

Fachhochschule Aachen

**Fachbereich
Maschinenbau und Mechatronik**

Diplomarbeit

**Optimierung einer Roboter-Schweißzelle
als Basis eines E-Learning Systems**

Markus Bellenberg

Matr.-Nr.: 160129

Referent : Prof. Dr. A. Gebhardt

Korreferent : Prof. Dr. U. Karras

**in Zusammenarbeit mit der Firma
FESTO Didactic GmbH & Co, Denkendorf**

Aachen, den 23.10.2002

Erklärung

Ich versichere hiermit, dass ich die vorliegende Arbeit selbständig verfasst und keine anderen als die im Literaturverzeichnis angegebenen Quellen benutzt habe.

Stellen, die wörtlich oder sinngemäß aus veröffentlichten oder noch nicht veröffentlichten Quellen entnommen sind, sind als solche kenntlich gemacht.

Die Zeichnungen oder Abbildungen in dieser Arbeit sind von mir selbst erstellt worden oder mit einem entsprechenden Quellennachweis versehen.

Diese Arbeit ist in gleicher oder ähnlicher Form noch bei keiner anderen Prüfungsbehörde eingereicht worden.

Aachen, im Oktober 2002

(die digitale Version dieses Dokumentes ist auch ohne Unterschrift gültig)

Inhaltsverzeichnis

1	Zusammenfassung	1
1.1	Kurzfassung zur Darstellung im Internet.....	1
1.2	Abstract (englische Zusammenfassung)	2
1.3	Zusammenfassung	4
2	Einleitung.....	7
2.1	Motivation	7
2.2	Gemeinschaftsprodukt "Lernsystem Roboterschweißen"	7
2.3	Vorbereitungen der Diplomarbeit.....	8
2.3.1	Der Projektplan	8
2.4	Zielgruppe	9
2.5	Schweißroboter in der Industrie.....	10
2.6	Schweiß- und / Roboterausbildung in Deutschland	10
3	Das Lernsystem Roboterschweißen	12
3.1	Einführung	12
3.2	Alleinstellungsmerkmale am Markt.....	13
3.3	Schnittstellen	14
3.4	Mechatronischer Aufbau.....	15
3.4.1	6-Achsen Industrie Knickarm-Roboter	16
3.4.2	Greifersystem.....	17
3.4.3	Schweißstromquelle / Drahtvorschubgerät.....	19
3.4.4	Gasdüsenreinigung	20
3.4.5	Schweißstisch mit Fixierungen.....	21
3.4.6	Paletten	22
3.4.7	Drehgreifer	23
3.4.8	Verblitzungsschutzverglasung.....	24
3.4.9	Schweißrauchfilterabsauganlage (optional)	24
3.4.10	E-Learning Anbindung	25
3.5	Ist-Zustand und Ziel.....	26
3.5.1	Ist-Zustand	26
3.5.2	Weg und Ziel	27
3.6	Zusammenfassung.....	29
4	Der Kawasaki-Roboter.....	30
4.1	Robotersteuerung (Controller).....	30
4.2	Multifunktionspanel (Teachbox).....	30
4.3	Grundlagen zum Roboter	31
4.3.1	Einrichten von Werkzeugen (TCP).....	31
4.3.2	Freiheitsgrade / Achsen	32
4.3.3	Bewegungsverfahren	32
4.3.4	Punktvariablen	33
4.3.5	Geschwindigkeiten / Genauigkeiten.....	34
4.3.6	Programmiersprachen.....	35
4.4	Anbindung an das Schweißgerät.....	36
4.5	Zusammenfassung.....	38
5	Grundlagen des Schweißens.....	39
5.1	Einführung	39
5.2	Schweißverfahren	39
5.2.1	Punktschweißen.....	39
5.2.2	Bahnschweißen.....	40
5.3	Schweiß-Parameter	41
5.4	Auswirkung von Parameteränderungen auf die Schweißnaht.....	43
5.4.1	Einfluss der Schweißstromstärke	43
5.4.2	Einfluss der Schweißspannung	43
5.4.3	Einfluss der Schweißgeschwindigkeit (v_S).....	44
5.4.4	Einfluss des Kontaktrahabstandes.....	44
5.4.5	Einfluss der Drahtgeschwindigkeit (v_D).....	45
5.4.6	Einfluss des Gasgemisches	45

5.4.7	Einfluss der Schweißbrennerstellung	45
5.5	Kontrolle der Schweißnaht	46
6	Der Weg zur Bahnschweißnaht	47
6.1	Das Ziel	47
6.2	Vorbereitung	47
6.3	Versuche	48
6.3.1	Der Bewegungsablauf	48
6.3.2	Einschweißversuche	49
6.4	Kreisbahnschweißnaht	53
6.5	Aufgetretene Probleme	54
6.6	Veränderbare Parameter an der Robotersteuerung	56
6.7	Zusammenfassung	56
7	E-Learning System.....	57
7.1	Einführung	57
7.2	COSIMIR Robotersimulation	59
7.2.1	Compiler- und Programmiersprachenunterschiede	60
7.2.2	Kollisionserkennung als Vorstufe zum schadensfreien Programmablauf	60
7.3	Anbindung an die Roboterschweißzelle	60
7.4	Sicherheitsaspekte	61
7.4.1	Webcam begrenzt die 3D Sicht	61
7.4.2	Zeitverzögerungen durch das WWW	61
7.4.3	Überwachung von Kommunikationsabbrüchen	61
7.4.4	NOTAUS-Funktion	62
7.4.5	Sicherheit von Vorortpersonal	62
7.4.6	Multiuser – Zugriffsverwaltung	62
7.5	E-Learning by doing	62
7.5.1	Aufspielen von User/Lerner-Software	63
7.5.2	Initiieren vorgegebener Routinen	63
7.5.3	Das Programm KC-Win; alles ist möglich	64
7.5.4	Unterroutinen ersetzen	64
7.6	Unterstützung durch Servicepersonal an der realen Anlage	65
7.7	Mehrnutzen durch E-Learning	65
7.8	Zusammenfassung	67
8	Ausblicke	68
8.1	Ausblicke zur Gesamtanlage	68
8.2	Ausblicke zum Kawasaki-Roboter	69
8.3	Ausblicke zum Thema Schweißen	70
8.4	Ausblicke zum E-Learning	72
9	Danksagung.....	74
10	Abbildungsverzeichnis.....	75
11	Tabellenverzeichnis.....	77
12	Quellenverzeichnis	78
13	Anhang.....	80

1 Zusammenfassung

1.1 Kurzfassung zur Darstellung im Internet

Thema:	Optimierung einer Roboter-Schweißzelle als Basis eines E-Learning Systems
Diplomand:	Markus Bellenberg
Betreuender Professor:	Prof. Dr. Andreas Gebhardt, FH-Aachen
Korreferent:	Prof. Dr. Ulrich Karras, FESTO Didactic GmbH & Co, Denkendorf
Abgabedatum:	23. Oktober 2002

Die kompakte Roboter-Schweißzelle "Lernsystem Roboterschweißen" ist ein Gemeinschaftsprodukt der Firmen FESTO Didactic GmbH & Co., Denkendorf, sowie Kawasaki Robotics, Neuss mit der K-Robotix GmbH, Bremen, und AKON CAD-Services, Bremen.

Ziel war die technische Überarbeitung und Optimierung des vorliegenden Prototypen, um eine Basis für ein E-Learning System (Internet unterstütztes Lernen) zu schaffen. Zu diesem Zweck wurde das Programm der Robotersteuerung neu erstellt, notwendige mechanische Änderungen an Roboterequipment und Materialförderung vorgenommen sowie eine neue Internet-Anbindung geschaffen.

Wesentliche Ergebnisse der Arbeit sind:

- Erzeugen roboterbasierter kreisinterpolierter Bahnschweißnähte
- Kommunikation des Lernsystems via Internet
- Lernorientierte Steuerungssoftware

(Die Diplomarbeit liegt dem betreuenden Professor als CD vor.)

1.2 **Abstract (englische Zusammenfassung)**

Subject: Optimization of a Robot-welding Station as the Basis
for an E-Learning System

Student: Markus Bellenberg

Faculty Advisor Prof. Dr. Andreas Gebhardt, FH-Aachen

Co-Advisor: Prof. Dr. Ulrich Karras, FESTO Didactic GmbH & Co, Denkendorf

Completion Date: October 23rd 2002

Presently, the scope of German didactic training does not include the specific trade of "Robot Welding Specialist." All robot manufacturers offer applications training to professional industry personnel, including Welding Specialists. Similarly, welding-education-centers can provide welding courses to Robotic Specialists. However, neither training venue includes the necessary interdisciplinary knowledge and background information to adequately train robotic welding specialists. An obligatory certification, common in other industrial branches (e.g. official welding-certificate) is not yet available for this specialty.

The German automobile industry is the largest user of robotic welding applications. The greatest area of application of welding-robots in Germany is found in the automobile industry. Most training is done internally or by specialized companies, and focuses mainly on the specific needs of automobile manufacture. By contrast, relatively few small and medium-sized businesses use robots. Robots are a significant investment, and are generally only practical for high-volume manufacturing, and/or when manufacturing goods with short production cycles. One can argue, however, that welding robots are an exception, because they can weld faster and more uniformly than humans, and the complexity of the welding process itself is a good match for the robot's capabilities. Therefore, welding robots may still be advantageous, even in small manufactories, which could lead to significant growth in as yet untapped robot markets. This could be welcome news for Germany, who's robot usage still lags behind that of other industrialized nations.

With this in mind, a compact robot welding station known as "Learning Environment for Robot Welding" (German "Lernsystem Roboterschweißen") was developed. It is the result of a cooperative effort between three German companies: FESTO Didactic GmbH & Co., Denkendorf, Kawasaki Robotics, Neuss combined with K-Robotix GmbH, Bremen and AKON CAD-Services, Bremen. FESTO Didactic and Kawasaki realized the necessity for such a learning environment at the end of 2000. FESTO Didactic created the concept, and AKON was awarded the construction contract.

The first version of the learning environment was completed in February 2001, and presented at the Hanover Industrial fair (Hannover-Messe Industrie) in April 2001 as part of a full production line. After the fair, the welding station was transferred to K-Robotix as a stand alone system. Small mechanical changes were made by AKON, thereafter.

The main goal of this final thesis was the revision and optimization of the given prototype as a basis for an E-Learning environment. All components of the system, including specific technical aspects, are discussed in order to create the basis for future training documentation. Similarly, the programs for the robot motion sequences and welding processes were renewed in order to create well-structured, clear and properly documented software that is suitable for use in a formal training program.

Mechanical changes to the combined gripper-welding system were also necessary in order to improve weld quality, especially for circular-interpolated weld seam paths, thereby greatly enhancing the marketability of the training system. Finally, a collision-detection system was implemented to improve operator safety.

The major parts of the technical documentation were supplemented. (Chapter 3)

Chapter 4 and 5 give the fundamentals of welding and main information for the Kawasaki robot and its controller.

To provide a more detailed explanation of welding techniques, a series of welding tests is documented in chapter 6. In particular, the relation of the main welding parameters to weld quality is analyzed. For example, the synthesis of a circular-interpolated arc welding seam is described in detail.

It is shown how and to what extent the FESTO-robot simulation software COSIMIR can be implemented in this learning environment.

The data communication interface between the real world robot cell and the E-Learning environment was rebuilt in order to increase the transmission speed. This new implementation enables the client to use all Kawasaki robot commands world-wide via the internet. Using this improved interface, a new graphical E-Learning user-interface was designed, allowing additional exercises to be easily added. (Chapter 7)

The final thesis concludes with a series of outlooks that discuss how the Learning Environment can be further improved, and which features could be added (chapter 8).

Technical details of the main components can be found in the appendix (chapter 13).

1.3 Zusammenfassung

Die derzeitige Ausbildungslage in Deutschland bietet keine Ausbildung zum kombinierten "Roboterschweißfachmann". Eine Prüfung und Zertifizierung wie in anderen Industriesparten notwendig (z.B. qualifizierter Schweißwerkmeister) existiert nicht. Bediener von Robotern sind oft Autodidakten. Es bestehen Ansätze zur Ausbildung als Schweiß-Fachmann mit Roboterkenntnissen und Roboter-Fachmann mit Schweißkenntnissen, jedoch werden z.Zt. weder von den staatlich anerkannten Schweißtechnischen Lehr- und Versuchsanstalten (SLV) noch von den jeweiligen Roboterherstellern flächendeckend die benötigten kombinierten Ausbildungen zum Roboterschweißfachmann angeboten.

Die Mehrzahl der in Deutschland eingesetzten Schweiß-Roboter wird in der Automobilindustrie verwendet. Die auf die dortigen Belange sehr genau abgestimmten Ausbildungen werden oft hausintern und/oder von eigens dafür unter Vertrag genommenen Instituten durchgeführt.

Nur ein geringer Teil der klein- und mittelständischen Unternehmen besitzen Roboter. Hier ist eine Marktlücke für den Robotereinsatz auszumachen, da sich Kleinserienfertigungen technisch bestens und gewinnbringend dafür eignen würden. Im Vergleich zu anderen Industriestaaten werden in Deutschland Roboter unterdurchschnittlich verwendet (vgl. Japan). (Weiterführendes siehe Kap. 2.4ff)

Der derzeitigen Ausbildungssituation in der Bundesrepublik auf dem Gebiet der Roboterschweißtechnik Rechnung tragend wurde eine kompakte Roboter-Schweißzelle mit der Bezeichnung "Lernsystem Roboterschweißen" als ein Gemeinschaftsprodukt der FESTO Didactic GmbH & Co., Denkendorf, der K-Robotix GmbH, Bremen, unterstützt durch Kawasaki Robotics, Neuss, und AKON CAD-Services, Bremen, entwickelt. FESTO Didactic und Kawasaki erkannten die Notwendigkeit eines solchen Lernsystems Ende 2000. FESTO Didactic erstellte das Konzept für dieses Lernsystem und anschließend erfolgte der Entwicklungsauftrag hierzu an AKON.

Die erste Version des Lernsystems wurde Mitte Februar 2001 fertiggestellt und im April auf der Hannover Messe Industrie (HMI) 2001 präsentiert. Das Lernsystem wurde dort als Teil einer Transferstraße vorgeführt. Nach der Messe wurde das System aus der Transferstraße ausgegliedert und in den Ausstellungsraum der Fa. K-Robotix transportiert. Danach wurden kleinere mechanische Änderungen an Greiferhalter und Spannwerkzeugen von Fa. AKON durchgeführt.

Auf der HMI 2002 wurde das E-Learning System der Bendit GmbH, Bremen, auf dem FESTO-Stand erstmalig präsentiert. Das "Lernsystem Roboterschweißen" konnte mit

beweglicher Kamera aus Bremen über das Internet auf eine Leinwand auf dem Messestand projiziert und von dort ferngesteuert werden.

Ziel der vorliegenden Diplomarbeit war die völlige technische Überarbeitung und Optimierung dieses E-Learning-Prototypen, um eine ausgereifere Basis für ein E-Learning System zur Verfügung zu stellen. Dazu wurden zunächst die Bestandteile der Roboter-Schweißzelle und ihre technische Anbindung an das Gesamtsystem untersucht und wird in Kap. 3 detailliert erklärt. Die Erläuterungen sind gedacht als Bausteine einer noch zu erstellenden umfassenden Lerndokumentation zum E-Learning System. In Hinblick darauf wurden ebenfalls das Bewegungsprogramm der Robotersteuerung und die Abläufe von Punkt- und Bahnschweißen völlig überarbeitet, so dass nun eine für Lernzwecke gut strukturierte, durchsichtige und ausführlich dokumentierte Software vorliegt. Des Weiteren wurden notwendige mechanische Änderungen am kombinierten Greifer-/Schweißsystems des Roboters vorgenommen, um qualitativ gute Schweißnähte und kreisinterpolierte Bahnschweißnähte, als Grundvoraussetzungen eines marktfähigen Lernsystems zu erzeugen.

Zur Verbesserung der Betriebssicherheit wurde eine Kollisionsabschaltdose in das System integriert.

Schließlich waren große Teile der Kerndokumentation zu ergänzen (Kap. 3).

In den Kap. 4 und 5 werden Fachwissen zum verwendeten Kawasaki-Roboter sowie Grundlagen zum Schweißen vermittelt.

Zur Unterstützung der schweißtechnischen Aspekte des "Lernsystems Roboterschweißen" wurden Schweiß-Versuchsreihen durchgeführt. Dabei wurden zur Erlangung und Optimierung guter Schweißnähte Schweißparameter in Relation zu einander gesetzt. Es wird gezeigt, wie sich durch Variation der Parameter das Bild einer Schweißnaht positiv oder negativ verändert. Anhand des Beispiels "Bahnschweißen" wird das autodidaktische Vorgehen beschrieben. (Kap. 6)

Es wird gezeigt, in wieweit die Einbindung des FESTO-Roboter-Simulationsprogramms COSIMIR in das "Lernsystem Roboterschweißen" möglich ist und wo z.Zt. die Grenzen dieser Einbindung liegen.

Die Anbindung an das E-Learning System wurde ebenfalls revidiert und geschwindigkeitsoptimiert: die neu geschaffene Verbindung zwischen Robotersteuerung und Internet wurde programmtechnisch offen gestaltet und vermag den gesamten Befehlsvorrat der Robotersteuerung weltweit über das Internet zu nutzen.

Eine neue E-Learning Oberfläche wurde entworfen, die auf dieser neuen Verbindung aufsetzt. Dabei wurden didaktische Grundgedanken berücksichtigt und besonders darauf

geachtet, dass die nachträgliche Erweiterung um neue Übungsaufgaben einfach realisiert werden kann. (Kap. 7)

Die Arbeit zeigt schließlich ausblickend, an welchen Stellen die Gesamtanlage weiterentwickelt werden könnte und welche neuen Features denkbar wären. (Kap 8)

Der Anhang der Diplomarbeit listet weitgehend technische Einzelheiten der verwendeten Hard- und Software sowie detaillierte Erklärungen der sie betreffenden technischen Zusammenhänge auf (Kap. 13).

2 Einleitung

2.1 Motivation

Wegen der Ausbildung zum Mechatronik Ingenieur an der Fachhochschule Aachen mit Vertiefungsrichtung Robotik war eine Diplomarbeit im Bereich Automatisierung und Robotertechnik sehr geeignet. Die vorhandene Roboterschweißzelle bot gleichermaßen Themen, die auf erlerntem Wissen aufsetzen, als auch die Herausforderung, das Feld der Schweißtechnik von Grund auf kennen zu lernen. Die Integration von Robotik, Schweißtechnik und moderner Internettechnologie im "Lernsystem Roboterschweißen" und die dabei auftretenden praktischen wie theoretischen Aufgaben boten für mich eine sehr interessantes Betätigungsfeld. Im Folgenden wird das Ziel der Arbeit erläutert:

2.2 Gemeinschaftsprodukt "Lernsystem Roboterschweißen"

Das "Lernsystem Roboterschweißen" ist ein Gemeinschaftsprodukt von FESTO Didactic GmbH & Co., Denkendorf, sowie Kawasaki Robotics, Neuss, mit der K-Robotix GmbH, Bremen, und AKON CAD-Services, Bremen. FESTO Didactic und Kawasaki erkannten die Notwendigkeit eines solchen Lernsystems Ende 2000. FESTO Didactic erstellte das Konzept für dieses Lernsystem. Anschließend erfolgte der Entwicklungsauftrag an AKON mit enger Kooperation der Konstruktionsabteilung von FESTO Didactic.

Die erste Version des Lernsystems wurde Mitte Februar 2001 fertiggestellt und im April auf der Hannover Messe Industrie (HMI) 2001 präsentiert. Das Lernsystem wurde dort als Teil einer Transferstraße vorgeführt. Ein Demoprogramm zum Roboterpunktschweißen wurde von Fa. Kawasaki Robotics GmbH, Neuss, erstellt.

Nach der Messe wurde das System aus der Transferstraße ausgegliedert und in den Ausstellungsraum des Kompetenzzentrums der Fa. K-Robotix, Bremen, transportiert. Danach wurden kleinere mechanische Änderungen an Greiferhalter und Spannwerkzeugen durchgeführt. Zusätzlich erhielt das System eine Schweißrauchabsauganlage.

Auf der HMI 2002 wurde das E-Learning System der Bendit GmbH, Bremen, auf dem FESTO-Stand erstmalig präsentiert. Das "Lernsystem Roboterschweißen" konnte mit beweglicher Kamera aus Bremen über das Internet auf eine Leinwand auf dem Messestand projiziert und von dort ferngesteuert werden.

2.3 Vorbereitungen der Diplomarbeit

Zu Beginn der Diplomarbeit wurde eine Literatur- und Informationsrecherche zur Themenstellung durchgeführt, die Unterlagen "quergelesen", thematisch geordnet und gefiltert. Dies benötigte bedingt durch die vielen und z.T. umfangreichen Dokumente eine nicht unerhebliche Zeit.

Die nicht gerade geringe Anzahl verschiedener Mitwirkender und Informanten am "Lernsystem Roboterschweißen" erwies sich als Herausforderung, da nur langsam ersichtlich war, wer zu welcher Thematik Ansprechpartner war und welche Quelle die benötigten Informationen bereitstellen würde.

Durch den kurzfristigen Umbau des Systems für die HMI 2002 stimmten Konstruktionszeichnungen und Dokumentation der Anlage teilweise nicht mehr mit der Realität überein. Dies führte zu nicht kalkuliertem Mehraufwand in der Diplomarbeit.

2.3.1 Der Projektplan

Es zeigte sich bereits nach ersten Überlegungen, dass das gewählte Thema vielschichtig war und wegen der beteiligten Stellen FH Aachen, Fa. FESTO Didactic, Denkendorf, und Fa. K-Robotix, Bremen, ein nicht geringer Koordinierungsaufwand zu bewältigen war.

So wurde vor Beginn der eigentlichen Arbeiten ein sog. Projektplan (MS-Project) erstellt. Dieser Projektplan beinhaltete alle Tätigkeiten samt ihrer Unterpunkte, hierarchisch gegliedert und verknüpft gemäß ihrer (zeitlichen/logischen) Abfolgen und Abhängigkeiten. Daraus resultiert eine Übersicht, die nicht nur den Zeitaufwand der gesamte Diplomarbeit abbildet, sondern auch Auskunft gibt über die jeweiligen Tages- bzw. Wochenaufgaben und Aufwände. Es wird sehr deutlich, welche Aufgaben besonders zeitkritisch sind (kritischer Weg), d.h. welche Aufgaben unbedingt in den rechenoptimierten Zeiträumen zu erledigen sind, damit nicht Ablauf und Endtermin des Projektes (hier der Diplomarbeit) gefährdet werden.

Im Projektplan können weiterhin verschiedene Ressourcen ("Beteiligte") mit eingefügt und den einzelnen Aufgaben des Planes zugeordnet werden. Hiervon wurde im vorliegenden Fall Gebrauch gemacht, da neben mir als Diplomanden weitere drei "Stellen" (s.o.) zu koordinieren waren. Somit wurden auch die Abhängigkeiten unter den verschiedenen Personen deutlich.

Theoretisch ließen sich über zugeordnete Ressourcen-Verrechnungssätze sogar Kostenprognose und –verfolgung für das Projekt darstellen.

Der Ausdruck von Übersichtsplänen (sog. Balkendiagrammen) aus diesem Projektplan gibt dem Anwender einen besseren Überblick über das Gesamtgeschehen, fokussiert ihn dabei jedoch gleichzeitig auf seine aktuellen Tätigkeiten. Dies schafft Planungssicherheit.

Das Ende der Diplomarbeit konnte bis auf Tage genau vorhergesagt werden.

Der planerische Mehraufwand für diesen Projektplan nahm etwa 3 Wochen in Anspruch.

Ein Ausdruck des Projektplanes findet sich in Anhang 13-2.3.a.

Es hat sich weiterhin als Vorteil erwiesen, dass während der gesamten Diplomarbeit die laufende Arbeit fast täglich dokumentiert wurde. Dies dient der eigenen Arbeitsdisziplin und Termintreue, festigt die Übersicht über neu erarbeitetes Wissen, da es kontinuierlich schriftlich fixiert wird. Die Wochenübersicht ist in Anhang 13-2.3.b abgebildet.

2.4 Zielgruppe

Das vorhandene "Lernsystem Roboterschweißen" ist insbesondere mit Blick auf die mittelständische Industrie entwickelt worden. Hier ist ein Nachholbedarf auszumachen an Schweiß-Fachleuten mit fundiertem Wissen in der Robotik wie auch an Roboter-Fachleuten mit genügendem Wissen zum Thema Schweißen. Ausbildungsstätten für diese Zielkerngruppe dürften an Systemen dieser Art ebenfalls großes Interesse haben.

Hierzu heißt es in [KROB02]:

"Das FESTO - Lernsystem [Roboterschweißen] richtet sich sowohl an Facharbeiter und Techniker mit einer Ausbildung in der Metallverarbeitung sowie Grundkenntnissen in der Schweißtechnik als auch an die Ingenieurausbildung an Fachhochschulen. [...]"

Das Lernsystem soll den Umgang mit dem Roboter sowie die Kombination Schweißen + Roboter vermitteln. In Form von Beispielaufgaben, Fragen, Musterlösungen und begleitenden Texten soll das Wissen schrittweise aufgebaut werden. Besonderer Wert wird auf das Lernen am praktischen System gelegt, wodurch ein direkter Praxisbezug erreicht wird. [...]"

Zu den besonders anspruchsvollen Anwendungen von Robotern gehört das Schweißen und Schneiden. Hier muss die Erfahrung und der Umgang mit der Schweiß- oder Schneidtechnologie bestmöglich integriert werden. Damit dieses sichergesellt wird, ist die Ausbildung und Qualifizierung des Fachpersonals im Umgang mit der Roboter- und Schweißtechnologie von großer wirtschaftlicher Bedeutung. "

2.5 Schweißroboter in der Industrie

In der Industrie findet sich laut [KROB02] folgende Situation:

"[...] Seit mehr als 30 Jahren gibt es Roboter für die Industrie in Deutschland. "Etabliert" haben sie sich in der Automobilindustrie und sind dort unverzichtbare Helfer bei der Herstellung von Fahrzeugen. Seit 20 Jahren werden Roboter auch in Klein- und Mittelbetrieben eingesetzt. Inzwischen "arbeiten" über 100.000 Roboter in Deutschland. (Im Vergleich in Japan über 400.000, in den USA über 110.000; insgesamt weltweit z.Zt. ca. 760.000 Roboter. " (Stand etwa 2001)

Dabei sind in Deutschland über 23.000 Roboter auf dem Anwendungsgebiet Punktschweißen und über 13.000 Roboter auf dem Gebiet des Bahnschweißens eingesetzt. (Stand 2000, Verband deutscher Maschinen und Anlagenbau e.V. (VDMA) "Robotik+Automation") Diese Zahlen spiegeln die Wichtigkeit des Schweißens in der Industrie und die Notwendigkeit der Ausbildung in diesem Bereich wider.

Die Mehrzahl der o.g. Roboter wird in der Automobilindustrie verwendet. Die auf die dortigen Belange sehr genau abgestimmten Ausbildungen werden oft hausintern und/oder von eigens dafür unter Vertrag genommenen Instituten durchgeführt.

Bezüglich der Frage nach dem (Erst-) Einsatz von Robotern ist in klein- und mittelständischen Unternehmen hingegen oftmals die Angst vor der neuen Robotertechnologie und den damit einhergehenden (Fehl-) Investitionen groß und überdeckt die unternehmerisch-strategische Weitsicht, dass diese Technologie sich z.B. in Kleinserienfertigungen technisch bestens und gewinnbringend eignen würde. Die Ausbildungslage in Deutschland leistet dieser innovationsbremsenden Grundeinstellung weiter Vorschub, wie im Folgenden beschrieben wird.

2.6 Schweiß- und / Roboterausbildung in Deutschland

In Deutschland bilden unter dem Dachverband DVS (Deutscher Verband für Schweißen und verwandte Verfahren e.V.) tätige Schweißtechnische Lehr- und Versuchsanstalten (SLV) Schweißfachleute aus. Dabei sind sowohl theoretische wie praktische Ausbildungen mit abschließendem Testat Lehrgangsinhalte. Im Vordergrund der Ausbildung steht das Schweißen per Hand. In wenigen Fällen wird jedoch auch auf das Schweißen per Roboter eingegangen. Die Ausbildung zum Roboterschweißtechniker existiert nicht. Auf die Programmierung von Robotern wird, wenn überhaupt, nur unzureichend eingegangen.

Im Bereich Roboterausbildung wird ebenfalls das Thema "Roboterschweißen" ähnlich vernachlässigt:

"In Deutschland werden die Bediener von Robotern durch die Hersteller und deren Vertriebspartner in der Regel über Roboter-Lehrgänge (1-2 Wochen) geschult. Hierbei wird vor allem das Programmieren von Robotern gelernt. Eine fundierte Aus- und Weiterbildung zum Roboter-Fachmann, -Techniker oder -Ingenieur im Bildungsangebot in Deutschland beschränkt sich z.Zt. auf die Handhabung von Robotersystemen. Entsprechende Aus- und Weiterbildungsmaßnahmen zur wichtigen Integration von Robotik in technologische Prozesse wie Schweißen fehlt aber noch meistens." *[KROB02]*

Fazit ist, dass es Ansätze zur Ausbildung zum Schweiß-Fachmann mit Roboterkenntnissen und Roboter-Fachmann mit Schweißkenntnissen gibt. Jedoch werden z.Zt. weder vom DVS noch von den jeweiligen Roboterherstellern flächendeckend die benötigten kombinierten Ausbildungen zum Roboterschweißfachmann angeboten.

Das "Lernsystem Roboterschweißen" kann hier insofern einen Meilenstein darstellen, als es auf engem Raum vollständig die gesamte Komplexität eines industrienahen Roboter-Schweißprozesses bietet.

3 Das Lernsystem Roboterschweißen

3.1 Einführung

Das vorliegende Roboterschweißsystem basiert auf den FESTO Didactic MPS-Stationen. FESTO Didactic vermarktet unter dem Namen "MPS" für Schulungszwecke verschiedene Handlingstationen in Modulbauweise, welche industriennahe Prozesse von einfachen bis hin zu recht komplexen incl. Steuerungstechnik und -komponenten, Robotertechnik, industriellen Bussystemen realitätsnah darstellen. Dazu gehören Module wie "Verteilen", "Prüfen", "Montieren", "Sortieren" und "Stanzen". Im gezeigten Beispiel wird ein zylinderförmiges Kunststoffbauteil (Kunststoffzylinder siehe Abb. 2 nach Farbe sortiert (siehe rote Bauteile Abb. 1. Werden alle MPS-Stationen hintereinander durchlaufen, so entsteht schrittweise das Modell eines pneumatischen Druckluftzylinders mit Rückstellfeder, welches letztlich bei angelegter Druckluft seinen Kolben tatsächlich bewegen würde. Dieser Ablauf zeigt modellhaft eine gesamte Produktionsanlage mit realen Industriekomponenten.



Abb. 1 MPS Station "Sortieren" [FEST02]

Der Grundkörper (Abb. 2 unten) wird im "Lernsystem Roboterschweißen" als Metallzylindergehäuse (Abb. 3) erstellt. Eine Einbindung des "Lernsystems Roboterschweißen" in eine Prozesskette mit anderen MPS-Stationen ist in Planung, dabei würde der Kunststoffzylinder durch das Metallzylindergehäuse ersetzt werden .



Abb. 2 MPS-Kunststoffzylinder [FEST02]

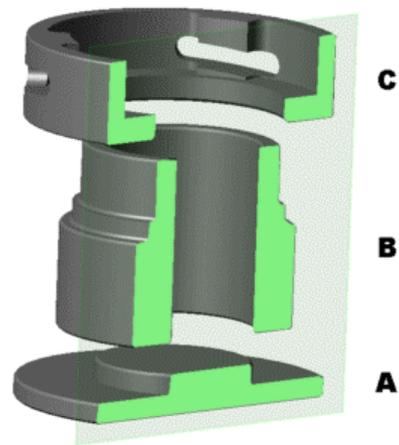


Abb. 3 Metallzylindergehäuse [AKON02]

Das FESTO "Lernsystem Roboterschweißen" ist auf einer Grundplatte (FESTO-Profilplatte) der Größe 700mm x 1100mm aufgebaut (Bauhöhe 2250mm, Gewicht etwa 200kg). Auf dieser recht kleinen Fläche sind im Wesentlichen ein Roboter und einige Handhabungssysteme angebracht. Das System stellt eine kompakte und komplett einsatzbereite Schweißroboterzelle dar, welche u.a. die in Abb. 3 abgebildeten Rohlingskomponenten (Basisplatte (A), Mittelgehäuse (B), Bajonettverschluss (C)) zu dem o.g. Metallzylindergehäuse zusammenfügt. Der Fügeprozess beinhaltet sowohl Punkt- als auch Bahnschweißen mit dem derzeitigen Metall-Inert-Gas-Verfahren (MAG). Andere Schweißverfahren und Schweißquellen sind in Zukunft geplant (siehe Kap. 8).

Das Punktschweißen wird zum "Heften" der Rohlingskomponenten verwendet, um sicherzustellen, dass bei dem darauf folgenden Bahnschweißvorgang kein Verrutschen der Komponenten gegen einander stattfinden kann. Kapitel 6 geht auf diese Thematik genauer ein.

3.2 Alleinstellungsmerkmale am Markt

Eine Internetrecherche hierzu ergab:

Eine derart kompakte Zelle wird andernorts derzeit im Internet nicht beschrieben.

Einziger interessanterer Fund unter dem Suchbegriff "Schweißzelle kompakt" ist das System "FlexArc Compact" der Firma ABB. In seiner Metallgehäuseausführung ist dieses Produkt deutlich massiver (1,5t Gewicht). Mit einer Stellfläche von 2,10m x 1,30m und ungefähren Bauhöhe von 2m ist das ABB Modell über drei Mal größer als die FESTO-Lösung. Die Zielgruppe scheinen mittelständige Unternehmen mit Kleinserienfertigung und nicht der Schulungsbereich zu sein. Eine E-Learning Umgebung sowie Schulungsunterlagen sind nicht ersichtlich. (Technische Daten laut [ABB 01])

3.3 Schnittstellen

In den folgenden Abschnitten wird des öfteren von "Schnittstellen" gesprochen. Aus technischer Sicht stellen Schnittstellen das Verbindungsglied zwischen zwei Komponenten dar. Eine Schnittstelle kann sowohl Hardware (z.B. Stecker am Computer) als auch Software (z.B. Hauptprogramm / Hilfsprogramm) verbinden. Kompatibilität ist hier oberstes Gebot: Sowohl im Hardware-Aufbau (mechanisch/elektrisch/pneumatisch) als auch in der Ver- und Entsorgung miteinander kommunizierender Software muss "Passgenauigkeit" gewährleistet sein. Diese kann hergestellt werden über detaillierte Pflichten- und Lastenhefte bei der Entwicklung oder aber es stehen bereits Normen zur Verfügung wie die: RS232-Schnittstelle, diverse IEC-Publicationen oder das ISO/OSI-Modell der Datenverarbeitung.

Jede Schnittstelle stellt allerdings auch eine potenzielle Fehlerquelle dar. Wird eine Schnittstelle so speziell eingesetzt, dass sie für nur genau eine individuelle Anwendung geeignet ist, so ist sie i.d.R. überflüssig und sollte beseitigt werden. Dieser Grundsatz wurde bei den Optimierungen der angetroffenen Roboter-Schweißzellen-Konfiguration und der Realisierung eigener Teillösungen beachtet.

3.4 Mechatronischer Aufbau



Abb. 4 Roboterschweißzelle [AKON01]

Der Aufbau der Schweißzelle (Abb. 4) besteht aus folgenden Komponenten, deren elektrische Anbindung in einem Schaltschrank untergebracht sind:

- 1) 6-Achsen Industrie Knickarm-Roboter
- 2) Greifersystem
- 3) Schweißstromquelle / Drahtvorschubgerät
- 4) Gasdüsenreinigung
- 5) Schweißstisch mit Fixierungen
- 6) Paletten
- 7) Drehgreifer
- 8) Verblitzungsschutzverglasung
- 9) Schweißrauchfilterabsauganlage (optional)
- 10) E-Learning Anbindung

Jeder dieser Komponenten ist im Folgenden ein eigenes Unterkapitel zugeordnet.

Im Anhang 13-3.4ff sind hierzu pneumatische wie elektrische Schaltkreise dokumentiert.

3.4.1 6-Achsen Industrie Knickarm-Roboter



Abb. 5 Kawasaki-Roboter FS03N [KAWA00]

Bei dem verwendeten Roboter handelt es sich um einen modifizierten Kawasaki FS03N Roboter (Abb. 5). Die Typenbezeichnung verschlüsselt bei Kawasaki direkt die maximale Handhabungskraft (hier 3 kg). Der "normale" Handlingroboter wurde mittels einer zusätzlichen Schweißkarte um die Funktionen des Schweißens erweitert.

Der Roboter übernimmt die Steuerung jeglicher Aktionen und kann auf alle Signale der Aktoren und Sensoren über seine Ein-/Ausgänge zugreifen.

Die elektrischen Signale werden dabei meist durch eine zentral angebrachte FESTO-Ventilinsel (Abb. 6) in pneumatische Signale umgewandelt.



Abb. 6 FESTO-Ventilinsel [FEST02]

Detaillierte Angaben zum Roboter finden sich in Kapitel 4, die zugehörigen technische Spezifikationen im entsprechenden Anhang 13-3.4.1.

3.4.2 Greifersystem

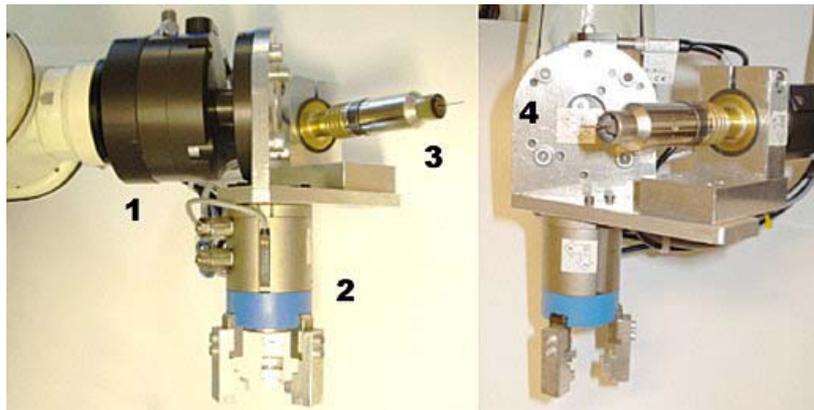


Abb. 7 AKON Greifersystem

Das Greifersystem (Abb. 7) ist an der äußeren Spitze (6. Achse) des Roboters angeflanscht und besteht konstruktiv aus einer Kollisionsabschaltdose (1), die zwischen Greifersystem und 6. Achse liegt, aus dem Greifer (2) selbst, dem Schweißbrenner (3) und einem Winkel (4), der beide gegeneinander rechtwinklig versetzt und den Brenner in einer 45°-Position zum Schweißgut hält.

Das Greifersystem nimmt damit sowohl die Handlingsaufgaben als auch die Schweißaufgaben wahr.

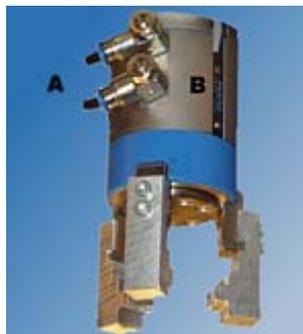


Abb. 8 FESTO-Greifer

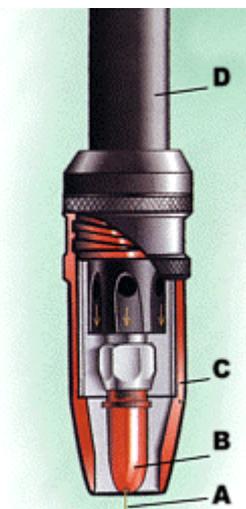


Abb. 9 Binzel-Schweißbrenner (Querschnitt) [DINS02]

Der Greifer (Abb. 8) ist ein Dreifinger-Pneumatikgreifer der Firma FESTO. Er wird über zwei Luftschläuche (A) mit der zentralen FESTO-Ventilinsel verbunden und kann so vom Roboter direkt angesteuert werden. Über zwei Magnetsensoren (B) (FESTO-Reed-Kontakte) werden die Zustände "Greifer AUF" bzw. "Greifer ZU" elektrisch an den Roboter zurückgegeben.

Der Schweißbrenner (3) (Abb. 7, Abb. 9) ist eine Sonderanfertigung (gekürzte Brennerausführung) der Firma Binzel. Ein Schweißbrenner besteht aus einem Stromkontaktrohr (B) (Abb. 9) aus dem der Schweißdraht (A) austritt. Das Stromkontaktrohr wird – vom übrigen

Teil des Schweißbrenners elektrisch isoliert – über ein Schlauchpaket (D) mit Strom versorgt. Beim Schweißen entsteht ein Lichtbogen zwischen Schweißgut und Schweißdraht. Die Gasdüse (C) sorgt dafür, dass während des Schweißvorganges Schutzgas den Lichtbogen ständig umströmt, so, dass das Schmelzbad gegen die Umgebungsluft abgeschirmt wird um Oxidation und Lufteinschlüsse zu vermeiden (Näheres siehe Kap. 5). Gas und Drahtmaterial werden dem System ebenfalls über das Schlauchpaket von Drahtvorschubgerät und Stromquelle zugeführt (siehe Abschnitt 3.4.3).

Der von der Firma AKON entworfene Winkel (4) (Abb. 7) ist konstruktiv so ausgeführt, dass Greifer- und Brenneraktionen nicht gleichzeitig ablaufen können. Hierzu müssen unterschiedliche Werkzeugkoordinatensysteme eingerichtet werden (näheres siehe Kap. 4.3.1). Der Greifer steht in 90°-Winkeln zur 6. Achse, das Drahtende des Schweißbrenners schneidet hingegen die 6. Achse und ist im Winkel von 45° am Halter angebracht, damit der Schweißvorgang stets in diesem festen Winkel erfolgt. Diese optimale Geometrie wurde ebenfalls im Rahmen dieser Diplomarbeit erstmalig hergestellt (Skizze s. Anhang 13-4.3.1b), damit die Schweißbewegung hauptsächlich auf die letzte Achse des Roboters beschränkt bleibt (Näheres hierzu s. Kap. 4.3.1.).

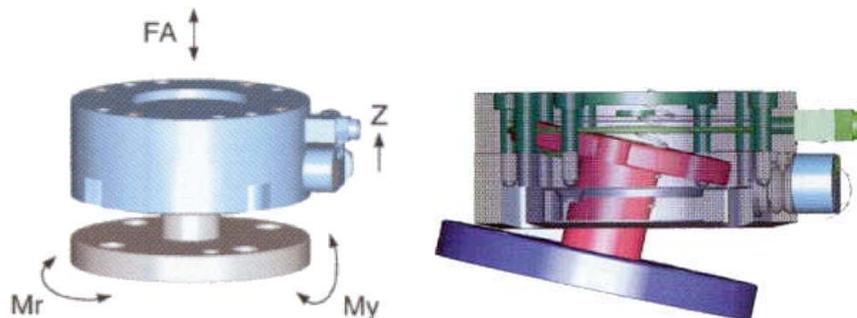


Abb. 10 Kollisionsabschaltdose (Prinzip / ausgelöste Dose) [SOMM02]

Die Kollisionsabschaltdose (Abb. 10) der Firma Sommer Automatic wurde ebenfalls während der Diplomarbeit eingebaut. Sie überwacht die auf das Greifersystem von außen einwirkenden Kräfte. Hierzu dient eine integrierte Mechanik, welche jeglichen Druckverlust im Fehlerfall über einen Metallstift und einen induktiven Näherungssensor signalisiert. Überschreiten die Kräfte die per justierbarer Druckluft zugelassene Maximalkraft, so trennt die Kollisionsabschaltdose in Sekundenbruchteilen das gesamte Greifersystem mechanisch vom Roboterflansch. Das Greifersystem hängt sodann lose am Roboter. Gleichzeitig wird der Roboter stillgesetzt und gibt die Fehlermeldung "Torch interfered" ("Schweißdüse kollidiert") aus. Die Kollisionsabschaltdose meldet bei ordnungsgemäß anstehendem Luftdruck ihr "Betriebsbereit" an den Roboter zurück.

3.4.3 Schweißstromquelle / Drahtvorschubgerät



Abb. 11 EWM Schweißgerät (Drahtvorschubgerät, Stromquelle)

Die Schweißstromquelle (Abb. 11 rechts) und das Drahtvorschubgerät (Abb. 11 links) sind Produkte der Firma EWM. Die Schweißstromquelle unterstützt drei Schweißverfahren: Metall-Inert-Gas (MIG; Schutzgas Argon/Helium), Metall-Aktiv-Gas (MAG; Schutzgas oft mit 18% CO₂ in Argon), und Wolfram-Inert-Gas (WIG; Schutzgas Argon/Helium), die durch Einstellen der Betriebsart wählbar sind. Die genannten Schweißverfahren werden im Kapitel 5 ausführlicher beschrieben.

Die Schweißstromquelle ist mit dem Drahtvorschubgerät elektrisch verbunden. Über eine serielle Schnittstelle findet ein Datenaustausch zwischen beiden Geräten statt.

Das Drahtvorschubgerät versorgt den Schweißbrenner über ein sog. Schlauchpaket aus der Schweißstromquelle mit Strom, aus einer Gasflasche mit Gas und von einer Drahttrommel mit Schweißdraht. Zusätzlich befindet sich in dem Schlauchpaket ein Schlauch, um den Brenner nach dem Reinigungsprozess ausblasen zu können. Das Schlauchpaket stellt auch in der Industrie eines der z.Zt. größten Probleme beim Verfahren des Roboters dar, da es zwar flexibel ist, sich aber dennoch nicht um den Roboterarm wickeln darf. Bei den Bewegungen des Roboters ist somit Vorsicht geboten, da sich – wie weiter unten eingehender beschrieben – die Bewegungsbahn des Roboters nicht unmittelbar voraussagen lässt.

Der Roboter gibt über die integrierte Schweißinterfacekarte Sollwerte (sog. Leitspannungen) für Stromstärke und Drahtgeschwindigkeit vor. Ebenfalls sendet er ein Signal zur Freigabe der Stromquelle, die ihrerseits eine entsprechende Rückmeldung $I > 0$ = "Lichtbogen steht" gibt (vgl. Kap. 4.4).

Ergänzende technische Details sind in Anhang 13-3.4.3ff zusammengefasst.

3.4.4 Gasdüsenreinigung



Abb. 12 Binzel Gasdüsenreinigung

Der Schweißbrenner (Abb. 9) ist mit einem Stromkontaktrohr ausgestattet, aus dem der etwa 1mm dicke Schweißdraht austritt. Die separate Gasdüsenreinigung (Abb. 12) der Firma Binzel muss regelmäßig zur Säuberung der Gasdüse (C) (Abb. 9) verwendet werden, da die Verschmutzung der Düse während des Schweißens laufend durch Schweißspritzer zunimmt. Sobald eine leitende Verbindung zwischen Gasdüse und Stromkontaktrohr (B) entsteht, darf nicht mehr geschweißt werden, da sonst ein Lichtbogen zwischen Gasdüse und dem zu schweißenden Bauteil entstehen könnte.

Das Reinigungsgerät verfügt sowohl über einen elektrischen Motor, welcher den "Reinigungsfräser" (Abb. 12 unten) in Bewegung setzt, wie auch über einen Hubzylinder, der den Fräser in die Gasdüse einfahren lässt. Beide werden über ein elektrisches Signal vom Roboter angesteuert.

Nach erfolgter Reinigung muss die Gasdüse ausgeblasen werden. Dies wird über ein weiteres Steuersignal ("Sprühen ein") initiiert.

Die technischen Daten der Gasdüsenreinigung finden sich in Anhang 13-3.4.4.

3.4.5 Schweißtisch mit Fixierungen

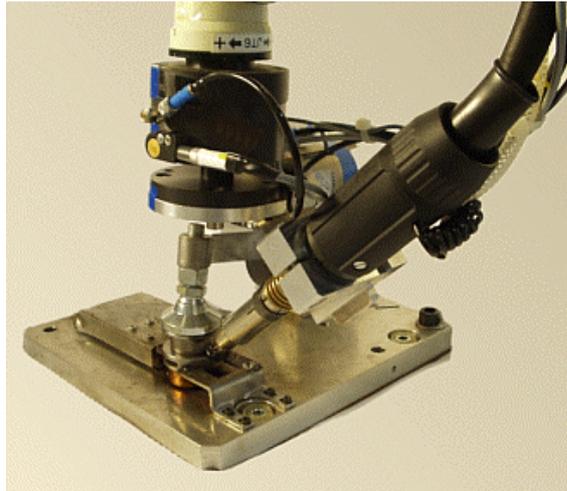


Abb. 13 Schweißtisch mit Fixierungen (Vorderansicht)

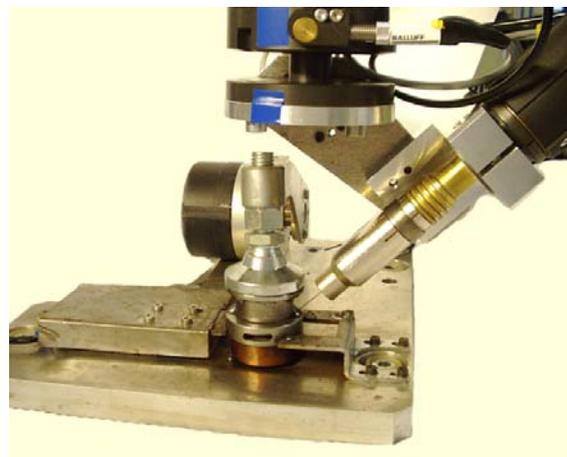


Abb. 14 Schweißtisch mit Fixierungen (Seitenansicht)

Auf der Grundplatte ist ein Aluminiumblock als Schweißtisch verschraubt (Abb. 13/14), wobei beide Teile elektrisch voneinander isoliert sind. Der Schweißtisch ist elektrisch direkt mit dem Nullpotential der Stromquelle verbunden. Es muss durch Isolierung der stromführenden Teile des Brenners sicher vermieden werden, dass Fehlerströme beim Schweißen indirekt über Aktoren und Sensoren oder direkt über Schrauben oder Stifte fließen können, da sonst eine sofortige Zerstörung der empfindlichen Steuerelektroniken zu erwarten wäre.

Der Schweißtisch ist mit einem zylindrischen Kupfersockel (Abb. 14 Mitte) ausgestattet, welcher als Aufnahme für den zu schweißenden Rohling und gleichzeitig als Mittelpunkt für die seitlich andrückende Zentriereinheit und die Fixiereinrichtung (Klemmwirkung von oben) dient. Die Fixiereinrichtung befand sich ursprünglich auf einem Sockel, der im Rahmen dieser Diplomarbeit beseitigt wurde, um mehr Freiraum bei Schweißbewegungen zu gewinnen und eine 360°-Bahnschweißnaht zu ermöglichen. Beide Einheiten werden getrennt über die Ventilinsel vom Roboter mittels Druckluft angesteuert und senden Zustandssignale "geöffnet" bzw. "geschlossen" zurück.

3.4.6 Paletten

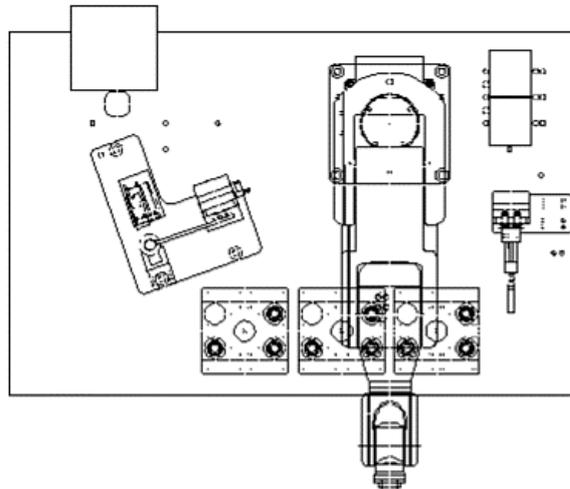


Abb. 15 Paletten (Draufsicht) [AKON01]

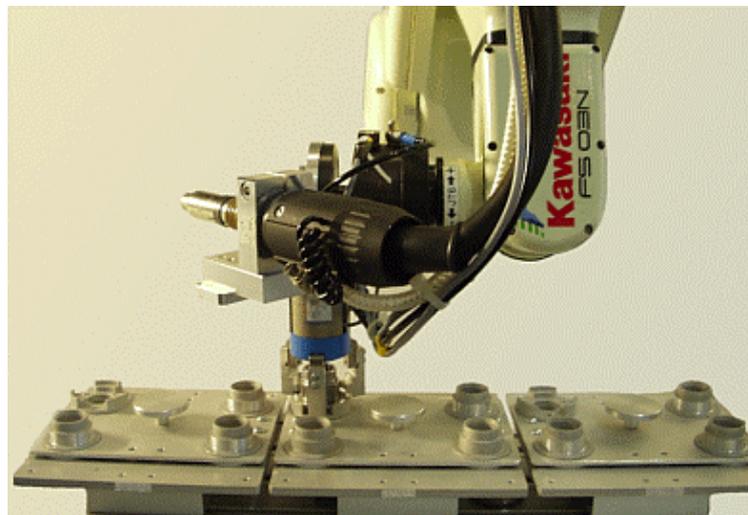


Abb. 16 Paletten (Seitenansicht)

Es stehen insgesamt drei gleiche Paletten auf drei Palettenträgern mit je vier Bauteilaufnahmen (Abb. 15/16) zur Aufnahme des Schweißgutes zur Verfügung. Die drei Rohlingskomponenten "Basisplatte" (A), "Mittelgehäuse" (B) und "Bajonettverschluss" (C) (Abb. 3) müssen den Paletten vorab manuell zugefügt werden. Dabei erwartet der Roboter jeweils die Rohlinge der "Basisplatten" und "Mittelgehäuse" bereits vormontiert auf der ersten (linken) und die der "Bajonettverschlüsse" auf der zweiten (rechten) Position einer jeden Palette.

Jeder Palettenträger wurde im Zuge der Diplomarbeit mit einem Sensor versehen, welcher meldet, ob eine Palette vorhanden ist oder nicht. Die Signale "palette1ok", "palette2ok" und "palette3ok" werden im Programmablauf abgefragt.

Die maximale Reichweite des Roboterarmes reicht aus, um Paletten auch von einem optional anbindbaren Fördersystem zu übernehmen. Dies ermöglicht die Einbindung des Lernsystems in eine Gesamtanlage.

Die Abmaße der Paletten und Positionen finden sich in Anhang 13-3.4.6.

3.4.7 Drehgreifer

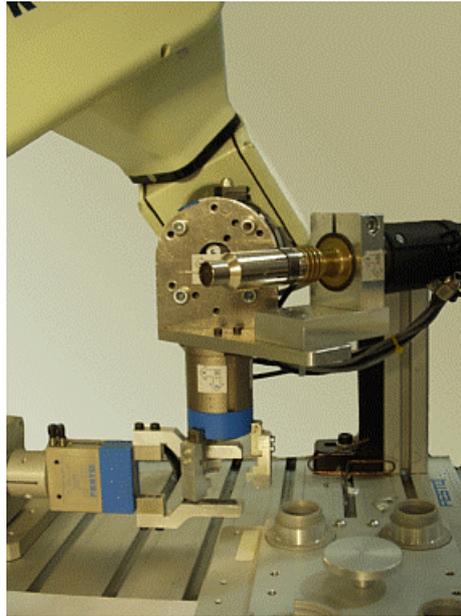


Abb. 17 Drehgreifer mit Greifer



Abb. 18 Drehgreifer

Der FESTO-Drehgreifer (Abb. 17/18) wird zum Wenden bzw. Zwischenlagern der Bauteile benutzt. Er ist mit seiner Basis fest mit der Grundplatte der Schweißzelle verbunden. Er verfügt über einzeln ansteuerbare pneumatische Aktoren für die Klemm- und Drehbewegung, welche ebenfalls an der Ventilinsel angeschlossen sind. Die vier induktiven Endlagensensoren "Drehzylinder ist links", "Drehzylinder ist rechts", "Greifer Drehzylinder ist auf" und "Greifer Drehzylinder ist zu" sind in dem Schaltschrank verdrahtet und wirken als Steuersignale auf die Robotersteuerung (Bauteilelagenbestimmung).

3.4.8 Verblitzungsschutzverglasung

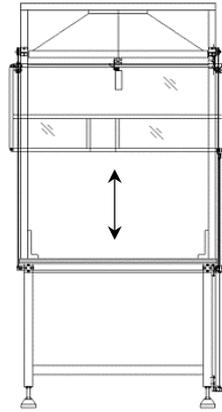


Abb. 19 AKON Verblitzungsschutzverglasung [AKON01]

Beim Einsatz des Schweißbrenners muss der Anwender generell vor direktem Einblick in den grellen Lichtbogen geschützt werden. Für diesen Zweck ist eine bewegliche Verblitzungsschutzverglasung (Abb. 19) in der Größe der Grundplatte um das Gestell der Anlage konstruiert. Über den Befehl "Haube abwärts" wird der Schlitten für die Verblitzungsschutzverglasung abgesenkt. Durch den Befehl "Haube aufwärts" wird via Ventilinsel der Zylinder der Haube wieder aktiviert. Beide Zustände werden über entsprechende elektrische Signale dem Roboter als Freigabe- bzw. Sperrsignal zum Schweißen rückgemeldet.

3.4.9 Schweißrauchfilterabsauganlage (optional)



Abb. 20 TEKA Schweißrauchfilterabsauganlage

Je nach Legierung entstehen beim Schweißen verschiedene schädliche Abgase, besonders jedoch bei thermischem Bearbeiten von Edelmetallen. Diese Abgase können mit einer separaten und optional erhältlichen Schweißrauchfilterabsauganlage (Abb. 20) der Firma TEKA gefiltert werden. Die Absaugung erfolgt über die Deckenfläche der Schweißzelle. Eine Ansteuerung über den Roboter ist nicht vorgesehen.

3.4.10 E-Learning Anbindung



Abb. 21 Bendit E-Learning Anbindung

Die Anbindung und Nutzung der Schweißzelle über das Internet (Abb. 21) – das sog. E-Learning System – erfolgte bisher per FESTO-EasyPort. Das FESTO-EasyPort ist ein "Steuerungsbaukasten für 24 Volt Prozesse", welcher per serieller Schnittstelle an einen PC angeschlossen werden kann und 24V Ein-/Ausgänge besitzt. Durch eine Schnittstellenoptimierung wurde im Rahmen der Diplomarbeit die Minimierung der Übertragungszeiten bei gleichzeitiger Einsparung von Bauteilen und Schnittstellen erreicht. Die Kommunikation zur "Außenwelt" wird nun direkt (ohne EasyPort) über die serielle Schnittstelle der Robotersteuerung bewerkstelligt (Näheres hierzu s. Kap. 7 und Anhang 13-7.3 ff).

3.5 Ist-Zustand und Ziel

3.5.1 Ist-Zustand

Wie sich zu Beginn der Diplomarbeit herausstellte, waren Hardware und Software der Roboterzelle speziell für den kurz zuvor stattgefundenen Einsatz auf der Hannover Messe Industrie (HMI) 2002 zusammengestellt worden. Der so vorgefundene Ist-Zustand entsprach nicht der für die Diplomarbeit von allen Beteiligten unterstellten Ausgangssituation. So waren die ersten geplanten praktischen Aktionen im Rahmen der Diplomarbeit rasch und flexibel umzudisponieren.

Der Ist-Zustand stellte sich wie folgt dar:

Mit dem Roboter wurden die drei Rohlingskomponenten von nur einer Palette gegriffen und anschließend über fünf einzelne Schweißpunkte miteinander verbunden. Dabei kamen die Fixierungen am Schweißstisch, der Drehgreifer, die Verblitzungsschutzverglasung und die Gasdüsenreinigung zum Einsatz. Das vor der Industriemesse verwendete Programm war zu diesem Zweck unstrukturiert und nur spärlich mit Kommentaren versehen worden (siehe dazu Anhang 13-3.5.1).

Eine Dokumentation zur Software lag nicht vor.

Die Bewegungsabläufe des Roboters waren nicht optimiert. Die Mechanik von Greiferhalter und Schweißstisch ließen Bewegungen für Bahnschweißnähte nicht zu. Mechanisch war der Greiferhalter nicht entsprechend den in Kapitel 4.3.1 erwähnten Forderungen gefertigt.

Eine Kollisionsabschaltdose war weder mechanisch angebracht noch elektrisch angeschlossen.

Die pneumatischen und elektrotechnischen Schaltpläne lagen größtenteils vor, Erweiterungen waren jedoch nicht nachgetragen.

Im Schaltschrank befanden sich teilweise Komponenten, die ausschließlich für den Messeaufbau benötigt worden waren und die Übersicht einschränkten.

Als Teil des E-Learning Systems war der Robotercontroller mit dem bereits erwähnten FESTO-EasyPort über einen angeschlossenen Rechner mit dem Internet verbunden. Der vorhandene Quellcode war in Unterprogramme unterteilt. Diese konnten via Internet angesprochen werden, indem ein Bitmuster über das Internet versendet, vom EasyPort in 24V Signale umgewandelt und letztendlich von einem Programm wieder entschlüsselt wurde, welches auf der Robotersteuerung lief. Auch diese Softwareänderung war nicht dokumentiert.

Dieser Ansatz der Strukturierung und Modularisierung mittels einzeln ansprechbarer Unterprogrammen konnte aus didaktischer Sicht nicht weiter verwandt werden, da die Unterteilung des Quellcodes zu grob war. (s. Anhang 13-3.5.1).

Eine CE gerechte technische Dokumentation nach Maschinenrichtlinien (98/37/EG) für Einzelkomponenten und die Gesamtanlage incl. Gefahrenanalyse, Wartungs- und Bedienungsanleitung, Ersatzteiledokumentation und Schaltplänen, wie in [KROB02] beschrieben, war nicht vorhanden.

"Ausführliche Ausbildungsunterlagen" laut [KROB02] fehlten ebenfalls.

Dieser auch den beteiligten Stellen bei K-Robotix und FESTO nur teilweise bekannte Ist-Zustand wirkte sich, deutlich hemmend auf den Beginn der geplanten Diplomarbeiten aus. Es ergab sich dadurch zunächst die ungeplante Notwendigkeit, einen funktionsfähigen Zustand der Roboterzelle herzustellen unter dem erschwerenden Tatbestand der fehlenden oder fehlerhaften Dokumentation (s.o.).

3.5.2 *Weg und Ziel*

Das Ziel bestand in der hard- und softwaremäßigen Entwicklung und Optimierung des "Lernsystems Roboterschweißen" incl. Schweißzelle, die in Kap. 3 (Abb. 3) beschriebenen Metallzylinder aus drei Grundelementen automatisch zusammenzufügen und anschließen zu einem Ganzen zu verschweißen.

Dies wurde mit zwei Schwerpunkten schließlich erreicht:

- Neugestaltung der Abläufe für die "pick and place" Funktionen (Palette – Einzelteile – Zusammenfügen Zylinder)
- Realisierung von Kreisbahn-Schweißungen

Technisch musste die Roboterschweißzelle dazu einwandfrei für Punkt- und Bahnschweißaufgaben (kreisinterpoliert) vorbereitet werden. Alle für gewöhnliche Schweißanwendungen verwendeten Komponenten (Gasdüsenreinigung etc.) mussten neben den Handlingsaufgaben funktionstüchtig in einen kompletten Bewegungsablauf eingebunden werden. Dabei war der programmierte Quellcode klar strukturiert und dokumentiert zu halten. Aus didaktischer Sicht mussten Teilaufgaben leicht verständlich und sinnvoll gegliedert werden. Es wurde zudem davon ausgegangen, dass der Anwender i.d.R. Neuling im Bereich der Robotik ist, und so wurde die funktionsfähige und einfach strukturierte Lösung einer eleganten aber weniger durchsichtigen vorgezogen, insbesondere unter Vermeidung der sonst anfallenden höheren Anzahl von Sonderbefehlen. Das Ergebnis ist in Anhang 13-3.5.2.ff in Form von Funktionsablaufplänen und Quellcode dokumentiert. Insbesondere die Funktionsablaufplänen (Anhang 13-3.5.2a) geben eine klare Übersicht der Abläufe wieder. Um diese Durchsichtigkeit zu erreichen wurde der Quellcode in ein Hauptprogramm (`main()`) und Subroutinen (Hilfsprogramme) zur Bewältigung der Schweiß- und Handlingsaufgaben unterteilt. Auf möglichst selbsterklärende Programm- und Variabelennamen wurde besonders Wert gelegt. Alle Handhabungs-Subroutinen wurden mit einem "s_" am Anfang

und dem Wort "pick" (deutsch: aufnehmen) bzw. "place" (deutsch: ablegen) am Ende des Namens gekennzeichnet. Das Hauptprogramm ruft diese Subroutinen nacheinander auf.

Ausschnitt:

```

.....
CALL s_pallet_pick(1) ; Bauteil "a+b" von Palette holen
CALL s_weld_place(1) ; Bauteil "a+b" auf Schweißstisch ablegen
CALL s_fix_on        ; Bauteil "a+b" Fixierungen ein
CALL s_spotweld(1)   ; Bauteil "a+b" Punktschweißen
CALL s_spotweld(2)
CALL s_spotweld(n)
.....
CALL s_weld_pick(2)  ; Bauteil "a+b" in Mitte greifen
CALL s_turn_place(1) ; Bauteil "a+b" in Drehgreifer legen
.....
CALL s_pallet_pick(2) ; Bauteil "c" von Palette holen
CALL s_weld_place(3)  ; Bauteil "c" auf Schweißstisch ablegen
.....

```

} Sequenz 1

} Sequenz 2

Ein sich wiederholendes "pick'n place" ist sofort erkennbar. Die Zahlen in Klammern spiegeln hier die verwendeten Greifpositionen am Bauteil bzw. Schweißpunkte (1 bis n) wieder. Der Quellcode wurde ausführlich dokumentiert. Die verwendeten Befehle wiederholen sich (Beschreibung der Befehle siehe Anhang 13-4.3.6.1).

Ein wesentlicher Teil der thematischen Realisierungsbemühungen dieser Arbeit konzentrierte sich darauf, dass die Roboterschweißzelle vom Internet aus in Form eines E-Learning Systems bedienbar werden würde. Die Anbindung an das Internet wurde, wie beschrieben (Kap. 3.4.10), technisch neu erstellt und dabei geschwindigkeitsoptimiert. Die direkte Verbindung des E-Learning Systems ohne die alten zusätzlichen Verschlüsselungsroutinen (ehemaliges Bitmuster siehe Anhang 13-3.5.1 Tab.6) wurde ebenfalls umgesetzt.

3.6 Zusammenfassung

Ausgehend von den Einzelkomponenten des "Lernsystems Roboterschweißen" und dessen funktionaler Beschreibung wurde zunächst der technische Aufbau des Gesamtsystems vorgestellt.

Vereinbarungsgemäß liegt der Schwerpunkt der vorliegenden Arbeit auf der technischen Realisierung und Verbesserung der Funktionalitäten zu Kreisbahnschweißen, "pick and place"-handling sowie Vorbereitung der Anbindung der Gesamtanlage an das Internet incl. MMI (Man-Machine-Interface). Die Aktivitäten und Ergebnisse hierzu wurden im vorliegenden Kapitel dargestellt und begründet.

Wie beschrieben wurde im Zusammenhang mit den Hauptthemen eine Vielzahl kleinerer und mittlerer Hard- und Softwareverbesserungen durchgeführt mit dem Ziel:

- Korrektur des Winkels des Greifersystems als Vorbedingung zum Bahnschweißen einer kreisinterpolierten Kehlnaht (vgl. Kap. 4.3.1, 13-4.3.1b),
- Verbesserung der Betriebssicherheit (Kollisionsabschaltdose),
- Neugestaltung der Bewegungsabläufe (u.a. variable Anzahl Paletten) incl. Funktionsablaufplänen und übersichtlichem Quellcode (vgl. Anhang. 13-3.5.2ff),
- Minimierung der Teachpunkte und damit Verkürzung der Einrichtzeit (vgl. Anhang 13-3.5.2b),
- Realisierung des Kreisbahnschweißens (vgl. Kap. 6ff),
- Revision und Ergänzung großer Teile der Kerndokumentation, und schließlich
- Erneuerung der Anbindung an das Internet mit Steigerung von Funktionsumfang bei gleichzeitiger Verringerung der Latenzzeiten (vgl. Kap. 7.3ff).

Im folgenden Kapitel (Kap. 4) wird auf den Kawasaki Roboter und dessen Robotersteuerung - das Kernstück des "Lehrsystems Roboterschweißen" - eingegangen.

Anschließend wird in Kapitel 6 die Realisierung der Bahnschweißnaht beschrieben.

4 Der Kawasaki-Roboter

Grundlegendes Verständnis zu Aufbau und Funktionsweise von Robotern wird vorausgesetzt. Im Anhang 13-4ff sind jedoch zu jedem der nachfolgenden Unterpunkte hinreichende Anmerkungen und technische Details aufgeführt.

Wie im Kapitel 3.4.1 bereits erwähnt, handelt es sich bei dem verwendeten Handlingsroboter um einen mit einem speziellen Greifersystem und einer speziellen Schweißkarte erweiterten Kawasaki FS03N.

4.1 Robotersteuerung (Controller)

Passend zum Kawasaki FS03N wurde eine Kawasaki-Robotersteuerung C40 verwendet. Die Robotersteuerung (engl. Controller) wurde im vorliegenden Fall hardwareseitig über eine Schweißschnittstellenkarte und softwareseitig über eine spezielle Softwareversion auf Schweißaufgaben vorbereitet. Die Robotersteuerung verarbeitet über eine Ein-/Ausgabe-Karte externe digitale Signale der Sensoren und Aktoren sowie über die Schweißschnittstellenkarte analoge Signale der Schweißanlage. Zum Anschluss eines PCs ist eine serielle Schnittstelle (RS232) bereitgestellt. Des Weiteren werden von der Robotersteuerung die programmierten Bewegungsabläufe und externen Signale abgearbeitet. (vgl. Anhang 13-4.1ff)

4.2 Multifunktionspanel (Teachbox)

Grundsätzlich stellt das Multifunktionspanel die Schnittstelle zwischen Roboter und Bediener dar. Kawasaki bietet ein benutzerfreundliches Panel an, welches auf einem druckempfindlichen Farbbildschirm (Touchscreen) verschiedene Menüs zur Auswahl von Bildschirmseiten bietet. Neben einigen Bildschirmseiten zur Überprüfung der Bewegungsabläufe, des Programmstatus und der Ein-/Ausgangssignale bietet das Panel ebenfalls die Möglichkeit der Manipulation an. Dabei können vorrangig bestimmte Koordinatenpunkte mit dem Roboter angefahren und gespeichert (man spricht vom "teachen" in indirekter Teach-In-Programmierung), Programme getestet, neu erstellt oder verändert werden.

Die sog. Online-Programmierung wird in den Kawasaki üblichen Sprachen angeboten, auf die im Abschnitt 4.3.6 näher eingegangen werden soll.

Einige Abbildungen des Panels sind in Anhang 13-4.2 zu finden.

4.3 Grundlagen zum Roboter

4.3.1 Einrichten von Werkzeugen (TCP)

Bei Robotern wird generell unterschieden in Basis- und Werkzeugkoordinatensystem (engl. tool-coordinate system). Bei Kawasaki können diese individuell definiert werden. Üblicherweise wird der Ursprung des Basiskoordinatensystems jedoch im Basissockel des Roboters belassen und nur der Ursprung des Werkzeugkoordinatensystems (engl. Tool Center Point, kurz TCP) individuell eingerichtet. Die Robotersteuerung verfügt über Routinen diese TCPs zu hinterlegen.

Im Spezialfall des vorliegenden Schweißroboters haben wir zwei Werkzeuge. Das eine als Greifer (engl. Gripper) (Kap. 3.4.2, Abb. 7-2), das andere als Schweißbrenner (engl. Weld torch) (Kap. 3.4.2, Abb. 7-3) bezeichnet. Da der Roboter die verschiedenen Werkzeuge nicht vorkonfiguriert in einer Bibliothek aufgenommen hat, muss jedes Werkzeug eingemessen werden. Beim Einmessen werden die Dimensionen, die Ausrichtung des Werkzeuges sowie dessen genauer TCP beschrieben. Als Referenz verwendet man das Werkzeugkoordinatensystem "NULL", welches sich direkt am Flansch des Roboters befindet und dessen X-, Y- und Z-Verschiebungen und alle Drehwinkel auf 0 gesetzt sind. Beim Einrichten werden die Verschiebungswerte der X-, Y- und Z-Richtungen und die jeweiligen Drehungen um die drei Achsen angegeben.

Vor dem Einrichten der TCPs ist es elementar wichtig die Randbedingungen von Greifer und Schweißbrenner zu beachten. So setzt Kawasaki zum Beispiel voraus, dass sich der Schweißdraht, welcher aus dem Schweißbrenner austritt, mit der Z-Achse des TCP-NULL schneidet (AUX 50). Diese Einschränkung von Herstellerseite wurden von Herrn J. Schöchlin (Schweißtechnik Morgentaler, Nimburg) und Herrn Schweer (Firma Kawasaki Robotics GmbH, Neuss) bestätigt. Die Schweißbrennerhersteller (z.B. Binzel, Dinse) stellen laut Kawasaki entsprechende Schweißbrenner und Brennerhalter her. Im vorliegenden Fall lag jedoch eine Verdrehung um die Z-Achse von 30° und eine Verschiebung auf der X- und Y-Achse vor. Somit musste der AKON-Brennerhalter während der Diplomarbeit entsprechend umkonstruiert werden (vgl. Kap 3.4.2, Skizze Anhang 13-4.3.1b).

Es konnte nicht geklärt werden, wieso Kawasaki in der entsprechenden Hilfsfunktion (AUX 50 "arc weld torch dimensions") Angaben für beliebige Verschiebungen und Verdrehungen nicht von vorne herein zulässt, da es mathematisch kein Problem darstellt und sie in der Robotersoftware bereits an anderer Stelle genutzt wird. Eine Umgehung dieses Problems ist mit dem Befehl `TOOL` in der Kawasaki-Sprache realisierbar.

Selbst nach tagelanger Einrichtarbeit der TCPs musste festgestellt werden, dass Drehungen um die jeweiligen TCPs zu Verschiebungen auf den Achsen führten, also nicht exakt um

einen Punkte gedreht wurde. Vermutlich waren die vorhandenen Abmaße nicht 100% einwandfrei. Verschiebungen im TCP sind als befriedigend anzusehen.

Durch den o.g. speziellen Halter des Roboters verändert sich der Bewegungsraum. Es muss bei Bewegungen stets sichergestellt werden, dass der Roboter weder beim Greifen den Schweißbrenner noch beim Schweißen den Greifer durch Kollision mit Schweißzellenkomponenten oder Rohlingen beschädigt.

Im Anhang 13-4.3.1b werden Werte angegeben, welche für die TCPs bei dem vorliegenden "Lernsystem Roboterschweißen" verwendet werden müssen.

Bedingt durch die Schweißinterfacekarte wurde dem Multifunktionspanel eine besondere Software aufgespielt, welche zusätzlich einige Funktionen unterdrückt (AUX 28,29,31,48, 49, 131, etc), die bei einem Handlingsroboter üblicherweise zur Verfügung stehen und das Einrichten der TCPs erheblich vereinfachen würden (z.B. AUX 48 "tool dimensions").

4.3.2 Freiheitsgrade / Achsen

Im vorliegenden Fall wird ein sogenannter 6-Achsen-Roboter verwendet, welcher genügend Freiheitsgrade besitzt, um einer Schweißaufgabe wie dem Bahnschweißen gerecht zu werden. Der Arbeitsraum ist in Anhang 13-4.3.2b abgebildet. Die 6 Achsen des Roboters werden mit JT1 bis JT6 bezeichnet, wobei JT6 die Achse direkt am Greifer ist. Ein Scara-Roboter und selbst ein 5-Achsen-Roboter wären hier unbrauchbar, da eine Anzahl von weniger als 6 Freiheitsgraden der Notwendigkeit nicht gerecht würde, der Schweißbrenner stets im Winkel von 45° zur Schweißkante stehen zu lassen.

Bei Schweißaufgaben bildet in der Regel die Winkelhalbierende zwischen den Werkstückkanten, die zudem noch senkrecht auf beiden Kanten stehen muss, den optimalen Anstellwinkel ; am Metallzylinder ist dieser 45° groß.

Beachtet werden muss dabei, dass ein Roboter bei "gestreckten Armengelenken" Bewegungsfreiheitsgrade verliert. Solche Punkte werden auch Singularitäten genannt.

Da die vorliegende Schweißzelle sehr kompakt gebaut ist, wurde der abmaßkleinste Roboter der Kawasaki-Gruppe ausgewählt. Dies bringt mit sich, dass der Roboter schnell in solch gestreckte Positionen gelangen kann. Dies gilt es durch geschickt programmierte Bewegungen zu unterbinden.

4.3.3 Bewegungsverfahren

Der Kawasaki-Roboter beherrscht die drei üblichen Roboter-Bewegungsverfahren: das kartesische, gelenkoptimierte (PTP) und kreisinterpolierende Verfahren. Die Unterscheidung der Verfahren ist elementar wichtig, da durch falsche Wahl trotz identischer Anfahrpunkte leicht Unfälle entstehen können, da sich, wie im Folgenden beschrieben, die Orientierung des TCP-Koordinatensystems unterschiedlich verhält.

4.3.3.1 Das Kartesische Verfahren

Dieses Verfahren wird auch als "Lineare Bewegungsart" bzw. "Lineare Interpolation" bezeichnet. "Bei einer Linearbewegung des TCP auf einer Geraden wird die kartesische Lage zwischen Anfangslage und Endlage während der Bewegung interpoliert und im kartesischen Takt durch die Rücktransformation in Gelenkwinkel umgerechnet" [IRF 00]. Dies ist rechenintensiver als das folgende PTP-Verfahren. Die Orientierung des TCP-Koordinatensystems geht dabei kontinuierlich von der des Anfangspunktes zu der des Endpunktes über. Bei dem häufig verwendeten "pick and place" (Greifen und Ablegen eines Bauteiles) bleibt der Greifer also stets senkrecht zur Grundplatte (vgl. Anhang 13-4.3.3.1).

4.3.3.2 Das PTP Verfahren

PTP steht für Point To Point (Punkt zu Punkt). Im Wesentlichen wird dieses Verfahren verwendet, um schnelle Bewegungen durchzuführen. Die Gelenke werden dabei mit unabhängiger Geschwindigkeit gefahren, was nichtlineare Bewegungen verursacht. Bei diesem Verfahren muss besonders auf Kollisionsfreiheit achtgegeben werden, da die Bahnkurven der einzelnen Gelenke und des TCP-Koordinatensystems dem Benutzer nicht unmittelbar ersichtlich sind (vgl. Anhang 13-4.3.3.2).

4.3.3.3 Das kreisinterpolierende Verfahren

Der Kawasaki-Roboter stellt bestimmte Befehle zur Verfügung, anhand derer eine Kreisbahn gefahren werden kann. Der Roboter benötigt für die Interpolation der Kreisbahn mindestens drei Verfahrpunkte. Die Angabe von Kreismittelpunkt und Radius würden ebenfalls ausreichen, um einen Kreis eindeutig zu definieren, Kawasaki stellt hierfür jedoch keine Befehle zu Verfügung. Weitergehende Informationen zum Thema Kreisinterpolation enthalten Kap. 6.4/6.5. Wie auch bei dem kartesischen Verfahren werden die Punkte der Bahn während der Bewegung (online) berechnet, so dass eine Rücktransformation in Gelenkwinkel auch bei diesem Verfahren erforderlich ist. Die Orientierung des TCP-Koordinatensystems geht hier ebenfalls kontinuierlich von der des Anfangspunktes zu der des Endpunktes über.

4.3.4 Punktvariablen

Unterschieden wird bei Kawasaki zwischen sog. Präzisions- und Transformationspunkten. Beide können mit den o.g. Bewegungsverfahren angefahren werden.

Bei Präzisionspunkten werden die genauen Werte der Gelenkwinkel abgespeichert, was zu einer eindeutigen Konfiguration (Stellungen der Roboterarme) führt und für Zwischenpunkte häufig Anwendung findet.

Im Gegensatz dazu werden bei Transformationspunkten die Koordinaten des TCP-Null abgespeichert. Somit ist zwar die genaue Lage des TCPs sichergestellt, es tritt jedoch das Problem der "Inversen Kinematik" auf, bei der ein Raumpunkt unter Umständen von zwei

verschiedenen Seiten (Konfigurationen) genau angefahren werden kann und somit die Konfiguration nicht eindeutig ist (Abb. 22) :



Abb. 22 Konfigurationsproblematik

Besonders im Zusammenhang mit dem vorhandenen Schlauchpaket des Schweißbrenners muss darauf geachtet werden, dass der Roboter die erwartete Konfiguration anfährt, da sich sonst z.B. das Schlauchpaket um den Roboter wickeln würde. Diese unerlaubten Bewegungen können in der Robotersteuerung nicht unterbunden werden.

Transformationspunkte sind in der Regel Präzisionspunkten vorzuziehen, da man nur mit ihnen Relativpunkte im kartesischen Koordinatensystem berechnen kann. Dies ist wichtig, wenn z.B. verschiedene Greifer verwendet werden sollen, um einen Punkt anzufahren. Hierbei addiert der Roboter den jeweiligen Abstand vom TCP-Null zum TCP des jeweiligen Werkzeugs. Beim Palettieren wird diese Eigenschaft genutzt (vgl. Anhang 13-3.5.2b Subroutine `s_pallet_pick`), um alle Anfahrpunkte als relative Verschiebungen zu nur einem geteachten Punkt zu berechnen. Dies erspart Teachpunkte und erzeugt automatisch ein wesentlich übersichtlicheres Roboterprogramm. Die hierbei benötigten Genauigkeiten werden im folgenden Kapitel besprochen.

4.3.5 Geschwindigkeiten / Genauigkeiten

Die Geschwindigkeiten des Roboters sind für Aufgaben des Handlings, Punkt- und Bahnschweißens ausreichend.

Lediglich beim Bahnschweißen von kreisinterpolierten Bewegungen besteht die Gefahr, dass die Geschwindigkeit einer Bewegung im kartesischen Verfahren nicht ausreicht, um eine dünne und saubere Schweißnaht herzustellen. Herr J. Schöchlin (Schweißtechnik Morgentaler, Nimburg) gibt dazu den Hinweis, dass "die Bewegung des Schweißdrahtes dabei zum überwiegenden Teil auf die letzte Achse (JT6) beschränkt werden muss." Durch geschickte Programmierung kann somit nahezu die Maximalgeschwindigkeit der letzten Achse (360°/s) als maximale Schweißgeschwindigkeit angenommen werden (Näheres dazu in Kapitel 6).

Bei der Frage nach der Genauigkeit steht die Ausrichtung der mechanischen Komponenten im Vordergrund. Diese muss mit großer Sorgfalt durchgeführt werden. Aus Anhang 13-4.3.5c ist ersichtlich, dass schon eine Ungenauigkeit von 1/10mm in der Parallelität des Roboters zur Grundplatte einen Versatz von etwa 1mm bei Relativbewegungen der Greifanwendung an den Rohlingspaletten verursachen würde.

Auffällig war der Einfluss der mechanischen Ausrichtung der Paletten selbst. Hier addieren sich schnell Fehler, da nicht alle Bauteile mit der Grundplatte verstiftet sind und somit ein gewisses Spiel aufweisen.

Die Wiederholgenauigkeit ($\pm 0,05\text{mm}$) des Roboters, d.h. wiederholtes Anfahren eines geteachten Punktes, sowie dessen absolute Positioniergenauigkeit, (d.h. $\pm 0,05\text{mm}$ nach Aussage K-Robotix, Bremen,) z.B. beim Anfahren eines berechneten Punktes, haben somit kaum Einfluss (siehe Anhang 13-4.3.5a / 13-4.3.5b).

Zur Bahngenauigkeit, welche die Toleranzen bei einer Bewegung in den zuvor genannten Bewegungsverfahren beschreibt, gibt Kawasaki keine Auskunft.

4.3.6 Programmiersprachen

Neben dem im Kapitel 4.2 angesprochenen Online-Verfahren zur Roboterprogramm-erstellung gibt es ebenfalls das häufiger genutzte Offline-Verfahren. Hierbei können auf einem handelsüblichen PC Programme textbasiert programmiert oder in einer Robotersimulationssoftware erstellt werden. Anschließend können die Programme auf den Roboter mittels serieller Schnittstelle übertragen werden. Hierzu dient u.a. die Software KC-Win von Kawasaki.

Als Simulationssoftware kann die Software COSIMIR (FESTO) verwendet werden (Kap. 9.2). Vorteilhaft ist bei dieser industriellen Simulations-Anwendung, dass der Roboter seine aktuellen Aufgaben bis zur Überspielung der neuen Daten ununterbrochen verfolgen kann, und somit teure Rüstzeiten für Neuprogrammierungen entfallen. Tests sind auf ein Minimum reduzierbar (Überprüfen der Teachpunkte).

Kawasaki bietet zwei Programmiersprachen an: Die AS- und Blocksprache.

4.3.6.1 AS

Die als "AS" Sprache ("Advanced Superior") bekannte Programmiersprache ist eine einfach zu erlernende, "Basic" und "V+" (weit verbreitete Roboterprogrammiersprache) ähnliche textbasierte Sprache, welche alle nötigen Sprachelemente von Bewegungsbefehlen und Befehlen zur Ein-/Ausgangssteuerung über Schleifenstrukturen und Verzweigungsbefehle bis hin zur Verwaltung von gleichzeitig ausführbaren Programmen (Multitasking) beherrscht. Verfahrenspunkte werden als Variable in einer Punktetabelle abgespeichert und können mit dem Multifunktionspanel genau eingerichtet ("nachgeteached") werden. Die Punktetabelle ist von jedem Programm ansprechbar (globale Variablen). Damit jedoch keine Punkte aus anderen

Programmen heraus überschrieben werden, müssen eindeutige Punktenamen gewählt werden.

Ein Überblick über die funktionsstärksten Befehle findet sich im Anhang 13-4.3.6.1.

4.3.6.2 Blocksprache

Die zweite Programmiersprache wird als "Blocksprache" bezeichnet und bringt im Wesentlichen nur bei der Bedienung über das Multifunktionspanel Vorteile. Dort unterstützen bestimmte Bildschirme die anwendungsbezogene Aufgabenlösung. So können zum Beispiel einfache Bahnschweißaufgaben durch vier geteachte Punkte erledigt werden, da bereits automatisch Punkte als Anfangs-, Übergangs oder Endpunkte festgelegt und somit die jeweiligen Geschwindigkeitsprofile berücksichtigt werden. Start-/ Stoppsignale für die Schweißstromquelle sind impliziert.

Programme in Blocksprache können ebenfalls offline per PC bearbeitet werden. Punktedaten stehen hier jedoch direkt in der Befehlszeile und Parameter für beispielweise Schweißstrom und Schweißdauer werden der - wiederum nur über das Multifunktionspanel pflegbaren - Schweißdatenbank entnommen. Die Verwendung von Variablen ist nicht gestattet.

Befehle der Blocksprache können in AS eingebunden werden. Daraus ergibt sich die größere Mächtigkeit von AS und übersichtlichere Bedienung durch die Blocksprache (vgl. Anhang 13-4.3.6.2).

4.4 Anbindung an das Schweißgerät

Die Schweißinterfacekarte der Robotersteuerung verfügt sowohl über analoge als auch digitale Ein-/Ausgänge, welche zur Kommunikation zwischen Roboter und Schweißgerät genutzt werden. Die Sollwerte für Stromstärke und Drahtgeschwindigkeit werden als analoge Signale (sog. Leitspannungen) an die Stromquelle und das Drahtvorschubgerät übermittelt. Die Leitspannungen können in einem Konfigurationsmenü kalibriert werden, damit sie proportional den zugeordneten Werten der Stromquelle sind (1V→10A, 2V→20A, etc.). Die maximale Signalspannung wird dort ebenfalls hinterlegt.

Komfortabel können Schweißparameter (eng. weld conditions) (AUX 28, Bild siehe Anhang 13-4.4a) in einer Datenbank abgespeichert und im Programmablauf aufgerufen werden. Die Werte der Stromstärke werden hierbei direkt in Ampere (z.B. 90A) angegeben und von der Robotersteuerung in entsprechende Spannungen umgerechnet. Die Werte der Drahtgeschwindigkeit können nur in Volt (z.B. 3V→100mm/s) eingegeben werden. Eine Drahtgeschwindigkeit von 20m/min entspricht einem Wert von 10 V ($=V_{\max}$) fix.

Zur einfachen Umrechnung findet sich eine Umrechnungstabelle im Anhang 13-4.4b.

Zur Freigabe der Stromquelle wird ein digitales Startsignal von der Robotersteuerung gesendet, sobald diese einen entsprechenden Schweißbefehl verarbeitet. Das Drahtvor-

schubgerät erhält seinerseits von der Stromquelle über deren interne Verkabelung ein entsprechendes Startsignal. Die Drahtgeschwindigkeit wird vom Drahtvorschubgerät selbständig konstant gehalten.

Das erfolgreiche Zünden des Lichtbogens zwischen Schweißdüse und Schweißgut wird von der Stromquelle über ein digitales Signal der Robotersteuerung rückgemeldet ($I > 0 \Rightarrow$ "Lichtbogen steht"). Wird dieses Signal in einer einstellbaren Anzahl von Versuchen (etwa 3) nicht empfangen, so bricht der Schweißvorgang mit einer entsprechenden Fehlermeldung ab.

Minimalwerte für Schweißstrom und Drahtvorschubgeschwindigkeit sind am Schweißgerät voreingestellt und können von der Robotersteuerung nicht überschrieben werden, was zu einer Sicherheitserhöhung führt, da z.B. nicht mit 2 Ampere geschweißt werden kann. Ein schlechter aber noch funktionsfähiger Schweißprozess würde gestartet werden, wenn (versehentlich) unsinnige Werte vom Anwender über die Robotersteuerung vorgegeben werden. Die Maximalwerte werden durch die maximale Leitspannung (10V) und die maximale Leistung des Schweißgerätes beeinflusst.

Im derzeitigen Zustand der Gesamtanlage wird durch die Betätigung des NOTAUS Schalter nur die Roboterbewegung beendet, doch nicht das Schweißgerät ausgeschaltet. Dieser Missstand muss unter allen Umständen bald möglichst behoben werden.

Besondere Schweißbefehle siehe Anhang 13-4.3.6.1.

Elektrischer Schaltplan siehe Anhang 13-3.4.

4.5 Zusammenfassung

Grundlegendes Verständnis der Robotersteuerung, der Teachbox, der Koordinatensysteme eines Roboters und deren Transformation und Rücktransformation, des Kalibrierens, der Anfahrpunkte, von Geschwindigkeit, Genauigkeit und Reproduzierbarkeit von Schweißvorgängen sind für ein Verstehen und schließlich gezieltes Anwenden eines Schweißroboters genau so unabdingbar wie das grundsätzliche Verstehen der bereitgestellten Programmiersprachen und ihrer Besonderheiten. Hierauf stellten die Ausführungen in Kap. 4 ausführlich, wenn auch nicht erschöpfend, ab.

Die hier behandelten Aspekte sind nach Auffassung des Verfassers auch unverzichtbare Bestandteile des Lehrinhaltes und didaktisch daher entsprechend zu verankern.

Es wurde untersucht und gezeigt, dass der Kawasaki-Roboter bereits in seiner vorliegenden Ausstattung (incl. Peripheriegeräte) hard- und softwaremäßig alle Voraussetzungen für ein Punkt- und Bahnschweißen besitzt. Die vor Beginn der Diplomarbeit noch nicht befriedigend oder elegant gelösten Teilaspekte wie das Kreisbahn-Schweißen und Vermeiden von Kollisionen in bestimmten Situationen/ Konfigurationen wurden in diesem Kapitel verdeutlicht und die erfolgreichen Problemlösungen dargestellt.

Wesentliche Punkte dieses Kapitels waren:

- Einrichtung des TCP für Greifer und Schweißbrenner,
- Optimierung des Greiferhalters (vgl. Kap. 3.4.2), sowie
- Anbindung und Einrichtung des Schweißgerätes an den Robotercontroller.

Wegen ihrer grundsätzlichen Bedeutung für die Gesamtaufgabenstellung werden die im Rahmen der Diplomarbeit durchgeführten Realisierungen von Bewegungsabläufen und des eigentlichen Kreisbahnschweißens in Kap. 6 behandelt. Versuche mit Rohlingen werden zeigen, dass und in welcher Güte die Realisierung der neuen Bewegungsabläufe gelungen ist. Sie sollen gleichzeitig aber auch Ansätze für die didaktische Aufbereitung des Schweißens selbst incl. bestimmter Aufgabenstellungen für die Lernenden bieten. Die eigentliche didaktische Aufbereitung und Durchdringung der Themenkomplexe ist jedoch nicht Gegenstand dieser Arbeit.

Vorab wird im folgenden Kapitel (Kap. 5) das Fundament für das Thema Bahnschweißnähte gelegt. Es werden die Zusammenhänge der Schweißparameter sowie deren Auswirkung auf den Schweißprozess erläutert.

5 Grundlagen des Schweißens

5.1 Einführung

Das Schweißen ist eine grundlegende Art und Weise (schweißbare) Werkstoffe miteinander zu verbinden.

Im Folgenden wird das Schweißen unter Schutzgas näher betrachtet. Der zwischen dem kontinuierlich zugeführten Schweißdraht und dem Schweißgut unter Schutzgas brennende Lichtbogen ist die Wärmequelle beim Metall-Schutzgasschweißen (MSG) (Abb. 23).

Als Schutzgas werden beim MIG-Schweißen Edelgase (Argon, Helium oder Gemische aus beiden) verwendet.

"Setzt man aus metallurgischen oder technologischen Gründen chemisch aktive Gase oder Gasgemische aus Edelgasen und aktiven Gasen [$\text{CO}_2/\text{O}_2/\dots$] ein, so spricht man vom MAG-Schweißen." [SLV 01] Die Schutzgase sind in DIN EN 439 in Gruppen eingeteilt. Ein häufig verwendetes Gemisch ist "18% CO_2 in Argon", Gruppe M2-1.

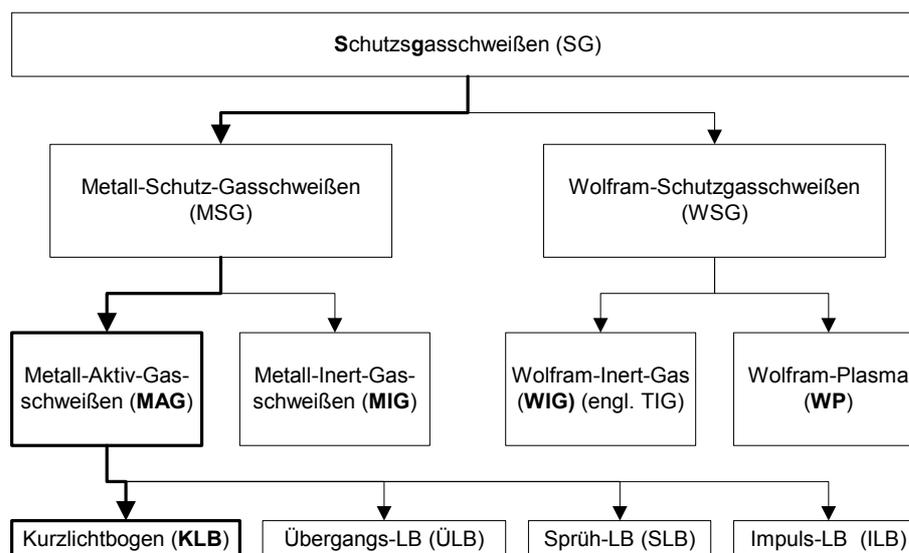


Abb. 23 SG/MAG Stammbaum [LIND89]

Im Folgenden wird speziell auf das MAG-Verfahren (für unlegierte Stähle) mit Kurzlichtbogen eingegangen, das sich insbesondere auszeichnet durch geringe Wärmeeinbringung, Feintropfigkeit und wenig Schweißspritzer.

5.2 Schweißverfahren

5.2.1 Punktschweißen

Das Punktschweißen wird oft auch als "Heften" bezeichnet. Dieser Schweißvorgang ermöglicht das schnelle und sichere Fixieren verschiedener Bauteile miteinander, damit die

große Wärmeeinbringung durch das nachstehend beschriebene Bahnschweißen kein übermäßiges mechanisches Verziehen des Werkstoffs hervorrufen kann.

In [IRF 00] heißt es zum Punktschweißen: "Bei der Nutzung von Industrierobotern steht das Punktschweißen weiterhin an erster Stelle. Durch relativ einfache Realisierungsmöglichkeiten und hohe Wirtschaftlichkeit gelang es vor allem in der Automobilbranche, die unergonomische und für den Menschen belastende Tätigkeit des Punktschweißens mit Hilfe von Robotern zu automatisieren".

Derartige Arbeiten erledigt der Kawasaki-Roboter mit 2 einfachen Befehlen:

Programmausschnitt:

```

. . . .
w2set 15= 0.5, 70, 4.7 ; Schweißpunkt Datenbank Nr.15:
                                ; 0.5sec, 70A, 4.7V=9.5m/min (20m/min=10V)
LAS   pos1, 15 ; Schweißpunkt setzen mit Parameter Nr.15
. . . .

```

5.2.2 Bahnschweißen

"Durch verbesserte Möglichkeiten der Bahngenerierung mit Hilfe von CAD-Daten und optimierte Bahnverfolgung mittels Sensoren, findet das Bahnschweißen mit Robotern mittlerweile eine weite Verbreitung. Zur Schweißnahtverfolgung werden taktile, optische und elektrische Sensoren eingesetzt. Mit Sensoren ausgestattete Roboter können Abweichungen in Position und Dicke der Schweißnaht kompensieren und so das Ergebnis der Bearbeitung optimieren. Die Sensorik muss allerdings an die Randbedingungen des Schweißprozesses angepasst sein und unempfindlich gegen Rauch, Funkenflug, Streulicht und Temperaturschwankungen sein. [...]

Weitere Bedingung beim Bahnschweißen ist die kontinuierliche Versorgung mit verschiedenen Betriebsstoffen.

Beim Lichtbogenschweißen [(z.B. MAG)] muss zur Aufrechterhaltung des Lichtbogens der Schweißdraht mit konstanter Geschwindigkeit nachgeführt werden. Des Weiteren wird der Schweißpistole kontinuierlich Schutzgas und evtl. Kühlmittel zugeführt. [...]

Beim Bahnschweißen kommt es weniger auf die Geschwindigkeit an, als darauf, dass die Schweißpistole sehr genau geführt werden muss. Zeitgewinn ergibt sich hier vor allem bei der Werkstückzufuhr." [IRF 00]

Ein spezieller Fall des Bahnschweißens ist das kreisinterpolierte Bahnschweißen, welches in Kap. 6.3ff an Hand eines Versuches Schritt für Schritt erläutert wird.

5.3 Schweiß-Parameter

Um eine "schöne" Schweißnaht zu erzeugen sind die Schweißparameter sorgfältig auszuwählen und einzustellen. Unter "schöner" Schweißnaht soll verstanden werden, sie sei

- glatt,
- glänzend, farblich nicht anlaufend,
- symmetrisch ("a"-Maß),
- mit weichen Übergängen zu den Seiten (Einfluss auf Kerbwirkung) und
- je nach Anforderungen spritzerfrei oder zumindest spritzerarm.

Der Praktiker spricht oft davon, dass es eine "Sache des Gefühls und der Erfahrung" sei die richtigen Parameter zu finden. Nach genauer Beobachtung von Schweißern wurde festgestellt, dass sich in etwa folgende Entscheidungen und resultierende Handlungsabläufe vor jedem Schweißversuch ergeben (vgl. Abb. 24):

- Schweißgerät und Roboter begrenzen die freie Wahl der Parameter (max. Schweißstrom / Schweißspannung / Schweißgeschwindigkeit / etc.).
- Das vorhandene Material bestimmt das zu verwendende Schweißverfahren (1) (u.a. MIG für VA, ALU und MAG für niedrig legierte Stähle, nicht für ALU geeignet).
- Das jew. Schweißverfahren grenzt die Auswahl der verwendbaren Schutzgase ein.
- Aus Schutzgas (und Lichtbogenart) ergibt sich die Schutzgasmenge.
- Die vorhandene Materialstärke benötigt eine bestimmte Wärmeeinbringung (2).
- Aus Nahtgeometrie und Schweißposition (z.B. Überkopfschweißen) ist der Drahtdurchmesser zu wählen (3) (für 0,8mm Draht max. 180 A, 1mm bis 280A, 1,6 mehr als 280 A).
- Der Kontaktrahabstand hat direkten Einfluss auf die Einbrandtiefe; er wird auf konstantem Wert gehalten (z.B. 12mm / 15mm).
- Aus (2) und (3) ergeben sich schließlich Schweißstrom, -Spannung und Drahtvorschubgeschwindigkeit (v_D) wobei je nach Schweißgerät zwei der dieser drei Parameter vorgegeben und der jeweils dritte resultiert. (NB: Das Ohmsche Gesetz ($U/R=I$) ist hier grundsätzlich anwendbar, mit U =Lichtbogenspannung, R (konst.)=Summe[$R_{\text{Draht}}+R_{\text{InnenwiderstandQuelle}}+R_{\text{Material}}$] und I =Schweißstrom. Der Schweißer möchte direkt einen Strom angeben, ändert dafür jedoch die Spannung bzw. die v_D !) (Beispielwerte: $I=90A$, $v_D=10m/min$).
- Die Lichtbogenlänge wird durch die "innere Regelung" des Schweißgerätes konstant gehalten, dabei wird der Strom (respektive die Spannung) je nach Veränderung des Kontaktrahabstandes nachgeregelt.
- Je nach Schweißgerät können obige Parameter über Wahl eines Schweißprogramms automatisch eingestellt ("Einknopfregelung") und den besonderen äußeren Einflüssen

(z.B. Nahtgeometrie) per "Feinabgleich" entgegen wirken. Je nach Gerät wird v_D bzw. die Lichtbogen Spannung angeglichen.

- Strom, Spannung und v_D bestimmen die Lichtbogenart (z.B. Kurzlichtbogen). Damit einher geht die Menge der Spritzer, d.h. dass je nach Anforderung (z.B. spritzerarm) Strom, Spannung und v_D dem entsprechend einzustellen sind (Ursache und Wirkung).
- Durch Wahl des (je nach Nahtgeometrie sinnvollen) Brenneranstellwinkels (stechend/schleppend) wird die Schweißgeschwindigkeit beim Bahnschweißen bzw. die Schweißdauer beim "Heften" bestimmt.
- Daraus resultieren Einbrandtiefe, Nahtbreite und -höhe ("a"- Maß").

Im thematischen Rahmen dieser Arbeit können nicht alle Abhängigkeiten der Parameter untereinander angesprochen werden.

Die Abhängigkeit der Schweißparameter zeigt nachstehendes vereinfachtes Parameterbild:

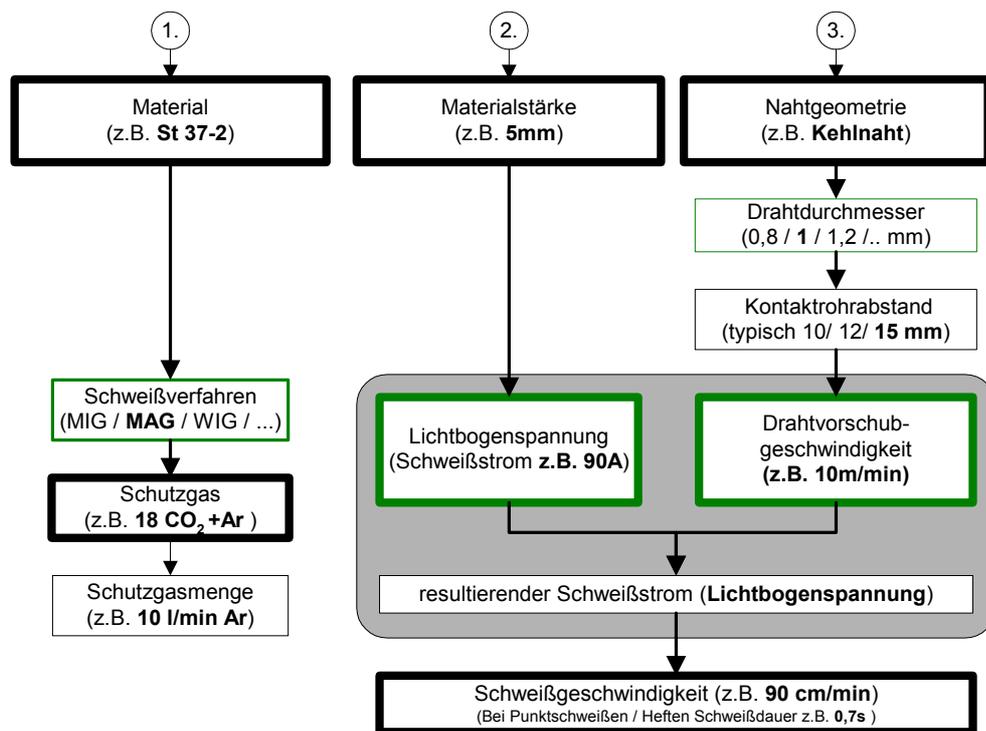


Abb. 24 Abhängigkeit der Schweißparameter

In Anhang 13-5.3 ist eine differenzierte Grafik zu finden, mit deren Hilfe der Leih unbekannte Fachbegriffe im Kontext besser einordnen kann aber auch die Komplexität des Schweißens gezeigt werden soll.

Beim Schweißen unterscheidet man u.a. zwischen folgenden Nahtgeometrien:

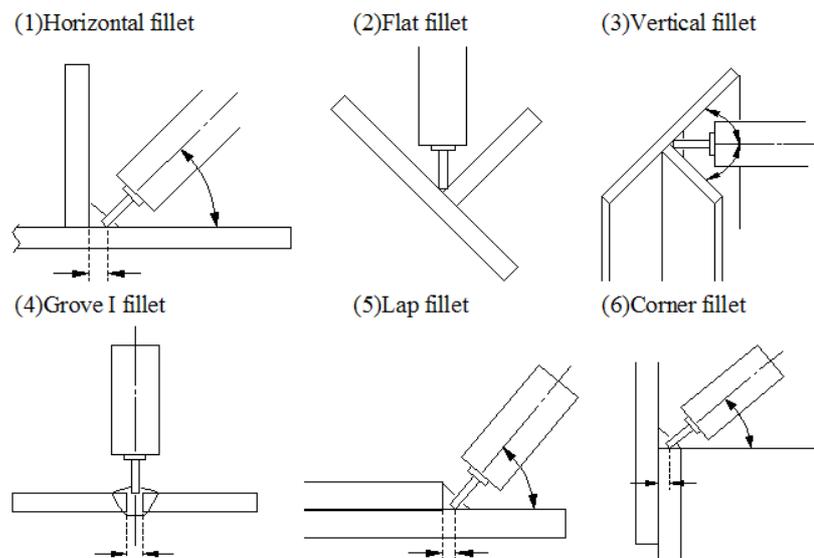


Abb. 24b Nahtgeometrien im Überblick [KAWA98]

5.4 Auswirkung von Parameteränderungen auf die Schweißnaht

Zur Erläuterung der o.g. Abhängigkeiten wird in den folgenden Abschnitten beschrieben, welche Auswirkung die Veränderung von einzelnen Parametern auf den Schweißprozess hat. Es werden Schulungsunterlagen der SLV-Fellbach [SLV 01] auszugsweise zitiert.

5.4.1 Einfluss der Schweißstromstärke

"Durch die Stromstärke wird wie bei allen Lichtbogenschweißverfahren in erster Linie die Abschmelzleistung und die Einbrandtiefe beeinflusst. Eine Erhöhung der Schweißstromstärke führt, unter der Voraussetzung eines stabilen Lichtbogens, zu einem tieferen Einbrand. Demzufolge ist im Kurzlichtbogenbereich der Einbrand flacher als im Sprühlichtbogenbereich. Die Abschmelzleistung steigt ebenfalls mit zunehmender Stromstärke. [...]

Die Einstellung der Schweißstromstärke erfolgt durch Veränderung der Drahtfördergeschwindigkeit (v_D). Bei den am häufigsten verwendeten Drahtdurchmessern von 1,0 mm und 1,2 mm ist die Schweißstromstärke zur Drahtfördergeschwindigkeit etwa proportional. Bleiben Drahtfördergeschwindigkeit und Lichtbogenstrom konstant, kann sich eine Änderung der Schweißstromstärke auch durch größer oder kleiner werdenden Kontaktrohrabstand ergeben" [SLV 01]

- erhöhter Strom liefert tieferen Einbrand und höhere Abschmelzleistung
- Erhöhung des Stromes durch Erhöhung der Drahtfördergeschwindigkeit (v_D)

5.4.2 Einfluss der Schweißspannung

"Die Spannung muss durch Wahl einer Kennlinie an der Stromquelle der entsprechenden Stromstärke zugeordnet werden. Je größer die Spannung bei gleichbleibender Drahtförder-

geschwindigkeit ist, um so länger wird der Lichtbogen. Dadurch wird die Schweißnaht breiter und flacher. Bei einer zu hoch gewählten Spannung ergeben sich zu geringe Einbrandtiefen bzw. Bindefehler, große Spritzerverluste und schlechtere mechanische Güterwerte." [SLV 01]

- erhöhte Spannung liefert größere Lichtbogenlänge (bei v_D konst.)
- erhöhte Spannung liefert breitere, flachere Schweißnaht
- zu hohe Spannung liefert geringe Einbrandtiefe, Spritzer, Bindefehler

5.4.3 Einfluss der Schweißgeschwindigkeit (v_s)

"Eine Veränderung der Lichtbogenarten und der Abschmelzleistung erfordert eine Anpassung der Schweißgeschwindigkeit. Bei zu großer Schweißgeschwindigkeit kommt es zu einer Abnahme der Einbrandtiefe, die Schweißnaht wird überhöht und es entstehen seitliche Einbrandkerben. Durch zu geringe Schweißgeschwindigkeit wird das Schmelzbad zu groß. Es besteht die Gefahr, dass es vor den Lichtbogen läuft. Auch dadurch entsteht ein zu geringer Einbrand bzw. Bindefehler.

Durch eine Reduzierung der Schweißgeschwindigkeit wird außerdem auch die Streckenergie, d.h. die Wärmeeinbringung bezogen auf die Nahtlänge, erhöht." [SLV 01]

- falsche Schweißgeschwindigkeit liefert geringe Einbrandtiefe
- zu große Schweißgeschwindigkeit liefert überhöhte, eingekerbte Schweißnaht

5.4.4 Einfluss des Kontaktrohrabstandes

"Der Kontaktrohrabstand ist das Maß zwischen Unterkante Kontaktrohr und der aufzuschmelzenden Werkstückoberfläche in Drahtaustrittsrichtung (Abb. 25). Bei konstantem Drahtvorschub bewirkt eine Vergrößerung des Kontaktrohrabstandes eine Verringerung der Schweißstromstärke, da der ohmsche Widerstand im Drahtende größer wird. Somit wird auch die Einbrandtiefe geringer." [SLV 01]

- Erhöhung des Kontaktrohrabstand liefert geringere Schweißstromstärke
- Faustformel: Kontaktrohrabstand [mm] = Drahtdurchmesser x 10...12
(Kurzlichtbogen)

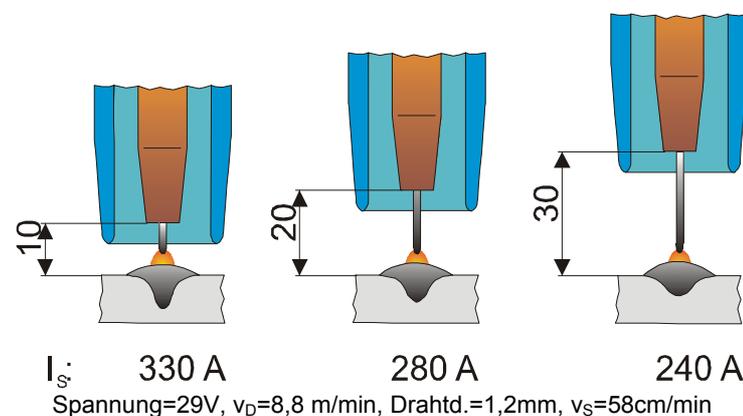


Abb. 25 Einfluss Kontaktrohrabstand auf Strom, Einbrandtiefe [SLV 01]

5.4.5 Einfluss der Drahtgeschwindigkeit (v_D)

Wird zu wenig Draht nachgeführt, so wird der Lichtbogen unterbrochen, und fängt an zu flackern. Zu viel Draht hingegen "sticht" in das Schweißbad ein, es entstehen vermehrt Spritzer. Der Abweichung vom Idealwert hinzu obigen Fällen, ist mit etwa 0,5m/min zu beziffern.

5.4.6 Einfluss des Gasgemisches

Die Verwendung verschiedener Schutzgase bzw. Gasgemische hat unterschiedlichste Auswirkungen. An dieser Stelle werden die für das MIG/MAG Schweißen am weitesten gebräuchliche Gase kurz genannt: [LIND99]

Argon (Ar): - inertes Gas, keine aktive Reaktion mit dem Werkstoff (MIG)

(Helium (He)) - schwerer als Luft, Schutz der Schmelze vor Luftzutritt

- leicht zu ionisieren, Zündung des Schweißprozesses wird erleichtert
- unruhiger / instabiler Schutzgaslichtbogen
- sehr zähflüssige Stahlschmelze führt zu schlechtem Nahtbild

Kohlenstoff- - aktives Gas, (MAG)

dioxyd (CO₂): - Lichtbogenstabilisierung durch CO₂

- extreme Wärmefreisetzung, sicherer Einbrand, höhere Schweißgeschw.
- mit steigendem Gehalt entsteht höhere Spritzerbildung

Ar/ CO₂ - Mischgas aus 18% CO₂ - Rest Argon ist ein technischer Kompromiss

Gemisch: zwischen den Vorteilen und Nachteil der o.g. Gase und daher auch im "Lernsystem Roboterschweißen" verwendet worden.

5.4.7 Einfluss der Schweißbrennerstellung

"Die Brennerstellung verändert sowohl die Einbrandtiefe als auch die Nahtbreite. Die Wahl der Brennerstellung ist u.a. abhängig von der Schweißposition, der Fugenform und der Materialdicke. Durch stechendes Schweißen (Schweißdraht "sticht" mit etwa 45° in Bewegungsrichtung in die Naht) wird die Naht flacher und breiter. Dagegen wird sie beim schlep-penden Schweißen (Schweißdraht wird mit etwa 45° in Bewegungs-Gegenrichtung ausgerichtet) durch den entstehenden Schmelzbad- und Wärmestau tiefer mit teilweise starker Überhöhung" [SLV 01]

- stechendes Schweißen liefert flachere und breitere Naht

5.5 Kontrolle der Schweißnaht

Folgende Kontrollverfahren haben sich in der Praxis bewährt:

1) Zerstörungsfreie Werkstoffprüfung (ZfP):

- Ultraschallprüfung
- Röntgen
- Oberflächenprüfverfahren
- evtl. Magnetpulver-Prüfung

2) Zerstörende Werkstoffprüfung (ZP):

- Zugversuch
- 3 Punkt Biegeversuch
- Kerbschlag-Biegeversuch
- evtl. Makroschliffe

6 Der Weg zur Bahnschweißnaht

6.1 Das Ziel

Ziel war es, die Einzelkomponenten des in Kap. 3.1 (Abb. 3) beschriebenen Metallzylindergehäuses durch eine Kreisbahnschweißnaht zu verbinden.

Im Folgenden wird auf die notwendigen Vorbereitungen, die Schwierigkeiten und die eigentliche Durchführung des Bahnschweißens eingegangen.

Im vorigen Kapitel (5) wurden die dazu nötigen Schweißgrundlagen gelegt.

6.2 Vorbereitung

Eine Einweisung zum Thema Schweißen wurde durch die Firma Schweißtechnik Morgenthaler, Nimburg, vorgenommen. Der zwei Tage dauernde Kurzlehrgang vermittelte einen Überblick über folgende Teilaspekte:

- Verschiedene Stromquellen in der Praxis (incl. verschiedene Regelungen)
- Unterschiede und Anwendungsgebiete der Schweißverfahren (MIG / MAG / WIG) und Lichtbogenarten (Sprüh- /Kurz- / Impuls-Lichtbogen, ...)
- Zusammenhänge der Schweißparameter
- Vorgehensarten bei der Wahl von Einstellwerten für Schweißparameter
- Schweißversuche per Hand (MAG) mit veränderten Parametern
- Einrichten der Robotersteuerung (Anschluss und Kalibrierung der Leitspannungen zur Fernsteuerung der Schweißstromquelle)
- Programmierung von Roboterbewegungen per Blockprogrammiersprache

Weitergehende Informationen konnten von der Linde AG, Höllriegelskreuth, und der Schweißtechnischen Lehr- und Versuchsanstalt (SLV) –Fellbach gewonnen werden.

Bevor eine kreisinterpolierte Bahnschweißnaht um das zylinderförmige Metallzylindergehäuse hergestellt werden konnte, mussten die oben genannten Zusammenhänge verstanden sein. Eigene Schweißversuche per Hand erwiesen sich als sehr nützlich und sinnvoll, um ein ungefähres Gefühl dafür zu bekommen, wie sich Änderungen der Schweißparameter auf Geräusch, Aussehen und Handhabung der Schweißvorganges auswirken. Dazu wurden im o.g. Kurzlehrgang die Parameter Strom, Spannung, Drahtvorschubgeschwindigkeit, Lichtbogenabstand und Brennerwinkel einzeln geändert.

Die Auswahl der richtigen Schweißparameter hängt von vielen Faktoren ab, die größtenteils in Kap. 5 besprochen wurden.

In der Praxis lassen sich genaue Werte für die jeweiligen Schweißparameter weder voraussagen noch berechnen. Man entnimmt daher in der Praxis diese Parameter Schweiß-

parametertabellen (Beispiel siehe Anhang 13-6.2). Sie müssen den Gegebenheiten der Bauteil- und Nahtgeometrie angeglichen werden. Dies kann durch Einschweißversuche (Abb 26 links) geschehen, die i.d.R. gute Richtwerte liefern. Einschweißversuche sind Versuche, bei denen Schweißbahnen auf einem Blechstück aufgetragen werden, also keine Bauteil gefügt wird.

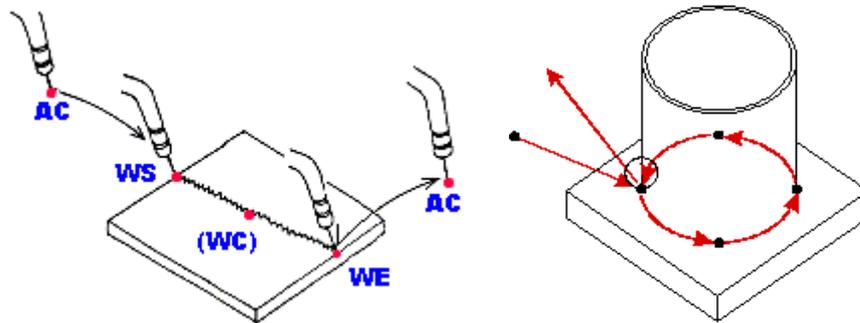


Abb. 26 Bahnschweißen, Kreisbahnschweißen [KAWA99]

6.3 Versuche

6.3.1 Der Bewegungsablauf

Die Werte für Schweißgeschwindigkeit (v_s) Strom (I) und Drahtvorschubgeschwindigkeit (v_D) werden zunächst in Parametertabellen der Robotersteuerung abgelegt. (AUX 28 bzw. AS-Befehl `w1SET`). Bei Kawasaki wird dabei v_D in Volt angegeben ($10V=20m/min$) (siehe Umrechnungstabelle Anhang 13-4.4b). Diese Angabe ist nicht mit der Lichtbogenspannung zu verwechseln!

Die Drahtlänge ist möglichst (!) gleich dem Kontaktrohrabstand zu halten. Durch den Startvorgang bedingt (s.u.) ist es jedoch im vorliegenden Fall unbedenklich, wenn der Draht per Hand sogar (viel) kürzer abgetrennt wird.

Der Ablauf eines Bewegungsprogramms (Abb. 26 links) beginnt vor dem Schweißgut (AC-Punkt=AirCut). Danach positioniert es den Schweißbrenner mit einem Kontaktrohrabstand von 12-15 mm (konstant) über dem Schweißgut (WS-Punkt=WeldStart), das auf dem Schweißtisch fixiert ist. Der Draht "schleicht" (Fachbegriff) mit geringerem Vorschub ein, bis sich ein Kontakt zwischen Draht und Schweißgut bildet und damit der (gewollte) Kurzschluss zwischen Pluspol und Nullpotential der Schweißstromquelle entsteht. Der Draht erwärmt sich, fängt an zu tropfen und "schlägt" in das Schweißgut ein. Es entsteht ein Lichtbogen, dessen Signal " $I>0$ " von der Schweißquelle an die Robotersteuerung weitergegeben wird. Das Signal ist gleichzeitig Freigabesignal für die Bewegung des Roboters, der nun mit der zugehörigen Geschwindigkeit aus der Parametertabelle zum nächsten Punkt (WC-Punkt=WeldContinue) verfährt. Der Schweißvorgang ist beendet (Drahtvorschub und Strom=0), sobald der letzte Punkt (WE-Punkt=WeldEnd) angefahren worden ist. Anschließend wird der

Schweißbrenner mit einem weiteren AC vom Schweißgut abgesetzt. Der Ablauf ist in folgendem Beispielprogramm in "AS" programmiert:

```
.PROGRAM test_arc()
  TOOL tcp_weld           ; TCP- Schweißbrenner auswählen
  LAPPRO pos1, 30         ; 30 mm vor Schweißpunkt verfahren (AC)
  BREAK                  ; abwarten bis letzte Bewegung beendet

  w1set 3=91,90,5        ; Schweißparameter in Datenbank "3"
                        ; speichern: vS=91cm/min,I=90A,
                        ;          vD=10m/min (=5V)
  w2set 5=0,0,0          ; Endkraterfüllung ausschalten (0s,0A,0V)

  lws pos1               ; LinearWeldStart (linear anfahren)
  lwe pos2, 3, 5         ; LinearWeldEnd mit Arc-Condition 3,
                        ; (Schweißdatenbank), Kraterfüllung 5
  LDEPART 30             ; 30 vor letzten Punkt verfahren (AC)
.END
```

(Hinweise zu den verwendeten Kawasaki "AS"-Befehlen siehe Anhang 13-4.3.6.1)

6.3.2 *Einschweißversuche*

Es wurden, wie im Folgenden beschrieben, verschiedene Einschweißversuche durchgeführt mit der Variation folgender Parameter:

- Blechdicke (-stärke) d
- Drahtvorschubgeschwindigkeit v_D
- Schweißgeschwindigkeit (Brennervorschubgeschwindigkeit) v_S
- Schweißstromstärke I_S
- Gasmengenzufuhr V_G
- Drahtlänge l_D

Bewegungsablauf und Kontaktrahabstand wurden konstant gehalten. Soweit nicht abweichend angegeben, wurden 40x40x3mm Bleche verwendet und die Schutzgasmenge auf konstante 10 l/min eingestellt.

Aussagen zur Einbrandtiefe können nachfolgend nicht gemacht werden, da hierzu z.B. für alle Versuchsbleche Schliffbilder hätten angefertigt werden müssen, auf die man aus Zeit- und Kostengründen verzichtete. In Abb. 35 ist exemplarisch ein Schliffbild abgebildet. Auch erheben die nachfolgenden Feststellungen zu den Schweißergebnissen keinen Anspruch auf Fachlichkeit im Sinne einer Beurteilung der Nahtgüte.

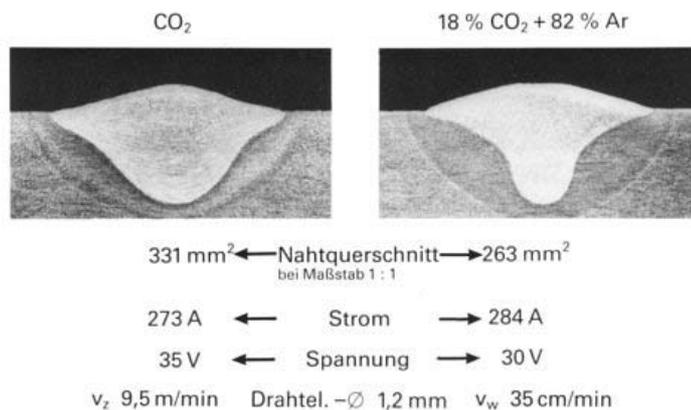


Abb. 27 Schliffbild (Schutzgaseinfluss) [LIND89]

Zu jedem Versuch sind kurze Videos aufgezeichnet worden, um den Verlauf des Lichtbogens nachträglich beobachten zu können.

6.3.2.1 Versuchsreihe 1: Blechdicke d

Um ungefähre Werte für Schweißgeschwindigkeit (v_s), Strom (I) und Drahtvorschubgeschwindigkeit (v_D) zu ermitteln, wurden zunächst vier Einschweißversuche pro Blech durchgeführt. I und v_D wurden konstant gehalten, v_s pro Bahn verändert ($v_s=60/70/80/90$ cm/min)



$v_s=60/70/80/90$ cm/min ; $I=90A$; $v_D=10m/min$

Abb. 28 Einschweißversuch 1 (Blechdicke 3mm, 5mm)

Die vierte Naht (Abb. 28 unten) zeigt das befriedigendste Ergebnis, da die Bahn gleichmäßig verläuft und eine gute Höhe aufweist. Der Vergleich der Ergebnisse zwischen der Blechdicke von 3mm (Abb. 28 links) und der von 5mm (Abb. 28 rechts) zeigt nur geringe Unterschiede: Der Strom ist beim dickeren Blech teilweise zu gering, um es genügend zu erwärmen: die Naht zieht sich leicht zusammen und wird dadurch "schrumpelig", das Einbrennen ist vermutlich nicht so tief wie beim ersten Blech.

Die aus diesen Versuchen gewonnen Optimalwerte sind $v_s=90cm/min$, $I=90A$, $v_D=10m/min$ (entspricht 5V bei Eingabe in die Robotersteuerung). Diese Optimalwerte und eine Schutzgasmenge von 10l/min wurden in den folgenden Versuchen als "Idealwerte" angenommen und stets als Vergleichswerte in der mittleren der drei Bahnen verwendet.

6.3.2.2 Versuchsreihe 2: Drahtvorschubgeschwindigkeit v_D



$v_s=90\text{cm/min}$; $I=90\text{A}$; $v_D=6/10/16\text{m/min}$

Abb. 29 Einschweißversuch 2 (Drahtvorschubgeschwindigkeit)

Die Veränderung von v_D (Abb. 29) beeinflusste im Besonderen das Schweißergebnis:

- Bahn 1 (6m/min): Lichtbogengeräusch: einzelne Knaller, einzelne große Spritzer, sichtbar eher eine Abfolge von Schweißpunkten als eine gleichmäßige Bahn
- Bahn 2 (10m/min): "Knattern", viele kleine Spritzer, saubere Bahn
- Bahn 3 (16m/min): schnelleres, lautes "Knattern", Drahtreste auf Schweißgut, zu hohe und unförmige Bahn

6.3.2.3 Versuchsreihe 3: Schweißgeschwindigkeit v_s



$v_s=50/90/140\text{cm/min}$; $I=90\text{A}$; $v_D=10\text{m/min}$

Abb. 30 Einschweißversuch 3 (Schweißgeschwindigkeit)

Es zeigt sich bei annähernd gleichbleibendem Schweißgeräusch ein relativ geringer Einfluss der Veränderung von v_s auf das Nahtbild (Abb. 30). Wegen konstanter Drahtzufuhr ($v_D=\text{const}$) ergibt sich lediglich:

- Bahn 1 (50cm/min): dickere Bahn
- Bahn 2 (90cm/min): "normale" Bahn
- Bahn 3 (140cm/min): zu schmale Bahn

6.3.2.4 Versuch 4: Schweißstrom I_s

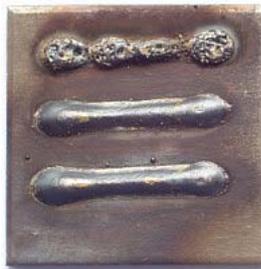


$v_s=90\text{cm/min}$; $I=60/90/120\text{A}$; $v_D=10\text{m/min}$
 Abb. 31 Einschweißversuch 4 (Schweißstrom)

Es zeigt sich ein großer Einfluss der Schweißstromveränderungen auf die Naht (Abb. 31):

- Bahn 1 (60A): leichtes, härteres "Gestotter", "a"- Maß sehr hoch, dünne Naht
 Bahn 2 (90A): Rauschen, "a"- Maß ok ("a" Maß s. Abb. 34)
 Bahn 3 (120A): sehr weiches "Blubbern", "a"- Maß zu gering, großer Drahrückbrand
 (Draht nach beendetem Schweißvorgang viel kürzer als 15mm)

6.3.2.5 Versuchsreihe 5: Gasmengenzufuhr V_G

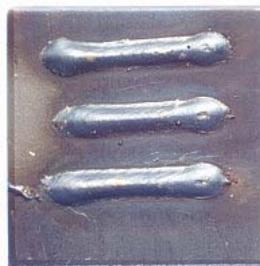


$V_G=0 /10 /20 \text{ l/min}$; $v_s=90\text{cm/min}$; $I=90\text{A}$; $v_D=10 \text{ m/min}$
 Abb. 32 Einschweißversuch 5 (Gasmengenzufuhr)

Es zeigt sich ein großer Einfluss auf die Naht nur bei fehlendem Schutzgas (Abb. 32 oben):

- Bahn 1 (kein Gas): "ploppendes" Lichtbogengeräusch", deutlich schlechte Bahn
 Bahn 2 (10 l/min): Rauschen, Bahn o.k., bei angemessener Schutzgasmenge
 Bahn 3 (20 l/min): wenig Unterschied zu Bahn 2. (bei weiterer Steigerung der Gaszufuhr ist ein Ausblasen des Schweißbades zu erwarten)

6.3.2.6 Versuchsreihe 6: Drahtlänge l_D



$v_S=90\text{cm/min}$; $I=90\text{A}$; $v_D=10\text{ m/min}$
Abb. 33 Einschweißversuch 6 (Drahtlänge)

Die Länge des Schweißdrahtes vor Schweißbeginn hat nur wenig Einfluss, wenn sie unterhalb oder gleich dem Kontaktrahabstand bleibt (Abb. 33 oben/Mitte), da der Draht bis zur Berührung mit dem Schweißgut zunächst nachgeführt wird bis der Lichtbogen zündet ($I_S > 0$). Ist die Länge jedoch größer als dieser Abstand, so ergeben sich Bilder wie in Abb. 33 unten.

- Bahn 1 (0mm): langes Warten bis Draht "einläuft", sonst keine negativer Einfluss
 Bahn 2 (15mm): unmittelbares, gutes Zünden
 Bahn 3 (20mm): kaltes Einstoßen bereits vor Schweißbeginn,
 Drahtreste am Nahtanfang

6.4 Kreisbahnschweißnaht

Die in den Einschweißversuchen ermittelten Werte der Schweißparameter können direkt auf die Kreisbahnschweißnaht übertragen werden und bringen ein befriedigendes Ergebnis. Die Kehlnaht (Abb. 34) verlangt einen Brenneranstellwinkel von 45° , so dass die Naht gut in der Kehle platziert werden kann.

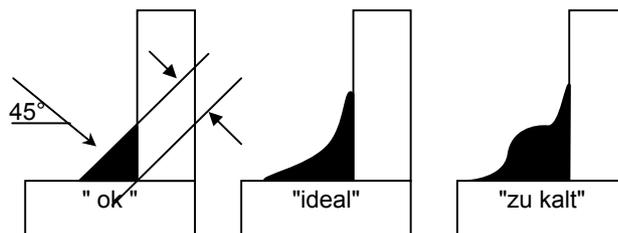


Abb. 34 "a"- Maß einer Kehlnaht

Dabei ist beim Vergleich zu beachten, dass die Nahtgeometrie von Einschweißnaht und Kehlnaht sowie die Größe von Probeblech und Metallzylindergehäuse auch bezüglich der Wärmeverteilung unterschiedlich sind. Für eine optimale Kreisbahn-Naht müssten die Parameter also nochmals optimiert werden.

Im vorliegenden Fall (Abb. 35) ist die Naht ein wenig zu "kalt" (vgl. Abb. 34 rechts). Die Schweißnaht hat zu viel Wärme in das umliegende Material abgegeben und zieht sich dabei zusammen. Dies könnte durch Erhöhung des Stromes (I_s) oder Senken der Schweißgeschwindigkeit (v_s) behoben werden.



Abb. 35 Kreisbahnschweißnaht (Metallzylinder)

Da die Kehlnaht des verwendeten Metallzylinders eine Kreisbahn beschreibt, muss die Robotersteuerung dafür sorgen, dass bei der Kreisbewegung des Brenners der 45° -Anstellwinkel und gleichzeitig die gewünschte Schweißgeschwindigkeit eingehalten werden. Dies kann nur sichergestellt werden, wenn die Bewegung zum überwiegenden Teil aus der letzten Achse (JT6) heraus erfolgt (siehe Kap. 4.3.1)

Bei Kawasaki wird eine Kreisbewegung (vgl. Abb. 36) mit speziellen AS-Befehlen realisiert. Dabei wird mit großer Wahrscheinlichkeit, - Näheres war nicht zu erfahren, - ein Spline, vermutlich ein "interpolierender parametrischer Spline", durch Anfangspunkt, Zwischen- und Endpunkt von der Robotersteuerung errechnet. Sind Anfangs-, Zwischen- und Endpunkt jeweils mit gleichem Abstand zum Kreismittelpunkt und je mit 45° -Winkel zur Bezugsebene angegeben, so bildet sich ein idealer Kreisbogen (links im Bild 36). Aus zwei Halbkreisen kann ein Vollkreis problemlos gefahren werden.

Die Definition eines Kreises durch Mittelpunkt und Radius oder Durchmesser ist bei Kawasaki nicht vorgesehen.

6.5 Aufgetretene Probleme

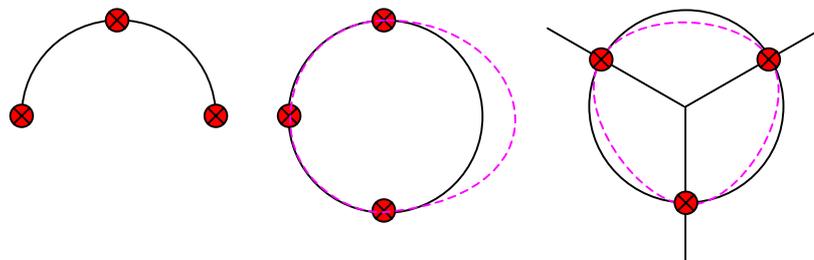


Abb. 36 Kreisinterpolation

Ein Vollkreis ist mathematisch hinreichend durch drei verschiedene Punkte bestimmt, bei Kawasaki in dieser Eingabeform jedoch nicht vorgesehen. Daher wurde das Kreisbahn-

Verhalten des Roboters bei einer Konstellation von Teachpunkte gemäß Abb. 36 untersucht. Es wurde einer der Punkte jeweils als Start- und Endpunkt, die restlichen als Übergangspunkte verwendet.

Im Fall von drei um den jeweiligen Mittelpunktswinkel von 45° gegeneinander versetzten Punkten (Bild 36 Mitte) ergab sich eine deutlich vom Kreis abweichende Teilkurve (strichlierte Linie, hier überzeichnet dargestellt), die sich vermutlich durch einen werksseitig ungünstig gewählten Algorithmus einstellt.

Im zweiten untersuchten Fall von gegeneinander jeweils um 120° -verdrehten Teachpunkten (Bild 36 rechts) zeigte sich – wohl aus gleichem Grund - ebenfalls eine Abweichung der Bahnkurve vom Kreis (strichlierte Linie).

In beiden Fällen werden die geteachten Punkte genau überfahren.

Diese Abweichungen fielen bei Schweißversuchen auf, obwohl und gerade weil drei Punkte (alle 120° versetzt) sehr genau geteacht waren, die Naht jedoch nicht ideal in der Kehle lag. Anschließend wurden deshalb in einem Versuch Kreise mit Zirkel auf Papier gezeichnet und anschließend von dem mit einem Stift ausgerüsteten Roboter nachgefahren. Die Abweichungen ergaben sich dabei zu 0,5mm.

Ein Kreis muss also zwangsweise aus zwei Halbkreisen gebildet werden. Dazu sind vier Punkte zu verwendet, welche jeweils mit gleichem Abstand zum Kreismittelpunkt und je mit 45° -Winkel zur Bezugsebene angegeben werden müssen (vgl. Abb. 36 links)

Ein weiteres Problem besteht darin, dass die Fixiereinrichtung (Klemmwirkung von oben) am Schweißstisch (vgl. Kap. 3.4.5 - Abb. 13/14) die freie Bewegung des Schweißbrenners bei einer Drehung um 360° behindert. Es ist ein Kreissegment von maximal 270° durchfahrbar. Dies ist ein praktisches Beispiel für die Realitätsnähe des "Lernsystems Roboterschweißen", da auch in der Industrie ständig Haltevorrichtungen die Bewegungsfreiheiten beschränken. Abhilfe kann hier geschaffen werden, indem nach erfolgreichem Punktschweißen (Heften), die Fixiereinrichtung geöffnet wird und damit das Bauteil nur noch an der seitlich andrückenden Zentriereinheit auf dem Schweißstisch gehalten wird. Dies ist bei der Größe des Bauteiles ausreichend.

Bei einer Änderung des Anstellwinkels des Schweißbrenners werden mehr als 270° Kreisbahndrehung erreicht, bei gleichzeitiger Minderung der Schweißnahtgüte.

Alternativ könnte das Problem behoben werden, indem das zu schweißende Bauteil selbst - bei stillstehendem Schweißbrenner - um 360° gedreht wird, dies würde den Bewegungsablauf vereinfachen, jedoch die erwähnten realen Probleme "vertuschen".

6.6 Veränderbare Parameter an der Robotersteuerung

Die Parameter werden entweder direkt im Programm in den "Arc-Weld-Conditions" (Schweißparameterdatenbanken) gespeichert (Befehl `w1set` / `w2set`) oder über einen Sonderfunktionen-Bildschirm (AUX 28 und AUX 29 vgl. Anhang 13-4.4a) des Multifunktionspanels eingegeben. Die dort gespeicherten Werte können bedingt im Programmcode verwendet, bzw. in den entsprechenden Bildschirmen eingesetzt werden (siehe Anhang 13-4.3.6.2). Kawasaki erlaubt das Online-Verändern der Parameter. So können während des Schweißprozesses Parameterwerte geändert werden. Dies kommt vor allem der einfachen Optimierung von langen Schweißnähten zugute.

6.7 Zusammenfassung

Den Grundlagen des Schweißens (Kap. 5) folgend wurde im Kap. 6 eingehend auf die Realisierung der Kreisbahnschweißnaht dargestellt. Es wurden die dabei in der Praxis notwendigen Bewegungsabläufe in der Kawasaki Programmiersprache "AS" beschrieben. Die Neuschaffung eines strukturierten und einfach lesbaren Programms zur Erzeugung dieser Kreisbahnschweißnaht war wesentlicher Bestandteil der Diplomarbeit.

Die Grundlagen wurden durch Versuchsreihen von Einschweißversuchen zur Findung idealer Schweißparameter vertieft. Durch Veränderung einzelner Parameter wurde deren Einfluss auf die Nahtqualität u.a. bildlich erläutert.

Abschließend wurden aufgetretene Probleme bei kreisinterpolierten Bewegungen aufgezeigt und deren Lösungsansätze vorgeschlagen:

- Kreisinterpolation bei Kawasaki ist nur durch vier Punkte (2 Halbkreise) möglich,
- Drehung des Schweißbrenners um 360° wird durch die Fixiereinrichtung behindert.

Das nun folgende Kapitel geht auf die Anbindung des nun in sich funktionsfähigen "Lernsystem Roboterschweißen" an ein E-Learning System ein. Dabei wird gezeigt wie die genannten Programmabläufe (vgl. Kap. 3.5.2) im Internet ferngesteuert werden können.

7 E-Learning System

Das Thema E-Learning wird in dieser Arbeit aufgrund der Notwendigkeit der Themenbegrenzung vereinbarungsgemäß nicht tiefergehend bearbeitet. Das vorliegende Kapitel ist daher gedacht als Einstieg für detailliertere Untersuchungen zu diesem Thema. Technisch wurde die Anbindung zum E-Learning System weitestgehend optimiert. Die Schaffung einer didaktisch sinnvollen Benutzeroberfläche ist nicht Gegenstand dieser Arbeit, Ansätze hierzu werden jedoch im Folgenden gegeben.

7.1 Einführung

Durch die Einführung von Internet und die Nutzung von PCs in allen Bereichen des Alltags hat eine Revolution des Lernens begonnen: E-Learning.

Beim E-Learning handelt es sich um eine Internet-gestützte Lernform. Die Teilnehmer bekommen die Lerninhalte über das Internet zur Verfügung gestellt und können zudem zusätzliche elektronische Dienste zum Austausch von Fragen und Erfahrungen mit anderen Teilnehmern nutzen. Hauptbestandteile solcher Online-Lernumgebungen sind:

- Inhalte in Form von Texten, Bildern, Animationen, Audio, Video, etc.
- Kommunikationstools wie Email, Diskussionsforen, Chat, etc.

Folgende Vorteile zeichnen E-Learning aus:

- es kann am Arbeitsplatz oder zu Hause gelernt werden,
- individuelle Lerngeschwindigkeit und Zeiteinteilung beim Lernen,
- die Trainingstiefe kann individuell gesteuert werden,
- Lernergebnisse können verfolgt werden,
- Der Transfer des Gelernten in den Berufsalltag, sonst klassische Schwachstelle vieler Trainings, kann durch große Arbeitsplatznähe der Lerninhalte sowie durch professionelle Online-Betreuung sichergestellt werden,
- Internet-Browser und Internetverbindungen sind in weitem Umfang vorhanden,
- Der Zugriff auf die Lerninhalte ist über User-ID und/oder Passwort kontrollier- und abrechenbar (Anzahl der Zugriffe, Datum und Zeitpunkt des Zugriffs),
- es entfallen Wartezeiten sowie Reisekosten.

Zwei Hauptnachteile seien hier genannt:

- Limitierte Übertragungs-Bandbreite: die zur Zeit noch eingeschränkten Bandbreiten reduzieren die Multimedialität der Inhalte (Sound, Video).
- Der Bildschirmgröße limitiert die Anzahl simultaner Darstellungen

Die nichttechnischen Grundanforderungen, die Unternehmen an E-Learning stellen, sind :

- die didaktische Qualität und Gestaltung der Lehr- und Lernprozesse,
- eine schnelle Einführung in gewünschte Thematiken,
- eine informationstechnische Unterstützung der Weiterbildungsprozesse,
- die Anbindung an die Personalentwicklung sowie
- ein kalkulierbarer Return of Investment.

"In Zeiten immer kürzerer Produktzyklen und dadurch gewandelter Anforderungen an den Arbeitnehmer erlangt lebenslanges Lernen immer größere Bedeutung. E-Learning stellt durch die Nutzung des Internets eine kostengünstige und flexibel verfügbare Form der Wissensvermittlung dar. Noch ist einiges an Aufklärungsarbeit zu leisten, bevor sich E-Learning als neue Lernform etablieren wird." [KAPE02].

"Ebenso mangelt es noch an Standards, die allenthalben von allen Seiten dringen eingefordert werden. Dabei geht es in erster Linie um die Standardisierung von Schnittstellen und von Oberflächen über die Inhalte vermittelt werden" [PCB 02].

Das Konzept des "Lernsystems Roboterschweißen" ist als vier Phasen-Modell gedacht:

- 1) Erarbeiten von Grundlagen von Roboterprogrammierung und Schweißen,
- 2) Festigung des Erlernten durch die Programmierung von Bewegungsabläufen in der Robotersimulation COSIMIR (keine Gefahren bei Fehlprogrammierung),
- 3) weitere Vertiefung des Stoffes durch die "Fernsteuerung" des realen Roboters über geeignete Internetseiten (Webcam, Steuerung, Aufgabenstellungen), um die Distanz zwischen Simulation und Realität zu minimieren, und schließlich
- 4) "Hands-On Training", d.h. direkt am realen Schweißroboter in Bremen

Zunächst wird kurz auf die Softwaresimulation COSIMIR eingegangen; nachfolgend werden einige E-Learning Konzepte und die Anbindung der realen Anlage an das E-Learning vorgestellt.

7.2 COSIMIR Robotersimulation

COSIMIR (engl. Cell Orientated Simulation of Industrial Robots) ist eine komplexe Simulationssoftware der FESTO Didactic GmbH & Co., Denkendorf, die es u.a. vermag Roboter zu simulieren. Sie ist fester Bestandteil der firmeneigenen Produktpalette.

Das "Lernsystem Roboterschweißen" ist in diese Simulationssoftware komplett aufgebaut (Abb. 37). Der gesamte Bewegungsablauf incl. Punktschweißen steht vollständig zur Verfügung. Als mögliche Aufgabe könnten z.B. Programmteile vom Lernenden nachprogrammiert werden. So ist es vorstellbar, dass das gesamte Grundwissen von einfachen Greifaufgaben bis hin zu komplexen Bahnschweißaufgaben per COSIMIR erarbeitet wird.

Es ist insbesondere vorteilhaft, dass in solch einer Simulation kein Schaden entstehen kann. So würde bei einer fehlerhaft programmierten Roboterbewegung lediglich eine Fehlermeldung erscheinen mit dem Hinweis, dass in der Realität eine Kollision stattgefunden hätte.

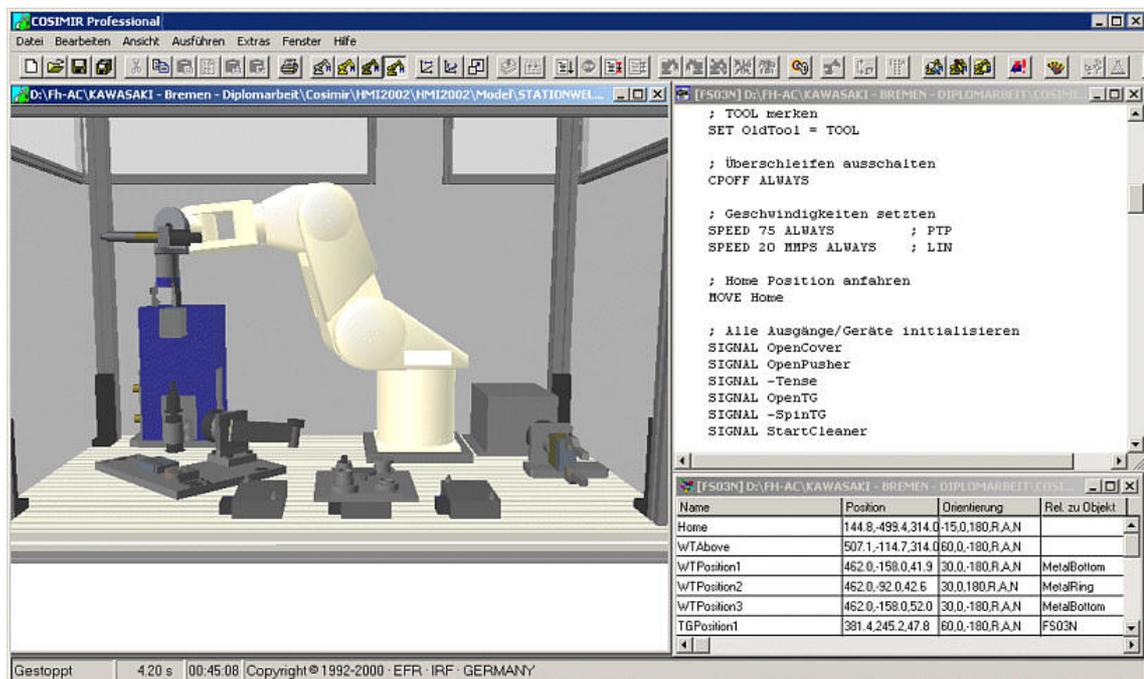


Abb. 37 COSIMIR Robotersimulation

COSIMIR bieten die komplette Funktionalität der in der Robotersteuerung zur Verfügung stehenden Möglichkeiten. Es wird daher nicht nur Roboterbewegungen sondern ebenfalls die komplette Steuerung aller externen Aktoren (z.B. Drehgreifer) vorgenommen, die Zustände externer Sensoren (z.B. "Greifer ist AUF") können ebenfalls in Programmen abgefragt werden.

Im Idealfall wird die Programmierung in der roboterspezifischen Programmiersprache vorgenommen. Damit wäre eine direkte Übertragung der simulierten Bewegungsabläufe auf die reale Robotersteuerung möglich. Gründe dafür, dass hier zum Zeitpunkt der Fertigstellung dieser Diplomarbeit kein Idealfall vorlag, werden im Folgenden genannt:

7.2.1 Compiler- und Programmiersprachenunterschiede

Um die von der Robotersteuerung verwendete Programmiersprache (hier: Kawasaki "AS") verwenden zu können, muss diese in COSIMIR integriert sein. Dies wird mittels eines Compilers realisiert. Der Compiler übersetzt die in Textform angegebenen ("AS"-) Roboterbefehle in eine COSIMIR lesbare Form (IRDATA), um letztendlich die Simulation anzeigen zu können. Die Erstellung eines solchen Compilers ist zeit- und kostenaufwändig.

Da dieser notwendige Compiler bisher nicht erstellt wurde, besteht derzeit nur die Möglichkeit, die Roboterbewegung in einer anderen, von COSIMIR bereits beherrschten Sprache zu beschreiben. Dabei bietet sich die von den Roboterherstellern Stäubli und Adept verwendete Roboterprogrammiersprache "V+" an, da sie der Kawasaki "AS"-Sprache in weiten Teilen ähnlich (teilweise identisch) ist.

Eine Übertragung zur realen Kawasaki Robotersteuerung ist aus obigen Gründen zur Zeit nicht möglich.

7.2.2 Kollisionserkennung als Vorstufe zum schadensfreien Programmablauf

Die zuvor erwähnte Kollisionserkennung der Simulationssoftware COSIMIR könnte so erweitert werden, dass sie als Vorstufe eines schadensfreien Programmablaufs auf der realen Steuerung dient. Ein in der E-Learning Umgebung via Internet erstelltes Roboterprogramm könnte vor der Übertragung zur realen Roboteranlage durch COSIMIR überprüft und ggf. freigegeben werden. Dadurch könnten fehlerhafte Programmabläufe und Kollisionen im Vorfeld eines online Betriebes an der Anlage abgefangen werden. Dies ist mangels Compiler ebenfalls z.Zt. nicht möglich.

7.3 Anbindung an die Roboterschweißzelle

Zur technischen Anbindung des E-Learning Systems wird ein Computer mit der Roboterzelle verbunden. Dieser Computer (Server) stellt eine Internetseite zur Verfügung, von der aus Nutzer (Clients) via Internet mit einem herkömmlichen Internetbrowser die Roboterzelle fernsteuern und beobachten können.

Zur Durchführung einer sinnvollen Verbindung muss eine Bandbreite von mindestens 128 kBit/s ("Doppelt ISDN") von der Client-Seite bereitgestellt werden, damit sowohl das Bild der Kamera als auch Steuersignale zur Kamera und zum Roboter möglichst flüssig übertragen werden können.

Sendet der Server jedem Client das Kamerabild zu, so ist die Anbindung an das Internet entsprechend mit größerer Bandbreite auszustatten, alternativ kann das Bild auf einen externen Internet-Server zunächst übertragen und von dort aus vom einzelnen Client abgerufen werden. In der zweiten Variante wird somit das Datenaufkommen ausgelagert.

Die Roboterbewegung lässt sich vom Internet aus fernsteuern. Der Weg der Daten vom "Klick" auf der Internetseite bis zur Roboterbewegung führt über Javascript, ein Java-Applet,

den Roman-Server, UGUI (TCP/IP) und über die serielle Schnittstelle des Servers hin zur Robotersteuerung. Der detaillierte Aufbau der Server-Client-Kommunikation mit Anbindung an die Roboterzelle ist dem Anhang 13-7.3ff zu entnehmen.

7.4 Sicherheitsaspekte

7.4.1 Webcam begrenzt die 3D Sicht

Die Fernbeobachtung der Roboterschweißzelle ist über eine Internetkamera (Webcam) realisiert. Diese ist bedingt beweglich, gibt dem Internetbenutzer jedoch generell nicht die Möglichkeit, von verschiedenen Standorten aus die Zelle zu betrachten. Dieses global räumliche "Sehvermögen" reicht für eine genaue Positionierung des Roboters nicht aus, der Anwender wird keine genauen Punkte teachen können. Die Verwendung von mehreren Webcams scheidet aus praktischen Aspekten aus (technischer Aufwand / hohes Datenaufkommen etc.). Teachpunkte müssen somit von vornherein vorgegeben werden. Der letzte im Rahmen dieser Arbeit realisierte Stand der Schweißzelle sieht genau dies vor. In der Initialisierungsroutine (Programm "init()" siehe Anhang 13-3.5.2b) werden alle benötigten Verfahrenspunkte aus den geteachten Punkten berechnet. Eine Verwendung dieser Punkte im Programmablauf macht das teachen von Punkten durch den Internetnutzer unnötig. Diese Vorgehensweise ist empfehlenswert.

7.4.2 Zeitverzögerungen durch das WWW

Das Einwirken auf einen Prozess wie das Roboterschweißen via Internet ist nicht vergleichbar mit der Bedienung einer fest verdrahteten Steuerung und/oder lokal quasi verzögerungsfrei wirkender Programme per Bedienpult und Teachbox.

Die Netztopologie des Internets beinhaltet als wesentlichen Teil die Versendung von Informationen in kleinen Daten-Paketen. Eine Botschaft (Datei oder Datenstrom) wird beim Senden zunächst in solche Daten-Pakete zerhackt und beim Empfänger dann wieder zu einer gesamten Botschaft zusammengesetzt. Der Weg der einzelnen Pakete im Internet ist dabei nicht vorhersehbar. Selbst bei meist gleichen Datenverbindungen und Datenwegen gibt es keinerlei Garantie für die am Empfänger ankommende richtige Reihenfolge der Pakete. Sie werden daher durchnummeriert. Es ist weiterhin nicht auszuschließen, dass Pakete gar verloren gehen. Aus diesem Grund ist eine Kommunikation per Internet grundsätzlich kritisch, besonders jedoch zeitkritisch!

7.4.3 Überwachung von Kommunikationsabbrüchen

Der Fall eines Internet-technischen oder anwenderprovozierten Kommunikationsabbruches, der bei agierendem Roboter besonders kritisch wäre, könnte abgefangen werden. Hierzu wäre ein in der failsafe-Technik bekannter "Watchdog" hard-/softwaretechnisch zu realisieren.

Er muss in unserem Fall sinnvoller Weise auf der Roboterseite realisiert werden. Er hat die Aufgabe, den "Pulsschlag" des Prozesses ständig zu überprüfen; setzt dieser aus, wird nach definierter Zeit der Prozess in einen vordefinierten sicheren Zustand –z.B. NOTAUS - zwangsverfahren. Im vorliegenden Fall muss durch ihn die Internetverbindung bidirektional auf Funktion überprüft werden.

7.4.4 NOTAUS-Funktion

Es ist zu fragen, ob es Sinn macht, einen NOTAUS-Knopf als Funktion für die Roboterzelle auf der Internetseite zu implementieren, ist doch die Totzeit zwischen Erkennen des Fehlers über die Internet-Kamera (Webcam), dem Drücken des Online-Schalters und der tatsächlichen Auslösung an der Robotersteuerung im Prinzip unkalkulierbar.

Hinzu kommt die recht langsame Kommunikation auf der seriellen Schnittstelle der Robotersteuerung. Werden nur 9600 Baud zugelassen, so kann es u.a. auch hier zu Datenstaus kommen und eine wichtige Anweisung wie NOTAUS könnte nicht schnell genug ausgeführt werden.

Allein diese Gesichtspunkte führen dazu, dass sich - angesichts der weitreichenden VDE-Vorschriften zur Wirkung von NOTAUS - eine solche Funktion auf einer Internetseite grundsätzlich verbietet.

7.4.5 Sicherheit von Vorortpersonal

Bei Fernnutzung des Robotersystems muss besonders sichergestellt werden, dass sich während der Roboterbewegungen keine Person im Gefahrenbereich der Zelle aufhalten kann. Sie hätte keinen Einblick, wann der Internetbenutzer eine Roboterbewegung auslöst. Dies kann z.B. über eine Sicherheitsumzäunung vorgenommen werden.

7.4.6 Multiuser – Zugriffsverwaltung

Eine gleichzeitige aktive Benutzung der Anlage über das Internet durch mehr als einen User/Lernenden ist didaktisch ohne Bedeutung. Vielmehr macht es Sinn, Zeitfenster oder -limits für Praktikumsaufgaben verschiedenen Benutzern nacheinander einzuräumen gekoppelt mit klaren An- und Abmelderoutinen z.B. per User-ID. Es kann jedoch grundsätzlich problemlos ein beliebig großes Publikum via Internet die Aktionen beobachten. Dies wird lediglich begrenzt durch die Übertragungsbandbreite (vgl. Kapitel 7.3).

7.5. E-Learning by doing

Unter dem Aspekt "E-Learning is learning by doing" ist die praktische Erprobung des Gelernten an der real existierenden Roboterschweißzelle ein nicht hoch genug zu bewertender pädagogischer Faktor. Hier erfolgt die Rückkopplung im Lerngeschehen am unmittelbarsten. Es ist pädagogische Binsenweisheit, dass praktisch Ausprobiertes im Lernprozess die höchste Nachhaltigkeit (mit bis zu 80% Behaltensquote) aufweist.

Dem zur Folge ist - neben dem reinen Bedienen der Roboterzelle via Internet - der Austausch von im Prozess aktuell laufender Software gegen solche, die momentan vom Lerner im E-Learning-Prozess erstellt wurde (Programme, Parameter u.ä.), via Internet eine interessante Fragestellung und sicher eine große technische Herausforderung.

7.5.1 Aufspielen von User/Lerner-Software

Das Aufspielen (Uploaden) neuer Programme bzw. Parameter in laufenden Prozessen mit Speicherprogrammierbaren Steuerungen (SPS) wird unter Beachtung hoher sicherheitstechnischer Aspekte in der Industrie seit Jahren genutzt (Beispiel: Chargen- und Rezepturwechsel in der Chemischen Industrie). Angesichts der oben erörterten Problematiken bei der Einbindung von Internet, dürften tragfähige Lösungen von Online-Softwareänderungen per Upload über das Internet um einiges schwieriger sein.

Die Frage stellt sich, ob wegen der oben genannten didaktischen Vorteile nicht in ähnlicher Weise auch Software, die der Lernende zu Übungszwecken und Zwecken der Wissenssicherung erstellt hat, durch Uploads einer "sofortigen" Online-Simulation und –Ergebnisüberprüfung zugänglich gemacht werden sollte und könnte.

Im Folgenden werden daher Überlegungen angestellt, wie dieses mit Einschränkungen realisiert werden könnte.

7.5.2 Initiieren vorgegebener Routinen

Die Lösung, welche bereits vor der Diplomarbeit durch die Firma Bendit realisiert war, um Programmabläufe via Internet online zu verändern, ist ein gutes Beispiel für eine sichere Anwendung (vgl. Anhang 13-7.5.2). Der Anwender kann über das Internet einige bereits auf der Robotersteuerung fest programmierte Routinen starten. Die Bewegungsgeschwindigkeit des Roboters sowie alle Funktionen und deren Reihenfolge sind dabei in Form eines Struktogrammes fest vorgegeben. Beim Anklicken eines Struktogramm-Punktes werden Kawasaki "AS-Befehle" an die Robotersteuerung gesendet und damit ein einzeiliges AS-Programm erstellt (z.B. "CALL s_pallet_pick(2)"). Wird dieses gestartet, so zeigt das Roboter-Bedienerpanel ein "www" als aktuell ausgeführtes Programm an und führt die angegebene SubRoutine aus. Bei dieser sehr geringe Freiheitsgrade lassenden Realisierung ist es dem Bediener nicht möglich Fehlbedienungen herbeizuführen. Die Bedienung ist jedoch auch sehr begrenzt. Eine Erweiterung bzw. Änderung der Software ist einzig dem Programmierer des Roboters vorbehalten und kann nicht fern getätigt werden.

Im Rahmen der Diplomarbeit wurde eine neue Oberfläche entworfen (Abbildung siehe Anhang 13-7.5.2 unten). Hier muss der Internetbediener das Struktogramm aus einzelnen "Puzzleteilen" zusammensetzen. Das fertig aufgebaute Struktogramm hat die identische Funktion der zuvor beschriebenen Version. Der Unterschied besteht jedoch darin, dass der Anwender sich vorab anhand einer Aufgabenstellung Gedanken zu der richtigen Reihenfolge

machen muss, damit er das Struktogramm korrekt zusammensetzen kann. Als Hilfsmittel stehen ein "TIP" Knopf zur Verfügung, welcher dem Anwender ein Puzzleteil automatisch an den richtigen Ort bewegt. Die Erweiterung dieser Oberfläche mit neuen Aufgaben könnte durch eine einzige neue Grafik (fertiges Struktogramm) und wenige Ergänzungen in der Internet-Datei realisiert werden. Die Oberfläche ist vorbereitet für beliebig viele unterschiedliche Struktogramme und somit für beliebig viele Aufgaben.

7.5.3 Das Programm KC-Win; alles ist möglich

Kawasaki stellt dem Roboter-Programmierer eine Konsolenanwendung mit dem Namen "KC-Win" zur Verfügung. Über dieses Paket können u.a. Programme editiert und gestartet, Roboter-Parameter geändert und jederzeit Statusinformationen abgefragt werden. Die serielle Anbindung erfolgt an einen handelsüblichen PC. Wird dieses Programm komplett für das Internet fernsteuerbar freigeschaltet (Realisierung siehe Anhang 13-7.5.3), so stehen dem Benutzer mit einem Schlag alle Befehle der Robotersteuerung zur Verfügung. In diesem Befehlspool sind jedoch auch "gefährliche" Befehle enthalten. Beispielsweise könnte eine komplette Initialisierung der Anlage durch nur eine Befehlszeile herbeigeführt werden. Dies darf so sicherheitstechnisch nicht akzeptiert werden.

Dem kann durch gezielte Beschränkung und geschickte Kombination beider Ansätze, wie im Folgenden vorgeschlagen wird, abgeholfen werden:

7.5.4 Unterroutinen ersetzen

Der Herstellungsprozess des Metallzylinders wird durch ein Hauptprogramm gesteuert (Programm "main()", siehe Anhang 13-3.5.2b). Dieses Hauptprogramm ruft nacheinander Unterprogramme auf (sog. Subroutinen), welche einzelne Aufgaben erfüllen (z.B. "s_pallet_pick", "s_pallet_place", "s_spotweld"). Der Ablauf kann ebenfalls vom Internet aus gesteuert werden (siehe Anhang 13-7.5.2). Die verwendeten Subroutinen verwenden nur die bei der Initialisierung (Programm "init()") berechneten Punkte.

Der Internetanwender könnte als mögliche Aufgabe eine der Subroutinen (z.B. "s_pallet_pick" Greifen eines Bauteils von der Palette) neu zu programmieren haben. Die zur Bewältigung dieser Aufgabe benötigten Punkte müssten dem Anwender in der Aufgabenstellung angegeben werden. Die neu programmierte Unterroutine könnte dann über das Internet an die Robotersteuerung übertragen werden (Upload). Dies setzt voraus, dass der Internetanwender sich im Vorhinein (z.B. mittels COSIMIR) den korrekten Ablauf klargemacht hat.

Dem Anwender wird somit einerseits die Freiheit geboten eigene Programme zu schreiben, andererseits durch Einschränkung des Befehlsvorrates jedoch Möglichkeiten weitgehend beschnitten, eine Beschädigung oder Zerstörung der Roboterzelle herbeizuführen.

Konsequent weitergedacht ergibt sich ein mögliches Konzept und Entwicklungsziel, das auf die obigen Einschränkungen verzichtet und statt dessen Plausibilitätsprüfungen dem Upload beifügt. Hierauf wird in Kap. 8 "Ausblicke" näher eingegangen.

7.6 Unterstützung durch Servicepersonal an der realen Anlage

Eine laufende Prozessbeobachtung durch Servicepersonal ist unabdingbar. Angefangen mit der Teilezufuhr der Rohlinge bis hin zu zeitkritischen Handeingriffen bei Fehlfunktion der Schweißanlage – der Service vor Ort ist notwendig! Löst beispielsweise die Abschaltdose am Roboterarm aus, weil der Internetanwender eine falsche Position angefahren hat, so ist solange das gesamte E-Learningsystem lahm gelegt. Der Service müsste in solch einem Fall den Roboter per Teachpanel in eine sicherer Position fahren, die Abschaltdose in einen fehlerfreien Zustand bringen und die Zelle für weitere Versuche wieder freigeben.

Ebenso ist eine Prozessbeobachtung wegen zusätzlicher Gefahren durch Vorgabe falscher Schweißparameter und resultierendem starken Funkenflug bis hin zum Ausbruch von Feuer unbedingt erforderlich.

7.7 Mehrnutzen durch E-Learning

Neben allen technischen Überlegungen zum E-Learning und den Lösungsansätzen hierzu ist auch die betriebswirtschaftliche Frage nach dem "Return of Investment" für den Betreiber solcher Anlagen zu stellen: Lohnt der finanzielle Aufwand des Einbindens von E-Learning in die Gesamtkonzeption der Didaktik? Bringt das E-Learning System einen Mehrnutzen für die Gesamtanlage?

Auch die Personalverantwortlichen auf Seiten der Anwender werden sich die Frage stellen nach dem Sinn und Nutzen eines "weit aufgebohrten" und didaktisch damit komplexen Lernsystems: Welche Personal- und Sachressourcen werden gebunden? Wird die sog. "Eier legende Wollmilchsau" nicht den Lernenden leicht in die Situation bringen, dass er "vor lauter Bäumen keinen Wald mehr sieht" und die Effizienz des Lernens eher gesenkt statt gesteigert wird?

Hier sind zwingend vor Realisierung genaue Bedarfsanalysen durch das Produktmanagement durchzuführen und intensiver Gedankenaustausch zwischen Anbieter und Kunden herzustellen.

Die Tatsache an sich, dass neben den theoretischen Unterweisungen nicht einfach nur softwarerealisierte Simulationen dem Lernenden an die Hand gegeben werden, sondern die praktischen Unterweisungen an der real existierenden Roboterzelle ebenfalls via Internet erfolgen, stellt einen didaktisch nicht hoch genug zu bewertenden Pluspunkt dar, wie in Kap. 7.5 dargelegt.

Die oft zitierten allgemeinen Vorteile von E-Learning bekommen hier (weitergehende) Bedeutung: Praktikum findet nicht mehr (nur) beim Hersteller oder in eigens dafür vorbereiteten Instituten, sondern - der Idee des E-Learnings konsequent folgend - zu Hause oder am Arbeitsplatz in der eigenen Firma statt.

Sicherlich können dem zur Folge begleitend zum theoretischen Unterricht heute bereits kleinere Handhabungsaufgaben problemlos mit dem Roboter gelöst werden und so neben den Eindrücken durch Robotersimulation auch das Verhalten eines realen Roboters praxisnah beobachtet werden.

Ein größeres Problem verbirgt sich beim Schweißen allerdings in der E-Learning-Umgebung. Der Anwender ist meist Schweißfachmann, gewöhnt eine Schweißnaht ständig aus der Nähe zu beobachten, diese gar per Geräusch mit seinem hoch differenzierten Erfahrungsschatz zu bewerten, und während des Schweißvorganges wo nötig direkt einzugreifen. Eine Internetkamera (Webcam) wird diese Prozessnähe durch den Sichtschutz nur sehr eingeschränkt und nur optisch erreichen. Alle "feineren" Schweißprozess-Wahrnehmungen bleiben auf der Strecke.

Nach erfolgtem Schweißvorgang könnte das Schweißteil dem Internetbenutzer zwar in einer Nahaufnahme gezeigt werden, aber auch hier ist der Schweißer gewohnt, das Bauteil in den Händen zu halten und so z.B. durch Biegeversuche und genaue Betrachtung von Einbrand und evtl. Luftpfeinschluss seine Schlussfolgerungen bezüglich der Qualität der Schweißnaht zu ziehen.

7.8 Zusammenfassung

Beginnend mit einigen grundsätzlichen Erläuterungen zum Thema E-Learning, wurden Lösungsansätze zu einem E-Learning System für das behandelte Schweißsystem Roboter-Schweißzelle via Internet aufgezeigt und diskutiert. Den Abschluss bildeten Überlegungen zur Wirtschaftlichkeit und Akzeptanz solcher Lösungen.

Es wurde u.a. gezeigt, dass die bisherige Realisierung des E-Learning Systems über das FESTO-EasyPort nicht optimal war und mit erheblichen Verzögerungen behaftet. Es wurde beschrieben, dass dagegen durch die in dieser Arbeit direkt über die RS232-Schnittstelle neu realisierte Internet-Anbindung der Robotersteuerung die Übertragungszeiten wesentlich herabgesetzt werden konnten unter gleichzeitigem Entfall von Hardware.

Ausblickend kann spekuliert werden, dass die Akzeptanz wächst mit dem Angebot von vergleichsweise einfachen Handlings von Online-Simulationen via Internet bei gleichzeitig hohem Sicherheitsaufwand, der unbemerkt im Hintergrund ablaufen muss. Besonders aber wächst die allgemeine Akzeptanz, wenn es gelingt, dem Lernenden eine Umgebung zu präsentieren, die wesentlich die Gegebenheiten der Praxis widerspiegelt. Dies gelingt um so mehr, je umfassender seine Sinnesorgane mit eingebunden sind.

Sicherlich werden E-Learning Systeme der hier diskutierten Art in naher Zukunft realisiert werden. Es ist auch auf diesem rasch wachsenden Markt damit zu rechnen, dass die Grenzen der Realisierbarkeit und Realisierung schnell weiter nach vorn geschoben werden.

Im folgenden Kapitel werden mögliche Weiterentwicklungen der Gesamtanlage sowie denkbare Features diskutiert.

8 Ausblicke

Während der Beschäftigung mit dem Gesamtthema stellten sich Überlegungen und Erkenntnisse ein, die über die Grenzen der Diplomarbeit führten. Hiervon soll im Folgenden berichtet werden. Zum Teil führen diese Vorschläge zu kleineren Verbesserungen der Roboter-Schweißzelle. Einige Überlegungen sind jedoch auch von grundsätzlicher Art und führen über den derzeitigen Realisierungsstand hinaus.

8.1 *Ausblicke zur Gesamtanlage*

- Der NOTAUS-Knopf der Teachbox und der Robotersteuerung stoppen derzeit nur Roboterbewegungen. Das Schweißgerät ist nicht mit eingebunden und muss separat ausgeschaltet werden (vgl. Kap. 4.4). Dies genügt nicht den einschlägigen VDE-Bestimmungen, die fordern, dass der Gesamtprozess auf schnellst mögliche Weise stillgesetzt und – soweit sicher – energiefrei geschaltet werden muss. Die NOTAUS-Funktion sollte umgehend richtig implementiert werden.
- Die drei verwendeten Paletten liegen derzeit auf drei separaten Palettenhaltern auf (vgl. Kap. 3.4.6). Dies hat den entscheidenden Nachteil, dass alle Palettenhalter einzeln auf der Grundplatte ausgerichtet werden müssen und die Abstände unter den Paletten nicht zwangsläufig gleich sind. Ein neuer Palettenhalter (siehe Abb. 38) könnte hier Abhilfe schaffen, indem er alle drei Paletten aufnehmen würde. Sinnvollerweise müsste zusätzlich zur Verschraubung noch eine Nut bzw. ein Stift in die Führungsschienen der Basisplatte eingreifen, um eine rechtwinklige Ausrichtung zu garantieren.

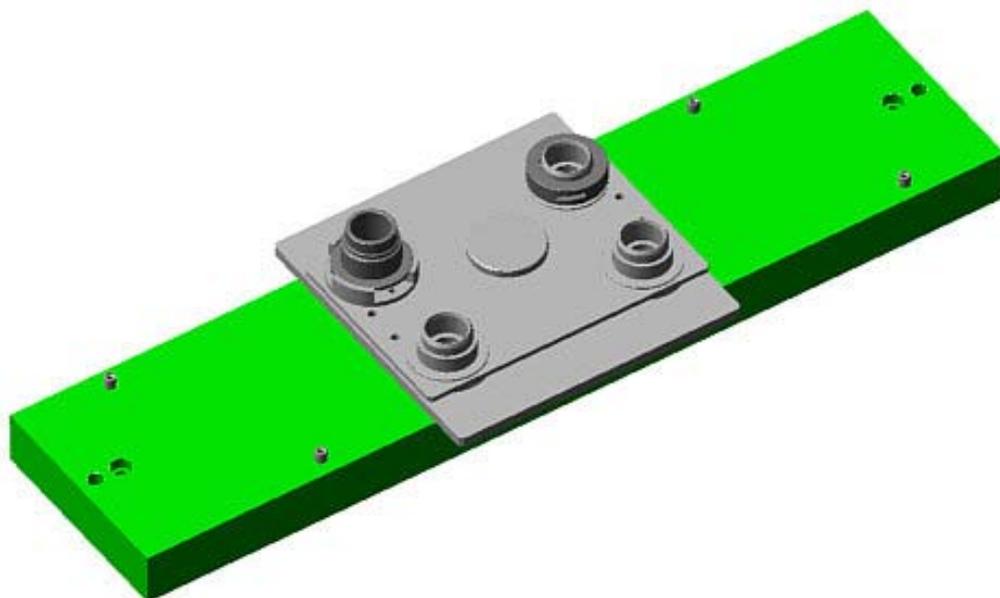


Abb. 38 Dreier-Palettenhalter in einem Bauteil [AKON02]

8.2 Ausblicke zum Kawasaki-Roboter

- In den schweißspezifischen Hilfebildschirmen (z.B. AUX 28 "arc weld condition") sollten alle einstellbaren Parameter mit ihren regulären physikalischen Einheiten eingebbar sein und steuerungsintern der entsprechenden Leitspannung ordnungsgemäß kalibriert zugeordnet werden. Dies ist bedienerfreundlich und würde dazu führen, dass der Bediener nicht nur den Schweißstrom in Ampere sondern auch die Drahtvorschubgeschwindigkeit direkt in cm/min (anstelle von derzeit "Volt") eingeben könnte (vgl. Anhang 13-4.4a).
- Zu Zwecken der Einbindung des "Lernsystems Roboterschweißen" in eine (FESTO) Gesamtanlage bietet Kawasaki eine optionale Profibus-DP-Einsteckkarte für die Robotersteuerung an. Durch diese Karte könnte eine separate SPS (Speicher programmierbare Steuerung) bzw. ein Zellenrechner mit der Robotersteuerung direkt kommunizieren. Preislich liegt diese Karte bei etwa 2200 € (vgl. Anhang 13-4.1b).
- Eine optionale Ethernetkarte (Preis ca. 520 € bei Neukauf eines Roboters) wäre ebenfalls eine mögliche Erweiterung zum zuvor genannte Punkt. Sie könnte separat oder zusammen mit der Profibus-DP-Karte installiert werden.
- Wie in Kapitel 4.3.1 beschrieben sind, bedingt durch die spezielle Schweißsoftware der Robotersteuerung / des Teachpanels, nicht alle Hilfebildschirme vorhanden. Bei Handhabungsrobotern hingegen stehen Hilfebildschirme zur Verfügung, welche z.B. das Einrichten der TCPs erheblich vereinfachen (z.B. AUX 48 "Werkzeugkoordinaten"). Es ist zu empfehlen, auch bei Schweißrobotern diese Hilfsfunktionen (engl. Auxiliary kurz: "AUX") freizuschalten.
- Der Einsatz eines Schweißbrenners, welcher mit seinem Schweißdraht nicht die Z-Achse des TCP-NULL schneidet, ist in dem Hilfebildschirm (AUX 50) der Kawasaki-Robotersteuerung nicht vorgesehen. Hilfreich wäre hier die zusätzliche Aufnahme von Verschiebungswerten auf der X-/Y- und Z-Achse (vgl. Kap. 4.3.1).
- Die Robotersteuerung besitzt einen Überlastschutz. Bei Kollision treten an den Servo-Motoren höhere Ströme auf als im Normalbetrieb. Dies wird von der Robotersteuerung diagnostiziert und als Fehler gemeldet. In neueren Versionen der internen Robotersteuerungssoftware können die Stromgrenzen noch empfindlicher einjustiert werden.
- Wie berichtet können mit dem Roboter Bewegungen ausgeführt werden, welche zu Kollisionen führen können. Es wäre daher aus Anwender- und Herstellersicht sinnvoll, höhere Sicherheit durch Einbringen von Softwarelimits zu erreichen. Diese Limits beschränken die Minimal- / Maximalbewegungen der einzelnen Gelenke. Erste Versuche diese Limits einzurichten führten noch nicht zu befriedigenden Ergebnis-

sen, da sie gleichzeitig die Bewegungsfreiheit des Roboters bei Schweißvorgängen und anderem regulären Bewegungen einschränken.

- Ein bisher nicht befriedigend gelöstes Steuerungsproblem besteht darin, dass, bedingt durch Störungen in zyklischen Bewegungsabläufen des Roboters durch z.B. NOTAUS oder Kollision, dieser nicht nach einer erneuten Initialisierung des Programms aus der aktuellen Position gefahrlos wieder anfahren kann. Dies kann jedoch tatsächlich z.Zt. noch geschehen!

Die einfachste Abhilfe besteht darin, den Automatikbetrieb nur aus definierter Grundstellung freizugeben. In diese müsste per Handbetrieb gefahren werden. Eine elegantere Möglichkeit besteht in der Definition von einstellbaren Arbeitsbereichen (engl. Workspace) (Befehl `DEFSIG`). Da es keine allgemeingültige Lösung für diese Problem gibt muss eine Fallunterscheidung, je derzeitiger Roboterposition, vorgenommen werden. Sobald der TCP des Roboters einen solchen Workspace (s. Abb. 39) durchfährt, wird ein internes Signal geschaltet (eine Variable gesetzt). Dieses Signal für eine definierte Position / einen definierten Bereich kann ausgewertet und für die o.g. Fallunterscheidung genutzt werden.

Beispielweise würde `IF SIGNAL(DEFSIG1) THEN DRAW (50,0,0)` den TCP um 50mm anheben, falls der Roboter in Workspace 1 stehen würde. Maximal sind neun Workspaces definierbar. (z.B. Bereiche Schweißtisch / Palette / Brennerreinigung).

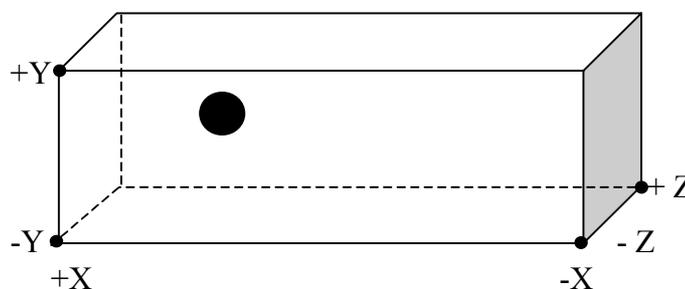


Abb. 39 DEFSIG-Workspace

8.3 Ausblicke zum Thema Schweißen

- Die Überprüfung der Schweißnähte und -punkte incl. Qualitätskontrolle ist bisher nicht implementiert. Mögliche Testverfahren wurden in Kap. 5.5 genannt.
- Derzeit tritt Schweißfunkenflug auch außerhalb der Roboterzelle auf, dies kann zur Beschädigung des Fußbodenbelages und u.U. zu Brand führen. Die Verblitzungsschutzverglasung müsste oben und an den Seiten so abdichten, dass keine Funken mehr austreten können.
- Es wäre von Vorteil, auch andere Schweißquellen als die MIG/MAG Schweißquelle einzusetzen. Ein CO₂-Laser (mit Helium- oder Argongas) oder Diodenlaser böten sich

insofern an, als dass deren Wärmeeinflusszonen geringer als die beim MIG/MAG sind. Dies würde sich positiv auf den verwendeten kleinen Metallzylinder (vgl. Kapitel 3.1, Abb. 3) auswirken. Nachteilig ist jedoch das Hinzukommen weiterer Parameter wie z.B. Gasführungswinkel und Laserfokus.

- Während der Diplomarbeitszeit wurde deutlich, dass präzise Angaben zu Schweißparametern von keinem Befragten gemacht wurden. Vielmehr wurden Erfahrungswerte als Voreinstellwerte verwendet, und die Parameter solange variiert, bis Schweißversuche das erwünschte Ergebnis zeigten. Aussagen wie "ein wenig mehr Draht" oder "...das Blech wird nicht genügen warm, wir benötigen ein bisschen mehr Strom" sind von Haus aus "unscharf", jedoch typisch für den Einsatz von Fuzzi-Logic.

Können Scheißparameterbeziehungen offenbar nicht in einem geschlossenen mathematischen Algorithmus beschrieben werden und dienen auch Schweißtabellen nur dazu, erste Einstellwerte im konkreten Fall zu ermitteln, so kann mit Recht spekuliert werden, dass Fuzzi-Logic einen brauchbaren Lösungsansatz für eine "selbstoptimierende" Schweißnaht darstellen könnte.

Dieses realisiert würde ein Alleinstellungsmerkmal auf dem Markt geben. Durch diese Beschreibungsform von Regelparametern könnte die Problematik komplexer Schweißparameterzusammenhänge möglicherweise in rechenbare Form und ggf. in eine Software eingearbeitet werden, die es derzeit am Markt nicht zu geben scheint.

- Des öfteren wurde angemerkt, dass es günstiger sei, den Metallzylinder selbst zu drehen und die kompliziertere Bahnbewegung des Roboters dadurch zu umgehen. Dies ist sicherlich in der Industrie eine zweckmäßige Lösung. Im "Lernsystem Roboterschweißen" sollen jedoch gerade Probleme dieser Art geschult werden. Ein Umbau der Anlage ist daher nicht empfehlenswert.
- Der derzeit verwendete Schweißtisch bietet eine Aufnahme für das verwendete Metallzylindergehäuse. Andere Rohlingsformen (z.B. für Fallnähte) können nur in sehr begrenztem Maße auf dem Schweißtisch fixiert werden. Es ist zu überdenken, einen Schweißtisch zu entwickeln, welcher es ermöglicht, sämtliche an den SLV-Standorten geschulten Nahtgeometrien ebenfalls schweißen zu lassen. (vgl. Kap. 5.3, Abb. 24b)
- Derzeit verhindert die Fixiereinrichtung (Klemmwirkung von oben) eine 360° kreisinterpolierte Bahnschweißnaht um den Metallzylinder. Auch dies stellt ein in der Industrie real vorkommendes Problem dar und sollte ebenfalls baulich nicht verändert werden. Mögliche Lösungen wurden in Kapitel 6.5 beschrieben.

8.4 Ausblicke zum E-Learning

Auch zum Thema E-Learning sollen einige Gedanken und Verbesserungsvorschläge zum System in Ergänzung zu Kap. 7 angebracht werden:

- Dem E-Learning System sollte eine kurze Online-Hilfestellung hinzugefügt werden.
- Die serielle RS232-Schnittstelle der Robotersteuerung bildet einen "Flaschenhals" bezüglich der Übertragungsrate (nur 9600 kb/s). Wie bereits beschrieben gibt es eine optionale Ethernetkarte, welche mit 10Mbit/s bzw. 100Mbit/s deutlich mehr Daten übertragen würde (vgl. Anhang 13-7.3b). Bei einem Anschaffungspreis von ca. 520 € (bei Neukauf eines Roboters) ist jedoch zu überlegen, ob der Kauf nur für die E-Learning Anbindung empfohlen werden soll, da nur sehr wenige Daten über das Internet übertragen werden. Eine Anschaffung würde sich lohnen, wenn das Lernsystem in eine (FESTO) Gesamtanlage integriert würde (s.o.).
- Die Robotersteuerung verfügt über einen "Hold/Continue"- Schalter, welcher die Roboterbewegung zeitweise anhält. Die Funktion ist ebenfalls softwaremäßig (`hold`, `continue`) ansprechbar. Der Befehl `hold` bremst den Roboter schnellstmöglich ab, ohne die bei einem NOTAUS auftretende Belastung durch abruptes Stoppen zu erzeugen. Dies ist für die Mechanik des Roboters schonend und der häufige Gebrauch von `hold` somit vertretbar.

Eine Einbindung in das E-Learning System ist insofern als lohnenswert zu betrachten, als dass damit dem Bediener die Möglichkeit eröffnet wird, Bewegungsabläufe in Teilschritten zu vollziehen und den Prozess an beliebiger Stelle anzuhalten.

Die Einbindung dieser Befehle ist softwareseitig einfach zu realisieren und bereits erprobt worden.

- Die Einbindung der Robotersimulationssoftware COSIMIR in das E-Learning System und die Übertragung von simulierten Bewegungsprogrammen auf den realen Roboter muss weiter optimiert werden. An erster Stelle stünde dabei die Erstellung eines entsprechenden Compilers, womit die Kawasaki-Programmiersprache "AS" in COSIMIR aufgenommen werden könnte (vgl. Kapitel 7.2.1).
- In Kapitel 7.5.4 wurden die in dieser Arbeit neu geschaffene Bedienerplattform beschrieben und Überlegungen zum Online-Austausch von Roboter-Anwenderprogrammen angestellt.

Die weitestgehende Konzeption eines solchen Austausches im "Lernsystem Roboterschweißzelle" besteht (konsequenter Weise) darin, den gesamten Befehlsvorrat der Kawasaki-Konsolenanwendung "KC-Win" freizugeben und eine beliebige (auch falsche) Reihenfolge der anzufahrenden Teachpunkte zuzulassen. Die damit verbundenen Risiken sowie die Risiken, die das Internet systembedingt, wie weiter

oben beschrieben (vgl. Kap.7.4), in sich trägt, sind in dieser Konzeption durch geeignete Plausibilitätsprüfungen/-programme abzufangen, spätestens bevor ein Upload scharf geschaltet wird.

Da die Unwägbarkeiten des Internet vielschichtig sind und im Sinne der VDE-Vorschriften wohl kaum sicher, geschweige denn "selbstheilend" durch Sicherungsprogramme abgefangen werden können, muss es in diesem Szenario gelingen, alle notwendigen Sicherheits- und Plausibilitätsroutinen ausschließlich auf das physikalisch-mathematisch in sich abgeschlossene System Roboterschweißzelle anzuwenden und zu beschränken.

Mit der Erstellung des o.g. Compilers würde weiterhin die in Kapitel 7.2.2 beschriebene automatische Überprüfung und Diagnose von Bewegungsprogrammen in Hinblick auf ihre Kollisionsfreiheit, vor einem Upload zur realen Robotersteuerung, durch COSIMIR ermöglicht (Plausibilitätsprüfungen).

Gelänge dies, so wäre eine nennenswerte Erweiterung und Flexibilität des E-Learning Systems gewonnen und auch hier ein markantes Alleinstellungsmerkmal für das vorliegende Produkt geschaffen.

9 Danksagung

An dieser Stelle möchte ich allen danken, die zum Entstehen dieser Diplomarbeit beigetragen haben:

- Meinen beiden Betreuern: Prof. Dr. Karras für seine Unterstützung und unkomplizierte Versorgung von kurzfristig benötigten Bauteilen; Prof. Dr. Gebhardt für seine angenehme Art, mich wieder auf den "richtigen Weg" zu bringen,
- dem K-Robotix Team für das angenehme Arbeitsklima welches selbst im Stress meinen Humor nicht untergehen ließ und für die Bereitstellung der Arbeitsmittel,
- dem gesamten AKON Team für die fortdauernde Unterstützung bei technischen Fragen und anregenden Gespräche, welche für willkommene Abwechslung sorgten,
- dem Bendit Team für die eifrige Unterstützung beim Thema E-Learning und die netten Mensa-Gänge, ohne die ich wahrscheinlich verhungert wäre,
- Ulli Reintges, der mir zu Beginn alle wesentlichen Informationen und "Geheimnisse" der Kawasaki-Roboter mitteilte und somit die Einarbeitungszeit verkürzte,
- Jürgen Schöchlin, dem ich nicht nur die detaillierte Einführung ins Roboterschweißen verdanke, sondern der mir mit seiner direkten Art stets mit guten Praxistipps zur Seite stand, wenn die Schweißvorgänge doch einmal "klemmten",
- Jürgen Scholz und Thomas Ammann von der Firma Linde Gas AG für das Bereitstellen umfangreicher Informationen zum Thema Schweißen,
- Matthias Streff und Arie-Stephan Koller, SLV-Fellbach, die zum Ende der Diplomarbeit für mich Zeit fanden und mir mit Informationen, etlichen Hilfestellungen und Gesprächen zum Thema Schweißen wieder "ruhig Blut" machten,
- Herbert Biebl für interessante fachliche Diskussionen und der Bereitstellung von aufschlussreichem Beispiel-Programmcode und Herrn Hammer, welche mich beide in meinen Auffassungen stärkten und mich dem Ziel der Arbeit sehr weiter brachten,
- Peter Gerken, dessen "flinken Fingern" ich die perfekte Ausrichtung der Paletten und die wunderbaren 3D-CAD Zeichnungen zu verdanken habe,
- Olaf Schweer, für stets kompetente Auskünfte zu speziellen Kawasaki-Fragen,
- Uwe Reinhard (BiBa) für die kostenlose mechanische Bearbeitung des Greiferhalters,
- Herrn Kiekert für die schnelle Zusendung und das Sponsoring der Probebleche, ohne die ich die Bahnschweißversuche nicht hätte durchführen können,
- Daniel Sandoval for proofreading my English abstract, and needed input in bad times,
- Georg Gerstenbrand für konstruktive Kritiken und andauernde Motivationschübe,
- schließlich meinen Eltern, die mir durch ihre nicht nur finanzielle Unterstützung mein Studium ermöglichen.

meinen herzlichen Dank!

10 **Abbildungsverzeichnis**

Abb. 1	MPS Station "Sortieren" [FEST02].....	12
Abb. 2	MPS-Kunststoffzylinder [FEST02]	13
Abb. 3	Metallzylindergehäuse [AKON02].....	13
Abb. 4	Roboterschweißzelle [AKON01].....	15
Abb. 5	Kawasaki-Roboter FS03N [KAWA00].....	16
Abb. 6	FESTO-Ventilinsel [FEST02]	16
Abb. 7	AKON Greifersystem	17
Abb. 8	FESTO-Greifer	17
Abb. 9	Binzel-Schweißbrenner (Querschnitt) [DINS02]	17
Abb. 10	Kollisionsabschaltdose (Prinzip / ausgelöste Dose) [SOMM02].....	18
Abb. 11	EWM Schweißgerät (Drahtvorschubgerät, Stromquelle).....	19
Abb. 12	Binzel Gasdüsenreinigung	20
Abb. 13	Schweiß Tisch mit Fixierungen (Vorderansicht)	21
Abb. 14	Schweiß Tisch mit Fixierungen (Seitenansicht).....	21
Abb. 15	Paletten (Draufsicht) [AKON01].....	22
Abb. 16	Paletten (Seitenansicht)	22
Abb. 17	Drehgreifer mit Greifer	23
Abb. 18	Drehgreifer.....	23
Abb. 19	AKON Verblitzungsschutzverglasung [AKON01].....	24
Abb. 20	TEKA Schweißrauchfilterabsauganlage	24
Abb. 21	Bendit E-Learning Anbindung.....	25
Abb. 22	Konfigurationsproblematik	34
Abb. 23	SG/MAG Stammbaum [LIND89].....	39
Abb. 24	Abhängigkeit der Schweißparameter	42
Abb. 24b	Nahtgeometrien im Überblick [KAWA98]	43
Abb. 25	Einfluss Kontaktrohrabstand auf Strom, Einbrandtiefe [SLV 01]	44
Abb. 26	Bahnschweißen, Kreisbahnschweißen [KAWA99].....	48
Abb. 27	Schliffbild (Schutzgaseinfluss) [LIND89].....	50
Abb. 28	Einschweißversuch 1 (Blechdicke 3mm, 5mm)	50
Abb. 29	Einschweißversuch 2 (Drahtvorschubgeschwindigkeit).....	51
Abb. 30	Einschweißversuch 3 (Schweißgeschwindigkeit)	51
Abb. 31	Einschweißversuch 4 (Schweißstrom).....	52
Abb. 32	Einschweißversuch 5 (Gasmengenzufuhr).....	52
Abb. 33	Einschweißversuch 6 (Drahtlänge).....	53
Abb. 34	"a"- Maß einer Kehlnaht.....	53
Abb. 35	Kreisbahnschweißnaht (Metallzylinder).....	54
Abb. 36	Kreisinterpolation	54
Abb. 37	COSIMIR Robotersimulation	59
Abb. 38	Dreier-Palettenhalter in einem Bauteil [AKON02].....	68
Abb. 39	DEFSIG-Workspace	70
Abb. 40	Schaltplan pneumatisch	83
Abb. 41	Schaltplan Relais.....	84
Abb. 42	Schaltplan Anbindung EWM Schweißgerät	84
Abb. 43	Rohlings-Palette (bemaßt) [AKON02].....	89
Abb. 44	Ehemalige Teachpunkte (Übersicht)	91
Abb. 46	Funktionsablaufplan Subroutinen A-D	101
Abb. 45	Funktionsablaufplan main()	101
Abb. 48	Funktionsablaufplan Subroutinen I-L	102
Abb. 47	Funktionsablaufplan Subroutinen E-H	102
Abb. 49	Neue Teachpunkte (Übersicht).....	103
Abb. 50	Neue Teachpunkte (Beschreibung).....	111
Abb. 51	Multifunktionspanel (Gesamtansicht).....	118
Abb. 52	Multifunktionspanel (Standard Statusanzeige)	119

Abb. 53 Multifunktionspanel (frei programmierbarer I/F Bildschirm)	119
Abb. 54 TCP Koordinatensystem [IRF 00]	120
Abb. 55 Schweißbrenner / Greifer -TCP	121
Abb. 56 Achsen / Gelenke [IRF 00]	122
Abb. 57 Arbeitsbereich (Seitenansicht) [KAWA01]	123
Abb. 58 Arbeitsbereich (Aufsicht) [KAWA01]	123
Abb. 59 Lineare Bewegung [IRF 00]	124
Abb. 60 PTP Bewegung [IRF 00]	125
Abb. 61 RoboterAusrichtungsgenauigkeit	127
Abb. 62 Multifunktionspanel (Blocksprache)	132
Abb. 63 Arc Weld Condition - AUX 28 [KAWA98]	133
Abb. 64 Schweißparameter- Zusammenhänge in der Übersicht	135
Abb. 65 Verbindung per FESTO-EasyPort und Bitcodierung: (ehemalig)	137
Abb. 66 Direkte Verbindung per Serieller Schnittstelle (RS 232)	138
Abb. 67 Bendit E-Learning System	139
Abb. 68 E-Learning System Puzzle	139
Abb. 69 Bendit KC-Win Webinterface	140

11 Tabellenverzeichnis

Tab. 1 Projektplan	81
Tab. 2 Wochenübersicht	82
Tab. 3 Schaltplan E/A-Belegung	85
Tab. 4 Schweißstromquelle Datenblatt [EWM 00]	87
Tab. 5 Drahtvorschubgerät Datenblatt [EWM 00]	88
Tab. 6 ehemaliger Quellcode (Bitmuster)	93
Tab. 7 Technische Daten (Roboter) [KAWA01].....	115
Tab. 8 Leitspannung für Drahtvorschubgeschwindigkeit	134
Tab. 9 Schweißparametertabelle [DVS 72].....	136

12 Quellenverzeichnis

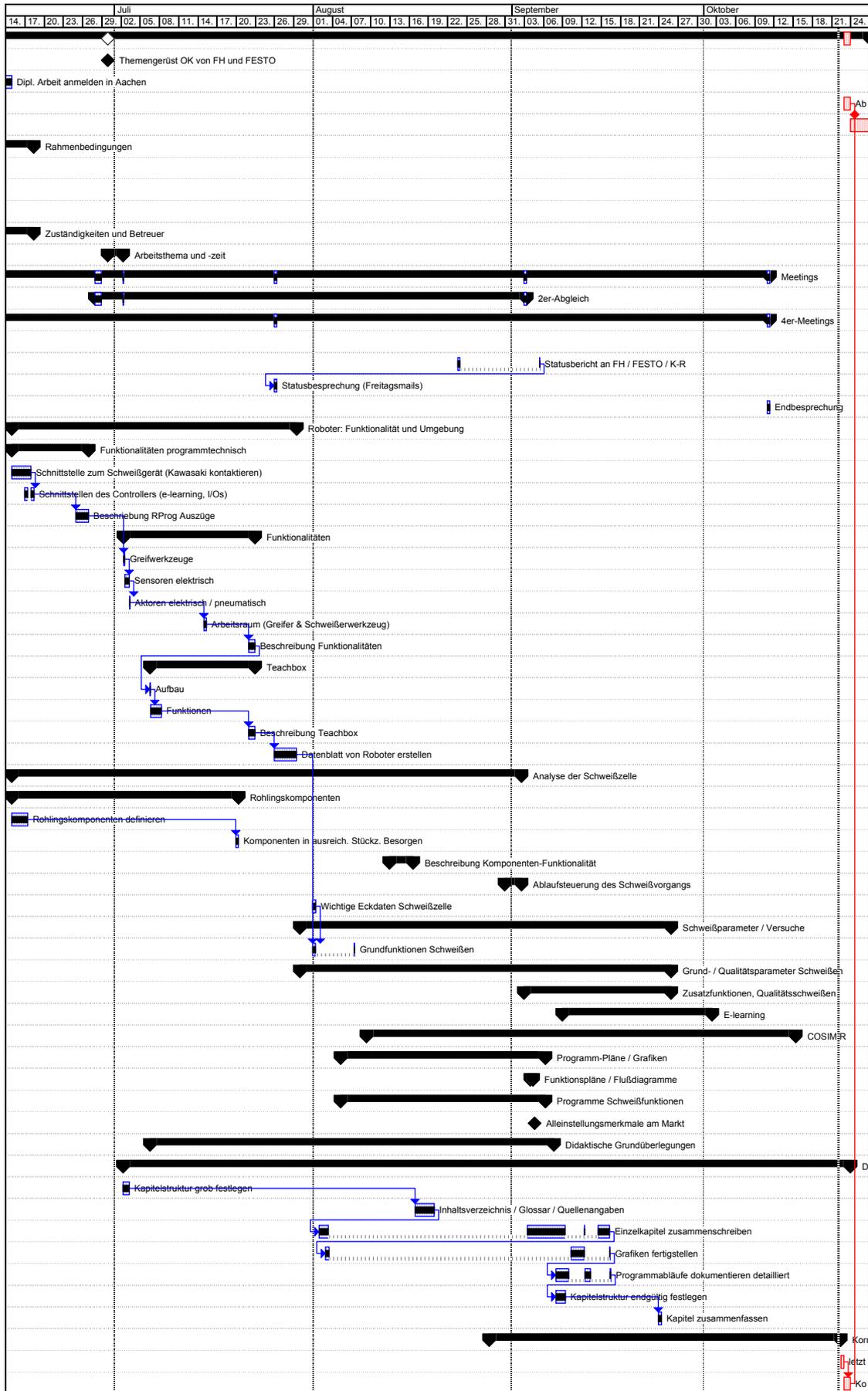
- [ABB 01] ABB GmbH
FlexArc Compact Schweisszelle (<http://www.abb.com/global/atabb> -Aktuelles)
ABB GmbH Österreich, (2001)
- [AKON01] AKON Bildarchiv
AKON CAD-Services, Bremen (2001)
- [AKON02] Gerken, Peter
SolidWorks 3D-CAD Zeichnungen
AKON CAD-Services, Bremen (2002)
- [DINS02] DINSE Roboter- und Automatschweißsysteme - Prospekt
Dinse GmbH, Hamburg (2002)
- [DVS 72] Aichele, G.
Leistungskennwerte für Schweißen, Schneiden und verwandte Verfahren
Deutsche Verlag für Schweißtechnik (DVS), Fachbuch Schweißtechnik Nr. 72
- [EWM 00] Dr. Günter
Betriebsanleitung Triton 260DC / Weldon Drive 4L
EWM Hightec Welding GmbH, Mündersbach (2000)
- [FEST02] FESTO Didactic GmbH & Co
<http://www.festo.com/didactic/shop.asp> / <http://catalog.festo.com> (Onlineshop)
FESTO Didactic GmbH & Co, Denkendorf (2002)
- [IRF 00] EF-Robotertechnik GmbH,
COSIMIR Robotics Assistant, COSIMIR Educational Hilfe-Datei
Institut für Roboterforschung, Dortmund (2000)
- [KAPE02] Timmler, Ulrike
Der e-learning-presseclub (<http://www.e-learning-presseclub.de/elpc/profil.htm>)
[kapete] OHG, Köln (2002)
- [KAWA98] Kawasaki Heavy Industries Ltd
OPERATION MANUAL, Arc Welding Specification, Supplementary Edition
Kawasaki Heavy Industries Ltd, Japan (1998)
- [KAWA99] Kawasaki Heavy Industries Ltd
Exclusive for Arc Welding, AS LANGUAGE REFERENCE MANUAL
Kawasaki Heavy Industries Ltd, Japan (1999)
- [KAWA00] Kawasaki Robotics GmbH
C3X/C4X/C70 Controller Installationshandbuch
Kawasaki Robotics GmbH, Neuss (2000)
- [KAWA01] Kawasaki Robotics GmbH
FS-Serie, Handbuch für Aufstellung und Anschluss Reparatur und Wartung
Kawasaki Robotics GmbH, Neuss (2001)

- [KROB02] *Peters, Rolf, K-Robotix, Dr.-Ing. Heidenreich, Ing. Büro Heidenreich
ROBOTIK-LERNSYSTEM für Schweißtechnologie
K-Robotix, Bremen (2002)*
- [LIND89] *Pomaska, Hans-Ulrich
MAG-Schweißen "Kein Buch mit sieben Siegeln"
Linde AG, Verlag Manz AG, 1. Auflage (1989)*
- [LIND99] *Dr.-Ing. Trube
Auswahl von Schutzgasen zum Schweißen von Stahlwerkstoffen
Linde AG, Höllriegelskreuth (1999)*
- [PCB 02] *PC Business
E-Learning (<http://www.pcbusiness-online.de/magazin/learning/index.shtml>)
PC Business (2002)*
- [SOMM02] *Crash Schutz C80 (<http://www.sommer-automatic.com>)
Sommer Automatic (2002)*
- [SLV 01] *Metall Schutzgasschweißen Manuskript
SLV Fellbach (GSI), Fellbach (2001)*

13 Anhang

Die Nomenklatur des Kap. 13 weist hinter dem Bindestrich auf das jeweilige Kapitel/ Unterkapitel der vorliegenden Arbeit hin, zu dem entsprechende weiterführende, präzisierende Angaben gemacht werden. Dadurch ist eine eindeutige Zuordnung zwischen laufendem Text und Anhang sowie ein rasches Auffinden gegeben.

13-2.3a	Projektplan	81
13-2.3b	Wochenübersicht.....	82
13-3.4a	pneumatischer Schaltplan	83
13-3.4b	elektrische Schaltpläne	84
13-3.4.1	6-Achsen-Roboter	86
13-3.4.2a	Technische Daten Greifer.....	86
13-3.4.2b	Technische Daten Schweißbrenner	86
13-3.4.2c	Technische Daten Kollisionsabschaltdose	87
13-3.4.3a	Technische Daten Stromquelle	87
13-3.4.3b	Technische Daten Drahtvorschubgerät	88
13-3.4.4	Technische Daten Gasdüsenreinigung	88
13-3.4.5	Technische Daten Schwenk-Modul	88
13-3.4.6	Relativbewegungen an der Palette.....	89
13-3.4.7	Technische Daten Drehgreifer.....	90
13-3.4.8	Technische Daten Verblitzungsschutzverglasung	90
13-3.4.9	Technische Daten Schweißrauchfilterabsauganlage (optional).....	90
13-3.5.1	Ehemaliger Quellcode	91
13-3.5.2a	Funktionsablaufpläne des neuen Quellcodes	101
13-3.5.2b	Neuer Quellcode	103
13-3.5.2c	Neuer Quellcode – Abbildungen der Teach-Punkte	111
13-4a	Geschichte des Roboters	114
13-4b	Technische Daten des Kawasaki FS03N	115
13-4.1a	Einführung in die Robotersteuerung (Controller).....	116
13-4.1b	Technische Daten der Robotersteuerung.....	117
13-4.2	Multifunktionspanel.....	118
13-4.3.1a	Der Tool Center Point (TCP)	120
13-4.3.1b	Einrichtung des TCPs.....	121
13-4.3.2a	Definition Freiheitsgrad / Achsen.....	122
13-4.3.2b	Arbeitsbereich des FS03N.....	123
13-4.3.3.1	Das Kartesische Verfahren.....	124
13-4.3.3.2	Das PTP Verfahren	125
13-4.3.5a	Wiederholgenauigkeit.....	126
13-4.3.5b	Absolute Positioniergenauigkeit	126
13-4.3.5c	Einfluss der RoboterAusrichtungsgenauigkeit	127
13-4.3.6.1a	Befehle der AS Programmiersprache	128
13-4.3.6.1b	Besondere AS - Schweißbefehle.....	130
13-4.3.6.1c	KC-Win AS-Befehle	131
13-4.3.6.2	Die Blocksprache	132
13-4.4a	Schweiß-Konditionen (AUX 28).....	133
13-4.4b	Leitspannung für Drahtvorschubgeschwindigkeit	134
13-5.3	Schweißparameter-Zusammenhänge in der Übersicht	135
13-6.2	Schweißparameter Tabelle.....	136
13-7.3a	E-Learning: Anschluss per EasyPort.....	137
13-7.3b	E-Learning: Anschluss via serieller Schnittstelle RS232	137
13-7.5.2	E-Learning: Bedieneroberfläche	139
13-7.5.3	E-Learning: KC-Win Webinterface	140



13-2.3b Wochenübersicht

Mo 17.06.	Telefonat mit Morgenthaler (Herr Schöchlin) - bestätigung das Schweißdüse Z-Achse schneiden muss!
Di 18.06.	Gebhard Tel. / Karras Tel. Wegen Greiferflansch offset der Schweißdüse
Mi 19.06.	Bendit - Webinterface mit Serieller Schnittstelle RS232 realisiert (Kai Schäfer war bei K-Robotix)
Do 20.06.	Test Webinterface - Javascript Seite optimiert - somit Eingabe von Befehlen und Ausgabe von KC-Win ok
Mo 24.06.	(Schulung) Gespräche mit Herrn Hammer / Schulklasse bei K-Robotix (Vorstellung der Zelle) / Greifer- Flansch bei BiBa Abgegeben / Internetzugang K-robotix mit Nordcom/EWE
Do 27.06.	Fahrt n. DENKENDORF - Struktur der Diplarbeit erarbeitet - Meeting Denkendorf (siehe Protokoll)
Mo 01.07.	Unterlagen von Linde-Gase über MIG/MAG Schweißen kommen/ Flansch fertig
Di 02.07.	Organisatorische / AOK / FESTO / Struktur in einzelne Dateien unterteilen
Mi 03.07.	Roboter Flansch von BiBa, alte Position einrichten für Demo am Do, / Karras auf DVS Vortrag aufmerksam
Do 04.07.	DVS Präsentation vor ca. 40 K-Robotix Mitstreitern
Fr 05.07.	Unterlegscheibe von BiBa , Greifer TCP einrichten
Di 09.07.	Greifer und Brenner TCP Tests - erfolgreiche entpalletierung ist möglich mit JM palette+TRANS(x,y,z...)
Mi 10.07.	Telefonat mit Morgenthaler (Herr Schöchlin) - Tips zu Bahnschweißen gegeben - JT6 nutzen, schnellgenug verfahren, Blocksprache verwenden -Schweißparameter wurden kurz genannt 60cm/min ~90A ~5V
Do 11.07.	Erreichbarkeitsuntersuchung / Verschiebung der Komponente auf der Grundplatte - Ergebniss, da das Bahnschweißen möglichst über die JT6 Achse gesteuert werden sollte (Geschwindigkeit) muss der Roboterflansch Parallel zur Grundplatte gehalten werden Roboter und Drehwender wurden leicht
Fr 12.07.	Word: Grobstruktur mit Inhaltsangabe / Cosimir Educational Online Hilfe durchgearbeitet & zitiert
Mo 15.07.	Roboter Flansch war nicht wie in Zeichnung abgebildet, sondern 3mm kleiner, manuelle Messung der Abstände und ebenfalls Auslesen aus der Zeichnung und berechnen der Verschiebungsvektoren für Greifer
Di 16.07.	Eingrenzung: Robotergrundlagen sind Voraussetzung max. erwähnen
Mi 17.07.	Ausdruck von ARC-Weld / AS Bewehlen Document 90203-1032 folgende - AS Befehle testen
Do 18.07.	Pick & place - Problem, das (noch) keine Übergabeparameter bekannt sind, Offset bei 170mm bereits mehrere mm! Roboter scheint nicht 100% Ausgerichtet / wieder einmal verschoben zu sein !
Fr 19.07.	Gespräch mit Kawasaki Neuss, Herr Schweer (lokale Variablen / Übergabeparameter / Ext. Kommunikation / Einrichten von TCP (wenn es nach 2 Tagen nichts bringt ist ggf das Zeroring nicht ok - 2mm ist dann schon Kapitel 6 & Anhang (aus Cosimir und Kawasaki Beschreibungen)
Do 25.07.	Einkauf & Abschaltdose angeschlossen: / Sensorkabel / pnp sensor / relais / druckminderer / ventilisel
Fr 26.07.	Isolation von Brennerhalterung nicht gegeben -> Buchse muss direkt an Düse !!!
Mo 29.07.	Schweikarte von Kawa Neuss abgeholt / Fahrt nach Morgenthaler / Brennerhalterung bei BiBa?
Di 30.07.	MORGENTHALER Schweißausbildung von Herrn Schöchlin / AS Weld Commands
Do 01.08.	2. Tag bei Morgenthaler / Kauf von Stromdüse. Gasdüse und Sichtschutzhäube
Mo 05.08.	Pick & place-Problem endlich behoben: Peter Gerken Paletten auf 1/100 ausgerichtet, Pick and Place
Di 06.08.	Schweißtest (bisher ohne gute Einstellungen), Draht läuft 2sec nach => alles aus/an=initialisierm !!
Mi 07.08.	Kapitel 6 Korrektur bearbeitet - PTP / Linear Bewegung noch unklar definiert
Do 08.08.	Überblick versch(l)affen / Unterlagen sortieren und verschiedenen Versionen beseitigen
Fr 09.08.	LED an Abschaltdose angeschlossen , (Who is Who in Automatisierungstechnik)
Mo 12.08.	Daniels (FESTO US) Besuch in D. besprochen/Bahn-Wiederholgenauigkeit / Unterlagen sortieren / steuern
Di 13.08.	Kapitel 6 weiter / Anhang zu 6 / Kaptiel 5 u.a. aus DVS(Peters) erstellt und fast fertig / Anhang zu 6 /
Mi 14.08.	Kapitel 5 & Anhang / Anhang aufgeräumt
Do 15.08.	Kawa: 3/2 Ventil in Ventilinsel eingebaut und
Sa 17.08.	Bilder von Robi & co mit neuer Cam erstellt / Bilder bearbeitet / retauschiert
Mo 19.08.	Korrektur Kap 5-6 inkl Anhang, Einbindung Bilder in Kap. 5 (Muchacha)
Di 20.08.	Palettensensoren anschließen / Flußdiagramme / Programme teachen / alten Zustand erreichen
Mi 21.08.	Flußdiagramme / Programme teachen / alten Zustand erreichen (Punktschweißen)
Fr 23.08.	Flußdiagramme
Sa 24.08.	Daniels (FESTO US) Besuch in D. / Dipl Arbeit korrigieren S1-18
Mi 28.08.	Teachpunkte teach_g_* erstellt, Berechnungen für Punkte in init(), pp_de.pg verfeinern/ u.a. mit Herbert Biebl besprochen: umgebungspunkte #help_.... Über jedem teach_g_* Punkte fest programieren, damit
Do 29.08.	Dipl Arbeit korrigieren
Fr 30.08.	Erstellen von main()
Sa 31.08.	Analyse von Cosimir Ablauf, "Photos" von Greifpunkten von Simulation erstellen
So 01.09.	Übersetzen von V+ Cosimir programm in "AS" Sprache (init.pg / main.pg / subs.pg)
Mo 02.09.	Test AS Programm / Einrichten der Hilfspunkte #above_... / Einrichten der abstände in init() / Drehwender
Mi 04.09.	Bahnschweißnaht 270 Grad klappt
Do 05.09.	letze Test des Programmes main()
Fr 06.09.	Bahnschweiversuche mit 40x40 Blechen
Sa 07.09.	Test von 360Grad Bahnschweißnaht -> Schlauchpaket ist weiterhin Problem !
Di 10.09.	Webinterface von Kai(Bendit) überarbeitet (von mir auch noch mal) und Probleme mit Webcam !!
Mi 11.09.	Vorstellung der Zelle für SLV Fellbach/Hilfe von SLV Mitarbeitern bei Einmessen der Zelle/TIPs für
Fr 13.09.	C1Move / C2Move Kreisinterpolation teilweise leicht ungenau und abweichend von Kreisradius - FEHLER
Sa 14.09.	Kap. 5 weiterschreiben
So 15.09.	Relaxen / Korrektur Kap 6/Angang eingearbeitet
Mo 16.09.	Winword -Fehler bei Fillialdokumenten welche noch in bearbeitung sind ("Änderungen verfolgen"), Struktur
Di 17.09.	Puzzle Programiert / überarbeitet als ausblick einer neuen E-Learning Oberfläche
Do 19.09.	Schweißversuche (Einschweißversuche) / Videos aufgenommen / Bei K-Robotix aufräumen / Korrektur
Fr 20.09.	Videos auf 30s komprimiert / Einknopfregelung als Kompfortables Schweißgerät inkl Datenbank ca 10 000 Eur im gegensatz zu einfacher Schweißanlage (ca. 1400 Eur) /Kapitel überarbeitet / (Karras aus Urlaub) / Quellenangaben überprüfen lassen / Termin für Kolloq. 6 Nov !? / Schliffbild bei BIAS besprochen / BilderCD
Mo 23.09.	für Kap 7Schweißparametr in VISO aufgelistet -> Überprüfung durch SLV-Fellbach / Heidenreich ?
Di 24.09.	Kap 7 Schweiß- Grundlagen / Anhang erweitert (alle extr. Dateien eingebunden) / E-learning Puzzle
Mi 25.09.	Kap 8 Schweißtest / Alles zu einem Dokumente / Kapitel gelöscht / Neue Nummerierung erstellt / Umzug /
Fr 27.09.	Kap 8 Schweißtest / Alles zu einem Dokumente / Kapitel gelöscht / Neue Nummerierung erstellt / Umzug /
Mi 02.10.	Visio Grafiken eingebettet / Abb verlinkt / Abb,Tab per Hand nummeriert / Word neue Seitenränder &
Fr 04.10.	100 Jahre FH-Aachen 7 Vortrag ...Korrekturen...
Mi 23.10.	Abgabe der Diplomarbeit (3342 Zeilen , 23666 Worte , 161178 Buchstaben , 185785 Zeichen)

Tab. 2 Wochenübersicht (Ausschnitt)

13-3.4b elektrische Schaltpläne

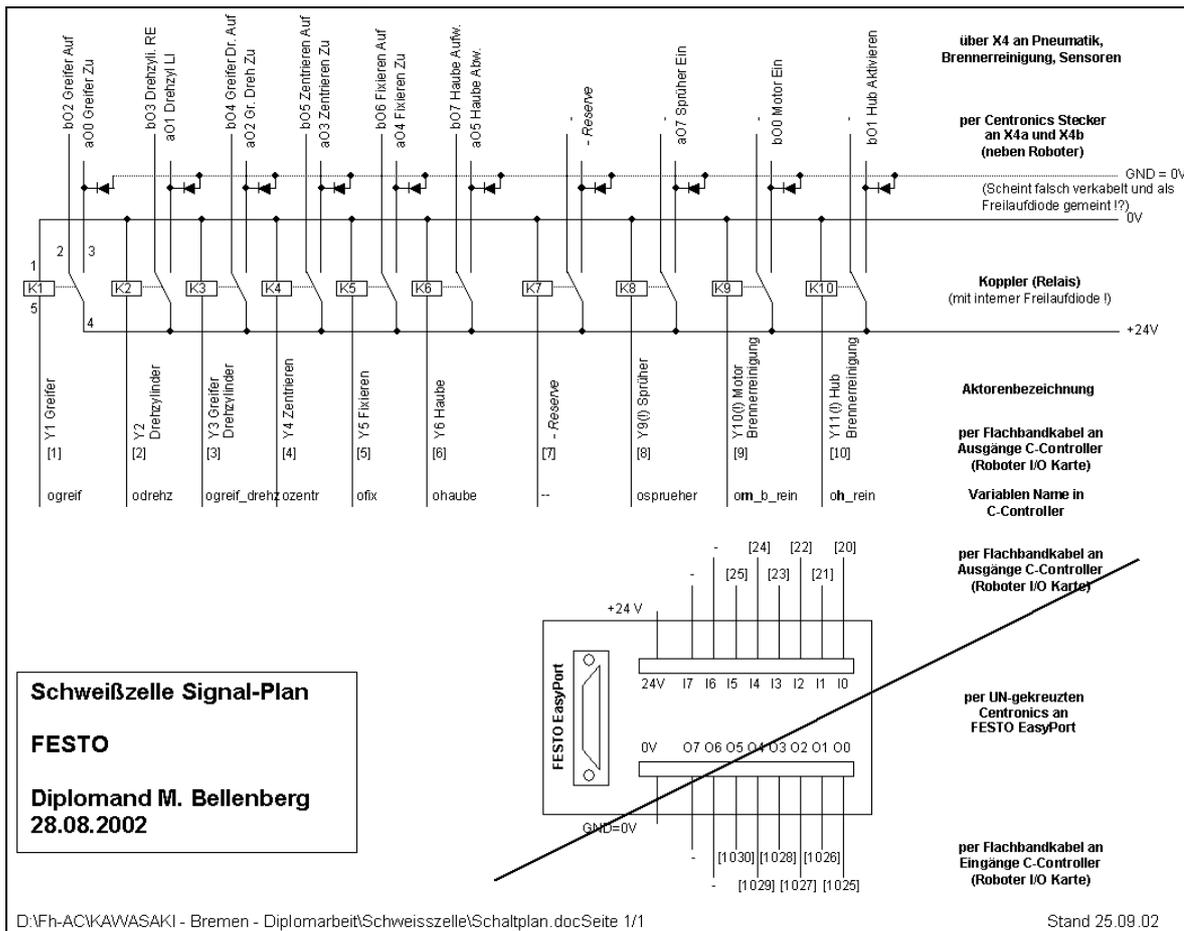


Abb. 41 Schaltplan Relais

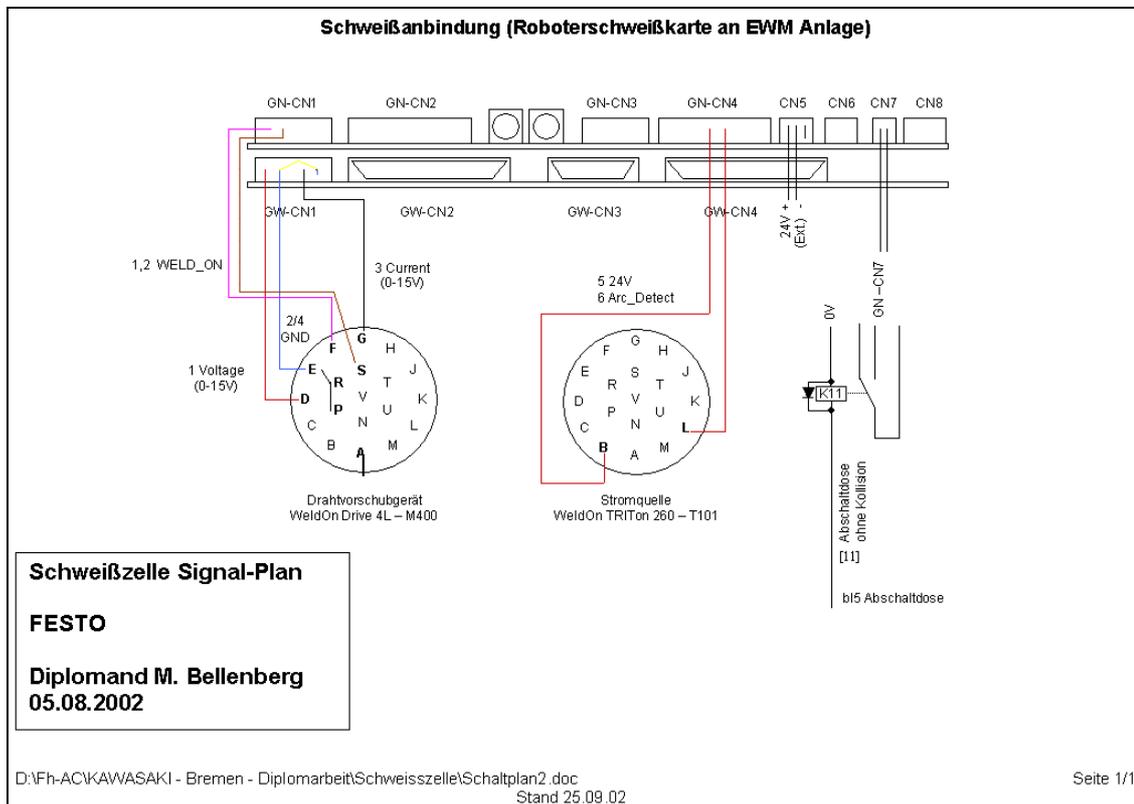


Abb. 42 Schaltplan Anbindung EWM Schweißgerät

I/O Belegung Schweißzelle		FESTO				25.09.02	
Ausgänge des Controllers							
Bezeichnung	Ventilinsel	Aktor	Klemme X4 (neben Rob.)	Klemme X3	Koppler(Relais)	Sub-D 37 Stecker	Ausgänge C-Controller Variablen
Griener Zu	Y1	Y1	a 00	49	K1 Schließer	1	1 o_gripper
Griener Auf		Y1	b 02 (1)	37	K1 Öffner		- o_gripper
Drehzylinder links	Y2	Y2	a 01	50	K2 Schließer	2	2 o_turnleft
Drehzylinder rechts	Y2	Y2	b 03	38	K2 Öffner		- o_turnright
Drehzylinder Griener Zu	Y3	Y3	a 02	51	K3 Schließer	3	3 o_turngripper
Drehzylinder Griener Auf	Y3	Y3	b 04	39	K3 Öffner		- o_turngripper
Zentrieren Zu	Y4	Y4	a 03	52	K4 Schließer	4	4 o_center
Zentrieren Auf	Y4	Y4	b 05	40	K4 Öffner		- o_center
Fixieren Zu	Y5	Y5	a 04	53	K5 Schließer	5	5 o_fix
Fixieren Auf	Y5	Y5	b 06	41	K5 Öffner		- o_fix
Haube Zu	Y6	Y6	a 05	54	K6 Schließer	6	6 o_hood
Haube Auf	Y6	Y6	b 07	42	K6 Öffner		- o_hood
(Reserve-Relais)			a 06	55	K7 Schließer	7	7 -
Kollisions-Abschaltdose ein (monostabil)	Y7	Y7	+24V direkt	-	-	-	-
(Reserve S/2 Ventil)	Y8	-	-	-	-	-	-
Sprüher Ein (monostabil)	Y9	Y9	a 07	56	K8 Schließer	8	8 o_spray
Brennerreinigung Motor (monostabil)	Y10	Y10	b 00	57	K9 Schließer	9	9 o_cleanerturn
Brennerreinigung Hub (monostabil)	Y11	Y11	b 01	58	K10 Schließer	10	10 o_cleanerup
Profibus-DP: Anlage in Betrieb	-	-	-	-	-	11	11
Profibus-DP: Anlage wartet	-	-	-	-	-	12	12
Stromquelle: Start	-	-	-	-	-	13	13 o_weldstart
Stromquelle: Reserve 1	-	-	-	-	-	14	14 o_weld_at0
Stromquelle: Reserve 2	-	-	-	-	-	15	15 o_weld_at1
Stromquelle: Reserve 3	-	-	-	-	-	16	16 o_weld_at2
AC	-	-	-	-	-	17	-
VIN1 = +24V von Extern	-	-	-	-	-	18	-
VIN2 = +24V von Extern	-	-	-	-	-	19 (rot)	-
Reserve	-	-	-	-	-	20	17
Reserve	-	-	-	-	-	21	18
Reserve	-	-	-	-	-	22	19
Reserve	-	-	-	-	-	23	20
EasyPort (Webinterface) Handshake	-	(10)	-	-	-	24	21 ..
EasyPort (Webinterface) Bit 0001	-	(11)	-	-	-	25	22 ..
EasyPort (Webinterface) Bit 00010	-	(12)	-	-	-	26	23 ..
EasyPort (Webinterface) Bit 00100	-	(13)	-	-	-	27	24 ..
EasyPort (Webinterface) Bit 01000	-	(14)	-	-	-	28	25 ..
EasyPort (Webinterface) Bit 10000	-	(15)	-	-	-	29	26 ..
Reserve	-	-	-	-	-	30	27
Reserve	-	-	-	-	-	31	28
Reserve	-	-	-	-	-	32	29
Reserve	-	-	-	-	-	33	30
Reserve	-	-	-	-	-	34	31
Reserve	-	-	-	-	-	35	32
COM1 = GND = 0V von Extern	-	-	-	-	-	36	-
COM2 = GND = 0V von Extern	-	-	-	-	-	37	-

AKONSchweisBelegung2.xls

Seite 1/2

I/O Belegung Schweißzelle		FESTO				25.09.02	
Eingänge des Controllers							
Bezeichnung			Klemme X4 (neben Rob.)	Klemme X3	Sub-D 37 Buchse	Eingänge C-Controller Variablen	
Profibus-DP: Startsignal	-	-	-	-	1 (rot)	1001	
Profibus-DP: Typkennung Bit 0	-	-	-	-	2	1002	
Profibus-DP: Typkennung Bit 1	-	-	-	-	3	1003	
Profibus-DP: Typkennung Bit 2	-	-	-	-	4	1004	
Griener ist auf		a 10	21	-	5	1005 i_gripper_opened	
Griener ist zu		a 11	22	-	6	1006 i_gripper_closed	
Drehzylinder ist rechts		a 12	23	-	7	1007 i_turn_onright	
Drehzylinder ist links		a 13	24	-	8	1008 i_turn_onleft	
Griener Drehzylinder ist Auf		a 14	25	-	9	1009 i_turn_opened	
Griener Drehzylinder ist Zu		a 15	26	-	10	1010 i_turn_closed	
Zentrierschlitten ist Auf		a 16	27	-	11	1011 i_center_opened	
Zentrierschlitten ist Zu		a 17	28	-	12	1012 i_center_closed	
Fixierung ist Auf		b 10	29	-	13	1013 i_fix_opened	
Fixierung ist Zu		b 11	30	-	14	1014 i_fix_closed	
Haube ist oben		b 12	31	-	15	1015 i_hood_opened	
Haube ist unten		b 13	32	-	16	1016 i_hood_closed	
AC	-	-	-	-	17	-	
COM1 = GND = 0V von Extern	-	-	-	-	18	-	
COM2 = GND = 0V von Extern	-	-	-	-	19	-	
Kollisions-Abschaltdose ohne Kollision		b 14	33	-	20	1017 i_no_collision	
Palette 1 ist vorhanden		b 15	33	-	21	1018 i_pallet1_ok	
Palette 2 ist vorhanden		b 16	33	-	22	1019 i_pallet2_ok	
Palette 3 ist vorhanden (neben Dreher)		b 17	33	-	23	1020 i_pallet3_ok	
Stromquelle: Lichtbogen steht (>0)	-	-	11	-	24	1021 i_arc_ok	
Stromquelle: Reserve 1	-	-	12	-	25	1022	
Stromquelle: Reserve 2	-	-	13	-	26	1023	
Stromquelle: Reserve 3	-	-	14	-	27	1024	
EasyPort (Webinterface) Handshake		(00)	-	-	28	1026 ..	
EasyPort (Webinterface) Bit 00001		(01)	-	-	29	1026 ..	
EasyPort (Webinterface) Bit 00010		(02)	-	-	30	1027 ..	
EasyPort (Webinterface) Bit 00100		(03)	-	-	31	1028 ..	
EasyPort (Webinterface) Bit 01000		(04)	-	-	32	1029 ..	
EasyPort (Webinterface) Bit 10000		(05)	-	-	33	1030 ..	
Reserve	-	-	-	-	34	1031	
Reserve	-	-	-	-	35	1032	
AC	-	-	-	-	36	-	
AC	-	-	-	-	37	-	
Hub Brennerreinigung ist unten	-	(nicht verwendet)	-	-	-	-	

AKONSchweisBelegung2.xls

Seite 2/2

Tab. 3 Schaltplan E/A-Belegung

13-3.4.1 6-Achsen-Roboter

Technische Daten des Kawasaki FS03N siehe Anhang 13-4b.

Technische Daten der Robotersteuerung siehe Anhang 13-4.1b.

Multifunktionspanel siehe Anhang 13-4.2.

Arbeitsbereich des FS03N siehe Anhang 13-4.3.2b.

13-3.4.2a Technische Daten Greifer

FESTO Dreipunktgreifer - HGD-16-A (174819) [FEST02]

Funktionsweise : doppelwirkend

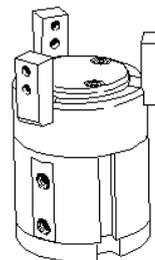
Betriebsdruck: 2 bar - 8 bar

Produktgewicht: 0.11 kg

Nenn-Greifkraft: 30 N (Schließen) / 40 N (Öffnen)

Nennzeit: 5 ms (Öffnen/Schließen)

Wiederholgenauigkeit(+/-) 0.02 mm



2x Ausgänge: ("Greifer AUF/ZU")

FESTO-Näherungsschalter SME-8-K-LED-24 (150855) [FEST02]

Betriebsspannung: 10-30V (24V) / PNP

Schaltstrom/Leistung max. 500 mA / max. 10 W

Schutzart: IP67



Beschreibung der TCPs siehe Anhang 13-4.3.1b.

13-3.4.2b Technische Daten Schweißbrenner

Binzel MIG/MAG-Schweißbrenner "ROBO 24" (luftgekühlt).

Brennerhals in gerader Ausführung incl. Schlauchpaket mit integriertem Ausblasschlauch und Zentralstecker zum maschinenseitigen Anschluss.

Brennerhals wurde speziell für das "Lernsystem Roberschweißen" von Binzel gekürzt.

Technische Daten nach EN 50 078:

Belastung: 180 A CO₂

150 A Mischgas

80% ED

Draht- Ø: 0,8 - 1,0 mm

13-3.4.2c Technische Daten Kollisionsabschaltdose

Sommer-automatic Crash-Schutz CS-80 [SOMM02]

Handlingsgewicht: max 6 kg (empfohlen)

Wiederholgenauigkeit $\pm 0,05$ (axial / radial)

Belastung: FA 460 N / Mr 20,0Nm / My 8,5Nm (vgl. Kap. 3.4.2, Abb. 10)

Betriebsdruck: 0,5 – 6 bar

Ausmaße: Durchmesser: 79mm / Höhe: 56mm / Flansch: 50 H7

Gewicht: 0,4 kg

13-3.4.3a Technische Daten Stromquelle

1 Technische Daten

1.1 TRITON 260

		TRITON 260		
Einstellbereich: Schweißstrom / -spannung		5A/ 10,2V – 260A/ 20,4V		
WIG		5A/ 20,2V – 230A/ 29,2V		
E-Hand		5A/ 14,3 – 240A/ 26V		
MIG/MAG				
max. Schweißstrom bei		WIG	E-Hand	MIG/MAG
20°C Umgebungstemperatur:				
50%ED		260A	230A	240A
60%ED		240A	210A	220A
100%ED		190A	160A	170A
40°C Umgebungstemperatur:				
25%ED		260A	230A	240A
35%ED		230A	200A	210A
60%ED		170A	150A	160A
100%ED		130A	110A	120A
Lastspiel		10min (60% ED Δ 6 min Schweißen, 4min Pause)		
Leerlaufspannung		93V		
Netzspannung (Toleranzen)		3 x 400V (-25% - +15%) 3 x 415V (-25% - +10%) 3 x 415V (-25% - +10%)		
Frequenz		50/60 Hz		
Netzsicherung (Schmelzsicherung träge)		3 x 16A		
Netzanschlußleitung		4 x 1,5mm ²		
max. Anschlußleistung		10,8kVA		
empf. Generatorleistung		14,6kVA		
cos ϕ / Wirkungsgrad		0,99 / 89%		
Isolationsklasse / Schutzart		H / IP 23		
Umgebungstemperatur		-10°C bis +40°C		
Gerätekühlung / Brennerkühlung		Lüfter / Gas		
Werkstückleitung		35mm ²		
Maße L/B/H [mm]		560 x 245 x 365		
Gewicht		ca. 24,5Kg		
gebaut nach Norm		VDE 0544, EN 60 974-1,  -Zeichen, ...		

Tab. 4 Schweißstromquelle Datenblatt [EWM 00]

13-3.4.3b Technische Daten Drahtvorschubgerät

Technische Daten

	WELDON DRIVE 4L
Versorgungsspannung	42VAC
max. Schweißstrom bei 60%ED	500A
Drahtvorschubgeschwindigkeit	0,5m/min bis 24m/min
Standard-DV-Rollenbestückung	1,0 + 1,2mm (für Stahldraht)
Umgebungstemperatur	-10°C bis +40°C
Brenneranschluß	Euro-Zentral / Dinse-Zentral
Antrieb	4-Rollen (37mm)
Schutzart	IP 23
Maße (LxBxH) in mm	690 x 300 x 410
Gewicht ohne Zubehör incl. Zwischenschlauchpaket 1,5m	ca. 20,5kg
Gebaut nach Norm	EN 60974 / IEC 60974 / VDE 0544 EN 50199 / VDE 0544 Teil 206 S-Zeichen / CE

Tab. 5 Drahtvorschubgerät Datenblatt [EWM 00]

13-3.4.4 Technische Daten Gasdüsenreinigung

Binzel Brenner-Reinigungsstation BRS-LC

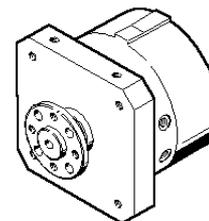
Gewicht: ca. 10 kg
 Schutzart: IP 21 - DIN 40 050
 Arbeitsdruck: 5 - 8 bar
 Nenndurchfluß: 500 l/min
 Nenndrehzahl: 300 U/min
 5/2 Wegeventil: 24 V DC / 4,5 W

1 Ausgang: Induktiver Näherungsschalter - Schließer (PNP) ("Reinigung unten")
 Betriebsspannung: 10 - 30 V DC / ca. 4 mA bei 24 V
 Dauerstrom: max. 200 mA

13-3.4.5 Technische Daten Schwenk-Modul

FESTO Schwenk-Modul DSM-16-270-P-FW (157658) [FEST02]

Funktionsweise: doppelwirkend
 Nenschwenkwinkel: 270° - Endlagen / Schwenkbereich verstellbar
 Betriebsdruck: 1.8 bar - 10 bar
 Produktgewicht: 0.45 kg
 Drehmoment: bei 6 bar 2.5 Nm
 Dämpfungsart: Dämpfungsring intern (nicht einstellbar)



2x Ausgänge: (Fixierung AUF/ZU)
 FESTO-Näherungsschalter SIEN-M5B-PS-S-L (150371) [FEST02]
 Betriebsspannung: 10-30V (24V) / PNP
 Spannungsfall: maximal 2 V
 Schutzart: IP67
 Gewinde: M5 (Sensor) / M 8x1 (Steckverbindung)



13-3.4.6 Relativbewegungen an der Palette

Abstand zweier Paletten	170 mm
Abstand Aufnahmen 1-2 bzw. 3-4	114 mm
Abstand Aufnahmen 1-3 bzw. 2-4	66 mm

Tool "Greifer" Ausmaße festlegen (siehe Programm init()):

```
>POINT tcp_gripper=TRANS(0,154,74.9,90,90,-90)
```

Tool "Greifer" TCP wählen:

```
>TOOL tcp_gripper
```

Punkt "teach_g_pallet" teachen:

```
>HERE teach_g_pallet
```

X[mm]	Y[mm]	Z[mm]	O[deg]	A[deg]	T[deg]
73	400	-220	177	179	85 (ungefähre Angaben)

Bewegung in Werkzeug-Koordinatensystem:

```
>DO lm teach_g_pallet + TRANS ( ax,ay,az, rx,ry,rz)
```

```
>DO jm teach_g_pallet + TRANS ( ax,ay,az, rx,ry,rz)
```

Bewegung in Basis-Koordinatensystem:

```
>DO lm SHIFT (teach_g_pallet BY ax,ay,az )
```

```
>DO jm SHIFT (teach_g_pallet BY ax,ay,az )
```

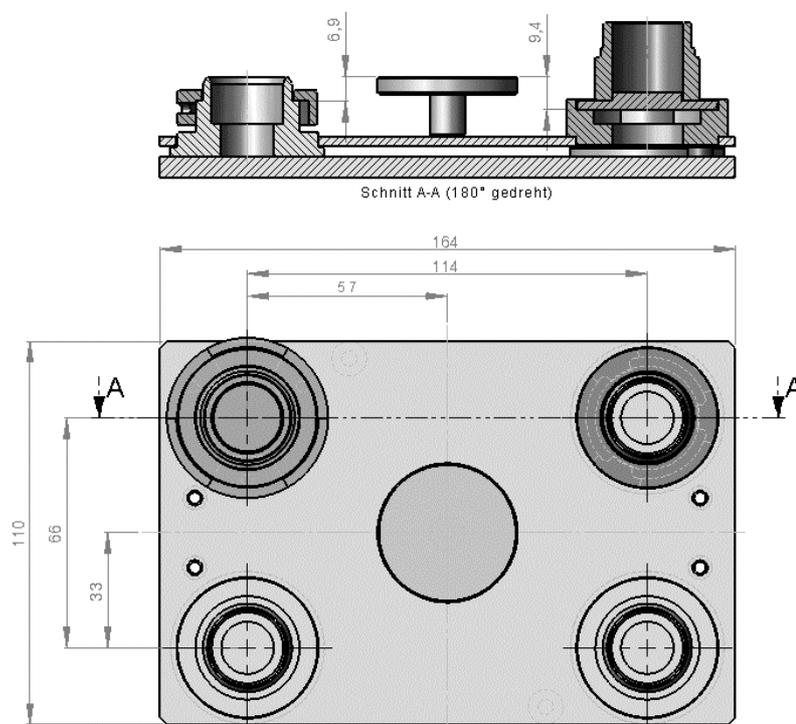


Abb. 43 Rohlings-Palette (bemaßt) [AKON02]

3x Sensoren: FESTO-Näherungsschalter SIES-V3B-PS-S-L (150491) [FEST02]

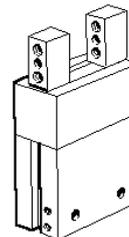
Betriebsspannung: 10-30V (24 V) / PNP / Schließer

Spannungsfall: maximal 3.2 V Leerlaufstrom maximal 9 mA

13-3.4.7 Technische Daten Drehgreifer

FESTO Parallelgreifer HGP-16-A-B (197545) [FEST02]

Funktionsweise	doppeltwirkend
Antrieb:	2 Zylinder parallel
Betriebsdruck:	2-8 bar
Produktgewicht:	0.174 kg
Nenn-Greifkraft:	108 N (Schließen) / 120 N (Öffnen)
Nennzeit	60 ms (Schließen) / 44 ms (Öffnen)



2x Ausgänge: ("Drehgreifer AUF/ZU")

FESTO-Näherungsschalter SME-8-K-LED-24 (150855) [FEST02]

Betriebsspannung: 10-30V (24V) / PNP

Schaltstrom/Leistung max. 500 mA / max. 10 W

Schutzart: IP67



Technische Daten FESTO-Schwenk-Modul siehe 13-3.4.5.

13-3.4.8 Technische Daten Verblitzungsschutzverglasung

2x Ausgänge: ("Drehgreifer AUF/ZU")

FESTO-Näherungsschalter SME-8-K-LED-24 (150855) [FEST02]

s.o.

13-3.4.9 Technische Daten Schweißrauchfilterabsauganlage (optional)

TEKA CAREMASTER (BIA-geprüft) mechanische Filteranlage, Typ SF-BIA - Klasse W 3

Ventilator: 2.500 m³/h

Motor: 1,1kW 400V 50Hz

Schweiß- W 3 Unlegierte Stähle, legierte Stähle mit Legierungsbestandteilen

rauchklasse: von z.B. Nickel und Chrom,

(hochlegierte Stähle mit x > 30%, Nickelbasislegierungen)

Preis: ca. 2.500 € (Stand 2002)

"Fahrbare Hochleistungsschweißrauchfilter für industrielle Absaugprobleme, insbesondere für das Absaugen von Rauchen, die beim thermischen Bearbeiten von Edelmetallen entstehen. Ausgerüstet mit einem Vorfilter, Taschenfiltern mit hoher Filterfläche sowie einer Schwebstofffilterendstufe, in der Lage ist, feinste Bakterien und Mikroben zu filtern. Incl. Filterüberwachung, Dichtsitzhebeeinrichtung, Betriebsstundenzähler."

Quelle: www.tekanet.de

13-3.5.1 Ehemaliger Quellcode

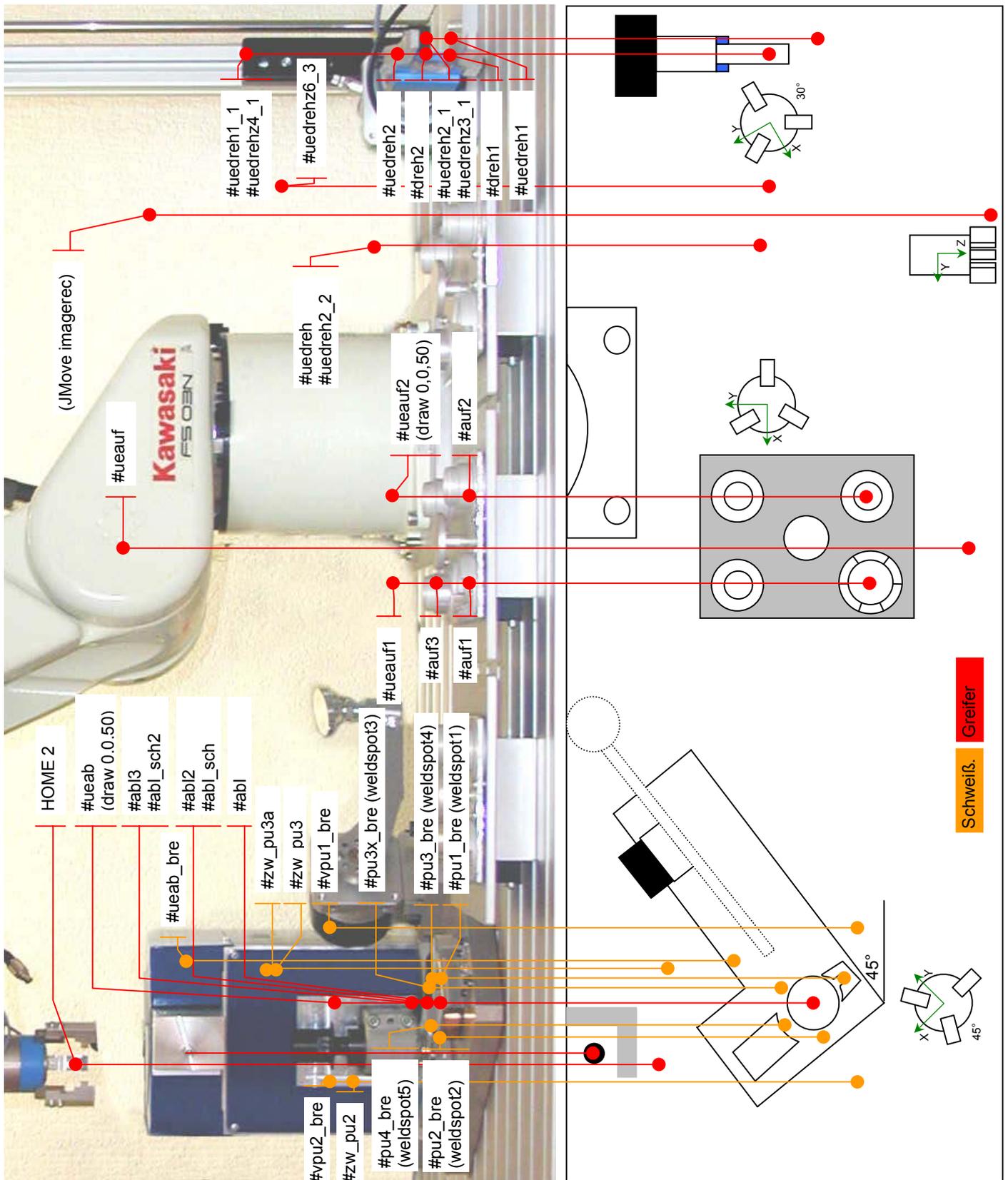


Abb. 44 Ehemalige Teachpunkte (Übersicht)

Programm der Schweißzelle vom 22.05.02

```

Documentation by Markus Bellenberg FEESTO 07.05.2002
*****
* AS Version: version 014F01NJ 01/05/14 11:13
* No = 1 JTDI[ : A1B0K-FNZJ :2000.09:19 FS003N-A001
*****

;PROGRAM cleanip0
MOVE #bre1
MOVE #bre2
SPEED 30 ALWAYS
ACCURACY 1 ALWAYS
MOVE #bre3
BREAK
SIGNAL (oh_b_rein) ;CLEAN BURNER
SIGNAL (om_b_rein)
TWAIT 3
SIGNAL (-om_b_rein)
SIGNAL (-oh_b_rein)
TWAIT 0.5
;MOVE BACK TO HOME POSITION
SPEED 100 ALWAYS
ACCURACY 20 ALWAYS
MOVE #bre2
MOVE #bre1
;MOVE #abbi
BREAK
PULSE osprueher;1 ;CLEAN CLEANER
HOME 2
.END

;PROGRAM cloos0
1; RETURN
2; SIGNAL (ohaube)
3; SWAIT (ihau_lint)
4; PULSE (ost_start);0.5
5; SIGNAL (-ohaube)
6; SWAIT (ihau_ob)
.END

;PROGRAM cloosp10
1;Erster Schweißpunkt
2; RETURN
3; SIGNAL (ohaube)
4; SWAIT (ihau_lint)
5; AS JOINT SPEEDS9 ACCU4 TIMER0 ARC_SPOT0 OX= WX= .....
#51.701,43.513,-108.62,-122.53,-17.874,121.171;
6; SIGNAL (-ohaube)
7; SWAIT (ihau_ob)
.END

```

Page 1 of 14
D:\FA-ACKA\WASAKI - Bremen - Diplomarbeit\Schweißzelle\Quelle - Dokumentation vom 07.05.2002.doc

Programm der Schweißzelle vom 22.05.02

```

;PROGRAM cloosp20
;Zweiter Schweißpunkt
RETURN
SIGNAL (ohaube)
SWAIT (ihau_lint)
AS JOINT SPEEDS9 ACCU4 TIMER0 ARC_SPOT0 OX= WX= .....
#72.344,67.726,-50.988,24.888,-67.934,40.3561;
SIGNAL (-ohaube)
SWAIT (ihau_ob)
.END

;PROGRAM cloosp30
;Dritter Schweißpunkt
RETURN
SIGNAL (ohaube)
SWAIT (ihau_lint)
AS JOINT SPEEDS9 ACCU4 TIMER0 ARC_SPOT0 OX= WX= .....
#62.905,47.945,-85.025,-1.61,-50.74,190.451;
SIGNAL (-ohaube)
SWAIT (ihau_ob)
.END

;PROGRAM cloosp40
;Vierter Schweißpunkt
SIGNAL (ohaube)
SWAIT (ihau_lint)
AS JOINT SPEEDS9 ACCU4 TIMER0 ARC_SPOT0 OX= WX= .....
#49.245,43.385,-107.63,-106.2,-20.123,88.0481;
SIGNAL (-ohaube)
SWAIT (ihau_ob)
.END

;PROGRAM cloosp50
;Fuefter Schweißpunkt
SIGNAL (ohaube)
SWAIT (ihau_lint)
AS JOINT SPEEDS9 ACCU4 TIMER0 ARC_SPOT0 OX= WX= .....
#79.887,53.904,-91.437,69.863,-40.209,20.0521;
SIGNAL (-ohaube)
SWAIT (ihau_ob)
.END

```

Page 2 of 14
D:\FA-ACKA\WASAKI - Bremen - Diplomarbeit\Schweißzelle\Quelle - Dokumentation vom 07.05.2002.doc

Programm der Schweißzelle vom 22.05.02

```

.PROGRAM fullprog0
    TWAIT 1
    SIGNAL 20,-21,-22,-23,-24,25
    CALL homeposition
    SIGNAL -20

state1:
    CASE BITS(1025,6) OF
    VALUE (35):
        TWAIT 1
        SIGNAL 20,21,-22,-23,-24,25
        CALL topartone
    ANY:
        TWAIT 1
        GOTO state1
    END
    SIGNAL -20

state2:
    CASE BITS(1025,6) OF
    VALUE (37):
        TWAIT 1
        SIGNAL 20,-21,-22,-23,-24,25
        CALL partonetoweld
    ANY:
        TWAIT 1
        GOTO state2
    END
    SIGNAL -20

state3:
    CASE BITS(1025,6) OF
    VALUE (39):
        TWAIT 1
        SIGNAL 20,21,-22,-23,-24,25
        CALL weldpartone
    ANY:
        TWAIT 1
        GOTO state3
    END
    SIGNAL -20

state4:
    CASE BITS(1025,6) OF
    VALUE (41):
        TWAIT 1
        SIGNAL 20,-21,-22,-23,-24,25
        CALL releasepart
    ANY:
        TWAIT 1
        GOTO state4
    END
    SIGNAL -20

state5:
    CASE BITS(1025,6) OF
    VALUE (43):
        TWAIT 1
        SIGNAL 20,21,-22,-23,-24,25
        CALL inagerec
    VALUE (47):
        TWAIT 1
        SIGNAL 20,21,22,23,-24,25
        CALL putinspinner
    ANY:
        TWAIT 1
        GOTO state5
    END
    -----Besonderheit: (kein Rückbit ?---
    CASE BITS(20,6) OF
    VALUE (45):
        RESET
        RETURN
    ANY:
        TWAIT 1
        SIGNAL -20
    END

state6:
    CASE BITS(1025,6) OF
    VALUE (49):
        TWAIT 1
        SIGNAL 20,-21,-22,-23,-24,25
        CALL toparttwo
    ANY:
        TWAIT 1
        GOTO state6
    END
    SIGNAL -20

state7:
    CASE BITS(1025,6) OF
    VALUE (51):
        TWAIT 1
        SIGNAL 20,-21,-22,-23,-24,25
        CALL parttwotoweld
    ANY:
        TWAIT 1
        GOTO state7
    END
    SIGNAL -20
    
```

Programm der Schweißzelle vom 22.05.02

```

state8:
    CASE BITS(1025,6) OF
    VALUE (63):
        TWAIT 1
        SIGNAL 20,-21,-22,-23,-24,25
        CALL puttogether
    ANY:
        TWAIT 1
        GOTO state8
    END
    SIGNAL -20

state9:
    CASE BITS(1025,6) OF
    VALUE (65):
        TWAIT 1
        SIGNAL 20,21,22,-23,-24,25
        CALL weldingphase
    ANY:
        TWAIT 1
        GOTO state9
    END
    SIGNAL -20

state10:
    CASE BITS(1025,6) OF
    VALUE (67):
        TWAIT 1
        SIGNAL 20,-21,-22,-23,-24,25
        CALL weldparttwo
    ANY:
        TWAIT 1
        GOTO state10
    END
    SIGNAL -20

state11:
    CASE BITS(1025,6) OF
    VALUE (69):
        TWAIT 1
        SIGNAL 20,21,-22,-23,-24,25
        CALL getwholepart
    ANY:
        TWAIT 1
        GOTO state11
    END
    SIGNAL -20

state12:
    CASE BITS(1025,6) OF
    VALUE (61):
        TWAIT 1
        SIGNAL 20,-21,-22,-23,-24,25
        CALL turning
    ANY:
        TWAIT 1
        GOTO state12
    END
    SIGNAL -20

state13:
    CASE BITS(1025,6) OF
    VALUE (63):
        TWAIT 1
        SIGNAL 20,21,22,-23,-24,25
        CALL turnandfinish
    ANY:
        TWAIT 1
        GOTO state13
    END
    SIGNAL -20

    CALL cleanip
    RESET
    RETURN
.END
    
```

Programm der Schweißzelle vom 22.05.02

```

PROGRAM getwholepart()
SIGNAL -ogreif
SWAIT igrel_auf
JMOVE #ueab
SPEED 30 ALWAYS
ACCURACY 1 ALWAYS
JMOVE #abl_scht2
BREAK
SIGNAL odreif
SWAIT igrel_zu
SIGNAL -ozentr
SWAIT izentr_auf
JMOVE #ueab
SPEED 100 ALWAYS
ACCURACY 20 ALWAYS
HOME 2
END

PROGRAM hml_main()
;USER SELECTS WHAT THEY WANT TO RUN
P%EXECUTE 2; sp
CALL hml

start:
CASE BITS(1025.6) OF
VALUE (1):
    TWAIT 1
    SIGNAL 20,-21,-22,-23,-24,-25
CALL homeposition
    SIGNAL -20
VALUE (3):
    TWAIT 1
    SIGNAL 20,21,-22,-23,-24,-25
    SIGNAL -ozentr
    TWAIT 3
    SIGNAL -20
VALUE (5):
    TWAIT 1
    SIGNAL 20,-21,22,-23,-24,-25
    SIGNAL -ozentr
    SWAIT izentr_auf
    SIGNAL -20
VALUE (7):
    TWAIT 1
    SIGNAL 20,21,22,-23,-24,-25
    SIGNAL -otix
    SWAIT fhx_zu
    SIGNAL -20

```

Page 5 of 14
D:\FH-ACKA\WASAKI - Bremen - Diplomarbeit\Schweißzelle\Quellecode - Dokumentation vom 07.05.2002.doc

Programm der Schweißzelle vom 22.05.02

```

VALUE (9):
    TWAIT 1
    SIGNAL 20,-21,-22,-23,-24,-25
    ;TAKE OFF TOP GRIPPER
    SWAIT fhx_auf
    SIGNAL -20
VALUE (11):
    TWAIT 1
    SIGNAL 20,21,-22,-23,-24,-25
    SIGNAL (ohaube)
    SWAIT (ihau_unt)
    SIGNAL -20
VALUE (13):
    TWAIT 1
    SIGNAL 20,-21,22,-23,-24,-25
    SIGNAL -ohaube
    SWAIT ihau_ob
    SIGNAL -20
VALUE (15):
    TWAIT 1
    SIGNAL 20,21,-22,-23,-24,-25
    SIGNAL (odrehz)
    SWAIT (idrehz_lf)
    SIGNAL -20
VALUE (17):
    TWAIT 1
    SIGNAL 20,-21,-22,-23,-24,-25
    SIGNAL -odrehz
    SWAIT idrehz_re
    SIGNAL -20
VALUE (19):
    TWAIT 1
    SIGNAL 20,21,-22,-23,-24,-25
    SIGNAL -ohaube
    SWAIT ihau_ob
    CALL cleanfp
    SIGNAL -20
VALUE (33):
    TWAIT 1
    CALL fullprog
    TWAIT 1
    any:
END
GOTO start
END

```

PROGRAM cleanfp ; Hauptfunktionen (Schweißvorgang)

Page 6 of 14
D:\FH-ACKA\WASAKI - Bremen - Diplomarbeit\Schweißzelle\Quellecode - Dokumentation vom 07.05.2002.doc

Programm der Schweißzelle vom 22.05.02

```

.PROGRAM/nomenposition()
;MAKES SURE THAT THE WORCK CELL IS HOMED
ACCURACY 10 ALWAYS
;ROLL UP SCREEN
SWAIT ihau_ob
;CHECK THAT SCREEN IS UP
;OPEN GRIPPER
SWAIT igrel_auf
;CHECK THAT GRIPPER IS OPEN
;OPEN LOWER GRIPPER
SWAIT izentri_auf
;CHECK THAT LOWER GRIPPER IS OPEN
SWAIT ofix_auf
;TAKE OFF TOP GRIPPER
SWAIT fix_auf
;CHECK THAT TOP GRIPPER IS OFF
;GO TO HOME POSITION
HOME 2
.END

.PROGRAM/imagenc()
;CHECK THAT THE SCREEN IS UP
SWAIT ihau_ob
;MOVE PART TO SPINNING GRIPPER
JMOVE #1,028,66,845,-21,827,84,575,-92,35,-211,12]
TWAIT 1
;SIGNAL-20
SIGNAL-20

trash:
CASE BITS(1025,6) OF
VALUE (46):
SIGNAL 20,-21,22,23,-24,25
CALL toss
RETURN
VALUE (47):
SIGNAL 20,21,22,23,-24,25
CALL putinspinner
ANY : GOTO trash
END

.END

.PROGRAM/init
1,*****Ausgangssignale*****
2  ogreih = 1
3  odrehz = 2
4  ogreif_drehz = 3
5  ozentri = 4
6  ofix = 5
7  ohaube = 6
8  ospueher = 8
9  om_b_reih = 9
10 om_b_reih = 10
11 opp_an_bett = 11
12 opp_an_wart = 12
13 osl_start = 13
14 osl_bit0 = 14
15 osl_bit1 = 15
16 osl_bit2 = 16

17,*****Eingangssignale*****
18 ipb_start = 1001
19 ipb_bit0 = 1002
20 ipb_bit1 = 1003
21 igrel_auf = 1005
22 ofix_zu = 1006
23 idrehz_ii = 1007
24 idrehz_ie = 1008
25 idrehz_auf = 1009
26 idrehz_zu = 1010
27 izentri_auf = 1011
28 izentri_zu = 1012
29 ifix_auf = 1013
30 ifix_zu = 1014
31 ihau_ob = 1015
32 ihau_unt = 1016
33 ih_b_rei = 1017
34 ilichtb = 1021
35,*****
36 SIGNAL (opp_an_wart)
.END

```

Page 7 of 14
D:\FA-ACKA\WASAKI - Bremen - Diplomarbeit\Schweißzelle\Quelle - Dokumentation vom 07.05.2002.doc

Programm der Schweißzelle vom 22.05.02

```

.PROGRAM/partnetoweld()
;MOVES PARTONE TO THE WELDING STATION
;MAKE SURE THAT WELDING GRIPPERS ARE OPEN
;MOVE TO THE PART TO THE WELDING STATION
;MOVE TO THE PART TO THE WELDING STATION
ACCURACY 1 ALWAYS
LMOVE #ab0
BREAK
;LET GO OF THE PART
SWAIT igrel_auf
LMOVE #ueab
SPEED 100 ALWAYS
ACCURACY 20 ALWAYS
HOME 2
;GRIP THE PART ON THE WELDING PLATFORM
SWAIT izentri_zu
.END

.PROGRAM/partwotoweld()
;PUT THE TWO PARTS TOGETHER AT THE WELDIN STATION
;MAKE SURE WELDING STATION GRIPPERS ARE RETRACTED
;MOVE PARTTWO INTO POSITION
ACCURACY 1 ALWAYS
LMOVE #ab02
BREAK
TWAIT 0.1
;UNGRIP PART AND CLAMP WITH LOWER WELDING CLAMP
SIGNAL -ogreif
SIGNAL ozentri
SWAIT izentri_zu
SIGNAL -ogreif
SWAIT igrel_auf
LMOVE #ueab
SPEED 100 ALWAYS
ACCURACY 20 ALWAYS
HOME 2
.END

```

Page 8 of 14
D:\FA-ACKA\WASAKI - Bremen - Diplomarbeit\Schweißzelle\Quelle - Dokumentation vom 07.05.2002.doc

Programm der Schweißzelle vom 22.05.02

```

.PROGRAM putinspinner0
SIGNAL-ohaube
SWAIT hau_ob
;CHECK THAT THE SCREEN IS UP
;MOVE PART TO SPINNING GRIPPER
JMOVE #uedreh
SIGNAL-ogreif_drehz
;MAKE SURE TURNING GRIPPER IS OPEN
SWAIT idrehz_auf
;AND ORIENTED CORECTLY
SIGNAL-odrehz
SWAIT idrehz_re
;MOVE PART INTO TURNING GRIPPER
LMOVE #uedreh1
SPEED 30 ALWAYS
ACCURACY 1 ALWAYS
LMOVE #dreh1
BREAK
SIGNAL ogreif_drehz
;GRIP AND TURN PIECE
SWAIT idrehz_zu
SIGNAL-ogreif
;MOVE ARM AWAY FROM GRIPPER
SWAIT igrel_auf
LMOVE #uedreh1_1
SPEED 100 ALWAYS
ACCURACY 20 ALWAYS
JMOVE #uedreh
.END

.PROGRAM puttogether0
SIGNAL-ohaube
SWAIT hau_ob
;MAKE SURE THAT THE SCREEN IS UP
SIGNAL odrehz
;ROTATE PARTONE
JMOVE #uedreh
SWAIT idrehz_II
SIGNAL-ozentri
;MOVE TO ROTATING GRIPPER TO PICK-UP PARTONE
JMOVE #uedreh2
SPEED 30 ALWAYS
ACCURACY 1 ALWAYS
LMOVE #dreh2
BREAK
SIGNAL ogreif
;GRIP PARTONE
SWAIT igrel_zu
SIGNAL-ogreif_drehz
;RELEASE PART FROM ROTATING GRIPPER
SWAIT idrehz_auf
SWAIT zentri_zu
;MOVE AWAY FROM ROTATING GRIPPER
LMOVE #uedreh2_1
LMOVE #uedreh2_2
SPEED 100 ALWAYS
ACCURACY 20 ALWAYS
LMOVE #uedreh
;MAKE SURE THAT SCREEN IS UP
SIGNAL-ohaube
SWAIT hau_ob
.END

```

Page 9 of 14
D:\FH-ACKA\WASAKI - Bremen - Diplomarbeit\Schweisszelle\Quelle\code - Dokumentation vom 07.05.2002.doc

Programm der Schweißzelle vom 22.05.02

```

.PROGRAM releasepart0
SIGNAL-ogreif
SWAIT igrel_auf
;RELEASES THE WELDING CLAMPS
JMOVE #ueab0
;MOVE TO WELDING STATION
SPEED 20 ALWAYS
ACCURACY 1 ALWAYS
LMOVE #ab0_sch
BREAK
SIGNAL ogreif
;GRAB WELDED PART
SWAIT igrel_zu
SIGNAL-ozentri
SWAIT izentri_auf
;MOVE WITH PART TO THE HOME POSITION
DRAW 0,0,50
SPEED 100 ALWAYS
ACCURACY 20 ALWAYS
HOME 2
.END

.PROGRAM sp0
1 MC speed 60 ; Max. Speed to 60% needs to be called as a PC-Program !!
.END

.PROGRAM topartone0
JMOVE #ueauf
;COLLECTS PART ONE FROM THE PALLET
ACCURACY 1 ALWAYS
;MOVE TO PART ONE WITH SERIES OF
SPEED 60 ALWAYS
;APPROACH MOVES
JMOVE #ueauf1
SPEED 20 ALWAYS
LMOVE #auf1
BREAK
SIGNAL ogreif
;GRIP THE PART
SWAIT igrel_zu
;CHECK THAT THE PART IS CORRECTLY GRIPPED
LMOVE #ueauf1
;MOVES BACK TO HOME POSITION WITH THE PART
SPEED 60 ALWAYS
ACCURACY 10 ALWAYS
JMOVE #ueauf
SPEED 100 ALWAYS
HOME 2
.END

```

Page 10 of 14
D:\FH-ACKA\WASAKI - Bremen - Diplomarbeit\Schweisszelle\Quelle\code - Dokumentation vom 07.05.2002.doc

Programm der Schweißzelle vom 22.05.02

```

.END
;PROGRAM(topartwo)
    SIGNAL -onhaube
    SWAIT ihau_ob
    JMOVE #ueauf
    SIGNAL -ogreif
    SWAIT igrel_auf
    JMOVE #ueadiz
    SPEED 30 ALWAYS
    ACCURACY 1 ALWAYS
    BREAK
    LMOVE #auf2
    SIGNAL ogreif
    SWAIT igrel_zu
    DRAW 0,0,50
    SPEED 100 ALWAYS
    ACCURACY 20 ALWAYS
    JMOVE #ueauf
    HOME 2
.END

;PROGRAM(toss)
    TWAIT 1
    SIGNAL -onhaube
    SWAIT ihau_ob
    LMOVE #uedrehz_3
    BREAK
    SIGNAL -ogreif
    SWAIT igrel_auf
    SPEED 100 ALWAYS
    ACCURACY 20 ALWAYS
    JMOVE #ueauf
    HOME 2
    JMOVE #ueab
    ;SPEED 20 ALWAYS
    ;ACCURACY 1 ALWAYS
    LMOVE #adiz
    BREAK
    TWAIT 0,1
    SIGNAL -ozentr
    SWAIT izent_auf
    SIGNAL -ogreif
    SWAIT igrel_zu
    LMOVE #ueab
    SPEED 100 ALWAYS
    ACCURACY 20 ALWAYS
    HOME 2
    JMOVE #1.028,86.845,-21.827,84.575,-92.350,-211.115]
    BREAK
    SIGNAL -ogreif
    SWAIT igrel_auf
    CALL HOMEPOSITION
    RETURN
.END

```

Page 11 of 14
D:\FA-ACKA\WASAKI - Bremen - Diplomarbeit\Schweißzelle\Quelle\code - Dokumentation vom 07.05.2002.doc

Programm der Schweißzelle vom 22.05.02

```

;PROGRAM(turning)
    SIGNAL -onhaube
    SWAIT ihau_ob
    JMOVE #uedreh
    SIGNAL -ogreif_drehz
    SWAIT (drehz_auf)
    SIGNAL -odrehz
    SWAIT (drehz_re)
    SPEED 30 ALWAYS
    ACCURACY 1 ALWAYS
    LMOVE #uedrehz3_1
    LMOVE #uedrehz3_2
    BREAK
    SIGNAL (ogreif_drehz)
    SWAIT (drehz_zu)
    SIGNAL -ogreif
    SWAIT (grel_auf)
    LMOVE #uedrehz4_1
    BREAK
.END

;PROGRAM(turmandfinnish)
    SIGNAL (odrehz)
    SWAIT (drehz_ii)
    LMOVE #uedrehz5_1
    BREAK
    SIGNAL (ogreif)
    SWAIT (grel_zu)
    SIGNAL (ogreif_drehz)
    SWAIT (drehz_auf)
    LMOVE #uedrehz6_1
    LMOVE #uedrehz6_2
    LMOVE #uedrehz6_3
    SPEED 100 ALWAYS
    ACCURACY 20 ALWAYS
    JMOVE #ueauf
    HOME 2
    JMOVE #usauf
    SPEED 30 ALWAYS
    ACCURACY 1 ALWAYS
    LMOVE #auf3
    BREAK
    SIGNAL -ogreif
    SWAIT igrel_auf
    LMOVE #ueauf
    SPEED 100 ALWAYS
    ACCURACY 20 ALWAYS
    JMOVE #ueauf
    HOME 2
.END

;TAKE WHOLE PART TO THE TURNING STATION
;MAKE SURE SCREEN IS UP
;MAKE SURE THAT THE TURNING GRIPPER IS SETUP
;MOVE PART INTO GRIPPER
;CLAMP THE PART IN ROTATING GRIPPER
;RELEASE THE PART FROM THE ARM
;MOVE ARM AWAY
;TURN THE FINAL PART AND PLACE IT BACK ON THE PALLET
;TURN PART
;MOVE ARM TO THE PART
;GRIP THE PART
;LET GO OF PART WITH THE ROTATING GRIPPER
;MOVE PART OUT OF ROTATING GRIPPER
;MOVE PART TO STARTING PALLET POSITION
;LETGO OF PART
;HOME ARM

```

Page 12 of 14
D:\FA-ACKA\WASAKI - Bremen - Diplomarbeit\Schweißzelle\Quelle\code - Dokumentation vom 07.05.2002.doc

13-3.5.2a Funktionsablaufpläne des neuen Quellcodes

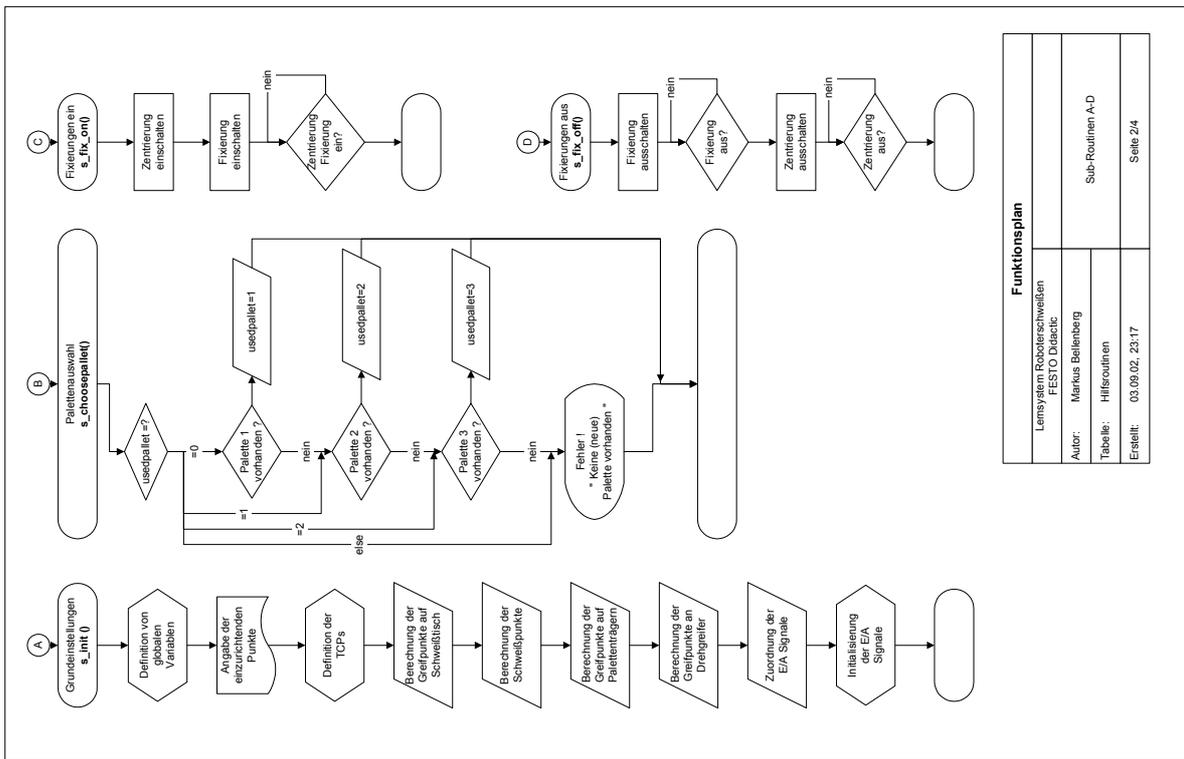


Abb. 46 Funktionsablaufplan Subroutinen A-D

Funktionsplan	
Lernsystem Roboterschweißen FESTO Didactic	
Autor: Markus Balleberg	Sub-Routinen A-D
Tabelle: Hilfsroutinen	
Erstellt: 03.09.02, 23:17	Seite 2/4

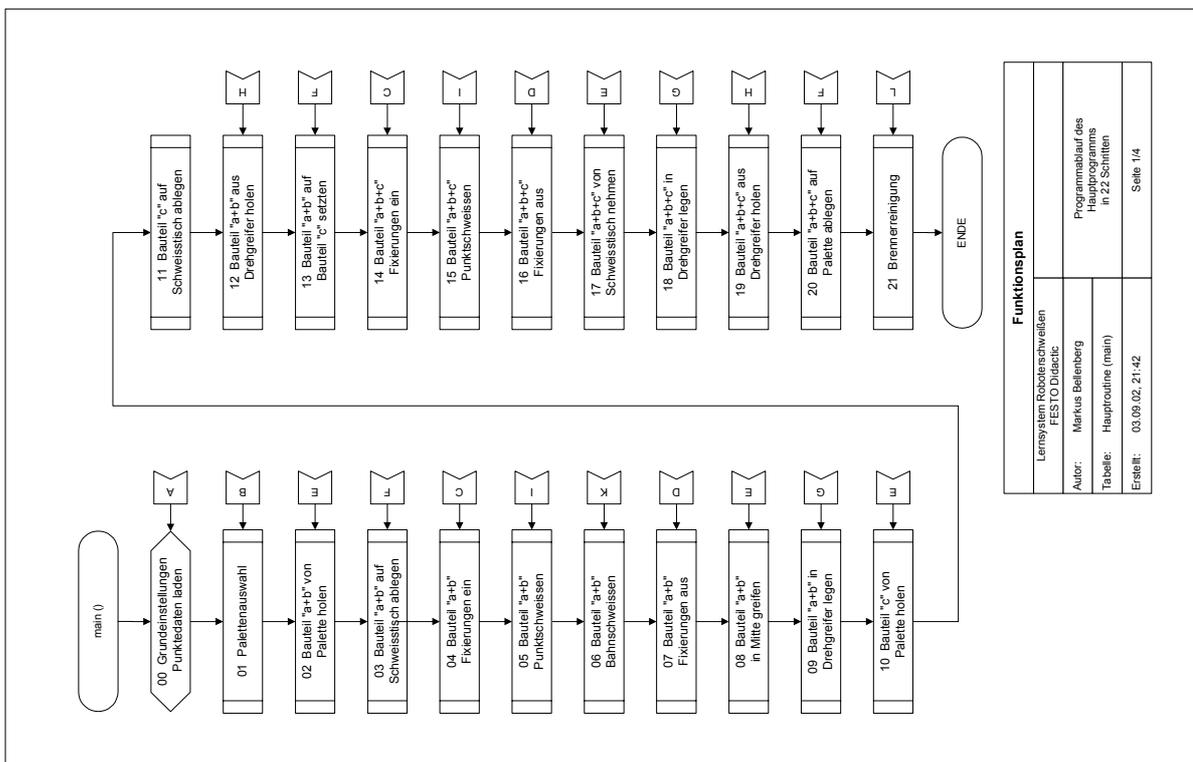


Abb. 45 Funktionsablaufplan main()

Funktionsplan	
Lernsystem Roboterschweißen FESTO Didactic	
Autor: Markus Balleberg	Programmablauf des Hauptprogramms in 22 Schritten
Tabelle: Hauptroutine (main)	
Erstellt: 03.09.02, 21:42	Seite 1/4

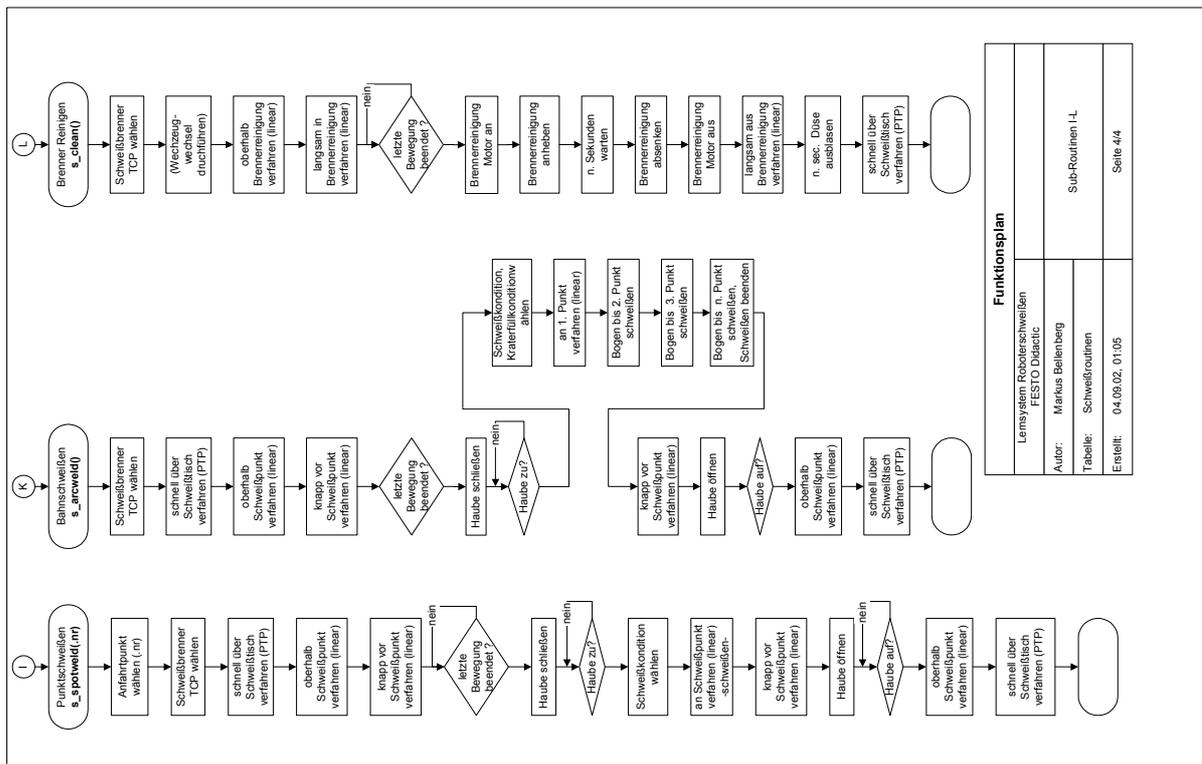


Abb. 48 Funktionsablaufplan Subroutinen I-L

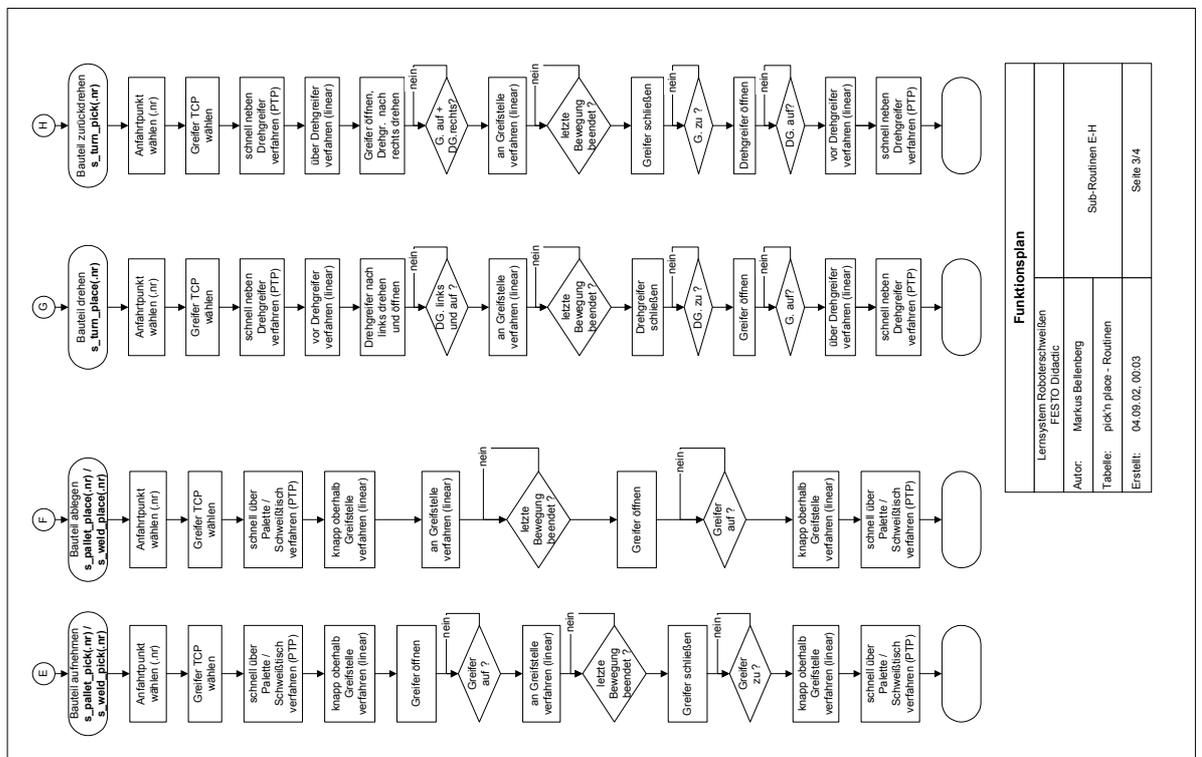


Abb. 47 Funktionsablaufplan Subroutinen E-H


```

PROGRAM main()
; *****
; # Hauptroutine
; # Inhalt:
; # -00 Grundeinstellungen, Punktdaten laden
; # -01 Palettenauswahl (usedpallet=1, 2 oder 3)
; # -02 Bauteil "ab" von Palette holen
; # -03 Bauteil "ab" auf Schweisstisch ablegen
; # -04 Bauteil "ab" Fixierungen ein
; # -05 Bauteil "ab" Bahnschweissen
; # -06 Bauteil "ab" in Mitte greifen
; # -07 Bauteil "c" von Palette holen
; # -08 Bauteil "ab" auf Bauteil "c" setzten
; # -09 Bauteil "abc" Fixierungen ein
; # -10 Bauteil "abc" Punktschweissen
; # -11 Bauteil "c" auf Schweisstisch ablegen
; # -12 Bauteil "ab" aus Drehgreifer holen
; # -13 Bauteil "ab" auf Bauteil "c" setzten
; # -14 Bauteil "abc" Fixierungen ein
; # -15 Bauteil "abc" Punktschweissen
; # -16 Bauteil "abc" Fixierungen aus
; # -17 Bauteil "abc" von Schweisstisch nehmen
; # -18 Bauteil "abc" in Drehgreifer legen
; # -19 Bauteil "abc" aus Drehgreifer holen
; # -20 Bauteil "abc" auf Palette ablegen
; # -21 Brennerreinigung
; # Beispiel: CALL main
; # Autor : Markus Bellenberg, Festo Didactic (01.09.2002)
; #
; # +-----+ +-----+ +-----+ +-----+ X(---0Z
; # |1/5 2| |1/5 2| |1/5 2| |1/5 2| |
; # | o | | o | | o | | o | |
; # |3 4| |3 4| |3 4| |3 4| |
; # +-----+ +-----+ +-----+ Zx-----Y Y
; # pallet[a,1] pallet[a,2] pallet[a,3] GripperTCP Base-KS
; # pallet[]-Punkte werden in der Routine "init" berechnet.
; #
; # 4
; # 2 /-\ 3
; # | W |
; # | -\ -/ |
; # | | | |
; # |Schw.-Tisch|
; #
; # =====XXXX /xx z
; # |1| XXXX z/ | XXXX |
; # --- XXXX |2| XXXX |
; # =====XXXX Y Y(----xx
; # Drehgreifer li? Drehgreifer re? (GripperTCP) Base-KS
; # *****

```

```

*****
* INHALT
*
* .PROGRAM s_arcweld()
* .PROGRAM s_choosepallet()
* .PROGRAM s_clean()
* .PROGRAM s_fix_off()
* .PROGRAM s_fix_on()
* .PROGRAM s_pallet_pick(.nr)
* .PROGRAM s_pallet_place(.nr)
* .PROGRAM s_spotweld(.nr)
* .PROGRAM s_turn_pick(.nr)
* .PROGRAM s_turn_place(.nr)
* .PROGRAM s_weld_pick(.nr)
* .PROGRAM s_weld_place(.nr)
*****
* .PROGRAM s_arcweld()
; *****
; # SubRoutine zum Bahnschweissen einer Kreisbahn aus 3 Punkten #
; # - in Blocksprache geschrieben - #
; # Beispiele: CALL s_arcweld() #
; # Autor : Markus_Bellenberg,FESTO Didactic (01-09-2002) #
; *****
; Wechsell zu TCP des Schweißbrenners
;POINT l_position = spot[1]

MOVE #above_w_weld
; ueber Schweißstisch verfahren

LAPRO teach_w_s1 BY 0,0,120) ; ueber Schweißspunkt verfahren
SIGNAL o_hood
; Haube schliessen

SWAIT i_hood_closed
SPEED sp_low
BREAK

SPEED sp_low
; 90 cm/min , 90 Amp , 5 V (20 m/min=10V)
w1set 11= 90,90,5
w2set 12= 0,0,0
; Kraterfuellung: 0sec , 0A , 0V
; Bahnkurve aus 3 Punkten

lms teach_w_s1
C1WC teach_w_s2,11
C2WE teach_w_s3,11,12

BREAK
MOVE here
;-----

LDEPART 30
SIGNAL -o_hood
SWAIT i_hood_opened
LMOVE SHIFft (teach_w_s3 BY 0,0,120) ; ueber Schweißspunkt verfahren
SPEED sp_low

LMOVE #above_w_weld
; ueber Schweißstisch verfahren

BREAK
TYPE /il , "DONE s_arcweld"
.END

```

```

*****
* .PROGRAM s_choosepallet()
; *****
; # SubRoutine zur Ueberpruefung und Auswahl einer Palette #
; # Beispiele: CALL s_choosepallet #
; # Autor : Markus_Bellenberg,FESTO Didactic (01.09.2002) #
; # #
; # Anmerkung: Beim aller ersten Start der Routine wird folgender #
; # Fehler gemeldet: "ERROR (-803) Undefined variable." #
; # "Program=s_choosepallet Step=7" #
; # Die Variable muss mit "usedpallet=0" erstellt werden. #
; *****
;
; anfang:
IF (usedpallet==0) THEN ;Suchen bei Palette 1 beginnen
GOTO pall
END
IF (usedpallet==1) THEN ;Suchen bei Palette 2 beginnen
GOTO pal2
END
IF (usedpallet==2) THEN ;Suchen bei Palette 3 beginnen
GOTO pal3
END
GOTO fehler

pall:
IF (SIG(i_pallet1_ok)) THEN ;ist Palette 1 vorhanden?
usedpallet=1
GOTO weiter
END
pal2:
IF (SIG(i_pallet2_ok)) THEN ;ist Palette 2 vorhanden?
usedpallet=2
GOTO weiter
END
pal3:
IF (SIG(i_pallet3_ok)) THEN ;ist Palette 3 vorhanden?
usedpallet=3
GOTO weiter
END
fehler: " " ; "2:"aktiviert Tastaturmodus auf dem Teachpanel
TYPE 2: " " ; "2:"aktiviert Tastaturmodus auf dem Teachpanel
TYPE " !Keine (neue) Palette vorhanden!"
PROMPT " Paletten neu bestuecken und Enter druecken", usedpallet
usedpallet=0
GOTO anfang

weiter:
TYPE /il , " (using pallet no:",usedpallet,")"
BREAK
TYPE /il , "DONE s_choosepallet"
.END

```



```

PROGRAM s_spotweld(.nr)
; *****
; # SubRoutine zum Punktschweißen an beliebiger Stelle
; # Beispiel : CALL s_spotweld(1) ; schweisst an Punkt teach w_s1
; # Autor : Markus Bellenberg, FESTO Didactic (01.09.2002)
; *****
; *****
; *****
; Wechsel zu TCP des Schweißbrenners
POINT l_position = spot[.nr] ; Schweißpunkt laden

JMOVE #above_w_weld ; ueber Schweißstisch Verfahren
SPEED sp_low
LAPPRO l_position BY 0,0,120 ; ueber Schweißpunkt Verfahren
SIGNAL o_turnleft ; vor Schweißpunkt Verfahren
SIGNAL o_hood ; Haube schliessen
WAIT i_hood_closed

SPEED sp_low ; Geschwindigkeit reduzieren
BREAK ; abwarten bis letzte Bewegung fertig

w2set 15=0.5, 70, 4.7 ; = sec, A, V (20m/min=10V)
IAS l_position, 15
BREAK

LDEPART 30
SIGNAL -o_hood ; vor Schweißpunkt Verfahren
WAIT i_hood_opened ; Haube öffnen
LAPPRO l_position BY 0,0,120 ; ueber Schweißpunkt Verfahren
SPEED sp_low

JMOVE #above_w_weld ; ueber Schweißstisch Verfahren
BREAK
TYPE /i1 "DONE s_spotweld(",.nr,")"
.END

PROGRAM s_turn_pick(.nr)
; *****
; # SubRoutine zum Einlegen eines Bauteiles in den Drehgreifer
; # Beispiel : CALL s_turn_pick(1) holt von Punkt weld[1] ein
; # Autor : Markus Bellenberg, FESTO Didactic (01.09.2002)
; *****
; *****
; *****
; Wechsel zu TCP des Greifers
POINT l_position = weld[.nr] ; Greifpunkt auf Schweißstisch laden

JMOVE #above_g_turn ; ueber Drehgreifer fahren
LAPPRO l_position, 30 ; ueber Greifposition Verfahren
SIGNAL -o_gripper ; Greifer öffnen
SPEED sp_low ; Geschwindigkeit reduzieren
BREAK ; abwarten bis letzte Bewegung fertig
LAPPRO l_position ; auf Greifposition Verfahren
BREAK
SIGNAL o_gripper ; Greifer schliessen
WAIT i_gripper_closed
LDEPART 30

JMOVE #above_g_weld ; ueber Schweißstisch Verfahren
BREAK
TYPE /i1 "DONE s_weld_pick(",.nr,")"
.END

PROGRAM s_weld_pick(.nr)
; *****
; # SubRoutine zum Entnehmen eines Bauteiles vom Schweißstisch
; # Beispiel : CALL s_weld_pick(1) holt von Punkt weld[1] ein
; # Autor : Markus Bellenberg, FESTO Didactic (01.09.2002)
; *****
; *****
; *****
; Wechsel zu TCP des Greifers
POINT l_position = weld[.nr] ; Greifpunkt auf Schweißstisch laden

JMOVE #above_g_weld ; ueber Schweißstisch Verfahren
LAPPRO l_position, 30 ; ueber Greifposition Verfahren
SIGNAL -o_gripper ; Greifer öffnen
SPEED sp_low ; Geschwindigkeit reduzieren
BREAK ; abwarten bis letzte Bewegung fertig
LAPPRO l_position ; auf Greifposition Verfahren
BREAK
SIGNAL o_gripper ; Greifer schliessen
WAIT i_gripper_closed
LDEPART 30

JMOVE #above_g_weld ; ueber Schweißstisch Verfahren
BREAK
TYPE /i1 "DONE s_weld_pick(",.nr,")"
.END

```

```

PROGRAM s_weld_place(.nr)
; *****
; # SubRoutine zum Einlegen eines Bauteiles auf den Schweisstisch #
; # Beispiel : CALL s_weld_place(1) legt in Punkt_weld[1] ein #
; # Autor : Markus Bellenberg, FESTO Didactic (01.09.2002) #
; *****
; *****
; ***** ; Wechsel zu TCP des Greifers
; ***** ; Greifpunkt auf Schweisstisch laden
POINT l_position = weld[.nr]

JMOVE #above_g_weld ; ueber Schweisstisch verfahren

LAPPRO l_position, 30 ; ueber Greifposition verfahren
SPEED sp_low ; Geschwindigkeit reduzieren
BREAK ; abwarten bis letzte Bewegung fertig
LMOVE l_position ; auf Greifposition verfahren
BREAK
SIGNAL -o_gripper ; Greifer oeffnen
WAIT i_gripper_opened ; Warten bis Greifer offen
LDEPART 30 ; ueber Greifposition verfahren

JMOVE #above_g_weld ; ueber Schweisstisch verfahren

BREAK
TYPE /i1 , "DONE s_weld_place(",.nr,")"
.END

```

```

; festlegen von #Hilfspunkten (noetig um Achsausrichtung festzulegen)
; POINT #above_g_pallet =#POINT( -3.777, 13.311,-116.777, 92.959, 93.339,-49.515)
; # Programm zur Initialisierung der Roboterschweisszelle
; # Inhalt : setzt - globale Variablen / Teachspunkte / Hilfspunkte
; # - TCPs
; # - Punkte auf Schweisstisch berechnen
; # - Punkte auf Palette berechnen
; # - Punkte an Drehgreifer berechnen
; # - Ein/Ausgabevariablen
; # - Alle Ausgaenge ausschalten ( =0)
; # Beispiel: CALL init
; # Autor : Markus Bellienberg 20.08.2002
; #
; # -- Wissenswertes: --
; # Lokale Variablen sind mit einem fuehrenden "." gekennzeichnet
; # und koennen nur in Subroutinen genutzt werden.
; # Unguetige Zeichen im Quelltext: Umlaute, sz , spitze Klammern
; # Punktenamen die mit "teach." beginnen muessen geteached werden,
; # in dem die duenne Bodenplatte (Rohling) buendig vom Greifer werden.
; # aufgenommen wird und die jeweiligen Punkte genau angefahren werden.
; # Zum speichern Beispielsweise "TOOL tcp_gripper" gefolgt von
; # "HERE teach_g_pallet" eingeben, um den Punkt "P" zu teachen.
; # Ein "w" steht fuer weld (schweissen) - tcp_weld verwenden!
; # Ein "g" steht fuer gripper (Greifer) - tcp_gripper verwenden!
; # *****
; # Zur Bewegungsgrundlage wird Basis-Koordinatensystem auf 0,0,0 gesetzt
; # BASE NULL
;
; Bauteil "A" ist die duenne Bodenplatte (d=40 x 3mm Wanddicke)
; Bauteil "B" ist das Mittelrohr (d=30 x 5mm Wanddicke)
; Bauteil "C" ist der Bajonetverschluss (d=40 x 3mm Wanddicke)
;
; -- globale Variablen / Teachpunkte --
; l position anzufahrender Punkt (fuer Subroutinen)
; usedpallet derzeit verwendende Palette (1-3)
; sp_high = 20 ; Wert fuer hohe Geschwindigkeit (mit 100%MonitorG.)
; sp_med = 10 ; Wert fuer mittlere Geschwindigkeit (mit 100%MonitorG.)
; sp_low = 5 ; Wert fuer niedrige Geschwindigkeit (mit 100%MonitorG.)
; SPEED sp_high ALWAYS ; Normale Geschwindigkeit festlegen
; ACCURACY 10 ALWAYS ; Genauigkeit beim Ueberschleifen festlegen
;
; teach_g_weld zu teachender Greif-Punkt auf Schweisstischmitte (W)
; teach_g_pallet zu teachender Greif-Punkt auf mittlerer Palette (P)
; teach_g_turn zu teachender Greif-Punkt in Drehgreifer/Wender (T)
;
; teach_w_clean buendig in Drehgreifer einklemmen
; zu teachender Punkt mit Schweissbrenner ca 3mm (C)
; in hochgefahrere(!) Brennerreinigung eingefahren
;
; teach_w_s1 zu teachender Schweiss-Punkt 1 2 /- \ 3
; teach_w_s2 zu teachender Schweiss-Punkt 2 | W |
; teach_w_s3 zu teachender Schweiss-Punkt 3 \- /
; teach_w_s4 zu teachender Schweiss-Punkt 4 | | | |
; (teach_w_s5) zu teachender Schweiss-Punkt 5 |Schw.-Tisch|
;
; ungefaehre Angaben: X [mm] Y [mm] Z [mm] O [deg] A [deg] T [deg]
; teach_g_pallet 123.949 368.556 -230.297 -177.706 176.499 89.387
; teach_g_turn -228.105 318.631 -224.063 -150.138 176.831 116.534
; teach_g_weld 412.495 245.238 -244.381 -138.660 176.496 89.396
; teach_w_clean 467.885 -48.877 -148.807 176.459 -70.913
; teach_w_s1 393.009 256.411 -228.854 -54.284 135.993 174.851
; teach_w_s2 420.040 247.677 -230.529 -171.267 136.413 175.797
; teach_w_s3 398.270 229.228 -231.032 75.597 133.516 -178.727
; teach_w_s4 414.663 232.206 -230.047 135.218 133.515 -178.728

```


13-3.5.2c Neuer Quellcode – Abbildungen der Teach-Punkte

```

>tool tcp_gripper
  X[mm] 0.000
  Y[mm] 154.00
  Z[mm] 74.90
  O[deg] 90.00
  A[deg] 90.00
  T[deg] -90.00

>here teach_g_weld
  X[mm] 412.495
  Y[mm] 245.238
  Z[mm] -244.381
  O[deg] -138.660
  A[deg] 176.496
  T[deg] 89.396
  
```

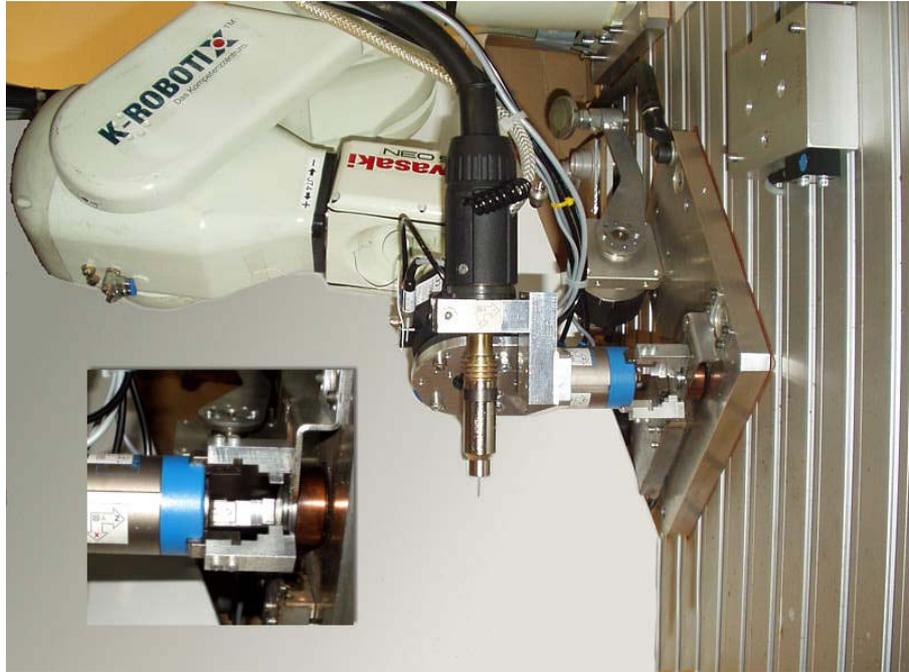


Abb. 50 Neue Teachpunkte (Beschreibung)

Teaching-Positions

```

>tool tcp_gripper
  X[mm] 0.000
  Y[mm] 154.00
  Z[mm] 74.90
  O[deg] 90.00
  A[deg] 90.00
  T[deg] -90.00

>here teach_g_pallet
  X[mm] 123.949
  Y[mm] 368.556
  Z[mm] -230.297
  O[deg] -177.706
  A[deg] 176.499
  T[deg] 89.387
  
```

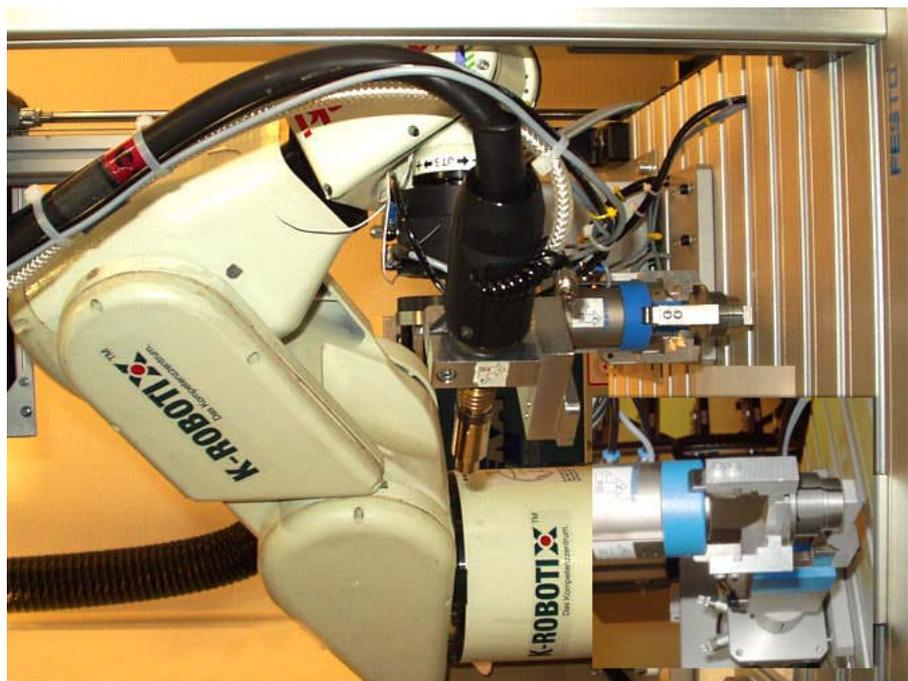


```

>signal_o_turngripper
>tool_tcp_gripper
  X[mm] Y[mm] Z[mm] O[deg] A[deg] T[deg]
  0.000 154.00 74.90 90.00 90.00 -90.00

>here teach_g_turn
  X[mm] Y[mm] Z[mm] O[deg] A[deg] T[deg]
-228.105 318.631 -224.063 -150.138 176.831 116.534

```



```

(>do jm #above_w_weld)
>signal_o_cleanerup
>tool_tcp_weld
  X[mm] Y[mm] Z[mm] O[deg] A[deg] T[deg]
  0.000 0.000 174.60 0.000 45.00 0.000

>here teach_w_clean
  X[mm] Y[mm] Z[mm] O[deg] A[deg] T[deg]
  467.885 -48.877 -86.027 -148.807 176.459 -70.913

```



```

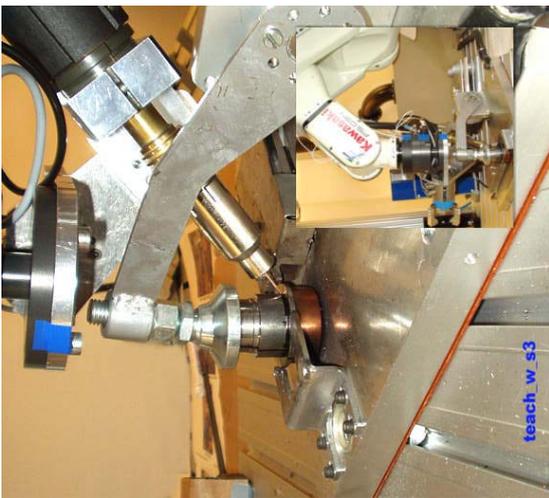
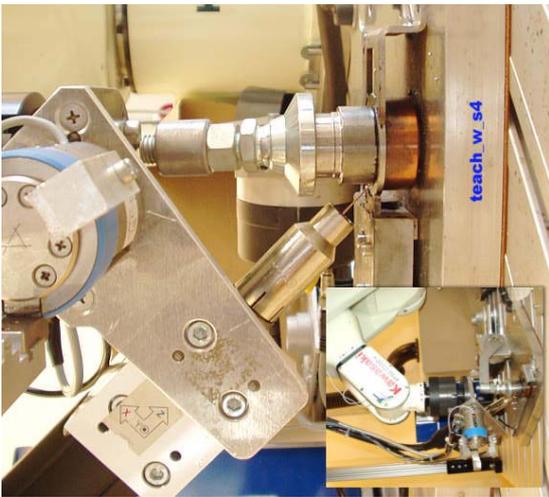
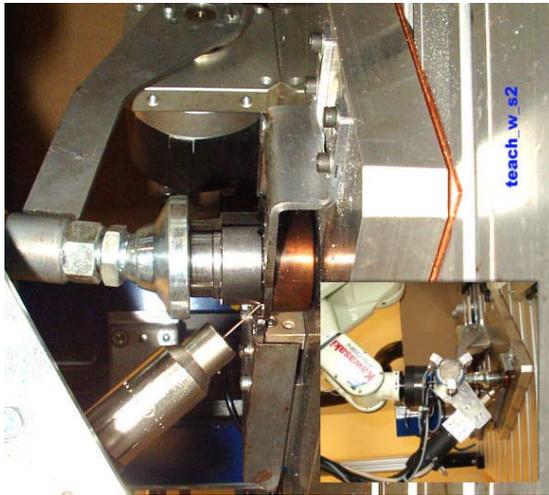
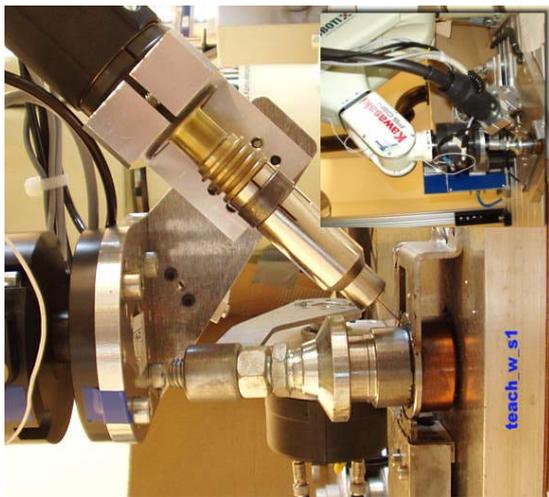
signal_o_center
>signal_o_fix
>tool_tcp_weld
  X[mm]  Y[mm]  Z[mm]  O[deg]  A[deg]  T[deg]
  0.000  0.000  174.60  0.000  45.00  0.000

>here teach_w_s1
  X[mm]  Y[mm]  Z[mm]  O[deg]  A[deg]  T[deg]
  393.009  256.411  -228.854  -54.284  135.993  174.851

>here teach_w_s2
  X[mm]  Y[mm]  Z[mm]  O[deg]  A[deg]  T[deg]
  420.040  247.677  -230.529  -171.267  136.413  175.797

>here teach_w_s3
  X[mm]  Y[mm]  Z[mm]  O[deg]  A[deg]  T[deg]
  414.663  232.206  -230.047  135.218  133.515  -178.728

>here teach_w_s4
  X[mm]  Y[mm]  Z[mm]  O[deg]  A[deg]  T[deg]
  398.270  229.228  -231.032  75.597  133.516  -178.727
    
```



13-4a Geschichte des Roboters

"Der Roboter ist der Inbegriff der Automatisierung. Der Begriff "Roboter" selbst tauchte zum ersten Mal 1917 in einer Kurzgeschichte von Karel Capek, mit dem Titel "Opilec", auf und erfuhr 1920 durch dessen berühmtes Theaterstück "Rossum's Universalroboter" große Publizität. Das Wort "robota" stammt aus dem Tschechischen und bedeutet Plackerei oder Zwangsarbeit.

Die Geburtsstunde echter Roboter datiert auf das Jahr 1954 zurück, als ein Patent mit dem Titel "programmierter Artikeltransport" von einem amerikanischen Ingenieur namens Joseph Engelberger angemeldet wurde. [...]

Wie beim Begriff "Automatisierung", so führte auch das Wort "Industrieroboter" im Laufe der Zeit zu einer Vielzahl unterschiedlicher Begriffsdefinitionen. Hier soll die folgende Definition zu Grunde gelegt werden:

Industrieroboter sind universell einsetzbare Bewegungsautomaten mit mehreren Achsen, deren Bewegungen hinsichtlich Bewegungsfolgen und –wegen bzw. –winkeln frei programmierbar und gegebenenfalls sensorgeführt sind. Sie sind mit Greifern, Werkzeugen oder anderen Fertigungsmitteln (allgemein einem Effektor) ausrüstbar und können Handhabungs- und/oder Fertigungsaufgaben ausführen.

In Deutschland wird außerdem verlangt, dass ein Roboter mehr als 3 Bewegungsachsen besitzen muss. Diese Definition ist allerdings nicht einheitlich. In vielen Ländern, wie Japan oder den USA, wird eine hiervon abweichende Definition für Roboter verwendet. Das führt dazu, dass Statistiken nicht immer eindeutig Auskunft geben, inwiefern die aufgeführten Roboter auch zu einer Automatisierung führen." [IRF 00]

13-4b Technische Daten des Kawasaki FS03N

Typ	Knickarmroboter		
Freiheitsgrade	6		
Arbeitswinkel und maximale Geschwindigkeit	Achs	Motion Range	Max. Speed
	1	320°	250°/s
	2	210°	100°/s
	3	480°	140°/s
	4	720°	360°/s
	5	270°	180°/s
	6	720°	360°/s
Max. Nutzlast	3kg		
Max. Last am Handgelenk	Achse	Drehmoment	Trägheitsmoment
	4	5.88N m	0.12kg m ²
	5	5.88N m	0.12kg m ²
	6	2.94N m	0.03kg m ²
Wiederholgenauigkeit	±0.05mm		
Antriebsmotor	bürstenloser AC Servomotor		
Gewicht	ca. 20kg		
variable mechanische Stopper	nur für Achse 1 (45°)		
Grundplatte Ursprung	Punkt X in der Abbildung		
absolute Positioniergenauigkeit	(Laut Kawasaki gleich der Wiederholgenauigkeit) +/- 0,05 mm		
Max. Linear-Geschwindigkeit	2400 mm /s		
Max. Greifentfernung	620 mm		
Montage	Boden / Decke / Wand		
Reichweite	Max. 620 mm		
Versorgung:	220- / 240 Volt AC (16A abgesichert)		

Tab. 7 Technische Daten (Roboter) [KAWA01]

Die Angaben beziehen sich auf eine Belastung durch eine Masse von 3 kg bei maximaler Wiederholgenauigkeit auf einen Zeitraum von 10 Jahren.

Die Nutzlast ist definiert als Nennlast abzüglich der Werkzeuglast.

13-4.1a Einführung in die Robotersteuerung (Controller)

"Die Steuerung eines Industrieroboters bildet die Schnittstelle zwischen dem Anwender und der Roboterhardware. Sie hat die Aufgabe, die angeschlossene Kinematik so anzusteuern, dass die vom Anwender eingegebenen Aufgaben bestmöglich verrichtet werden.

Zur Lösung dieser Aufgabe sind folgende Teilaufgaben zu behandeln:

- Kommunikation mit dem Bediener
- Unterstützung bei der Programmgenerierung
- Programmverwaltung
- Programminterpretation
- Koordinierung der Bewegungsmöglichkeiten einzelner Achsen zur sinnvollen Bewegung des Werkzeugs
- Generierung von Sollwerten in Achskoordinaten
- Regelung auf diese Sollwerte
- Modifikation der Sollwerte (durch Sensoren oder durch die Peripherie)
- Generierung von Informationen für die Peripherie
- Kommunikation mit anderen Komponenten der Arbeitszelle
- Garantie eines sicheren Betriebszustandes

Eine Robotersteuerung verfügt in der Regel über die folgenden Betriebsarten:

- Teach-In (Verfahren per Hand gesteuert und teachen von Punkten)
- Testen (Einzelschrittbetrieb des Programms, Schritt für Schritt)
- Automatik (automatischer Ablauf des vollständigen Programms)
- Stand-By (warten auf Benutzerinteraktion)

Moderne Robotersteuerungen zeichnen sich dadurch aus, dass sie über eine Vielzahl von Schnittstellen verfügen, die vom Roboterprogramm aus angesprochen werden können. [...]

Im allgemeinen werden von jeder Steuerung digitale und analoge I/Os unterstützt. Interkonnektivität, die darüber hinausgeht, basiert vorwiegend auf zusätzlicher Hardware in Form von Steckkarten und Steuerungssoftware, die zusätzlich erworben werden müssen."

[IRF 00]

Fehlermeldungen:	Fehlercodemeldung, Selbsttest, Fehlerprotokoll, Ablaufprotokoll
Multifunktionspanel:	Totmann - Sicherheitsschalter 8 inch LCD - Farbbildschirm Touchpanel Teach-lock Funktion NOTAUS-Schalter Stift für die Bedienung des Touchpanels PC - Karten Einschub
Erweiterbarer Speicher:	PC - Karte Diskettenlaufwerk Zusätzlicher PC (optional)
Versorgungsspannungen:	200-240 VAC
Maße:	H x B x T, 470 mm x 270 mm x 500 mm

[KAWA00]

13-4.2 Multifunktionspanel

Im Folgenden sind einige Bilder des Multifunktionspanels der Robotersteuerung abgebildet. Sie dienen der Diagnose, Veränderung der Bewegungsprogramme und Einstellung der Robotersteuerungsdaten.



Abb. 51 Multifunktionspanel (Gesamtansicht)

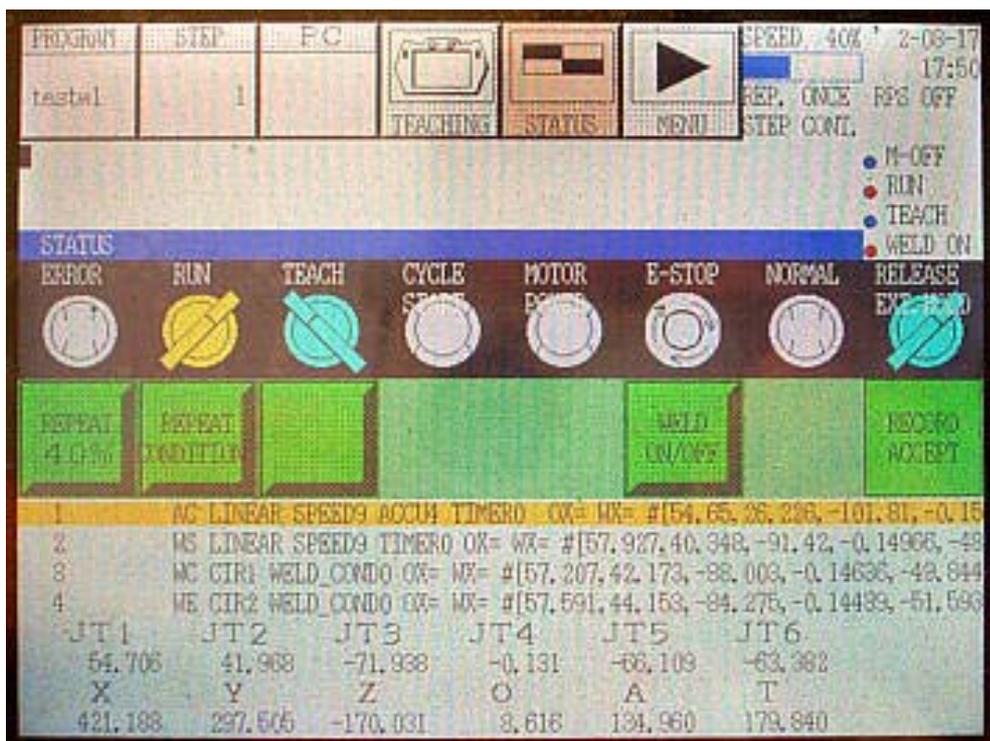


Abb. 52 Multifunktionspanel (Standard Statusanzeige)

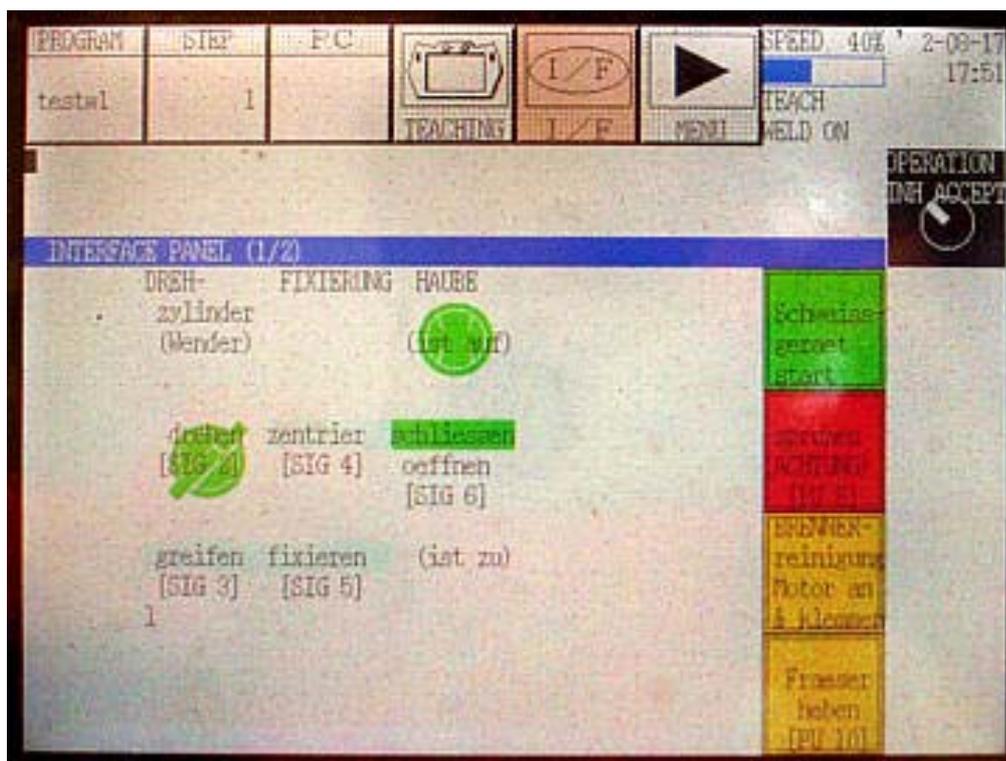


Abb. 53 Multifunktionspanel (frei programmierbarer I/F Bildschirm)

Weitere Abbildungen des Multifunktionspanel sind in Anhang 13-4.3.6.2 und 13-4.4a zu finden.

13-4.3.1a Der Tool Center Point (TCP)

"Der Tool-Center-Point (Werkzeugarbeitspunkt), kurz TCP, ist der Ursprung des Effektorkoordinatensystems.

Roboter handhaben entweder Werkstücke oder Werkzeuge. Diese zu greifen und zu halten ist die Aufgabe des Greifers oder Effektors.

Bei der Werkstückhandhabung befindet sich der TCP in der Mitte der Verbindungslinie der Greiferbacken.

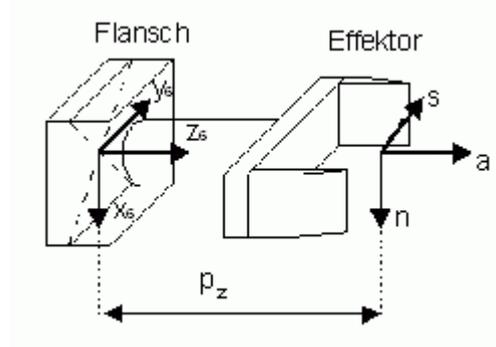


Abb. 54 TCP Koordinatensystem [IRF 00]

Bei der Werkzeughandhabung verschiebt sich der TCP in der Regel um die Länge des Werkzeuges. Bei der Programmierung von Robotern sollte die Verschiebung des TCP einstellbar sein." [IRF 00]

13-4.3.1b Einrichtung des TCPs

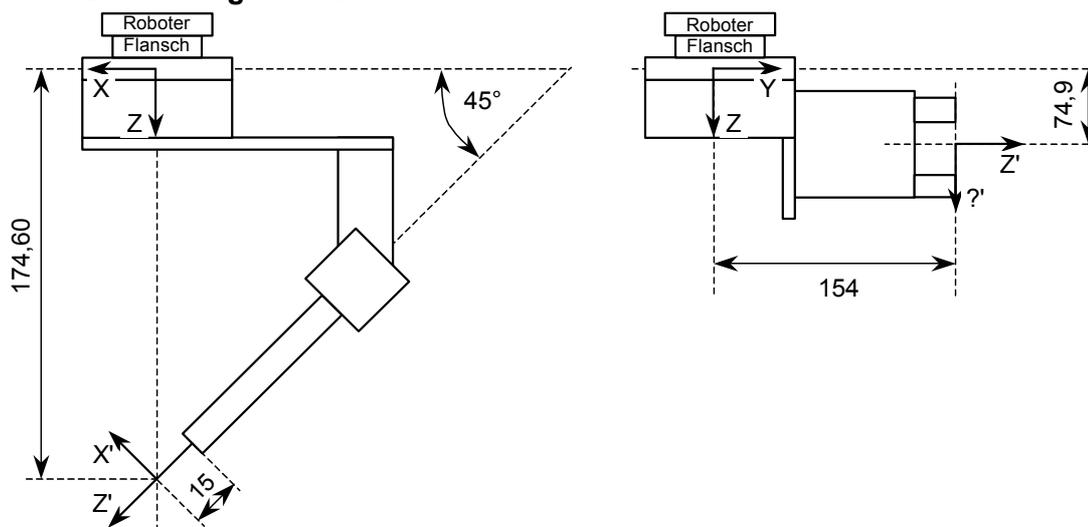


Abb. 55 Schweißbrenner / Greifer -TCP

Schweißbrenner TCP (Abb. 55 links):

```
>tool tcp_weld
  X[mm]    Y[mm]    Z[mm]    O[deg]    A[deg]    T[deg]
  0.000    0.000    174.60    0.000    45.00    0.000
174.6 mm auf RoboterFlansch Z-Achse (bis Schnittpunkt Z-Achse- Stromkontaktrohr
                                     /Schweißdraht mit 15mm vorgegeben)
45° um RoboterFlansch Y-Achse gedreht (aus Zeichnung abgelesen)
```

Die von Kawasaki bereitgestellte Funktion "AUX 50 ARC WELDING TORCH DIMENSION" wird in diesem Fall nicht genutzt, da die Krümmung (Drehung) des Schweißbrenners auf der Y-Achse liegen müsste, hier liegt sie jedoch auf der X-Achse. Diese AUX Funktion ist somit nur in Spezialfällen nutzbar.

Greifer TCP (Abb. 55 rechts):

```
>tool tcp_gripper
  X[mm]    Y[mm]    Z[mm]    O[deg]    A[deg]    T[deg]
  0.000    154.00    74.90    90.00    90.00    -90.00
154 mm auf RoboterFlansch Y-Achse (bis Aussenkante Greifer gemessen)
74.9 mm auf RoboterFlansch Z-Achse (bis Z-Achse-Greifer berechnet)
90° um Z-Achse gedreht (vom Robotersteuerung nicht angenommen eine
Drehung um 90/90/-90 Grad ist somit notwendig)
```

Mit HSET CLAMP müssen die richtigen Ausgangssignale dem Greifer zugeordnet werden, damit die Greifer-Befehle funktionieren (z.B. open / relax / close)

13-4.3.2a Definition Freiheitsgrad / Achsen

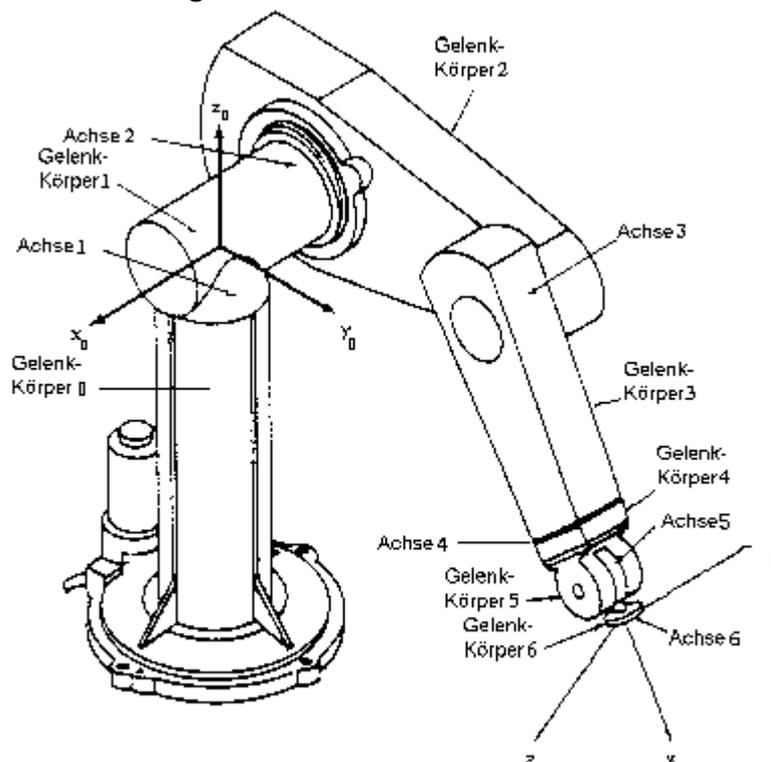


Abb. 56 Achsen / Gelenke [IRF 00]

"Freiheitsgrad: Anzahl der voneinander unabhängigen Bewegungsmöglichkeiten des Roboters gegenüber einem festen Koordinatensystem. [...] Die Lage eines frei beweglichen Objektes ist durch drei Werte der Position $[x, y, z]$ und drei Werte der Orientierung (Rotation um X, Y, Z) eindeutig festgelegt. Dadurch ergeben sich [bei einem 6-Achsen Roboter] maximal 6 Freiheitsgrade. [...] Aufgrund der gewählten kinematischen Grundstruktur ergibt sich ein kartesischer, zylinderförmiger oder kugelförmiger Arbeitsraum des Roboters. Der Arbeitsraum bestimmt die durch die mechanische Struktur eingeschränkte Anzahl erreichbarer Positionen und Orientierungen." [IRF 00]

13-4.3.2b Arbeitsbereich des FS03N

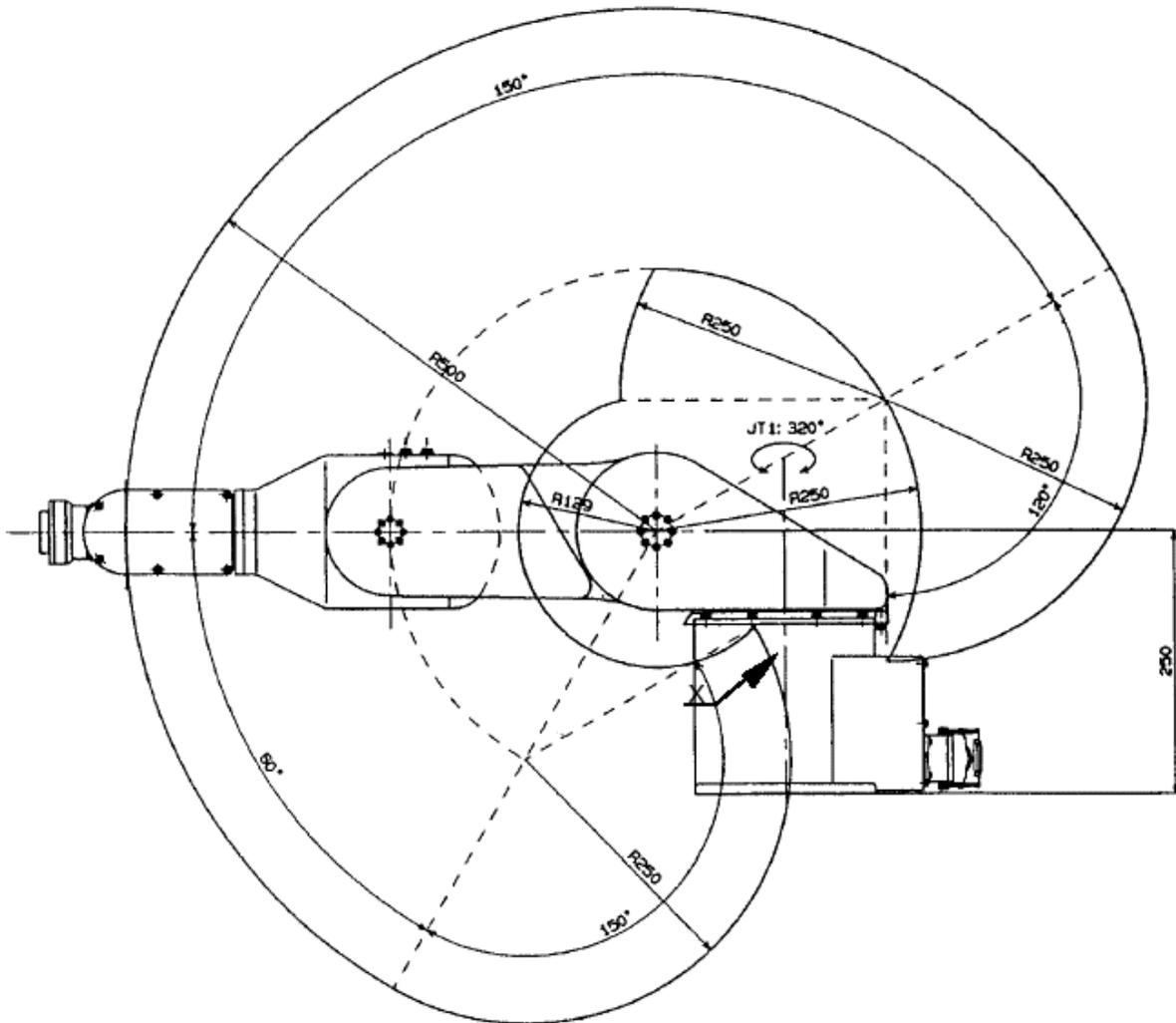


Abb. 57 Arbeitsbereich (Seitenansicht) [KAWA01]

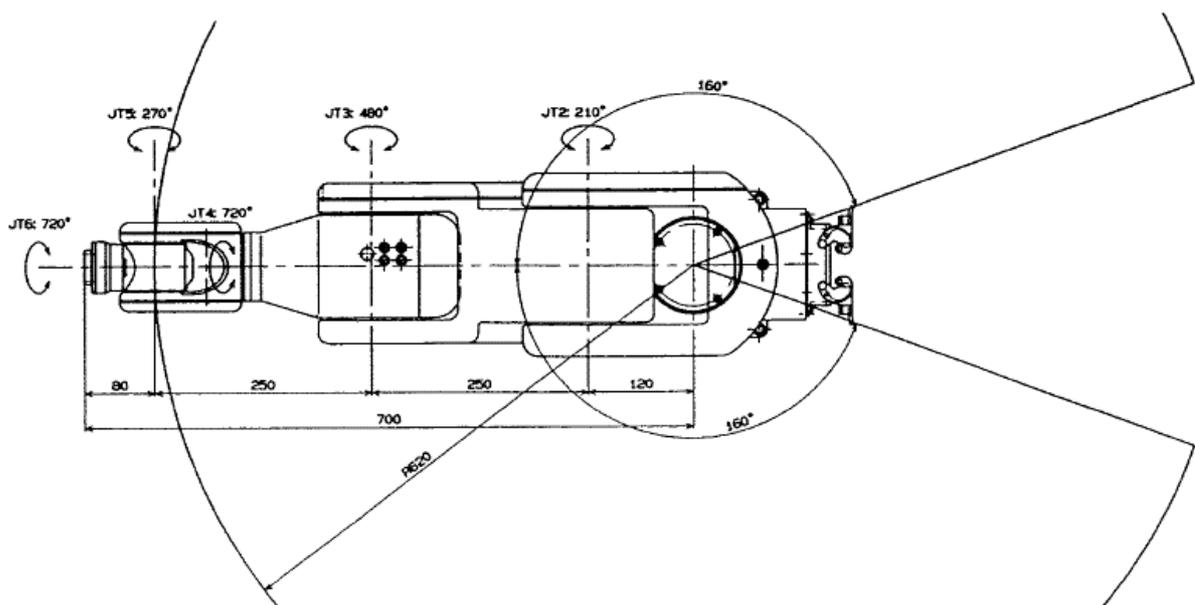


Abb. 58 Arbeitsbereich (Aufsicht) [KAWA01]

13-4.3.3.1 Das Kartesische Verfahren

"Bei einer Linearbewegung des TCP auf einer Geraden wird die kartesische Lage zwischen Anfangslage und Endlage während der Bewegung interpoliert und im kartesischen Takt durch die Rücktransformation in Gelenkwinkel umgerechnet:

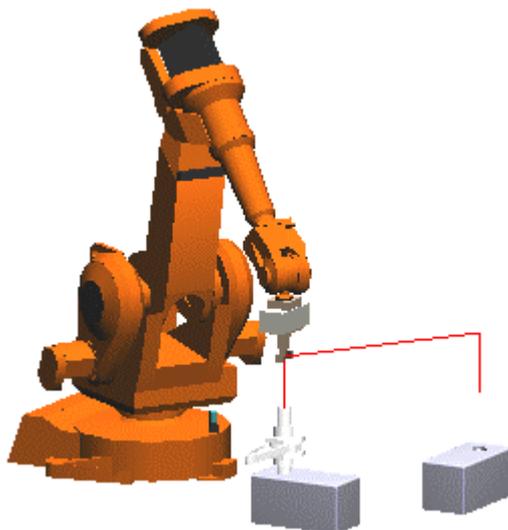


Abb. 59 Lineare Bewegung [IRF 00]

Wichtige Eigenschaften der Linearbewegung sind:

- der Bahnverlauf des TCP im Raum wird vorgegeben,
- die Punkte der Bahn werden während der Bewegung (online) kartesisch berechnet, so dass eine Rücktransformation erforderlich ist,
- sensorgeführte Bewegungen werden im allgemeinen kartesisch koordiniert, d.h. die Sensorwerte werden in kartesische Koordinaten umgerechnet. Damit kann die Position oder die Geschwindigkeit des TCP im Raum beeinflusst werden.

Wegen der Notwendigkeit der Rücktransformation im kartesischen Takt ist die Linearbewegung rechenintensiver als PTP-Bewegungen.

Die Bestimmung der Achsstellungen des Roboters zum Einnehmen einer vorgegebenen Lage des TCP im Raum wird als Rückwärtstransformation oder "inverses kinematisches Problem" bezeichnet.

Dieses Problem ist nicht allgemein, sondern nur roboterspezifisch lösbar. Für die meisten Industrieroboter existiert eine geschlossene (analytische) Form der Lösung, so dass die Echtzeitfähigkeit des Systems garantiert ist.

Bei den meisten Verfahren muss besonders auf Mehrdeutigkeiten der Lösung geachtet werden, denn viele Positionen im Raum können mit mehreren verschiedenen Sätzen von

Achswinkeln angefahren werden. Die richtige Wahl der Roboterkonfiguration ist dabei nicht immer einfach.

Der entscheidende Parameter neben dem Zielpunkt ist bei der Linearinterpolation die Bahngeschwindigkeit. [...]

Müssen Zwischenpunkte auf einer zusammengesetzten Bahn nicht exakt angefahren werden, so kann man die Zwischenpunkte überschleifen, was zu einer "glatteren" Bewegung führt." [IRF 00]

13-4.3.3.2 Das PTP Verfahren

"Bei einer PTP-Bewegung werden die zur Anfangslage und zur Endlage gehörenden Gelenkwinkel während der Bewegung interpoliert:

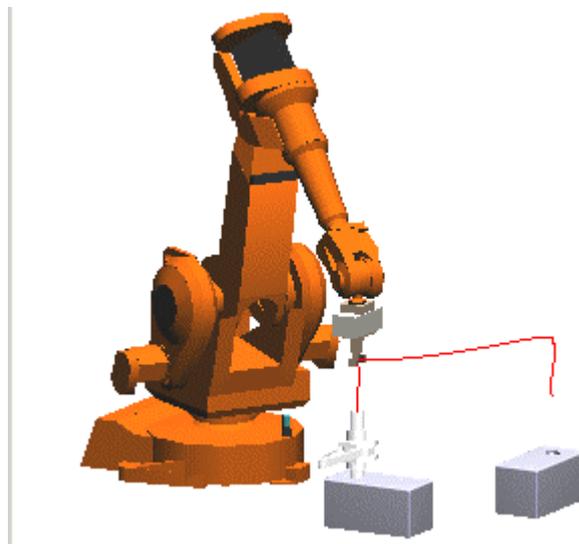


Abb. 60 PTP Bewegung [IRF 00]

PTP-Bewegungen werden für einfache Bewegungsaufgaben, bei denen keine vordefinierte Bewegungsbahn abgefahren werden muss, eingesetzt (Beispiele: Be- und Entladen, Bestücken, Punktschweißen).

Wichtige Eigenschaften der PTP-Bewegung sind:

- Für jede Achse wird ein Geschwindigkeitsprofil errechnet, dessen Integral genau den Differenzwinkel zwischen Anfangs- und Endstellung ergibt.
- Die Bewegungsbahn des TCP im Raum ist bei PTP-Bewegungen nicht von Interesse, da die achsbasierte Interpolation insbesondere bei Bewegung mehrerer Achsen zu schwer beschreibbaren Kurven des TCP führt.
- Es besteht kein unmittelbarer Funktionszusammenhang zwischen den kartesischen Lagen während der Bewegung.

- PTP-Bewegungen lassen sich für beliebige (auch redundante) Kinematiken ausführen, da eine Rückwärtstransformation nicht benötigt wird.

Die Bewegung der einzelnen Achsen kann nacheinander, gleichzeitig mit maximaler Geschwindigkeit jeder einzelnen Achse oder gleichzeitig mit maximaler Geschwindigkeit der "langsamsten" Achse erfolgen. Im letzten Fall beginnt und endet die Bewegung aller Achsen also gleichzeitig. Man spricht daher von einer Synchro-PTP-Bewegung.

Die Kollisionsfreiheit kann meist durch Überfahren eines zusätzlichen Hilfspunktes P2, der zwischen P1 und P3 liegt, erreicht werden." [IRF 00]

13-4.3.5a Wiederholgenauigkeit

"Die Wiederholgenauigkeit bezeichnet, wie genau ein Roboter eine mittels Lernverfahren eingegebene Position [Teachpunkt] wieder erreicht.

Je nach Größe des Arbeitsraumes liegt diese bei einem Bruchteil eines Millimeters.

Die Wiederholgenauigkeit spielt immer dann eine Rolle, wenn mit einem Roboterprogramm immer wieder dieselbe Position angefahren werden muss, z.B. um ein Teil abzulegen."

[IRF 00] Laut Kawasaki liegt diese beim Roboter FS03 bei +/- 0,05mm.

13-4.3.5b Absolute Positioniergenauigkeit

"Die Absolute Positioniergenauigkeit beschreibt, wie genau ein Greifer, der über Rückwärtskinematik (Bestimmung der Gelenkwinkel als Funktion der Lage des Endeffektors) gesteuert wird, eine programmierte Position erreicht.

Die Positioniergenauigkeit spielt immer dann eine Rolle, wenn eine Position angefahren wird, die vorher nicht eingelernt wurde (z.B. eine aus CAD-Daten berechnete Position)." [IRF 00]

Laut Kawasaki liegt diese beim Roboter FS03 +/- 0,05mm.

13-4.3.5c Einfluss der Roboterausrichtungsgenauigkeit

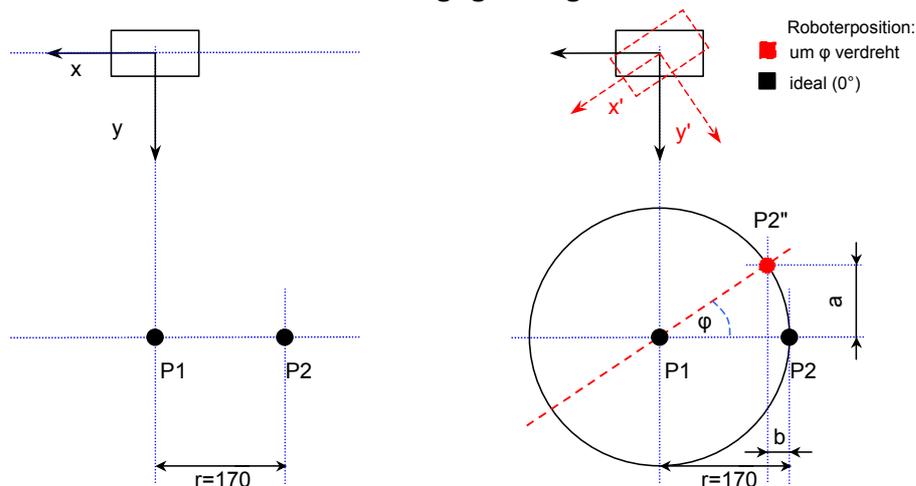


Abb. 61 Roboterausrichtungsgenauigkeit

Versuch 1: (Abb. 61 linke Skizze)
 Roboter 100% parallel auf Grundplatte ausjustiert. P1 wird angefahren und geteacht. Ausgehend von P1 wird eine Strecke von 170mm in -X-Richtung verfahren (relative Berechnung) um P2 zu erreichen.

Ergebnis: P2 wird mit einer Genauigkeit von +/- 0,05mm erreicht (Positioniergenauigkeit des Roboters)

Versuch 2: (Abb. 61 rechte Skizze)
 Der Roboter wird um einen Winkel von φ° verdreht. Das BASE-Koordinatensystem des Roboters ist damit nicht mehr parallel mit der Grundplatte. P1 wird ein weiteres mal geteacht. Ausgehend von P1 wird eine Strecke von 170mm in -X-Richtung verfahren (relative Berechnung) um P2'' zu erreichen.

Ergebnis: P2 wird nicht erreicht, eine Abweichung in X- und Y-Richtung (um Werte a und b) entsteht.

Dies zeigt, welche Präzision bei der Ausrichtung des Roboters notwendig ist, damit Bewegungen entlang der BASE-Koordinaten möglich sind.

φ	r	a=r sin(φ)	b=r (1-cos(φ))
Verdrehung am Roboter			
0,01 °	88,0 mm	0,015 mm	0,0000 mm
0,02 °	88,0 mm	0,031 mm	0,0000 mm
0,05 °	88,0 mm	0,077 mm	0,0000 mm
0,10 °	88,0 mm	0,154 mm	0,0001 mm
0,15 °	88,0 mm	0,230 mm	0,0003 mm
0,20 °	88,0 mm	0,307 mm	0,0005 mm
0,25 °	88,0 mm	0,384 mm	0,0008 mm
0,30 °	88,0 mm	0,461 mm	0,0012 mm
0,35 °	88,0 mm	0,538 mm	0,0016 mm
0,40 °	88,0 mm	0,614 mm	0,0021 mm

φ	r	a=r sin(φ)	b=r (1-cos(φ))
Verdrehung an der Palette			
0,01 °	170,0 mm	0,030 mm	0,0000 mm
0,02 °	170,0 mm	0,059 mm	0,0000 mm
0,05 °	170,0 mm	0,148 mm	0,0001 mm
0,10 °	170,0 mm	0,297 mm	0,0003 mm
0,15 °	170,0 mm	0,445 mm	0,0006 mm
0,20 °	170,0 mm	0,593 mm	0,0010 mm
0,25 °	170,0 mm	0,742 mm	0,0016 mm
0,30 °	170,0 mm	0,890 mm	0,0023 mm
0,35 °	170,0 mm	1,038 mm	0,0032 mm
0,40 °	170,0 mm	1,187 mm	0,0041 mm
0,50 °	170,0 mm	1,484 mm	0,0065 mm
0,60 °	170,0 mm	1,780 mm	0,0093 mm
0,70 °	170,0 mm	2,077 mm	0,0127 mm
0,80 °	170,0 mm	2,374 mm	0,0166 mm
0,90 °	170,0 mm	2,670 mm	0,0210 mm
1,00 °	170,0 mm	2,967 mm	0,0259 mm

Die korrekte Ausrichtung des Roboters kann in der Praxis wie folgt vorgenommen werden:

- Anbringen eines Metalldrahtes am Greifer als spitzer Referenzpunkt. (Zweckmäßig: Büroklammer mit Klebestreifen fixieren, jedoch nicht das Ende des Schweißdrahtes nutzen, da der Schweißdraht sich beim Bewegen im Schlauch paket dreht, und die Spitze somit nicht an einem Punkt stehen bleibt),
- Verfahren im Basis-Koordinatensystem bis der Metalldraht nahezu eine Referenzkante berührt (z.B. die Vorderseite der Grundplatte),
- Langsames Abfahren in der Basis Y-Achse über eine möglichst lange Strecke

Bleibt der Abstand gleich (a gegen 0) so ist die Ausrichtung gut. (b folglich infinitesimal klein.)

(Der Verwendete Abstand von 170mm liegt bei Greifaufgaben an den Paletten vor.)

13-4.3.6.1a Befehle der AS Programmiersprache

Es kann aus Platzgründung an dieser Stelle nur die Syntax der wesentlichen AS-Befehle kurz beschrieben werden. Programmierern anderer Sprachen soll dies eine schnelle "Vokabelkunde" bieten. Weitere Befehle und ausführliche Beschreibungen sind dem Handbuch "CONTROLLER DER C – SERIE, REFERENZHANDBUCH DER AS SPRACHE" von Kawasaki zu entnehmen. (Weiter Hilfe durch Eingabe von `HELP befehlsname`)

Die Kawasaki-Nomenklatur erlaubt eine maximale Wortlänge von 15 Buchstaben bei Variablen- und Programmnamen, wobei keine Zahlen zu Anfang und nur wenige Sonderzeichen gestattet sind.

Zeichen die einem ";" (selten auch ".*") folgen sind Kommentare und werden von der Steuerung ignoriert.

`STANDARD` symbolisiert Programmcode / Befehle

kursiv Variabelennamen in Programmcode

Durch Kommata getrennte Parameter sind meist optional.

➤ Programmdefinition und Aufruf:

Definition eines Programms / einer Subroutine:

```
.PROGRAM programmname(.übergabeparameter1, .übergabeparameter2)
...
.END
```

Dabei ist den optionalen Übergabeparametern ein "." (Punkt) voranzustellen.

`CALL programmname (98,"text")`; Aufruf von *programmname* mit Parametern

➤ Definition von Variablen:

`POINT #above_w_weld =#PPOINT(α JT1, α JT2, α JT3, α JT4, α JT5, α JT6)`
(Präzisionspunkten ist stets ein "#" voranzustellen)

`POINT tcp_weld =TRANS(x,y,z,ax,ay,az) ;` Transformationspunkt

Variablen sind stets globale Variablen und werden durch erstmaligen Aufruf definiert:

`zahl_a = 222`

`text_b = "hallo world"`

➤ Werkzeug wechseln: (gültig bis nächster `TOOL` Befehl verwendet wird)

`TOOL tcp_gripper ;` Wechsel zu TCP des Greifers

`TOOL tcp_weld ;` Wechsel zu TCP der Schweißbrenners

➤ Bewegungsbefehle:

`JMOVE #a ;` Joint optimierte Bewegung zu einem Präzisionspunkt

`LMOVE b ;` Linearinterpoliert Bewegung zu einem Transformationspunkt

`LMOVE SHIFT(c BY ax,ay,az) ;` Abstand zu Punkt *c* (BASE-Koodinatensystem)

`LMOVE c+TRANS(x,y,z,ax,ay,az) ;` Abstand zu Punkt *c* (TCP-Koodinatensystem)

`LAPPRO a,30 ;` mit 30mm Abstand (in TCP-Z Richtung) zu Punkt *a* verfahren

`LDEPART 100 ;` mit 100mm in negativer TCP-Z Richtung verfahren

```

BREAK                ; abwarten bis letzte Bewegung beendet wurde
SPEED 30 ALWAYS      ; Geschwindigkeit einstellen (stets 30% von Maximal-G.)
SPEED 40              ; Geschwindigkeit nur für nächste Bewegung 40%
SPEED 20 mm/s        ; Geschwindigkeit nur für nächste Bewegung auf 20mm/s
SPEED 3 s            ; nächste Bewegung muss in 3 Sekunden erledigt sein
ACCURACY 10 ALWAYS  ; Verschleifen von Punkten stets auf 10mm
HOME                 ; "Home"-Position anfahren
                    ; mit "sethome 22,HERE" teachen, ein Eingang kann
                    ; gesetzt werden wenn home bis 22mm erreicht ist

```

➤ **Kreisinterpolierte Bewegung (Interpolation durch mind. 3 Punkte definiert):**

```

LMOVE p1             ; Anfangspunkt der Bewegung (bzw. jmove)
C1MOVE p2           ; Punkt auf 1/4 Wegstrecke
C2MOVE p3           ; Endpunkt 1. Halbkreis/ Anfangspunkt 2. Halbkreis
C1MOVE p4           ; Punkte auf 3/4 Wegstrecke
C2MOVE p1           ; Endpunkt des 2. Halbkreises (= Anfangspunkt 1. Halbk.)

```

➤ **Schleifen und Verzweigungen:**

```

marke2:              ; Marke2 setzen (ein Wort gefolgt von ":")
GOTO marke2          ; Gehe zu marke2

IF (bedingung) THEN ; Verzweigung wenn bedingung wahr ist
  ...
ELSE                 ; andernfalls wird folgender Code ausgeführt
  ...
END

WHILE (bedingung) DO ; Solange bedingung wahr ist Schleife ausführen
  ...
END

DO
  ...
UNTIL (bedingung)   ; Solange bedingung wahr ist wiederholen

FOR i=startwert TO endwert ; Zählschleife von startwert bis endwert
  ...                      STEP schrittweite
END

CASE zahlx OF        ; Verzweigung wenn Wert zahlx
  VALUE a            ; -gleich Wert a
  ...
  VALUE b            ; -gleich Wert b
  ...
  VALUE ...          ; -gleich Wert ...
  ...
  ANY                ; andernfalls :
  ...
END

```

➤ **Externe Signale :**

```

IF (SIG(a)) THEN ...      ; wenn Eingang a gesetzt dann...
SIGNAL o_center          ; Ausgang setzten o_center
SIGNAL -o_center         ; Ausgang löschen o_center
PULSE o_gripper, n      ; Ausgang für n Sekunden setzten
SWAIT (i_center_opened) ; Eingang i_center_opened abwarten
SWAIT (1005 AND 1007)     ; Warten bis beide Eingänge gesetzt
TWAIT n                  ; n Sekunden warten
PROMPT "Eingabe?", x     ; Wert von Benutzer abfragen, in x speichern
TYPE /i1 , "abc", x     ; Text "abc" und Wert von x ausgeben

OPEN                       ; Greifer öffnen (Greifer definiert mit HSET CLAMP)
CLOSE                      ; Greifer öffnen (Greifer definiert mit HSET CLAMP)

```

13-4.3.6.1b Besondere AS - Schweißbefehle

Weiterführende Befehle siehe "90209-1012DEA ARC WELD AS LANGUAGE MANUAL", Kawasaki. (U.a. "pattern weaving", "touch sensing")

➤ **Vorbereiten von Schweißparametern in der Schweißparameterdatenbank:**

```

W1SET schweissnr = speed, A, V
      ; schweissnr Nummer einer Schweißkondition (zwischen 1-20)
      ; speed      Geschwindigkeit des Roboters in cm/min
      ; A          Schweißstrom in Ampere (Leitspannung 1)
      ; V          Drahtvorschub (!) in cm/min (Leitspannung 2)
                        (Umrechnung bei EWM Gerät : 20m/min=10V)

W2SET endkraternr = t, A, V
      ; endkraternr Nummer einer Kraterfüllkondition (zwischen 1-20)
      ; A          Schweißstrom in Ampere (Leitspannung 1)
      ; V          Drahtvorschub (!) in cm/min (Leitspannung 2)
                        (Umrechnung bei EWM Gerät : 20m/min=10V)

WLIST                               ; Ausgabe der Schweißparameter von W1SET
WLIST 2                             ; Ausgabe der Schweißparameter von W2SET
SAVE/ARC file.aw                   ; Speichern der Daten in Dateiname file.aw

```

➤ **Punktschweißen:**

```

JAS pos1                          ; Schweißpunkt an pos1 (Joint interpoliert).
LAS pos2                          ; Schweißpunkt an pos2 (Linear interpoliert)
Beispiel:
w2set 15=0.5, 70, 4.7              ; Kraterkondition15: 0.5sec, 70A, 4.7V (20m/min=10V)
LAS pos3, 15                      ; Schweißpunkt an pos3

```

➤ **Bahnschweißen:**

```
wlset 11= 95,90,5 ; Kondition 11: 95 cm/min, 90 Amp, 5 V (20 m/min=10V)
wlset 12= 95,90,5 ; Kondition 12: 95 cm/min, 90 Amp, 5 V (20 m/min=10V)
JWS pos1          ; Schweißbahn bis Punkt pos1 (joint) (WS=WeldStart)
LWS pos2 ,11      ; Schweißbahn bis Punkt pos2 (linear) WC=WeldContinue)
LWS pos3 ,12      ; Schweißbahn bis Punkt pos3 (linear) mit Schweißkond. 12
LWE pos4 ,11      ; Schweißbahn bis Punkt pos4 (linear) (WE=WeldEnd)
```

➤ **Kreis-Bahnschweißen:** (Beispiel vergleiche - C1MOVE / C2MOVE)

```
wlset 11= 95,90,5 ; Kondition 11: 95 cm/min, 90 Amp, 5 V (20 m/min=10V)
w2set 18= 0,0,0   ; Kraterfüllung 18: 0sec, 0 Amp, 0V (also ausgeschaltet)
LWS pos1          ; -Halbkreis schweißen- Startpunkt (linear) (WS=WeldStart)
C1WC pos2,11      ; Schweißen mit Kondition 11 bis Punkt pos2 (WeldContinue)
C2WE pos3,11,18   ; Schweißen mit Kondition 11 bis Punkt pos3 (WeldEnd)
                  ; Schweißende mit Kraterfüllung 18
BREAK            ; Schweißbewegung beenden
LMOVE HERE       ; Punkt noch einmal anfahren (zur Verfahrersicherheit)
```

13-4.3.6.1c KC-Win AS-Befehle

Im Kawasaki-Programm KC-Win sind fast alle "normalen" AS-Befehle direkt ausführbar. Der Befehl `help` gibt Auskunft über Befehle und deren Verwendung.

Dies ist u.a. abhängig davon, ob der Teach-Modus aktiv ist oder nicht.

Es sind zusätzliche "Monitor-Befehle" zur Überwachung und Modifizierung möglich:

```
IO          zeigt alle Ein-/Ausgabesignale an (Ausgabe kann zw. "1/0" und
           "XOxo" umgeschaltet werden (Großbuchstaben sind feste Werte))
PU 2        steht für "PULSE" und aktiviert Ausgang 2 für kurze Zeit (Diagnose)
PRIME test  Markiert Programm "test" als aktuelles Programm
KILL        Aktuelles Programm demarkieren
PCKILL      PC-Programm demarkieren ("PC" steht für "ParallelContr.-Programm")
errlog      zeigt die letzten Fehler samt Datum an
hold        hält die Roboterbewegung an (software hold nicht HOLD-Schalter!!)
continue    führt die mit "hold" angehaltene Bewegung weiter.
```

```
ED test     Startet den Editier-Modus für Programm "test":
           e <return>   beendet den Editier-Modus wieder
           s 3<return>  springt zu Zeile 3
           d 7<return>  löscht die folgenden 7 Zeilen
           text<return> überschreibt aktuelle Zeile mit "text"
```

Folgende Befehle können optional mit einschränkenden Parametern genutzt werden:

```
/L   Befehl nur auf Locations (Punktetabellen) beziehen
/P   Befehl nur auf Programme beziehen
/R   Befehl nur auf Reale-Variablen beziehen
/... u.a. (siehe z.B. HELP SAVE )
DIR   zeigt den Inhalt des Speichers der Robotersteuerung an
LIST test  Programmlisting von Programm "list", incl. aller verwendeten
           Variablen, Punkte und aufgerufenen Unterprogramme
EXE test  führt Programm "test" direkt aus (nur wenn "Motor an" / in RUN modus)
LOAD file.pg laden der Datei "file.pg" von der lokalen Computer Festplatte
SAVE file.as gesamtes Backup des Roboters (Einstellungen, PRG, ...)
           von Roboter auf lokale Festplatte kopieren
```

13-4.3.6.2 Die Blocksprache

Der folgende Bildschirm (Abb. 62) zeigt ein Beispielbildschirm des Teach-Panels für die Blocksprache. Die sich farblich unterscheidenden Schaltflächen geben dem Bediener einen geeigneten Überblick über die möglichen Funktionen der Blocksprache.

Nach beendetem Anfahren des Teachpunktes, muss ausgewählt werden, wie dieser im Programmablauf angefahren werden soll (linear / gelenkoptimiert / kreisinterpoliert). Ebenfalls sind die Geschwindigkeit und Beschleunigung einstellbar. Zusätzlich können die Zustände aller Ausgänge der Robotersteuerung gesetzt werden. Beim Schweißen muss außerdem noch eine entsprechende Schweißkondition ausgewählt werden.

Nach abgeschlossener Parametrierung wird mittels "RECORD"-Taste der Bewegungsschritt abgespeichert, und die Programmierung des nächsten Schrittes eingeleitet.

Die Schritte der Blocksprachenprogramme können gleichermaßen per Teach-Panel (grafisch) oder KC-Win (textbasiert) modifiziert werden.

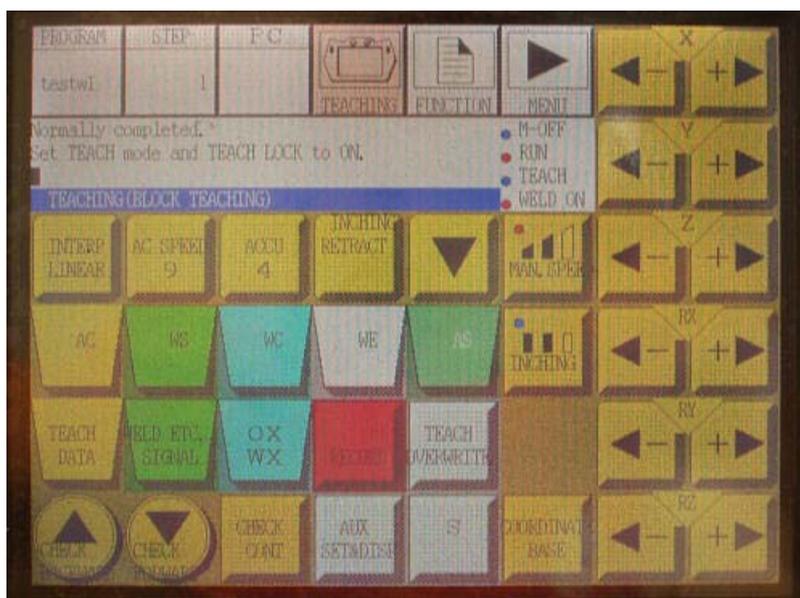


Abb. 62 Multifunktionspanel (Blocksprache)

13-4.4a Schweiß-Konditionen (AUX 28)

Die folgende Abbildung zeigt die Sonderfunktion "AUX 28", welche die Daten für eine Bahnschweiß-Kondition (engl. Arc Welding Condition) aufnimmt und nur bei Robotersteuerungen mit Schweißinterfacekarte zu finden ist. Sie gibt dem Anwender die Möglichkeit, über das Multifunktionspanel Werte für die Schweißgeschwindigkeit, Stromstärke und Drahtvorschubgeschwindigkeit (vgl. Anhang 13-4.4b) anzugeben. Weiterhin können Amplitude und Frequenz für Schwenkbewegungen gespeichert werden. Angaben zur Kraterfüllung (engl. Crater Time/ Current/ Voltage) werden hier ebenfalls eingegeben.

Jede Schweiß-Kondition wird durch eine Nummer gekennzeichnet. Diese Nummer wird beim Programmieren von Schweißbewegungen in Blocksprache als Referenz verwendet. Es stehen bis zu 20 unterschiedliche Konditionen zur Verfügung.

				8	9	↑	↓
AUX 28 ARC WELD CONDITION							
WELD CONDITION 0				6	7	←	→
WELD SPEED 40 cm/min							
CURRENT 60.0 A							
VOLTAGE 3.2 V							
POLE RATIO 0				4	5	-	EXIT
CRATER TIME 0.0 s							
CURRENT 0 A							
VOLTAGE 0.0 V				2	3	.	BS
F1	F2	F3	F4				
AUTO SET	PRE PG	NEXT PG		0	1	CLEAR	RETURN

Abb. 63 Arc Weld Condition - AUX 28 [KAWA98]

Für Punktschweißen (engl. Spot-Welding) steht ein ähnlicher Bildschirm bereit.

Wichtig:

Werden Schweißkonditionen in der AS-Sprache verwendet, so müssen zur Definition ebenfalls die entsprechenden AS-Befehle verwendet werden (siehe Anhang 13-4.3.6.1).

13-4.4b Leitspannung für Drahtvorschubgeschwindigkeit

Leitspannung für Drahtzufuhr
20m/min => 10 V (=Vmax)

m/min	cm/sec	mm/sec	V
1,00	1,67	16,67	0,50
2,00	3,33	33,33	1,00
3,00	5,00	50,00	1,50
4,00	6,67	66,67	2,00
2,00	3,33	33,33	1,00
3,00	5,00	50,00	1,50
4,00	6,67	66,67	2,00
5,00	8,33	83,33	2,50
6,00	10,00	100,00	3,00
7,00	11,67	116,67	3,50
8,00	13,33	133,33	4,00
8,50	14,17	141,67	4,25
8,75	14,58	145,83	4,38
9,00	15,00	150,00	4,50
9,25	15,42	154,17	4,63
9,50	15,83	158,33	4,75
9,75	16,25	162,50	4,88
10,00	16,67	166,67	5,00
10,25	17,08	170,83	5,13
10,50	17,50	175,00	5,25
10,75	17,92	179,17	5,38
11,00	18,33	183,33	5,50
11,25	18,75	187,50	5,63
11,50	19,17	191,67	5,75
12,00	20,00	200,00	6,00
13,00	21,67	216,67	6,50
14,00	23,33	233,33	7,00
15,00	25,00	250,00	7,50
16,00	26,67	266,67	8,00
17,00	28,33	283,33	8,50
18,00	30,00	300,00	9,00
19,00	31,67	316,67	9,50
20,00	33,33	333,33	10,00

Tab. 8 Leitspannung für Drahtvorschubgeschwindigkeit

Die oben angegebene Umrechnungstabelle dient der Nutzung eines EWM-Schweißgerätes an einer Kawasaki Robotersteuerung incl. Schweißinterfacekarte, bei der die Drahtvorschubgeschwindigkeit in Volt angegeben werden muss (Leitspannung) (vgl. Anhang 13-4.4b)

Der Rahmen beschreibt sinnvolle Werte für die Drahtvorschubgeschwindigkeit.

Der Arbeitspunkt liegt etwa bei 10m/min Drahtvorschubgeschwindigkeit.

13-5.3 Schweißparameter-Zusammenhänge in der Übersicht

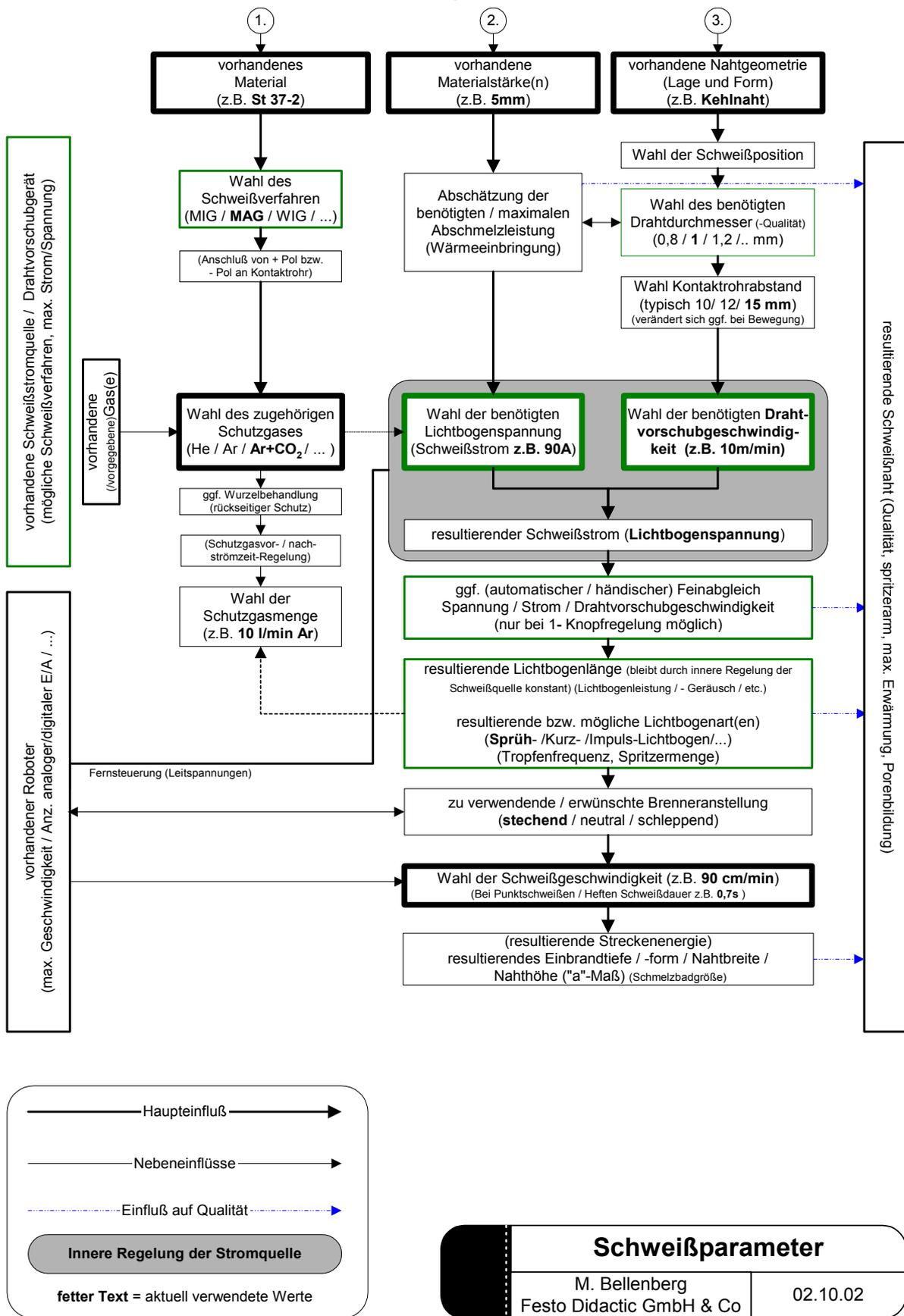


Abb. 64 Schweißparameter- Zusammenhänge in der Übersicht

13-6.2 Schweißparameter Tabelle

70 Tabelle 57.

Verfahren: MAG-Schweißen							Grundwerkstoff: unlegierter Baustahl							
Art der Fertigung: teilmechanisch							Schweißzusatz: Drahtelektrode SG 2 DIN 8559							
Nahtart: Stumpfnaht							Schweißhilfsstoff: Schutzgas DIN 32 526 – M 21							
							Schweißposition: f oder s; siehe entsprechende Spalte							
Werkstückdicke mm	Nahtvorbereitung				Draht- bzw. elektroden- durchmesser mm	Einstellwerte					Verbrauchswerte			Bemerkungen
	Nahtart	Spalt mm	Naht- öffnungswinkel Grad	Schweiß- position		Arbeits- spannung V	Schweiß- strom A	Draht- vor- schubge- schwin- digkeit m/min	Schutz- gas l/min	Lagen- zahl	Schweiß- zusatz g/m	Schutz- gas l/min	Haupt- zeit t _h min/m	
1,5	I-Naht	1,0	—	f	0,8	18	110	5,1	10	1	31	15	1,5	
2	I-Naht	1,5	—	f	0,8	18,5	130	7,1	10	1	46	16	1,6	
2	I-Naht	1,5	—	f	1,0	18,5	125	4,2	10	1	45	17	1,7	
3	I-Naht	2,0	—	f	0,8	19	130	7,2	10	1	61	22	2,2	
3	I-Naht	2,0	—	f	1,0	19	130	4,7	10	1	62	21	2,1	
4	I-Naht	2,5	—	f	1,0	20	160	5,4	10	1	88	26	2,6	
5	V-Naht	2,0	50	f	W D	1,0	18,5 19,5	130 170	4,7 5,5	12	2	193	74	6,1
6	V-Naht	2,0	50	f	W D	1,0	18,5 19,5	130 170	4,7 5,5	12	2	240	90	7,6
8	V-Naht	2,0	50	s	W D	1,0	17	100	3,7	12	2	405	210	17,4
10	V-Naht	2,5	50	s	W D	1,0	18	120	4,4	12	2	603	262	21,8
12	V-Naht	2,5	50	s	W M; D	1,0	17,5 18,5	100 135	3,7 4,8	12	3	797	340	28,3
15	V-Naht	3,0	50	s	W M; D	1,2	18,5 19,5	130 160	3,2 4,2	12	3	1290	440	36,7

Angaben über verfahrensbedingte Nebenzeiten: siehe Tabelle 56.

Tabelle 58.

Verfahren: MAG-Schweißen							Grundwerkstoff: unlegierter Baustahl							
Art der Fertigung: teilmechanisch							Schweißzusatz: Drahtelektrode SG 2 DIN 8559							
Nahtart: Kehlnaht							Schweißhilfsstoff: Schutzgas DIN 32 526 – M 21							
							Schweißposition: f, h, s oder w; siehe entsprechende Spalte							
Werkstückdicke mm	Nahtvorbereitung				Draht- bzw. elektroden- durchmesser mm	Einstellwerte					Verbrauchswerte			Bemerkungen
	Nahtart	Spalt mm	Steg- höhe mm	Schweiß- position		Arbeits- spannung V <i>Einstellw.</i>	Schweiß- strom A <i>Einstellw.</i>	Draht- vor- schubge- schwin- digkeit m/min <i>Einstellw.</i>	Schutz- gas l/min	Lagen- zahl	Schweiß- zusatz g/m	Schutz- gas l/m	Haupt- zeit t _h min/m	
2	Kehl- naht	—	—	h	0,8	20	105	7,3	10	1	44	15	1,5	
2	Kehl- naht	—	—	f	0,8	19,5	100	7,1	10	1	45	16	1,6	
3	Kehl- naht	—	—	h	1,0	22,5	215	10,6	10	1	90	14	1,4	
3	Kehl- naht	—	—	f	1,0	21,5	210	9,0	10	1	86	15	1,5	
3,5	Kehl- naht	—	—	f	1,2	19,5	190	4,2	15	1	100	40	2,7	
4	Kehl- naht	—	—	h	1,0	23	220	10,7	10	1	140	21	2,1	
4	Kehl- naht	—	—	h	1,2	28	280	9,2	15	1	142	26	1,7	
5	Kehl- naht	—	—	h	1,2	29,5	300	9,5	15	1	216	38	2,6	
5	Kehl- naht	—	—	f	1,2	19,5	190	4,2	15	3	210	84	5,6	
6	Kehl- naht	—	—	h	1,2	29,5	300	9,5	15	1	300	53	3,5	
6	Kehl- naht	—	—	h	1,6	34	365	6,3	15	1	360	45	3,0	
6	Kehl- naht	—	—	s	1,0	18	115	4,7	10	1	295	101	10,1	
7	Kehl- naht	—	—	h	1,2	29,5	300	9,5	15	3	390	69	4,6	
7	Kehl- naht	—	—	w	1,6	35	420	7,2	15	1	380	51	3,4	
7	Kehl- naht	—	—	s	1,0	18	115	4,7	10	1	410	143	14,3	
8	Kehl- naht	—	—	h	1,2	29,5	300	9,5	15	3	545	97	6,4	
8	Kehl- naht	—	—	s	1,0	18,5	130	4,8	10	2	548	180	18,4	
10	Kehl- naht	—	—	h	1,2	29,5	300	9,5	15	4	805	143	9,5	
10	Kehl- naht	—	—	h	1,6	34	380	6,4	15	3	802	119	7,9	
10	Kehl- naht	—	—	s	1,2	19	165	4,2	15	2	822	330	22,0	

Angaben über verfahrensbedingte Nebenzeiten: Die verfahrensbedingten Nebenzeiten (Entfernen der Schweißspritzer, Säubern der Gasdüse, Wechsel der Drahtrolle u.a.) können überschlägig mit 20 bis 40% von t_h angesetzt werden. Sie hängen besonders von der Spritzerbildung und damit von der Art des Schutzgases und den Einstellwerten ab.

Tab. 9 Schweißparametertabelle [DVS 72]

13-7.3a E-Learning: Anschluss per EasyPort

Für die E-Learning Umgebung wurde als Schnittstelle der FESTO-EasyPort verwendet. Dieses Gerät wurde von dem Server-Computer per serieller 9 Pol Sub-D Schnittstelle angesteuert und wandelte die Bitmuster in 24V Signale um, welche wiederum über ein Centronics - Schnittstellkabel an den Schaltschrank der Schweißanlage und von dort per Flachbandkabeln an die Robotersteuerung weitergeleitet wurden. Zählt man die Verbindungskomponenten, so kommt man auf drei Kabelverbindungen (mit ihren jeweils zwei - Steckerenden) einem D/A – A/D Wandler (EasyPort) und einem Centronix / Flachband Adapter – in Summe 8 Schnittstellen. Dazu kommt eine softwareseitige Einbindung welche in Anhang 13-3.5.1ff abgebildet ist und ein Bitmuster verwendet. Dies waren weitere Schnittstellen.

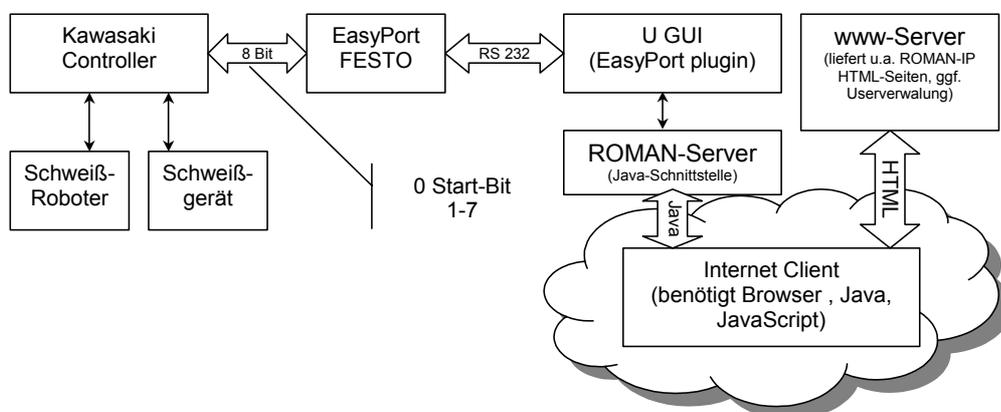


Abb. 65 Verbindung per FESTO-EasyPort und Bitcodierung: (ehemalig)

13-7.3b E-Learning: Anschluss via serieller Schnittstelle RS232

Während der Dokumentation der Roboterschweißzelle wurde klar, dass durch Verwendung der bereits existierenden seriellen Schnittstelle direkt an der Robotersteuerung die o.g. Aneinanderreihung von Komponenten entfallen könnte, vorausgesetzt dass die Applikation dadurch keine Funktions- bzw. Geschwindigkeitseinbußen erfährt und das ganze nicht teurer wird. Es erwies sich bei näherer Untersuchung, dass die Anzahl der Funktionen von knapp 32 Befehlen, die zuvor maximal per Bitmuster übertragen werden konnten, auf die volle Anzahl der Robotersteuerung zur Verfügung stehenden Befehle (weit über 200) erweitert werden konnte. Wegen des Entfalls der vordem notwendigen Warteroutinen (Bit-Übertragung per Internet) konnten die Übertragungsverfahren gleichzeitig erheblich in ihrer Übertragungsgeschwindigkeit verbessert werden. Kosten für Schnittstellenkabel und den EasyPort entfallen.

Allerdings ging mit diesen Verbesserungen eine neue softwaremäßige Einbindung einher. Durch die modulare Bauweise des Bendit-Softwarepaketes konnte dies jedoch zeitlich wie auch finanziell in vertretbarem Rahmen realisiert werden.

Zu beachten ist bei der Lösung mit serieller Schnittstelle allerdings, dass deren Übertragungsrate (9600 KB/s) bei weitem geringer ist als die einer Netzwerkkarte (10 bzw. 100 MB/s). Eine Netzwerkkarte kann optional für die Robotersteuerung erworben werden, sie ersetzt die Hauptplatine des Robotersteuerung und sollte somit direkt bei Bestellung des Roboters gekauft werden und würde in Bezug auf Geschwindigkeit eine weitere Verbesserung ergeben.

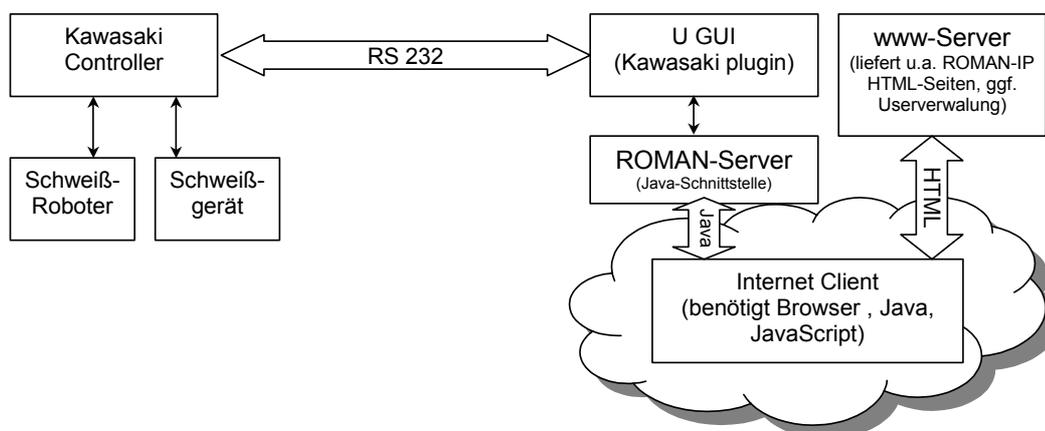


Abb. 66 Direkte Verbindung per Serieller Schnittstelle (RS 232)

13-7.5.2 E-Learning: Bedieneroberfläche

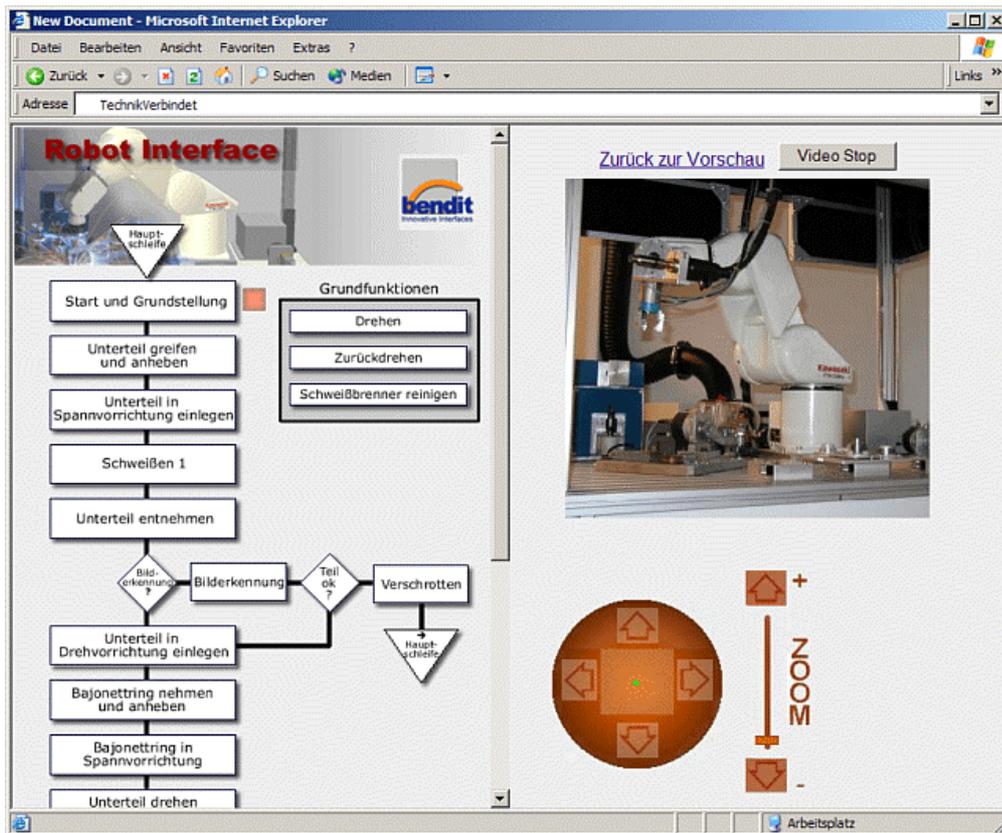


Abb. 67 Bendit E-Learning System

Bedieneroberfläche der Firma Bendit, sichere Lösung, jedoch starr festgelegter Ablaufplan.

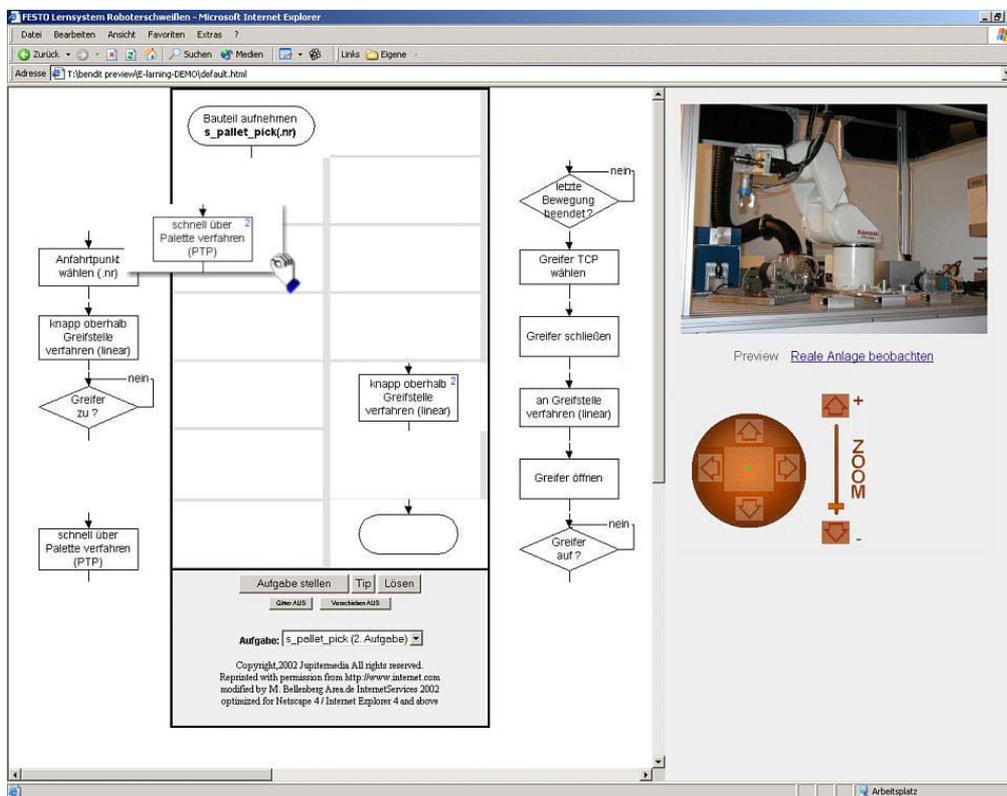


Abb. 68 E-Learning System Puzzle

Bedienoberfläche welche im Rahmen der Diplomarbeit entstanden ist. Der Ablaufplan ist hier als "Puzzle" realisiert, der Anwender muss diesen erst richtig zusammen bauen, erst dann kann der Roboter ferngesteuert werden. Dies ist didaktisch wertvoller.

13-7.5.3 E-Learning: KC-Win Webinterface

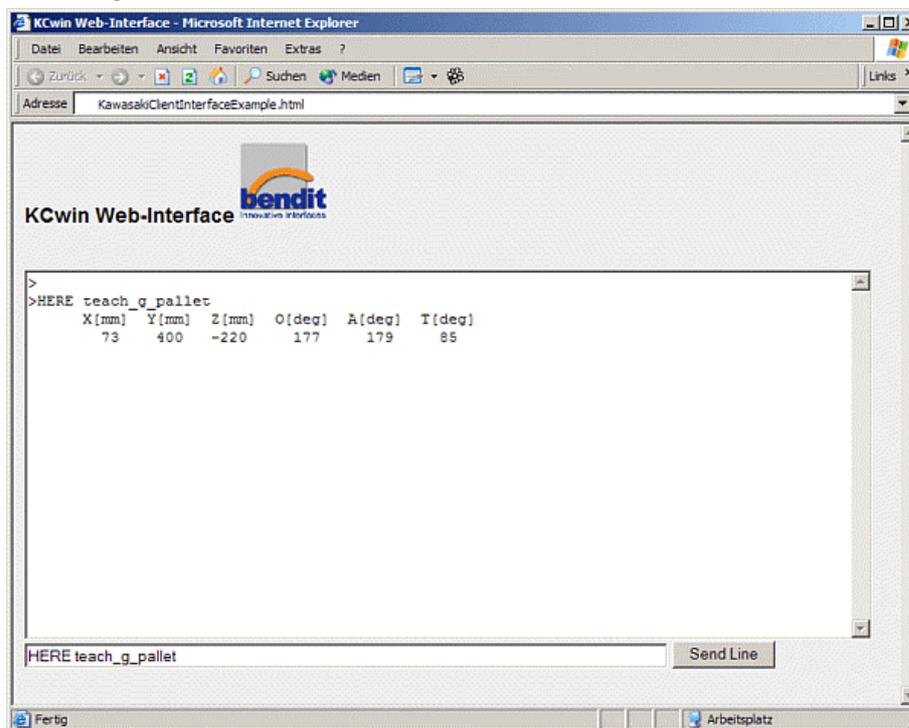


Abb. 69 Bendit KC-Win Webinterface

Webinterface des Kawasaki Programms "KC-Win" mittels dessen alle Roboterbefehle über das Internet ausgeführt werden können. Ebenfalls ist darüber das Editieren und Ersetzen von Quellcode direkt auf der Robotersteuerung möglich.