

## **1. Einleitung**

---

Die Pioniere der Elektrowarmwasserversorgung sitzen in Lüneburg. Claus Holmer Gerdes entwickelte 1951 den ersten Blankdraht Durchlauferhitzer der Welt. Heutzutage werden in Lüneburg unter der Leitung von Jörg und Joachim Gerdes, jährlich etwa 80.000 Durchlauferhitzer gefertigt. Die Produkte werden in der eigenen F&E Abteilung entwickelt. So wundert es nicht, dass CLAGE GmbH der einzige Hersteller für Durchlauferhitzer ist, der für jede Warmwasserstelle das richtige Warmwassergerät hat. Das Leistungsspektrum geht vom Kleindurchlauferhitzer mit 3.5 kW bis zum High-End Gerät mit 27 kW und Fernbedienung. In dem Bereich Kleindurchlauferhitzer ist CLAGE GmbH mit einem Marktanteil von über 75% Marktführer.

Die dezentrale Warmwasserversorgung mit Durchlauferhitzern ist die wirtschaftlichste alternative Warmwasser für alle Bedarfsfälle bereitzustellen. Durch den Einsatz, direkt an der Warmwasserstelle werden Energie,- und Bereitstellungsverluste vermieden. Außerdem werden Rohstoffe geschont, weil Wartezeiten durch Verteilungssysteme ausgeschlossen werden. Des weiteren ist die Benutzung von Durchlauferhitzern sehr komfortabel, da individuelle Einstellungen direkt vor Ort vorgenommen werden können. Der Einsatz von Durchlauferhitzern erleichtert Verordnungen über den Energieverbrauch von Neubauten einzuhalten.

Eines der wichtigsten Bauteile des elektrischen Durchlauferhitzers ist der Heizwendel. Der Heizwendel besteht aus einer etwa 117 mm langen, Spiralförmigen Drahtwicklung von etwa 7,5 mm Außendurchmesser mit abgewinkelten Enden. An diese Enden werden zur Herstellung der elektrischen Anschlussmöglichkeit zwei Anschlussbolzen von etwa 23 mm Länge und 3 mm Durchmesser angeschweißt (siehe Abbildung 3 und 4). In einen Durchlauferhitzer werden teilweise bis zu sechs Heizwendeln eingebaut, so dass sich eine Gesamtstückzahl von etwa 170.000 Heizwendeln pro Jahr benötigt wird. Diese Produktion wurde bisher durch verschweißen von Hand unter Zuhilfenahme einer Vorrichtung hergestellt. Die Probleme dabei sind besondere Anforderungen an die Qualifikation, Motivation und Verfügbarkeit des Schweißpersonals, die gleichbleibende Produktqualität sowie die geringe Taktzeit, die mit der Handschweißvorrichtung erreicht werden können.

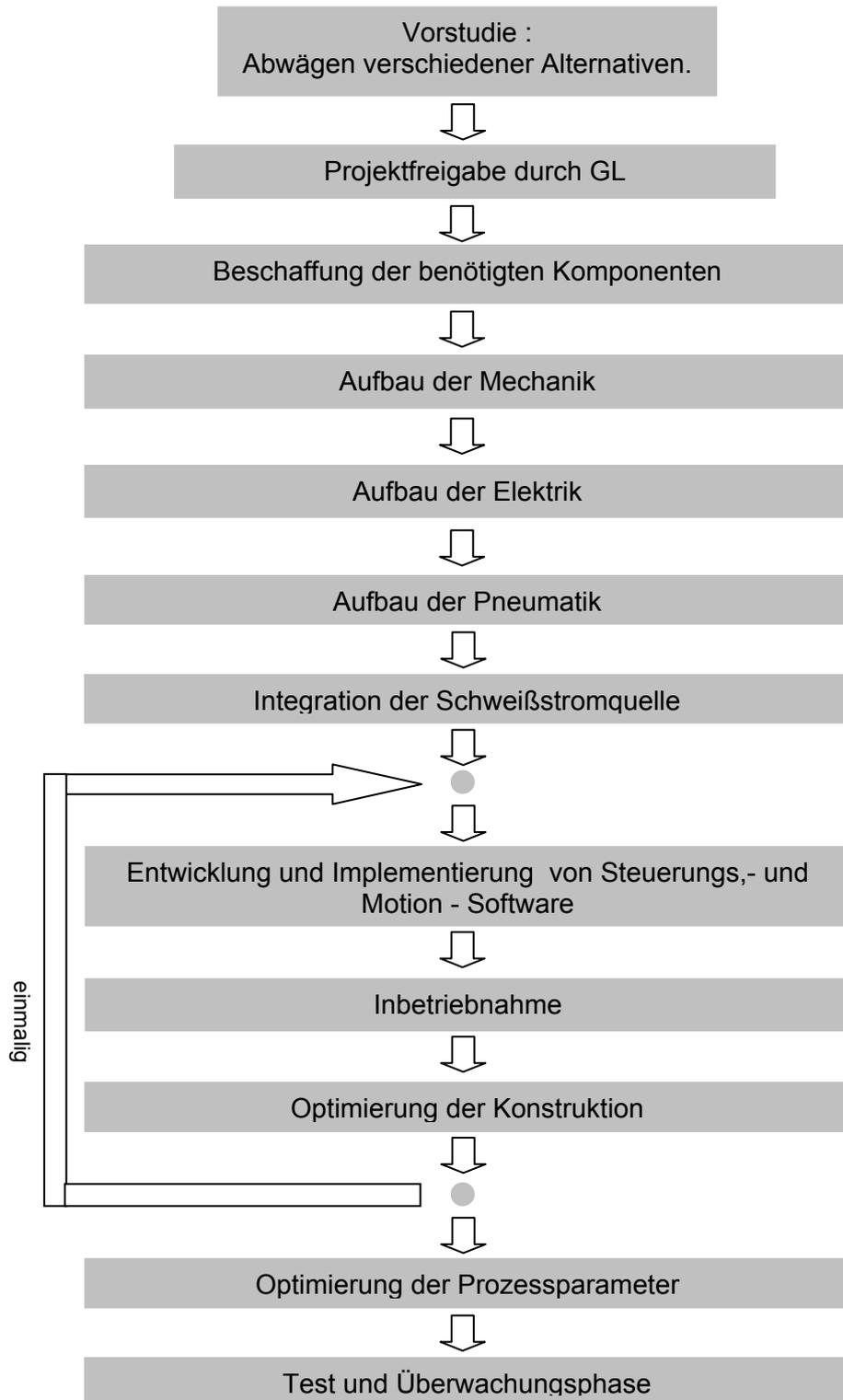


Abbildung 1 : Flussdiagramm Projektbearbeitung

Aufgabe dieser Arbeit war die Analyse des Fertigungsprozesses Heizwendel, die Erarbeitung und Bewertung verschiedener Lösungskonzepte sowie die Auswahl und Umsetzung der technisch und wirtschaftlich günstigsten Lösung. Die Prozessanalyse, Lösungskonzepte und deren Bewertung werden in Kapitel 3 und 4 beschrieben. Als günstigste Lösung stellte sich dabei ein Schweißautomat mit Zuführung der Bauteile über ein Revolversystem sowie Steuerung, Antrieb und Bedienung über eine SLC 5/05 mit Ethernet – Schnittstelle, diskret angesteuerte ULTRA – Servoantriebe sowie ein Panel View als HMI – Gerät dar. Die Mechanik ist in Kapitel 6 und die Elektrik in Kapitel 7 beschrieben. Zur Fixierung der Anschlussbolzen sowie der Drahtenden werden pneumatische Miniaturzylinder eingesetzt, deren Funktion in Kapitel 6 dargestellt werden. Da die vorhandene Schweißstromquelle oft ausfiel, wurde im Rahmen dieser Arbeit eine weniger fehleranfällige automatenfähige Schweißstromquelle gesucht, ausgewählt und in den Schweißautomaten integriert (Kapitel 3.3, 5.2 und 8).

Das Gesamtkonzept des entwickelten Schweißautomaten hinsichtlich des Ablaufs des Fertigungsprozesses, der Prozessparameter, der Maschinenkennzahlen, Sicherheitsvorkehrungen sowie der zugrunde liegenden Programm und Datenstruktur ist in Kapitel 9 und im Anhang beschrieben.

Den Abschluss dieser Arbeit bildet eine Zusammenfassung. Dort werden die wichtigsten Ergebnisse dieser Arbeit zusammengefasst, sowie spezielle Erfahrungen aus den Phasen der Inbetriebnahme und des Produktionsablaufs dieses Schweißautomaten dargestellt.

## **2. Technologie der Durchlauferhitzer**

Prinzipiell gibt es zwei verschiedene Arten von Durchlauferhitzern. Es gibt Durchlauferhitzer vom Typ Rohrheizkörper. Hierbei wird das Wasser durch einen Topf geführt. In diesem Topf befindet sich ein sogenannter Rohrheizkörper, ähnlich eines Tauchsieders. Während des Durchströmens wird der Rohrheizkörper eingeschaltet und das vorbei fließende Wasser nimmt die Wärme auf und kühlt somit den Rohrheizkörper. Außerdem gibt es Durchlauferhitzer vom Typ Blankdraht. Bei diesem Typ wird das zu erwärmende Wasser durch Kunststoffkanäle direkt an dem mit Strom beaufschlagten Heizdraht vorbei geführt. Der etwa 0.5 mm starke und sehr niederohmige Draht erzeugt dann sehr schnell Wärme, wird aber von dem vorbei fließenden Wasser gekühlt.

Beide Typen, Rohrheizkörper und Blankdraht, bekommt man sowohl als hydraulische oder als elektronische Variante. Bei der hydraulischen Variante wird durch einen Differenzdruckschalter ein Mechanismus betätigt, der wiederum den Heizkörper mit Spannung beaufschlagt. Der Differenzdruckschalter wurde vorher so justiert das er erst bei einem Volumenstrom von z.B. 2.0 l/min einschaltet. Die elektronische Variante zeichnet sich dadurch aus, dass über einen Prozessor und der angeschlossenen Sensorik und Aktorik die erforderliche Leistung gesteuert bzw. geregelt wird.

Bei den elektronischen Blankdrahtmodellen werden die Heizwendeln am stärksten belastet. Dies rührt daher, dass bei diesen Typen ein Leckstrom durch den Triac über den Schutzleiter abfließt. Dieser Effekt ruft neben Korrosion und mechanischer Belastung weitere chemische Belastungen hervor. Aus diesem Grund ist es besonders wichtig, bei elektronischen Blankdraht Varianten eine dauerhafte Verbindung zwischen dem Heizwendel und dem Anschlußbolzen zu schaffen. Die beste Art die Bauteile miteinander zu verbinden ist, eine unlösbare Verbindung durch einen Schweißprozess herzustellen, denn hierbei werden die beiden Edelstähle, ohne Zugabe eines weiteren Werkstoffes, durch einen Schmelzprozess zusammengefügt. Dabei vermengen sich die Moleküle und kühlen anschließend wieder ab. Obwohl das Schweißen ein schwieriger Prozess ist, ist er bei CLAGE schon lange Standard.



Abbildung 2 : Heizelement vom Typ Rohrheizkörper



Abbildung 3 : Heizelement vom Typ Blankdraht

Um die Bauteile miteinander zu verschweißen wurde bei CLAGE bisher eine von Hand betriebene Vorrichtung benutzt. Der Betrieb dieser Vorrichtung kann aber nur von gut geschultem Personal durchgeführt werden. Die meisten Typen von Durchlauferhitzern werden mit 3-6 Heizwendeln bestückt, dies wiederum erfordert eine hohe Stückzahl. Das Erleichtern der Bedienung, eine kurze Amortisationszeit und das Verbessern der Produktqualität standen deshalb in Vordergrund. Dass diese Anforderungen umsetzbar wären, wurde mit einer Vorstudie zu dem Thema Entwicklung einer vollautomatischen Schweißvorrichtung belegt. Die Realisierung wurde mit der Geschäftsleitung abgesprochen und das benötigte Kapital wurde bereitgestellt.

### **3. Analyse des Fertigungsprozesses Heizwendel**

#### **3.1 Bauteile der Heizwendel**

Die Unterbaugruppe Heizwendel besteht aus drei Bauteilen. Ein Heizwendel und zwei Anschlussbolzen. Die Anschlussbolzen sind links und rechts die gleichen Bauteile. Sie werden 180° versetzt angebracht. Zunächst wird der Anschlussbolzen und später der Heizwendel dargestellt.

Der Anschlussbolzen ist ein aus V4A gefertigtes Fließpressteil. Der Edelstahl hat einen Chromanteil von 80%, deshalb oxidiert der Bolzen nicht. Das eine Ende ist ein 13mm langes M5 Außengewinde. Dort wird über eine Schraubverbindung der elektrische Kontakt hergestellt. Dann folgt ein 3 mm langer Sechskant an dem ein Dichtungsring anliegt. Dieser verhindert das Austreten von Wasser. Das andere Ende besteht aus einem 7 mm langen und 3 mm starken Zylinder. An diesen Zylinder wird das Ende des Heizwendels angeschweißt.

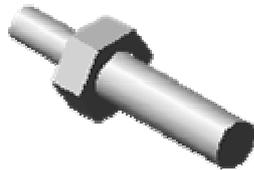


Abbildung 4 : Anschlussbolzen

Der Heizwendel ist aus einem 0.5mm starken Draht gewickelt. Seine Länge variiert je nach Leistung des Heizelementes. Aus diesem Grund wird für das Wickeln der Wendel ein spezieller Draht verwendet, bei dem der elektrische Widerstand eng toleriert ist (siehe Typenschild). Die spezielle Zusammensetzung des verwendeten Metalls ist von dem Hersteller Thyssen Krupp nicht veröffentlicht. Bekannt ist nur, dass es sich um einen hochwertigen Edelstahl handelt, der vergleichbar mit einem V4A-Stahl ist. Dieser Draht wird über einen Dorn gezogen und erhält dann die geometrische Gestalt einer Wendel. Der Außendurchmesser der Wendel beträgt 7.5

mm. Die Länge beträgt 117 mm +/- 3mm. Die Wendelenden werden von Hand unter Zuhilfenahme einer Spitzzange abgewinkelt um einen ordentlichen Anschluss an den Bolzen zu Gewährleisten.



Abbildung 5 : Heizwendel 24 kW

Um Heizwendeln einer anderen Geräteserie in dem Automaten zu schweißen, ist es vorgesehen einen Werkzeugwechsel vorzunehmen. Somit kann durch die Eingabe eines anderen Rezeptes in der Steuerung eine andere Serie gefertigt werden.



Abbildung 6 : Heizwendel 24 kW inkl. Anschlussbolzen

### **3.2 Zusammenschweißen von Hand**

Bislang wurde die Unterbaugruppe Heizwendel an einer per Hand bedienten Vorrichtung gefertigt. Dabei wurden die Bauteile in das etwa 350x250x150mm große Handschweißgerät hineingelegt.

Dafür wurde vorher eine Klappe an der Frontseite geöffnet um dann den Heizwendel in eine Nut einzulegen, die auf einem Schlitten befestigt ist. Jetzt wurde außerdem das Heizwendel Ende unter einer Feder zentriert und darauf geachtet, dass das

Heizwendel Ende mittig zum Bolzen steht, damit der Heizwendel den Bolzen beim späteren Schweißprozess richtig trifft.



Abbildung 7 : Handschweißgerät

Anschließend wurde der Heizwendel Bolzen in eine Passung gelegt und mit einem Hebel verriegelt. Während der Verriegelung wurde gleich das eine Potential der Schweißstromquelle mit dem Bolzen verbunden. Außerdem wurde durch die Verriegelung der Bolzen positioniert, da er durch diese Bewegung weiter in die Passung gepresst wurde.

Nachdem die Bauteile in das Handschweißgerät hineingelegt wurden, hat man die Klappe wieder verschlossen. Das Handschweißgerät besitzt in der Verschlussklappe ein Schweißglas, das bei entstehendem Lichtbogen automatisch verdunkelt. Des Weiteren hat das Handschweißgerät zwei Hebel die nach außen geführt sind. Über diese beiden Hebel hat man die Möglichkeit das Handschweißgerät zu bedienen.

Mit dem einen Hebel kann man das Schweißgerät starten. Durch die Betätigung wird die Fronius WIG Stromquelle angesteuert. Die Wolframnadel des Brennerkopfes ist so montiert, dass sie im Inneren des Handschweißgeräts etwa 2mm vor dem zylindrischen Ende des Heizwendel Bolzens liegt. Wenn die WIG Stromquelle gestartet wird, dann fließt ein konstanter elektrischer Strom 45ADC. Dabei entsteht an dem Luftspalt zwischen dem Bauteil und der Spitze der Wolframnadel ein Lichtbogen. Dieser erwärmt das Bauteilende so stark, dass das Material verflüssigt.

Mit dem anderen Hebel hat man dann die Möglichkeit, das auf einem Schlitten positionierte und ausgerichtete Heizwendelende, in das verflüssigte Ende des Heizwendelbolzens zu tunken. Während dieser Bewegung wird dann, kurz vor dem eintunken, durch einen Mikroschalter das Startsignal für die WIG Stromquelle wieder zurückgesetzt. Somit erlischt der Lichtbogen und das Material des Bolzenendes und

des Heizwendelendes haben genug Zeit sich miteinander unlösbar zu verbinden. Anschließend verharren die Bauteile noch eine Weile in dieser Position und werden von einem Schutzgas (Argon) umströmt. Das Schutzgas ist wichtig damit das noch sehr warme Material beim Abkühlprozess nicht mit Sauerstoff in Berührung kommt, denn dann würde das Chrom an der Oberfläche des Edelstahls verbrennen, blau verfärben und korrodieren.

Nachdem dann Heizwendel und der Heizwendelbolzen miteinander verbunden sind wird die Frontklappe des Handschweißgerätes wieder geöffnet und der Heizwendel wird entnommen. Nun wird das Gerät wieder mit einem Bolzen bestückt und die andere Seite des Heizwendels wird geschweißt.



Abbildung 8 : Handschweißvorrichtung offen

Das Handschweißgerät hat außerdem an der Rückseite einen Lüfter. Dieser hat die Aufgabe das Argon abzusaugen um den Mitarbeiter zu schützen.

Dieser Arbeitsplatz ist wegen des schnellen Prozesses sehr schwer zu bedienen. Um einen Mitarbeiter so zu schulen, dass es am Ende zu einem brauchbaren Produkt kommt, vergehen schnell mehrere Wochen. Die Taktzeit beträgt bei gut geschultem Personal 52 Sekunden.

Das Handschweißgerät wurde von einem Werkzeugbauer der Firma CLAGE gebaut. Dabei wurden diverse spezielle Führungen, Passungen, Aufbauten, etc. an den Dreh- und Fräsbänken der Firma CLAGE konstruiert. Diese Möglichkeiten habe ich auch bei der Entstehung meiner Arbeit genutzt.

### **3.3 Probleme der bisher verwendeten Schweißstromquelle**

Die vorhandene WIG Stromquelle, die an das Handschweißgerät angeschlossen war, hatte eine hohe Ausfallrate. Das lag daran, dass die Zündelektronik der Startautomatik nach ca. 30.000 Zündungen ausfiel. Um die Ausfallzeiten des Automaten gering zu halten ist es also von besonderer Wichtigkeit einen Hersteller von Schweißgeräten zu finden, der eine hohe Standzeit für seine Stromquellen garantieren kann.

Die vorhandene Schweißstromquelle besaß des weiteren keine Anschlussmöglichkeit an eine Steuerung. Um eine Schweißstromquelle in einen automatischen Prozess zu integrieren, muss die Stromquelle aber über spezielle Funktionen verfügen. Es sollte eine Fernbedienbuchse vorhanden sein, die eine Kommunikation zwischen der Steuerung und der Schweißstromquelle ermöglicht.

Die Handschweißvorrichtung verfügte auch über keinen Automatenbrenner. Dieser eignet sich aber besonders dann, wenn der Brennerkopf der Schweißstromquelle nicht in der Hand gehalten wird. Der Automatenbrenner ist etwas schlanker und komfortabler zu bedienen. Außerdem kann seine Schutzgasdüse durch eine spezielle Düse mit Perlatoreffekt ausgetauscht werden. Diese Düse begünstigt einen gleichbleibenden Schutzgasvolumenstrom und fördert somit die Schweißqualität positiv.

Um der geforderten Serientauglichkeit gerecht zu werden, hatte die vorhandene WIG Stromquelle also nicht die geforderten Eigenschaften. Deshalb besuchten wir eine Fachmesse für Metallbearbeitung. Dort hatten wir die Möglichkeit einen Überblick über die am Markt erhältlichen WIG Stromquellen zu bekommen. Die Ergebnisse der daraus gewonnen Marktrecherche werden in Kap.5.2 dargestellt.

### **3.4 Bewertungsmatrix verschiedener Lösungskonzepte**

Insgesamt wurden prinzipiell vier automatische Vorrichtungen zum Herstellen einer Verbindung entwickelt. Im folgenden wird kurz auf die drei nicht gewählten Lösungskonzepte eingegangen. Dann folgt die Bewertungsmatrix in der die verschiedenen Vor- und Nachteile der unterschiedlichen Lösungen systematisch bewertet wurden und durch welche anschließend die Entscheidung für das Revolversystem gefallen ist.

- Die Trapezvorrichtung stellt ein Modell dar, in dem die Anschlussbolzen zeitgleich zu dem Heizwendel geführt und an diesen angeschweißt werden. In diesem Modell würde die Taktzeit wesentlich verkürzt und der mechanische Projektierungsaufwand gesteigert werden.
- Die Verbindung durch Löten stellt ein Modell dar, in dem die benötigten Bauteile automatisch zugeführt und durch eine offene Flamme und Zugabe eines Lötmaterials miteinander verbunden werden. Das Verlöten der Bauteile stellt aber einen Qualitätsverlust für das Endprodukt dar.
- In dem letzten, nicht realisierten Modell wird die Verbindung durch Zuführen der Bauteile und Widerstandsschweißen hergestellt. Hierbei entstehen, durch schlechte Einflussmöglichkeit beim Schweißprozess, Chromverarmungen in den Anschlussbolzen.

Bewertungsmatrix Lösungskonzepte	Priorität max 16 Pkt.	Trapez vorrichtung		Löt - Verbindung		Revolver System		Widerstands - schweißen	
		Wert	Produkt	Wert	Produkt	Wert	Produkt	Wert	Produkt
Belastungsverhalten der Verbindung	4	10	40	3	12	10	40	8	32
Passender Automationsgrad für Stückzahl	2	3	6	4	8	9	18	7	14
Möglichkeit zur Einflußnahme auf Qualität der Verbindung.	2	5	10	5	10	9	18	2	4
Gute Kennwerte hinsichtlich Taktzeit, Auslastung und Amortisation	1	10	10	6	6	8	8	5	5
Leichte sichere Bedienung, geringe Ausschußquote,	3	6	18	4	12	8	24	4	12
Schnelle Umrüstung auf andere Heizwendeltypen möglich	1	6	6	5	5	8	8	7	7
geringer Projektierungsaufwand	1	3	3	6	6	5	5	5	5
fehlerfreie Funktion im Serieneinsatz	2	6	12	4	8	9	18	5	10
<b>Summe</b>	<b>16</b>	<b>105</b>		<b>67</b>		<b>139</b>		<b>89</b>	

Tabelle 1 : Bewertungsmatrix der unterschiedlichen Lösungskonzepte

Erläuterung zur Funktion der Bewertungsmatrix (BM) :

Die BM stellt ein systematisches Verfahren dar, um für einen beliebigen Sachverhalt die richtige Lösung zu selektieren. Die Vorgehensweise ist wie folgt. In der linken Spalte werden untereinander wichtige Kriterien abgelegt. In der obersten Spalte werden die unterschiedlichen Lösungen abgelegt. Im Feld Priorität werden die unterschiedlichen Kriterien gewichtet. Das wichtigste Kriterium erhält die höchste Punktzahl. Es dürfen aber in dieser BM in der Summe nicht mehr als 16 Punkte vergeben werden. Anschließend werden die unterschiedlichen Kriterien für die verschiedenen Lösungen im Feld „Wert“ bewertet. Das restliche Verfahren ist mechanisch und funktioniert so. Für die einzelnen Kriterien werden die Produkte gebildet, Priorität x Wert. Anschließend wird die Produktspalte summiert. Die Lösung, welche die höchste Punktzahl erhält sollte favorisiert werden.

## 4. Pflichtenheft

Das folgende Pflichtenheft entstand nach der Ausarbeitung der Vorstudie mit begleitendem Modellbau (Kap.6.1).

Projektname:	<b><u>HW – Schweißautomat</u></b>						
Projekt Nr.:	53	Erstelldatum:	01.10.02	Erstellt von:	CHO	Letzte Änderung:	01.10.02
Projektleitung:	CHO	Projektbeginn:	01.10.02	Endtermin:	01.06.03		

Projektziel:	Erstellung eines Heizwendel Schweißautomaten, mit folgenden Vorgaben :		
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Vollautomatischer Schweißbetrieb für Heizwendeln vom Typ CX und DX (händische Bestückung der HW Magazine).</li> <li>- Option zur modularen Erweiterung auf geänderte Heizwendeltypen (je Modul ca. 1500,-- €).</li> <li>- Stetig gleichbleibende Qualität der Fügestelle durch genaue Parametrierung und Echtzeitsteuerung.</li> <li>- Senken der Taktzeit von jetzt 52 Sekunden auf 17 Sekunden (Rüstzeit ca. 25%).</li> <li>- Geplante Stückzahl 99 Tstk., 33Tstk CX und 66Tstk DX               <ul style="list-style-type: none"> <li>→ Amortisationszeit 1,7 Jahre</li> <li>→ Auslastung 44 %</li> </ul> </li> </ul>		
Projektkosten:	Zeitaufwand :	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Beschaffung ca. 35 Std.</li> <li>- Aufbau der Mechanik ca. 150 Std.</li> <li>- Aufbau der Steuerung ca. 80 Std.</li> <li>- Aufbau der el. Antriebe ca. 100 Std.</li> <li>- Aufbau der pn. Antriebe ca. 110 Std.</li> <li>- Aufbau der Schweißanlage ca. 80 Std.</li> <li>- Erste Inbetriebnahme ca. 80 Std.</li> <li>- Optimierungsphase ca. 120 Std.</li> <li>- Hauptinbetriebnahme ca. 190 Std.</li> <li>- Parametrierung ca. 20 Std.</li> <li>- <b>Gesamt</b> <b><u>ca. 965 Std.</u></b></li> </ul>	
	Materialaufwand :	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Steuerungskomponenten ca. 6.980 €</li> <li>- Pneumatikkomponenten ca. 2.050 €</li> <li>- WIG Schweißgeräte ca. 8.400 €</li> <li>- Elektrokompnenten ca. 2.005 €</li> <li>- Mechanikkomponenten ca. 5.980 €</li> <li>- <b>Gesamt</b> <b><u>ca. 25.415 €</u></b></li> </ul>	
Freigabe:			
Verteiler:	JAG, CKo, SE		

Tabelle 2 : Pflichtenheft für Schweißautomaten

Pos	Stichwort	Beschreibung	Verantwortlich	Termin
1	Vorstudie	Erstellung eines Konzeptes für die Mechanik, Systemauswahl und Auswahl eines geeigneten Schweißverfahrens. Erstellung einer Marktübersicht für benötigte Komponenten und Erstellung einer Kalkulation. Ermittlung von Amortisationszeit, Auslastungsgrenze, Kosten pro Wendel, etc.	CHO	01.11.02
2	Projekt Kikk Off	Abstimmen der Vorstudie mit Produktion (Eggers) und Entwicklung (Koch). Projektfreigabe der Geschäftsleitung einholen.	CHO	04.11.02
3	Beschaffung	Einholen von Angeboten für die benötigten Komponenten. Auswahl des Lieferanten.	CHO	21.11.02
4	Aufbau der Mechanik	Aufbau eines geeigneten Gestells, Montage der Mechanikkomponenten, Herstellen von spezial Bauteilen (Vereinzelrevolver, Flansche, Positionierbauteilen, etc.).	CHO	15.02.03
5	Aufbau der Steuerung	Aufbau des Steuerungs-Schaltzschanks, Verdrahten der einzelnen Komponenten, Montage Netzwerkadapter, Daten Ein Ausgabe, Konfiguration.	CHO	25.01.03
6	Aufbau der el. Antriebe	Montage, Steuerung und Inbetriebnahme des Rotationsantriebes. Montage, Steuerung und Inbetriebnahme des Linearantriebes.	CHO	01.02.03
7	Aufbau der pn. Antriebe	Aufbau der pneumatischen Komponenten (Inbetriebnahme der Ventilinsel, Verschlauchen des Systems, Montage der pneumatischen Positionierantriebe).	CHO	08.02.03
8	Aufbau der Schweißanlage	Aufstellen und Inbetriebnahme des Schweißgerätes, Daten Ein / Ausgabe (Konfiguration), Aufbau eines Schweißstromumschalters, Montage zweier Brennerköpfe.	CHO	15.02.03
9	Erste Inbetriebnahme	Programmierung der Steuerung, Zusammenfügen der verschiedenen Systemkomponenten, Einstellen und Konfigurieren der einzelnen aktiven Bauteile.	CHO	01.03.03
10	Optimierungsphase	Weiterer Entwicklungsprozess und Durchführen von konstruktiven Verbesserungen.	CHO	24.03.03
11	Haupt Inbetriebnahme	Erstellen von serienreifen Programmen zur Prozesssteuerung. Erarbeitung spezieller Routinen, z.B. zur Prozessdaten Ein,- und Ausgabe, Steuerung der Servoantriebsregelung, etc..	CHO	26.04.03
12	Parametrierung	Voreinstellen der folgenden Parameter zur Prozesssteuerung von HW vom Typ CX und DX ( Zündzeitdauer, Schweißstromhöhe-,dauer, Abfahrzeit, Eintauchzeit, etc.).	CHO	30.04.02
13	Test und Überwachungsphase	Test und Überwachungsphase des Schweißautomaten im laufenden Serieneinsatz.	CHO	06.06.03
14	Erstellen einer Dokumentation	Erstellen von Stromlaufplänen, Funktionsbeschreibungen, technischer Zeichnungen, Arbeitsanweisungen, Bedienungsanleitungen, etc..	CHO	06.06.03
15	Projektabschluss & Übergabe an Produktion	Erstellen einer Abschlußkalkulation, Bedienungsanleitung, Verfahrensanweisungen. Schulung des Personals.	CHO	07.06.03

Tabelle 3 : Projektzeitplan für Schweißautomaten

## **5. Beschaffung**

An dem Modell konnte man nun ablesen welche Automatisierungskomponenten notwendig sind. Fest stand allerdings, dass der Automat mit einer Allen Bradley Steuerung ausgestattet werden sollte. Mechanische Komponenten werden bei Bosch-Rexroth-Star angeschafft, Mechanische Antriebsübersetzungen jedoch kommen von Alpha. Pneumatische Komponenten wurden bei Festo gekauft. Für diese Komponenten waren also keine weiteren Marktrecherchen notwendig. Die benötigten Bauteile mußten nur noch spezifiziert werden. Es stand aber noch nicht fest, welche WIG Stromquellen angeschafft und mit welcher Antriebstechnik der Automat ausgestattet werden sollte.

Im Folgenden werde ich zuerst auf die Marktrecherche Antriebssysteme und dann auf die der WIG Stromquellen eingehen.

### **5.1 Marktrecherche Antriebssysteme**

Um eine Marktrecherche für die benötigten Antriebssysteme durchzuführen mußten diese erst ausgelegt werden, dies wird in (Kap7.3) beschrieben. Als die Dimensionierung feststand wurden diverse Hersteller zur Abgabe eines Angebotes aufgefordert. Dabei wurde darauf geachtet, dass die Systeme möglichst gleichwertig sind.

Um die Angebote zu vergleichen wurde jeweils angefragt:

- 1 x Motor ( $M=0.6Nm$ )
- 1 x Antriebsverstärker mit digitaler Ansteuerung und 64 Pos.
- 1 x Verdrahtungsbord
- 1 x Motorkabel
- 1 x Feedback Kabel
- 1 x Software

<b>Angebot Omron</b>		Herr Röthlingshöfer	040-79012xxx
<b>Bezeichnung</b>	<b>Anzahl</b>	<b>Typ</b>	<b>Preis</b>
Synchron Motor	1	200 W	389,00
Servo Treiber	1		591,00
Motor - / Encoderkabel	1	3 m	189,00
Pulsgeberkarte	1	1746 HSTP1	628,00
<b>Summe</b>			<b>1797,00</b>
<b>Angebot Lenze</b>		Hr. Menzel Tel.	05152-903xxx
<b>Bezeichnung</b>	<b>Anzahl</b>	<b>Typ</b>	<b>Preis</b>
Synchron Motor	1	250 W	577,00
Positionierregler [63 pos.]	1	9321 EP	1060,00
Motor - / Encoderkabel	1	3 m	180,00
SW Regler	1	GTC Global Drive Control	410,00
RS232/485 Konverter	1		131,00
<b>Summe</b>			<b>2358,00</b>
<b>Angebot Bosch</b>		Hr. Eggert	0511-726657xxx
<b>Bezeichnung</b>	<b>Anzahl</b>	<b>Typ</b>	<b>Preis</b>
Synchron Motor	1	270 W	750,00
Positionierregler [64pos.]	1	9321 EP	1300,00
Motor - / Encoderkabel	1	3 m	171,00
SW Regler	1		100,00
<b>Summe</b>			<b>2321,00</b>
<b>Angebot Neff</b>			
<b>Bezeichnung</b>	<b>Anzahl</b>	<b>Typ</b>	<b>Preis</b>
Servo Paket	1	Te 210m (Motor, Kabel 3m, Servotreiber 64 Pos.	1599,00
E/A Karte	1	Breakoutbord Allen Bradley	284,00
<b>Summe</b>			<b>1883,00</b>
<b>Angebot Allen Bradley</b>		Hr. Clemens	0211-7483xxx
<b>Bezeichnung</b>	<b>Anzahl</b>	<b>Typ</b>	<b>Preis</b>
Synchron Motor	1	200 W 0,17 NM	470,00
Positionierregler [64 pos.]	1	Ultra 3000	1010,00
Motor - / Encoderkabel	1	3 m	190,00
SW Regler	1	PSW 2098	70,00
<b>Summe</b>			<b>1740,00</b>

Tabelle 4 : Angebotsübersicht der Antriebssysteme

Bewertungsmatrix Antriebstechnik	Priorität max 10 Pkt.	Omron		Neff		Lenze		Allen Bradley		Bosch / Siemens	
		Wert	Produkt	Wert	Produkt	Wert	Produkt	Wert	Produkt	Wert	Produkt
Preis / Leistung	4	7	28	5	20	4	16	8	32	5	20
Einhaltung der techn. Vorgaben	1	9	9	9	9	10	10	10	10	10	10
Ersatzteilverfügbarkeit	3	6	18	3	9	6	18	7	21	7	21
Lieferzeit	2	5	10	6	12	6	12	5	10	7	14
<b>Summe</b>	<b>10</b>	<b>65</b>		<b>50</b>		<b>56</b>		<b>73</b>		<b>65</b>	

Tabelle 5 : Bewertungsmatrix der Antriebssysteme

Die Ergebnisse der Angebotsübersicht wurden anschließend in eine Bewertungsmatrix eingetragen und somit systematisch untersucht. Dafür wurden den einzelnen Kriterien Prioritäten zugeteilt. Das Preis-Leistungs-Verhältnis wurde dabei am stärksten bewertet, da die Produkte der unterschiedlichen Hersteller an Qualität und Leistung nahezu gleich sind. Ersatzteilverfügbarkeit und Lieferzeit der Ersatzteile liegen in der Bewertung im Mittelfeld. Die Einhaltung der technischen Vorgaben ist quasi ein K.O. Kriterium und wurde deshalb mit der schwächsten Priorität ausgelegt. Die kleine Schwankung die dort festzustellen ist macht der Umfang der Konfigurationssoftware der Servoantriebe aus.

Als das Ergebnis der Marktrecherche vorlag, lag die Entscheidung nahe, Antriebe und Servoverstärker von Allen Bradley zu nutzen. Wir trafen die Entscheidung aus folgenden Gründen. Allen Bradley ist ein Automatisierungskonzern der höchsten Standard und lebenslangen weltweiten Support für seine Produkte garantiert. Wir setzten schon mehrere Jahre Allen Bradley Steuerungen ein und haben mit den Produkten gute Erfahrung gemacht. Allen Bradley Produkte, die qualitativ gleichwertig sind mit Siemens Produkten sind auf dem Europäischen Markt relativ günstig zu erwerben. Des weiteren hatten wir Steuerung und Antriebe aus einer Hand.

## 5.2 Marktrecherche WIG Stromquellen

Die vorhandene WIG Stromquelle, die an das Handschweißgerät angeschlossen war, hatte eine hohe Ausfallrate. Das war der Hauptgrund für eine Marktrecherche hinsichtlich Schweißstromquellen. Nachdem wir eine Übersicht an Herstellern und Lösungen für WIG Schweißprozesse auf der wichtigsten Messe für

Metallbearbeitung, der EuroBlech gewonnen hatten, starteten wir eine Ausschreibung und ließen uns die in Frage kommenden Schweißstromquellen anbieten. Dabei standen die folgenden Kriterien im Vordergrund.

- Serientauglichkeit
- Hohe Standzeit der Zündautomatik
- Automatenfähigkeit
- Anschlussmöglichkeit Automatenbrenner
- Umfangreiche Parametrierungsmöglichkeit
- Service und Support des Händlers
- Ersatzteil, - und Zubehörverfügbarkeit

Die Ergebnisse der Marktübersicht mit Angebotsummen sind in der folgenden Tabelle zu sehen. Anschließend wurde eine Bewertungsmatrix benutzt um die Angebote systematisch zu vergleichen.

<b>ESAB</b>		Herr Meyer	040-7085xxx
<b>Bezeichnung</b>	<b>Anzahl</b>	<b>Typ</b>	<b>Preis €</b>
LTN 200 Gasgekühlt	1	200 Ampere DC, nicht automatenfähig, Automatenbrenner, Gasarmatur, Anzahl der Zündungen keine Angabe	2.667 €
Bei Abnahme von zwei Geräten je			2.152 €
<b>Summe</b>			<b>4.304 €</b>

<b>Rhem</b>		Herr Schöller	040/6589xxx
<b>Bezeichnung</b>	<b>Anzahl</b>	<b>Typ</b>	<b>Preis €</b>
Invertig AC/DC210 digital	1	210Ampere AC/DC automatenfähig Automatenbrenner Gasarmatur >2 Mio. Zündungen Parametrier Menü	4.010 €
Bei Abnahme von zwei Geräten je			3.350 €
<b>Summe</b>			<b>6.700 €</b>

<b>Panasonic</b>		Mr. Mitchell	USA
<b>Bezeichnung</b>	<b>Anzahl</b>	<b>Typ</b>	<b>Preis US\$</b>
		300 Ampere AC/DC automatenfähig kein Automatenbrenner keine Gasarmatur > 2 Mio. Zündungen	
Yc-300Bz2		1Parametriermöglichkeit	3.939 \$
Bei Abnahme von zwei Geräten je			3.700 \$
<b>Summe</b>			<b>7.400 \$</b>

<b>Fronius</b>		Scherleitner	+0043 072 42/241xxx
<b>Bezeichnung</b>	<b>Anzahl</b>	<b>Typ</b>	<b>Preis €</b>
		220 Ampere AC automatenfähig kein Automatenbrenner keine Gasarmatur > keine Angabe	
Transtig 2200		1Parametriermöglichkeit	2.980 €
Bei Abnahme von zwei Geräten je			2.600 €
<b>Summe</b>			<b>5.200 €</b>

Tabelle 6 : Anabotsübersicht der Schweißstromquellen

Bewertungsmatrix Schweißstromquellen	Priorität max 14 Pkt.	ESAB		RHEM		Panasonic		Fronius	
		Wert	Produkt	Wert	Produkt	Wert	Produkt	Wert	Produkt
Preis / Leistung	1	5	5	7	7	5	5	7	7
Standzeit der Zündautomatik	4	0	0	8	32	8	32	0	0
Automatenfähig	3	0	0	10	30	10	30	8	24
Service und Support des Händlers	1	5	5	9	9	4	4	7	7
Ersatzteil, - und Zubehörverfügbarkeit	1	5	5	8	8	3	3	8	8
Umfangreiche Parametrierungsmöglichkeit	3	3	9	10	30	6	18	7	21
Anschlussmöglichkeit Automatenbrenner	2	10	20	10	20	10	20	10	20
<b>Summe</b>	<b>15</b>	<b>44</b>		<b>136</b>		<b>112</b>		<b>87</b>	

Tabelle 7 : Bewertungsmatrix der Schweißstromquellen

Die systematische Untersuchung zeigte, dass die Schweißstromquelle von der Firma Rhem die richtige Lösung für den Automaten sein sollte. Die höchsten Prioritäten wurden in der Bewertungsmatrix auf die Standzeit der Zündautomatik, der Automatenfähigkeit sowie der umfangreichen Parametrierungsmöglichkeit gelegt.

## **6. Konstruktion der Mechanik**

### **6.1 Von der Idee zum Modell**

Es gibt diverse Möglichkeiten die drei Bauteile miteinander zu verbinden. So könnte man den Heizwendelbolzen auch durch eine Pressverbindung mit dem Heizwendel verbinden. Es stehen auch andere Schweißverfahren zur Verfügung, wie beispielsweise das Widerstandsschweißen. Eine weitere herkömmliche Methode wäre, einen Messingbolzen mit dem Heizwendel zu verlöten.

Es hat sich aber gezeigt, dass, das verschweißen der Bauteile die beste Möglichkeit ist, denn der Heizwendel ist während seines Betriebes im Heizelement sehr kritischen Bedingungen ausgesetzt.

1. Er wird ständig vom Wasser umspült und somit mechanisch belastet. Diese mechanische Belastung ist dort besonders stark, wo der Bolzen mit dem Heizwendel verbunden ist. Also ist es besonders wichtig eine Verbindung zu schaffen, die mechanisch reversibel ist.
2. Das Wasser führt dazu, dass der Edelstahl oxidiert. Um dies zu vermeiden muß während des Schweißprozesses das Verbrennen von Chrom verhindert werden, denn wenn der Chromanteil eine Grenze unterschreitet, dann verliert der Edelstahl seine schützende Wirkung und oxidiert.
3. Im Betrieb liegt Netzspannung an den Heizwendelbolzen und es fließt ein Ableitstrom über das Wasser zum Schutzleiter. Diese elektrische Verbindung belastet die Oberfläche der Verbindung und führt eventuell zu Spaltkorrosion und Mikrorissigkeit. Um Diffusionseffekte auszuschließen sollte man ähnliche Materialien miteinander verbinden.
4. Das Leitungswasser in Deutschland hat sehr unterschiedliche Qualitäten. Im schlechten Fall kann es sein, dass besonders Kalk den Heizwendel angreift und das Material auffrißt (Lochfrass).

Diese Überlegungen führten dazu, dass es nicht sinnvoll ist die Verbindung durch Pressen oder Löten herzustellen.

Das WIG Schweißen bietet die Möglichkeit eine unlösbare Verbindung der beiden Edelstähle herzustellen. Moderne WIG Stromquellen verfügen über sehr genaue Konstantstromquellen. Damit kann die Wärmeverteilung auch in kleinen Bauteilen sehr genau gesteuert werden. Außerdem hat man die Möglichkeit durch das Schutzgas sicherzustellen, dass in dem Edelstahl während des Schweißprozesses keine Chromverarmung auftritt, denn beim kontrollierten Umspülen z.B. mit Argon hat der Sauerstoff keine Möglichkeit an die Schweißstelle zu gelangen. Somit kann das Chrom an der Oberfläche des Edelstahls, während des Schweißprozesses, nicht verbrennen. Aus diesen Gründen, und weil wir gute Erfahrung mit dem WIG Schweißen haben, entschieden wir uns dafür weiterhin damit zu arbeiten.

Die Bauteile Zuführung sollte bestenfalls durch Magazine realisiert werden. Diese lassen sich zuerst gut mit der Hand auffüllen. Nachdem der Einsatz der Maschine sich bewährt hat, kann man an ein Magazin ohne weiteres Vereinzelungs- und Zuführungstechnik anschließen.



Abbildung 9 : Foto - Das provisorische Modell

Die vollautomatische Funktion soll sich dadurch auszeichnen, dass eine Mechanik selbständig benötigte Bauteile aus den Magazinen holt, dann bearbeitet und eventuell abmißt. Anschließend soll die Mechanik das fertige Bauteil selbständig auswerfen und der Zyklus von vorne beginnen. Um diesen Prozess zu