln für das Laserschweißen:

$$T_{ges} = ((n \cdot t_r) + t_p + (t_s + t_h) \cdot n) \div 60 \quad \text{in [h]} \quad (A8.4)$$

$$K_{ges} = T_{ges} \cdot k_{satz} + k_v \quad \text{in [€]} \quad (A8.5)$$

$$K_t = K_{ges} \div n \quad \text{in [€]} \quad (A8.6)$$

Ergebnisse:

		WIG - Handschweißen			Laserschweißen		
		1	20	500	1	20	500
n	Stückzahlen in [Stck] (monatlich)	1	20	500	1	20	500
T_{ges}	Zeitaufwand gesamt in [h]	1	19	476	4,1	5,4	40
K_{ges}	Kosten gesamt in [€]	57,10	1142	28550	4607	4810	9935
K_t	Kosten pro Teil in [€]	57,10	57,10	57,10	4607	240	19,87

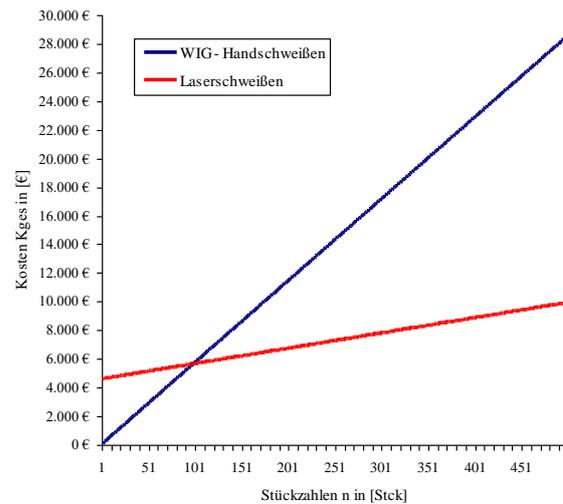
Ergebnisinterpretation:

Aus den Ergebnissen folgender Beispielberechnung lässt sich ableiten, dass eine automatisierte Fertigung mittels einer Laserschweißtechnologie eines solchen Werkstückes

sich erst bei mittleren Produktionsmengen (500 Stck.) wirtschaftlich gestalten lässt. Einen wesentlichen Teil der Kosten verursacht dabei die Realisierung einer erforderlichen Vorrichtung, welche sich negativ auf einen Fertigungsprozess mit kleinen Stückzahlen auswirkt. Stellt man die Ergebnisse beider Produktionsabläufe in einem Diagramm gegenüber, lässt sich an der Stelle wo beide Verläufe sich schneiden die Anzahl von Teilmengen (99 Stck.) ermitteln, ab welcher eine Mechanisierung der Schweißaufgabe die Produktion besagter Hauben wirtschaftlich und gewinnorientiert gestalten würde.

Beispiel "Haube"

n [Stck]	WIG - Handschweißen			Laserschweißen		
	T _{ges} [h]	K _{ges} [€]	K _t [€]	T _{ges} [h]	K _{ges} [€]	K _t [€]
1	1	57	57,1	4	4607	4607
2	2	114	57,1	4	4617	2309
			↓			
97	92	5539	57,1	11	5632	58
98	93	5596	57,1	11	5642	58
99	94	5653	57,1	11	5653	57
100	95	5710	57,1	11	5664	57
101	96	5767	57,1	11	5675	56
			↓			
499	475	28493	57,1	40	9924	20
500	476	28550	57,1	40	9935	20



(Die an dieser Stelle verwendeten Werte basieren auf die für Deutschland typischen Durchschnittsangaben und sollen daher nicht das Maß für weitere Berechnungen darstellen.)