

**Thoma Metallveredelung GmbH**

**Prozess- und anlagentechnisch optimierte  
Auslegung, Konstruktion, Planung und  
Installationsvorbereitung  
einer galvanischen Hartchromanlage**

**Abschlussbericht über ein Entwicklungsprojekt  
gefördert unter dem Az: 25418-21/2  
Deutsche Bundesstiftung Umwelt**

**von**

**Dr. Malte-Matthias Zimmer**

**Sommer 2009**

# Inhaltsverzeichnis

1. Einleitung .....	3
2. Allgemeine Vorgehensweise und Projektorganisation.....	5
3. Prozessführung.....	8
Parameter .....	8
Elektrolytführung.....	8
Stromform, Elektrodenanordnung.....	10
Kontakte, Stromzuführung.....	10
4. Planungsunterlagen und Konstruktionsvorgaben.....	12
5. Upscaling .....	13
6. Lastenheft .....	16
7. Realisation .....	17
7.1 praktischer Versuch zur Wärmebilanz.....	18
8. Verbreitung und Fortführung.....	20
9. Fazit .....	20
10. Literaturverzeichnis.....	21
11. Anhänge .....	22

## 1. Einleitung

Thoma hat eine Investitionsentscheidung für den wesentlichen Ausbau der chemisch Nickel und der Hartchromtechnologie getroffen. Idee des Projekts ist es, durch spezifische Entwicklungsarbeiten die Grundlage dafür zu schaffen, dass die Aspekte Energieeinsatz, Brennstoffverbrauch und Produktqualität sich über den Stand der Technik hinaus verbessern. Dazu sollten aus der Forschung bekannte Effekte auf die Produktion bei Thoma adaptiert werden. Die entwickelte Technologie wurde speziell auf die relevanten Produkte abgestimmt. Die technologische Umsetzung wird im Hauptteil näher beschrieben:

- Aus den Grundlagen ist bekannt, dass bei wesentlich gesteigerter Relativbewegung zwischen Elektrolyt und Bauteil wesentlich höhere Stromdichten auf das Bauteil aufgebracht werden können und trotzdem die sich bei ruhendem Elektrolyt und Erhöhung der Stromdichte verschlechternden Schichteigenschaften gleich bleiben. Der Grund dafür sind Diffusionseffekte. Dieser Aspekt ist auch bei der Hartverchromung zu beobachten. Tatsache bei der Hartverchromung ist es zugleich, dass bei steigender Stromdichte die Stromausbeute steigt. Die Umsetzung dieses Effekts schlägt sich also direkt in einem Absenken des Energieverbrauchs nieder. Diese Effekte können relativ leicht auf einfach geformte und kleine Bauteile übertragen werden, die gleichzeitig in immer gleicher Art anfallen. Die Übertragung auf die Anwendung bei Thoma mit Großbauteilen und wechselnden Bauteilgrößen erfordert es aber, zuerst eine quantifizierte Größe für die mindestens notwendige Relativbewegung bei den von Thoma angewandten Elektrolyten zu finden, da im Fall der Großbauteile eben nicht mit extremen Strömungsgeschwindigkeiten gearbeitet werden kann. Diese prozesstechnischen Arbeiten erforderten experimentelle Untersuchungen und bildeten die Grundlage für die verfahrenstechnische Auslegung der Anlage.
- Der zweite Aspekt ist ebenfalls von verfahrenstechnischer Prägung. Schon alleine das Schaffen der strömungstechnischen Bedingungen ist mit einer Anlage nach dem Stand der Technik nicht möglich. Die neue Anlage wird stattdessen bei den Reaktionsbehältern in Reaktortechnologie verwirklicht. Die Grundvoraussetzungen für eine gezielte Strömungsführung konnten damit ebenfalls geschaffen werden. Gleichzeitig bietet die gewählte Technologie die Möglichkeit, wesentlich präzisere geometrische Verhältnisse als in einer Tankanlage nach dem Stand der Technik zu schaffen. Damit können beispiels-

weise Anoden – Kathoden – Abstände verringert werden, was durch Senken des elektrischen Widerstandes ein Absinken der benötigten Gleichrichterspannungen und damit wiederum positive Effekte hinsichtlich der Energienutzung mit sich bringt. Um dies umsetzen zu können, mussten die jeweiligen Komponenten speziell konstruiert werden.

- Wesentlich ist neben der Ausführung der jeweiligen Reaktoren vor allem auch die Halterung und die Kontaktierung der Bauteile. Dies ist im Fall Thoma deshalb von besonderem Interesse und als Speziallösung zu entwickeln, weil verschiedene Bauteilgrößen beschichtet werden müssen. Die Vielzahl der Varianten verbietet es, für jedes Produkt eine eigene Vorrichtung darzustellen, es müssen in noch zu definierenden Produktfamilien jeweils mehrere Bauteilarten mit einer flexiblen Vorrichtung handhabbar sein, wobei die Vorrichtung gleichzeitig konsequent auf eine verlustarme Stromübertragung ausgelegt sein muss. Hier spielt auch der Abstand zur Anode eine wesentliche Rolle. So hat die Entwicklung zu spezialisierten Bauteilkontaktierungen geführt.
- Schließlich bietet die geplante Ausführung der Anlage im Gegensatz zu einer Anlage nach dem Stand der Technik wesentlich bessere Möglichkeiten, Energierückgewinnungen zu betreiben.

Die angesprochene Verminderung des Energieeinsatzes wird durch Maßnahmen erreicht, die

- Kürzere notwendige Behandlungszeiten erreichen,
- Effizientere Prozesse zur Erhöhung der Stromausbeute realisieren,
- Optimierte Werkstückaufnahme einsetzen und
- verbesserte Stromzuführung verwenden.

Die Energieverluste der Verchromung werden durch zwei Hauptaspekte vermieden:

Bisher erfolgte die Beschichtung bei Stromdichten von durchschnittlich 50 A/dm<sup>2</sup>. Dazu wurden Spannungen in der Größenordnung von 10 bis 12,5 V benötigt. Die Ergebnisse des Projektes lassen eine Absenkung der benötigten Spannungen um 10 - 20 % bei gleichem Stromfluss in der Produktion erwarten. Dies schlägt sich direkt in derselben Energieeinsparung nieder, da die verbrauchte elektrische Energie das Produkt aus Strom, Spannung und Zeit ist.

Gleichzeitig wird die Voraussetzung geschaffen, auch mit höheren Stromdichten von bis zu 90 A/dm<sup>2</sup> arbeiten zu können. Die Versuche aus Labor und Technikum legen eine Erhöhung der Stromausbeute um den Faktor 1,2 bis 1,3 nahe.

Die erreichte Verbesserung der Stromausbeute multipliziert sich mit den erreichten Spannungssenkungen.

Im Unternehmen werden derzeit jährlich 7 bis 7,5 Mio. kWh verbraucht. Der Bereich Hartchrom verbraucht davon ca. 60%. Das mögliche Einsparvolumen erweist sich wie bereits im Antrag vermutet als lohnend sowohl hinsichtlich Ökologie als auch Ökonomie.

Die geplanten verfahrens- und anlagentechnischen Maßnahmen zur Erhöhung der Energieeffizienz werden gleichzeitig zu erhöhter Produktionssicherheit führen. Energie- und rohstoffaufwändige Nacharbeiten werden deutlich verringert werden können.

Eine Quantifizierung der Effekte wird erst nach längerem Betrieb der Anlage in ihrer Endausbaustufe möglich sein.

## **2. Allgemeine Vorgehensweise und Projektorganisation**

Das geförderte Projekt bedurfte naturgemäß der Zusammenarbeit und der Koordination verschiedener Projektpartner, deren Fachwissen unter den wesentlichen Aspekten zusammengeführt werden musste. Aus diesem Grunde wurden zahlreiche Besprechungen zu unterschiedlichen Gesichtspunkten nötig. Koordiniert wurde das Projekt durch wöchentliche Telefonkonferenzen der drei Hauptpartner des Projektes.

Die zu projektierende Anlage sollte unter folgenden drei Gesichtspunkten entworfen werden:

- Energie und Ressourcen sollten optimal eingesetzt und in ihrer spezifischen Verbrauchsmenge bezogen auf das Produktionsvolumen minimiert werden.
- Die Produktionssicherheit sollte verbessert und die erreichbare Produktqualität erhöht werden
- Die Produktivität als betriebswirtschaftliche Basis musste die zu erwartenden Mehraufwände für Qualität und möglicherweise auch für die Ressourcenschonung ausgleichen können.

Wie im Projektantrag angekündigt wurden in Vorgesprächen und ersten Entwürfen folgende Inhalte zur Umsetzung der drei genannten Aspekte identifiziert zur Weiterverfolgung festgelegt:

Der elektrische Energieverbrauch einer Hartchromanlage wird weit überwiegend durch den Strom-Verbrauch an den Aktivbädern bestimmt [5]. Es galt festzustellen, welcher der Spannungsverluste über den Stromkreis bestimmend sein würde.

Der Stromverbrauch ist direkt proportional der elektrochemischen Abscheidung (Faradaysche Gesetze). Allerdings weist die Hartverchromung aufgrund der auftretenden hohen Polarisationen bedeutende Nebenreaktionen auf, bei denen vor allem Wasserstoff frei wird. Diese Nebenreaktionen verbrauchen 70 – 75% der eingebrachten Ladung und damit des elektrischen Stromes. Frühere Untersuchungen ergaben, dass eine erhöhte Stromdichte die Ausbeute erhöht. Offenbar ist die Chromabscheidung kinetisch bevorzugt, die Nebenreaktionen thermodynamisch. Eine Verringerung der aufzuwendenden Spannung sollte daher ebenfalls die Ausbeute zunehmend zur Chromabscheidung verschieben.

Die aufzuwendende Spannung wiederum richtet sich primär nach dem ohmschen Widerstand. Hier ist der größte Spannungsabfall über dem Elektrolyten festzustellen. Obwohl die galvanische Abscheidung im Laborversuch bei kurzen Elektrodenabständen bereits mit Spannungen um 6V befriedigend gelingt, sind im Betrieb Spannungen von über 10V nötig. Die überschüssige Energie erzeugt vor allem Wärme, die durch erhebliche Kühlleistung abgeführt werden muss.

Als Schlußfolgerung kann gezogen werden, dass die gleichzeitige Verringerung der aufzuwendenden Spannung und Erhöhung der Stromdichte den spezifischen Energieverbrauch verringern wird. Die verringerte Spannung ist vor allem durch Verkürzung des Elektrodenabstandes zu realisieren, was gleichzeitig zu einer Qualitätssteigerung führen wird. Der verringerte ohmsche Widerstand ermöglicht höhere Stromdichten ohne zu hohe Wärmeentwicklung.

Zur Absicherung der Annahmen zur Stromausbeute wurden in der neu geschaffenen Hartchromtechnikumsanlage diverse Versuche zur Wärmerückgewinnung durchgeführt. Im Anhang 4 findet sich eine beispielhafte Auswertung. Die Ergebnisse weisen naturgemäß eine geringere Präzision auf, da sie in einer Produktionsumgebung gewonnen wurden – dennoch ist die Übereinstimmung mit den bekannten Literaturdaten als gut zu bezeichnen.

Ebenso wurde verschiedentlich versucht, den Einfluss der verbesserten Kontaktierung (siehe Bild 3, Kap 3.4) auf die benötigte elektrische Spannung an den vorhandenen Produktionsanlagen festzustellen. Leider stellte sich heraus, dass der Effekt vermutlich unter den Parameterschwankungen des konventionellen Betriebes liegt. Es konnte kein sicherer Wert für die Spannungsverringerung gewonnen werden. Von wesentlicher Bedeutung ist jedoch, dass die Sicherstellung einer ausreichenden Kontaktfläche am Bauteilübergang lokale Stromdichtespitzen verhindert und daher das Bauteil ungefährdet bleibt – auch bei den beabsichtigten stark erhöhten Stromdichten von bis zu  $90 \text{ A/dm}^2$ .

Trotz aller Maßnahmen wird sich in industriellem Maßstab – insbesondere bei wechselnden Teilespektren - nicht immer das Betriebsoptimum einhalten lassen. Die nach wie vor entstehende Prozesswärme ist die Basis des Wärmerückgewinnungsprozesses.

Abschätzungen über die Größenordnung finden sich in Anhang 5.

In Kapitel 7 findet sich ein Fließschema über die geplante Wärmerückgewinnungsanlage.

- Heizenergie wird vor allem beim Neuansatz bzw. bei Wiederinbetriebnahme nach Stillständen benötigt. Durch das große Badvolumen sind hier beachtliche Verbräuche zu verzeichnen. Da andererseits während des Betriebes große Wärmemengen freigesetzt werden, sollte ein Konzept zur Nutzung der Abwärme in der zeitlich versetzten Aufheizphase der Prozeßmedien entwickelt werden. Damit sollte auch die Verringerung der notwendigen Energieträger realisiert werden.
- Mit der Abluft werden große Mengen Wärme aus dem System entfernt. Da andererseits fast ganzjährig Warmluft in verschiedenen Betriebsteilen benötigt wird, kann auch hier eine Rückführung zweckmäßig sein.
- Chromsäure als stark umweltgefährdende Substanz bedarf eines hohen Aufwandes an Spül- und Reinigungsmedium, also Wasser. Hier sollten konstruktive Wege gefunden werden, die unkontrollierten Austräge der Chromsäure aus den Bädern zu reduzieren und zu beherrschen (Konstruktionszeichnung Fahrwagen). Der Fahrwagen nimmt abtropfenden Elektrolyten in einer Auffangschale auf, aus der der Elektrolyt in den Prozessablauf zurückgeführt werden kann. Abtropfzeiten können durch die verkürzte Behandlungszeit verlängert werden. Austräge in Aerosolform werden durch Behälterdeckel verhindert.

- Erhöhte Prozesssicherheit führt zu verringertem Nacharbeitsaufkommen, wodurch geringerer Ressourcenaufwand in galvanischer und mechanischer Bearbeitung erreicht wird.

### **3. Prozessführung (Arbeitspaket 1)**

#### **Parameter**

Entscheidend für Spielräume in der Produktivität und damit in der Auslegung der Anlage, ist die Geschwindigkeit der Abscheidung. Da die Anlage sowohl Stahlteile als auch mit Nickel vorbeschichtete Oberflächen verchromen können sollte, müssen experimentelle Parameterbestimmungen beide Oberflächentypen berücksichtigen.

In Anhang 1 findet sich der experimentelle Versuchsplan zur Bestimmung der möglichen Beschichtungsparameter mit Bildern und Oberflächeneigenschaften.

Wie die Versuchsergebnisse zeigen, können zumindest im Labormaßstab Beschichtungen mit Stromdichten von bis zu  $90\text{A}/\text{cm}^2$  aufgebracht werden. Damit liegt die Abscheidengeschwindigkeit mindestens doppelt so hoch wie bei herkömmlich geführten Hartchrombeschichtungen. Da mit steigender Stromdichte auch die Stromausbeute zunimmt, ist eine noch höhere Abscheidengeschwindigkeit zu erwarten [1].

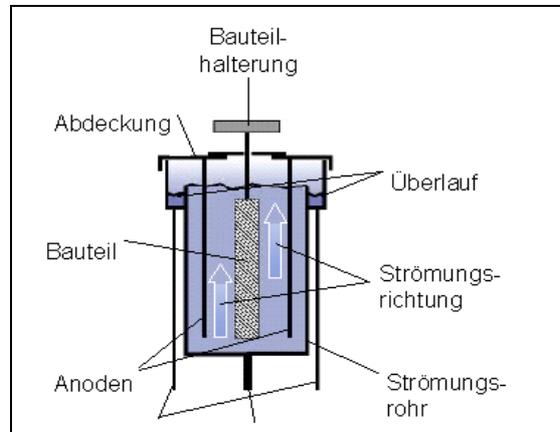
Die hohen Ströme machen jedoch eine gesonderte Betrachtung der Strömungs- und Wärmeleitung notwendig. Außerdem sind erhöhte Elektrolyttemperaturen von  $58^\circ\text{-}60^\circ\text{C}$  notwendig, um eine gute Qualität der abgeschiedenen Hartchromschichten zu gewährleisten. Bei niedrigeren Temperaturen kommt es zur Ausbildung von Knospen auf der Schichtoberfläche, solche Schichten werden in der Galvanotechnik auch als „angebrannt“ bezeichnet (siehe dazu Anhang 1, Tabelle 2, Versuche T 2-2 und T 2-4).

Elektrodenanordnungen, Strömungsführung und Anlagentechnik müssen diese Bedingungen ermöglichen.

#### **Elektrolytführung**

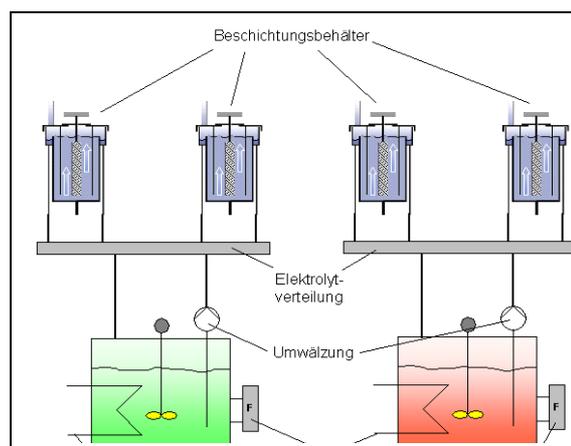
Die beabsichtigten hohen Stromdichten und die dabei auftretende schnelle Elektrolytverarmung sowie hohe Wärmeentwicklung macht einen schnellen Elektrolytaustausch notwendig. Wie die Laborversuche zeigten, kann hier eine gerichtete Strömung durch ein Strömungsröhr beste Resultate erzielen. Zudem ist eine solche Strömungsführung konstruktiv

und anlagentechnisch einfach zu beherrschen (Prinzip siehe Bild 1). Auch die Instandhaltung gestaltet sich verhältnismäßig einfach, da neben dem Strömungsrohr nur eine ausreichend dimensionierte Überströmvariante für die Elektrolytrückführung notwendig ist.



**Bild 1:    Prinzipskizze der Elektrolytführung in einem Beschichtungsbehälter mit Strömungsrohr**

Die Elektrolytparameter müssen sowohl in Temperatur als auch in Konzentrationen leicht überwacht und beeinflusst werden können. Aus diesen Gründen wird eine Elektrolytbevorratung in externen Vorratsbehältern notwendig (Bild 2), um während des Betriebes problemlos den Elektrolyten manipulieren zu können. Die hohen Strömungsgeschwindigkeiten durch den Reaktionsbehälter müssen die Gleichförmigkeit der Elektrolyteigenschaften sichern.



**Bild 2: Prinzipbild der Anordnung von Vorratsbehältern für Elektrolyt und Beschichtungsbehältern**

## **Stromform, Elektrodenanordnung**

Die Hartchrombeschichtung in der Lohnveredelung arbeitet normalerweise mit parallel zu den Längsseiten des rechteckigen Reaktionsbehälters angeordneten Anoden, meist aus Blei oder Titan. Dies führt zu unterschiedlichen Elektrodenabständen sobald das zu beschichtende Teil nicht selbst flächig ist. Oft wird dieses Manko durch aufwändige Teilebewegung ausgeglichen, was jedoch oft zu kostspielig wird.

Im vorliegenden Fall kann berücksichtigt werden, dass nahezu alle zu erwartenden Bauteile zylindrisch sind. Allerdings ist es eine Vielzahl unterschiedlicher Größen in Länge und Durchmesser.

Eine Analyse der Bauteilzahlen und -abmessungen war Grundlage für die Dimensionierung der Anlagenbehälter (Anhang 2).

Hieraus ergab sich eine Vorgabe von 1800 mm in der Länge und Durchmessern von maximal 180 mm, die zu berücksichtigen waren.

Die Laborergebnisse identifizierten den ohmschen Widerstand als die wesentliche Stellgröße für den Energieaufwand und damit auch für die Wärmeentwicklung.

Zudem kann durch eine Verringerung des Elektrodenabstandes und gleichzeitige Einstellung eines konstanten Abstandes über die gesamte zu veredelnde Oberfläche die Qualität der Schicht deutlich verbessert werden.

Da es sich um eine Lohnbeschichtung handelt, kann nicht immer sicher gestellt werden, dass eine Charge gleichförmig bestückt werden kann. Daher sollte unbedingt versucht werden, Mischchargen zu ermöglichen, was bei der Hartverchromung eher ungewöhnlich ist.

Wenige Erkenntnisse konnten über die Möglichkeiten der Pulsabscheidung bei der Hartverchromung gewonnen werden [2-4]. Dennoch sollte eine Station dafür vorgesehen werden, um zukünftige Weiterentwicklungen zu ermöglichen.

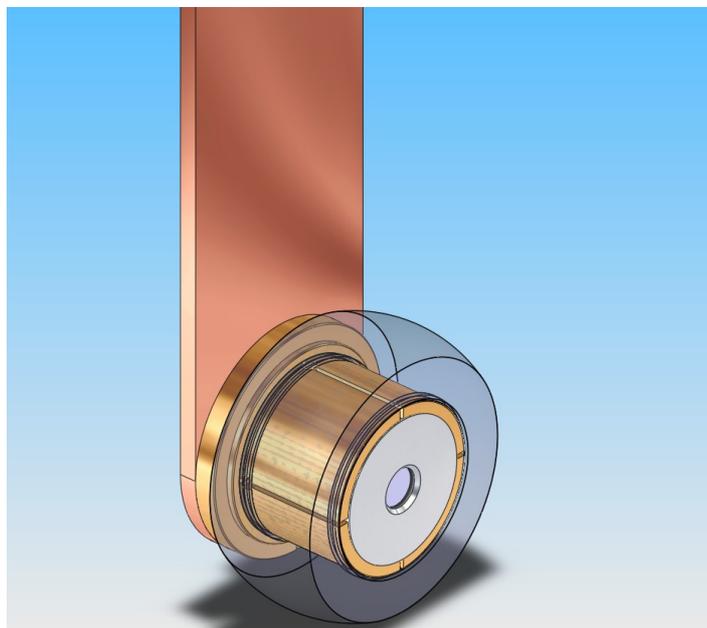
Zu guter Letzt ist zu beachten, dass nicht nur zylindrische Bauteile zu beschichten sind. Konventionelle Elektrodenanordnung sollte daher ebenfalls möglich sein, um die Anlage nicht zu sehr zu spezialisieren.

## Kontakte, Stromführung

Auch wenn der ohmsche Widerstand der bestimmende Faktor beim Energieeinsatz ist; hohe Übergangswiderstände durch mangelhafte Kontakte in der Stromführung können verschiedene negative Effekte haben. Dabei sind auch die möglicherweise langsamen Veränderungen über Jahre der Produktionszeit zu bedenken.

Hauptaugenmerk lag auf einer optimalen Stromzuleitung in das Bauteil, damit hier erstens kein hoher Übergangswiderstand durch die Montage entsteht und zweitens keine Überhitzung eintritt, die das Bauteil zerstören könnte.

Aus den Überlegungen, die auch eine möglichst einfache Handhabung berücksichtigen mussten, ging eine neue Kontaktform hervor, die eine große Übertragungsfläche sicherstellt. Darüber hinaus wird die Stromzuleitung von den Gleichrichtern zu den Anoden über Kabel erfolgen, um auch langfristig gute Übergangswiderstände gewährleisten zu können. Die Kontaktierung der Kabel ermöglicht die Kontrolle jedes einzelnen Verbindungspunktes, während eine alternative Schienenlösung nur so lange Vorteile besitzt, wie keine Instandhaltungs- oder Umbaumaßnahmen stattfinden.



**Bild 3: Prinzip der neu entwickelten Spannvorrichtung zur Kontaktierung der Bauteile in der Augenbohrung. Durch die vollflächige Spannung ist ein guter Stromübergang ohne punktuelle Temperaturerhöhung gewährleistet.**

Unterstützt wird diese kontrollierte Stromzuführung noch durch die Verwendung pneumatisch anstellbarer Fingerkontakte, die sicher stellen, dass auch bei nicht ganz planparalleler Kontaktstelle am Becken ausreichend Kontaktfläche zur Verfügung steht. Bild (unten) zeigt das Prinzip dieser Fingerkontakte, allerdings noch ohne pneumatische Versorgung.

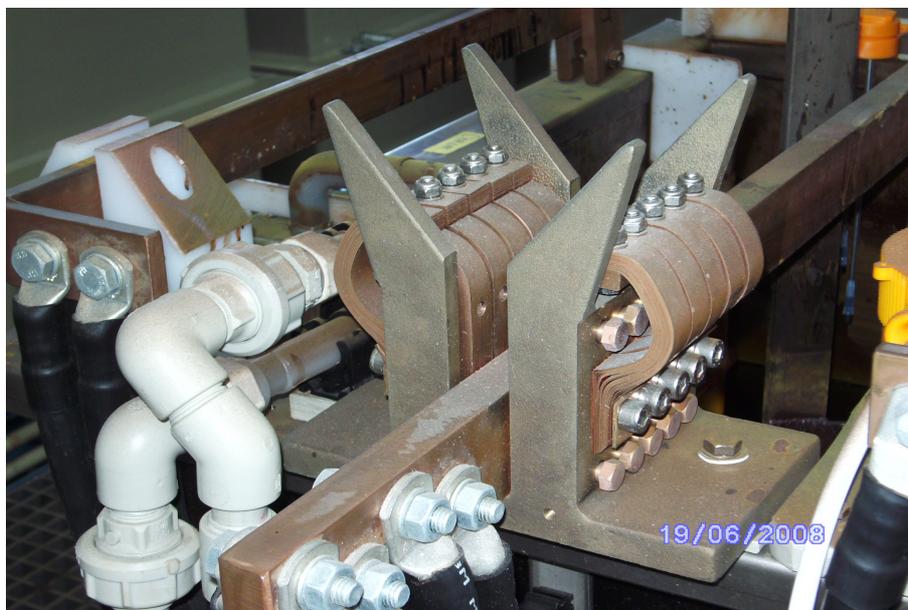


Bild 4: Fingerkontakte zur guten und verlustfreien Übertragung des Stromes auf den Wärenträger. Diese Kontakte werden in der neuen Anlage zusätzlich pneumatisch angepreßt.

#### **4. Planungsunterlagen und Konstruktionsvorgaben (Arbeitspakete 2 und 3)**

Es stellte sich schnell heraus, dass eine reine Reaktorlösung für die beabsichtigte Anlage nicht zweckmäßig sein kann. Die Verlagerung der verschiedenen Prozesswässer würde zu einer starken Erhöhung der zu bevorratenden Flüssigkeiten führen. Die mögliche Verschleppung von chromathaltigen Flüssigkeiten erschweren die Abwasserführung, der erhöhte Spülaufwand ginge stark zu Lasten des Durchsatzes und nicht zuletzt verursachten die verschiedenen Temperaturniveaus zusätzlichen Heiz- und Kühlaufwand.

Daher zeigt der Anlagenaufbau eine eher konventionelle Anordnung, die jedoch zumindest für die Aktivbäder das Reaktorkonzept weitgehend realisiert. In Anhang 7 ist das Fließbild der neuen Anlage dargestellt, in dem die Verschaltung der einzelnen Anlagenkomponenten erkennbar ist. Weiterhin sind ein Aufstellplan der Anlage auf Ebene der Beschichtungsbehälter und einer auf Ebene der Vorlagebehälter und sonstigen Infrastruktur zu sehen.

Die Konstruktion der Anlage berücksichtigt eine besondere Produktionsabsicherung im Hinblick auf die Technologie und Zukunftssicherheit. Zum einen sind die Aktivbäder als Reaktoren ausgelegt, die von verschiedenen Vorratsbehältern gespeist sind. Damit lassen sich verschiedene Hartchromtechnologien nebeneinander fahren. Zum zweiten können die Aktivbäder sowohl konventionell, d.h. mit den klassischen Seitenanoden, als auch neu mit Anodenkörben betrieben werden.

## 5. Upscaling (Arbeitspaket 4)

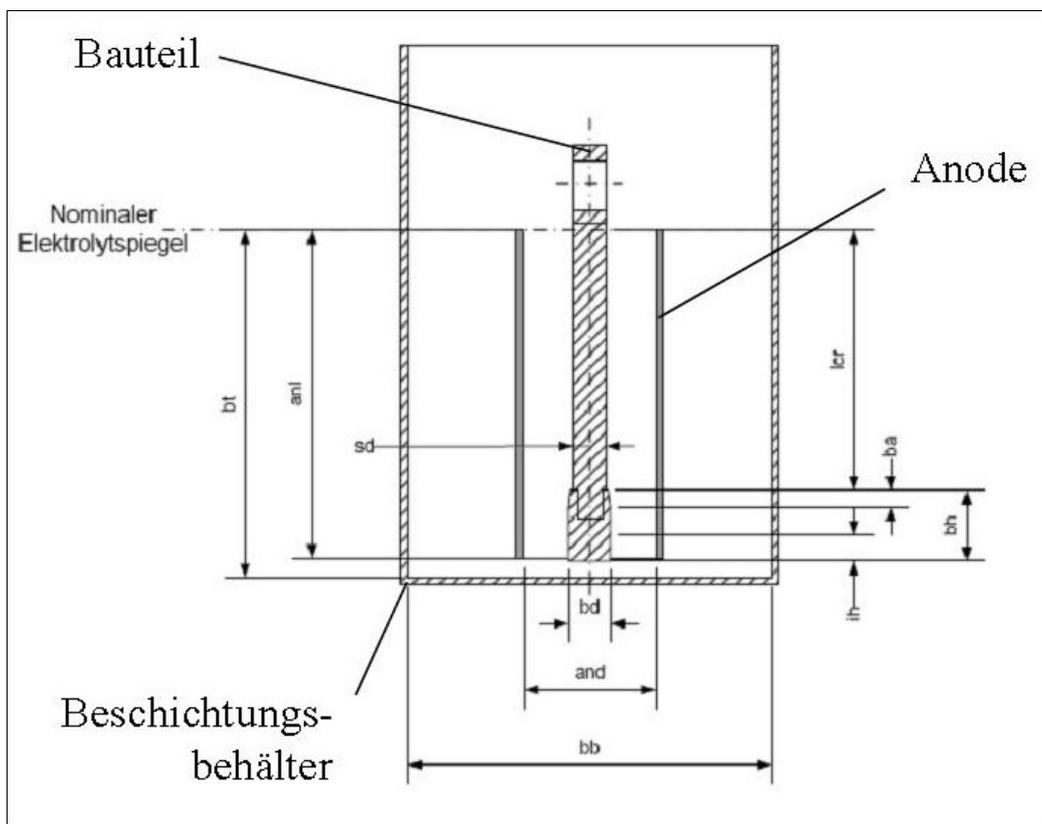
In der eigens für die Auslegung geschaffenen Versuchsanlage bei Thoma Metallveredelung GmbH wurden anhand der Laborergebnisse Versuche durchgeführt, die folgende Fragen beantworten sollten:

- Welche Stromdichten lassen sich unter Technikumsbedingungen erreichen?
- Wie wirken sich ungleichförmige Elektrodenabstände auf die Schichtstärken aus?
- Welche konstruktiven Vorkehrungen sind für die Bauteil- und Anodenbefestigungen vorzusehen und welche Toleranzen sind einzuhalten?
- Welchen Einfluss hat die Blendenkonstruktion und das Blendenmaterial auf den Energieverbrauch bei der Beschichtung oder kann der Beschichtungsstrom durch geschickte Ausführung der Blenden gesenkt werden?

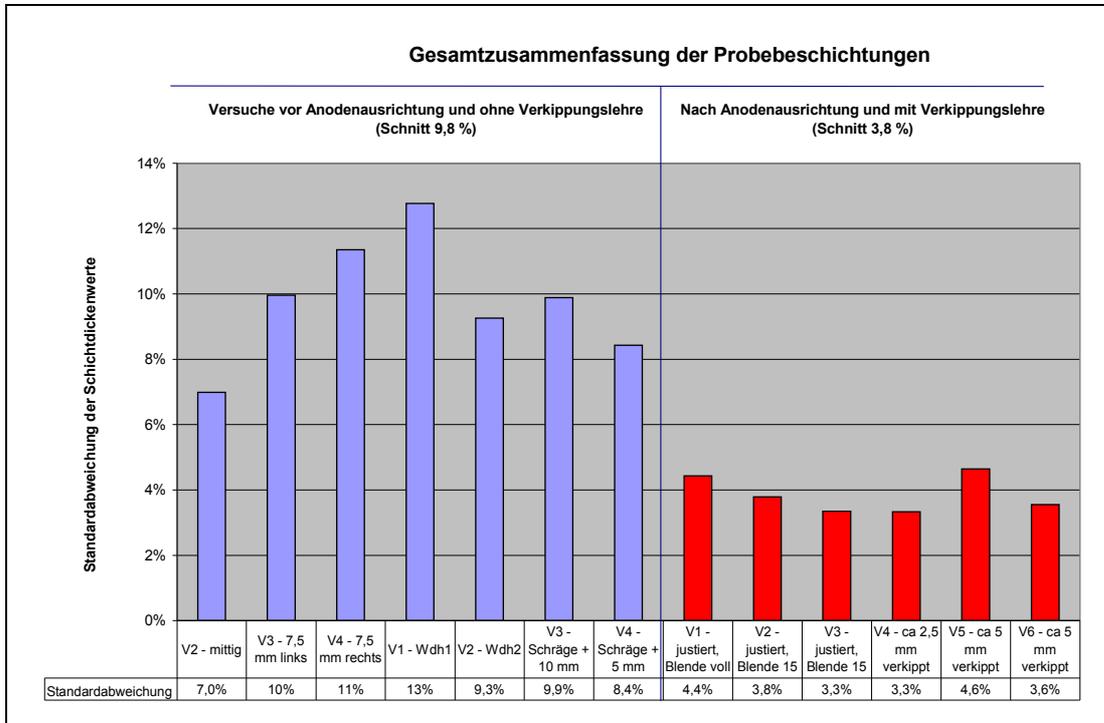
Die für die Auslegung der Beschichtungsbehälter wichtigste Klärung war der Einfluß der Präzision der Anodenausrichtung. Dazu wurde in einem Beschichtungsbecken der Handanlage eine Zylinderanode aus platinierter Titan installiert. In diesem Becken wurde dann ein Bauteil aus dem Teilespektrum beschichtet, Bild 5 zeigt das Becken mit Bauteil. In einer ersten Versuchsserie konnte das Bauteil nicht genau ausgerichtet werden, so ergab sich bei den Versuchen eine Verkippung der Längsachse des Bauteils zur Längsachse der Anode. Hier wurden Beschichtungen mit verschiedener Positionierung des Bauteils zur Anode durchgeführt.

Um eine genaue Ausrichtung dieses Bauteils zur Anode zu erreichen, wurden in einer zweiten Versuchsserie 2 Lehren aus Blech hergestellt, deren Außendurchmesser etwas kleiner als der Innendurchmesser der Anode ist und die in der Mitte eine Bohrung für das Bauteil besitzen. Mit diesen Lehren konnte der Abstand des Bauteils zur Anode jeweils oben und unten auf etwa 2-3 mm genau ringsherum gleichmäßig eingestellt werden.

Nach allen Versuchen wurden die Schichtdicken entlang der Bauteillängsachse an jeweils fünf Positionen jeweils vier Mal über den Umfang vermessen. Diese 20 Werte je Bauteil wurden dann auf ihre Abweichung vom Mittelwert hin untersucht und diese Abweichung grafisch dargestellt. In Bild 6 ist zu sehen, daß eine Verkippung der Längsachsen von Bauteil und Anoden gegeneinander sehr große mittlere Abweichungen der Schichtdickenwerte vom Mittelwert hervorruft (blaue Balken). Bei einer guten Parallelausrichtung liegen die Abweichungen auch bei einer Parallelverschiebung der Bauteilachse unter fünf Prozent und sind so akzeptabel. Auf der Grundlage dieser Versuche wurde eine maximale Positionsabweichung des Bauteils von der Anodenmitte von 5 mm für die Chromanlage festgelegt.



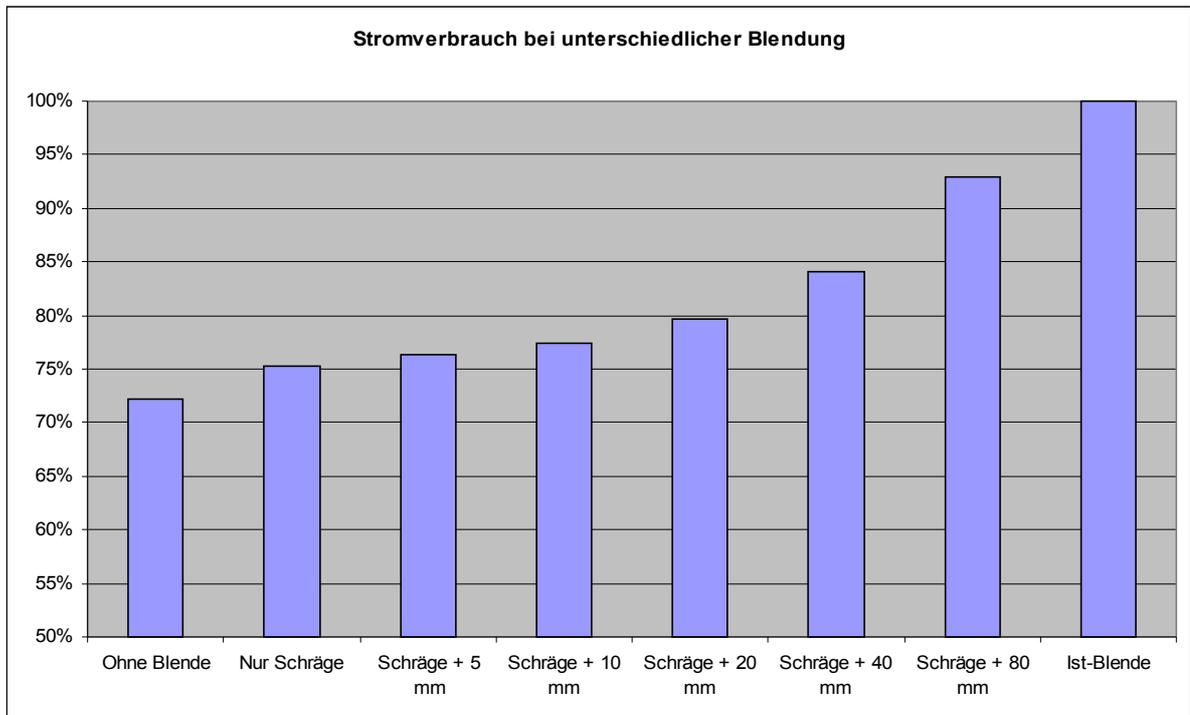
**Bild 5:** Übersicht über die Maße bei den Versuchen in der Handanlage. Zur Erläuterung der verschiedenen Maßbezeichnungen siehe Anhang 3



**Bild 6: Standardabweichungen der Schichtdicken auf den Probebauteilen bei unterschiedlichen Ausrichtungen von Anode und Bauteil zueinander**

Ein weiterer wichtiger Aspekt war die Untersuchung der Energieeinsparmöglichkeiten durch Veränderung der Blenden. Bei der Fa. Thoma sind heute metallische Blenden im Einsatz, die im Prozeß mit beschichtet werden. Nach einigen Beschichtungen müssen diese Blenden wieder entschichtet werden, da die Niederschläge sonst pulvrig werden und die Prozesse verschmutzen. Eine Verkleinerung der Blenden bedeutet also die Möglichkeit zur Einsparung von Strom bei der Beschichtung sowie von Strom und Chemikalien bei der Entschichtung. Andererseits ist eine Mindestgröße bei metallischen Blenden erforderlich, um am Bauteilende eine ausreichend gleichmäßige Schichtdickenverteilung zu erhalten. Ohne Blende würde sonst am Ende des Bauteils die Schichtdicke stark ansteigen (Hundeknochen-Effekt). So gibt es also bei metallischen Blenden ein Optimum zwischen sicherer Erreichung einer ausreichend gleichmäßigen Schichtdicke und maximaler Stromeinsparung. Dieses Optimum ist empirisch nur mit sehr hohem Aufwand zu finden, daher wurden im Projekt mit Hilfe von

Simulationen verschiedene Blendenvarianten auf ihre Auswirkungen beim Energiebedarf hin untersucht. Die Ergebnisse sind in Bild 7 dargestellt.



**Bild 7: Stromverbrauch bei der Beschichtung eines Bauteils mit unterschiedlich langen Blenden**

Gute Ergebnisse hinsichtlich Schichtdickenverteilung am Bauteilende wurden noch mit Blenden von 20 mm Länge plus Schräge erzielt. Dies ergibt ein Energieeinsparpotential von etwa 20 Prozent gegenüber der konventionellen Arbeitsweise. Noch einmal etwa acht Prozent könnten eingespart werden, wenn es keine leitende Blende gäbe. Daher sind noch Simulationen geplant, in denen untersucht werden soll, ob qualitativ gute Ergebnisse bei der Schichtdickenverteilung auch mit nichtleitenden Blenden erzielt werden können.

## 6. Lastenheft (Arbeitspaket 5)

Das Lastenheft ist Basis für Angebot und Bestellung der Anlage. Es beinhaltet die Ergebnisse der Vorversuche und Planungen als Vorgabe zur Bauwerkserrichtung für den beauftragten Anlagenbauer.

(Lastenheft im Anhang)

## 7. Realisation (Arbeitspaket 6)

Das Lastenheft wurde zu Konstruktionszeichnungen verarbeitet, die dem Aufbau zugrunde liegen. Manche Konzepte, wie beispielsweise die Anodenlagerung in der Anlage, mussten aufgrund der örtlichen Gegebenheiten aufgegeben werden.

Die Anlage ging im Juli 2009 in Betrieb. Gleichzeitig wurde die Komponente der Wärmerückgewinnung installiert. Das folgende Fließschema verdeutlicht, wie die Abwärme aus den unterschiedlichen Wärmequellen (derzeit Gleichrichter und Aktivbäder) über eine Wärmepumpe auf ein höheres Temperaturniveau gehoben und dann zur weiteren Verwendung zwischengespeichert werden soll. Die Wärmepumpe hält das Speichermedium auf eine Temperatur von  $\geq 75^{\circ}\text{C}$ , was für die meisten Betriebsheizungen ausreicht und die Abhängigkeit von fossilen Brennstoffen verringern hilft. Zusätzlich stellte sich heraus, dass sich der Anschluss an einen Grundwasserbrunnen positiv auswirken wird, da einerseits stets ein Wärmelieferant zur Verfügung steht und gleichzeitig ein zusätzliches Kühlmedium eingesetzt werden kann.

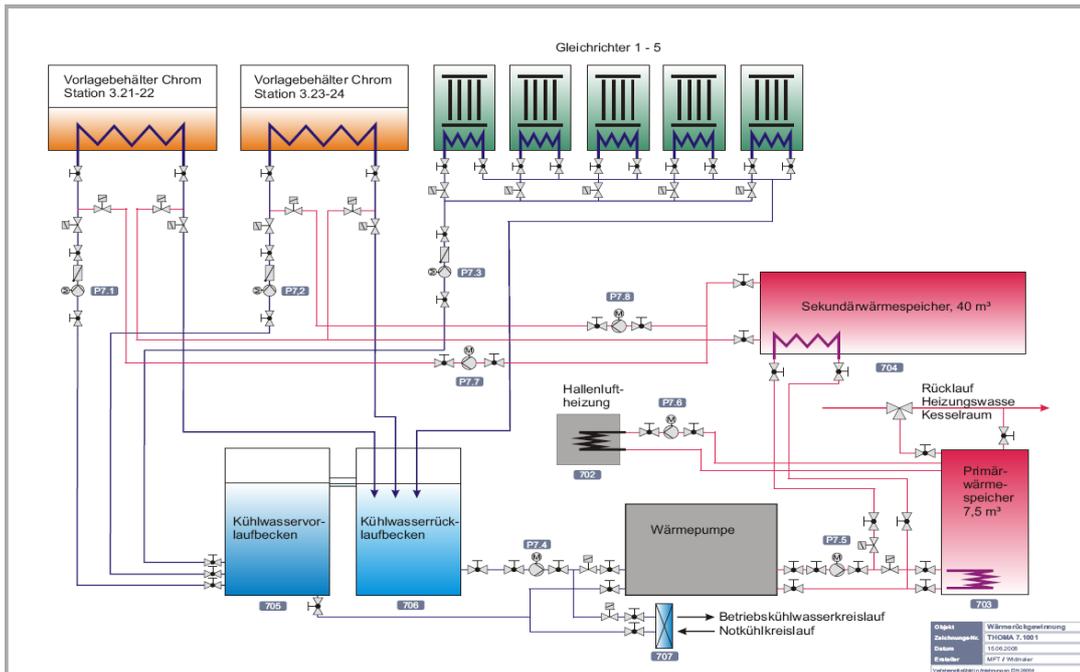


Bild 8: Fließschema der geplanten Wärmerückgewinnungsanlagen zur Speicherung der Prozessabwärme aus den Verchromungselektrolyten für die Heizung verschiedener Medien

## 7.1 Praktischer Versuch zur Wärmebilanz

Im Zuge der Inbetriebnahme der Anlage mit allen Nebenkomponten wurden Probebeschichtungen vorgenommen, die der Bilanzierung der Wärmeströme dienen sollten. Hierzu wurden zusätzliche Messeinrichtungen installiert. Die Probebeschichtungen erfolgten zum einen unter Einsatz von Formanoden, zum anderen parallel in einem herkömmlichen Beschichtungsbad mit Seitenanoden. Die technischen Beschichtungsdaten entnehmen Sie bitte der folgenden Tabelle, wobei angemerkt werden muss, dass sich die Beschichtungsparameter an der Maximierung der Wärmemenge, nicht jedoch an der besten Qualität orientierten.

Parameter	Formanoden	konventionell
Anzahl Teile	3	3
Fläche pro Bauteil (dm <sup>2</sup> )	35,4	29,2
Versuchsdauer (h)	1,42	0,92
Mittlere Spannung(V)	12,2	9,1
Stromstärke (A) pro Bauteil	3950	1667
Stromdichte (A/dm <sup>2</sup> )	112	57
Mittlere Schichtdicke (µm)	250	38
Abscheidegeschw. (µm/min)	2,9	0,69
Abgeschiedene Masse Cr (g)	1900	275
Stoffmenge Cr (mol)	36,5	5,3
Abgesch. Ladungsmenge (C)	2,1 x 10 <sup>7</sup>	3,1 x 10 <sup>6</sup>
Ges. Ladungsmenge (C)	6,1 x 10 <sup>7</sup>	1,6 x 10 <sup>7</sup>
Stromausbeute (%)	34	19
Energieeinsatz (kWh)	205	42
Energieeintrag (Wh/(dm <sup>2</sup> µm))	7,7	12,6
Reduzierter Energieeintrag (Wh/(dm <sup>2</sup> µm))	2,6	2,4

**Tabelle 1: Beschichtungsparameter**

Die Daten zeigen das Potential, dass im Übergang von der konventionellen Beschichtungs-technik zur Formanodentechnik liegt. Natürlich werden die qualitativ notwendigen Parameter in der Serie unter denen der Tabelle (Spalte Formanoden) liegen – dennoch lassen sich deutliche Einsparmöglichkeiten schon jetzt erkennen.

Von besonderem Interesse für das Gesamtprojekt ist jedoch die Bilanzierung der gesamten eingesetzten Energie.

Im vorliegenden Versuch wurde die Bilanzierung auf die beiden Komponenten „Beschichtungsanlage“ und Wärmepumpenanlage“ beschränkt. Die Beträge des zusätzlich verfügbaren Brunnens wurden nahe Null gehalten.

Die folgende Tabelle fasst die Messergebnisse zusammen.

1. Energieaufnahme Wärmepumpe (kWh)	68,2
2. Energieaufnahme Peripherie (kWh)	14,2
3. Kühlenergie Wärmepumpe (kWh)	127,8
4. Wärmeenergie aus Wärmepumpe (kWh)	191,7
5. Energie Beschichtung (kWh), s. Tab. 1	247
6. Primärenergieaufnahme Gleichrichter (kWh)	326,1

**Tabelle 2: Eckdaten der Energiebilanz**

Die Bilanzierung geht von 2 Grundannahmen aus: Erstens wird angenommen, dass die Beschichtung tatsächlich die Polarisation aufweist, die durch die externe Spannung auf der sekundären Seite des Gleichrichters gegeben ist. Hier liegt eine Näherung vor, da die Spannungsverluste in Zuleitungen und Elektrolyt vernachlässigt werden. Zweitens wird die Kühlseite der Wärmepumpe mit der rückgewonnenen Wärmeenergie gleichgesetzt. Diese Annahme ist plausibel, da hier die Abwärme mit „weggekühlt“ wird. Die Größe des dabei gemachten Fehlers lässt sich durch Vergleich der Summe von Parameter 1 und 3 der obigen Tabelle mit Wert 4 abschätzen. Die Summe ist mit 196kWh nur um ca. 2% größer als Wert 4 und dürfte somit innerhalb der Fehlergrenzen der Gesamtmessung liegen.

Die gesamte Energieaufnahme des Systems betrug somit 408,5 kWh (1. + 2. + 6.).

Durch das Rückgewinnungssystem konnten 374,8 kWh (3. + 5.) zurückgewonnen werden.

Somit wurden 91,7% der eingesetzten elektrischen Energie der Nutzung zugeführt.

Die Wärmepumpe erzeugte aus den ihr zugeführten 210,2 kWh (1. + 2. + 3+) eine verwertbare Wärmeenergie von 191,7 kWh, was einem Wirkungsgrad von 91% entspricht

## 8. Verbreitung und Fortführung

Nach Überführung der Anlage in den Serienbetrieb wird ein Hauptaugenmerk auf den weitergehenden Wirkungen der modernen Anlagentechnik zu legen sein. Beispielsweise ist zu untersuchen, in welchem Umfang die erwartete Verringerung der internen Nacharbeiten zu Ressourceneinsparungen führen wird.

Weitere Anlagen werden mit der Wärmerückgewinnung gekoppelt werden – den Anfang hat eine Verzinkungsstraße gemacht, deren Serienproduktion bereits ausreichend Wärme für

einen Großteil des sommerlichen Wärmebedarfes des Jahres 2009 liefert. Weitere Anlagen werden folgen.

Eine erste Veröffentlichung von Teilen des Projektes wurde im Rahmen der Oberflächentage 2008 als Plenarvortrag präsentiert. Weitere, detailliertere Vorträge werden im November 2009 beim 50 Jahrestag des Institutes IPA der Fraunhofer-Gesellschaft sowie auf dem Kongress „Energieeffizienz in der Galvanotechnik“ in Nürtingen gehalten werden.

Schriftliche Publikationen werden ebenfalls erarbeitet werden, ein erster Artikel über die Ergebnisse in der „Galvanotechnik“ ist in Vorbereitung. Auf diese Weise wird ein breiteres Publikum mit ähnlichen Einsparpotentialen erreicht.

## **9. Fazit**

Das beschriebene Projekt hat gezeigt, dass auch die bereits altbewährte Technologie des galvanischen Hartverchromens große Potentiale für Optimierungen sowohl in Qualität als auch Ressourcennutzung aufweist. Verknappung der etablierten Energieträger und die steigenden Ressourcenpreise machen derartige Optimierungen dringend nötig – allerdings werden diese Investitionen auch zunehmend attraktiv.

Dieses Projekt hat die Einsparmöglichkeiten bei Kombination verschiedener elementarer Maßnahmen aufgezeigt, ihre Umsetzung illustriert und die Einsparpotentiale quantifiziert. Die Inbetriebnahme hat die erwarteten Kenndaten bestätigt, z.T. sogar übertroffen. Es gilt nun, diese enormen Fortschritte in die Serienfertigung eines Lohnbeschichterbetriebes zu überführen.

## 10. Literaturverzeichnis

- [1] G. A. Lausmann ; J. N. M. Unruh: Die galvanische Verchromung. 1. Aufl., Stuttgart : Leuze, 1998
- [2] Addach, H; Bercot, P; Rezrazi, M; De Petris, Wery M; Ayedi, H F: Application of statistical design to optimisation of hardness and hydrogen content of chromium coating under pulse reverse electroplating. Transactions of the Institute of Metal Finishing, UK vol 85 (2007), no 4, p 187-93
- [3] Huang, C A; Chang, J H; Hsu, F Y; Liao, M J: A study of direct- and pulse-current chromium electroplating on rotating cylinder electrode (RCE). Applied Surface Science, Netherlands \* vol 253 (15 June 2007), no 16, p 6829-34
- [4] He, Xin kuai; Chen, Bai zhen; Wu, Lu ye; Li, Xiao dong; He, Quan guo: Process of pulse electrodeposition of nanocrystalline Ni-Cr alloy from trivalent chromium bath. Chinese Journal of Nonferrous Metals, China \* vol 16 (July 2006), no 7, p 1281-7
- [5] Bayerisches Landesamt für Umweltschutz, „Effiziente Energienutzung in der Galvanikindustrie“, Augsburg 2003, ISBN 3-936385-51-3

## 11. Anhänge

### Anhang 1 – Versuchsergebnisse zur Bestimmung der Ziel-Beschichtungsparameter

Sowohl für die Beschichtung von Stahl als auch von Nickel waren im Vorfeld der Anlagenauslegung die Grenzen des Prozeßfensters abzustecken. Hierzu wurden am Fraunhofer-IPA in einem geschlossenen Beschichtungsreaktor im Labor Beschichtungsversuche und metallographische Auswertungen vorgenommen. Hiermit konnten als obere Grenze für die Stromdichte bei der Chromabscheidung  $90 \text{ A/dm}^2$  gesichert werden. Nach den Ergebnissen ist der Prozess noch bis  $110 \text{ A/dm}^2$  stabil, wobei jenseits von  $90 \text{ A/dm}^2$  die Qualität der Chromschicht tendenziell wieder abnimmt.

Die Einzelergebnisse sind in den nachfolgenden Tabellen zusammengestellt.

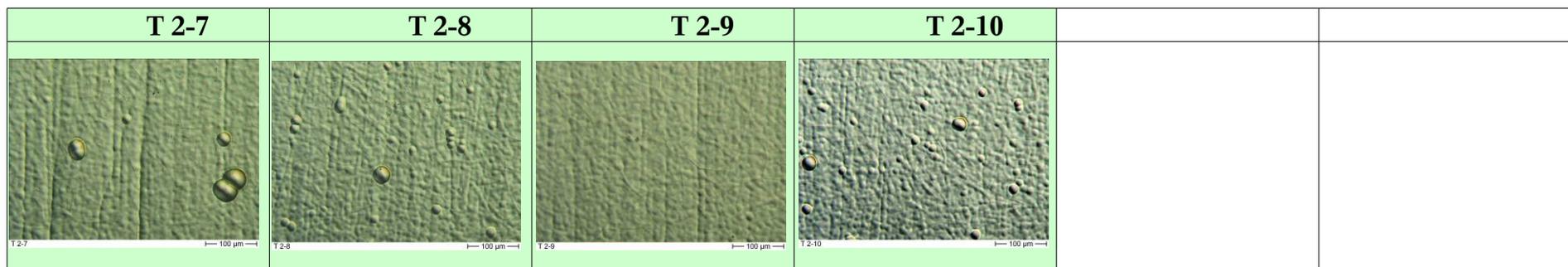
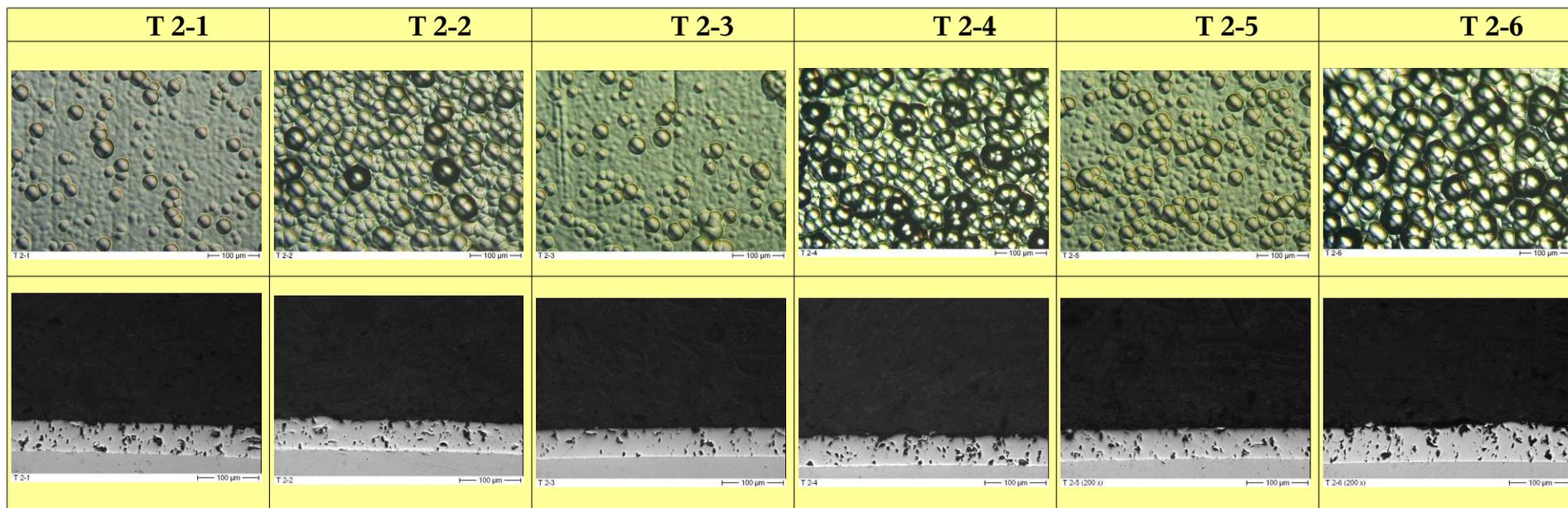
Tabellen 1-3: Versuchsergebnisse Hartchrom auf Stahlsubstrat

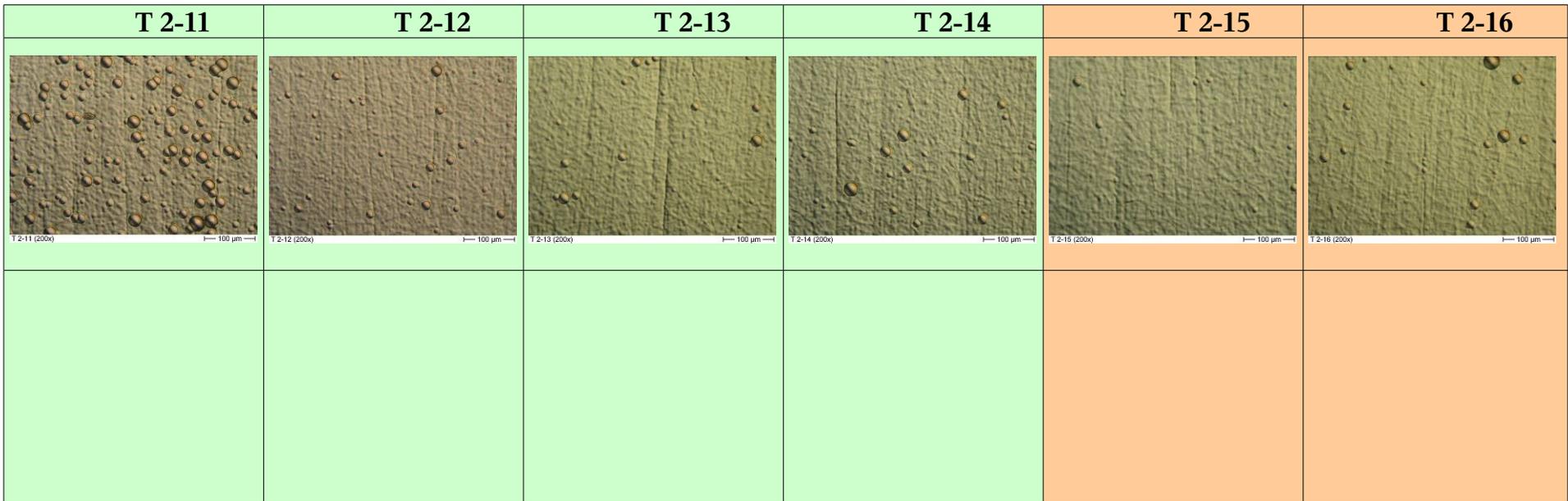
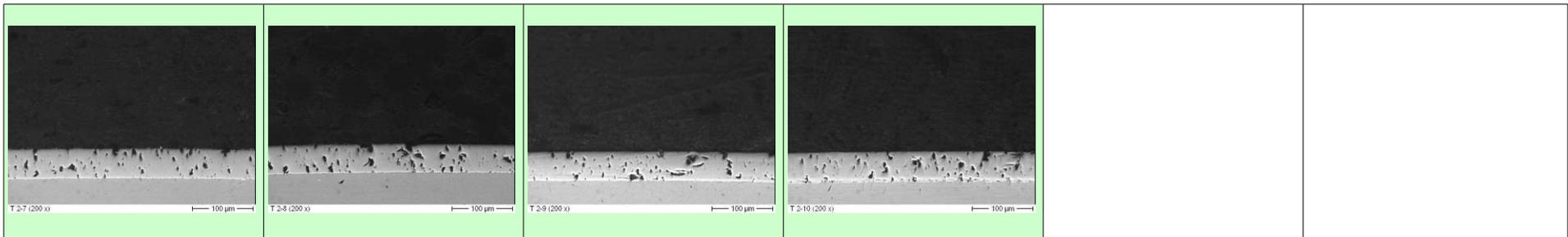
### Abscheidung Hartchrom auf Stahl

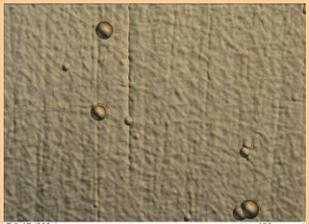
		Probe									
		T 2-1	T 2-2	T 2-3	T 2-4	T 2-5	T 2-6	T 2-7	T 2-8	T 2-9	T 2-10
	Stromdichte	70 A/dm <sup>2</sup>	90 A/dm <sup>2</sup>								
	Durchfluss	0,1 m/s	0,1 m/s	0,2 m/s	0,2 m/s	0,3 m/s	0,3 m/s	0,1 m/s	0,1 m/s	0,2 m/s	0,2 m/s
	Temperatur	55° C	60° C	60° C	60° C	60° C					
Schichtdicke [µm]	Oben (15 mm)	58	61	60	60	60	76	52	54	56	57
(magnetiv-induktiv!)	Mitte (107,5 mm)	54	59	53	58	55	70	52	51	52	52
	Unten (10 mm)	62	65	66	68	66	82	66	67	59	60
Schichtdicke [µm]	Mitte	53	52	51	53	56	56	51	50	52	53
(Querschliff)											
Härte (HV)	Mitte	1008	1029	1028	1015	1037	1023	1014	999	1057	1028

		Probe									
		T 2-11	T 2-12	T 2-13	T 2-14	T 2-15	T 2-16	T 2-17	T 2-18		
	Stromdichte	100 A/dm <sup>2</sup>	110 A/dm <sup>2</sup>								
	Durchfluss	0,1 m/s	0,1 m/s	0,2 m/s	0,2 m/s	0,1 m/s	0,1 m/s	0,2 m/s	0,2 m/s		
	Temperatur	60° C	60° C	60° C	60° C	63° C	63° C	63° C	63° C		
Schichtdicke [µm]	Oben (15 mm)	55	49	55	49	54	45	54	48		
(magnetiv-induktiv!)	Mitte (107,5 mm)	52	45	49	46	49	45	50	45		
	Unten (10 mm)	65	54	60	57	61	55	62	52		
Schichtdicke [µm]	Mitte	48	42	46	45	44	43	47	42		





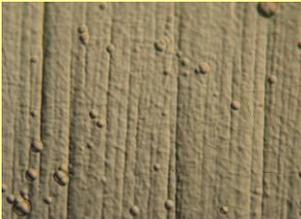
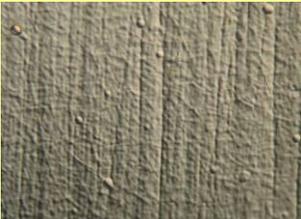
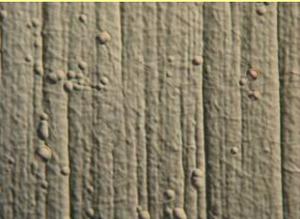
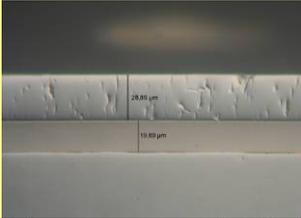
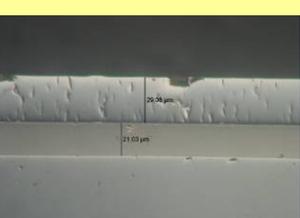
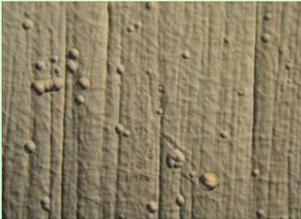
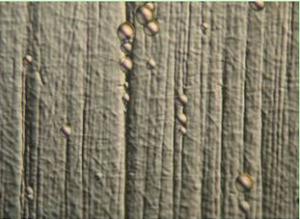
 <p>T 2-17 (200x) 100 µm</p>	 <p>T 2-18 (200x) 100 µm</p>				

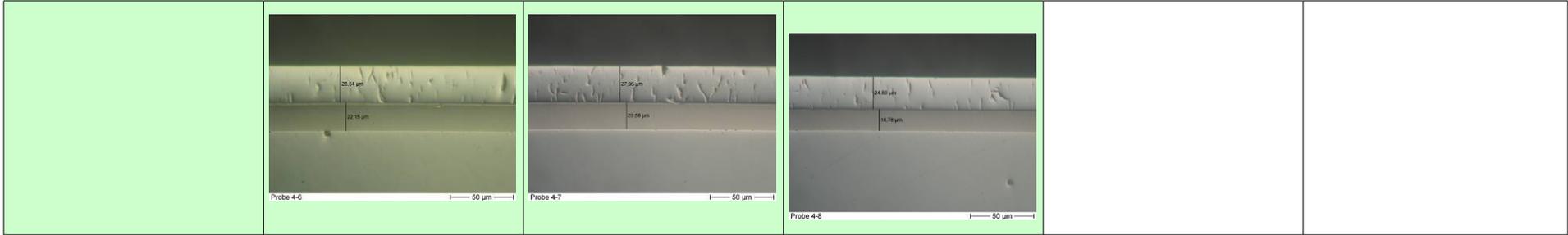
Tabellen 4-5: Versuchsergebnisse Hartchrom auf chemisch-Nickel-Schicht

**Abscheidung Hartchrom auf chemisch Nickel**

		Probe									
		T 4-1	T 4-2	T 4-3	T 4-4	T 4-5	T 4-6	T 4-7	T 4-8		
	Stromdichte	70 A/dm <sup>2</sup>	90 A/dm <sup>2</sup>	70 A/dm <sup>2</sup>	90 A/dm <sup>2</sup>	70 A/dm <sup>2</sup>	90 A/dm <sup>2</sup>	100 A/dm <sup>2</sup>	110 A/dm <sup>2</sup>		
	Durchfluss	0,1 m/s	0,1 m/s	0,2 m/s	0,2 m/s	0,1 m/s	0,1 m/s	0,1 m/s	0,1 m/s		
	Temperatur	60° C	60° C	60° C	60° C	63° C	63° C	63° C	63° C		
Schichtdicke [µm]	Oben (15 mm)										
(magnetiv-induktiv!)	Mitte (107,5 mm)										
	Unten (10 mm)										
Schichtdicke [µm]	Chrom	28,86	29,53	29,08	29,53	28,64	28,64	27,96	24,83		
(Querschliff Mitte)	Nickel	19,69	22,15	21,03	16,78	22,06	22,15	20,58	16,78		
	Gesamt	48,55	51,68	50,11	46,31	50,70	50,79	48,54	41,61		
Härte (HV)	Mitte	1100	1178	1149	1138	1136	1136	1197	1082		

Bemerkung: Bedingt durch die zwei Metallschichten sind die Schichtdickenwerte der magnetisch-induktiven Messung gegenüber der Bestimmung im Querschliff sehr ungenau. Wir haben sie daher nicht mit angegeben. Die Werte aus der Vermessung im Querschliff entsprechen den Erwartungen aus der Versuchsplanung.

T 4-1	T 4-2	T 4-3	T 4-4		
 <p>T 4-1_OF_Mitte   100 µm</p>	 <p>T 4-2_OF_Mitte   100 µm</p>	 <p>T 4-3_OF_Mitte   100 µm</p>	 <p>T 4-4_OF_Mitte   100 µm</p>		
 <p>Probe 4-1   50 µm</p>	 <p>Probe 4-2   50 µm</p>	 <p>Probe 4-3   50 µm</p>			
T 4-5	T 4-6	T 4-7	T 4-8		
 <p>T 4-5_OF_Mitte   100 µm</p>	 <p>T 4-6_OF_Mitte   100 µm</p>	 <p>T 4-7_OF_Mitte   100 µm</p>	 <p>T 4-8_OF_Mitte   100 µm</p>		



## Anhang 2– Analyse Bauteilspektrum und Bauteilabmessungen

### Datenbasis und Auswertung

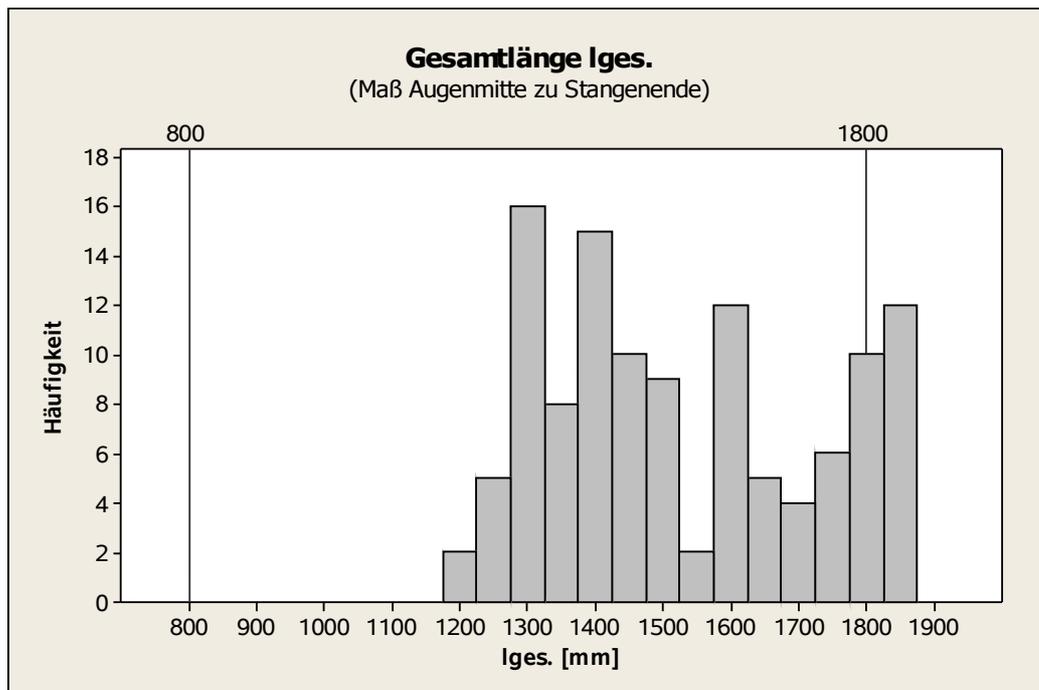
Datenbasis waren die von Thoma am 17.12.2007 per mail übergebenen Zeichnungen. Es handelte sich um in Summe 127 Zeichnungen in sechs ZIP-Archiven. Die Bezeichnung der Archive lautete:

- 9162097
- 9226124
- 9612349
- 9917127
- 9926289
- 296530009

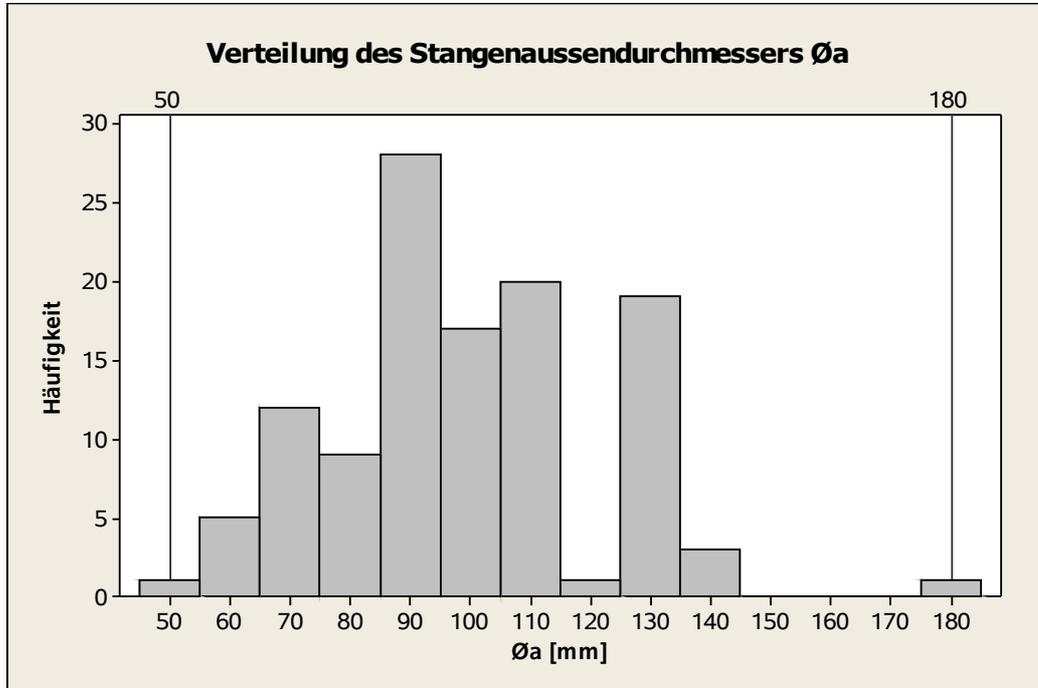
Nach der Datenaufnahme erfolgte die Auswertung mit der Zielsetzung, die konstruktiv und planerisch relevanten Werte zu ermitteln. Dabei ist zu berücksichtigen, dass zur Auswertung keine Stückzahlen zur Verfügung standen.

### Ergebnisse

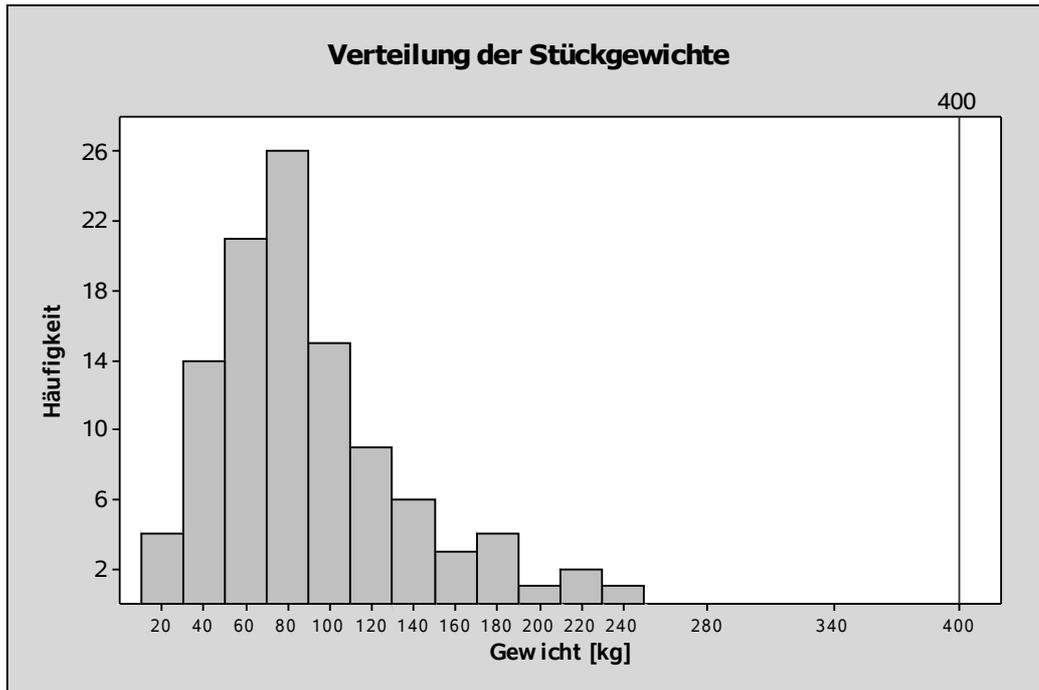
#### Grunddimensionen und -massen



Die Referenzstriche bei 800 und 1800 mm kennzeichnen den aktuell per Lastenheft vorgegebenen Bereich. Die dort veranschlagte Max-Länge wird überschritten, die sich anhand der Zeichnungen ergebende Max-Länge beträgt 1860 mm.



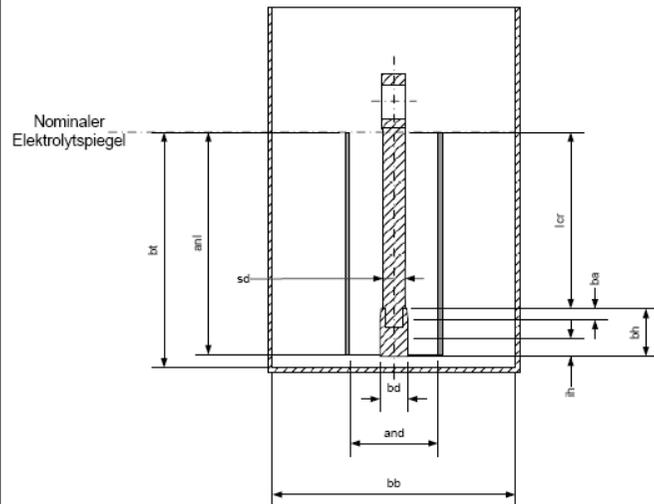
Im Gegensatz zu Bauteillänge liegen die ermittelten Durchmesser fast ausschließlich im unteren spezifizierten Bereich, kein Teil liegt darüber und nur ein Teil liegt beim Maximum.



Das Stückgewicht liegt deutlich unter der angegebenen Maximalmasse von 400 kg.

## Anhang 3 – Daten zu den Beschichtungsversuchen bei Fa. Thoma

### Geometrie für Beschichtungsversuche:



#### Legende:

bt	580 mm	Behältertiefe
bb	550 mm	Behälterbreite
and	200 mm	Anodendurchmesser
anl	500 mm	Anodenlänge
sd	50 mm	Stangendurchmesser
lcr	427 mm	Verchromungslänge
bd	63 mm	Blendendurchmesser
ba	14 mm	Blendenabsatz
bh	108 mm	Blendenhöhe
ih	x mm	Isolationshöhe

#### Anmerkung:

V2 mit Blendenabsatz von 1 mm an Geometrie Punkten 11 und 12 und Schräge bei den Punkten 8 und 9

1	Erstellt	07.02.08	KSS	Datum	Name
	Bearb.				
	Gepf.				
	Norm				
IPA					Blatt
THOMA					Bl.
Versuchsgeometrie					
Zust.	Änderung	Datum	Name		



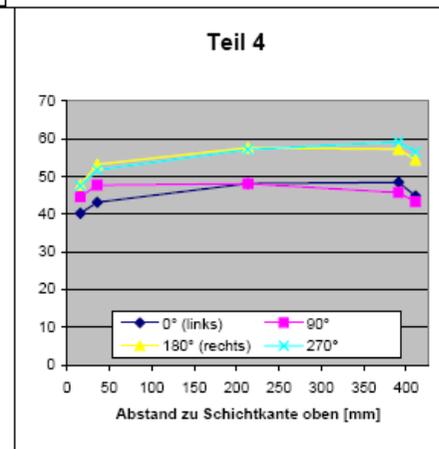
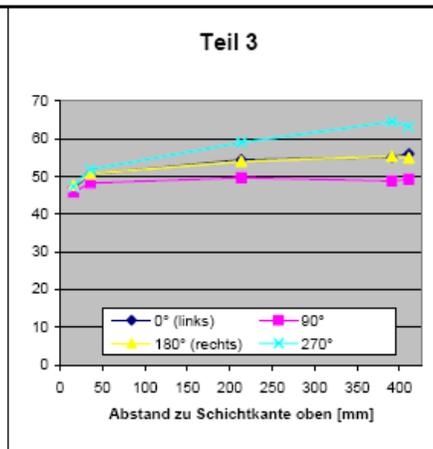
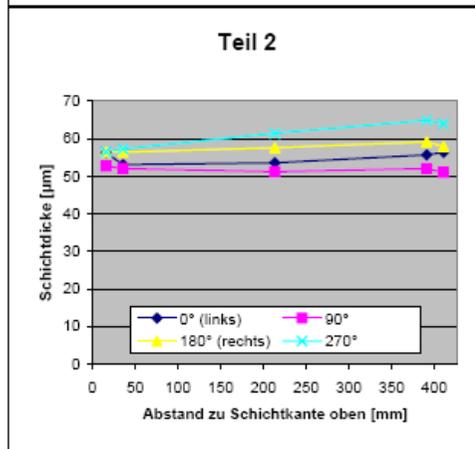
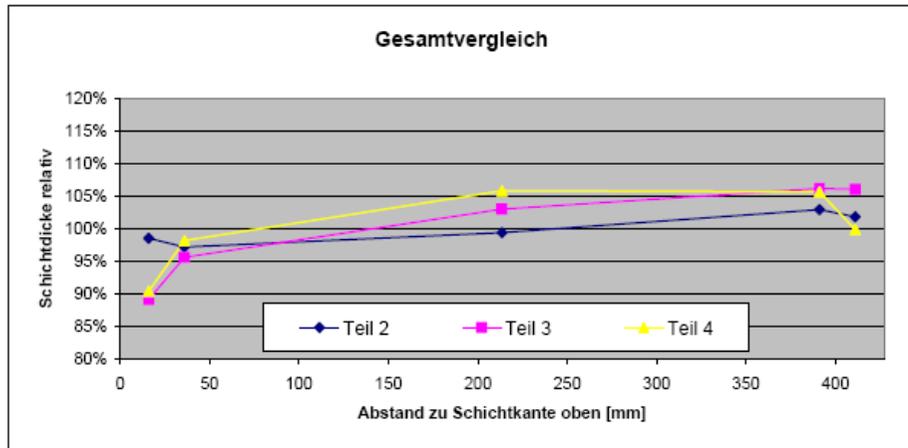
Probe	Teil 3	Teil 2	Teil 4																																					
<b>Bauteilposition:</b>	ca. 7,5 mm nach links verschoben	Mittig nach Markierung	ca. 7,5 mm nach links verschoben																																					
Mittensversatz des Bauteils relativ zur Anode:	ca. 7,5 mm ↓	ca. 7,5 mm ↙ ca. 7,5 mm ↓	ca. 15 mm ↙ ca. 7,5 mm ↓																																					
Schichtdickenverteilung über Umfang:																																								
<b>Legende:</b>																																								
	<b>Anmerkungen:</b> - Werte sind jeweils über die Bauteillänge gemittelt, also als grobe Aussage zu bezeichnen - Aufgrund der ungünstigen Messsituation konnte der Mittensversatz nur an der Anodenoberkante und das nur relativ ungenau ermittelt werden, Bauteil und Anode waren aber wahrscheinlich zusätzlich zueinander verkantet																																							
	<table border="1"> <tr> <td>1</td> <td>Erstellt</td> <td>30.01.08</td> <td>KSS</td> <td>Bearb.</td> <td>Datum</td> <td>Name</td> <td rowspan="3">             Grobübersicht Versuchsergebnisse            Probebeschichtungen vom 29.01.08         </td> <td rowspan="2">Blatt</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Gepr.</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td>Norm</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td></td> <td></td> <td colspan="3" rowspan="2"> </td> <td></td> <td>Bl.</td> </tr> <tr> <td>Zust.</td> <td>Anderung</td> <td>Datum</td> <td>Name</td> <td></td> </tr> </table>			1	Erstellt	30.01.08	KSS	Bearb.	Datum	Name	 Grobübersicht Versuchsergebnisse Probebeschichtungen vom 29.01.08	Blatt					Gepr.							Norm											Bl.	Zust.	Anderung	Datum	Name	
1	Erstellt	30.01.08	KSS	Bearb.	Datum	Name	 Grobübersicht Versuchsergebnisse Probebeschichtungen vom 29.01.08	Blatt																																
				Gepr.																																				
				Norm																																				
								Bl.																																
Zust.	Anderung	Datum	Name																																					

## Versuchsauswertungen

Versuchsbeschichtungen vom 29.01.08

Probe		Teil 2				Teil 3				Teil 4			
Strom [A] / Ist-Spannung [V]		820 / 8,2				820 / 8,2 - 8,0				820 / 8,2 - 7,8			
Stromdichte [A/dm <sup>2</sup> ]		90				90				90			
Dauer [min]		30				30				30			
Abscheiderate [µm/min]		1,9				1,8				1,7			
ca. Temperatur Vorrichtung [°C]		60 - 65				60 - 65				60 - 65			
ca. Temperatur Elektrolyt [°C]		59 - 63				59 - 64				60 - 64			
Bauteilposition		Mittig nach Markierung				ca. 7,5 nach links verschoben				ca 7,5 mm nach rechts verschoben			
Bemerkungen		Teil oben ca. 10 -15 mm mit Klebeband abgeblendet				Teil ohne Blenden mit Klebeband				Teil ohne Blenden mit Klebeband			
Gesamtauswertung	Schichtdicke [µm]	56				53				50			
	Standardabweichung	7,0%				10%				11%			
	Min [µm]	51				46				40			
	Max [µm]	65				65				59			
Einzelwerte		Umfangsposition				Umfangsposition				Umfangsposition			
		0° (links)	90°	180° (rechts)	270°	0° (links)	90°	180° (rechts)	270°	0° (links)	90°	180° (rechts)	270°
Abstand zu Schichtanfang oben [mm] (Jeweils MW aus 4 Messungen)	16	56,2	52,8	56,5	56,5	47,0	45,9	47,6	47,3	40,3	44,6	47,7	47,5
	36	53,1	52,1	56,5	57,3	50,6	48,3	50,7	51,8	43,2	47,7	53,2	51,7
	213,5	53,6	51,3	57,6	61,5	54,4	49,7	54,0	59,0	48,1	48,1	57,6	57,1
	391	55,7	52,1	59,2	65,0	55,1	48,8	55,4	64,5	48,4	45,7	57,3	59,2
	411	56,4	51,1	57,9	64,0	56,0	49,3	54,9	63,3	44,8	43,3	54,4	56,5
Auswertungen (Mittelwertbildung)		Umfangsposition				Umfangsposition				Umfangsposition			
		0° (links)	90°	180° (rechts)	270°	0° (links)	90°	180° (rechts)	270°	0° (links)	90°	180° (rechts)	270°
"Umfangswerte"	MW [µm]	55	52	58	61	53	48	53	57	45	46	54	54
	Stabw	98%	92%	102%	108%	100%	92%	100%	109%	90%	92%	108%	109%
	Min [µm]	2,8%	1,3%	2,0%	6,3%	7,2%	3,1%	6,2%	13%	7,7%	4,4%	7,4%	8,7%
	Max [µm]	53,1	51,1	56,5	56,5	47,0	45,9	47,6	47,3	40,3	43,3	47,7	47,5
"Längswerte"	16	55,5	52,8	58,2	61,0	46,9	45,9	53,4	57,0	45,0	44,6	54,4	54,0
	36	54,7	52,1	56,5	57,3	50,4	48,3	50,7	51,8	48,9	47,7	53,2	51,7
	213,5	56,0	51,3	57,6	61,5	54,3	49,7	54,0	59,0	52,7	48,1	57,6	57,1
	391	58,0	52,1	59,2	65,0	55,9	48,8	55,4	64,5	52,6	45,7	57,3	59,2
	411	57,4	51,1	57,9	64,0	55,9	49,3	54,9	63,3	49,8	43,3	54,4	56,5

## Graphische Darstellungen





## Versuch zur jouschen Wärme im Betrieb

Ausgangspunkt:	Elektrolyttemperatur	60 °C
	Elektrolytvolumen	0,9M³
	Spez. Wärmekapazität	4187 J/(K*kg)
	Elektrolytdicht	1200 kg/m³

Beschichtungsparameter:	Dauer (h)	Spannung (V)	Stromstärke (A)
	Phase 1	0,08	8,5
	Phase 2	0,75	6,5
	Phase 3	0,08	8,5
	Phase4	0,75	6,5

Ergebnis: Temperaturanstieg 8 °C

Berechnungen:	Eingesetzte Energie	11733,33Wh
	Entspricht	11,73Kwh
	Entspricht	41904,76kJ
	Joulsche Wärme	36175,68kJ

**Prozentualer Anteil 86,33%**

Ausgangspunkt:	Elektrolyttemperatur	60 °C
	Elektrolytvolumen	0,9M³
	Spez. Wärmekapazität	4187 J/(K*kg)
	Elektrolytdicht	1200 kg/m³

Beschichtungsparameter:	Dauer (h)	Spannung (V)	Stromstärke (A)
	Phase 1	0,08	8,5
	Phase 2	0,75	6,5
	Phase 3	0,08	8,5
	Phase4	0,75	6,5

Ergebnis: Temperaturanstieg 7 °C

Berechnungen:	Eingesetzte Energie	11733,33Wh
	Entspricht	11,73Kwh
	Entspricht	41904,76kJ



## Anhang 5 – Rentabilitätsabschätzung für eine Wärmerückgewinnung aus dem Verchromungsprozeß

### Energie- Gebäudetechnik Schneider & Meister

78549 Spaichingen - Charlottenstraße 15 - Tel. 07424 981 09 40 - Fax 981 09 41



EnGe Schneider & Meister • 78549 Spaichingen

EnGe Schneider & Meister

Thoma Metallveredelung GmbH  
Herr Dr. Zimmer  
Achstraße 14

**87751 Heimertingen**

### Bauvorhaben Thoma Heimertingen

15.05.08

### Energieanalyse / Rentabilitätsberechnung

Sehr geehrter Herr Dr. Zimmer,

anbei übersenden wir Ihnen unsere Berechnungen über die Wirtschaftlichkeit der Anlage bzw. die Energiekostensenkung durch den Einsatz von Wärmepumpentechnologie an der Chromatierungsanlage des Gewerbeunternehmens Thoma, Standort Heimertingen. Um für Sie reale Werte zu erhalten haben wir exemplarisch drei Betriebsszenarien mit unterschiedlichen Rand-

bedingungen berechnet. Die Szenarien unterscheiden sich im Wesentlichen durch die durchschnittliche thermische Vollnutzungszeit der Bäder sowie den Betriebsstunden im Gesamten.

Wir hoffen dass wir durch unser Mitwirken Ihnen informativ und hilfreich zu Seite stehen konnten und freuen uns auf eine weitere Zusammenarbeit.

Mit freundlichen Grüßen

Frank Schneider

-Gebäude Energieberater-  
-staatlich geprüfter Techniker

Internet: [www.enge-schneidermeister.de](http://www.enge-schneidermeister.de)

EnGe Schneider & Meister    E-Mail: [arminmeister@enge-schneidermeister.de](mailto:arminmeister@enge-schneidermeister.de)



## Energieanalyse / Rentabilitätsberechnung

15.05.08

### Randbedingungen / Daten

Die Chromatierungsanlage der Firma Thoma, Heimertingen, soll mit Hilfe eines Wärmepumpen-Systems gekühlt werden.

Die Abwärme der Bäder soll genutzt werden um primär das Warmwasser- Heizsystem sowie sekundär die Luftherhitzung des Gewerbeunternehmens Energietechnisch zu unterstützen. Gekühlt werden 3 Chromatierungsbäder sowie ein Optionsbad bzw. Handanlage. Hinzu kommt eine weitere Badeinheit des Bestands mit 4 Einzelbädern.

Die thermisch abzuführende Leistung wird dabei pro Aktivbad mit 41kW festgelegt.

Die thermisch abzuführende Leistung der Bestandsbäder (Handanlage) wird mit jeweils 6,5kW festgelegt.

Die maximale Kühlleistung der Wärmepumpe beträgt 93 kW. Bei einer Vollauslastung benötigt die Anlage 36 kW elektrische Hilfsenergie.

Als Basis der Kostenberechnung werden nach Rücksprache mit Herrn Altvater (Fa. Thoma) ein Strompreis von 12 Cent/kWh sowie 0,70 Cent pro Liter Heizöl angenommen.

Stand der Energiepreisanfragen ist der 15.05.08. Es ist davon auszugehen dass die Energiepreise zukünftig weiter steigen werden. Diese Erhöhung wird mit 5% veranschlagt.

Der einfache Schichtbetrieb der Anlage wird mit 8 Betriebsstunden festgelegt.

Die Anlage soll 220 Produktionstage im Jahr genutzt werden.

Die aus dem Kühlprozess gewonnene Wärmeenergie soll in großzügig bemessenen Speichern gepuffert werden. Somit können Systemschwankungen und Abnahmebedarfsschwankungen ausgeglichen werden.

Voraussetzung für die Realisierung nachfolgender Rechenszenarien ist die Abnahmemöglichkeit der Wärme in andere Heizsysteme. Diese Abnahmemöglichkeit unterliegt Schwankungen zwischen Sommer- und Winterbetrieb. Nach einer örtlichen Besichtigung der vorhandenen Systeme der Firma Thoma und nach Befragung der für die Technik verantwortlichen Personen ist von einem ausreichend großen Wärmebedarf der vorhandenen Heizsysteme auszugehen. Die ganzjährige Nutzung der durch den Kühlprozess gewonnenen Wärmeenergie ist damit gewährleistet.

Die Wartungskosten der Anlage sind in die Betriebskosten mit eingerechnet.

Anzumerken des Weiteren ist, dass bei Betrieb nachfolgend dargestellter Szenarien, keine Investitionskosten durch herkömmlicher Kühltechnik (Hartchrombäder) anzusetzen sind. Diese Kosteneinsparung kann zusätzlich zu den genannten Energieeinsparungen mit angerechnet werden.



## Energieanalyse / Rentabilitätsberechnung

15.05.08

Die dabei eingesparten Energiekosten errechnen sich aufgrund dreier unterschiedlichen Szenarien wie folgt

### Szenario 1: Einschichtbetrieb, Auslastung 60% Aktivbäder Hartchrom

Energiebilanz

Zwei Bäder im durchschnittlichen thermischen Vollbetrieb, abzuführende Kühlleistung: 82

kW

Heizleistung der Wärmepumpe bei o. g. Kühlleistung

113

kW

Einschichtbetrieb der Anlage mit 8 Betriebsstunden pro Tag

928

kW/h

Betrieb 220 Produktionstage pro Jahr

204160

kW/h\*a

somit können 204160 Kilowattstunden pro Jahr an Wärmeenergie genutzt werden

Kostenrechnung

Heizwert Brennstoff Öl

10,1

kWh/Li-

ter

Brennstoffeinsparung Heizöl	20213
Liter/Jahr	
Preis pro Liter Heizöl	70
ter	Cent/Li-
Brennstoffkosteneinsparung	14149
Euro/Jahr	
Energieaufwand der Wärmepumpe an elektrischer Leistung mit durchschnittlicher	38016
kWh/Jahr	
Auslastung von 60% für dargestelltes Szenario	
Preis pro kWh Strom	12
Cent/kWh	
Abzügliche Energiekosten Wärmepumpe	4562
Euro/Jahr	
Energieeinsparung laut oben genannten Szenario	9588
Euro/Jahr	
Anzurechnende Kosten der herkömmlichen Kühlung (Hilfsernergieen) die durch den Einsatz von Wärmepumpentechnologie nicht mehr nötig sind.	3200
Euro/Jahr	
Energieeinsparung gesamt Szenario 1	12787
Euro/Jahr	
Prozentualer Zuschlag durch Verteuerung der Energiepreise 5%	639

Euro/Jahr

**Energieeinsparung gesamt Szenario 1**

**13425**

**Euro/Jahr**



## Energieanalyse / Rentabilitätsberechnung

15.05.08

Die dabei eingesparten Energiekosten errechnen sich aufgrund dreier unterschiedlichen Szenarien wie folgt

### Szenario 2: Zweischichtbetrieb, Auslastung 60% Aktivbäder Hartchrom

Energiebilanz

Zwei Bäder im durchschnittlichen thermischen Vollbetrieb, abzuführende Kühlleistung: 82

kW

Heizleistung der Wärmepumpe bei o. g. Kühlleistung

113

kW

Zweischichtbetrieb der Anlage mit jeweils 8 Betriebsstunden pro Tag

1808

kW/h

Betrieb 220 Produktionstage pro Jahr

397760

kW/h\*a

somit können 397760 Kilowattstunden pro Jahr an Wärmeenergie genutzt werden

Kostenrechnung

Heizwert Brennstoff Öl

10,1

ter	kWh/Li-
Brennstoffeinsparung Heizöl	
	39382
Liter/Jahr	
Preis pro Liter Heizöl	70
	Cent/Li-
ter	
Brennstoffkosteneinsparung	
	27567
Euro/Jahr	
Energieaufwand der Wärmepumpe an elektrischer Leistung mit durchschnittlicher	
	76032
kWh/Jahr	
Auslastung von 60% für dargestelltes Szenario	
Preis pro kWh Strom	12
Cent/kWh	
Abzügliche Energiekosten Wärmepumpe	
	9124
Euro/Jahr	
Energieeinsparung laut oben genannten Szenario	
	18443
Euro/Jahr	
Anzurechnende Kosten der herkömmlichen Kühlung (Hilfsernergieen) die durch den Einsatz von Wärmepumpentechnologie nicht mehr nötig sind.	
	6400
Euro/Jahr	
Energieeinsparung gesamt Szenario 2	
	24843
Euro/Jahr	

Prozentualer Zuschlag durch Verteuerung der Energiepreise 5%

1242

Euro/Jahr

**Energieeinsparung gesamt Szenario 2**

**26085**

**Euro/Jahr**

**Energie- Gebäudetechnik Schneider & Meister**

78549 Spaichingen - Charlottenstraße 15 - Tel. 07424 981 09 40 - Fax 981 09 41



**Energieanalyse / Rentabilitätsberechnung**

15.05.08

Die dabei eingesparten Energiekosten errechnen sich aufgrund dreier unterschiedlichen Szenarien  
wie folgt

**Szenario 3: Zweischichtbetrieb, Auslastung 100% Aktivbäder Hartchrom**

Energiebilanz

Vollauslastung Wärmepumpe, entspricht 2,3 Bäder im durchschnittlichen thermischen Vollbetrieb, abzuführende Kühlleistung:

93

kW

Heizleistung der Wärmepumpe bei o. g. Kühlleistung

129

kW

Zweischichtbetrieb der Anlage mit jeweils 8 Betriebsstunden pro Tag

2064

kW/h

Betrieb 220 Produktionstage pro Jahr

454080

kW/h\*a

somit können 327360 Kilowattstunden pro Jahr an Wärmeenergie genutzt werden

Kostenrechnung

Heizwert Brennstoff Öl

10,1

kWh/Li-

ter

Brennstoffeinsparung Heizöl

44958

Liter/Jahr

Preis pro Liter Heizöl

70

Cent/Li-

ter

Brennstoffkosteneinsparung

31470

Euro/Jahr

Energieaufwand der Wärmepumpe an elektrischer Leistung mit durchschnittlicher

126720

kWh/Jahr

Auslastung von 100% für dargestelltes Szenario

Preis pro kWh Strom

12

Cent/kWh

Abzügliche Energiekosten Wärmepumpe

15206

Euro/Jahr

Energieeinsparung laut oben genannten Szenario

16264

Euro/Jahr

Anzurechnende Kosten der herkömmlichen Kühlung (Hilfsernergieen) die durch den Einsatz von Wärmepumpentechnologie nicht mehr nötig sind.

7360

Euro/Jahr

Energieeinsparung gesamt Szenario 3

23624

Euro/Jahr

Prozentualer Zuschlag durch Verteuerung der Energiepreise 5%

1181

Euro/Jahr

**Energieeinsparung gesamt Szenario 3**

**24805**

**Euro/Jahr**

Anmerkung:

Hinsichtlich der Auslastung des Kühlsystems (Wärmepumpe) ist zu beachten, dass Auslastungsspitzen

des Gerätes bis zu 100% dazu führen, dass die elektrische Leistungsaufnahme progressiv ansteigt.

## Anhang 6 - Wärmeauskopplung – Abschätzung

Energie Heizöl (1/m³)	10000 Kwh			
Heizölpreis (€/m³) 2008	580	Heizölpreis 2018	707 Mittlerer Heizölpreis	643,5
Investitionssumme	160.000,00 €			

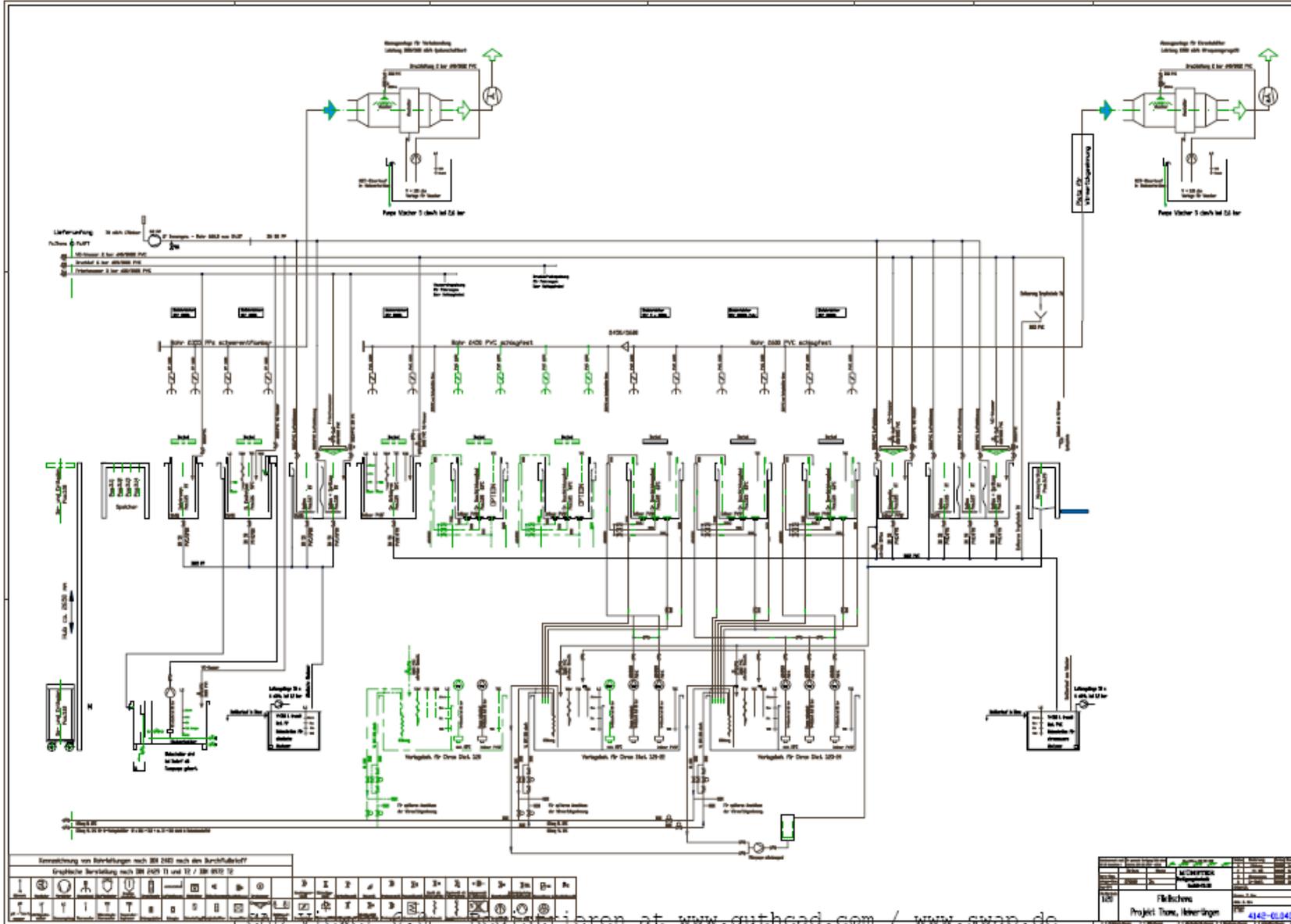
### Handhartchromanlage

	Spannung (V)	Fläche (m²)	Stromdichte (A/dm²)	Dauer (h)	Schichten	Betriebstage	Überspannung an Elektroden (V)	Joulsche Wärme (%)
Bad 1	9	0,2	50	1	1	1	220	2,5 72,22%
Bad 2	9	0,2	50	1	1	1	220	2,5 72,22%
Bad 3	9	0,2	50	1	1	1	220	2,5 72,22%
Bad 4	9	0,2	50	1	1	1	220	2,5 72,22%

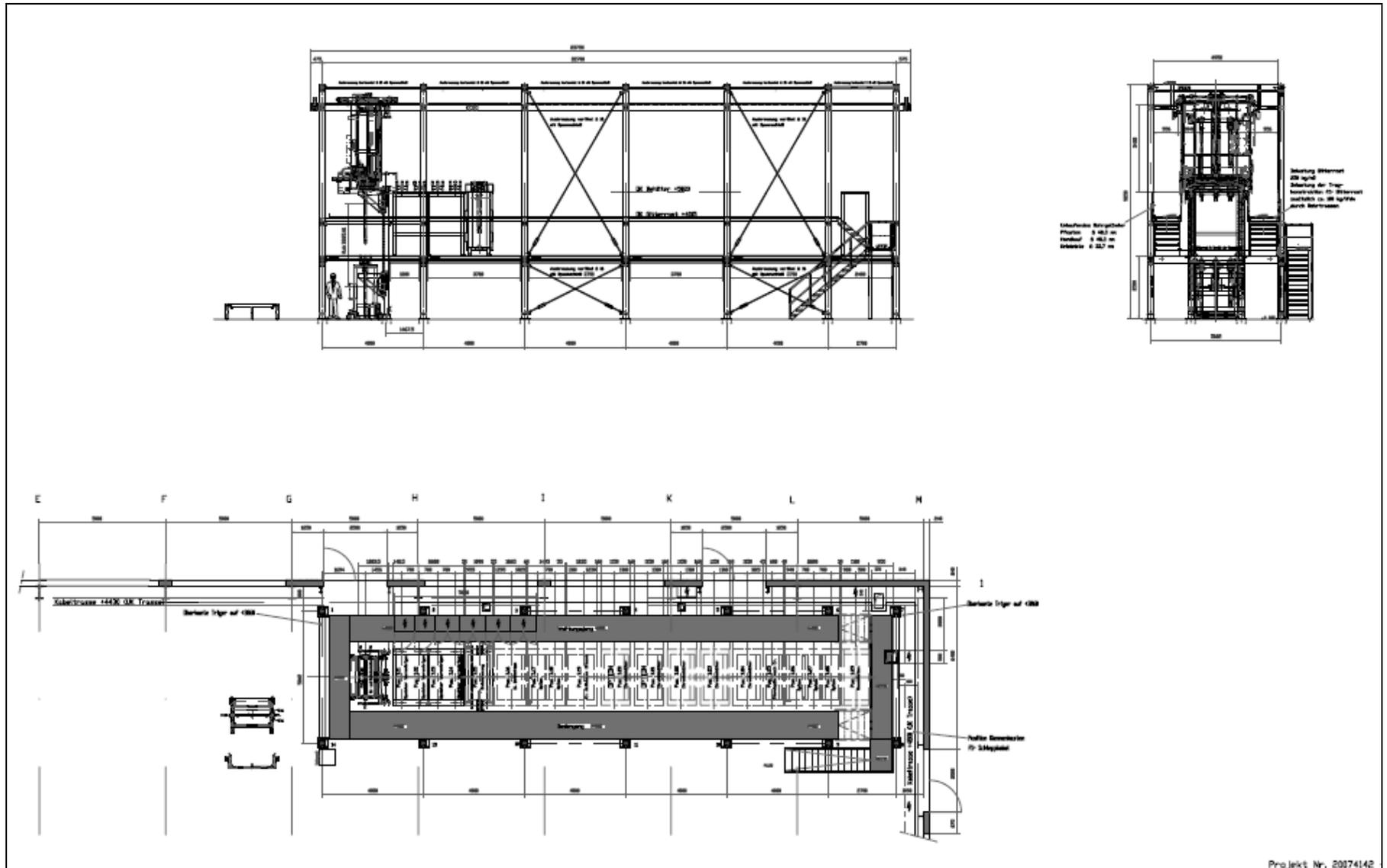
### Hartchromautomat

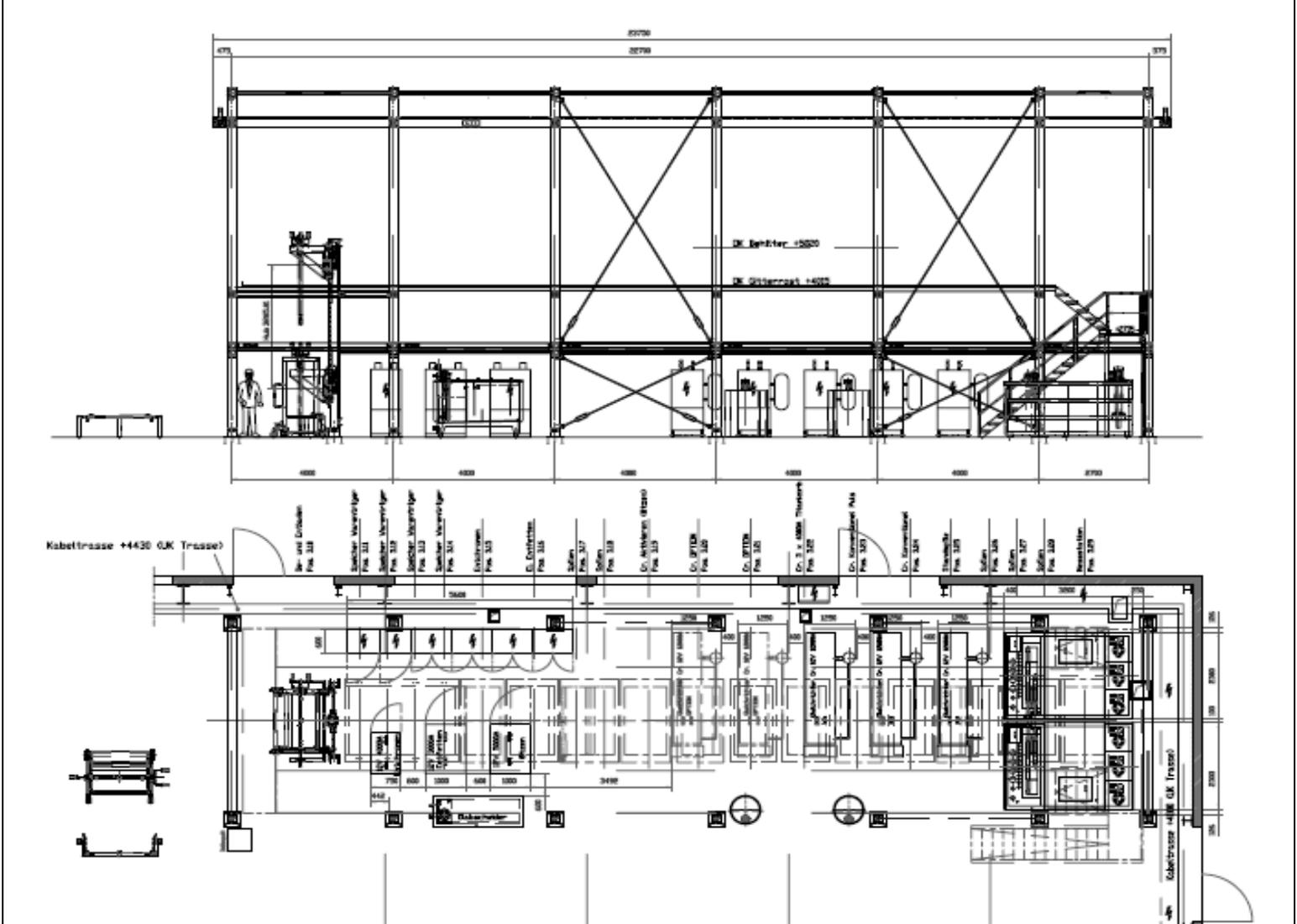
Bad 1	9	0,8	80	0,75	2	2	220	2,5 72,22%
Bad 2	9	0,8	80	0,75	2	2	220	2,5 72,22%
Bad 3	9	0,75	50	1,25	2	2	220	2,5 72,22%

Summe Energieauskopplung	445244,8 kWh			
Heizöläquivalent	44,52 m³			
Einsparbetrag/a	28.651,50 €	Start	25824,2 Ende	31478,81
Kapital (10 Jahre 6% verzinst)	286.535,63 €			
Kapitalrücklauf (linear)	10 Jahre			

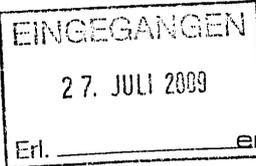


## Anhang 7 – Aufstellpläne der neuen Verchromungsanlage und der Nebenaggregate





## 11.9 Messprotokoll zum Wärmeversuch



**e-con** AG  
energie consulting contracting

E-CON AG · Schlachthofstraße 61 · D-87700 Memmingen

**THOMA Metallveredelung GmbH**  
z.H. Herrn Dr. Zimmer  
Achstraße 14

D-87751 Heimertingen

E-CON AG  
Zentrale/ Region Süd  
Schlachthofstr. 61  
D-87700 Memmingen  
www.econ-ag.com

Dipl.-Ing.(FH)  
Arndt Kluge  
Projektingenieur

Telefon: +49 (0) 8331 / 924 828 - 1  
Telefax: +49 (0) 8331 / 924 828 - 9  
Mobil: 0170 / 5683437  
Email: ak@econ-ag.com

22. Julil 2009

### Messprotokoll Leistungsmessung Wärmepumpenanlage

Projekt-Nr: 09-MM-038-Thoma

Sehr geehrter Herr Dr. Zimmer,

anbei übersende wir Ihnen wie vereinbart das Messprotokoll zur Leistungsmessung an der Wärmepumpenanlage.

Für Fragen stehen wir Ihnen jederzeit zur Verfügung.

Mit freundlichen Grüßen

  
e-con AG  
Dipl.-Ing.(FH) Arndt Kluge

AG-M-01-AK-090722-THOMA

Seite 1 von 1

E-CON Aktiengesellschaft  
Sitz der Gesellschaft  
Schlachthofstr. 61  
87700 Memmingen

Vorstand  
Rudolf Merk

Aufsichtsrat  
Andreas Müller (Vorsitzender)  
Kurt Hörburger  
Thomas Knecht

Bankverbindung  
Raiba Iller-Roth-Günz  
KtoNr. 7111 800  
BLZ 720 697 36

Amtsgericht Memmingen  
HRB 12774  
Finanzamt Memmingen  
Steuer-Nr. 138/120/00491

## Messprotokoll

<b>Messort:</b>	THOMA Metallveredelung GmbH Achstraße 14; 87751 Heimertingen
<b>Messzeitraum:</b>	22.07.2009
<b>Bearbeiter:</b>	Dipl.-Ing.(FH) Versorgungstechnik Sascha Fuchs, Arndt Kluge
<b>Messaufgabe:</b>	Leistungsmessung der neu installierten Wärmepumpenanlage
<b>Messgerät:</b>	FLUXUS® ADM-Ultraschall-Durchflussmesser von FLEXIM (Typ: 6725)  TECHNETICS- mikromec multisens Datenlogger + Stromzangen

## Inhaltverzeichnis

1	Ausgangssituation.....	2
1.1	Vorgehensweise.....	3
1.2	Kurzbeschreibung Messverfahren .....	3
1.2.1	Wärmeseitige Leistungsmessung .....	3
1.2.2	Strommessung.....	4
2	Messergebnisse.....	5
2.1.1	Leistungsmessung.....	5
2.1.2	Leistungszahl (COP).....	6
2.1.3	Übersicht.....	7

## 1 Ausgangssituation

Für die energetische Bilanzierung der neu errichteten Wärmepumpenanlage wurde die e-con AG beauftragt, mittels eingriffsfreier Messverfahren, der Anlage zugeführte und abgegebene Wärmeleistung zu erfassen.

Die Hochtemperatur- Wärmepumpe, welche in einem separaten Container im Außenbereich aufgestellt ist, bildet das Herzstück des Wärmerückgewinnungskonzeptes für die Produktionshallen der Metallveredelung der Firma Thoma in Heimertingen. Als Wärmequelle fungiert primär ein offenes Kühlwasserbecken mit einem Fassungsvermögen von ca. 7000 Litern. Das Kühlwasserbecken bildet den Kühlwasserspeicher/-sammeler für angeschlossene Verbraucher (Raumkühlung, Prozesskühlung) und dient gleichzeitig als Wärmespeicher für die Wärmepumpe.

Die in dem Kühlwasser enthaltene Abwärme wird durch die Wärmepumpen auf ein höheres Temperaturniveau (bis auf 80°C) gebracht und an das Heizsystem übertragen. Durch die Abwärmenutzung der Wärmepumpe wird das Kühlwasser auf ein niedrigeres Temperaturniveau abgekühlt und wieder über den Kühlwasserspeicher in das Kühlnetz eingeleitet.

Die Wärmepumpe wird entsprechend den heizungsseitigen Anforderungen der Verbraucher, Raumbeheizung und für Prozesstemperierung, eingesetzt.

Alternativ besteht die Möglichkeit, die erforderliche Temperatur der Wärmequelle (Speicherbecken) über eine Brunnenanlage zu generieren.

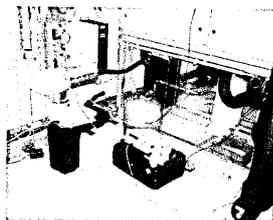
Zur vollständigen Erfassung aller Gleichzeitig wurde die elektrische Leistungsaufnahme für zugeführte Hilfsenergien von der Wärmepumpenanlage und den dazugehörigen Nebengregaten gemessen.

Die durchgeführte Messung erstreckte sich über einen Zeitraum von ca. 3 Stunden, bei sommerlich warmen Witterungsbedingungen.

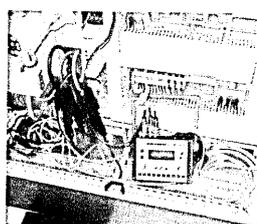
## 1.1 Vorgehensweise

Zur Erfassung der Wärmeströme, welche der Wärmepumpe zugeführt bzw. über selbige wieder an das Heizsystem abgeführte werden, wurden an den Kühlwasserzulauf (Wärmequelle) und an dem Heizkreis, über die eingriffsfreie Ultraschallmessung die jeweiligen Wärmeleistungen bestimmt.

Die elektrische Wirkleistung von Wärmepumpe und den komplett zum System gehörenden Nebenaggregaten, wurde in der jeweiligen Hauptverteilung erfasst. Die nachfolgenden Abbildungen zeigen den Messaufbau der wärmeseitigen und elektrischen Leistungsmessung.



wärmeseitige Messung



Strommessung

## 1.2 Kurzbeschreibung Messverfahren

### 1.2.1 Wärmeseitige Leistungsmessung

Die Durchflussmessung mittels Ultraschall hat sich als zuverlässiges und praktisches Messverfahren längst fest etabliert. Grundsätzlich können Ultraschall-Durchflussmessgeräte überall dort eingesetzt werden, wo sowohl die Rohrwände als auch das im Rohr strömende Medium schalldurchlässig sind. Bei diesem Messverfahren werden zwei Ultraschallköpfe (Schallsender und Schallempfänger) auf die Rohroberfläche angebracht. Diese senden Ultraschallwellen, welche auch Festkörper durchdringen können. In der nachfolgenden Abbildung sind Messaufbau und -prinzip dargestellt.

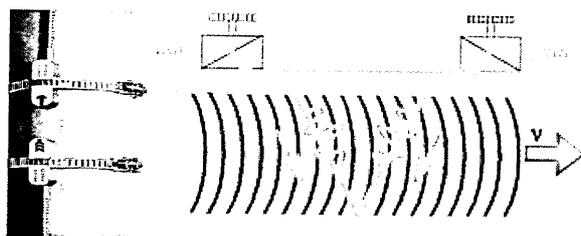


Abbildung 4: Volumenstrommessung

Das Messgerät arbeitet nach dem Ultraschall- Laufzeitdifferenzverfahren und misst das Verdriften von Ultraschallsignalen, das beim Durchdringen strömender Medien entsteht. Wie die Abbildung zeigt, wird ein Ultraschallsignal einmal mit dem Strom und zum anderen gegen den Strom, schräg durch die Rohrleitung gesendet. Das strömende Medium verursacht unterschiedliche Laufzeiten dieser beiden Schallsignale. Aus der Laufzeitdifferenz bestimmt das Messgerät die mittlere Strömungsgeschwindigkeit über den Pfad der Schallausbreitung. Durch eine Profilkorrektur errechnet das Messgerät das Flächenmittel der Strömungsgeschwindigkeit, welches proportional zum Volumendurchfluss ist.

Für die Leistungsbestimmung bietet das Messgerät zusätzlich die Möglichkeit der Temperaturmessung mittels PT100 Messfühlern. Die Messfühler werden ebenfalls von außen auf dem Rohr befestigt.

### 1.2.2 Strommessung

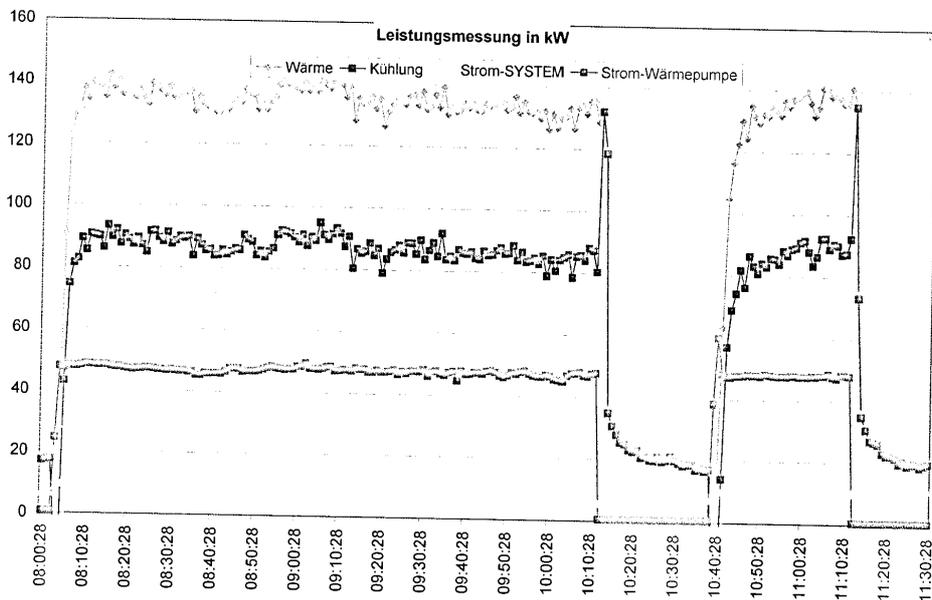
Der mikromec® multisens-Datenlogger von TECHNETICS ist aufgrund seiner besonders vielseitigen und genauen Sensor-, Analog sowie Frequenz-/Impuls- und Statuseingänge bei verschiedensten Registrieraufgaben einsetzbar. Mit dem entsprechenden Messzubehör fürs E-Netz ist auch die eingriffsfreie Erfassung elektrischer Größen möglich.

Mit den analogen Eingängen für Spannungen und mA können Stromzangen für alle Messbereiche sowohl für AC als auch DC angeschlossen werden. Damit können ohne Eingriffe ins Netz Lastkurven und Spitzenwerte aufgezeichnet werden.

## 2 Messergebnisse

### 2.1.1 Leistungsmessung

In der nachfolgenden Grafik sind die gemessenen Wärmeleistungen (heiz- und kühlwasserseitig), die zugeführte elektrische Wirkleistung der Wärmepumpe und die elektrische Leistungsaufnahme aller zum System gehörenden Aggregate (Brunnenpumpe, Netzpumpen), dargestellt. Die grau hinterlegten Abschnitte markieren Ab- bzw. Umschaltphasen der Anlage, in denen vorgeschaltete Produktionsprozesse gestartet/umgeschaltet wurden. Während der beiden Messphasen fand ausschließlich eine Wärmeeinspeisung über das Kühlwasser der Produktion statt. Die Brunnenpumpe blieb außer Betrieb, als Wärmequelle der Wärmepumpe diente lediglich der Produktionsprozess.

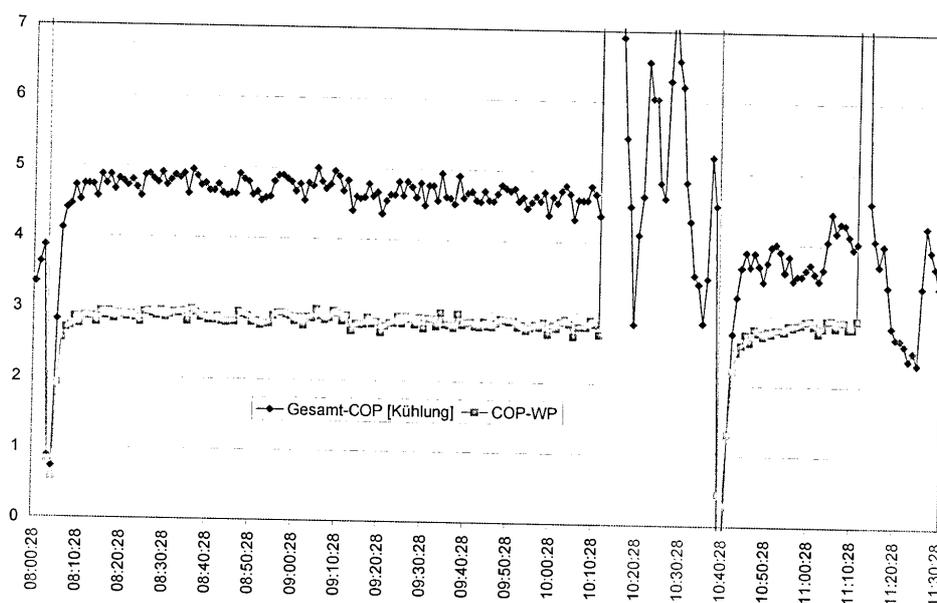


### 2.1.2 Leistungszahl (COP)

Zur energetisch- wirtschaftlichen Beurteilung der Effektivität einer Wärmepumpe dient das Verhältnis von energetischen Nutzen zu eingesetzten Aufwand. Diese Kennzahl wird nachfolgend als COP-WP (Coefficient Of Performance - Wärmepumpe) bezeichnet.

Der COP ist der Quotient aus nutzbarer Wärmeleistung, die in den Heizkreis abgegeben wird, zur elektrischen Leistung, die aufgewendet werden muss um die Temperatur anzuheben.

Bei der vorliegenden Anlage ist jedoch zu berücksichtigen, dass der Wärmepumpenprozess in den Energiekreislauf der Produktion eingebunden ist und neben der Wärmeerzeugung auch der gleichzeitigen Prozesskühlung dient. Durch diesen Synergieeffekt ergibt sich nach der Definition Nutzen durch Aufwand eine abweichende Definition der Leistungszahl, nachfolgend als Gesamt- COP bezeichnet. Bei dieser Kennzahl sind alle gemessenen Energieströme [Kälte+ Wärme], wie auch alle zugeführten elektrischen Hilfsenergien berücksichtigt. Für eine realistische Beurteilung der Effizienz der Anlage sollte die Kennzahl Gesamt-COP verwendet werden. Die nachfolgende Abbildung zeigt den COP der Wärmepumpe im maßgeblichen Heizbetrieb, sowie den gesamt- COP der Anlage.



### 2.1.3 Übersicht

In der nachfolgenden Tabelle sind die aufgezeichneten Mittel- und Maximalwerte dargestellt.

1. Messphase	Heizleistung	Kühlleistung	Wirkleistung WP	Wirkleistung System	COP WP	COP gesamt
Mittel	130 kW	87 kW	47,2 kW	7 kW	2,9	4,7
Max	143 kW	95 kW	49,5 kW	16,6 kW	3,0	5,0
2. Messphase	Heizleistung	Kühlleistung	Wirkleistung WP	Wirkleistung System	COP WP	COP gesamt
Mittel	141 kW	85 kW	48kW	10 kW	2,8	3,78
Max	133 kW	92 kW	49 kW	16 kW	2,9	4,5

*A. Kling*

Unterschrift, Ing. Messung/Auswertung

**e - con** AG

Zentrale/ Region Süd

Schlachthofstr.61

87700 Memmingen

Tel. +49(0)8331 924 828 - 1

Fax +49(0)8331 924 828 - 9

Unterschrift, Korrekturleser

## 11.10 Lastenheft



**Fraunhofer** Institut  
Produktionstechnik und  
Automatisierung

# Lastenheft

## **Automatische Anlage zur Hartverchromung von Kolbenstangen**

Version 2

**IPA Projekt-Nr.: n. n.**

07.12.2007

**für:**

Thoma Metallveredelung GmbH  
Achstraße 14

D – 87751 Heimertingen

**bearbeitet von:**

Dipl.-Ing. (FH) Klaus Schmid

Dieses Lastenheft umfasst 24 Seiten Text und Anhänge



## Inhalt

<b>1</b>	<b>Allgemeine Angaben .....</b>	<b>5</b>
1.1	<b>Ansprechpartner .....</b>	<b>5</b>
1.1.1	Ansprechpartner Thoma Metallveredelungs GmbH (Auftraggeber) .....	5
1.1.2	Ansprechpartner MFT Münster Fertigungstechnik GmbH & Co. Kg (Auftragnehmer) .....	5
1.1.3	Ansprechpartner Fraunhofer Institut Produktionstechnik und Automatisierung (IPA) .....	5
1.2	<b>Mitgeltende Unterlagen oder Gegenstände .....</b>	<b>5</b>
1.3	<b>Abkürzungen, Definitionen und Konventionen .....</b>	<b>6</b>
1.4	<b>Lieferabgrenzung und bauseitige Maßnahmen .....</b>	<b>6</b>
<b>2</b>	<b>Beschreibung und Verwendung .....</b>	<b>7</b>
2.1	<b>Zweck der Anlage .....</b>	<b>7</b>
2.2	<b>Aufstellungsort und Betriebszeit .....</b>	<b>7</b>
2.3	<b>Anlagenbedienung und Teilehandling .....</b>	<b>7</b>
2.4	<b>Prozessabläufe .....</b>	<b>7</b>
2.5	<b>Optionen / Ausbaustufen / Sonstiges .....</b>	<b>9</b>
<b>3</b>	<b>Funktionale Anforderungen und Ausführungsvorgaben .....</b>	<b>9</b>
3.1	<b>Übergreifende Anforderungen .....</b>	<b>9</b>
3.1.1	Allgemeines .....	9
3.1.2	Kapazitätsanforderungen .....	10
3.1.3	Qualitätsanforderungen .....	10
3.1.4	Lieferantenvorgaben .....	11
3.1.5	Materialauswahl .....	12
3.1.6	Allgemeine Konstruktionsvorgaben .....	12
3.1.7	Arbeitssicherheit und Umweltschutz .....	13
3.2	<b>Behandlungsanlage .....</b>	<b>13</b>



3.2.1	Be- / Entladestation .....	13
3.2.2	Speicherstationen .....	13
3.2.3	Badbehälter .....	13
3.2.4	Transporteinrichtung.....	16
3.2.5	Wartungs- und Bediengänge .....	16
<b>3.3</b>	<b>Peripherie.....</b>	<b>16</b>
3.3.1	Gleichrichter .....	16
3.3.2	Badwartungseinrichtungen .....	17
3.3.3	Heizung / Kühlung .....	17
3.3.4	Absaugung .....	17
3.3.5	Sicherheitseinrichtungen .....	18
<b>3.4</b>	<b>Weitere Ausrüstungsgegenstände .....</b>	<b>18</b>
3.4.1	Warenträger .....	18
3.4.2	Sonstiges .....	18
<b>3.5</b>	<b>Anlagensteuerung .....</b>	<b>18</b>
<b>4</b>	<b>Sonstige Anforderungen .....</b>	<b>19</b>
4.1	Liefertermin und Preisstellung .....	19
4.2	Montage und Inbetriebnahme .....	19
4.3	Abnahmekriterien .....	19
4.3.1	Vorabnahme .....	19
4.3.2	Betriebsabnahme .....	19
4.3.3	Endabnahme .....	20
4.4	Gewährleistung .....	20
4.5	Schulungen, Dokumentation und Service .....	20
4.5.1	Schulungen.....	20
4.5.2	Dokumentation.....	20
4.5.3	Service .....	21
<b>5</b>	<b>Technische Daten .....</b>	<b>21</b>
5.1.1	Anlagendaten und Anschlusswerte .....	21
5.1.2	Allgemeine Werte und Rahmenbedingungen .....	22
<b>6</b>	<b>Preiszusammenstellung .....</b>	<b>22</b>



<b>7</b>	<b>Änderungsjournal .....</b>	<b>23</b>
7.1	Änderung Version 1 zu Version 2 .....	23
<b>8</b>	<b>Anhänge.....</b>	<b>25</b>
8.1	Förder-Antrag.....	25
8.2	Hallenplan.....	25
8.3	Spezifikation Gleichrichter .....	25
8.4	Spezifikation Steuerung .....	32

# 1 Allgemeine Angaben

## 1.1 Ansprechpartner

### 1.1.1 Ansprechpartner Thoma Metallveredelungs GmbH (Auftraggeber)

Name	Dr. Malte –Matthias Zimmer		
Telefon	08335 / 9822 – 10	Mobil	0171 / 800 59 40
Telefax	08335 / 9822 - 51		
Email	mzimmer@thoma-metallveredelung.de		

Name	Manfred Altvater		
Telefon	08335 / 9822 – 32	Mobil	0162 / 49 20 140
Telefax	08335 / 9822 - 52		
Email	maltvater@thoma-metallveredelung.de		

### 1.1.2 Ansprechpartner MFT Münster Fertigungstechnik GmbH & Co. Kg (Auftragnehmer)

Name	Torsten Münster		
Telefon	089 / 649 635 69	Mobil	/
Telefax	089 / 693 773 53		
Email	mft-fertigungstechnik@t-online.de		

### 1.1.3 Ansprechpartner Fraunhofer Institut Produktionstechnik und Automatisierung (IPA)

Name	Holeczek, Harald		
Telefon	0711 / 970 - 1733	Mobil	/
Telefax	0711 / 970 - 1032		
Email	harald.holeczek@ipa.fraunhofer.de		

## 1.2 Mitgeltende Unterlagen oder Gegenstände

Neben den im Anhang genannten Dokumenten oder Gegenständen sind folgende Dokumente oder Gegenstände Teil dieses Lastenheftes:

- 1) Protokolle, Ergebnisse und Auswertungen der am IPA durchgeführten Beschichtungsversuche
- 2) Protokolle und gegebenenfalls Skizzen bzw. Zeichnungen aus den laufenden Projektbesprechungen, speziell auch den telefonischen Konferenzen am Freitag

Diese Unterlagen werden vom IPA zeitnah in der jeweils aktuellen Form an die Projektpartner verteilt.

Alle dem Auftragnehmer zur Auftragserfüllung überlassene Unterlagen oder Gegenstände bleiben Eigentum des Auftraggebers. Ohne schriftliche Genehmigung des Auftraggebers dürfen Sie Dritten nicht zugänglich gemacht werden, weder als Vervielfältigung noch in anderer Form. Zuwiderhandlungen verpflichten den Auftragnehmer zum vollen Schadenersatz.

### **1.3 Abkürzungen, Definitionen und Konventionen**

n. n.

### **1.4 Lieferabgrenzung und bauseitige Maßnahmen**

Nicht zum Lieferumfang gehören sämtliche Baumaßnahmen am Boden, der Bodenbeschichtung und dem Gebäude incl. Beleuchtung, Beheizung und Zuluft. Der Auftragnehmer definiert die notwendigen Maßnahmen so früh wie möglich, siehe hierzu auch Punkt 5.1.1 „Anlagendaten und Anschlusswerte“.

Weiterhin werden bauseits für folgende Medien und Energieträger zentrale Einspeisungen bzw. Schnittstellen gestellt:

- 1) Stromversorgung von Schaltschränken, Gleichrichtern usw.
- 2) Druckluft und Frischwasser
- 3) Abwasserbehandlung

Der Auftragnehmer stellt rechtzeitig die zur Dimensionierung und Positionierung erforderlichen Daten zur Verfügung, siehe hierzu auch Punkt 5.1.1 „Anlagendaten und Anschlusswerte“. Weiterhin sind in der Anlagensteuerung mindestens 6 potentialfreie Eingänge und Ausgänge vorzusehen, um Störungs- oder Betriebsmeldungen austauschen zu können.

Für die Dauer der Baumaßnahmen bzw. Montagetätigkeiten stellt der Auftraggeber dem Personal des Auftragnehmers einen Baucontainer mit Anschlüssen für Telefon, Fax und Leitrechner zur Verfügung.

## 2 Beschreibung und Verwendung

### 2.1 Zweck der Anlage

Zweck der Anlage ist das maßgenaue Hartverchromen von Kolbenstangen. Als Grundwerkstoff der Kolbenstangen kommt Stahl zum Einsatz, hauptsächlich 42CrMo4, ein Teil der Bauteil wird dabei vorher chemisch Vernickelt.

### 2.2 Aufstellungsort und Betriebszeit

Der Aufstellungsort der Anlage ist das Thoma-Werk in D - 87751 Heimertingen, Alpenstrasse 11. Die Aufstellung ist dem Auftragnehmer bekannt, Pläne und Skizze siehe in der Anlage.

Die veranschlagte Betriebszeit beträgt 3 Schichten an 6 Tagen pro Woche.

### 2.3 Anlagenbedienung und Teilehandling

Auch in der Endausbaustufe muss die Anlage von maximal zwei Personen pro Schicht bedient werden können, jeweils ein Schichtführer und ein Produktionshelfer sind vorgesehen. Die Eingabe der bauteilbezogenen Artikel- und Auftragsnummer muss sowohl manuell als auch mittels Barcode möglich sein.

An- und Abtransport von Rohteilen bzw. beschichteten Teilen erfolgt in horizontaler Position mit vorhandenen, manuell bedienten Transportmitteln. Das Teilehandling innerhalb der Anlage erfolgt vollautomatisch und in vertikaler Position.

### 2.4 Prozessabläufe

Es sind zwei verschiedene Abläufe vorzusehen, je nachdem ob ein Bauteil mit normaler Stahloberfläche oder ein chemisch vernickeltes Teil verchromt werden soll. Aufgrund der vorhandenen Betriebserfahrung und unter Berücksichtigung der angestrebten Prozessbeschleunigung ist dabei als Planungsgrundlage von folgenden beiden Abläufen auszugehen:

**Prozessablauf 1** (Stahloberfläche)

Pos.	Bezeichnung	Zeit	Temp.	Strom	Chemie
3.16	Elektrolytisch Entfetten	5 min	50° C	10 A/dm <sup>2</sup> , anodisch	100 g/l Entfettungssalz (40% NaOH, Rest Carbonate, Phosphate...)

3.17	Spüle EE 1	n. n.	RT	-	-
3.18	Spüle EE 2	n. n.	RT	-	-
3.19	Anätzen	20 sec	50° C	10 A/dm <sup>2</sup> , anodisch	200g/l CrO <sub>3</sub>
3.20 - 3.24	Verchromen 1 - 5	Je nach Schicht- dicke	max. 65° C	max 90 A/dm <sup>2</sup>	Doppelt-katalysierter Elektrolyt, aktuell Atotech HEEF 25
3.25	Spüle Cr 1	n. n.	RT	-	-
3.26	Spüle Cr 2	n. n.	RT	-	-
3.27	Spüle Cr 3	n. n.	RT	-	-
3.28	Spüle Cr 4	n. n.	RT	-	-

Tabelle 1: Prozessablauf für Bauteile ohne Vorbeschichtung (Stahloberfläche)

### Prozessablauf 2 (Oberfläche chemisch Nickel)

Pos.	Bezeichnung	Zeit	Temp.	Strom	Chemie
3.16	Elektrolytisch Entfetten	5 min	50° C	15 A/dm <sup>2</sup> , anodisch	100 g/l Entfettungssalz (40% NaOH, Rest Carbonate, Phosphate...)
3.18	Spüle EE 2	n. n.	RT	-	-
3.24	Spüle Cr 2	n. n.	RT	-	-
3.20 - 3.24	Verchromen 1 - 5	<b>Start:</b> 7 min stromlos (Anwärmphase) <b>Anschließend:</b> variabel je nach Schichtdicke	max. 65° C	max. 90 A/dm <sup>2</sup>	doppelt-katalysierter Elektrolyt, aktuell Atotech HEEF 25
3.25	Spüle Cr 1	n. n.	RT	-	-
3.26	Spüle Cr 2	n. n.	RT	-	-
3.27	Spüle Cr 3	n. n.	RT	-	-
3.28	Spüle Cr 4	n. n.	RT	-	-

Tabelle 2: Prozessablauf für Bauteile mit Vorbeschichtung (Oberfläche chemisch Nickel)

Weiterhin zu berücksichtigen ist die Pos. 3.15, Entchromung. Als Medium kommen 100 g/l NaOH bei RT zum Einsatz, die Entchromung erfolgt elektrolytisch, erfordert also einen Gleichrichter.

Die genannten Abläufe ergaben sich aus dem aktuellen Ist-Zustand. Im Laufe der parallel erfolgenden Arbeiten am IPA können sich Änderungen bzw. Anpassungen ergeben, die dem Auftragnehmer zeitnah mitgeteilt werden und von diesem entsprechend zu berücksichtigen sind, siehe auch Punkt 2.5.

## 2.5 Optionen / Ausbaustufen / Sonstiges

Grundsätzlich ist das Projekt so durchzuführen, dass sowohl die Forderung nach schnellstmöglicher Produktionsaufnahme erfüllt wird, als auch die angestrebte effizientere Prozessführung durch optimierte Verchromungsparameter und Anlagenausrüstung erreicht werden kann.

Somit sind Ausstattung, Auslegung und Ausführung der Anlage jeweils in Absprache aller Projektpartner den Ergebnissen der Arbeiten am IPA anzupassen. Resultierende Änderungen in Bezug auf Minder- oder Mehrpreise sowie Liefer- bzw. Montagezeiten usw. sind vom Auftragnehmer jeweils schriftlich mitzuteilen.

In Bezug auf die Ausbaustufen der Anlage ist folgender Ablauf geplant:

- 1) Produktionsstart mit zwei Chrombädern jeweils für bis zu drei Bauteile in konventioneller Technik, vorbereitet auf Ausbau mit spezifischen Anoden und Strömungsrohren.
- 2) Ausbau der Anlage mit weiteren drei Chrombädern jeweils für bis zu drei Bauteile, voll ausgerüstet mit spezifischen Anoden und Strömungsrohren.
- 3) Nachrüstung der ersten beiden Badstationen mit spezifischen Anoden und Strömungsrohren.

Sollten sich im weiteren Projektverlauf bessere Abstufungen oder ein besserer Gesamtprozess ergeben, kann dieser Ablauf nach Absprache angepasst werden.

## 3 Funktionale Anforderungen und Ausführungsvorgaben

### 3.1 Übergreifende Anforderungen

#### 3.1.1 Allgemeines

Die nachfolgenden Ausführungen beschreiben die Anforderungen an Ausstattung, Funktion und Eigenschaften der genannten Verchromungsanlage. Positionsbenennungen und Bezeichnungen basieren auf den in der Anlage befindlichen Dokumenten und Zeichnungen.

Sollten sich aus der Erfahrung des Auftragnehmers heraus technisch und / oder wirtschaftlich bessere Lösungen anbieten, sind diese separat vorzuschlagen und kostenmäßig getrennt auszuweisen.

Sollten die vorhandenen Informationen nicht ausreichend sein oder sich eventuell Widersprüchen bzw. Mehrdeutigkeiten ergeben, wird gebeten, diese Unklarheiten vorab zu klären.

Die Angaben in diesem Lastenheft entbinden den Auftragnehmer weder von seiner Sorgfaltspflicht und seiner Verantwortung für die richtige Auslegung und betriebssichere Funktion der Anlage, noch von der Ausführung nach dem Stand der Technik.

### 3.1.2 Kapazitätsanforderungen

Die Anlage muss auch im Endausbau mit fünf Chrombädern eine Taktzeit von maximal 10 min erreichen können, dieser Angabe bezieht sich auf den Schichtdurchschnitt.

Eine Stückzahlanforderung wird dagegen nicht gestellt, da pro Charge zwischen ein und drei Bauteilen beschichtet werden können, und der letztendliche Bauteilmix nicht exakt bekannt ist.

Bauteildaten:	Länge über alles:	800 – 1800 mm
	verchromte Länge:	meist kleiner wie Gesamtlänge, teilweise aber auch identisch!
	Durchmesser:	50 – 180 mm
	Gewicht:	max. 400 kg

### 3.1.3 Qualitätsanforderungen

#### 1) Schichtdicke

Es wird eine mittlere Schichtdicke von 50 µm veranschlagt.

#### 2) Schichtdickenverteilung

Konventionelle Beschichtung:

maximal +/- 15 % Abweichung innerhalb eines Bauteiles

maximal +/- 15 % Abweichung innerhalb einer Charge

Beschichtung mit spezifischen Anoden und Strömungsröhren:

maximal +/- 3 % Abweichung innerhalb eines Bauteiles

maximal +/- 5 % Abweichung innerhalb einer Charge

### 3.1.4 Lieferantenvorgaben

Grundsätzlich sind die Verwendung von Normteilen und eine möglichst hohe Typengleichheit anzustreben. Wenn immer möglich sind Standardfabrikate namhafter Hersteller einzusetzen, eine Ersatzteilversorgung auf mindestens 10 Jahre hinweg sollte gewährleistet sein. Folgende Vorgaben sind einzuhalten:

#### **Medienführende Rohrleitungen**

Kunststoff-Handventile	GF / Gemü / Karsai
Kunststoff-Automatikventile	GF / Gemü / Karsai

#### **Motore, Gebläse, Pumpen**

Fahrwagenmotore	SEW
Niederdruckgebläse	RICO, Becker
Kreiselpumpen	MFT, Corode, Speck, Renner
Tauchpumpen	MFT, Corode
Druckluftmembranpumpen	MFT, Almatec, DEPA

#### **Peripheriegeräte**

Gleichrichter	n. n.
Filtergeräte	Corode
Kälteaggregate	n. n.
Absaugung	n. n.

#### **Elektrik und Steuerung**

Schaltschrank	Rittal TS8
Sicherungsschienen	Rittal
Klimageräte	n. n.
Klemmen	WAGO Cage-Clamp
Schütze	Siemens / Klöckner-Möller
Motorschutzschalter	Siemens / Klöckner-Möller
Taster und Schalter	Siemens / Klöckner-Möller
Transformatoren	Siemens / Klöckner-Möller
Frequenzumformer	SEW, Siemens
Initiatoren	IFM
Not-Aus-Relais	Pilz
Sicherheitseinrichtungen	Schmersal
Endschalter mechanisch	Siemens / Klöckner-Möller
Induktive Näherungsschalter	n. n.

SPS	Siemens S7, Profibus
Slavebaugruppen	Siemens
Touch-Panel	Siemens
PC	IBM-kompatibel

### **MSR-Technik**

Position oder Weg	T&R; Stahltronik
Temperatur (Pt 100)	NÜGA
Niveau	NÜGA (incl. Auswertereleais)
Druck	n. n.
Durchfluss	n. n.
Leitfähigkeit	n. n.
pH-Wert	n. n.

### **Sonstiges**

Badheizung elektrisch	NÜGA
Energieführungssystem	Wampfler
Pneumatik	n. n.

#### 3.1.5 Materialauswahl

Soweit nicht im Lastenheft direkt vorgegeben, sind automatisch die jeweils beständigen und geeigneten Materialien und Ausführungen einzusetzen. In Badnähe ist grundsätzlich Edelstahl als Material für Schrauben, Halterungen oder Ähnliches einzusetzen. Insbesondere bei der MSR-Technik und der Elektroinstallation sind die feuchte und teilweise aggressive Umgebung zu berücksichtigen.

#### 3.1.6 Allgemeine Konstruktionsvorgaben

- Grundsätzlich ist eine optimale Zugänglichkeit und Wartungsfreundlichkeit der Anlagenkomponenten anzustreben. Für den Betrieb und die Wartung eventuell erforderliche Sonderwerkzeuge und Hilfskonstruktionen sind auch ohne Einzelnennung automatisch Teil des Auftrages.
- Die Verschleppungen sind durch konstruktive Maßnahmen gering zu halten.
- Zu erzielen sind maximale Funktionssicherheit und Korrosionsfestigkeit, Schutz vor Verschmutzungen, Verkrustungen und Ablagerungen.
- Elektrische Anschlüsse sind vorzugsweise steckbar auszuführen (Pumpen, Heizungen, Sensoren usw.).
- Rohrleitungen sind dauerhaft mit Angabe der Medienart und der Fließrichtung zu beschriften.

- Die Beschriftung der einzelnen Anlagenteile selbst hat in dauerhafter und gut sichtbarer Form zu erfolgen. Es ist eine durchgängig konsistente Nummerierung und Bezeichnung einzuhalten.

### 3.1.7 Arbeitssicherheit und Umweltschutz

- Die Gesamtanlage und alle Ihre Komponenten sind so auszuführen, dass der unkontrollierte Eintrag von Schadstoffen in den Baukörper, den Untergrund und die Umgebungsluft ausgeschlossen ist.
- Die Gesamtanlage muss am Tag der Endabnahme allen gesetzlichen Anforderungen und dem Stand der Technik entsprechen und absehbaren Gesetzesänderungen gerecht werden, der zu berücksichtigende Zeithorizont beträgt dabei 1 Jahr.

## 3.2 Behandlungsanlage

### 3.2.1 Be- / Entladestation

Zur Be- und Entladestation dazugehörig sind die entsprechenden Einrichtungen / Ausrüstungen, die zum Ausrichten und Aufrichten von Rohware bzw. zum Absenken von beschichteten Teilen erforderlich sind.

### 3.2.2 Speicherstationen

Vorzusehen sind vier Speicherplätze, die Pos. 3.11, 3.12, 3.13 und 3.14.

### 3.2.3 Badbehälter

#### **Grundsätzliche Ausführung der Behälter:**

- Alle Behälter sind in Materialwahl und Konstruktion den chemischen und mechanischen Beanspruchungen entsprechend auszuführen. Einschlägige Normen bzw. Richtlinien sind zu berücksichtigen.
- Zur leichten Reinigung sind alle Ecken und Kanten so sauber und glatt wie möglich auszulegen, wenn möglich rund. Dies betrifft vor allem auch die Innenwände.
- Die Behälter sind zur vollständigen Entleerung mit schrägen Böden auszuführen (ca. 5°). Die jeweiligen Abläufe befinden sich an der tiefsten Stelle und führen nach unten weg, durch Siebeinsätze oder andere geeignete Maßnahmen ist ein Ausspülen von groben Gegenständen oder Verunreinigungen in die Ablassleitungen zu unterbinden. Ausnahmen von dieser Regel sind die Chrom-Arbeitsbehälter und Vorlagebehälter, siehe die jeweiligen Detailangaben.

- Bei der Behälterauslegung ist die Bauteilverdrängung zu berücksichtigen, z. B. Niveaustände und Überlaufabteile sind entsprechend auszulegen.
- Sämtliche Rohrleitungseinbauten wie Automatikventile, Pumpen, Sensoren usw. die zu Wartung und Tausch ausgebaut werden müssen, sind unmittelbar vorher und hinterher mit Handabsperrarmaturen zu versehen. Die Rohranschlüsse sind nichtzerstörend lösbar auszuführen, mit z. B. Verschraubungen oder Flanschen.
- Die Anordnung und Ausführung der Badinstallationen wie z. B. Ventile, Pumpen, Stromarmaturen, Klemmkästen usw. hat so erfolgen, dass die problemlose Zugänglichkeit zur Wartung oder zum Tausch gewährleistet ist. Grundsätzlich sollten die einzelnen Anlagenteile jeweils ohne Demontage anderer Teile zugänglich sein.
- Alle Aktivbäder sind mit einem Notüberlauf auszurüsten. Dies gilt auch für Spülbäder, sofern diese nicht schon aufgrund ihrer Funktion mit einem Überlauf ausgerüstet sind (z. B. Standspülen).
- Die Behälter sind mit Höhenausgleich aufzustellen und auszurichten.

### **Einzelne Ausrüstungsdetails der Behälter**

Vorbehaltlich der noch stattfindenden Detailplanung werden aktuell folgende Ausrüstungen veranschlagt:

#### **Pos. 3.15 Entchromung**

- Ausführung in HDPP mit allen statisch erforderlichen Verstärkungen.
- Warenträgeraufnahmen / Einweisungen.
- Wasserzulauf sowohl manuell zum Befüllen als auch automatisch zur Niveauekontrolle.
- Dosierung / Ergänzung von NaOH mittels Pumpe.

#### **Pos. 3.16 Elektrolytische Entfettung**

- Ausführung in Edelstahl 1.4571, Schweißnähte gebeizt, mit allen statisch erforderlichen Verstärkungen.
- Deckel mit Überwachung.
- Hochstromkontakte und Aufnahmen / Einweisungen.
- Wasserzulauf sowohl manuell zum Befüllen als auch automatisch zur Niveauekontrolle.
- Temperaturregelung.

#### **Pos. 3.17 Spüle EE 1 und**

#### **Pos. 3.18 Spüle EE 2**

- Ausführung in HDPP mit allen statisch erforderlichen Verstärkungen.
- Unterteilter Gesamtbehälter mit selbsttragender Zwischenwand. Der Behälter muss die Halbfüllung (ein Abteil voll, eines leer) schadlos überstehen.
- Spülwasserführung als Kaskade mit Schikane zum Behälterboden.
- Pos. 3.18 mit umlaufenden Spritzkränzen und Spritzkragen ausgerüstet.
- Wasserzulauf manuell zum Befüllen an beiden Positionen.
- Spritzspülbetätigung automatisch beim Ausfahren von Bauteilen.

### **Pos. 3.19 Anätzen**

- Grundauführung in Stahl gummiert mit allen statisch erforderlichen Verstärkungen.
- PVDF-Inliner mit Anbindung der notwendigen Anschlüsse, hochgezogen über Behälterrund.
- Deckel mit Überwachung.
- Hochstromkontakte und Aufnahmen / Einweisungen.
- Wasserzulauf sowohl manuell zum Befüllen als auch automatisch zur Niveaueontrolle.
- Temperaturregelung.

### **Pos. 3.20 Verchromen 1 (Ausbaustufe 1)**

### **Pos. 3.21 Verchromen 2 (Ausbaustufe 1)**

### **Pos. 3.22 Verchromen 3 (Ausbaustufe 2)**

### **Pos. 3.23 Verchromen 4 (Ausbaustufe 2)**

### **Pos. 3.24 Verchromen 5 (Ausbaustufe 2)**

- Grundauführung in Stahl gummiert mit allen statisch erforderlichen Verstärkungen.
- PVDF-Inliner mit Anbindung der notwendigen Anschlüsse, hochgezogen über Behälterrund.
- Befüllung und Entleerung erfolgt über die im Behälterboden integrierten Flanschanschlüsse zur Bauteilanströmung. Die zur Zentrierung der Strömungsröhren-Anodenkombination vorgesehene Bodenaufbauten sind so zu gestalten, dass beim Entleeren nur ein Minimum an Flüssigkeitsrückständen verbleiben kann.
- Einzelne Deckel pro Badposition, Deckel mit Überwachung.
- Je Badposition sind drei Beschichtungspositionen einzurichten.
- Jede Beschichtungsposition ist gekennzeichnet durch eine PVDF-Strömungsröhre mit einem Anodenkorb in platinierter Titan. Der Innendurchmesser der Anodenkörbe wird durchgängig auf 300 mm festgelegt. Der Durchmesser der Strömungsröhre ist nicht exakt spezifiziert und kann an die Konstruktion der Anodenkörbe und deren Kontaktierung angepasst werden.

- Die Kontaktierung der Bauteile erfolgt auf einem Potential über eine gemeinsame Zuleitung / Verschienung, die Anoden sind aber individuell an drei Gleichrichter anzuschließen. Die Gleichrichter müssen aber auch anodenseits zusammengelegt werden können (Parallelschaltung), um größere Bauteile beschichten zu können.
- Die Anodenkörbe sind von unten zu kontaktieren, gegenläufig zu den Bauteilen. Die Stromleitung nach unten erfolgt mit titanummantelten Kupfer.
- Hochstromkontakte und Aufnahmen / Einweisungen.
- Temperaturmessung und Anzeige.

**Pos. 3.25 Spüle Cr 1**

**Pos. 3.26 Spüle Cr 2**

**Pos. 3.27 Spüle Cr 3**

**Pos. 3.28 Spüle Cr 4**

- Ausführung in PCV mit allen statisch erforderlichen Verstärkungen.
- Unterteilter Gesamtbehälter mit selbsttragenden Zwischenwänden, eventuell Zusammenfassung 3.25/26 und 3.27/28. Der oder die Behälter müssen die Halbfüllung (ein Abteil voll, eines leer) schadlos überstehen.
- Spülwasserführung als Kaskade mit Schikanen zum Behälterboden.
- Pos. 3.28 mit umlaufenden Spritzkränzen und Spritzkragen ausgerüstet.
- Wasserzulauf manuell zum Befüllen an allen Positionen.
- Spritzspülbetätigung automatisch beim Ausfahren von Bauteilen.

### 3.2.4 Transporteinrichtung

Die Transporteinrichtung ist auf eine Last von 1000 kg auszulegen. Durch eine geeignete Gewichtüberwachung ist ein versehentliches Überladen auszuschließen.

Es ist durch geeignete Maßnahmen sicherzustellen, dass die ursprünglich an der Be-/Entladestation hergestellte Bauteilausrichtung problemlos und positionsgenau an den Badpositionen ankommt.

Der Fahrwagen ist transparent eingehaust auszuführen und mit Tropfschale und einer Spritzeinrichtung zur diskontinuierlichen Reinigung auszustatten.

### 3.2.5 Wartungs- und Bediengänge

Wartungs- und Bediengänge sind rutschfest auszuführen.

## 3.3 Peripherie

### 3.3.1 Gleichrichter

Als Lieferant für die Gleichrichter ist RGB Heythekker vorzusehen. Die Detailklärung erfolgte direkt zwischen Thoma, MFT und RGB. Für Vorbehandlung und Entchromung wurden dabei folgende Gleichrichtergrößen festgelegt:

Anzahl	Strom [A]	Spannung [V]	Umpolbar
1 St.	3000	12	ja
1 St.	4000	10	ja
1 St.	5000	12	ja

Für die beiden Chrombäder der Ausbaustufe 1 wurde entsprechend festgelegt:

Anzahl	Strom [A]	Spannung [V]	Pulsfähig
1 St.	3 x 4000	12	ja
1 St.	12000	12	ja

Die Einbindung der Gleichrichter in die SPS hat durch Profibus-Schnittstellen zu erfolgen. Zur weiteren Information wurden die Spezifikationsdetails inhaltlich unverändert als Punkt 8.3 im Anhang eingefügt.

### 3.3.2 Badwartungseinrichtungen

Es sind zwei Vorlagebehälter für Chrom vorzusehen, einer in Ausbaustufe 1 für die Bäder 3.20 und 3.21, einer in Ausbaustufe 2 für die Bäder 3.22, 3.23, 3.24. Die Vorlagebehälter dienen der zentralen Temperierung der Elektrolyte sowie der Analyse und Ergänzung der Badinhaltsstoffe. Die Behälter sind ohne Anschlüsse / Stutzen usw. in Behälterwand und -boden auszuführen. Sämtliche Anschlüsse sind über den Deckel zu führen.

Über ein entsprechendes Reservevolumen ist sicherzustellen, dass pro Vorlagebehälter jeweils das Elektrolytvolumen einer Badstation zu Wartungszwecken entleert und zwischengelagert werden kann.

### 3.3.3 Heizung / Kühlung

Punkt wird nach Erarbeitung des Gesamtenergiekonzeptes nachgereicht.

### 3.3.4 Absaugung

Abzusaugen sind die nachfolgend aufgeführten Badpositionen:

Pos. 3.15 Entchromung

- Pos. 3.16 Elektrolytische Entfettung
- Pos. 3.19 Anätzen
- Pos. 3.20 Verchromen 1 (Ausbaustufe 1)
- Pos. 3.21 Verchromen 2 (Ausbaustufe 1)
- Pos. 3.22 Verchromen 3 (Ausbaustufe 2)
- Pos. 3.23 Verchromen 4 (Ausbaustufe 2)
- Pos. 3.24 Verchromen 5 (Ausbaustufe 2)

Auch die beiden Chrom-Vorlagebehälter sind leicht abzusaugen.  
Die jeweiligen Abluftwäscher sind mit angepassten Waschvorlagen auszurüsten, das Waschwasser ist zeitgesteuert zu ersetzen.

Die an den Badbehältern angebauten Absaugstege aus Kunststoff müssen einfach abnehmbar und zerlegbar sein. Sie sind jeweils mit Saugstutzen, Drosselklappen und Reinigungsöffnungen in ausreichender Anzahl auszurüsten, so dass eine einfache und wartungsfreundliche Handhabung gewährleistet ist, dies gilt auch für die jeweiligen Sammelleitungen.

Position der Stege am Bad: n. n.  
Führung Sammelleitungen: n. n.

### 3.3.5 Sicherheitseinrichtungen

Der Auftragnehmer stellt sicher, dass die Anlage mit einer ausreichenden Anzahl an Sicherheitseinrichtungen wie Reißleine / -leinen, Körper- und Augennotduschen usw. ausgerüstet ist.

## 3.4 Weitere Ausrüstungsgegenstände

### 3.4.1 Warenträger

Punkt wird ergänzt nach Konstruktionsbesprechung.

### 3.4.2 Sonstiges

Die Ablendung der Bauteile nach unten erfolgt durch leitende Blenden. Dabei werden die bei Thoma vorhandenen Blenden übernommen, diese führen zu einer Bauteilverlängerung von max. 15 mm.

## 3.5 Anlagensteuerung

Als Steuerungslieferant ist Fa. Aucos vorzusehen. Die Detailklärung erfolgte direkt zwischen Thoma, MFT und Aucos. Zur weiteren Information wurden die Spezifikationsdetails inhaltlich unverändert als Punkt 8.4 im Anhang eingefügt.

## **4 Sonstige Anforderungen**

### **4.1 Liefertermin und Preisstellung**

Zieltermin für die Inbetriebnahme der Ausbaustufe 1, Anlage mit zwei mindestens konventionell zu betreibenden Hartchrombädern ist Anfang April 2008.

Die Preisstellung erfolgt wie zwischen Thoma und MFT abgesprochen, Details sind nicht Gegenstand dieses Lastenheftes.

Der Eigentumsübergang der einzelnen Anlagenteile und Ausrüstungen erfolgt unabhängig von der jeweiligen Preisstellung durch Kennzeichnungen mit dem Auftraggeberlabel und Erstellung eines Übergabeprotokolls.

### **4.2 Montage und Inbetriebnahme**

Die Aufstellung und Montage der Gesamtanlage inkl. Peripherie erfolgt komplett durch den Auftragnehmer. Transportgeräte wie z. B. Gabelstapler, Autokran und eventuell erforderliche Montagegerüste werden vom Auftraggeber beigestellt. Der jeweilige Bedarf wird vom Auftragnehmer rechtzeitig bekannt gegeben.

Die Inbetriebnahme der Anlage erfolgt in Zusammenarbeit zwischen Auftragnehmer und Auftraggeber.

### **4.3 Abnahmekriterien**

Alle Abnahmen erfolgen mit der Unterzeichnung des jeweiligen Abnahmeprotokolls durch den Auftraggeber. Grundsätzlich wiederholt sich für jede Ausbaustufe der gleiche Abnahmeablauf, gliedert in Vor-, Betriebs- und Endabnahme:

#### **4.3.1 Vorabnahme**

Die Vorabnahme erfolgt nach der Anlagenmontage und während der Inbetriebnahme. Prüfkriterien sind die grundsätzliche Funktionsfähigkeit der einzelnen Anlagenteile und Aggregate sowie die Vollständigkeit des Lieferumfangs.

#### **4.3.2 Betriebsabnahme**

Die Betriebsabnahme erfolgt nach der Inbetriebnahme. Prüfkriterium ist zwei Wochen Produktionsbetrieb mit drei Schichten. Die beschichteten Bauteile müssen dabei den Anforderungen des Auftraggebers genügen, dieser stellt sicher, dass alle Aktivbäder zur Verfügung stehen und keine anderweitigen, z. B. chemiebedingten Störungen vorliegen.

#### 4.3.3 Endabnahme

Die Endabnahme wird erteilt, wenn die Anlage über einen Zeitraum von 2 Monaten bzw. 1000 Betriebsstunden hinweg ohne Störungen unter den üblichen Produktionsbedingungen gelaufen ist. Treten Störungen auf, die nicht vom Auftraggeber verschuldet sind, startet die 2-Monatsfrist nach Störungsbeseitigung von Neuem. Auftretende Störungen werden dabei vom Auftraggeber protokolliert und dem Auftragnehmer zeitnah mitgeteilt.

### 4.4 Gewährleistung

Die Gewährleistungsfrist beginnt mit schriftlich erfolgter Endabnahme, ihre Dauer beträgt 24 Monate ohne Schichtbegrenzung. Die zur Einhaltung der Gewährleistung erforderlichen Wartungen werden vom Auftragnehmer vorab schriftlich festgelegt.

Von der Gewährleistung ausgenommen sind Verschleißteile, sofern diese vom Auftragnehmer schriftlich als Verschleißteile benannt wurden. Weiterhin ausgenommen sind Teile, die nachweislich ohne Verschulden des Auftragnehmers mechanisch oder elektrisch beschädigt wurden.

### 4.5 Schulungen, Dokumentation und Service

#### 4.5.1 Schulungen

Der Auftragnehmer hat vom Auftraggeber zu benennendes Bedienungs- und Wartungspersonal durch geeignete Schulungsmaßnahmen so zu qualifizieren, dass dieses die Anlage selbständig bedienen und warten kann. Es ist davon auszugehen, dass zwischen 12 und 15 Personen zu schulen sind.

#### 4.5.2 Dokumentation

Die Anlagendokumentation in 2facher Ausfertigung ist vom Auftragnehmer nach Abschluss der Bautätigkeiten beizustellen. Zusätzlich neben der Papierform sind die Unterlagen auch möglichst vollständig in elektronischer Form zu übergeben. Die grundsätzliche Ausfertigung hat nach der EG-Maschinenrichtlinie 98/37 zu erfolgen.

In Einzelnen sind zur Dokumentation folgende Unterlagen zu erstellen:

- Bedienungsanleitung
- Technische Beschreibung bzw. -beschreibungen
- Softwarebeschreibung
- Aufstellungsplan
- Anlagenschnitte
- Fließbild
- Rohrleitungsplan
- Elektroschaltplan (Software WSC-CAD)
- Wartungsplan bzw. -pläne
- Ersatz- und Verschleißteilliste
- Genehmigungsunterlagen

Auf eine durchgängige Bezeichnung / Nummerierung der Anlagenteile (Ventile, Pumpen, Sensoren usw.) ist zu achten, sowohl in der Dokumentation als auch in dauerhaft haltbarer Ausführung an der Anlage selbst.

#### 4.5.3 Service

Von Auftragnehmer sind jeweils Ansprechpartner zu benennen für Mechanik, Elektrik/Elektronik, Software und Konstruktion.

Als Reaktionszeit an Werktagen (Montag bis Samstag) sind 12 Stunden einzuhalten, bei telefonischer Meldung bis 18 Uhr.

## 5 Technische Daten

### 5.1.1 Anlagendaten und Anschlusswerte

Folgende Daten sind vom Auftragnehmer anzugeben:

Transportmaße und Gewichte: getrennt nach Einzelkomponenten

Abmessungen aufgestellt: ca. Länge; Breite, Höhe  
getrennt für Anlage und Nebenaggregate

Fundamentanforderungen: z. B. notwendige Sockel, Pumpensämpfe,  
Flächenlasten usw.

Anschlußwerte: kVA ohne Gleichrichter und Heizungen  
kVA Gleichrichter  
kW Heizungen  
Druckluftverbrauch  
Kühlwasserbedarf und Vorlauftemperatur

Frischwasserbedarf  
Abwasseranfall

### 5.1.2 Allgemeine Werte und Rahmenbedingungen

Folgende Werte und Bedingungen sind vom Auftragnehmer zu berücksichtigen:

Anschlussspannung:	3 x 400 V; 50 Hz
Steuerspannung SPS	24 V DC
Umgebungstemperatur:	max. 40° C
Beheizungsart:	elektrisch
Aufheizzeit:	4 h
Kühlung	Wasser

Sollten sich im Rahmen des Gesamtenergiekonzeptes Änderungen ergeben, werden diese zeitnah ausgetauscht und abgesprochen.

Die genauen Raumdaten sind vom Auftragnehmer vor Ort selbst zu erfassen, für Hallenpläne usw. siehe Anhang 2.

## 6 Preiszusammenstellung

In der Preiszusammenstellung sind sämtlichen Anlagenteile, Aggregate, Ausrüstungen, Montageleistungen usw. zu berücksichtigen, die zu einem bestimmungsgemäßen, sicheren und störungsfreien Betrieb der Anlage den Anforderungen dieses Lastenheftes nach erforderlich sind.

Ausgenommen hiervon sind die Chemikalien und Hilfsstoffe zur Befüllung der Anlage mit den erforderlichen Prozesschemikalien und Spülwässern sowie die bauseitigen Leistungen gemäß Punkt 1.4.

Die Preiszusammenstellung hat netto zu erfolgen, inkl. Anlieferung, Verpackung und Transportversicherung, zzgl. der jeweils gültigen gesetzlichen Mehrwertsteuer. Da keine weiteren Anbieter angefragt werden, ergeben sich keine weiteren formalen Anforderungen an die Preiszusammenstellung.

## **7 Änderungsjournal**

### **7.1 Änderung Version 1 zu Version 2**

#### **Kapitel 2.4 Prozessabläufe**

- Chemie von Elektrolytisch Entfetten, Anätzen und Entchromen spezifiziert.

#### **Kapitel 3.2.3 Badbehälter – Grundsätzliche Ausführung der Behälter:**

- Verweis auf Ausnahmeregelung für Befüllung und Entleerung bei Chrombädern

#### **Kapitel 3.2.3 Badbehälter – Einzelne Ausrüstungsdetails der Behälter:**

- Pos. 3.19 Anätzen, Materialänderung  
- Pos. 3.20 – 3.24 Verchromen 1 – 6, Spezifizierung Befüllen und Entleeren, Anodenkorbdurchmesser und Strömungsröhren, Anodenkontaktierung von unten

#### **Kapitel 3.3.1 Gleichrichter**

Lieferant festgelegt, Anzahl und Größenauslegung spezifiziert.

#### **Kapitel 3.3.2 Badwartungseinrichtungen**

Ausführung ohne Anschlüsse festgelegt, Reservevolumen festgelegt

#### **Kapitel 3.3.4 Absaugung**

Chromvorlagen zur Absaugungsliste zugefügt

#### **Kapitel 3.4.2 Sonstiges**

Blendentechnik spezifiziert

#### **Kapitel 3.5 Anlagensteuerung**

Lieferant festgelegt.

#### **Kapitel 4.1 Liefertermin und Preisstellung**



Preisstellungsdetails nicht Gegenstand Lastenheft

### **Kapitel 8 Anhänge**

Inhaltlich unveränderte Detailspezifikationen der Gleichrichter (RGB Heythekker) und der Steuerung (Aucos) eingefügt.

## 8 Anhänge

### 8.1 Förder-Antrag

Antragstitel: „Verringerung von Energieverbrauch, Rohstoffeinsatz, Betriebsmitteleinsatz und Abfallaufkommen bei der großtechnischen Veredelung von Hydraulikkolbenstangen“, eingereicht bei der bei der DBU

-> von Thoma zu ergänzen.

### 8.2 Hallenplan

-> von Thoma zu ergänzen.

### 8.3 Spezifikation Gleichrichter

Inhaltlich unveränderte Kopie der Gleichrichterspezifikation aus Dokument „AT THOMA GLEICHRICHTER. - und STEUERUNGSZUSAMMENSTELLUNG (2)IPA.doc“, per e-mail zugestellt von MFT, Stand 12.12.2007:

#### **1,00 Stück Wassergekühlter Puls Bipol Gleichrichter RGB-Puls-Bipol-Power-WK**

mit auf schnellen Pulsbetrieb angepasster Steuerelektronik und integrierter elektronischer Umpolung

Leistung :  $\pm 12 \text{ V} / \pm 12.000 \text{ A}$  Summenstrom  
mit drei bipolaren DC-Abgängen a max. 4000A Dauerstrom

Technische Daten:

Netz: 3x 400V / 50Hz  
Netzstrom: 308A/Phase  
Netzleistung S1: 213,9kVA  
Steuerspannung: 230V/50Hz  
max. Umgebungstemperatur: 35°C  
Betriebsart: 100% ED  
Regelung: Strom- und/oder Spannungskonstanthaltung  
Regelgenauigkeit:  $\pm 0,5\%$  vom Regelendwert  
Restwelligkeit: ca. 5% bei Vollaussteuerung

Gleichrichterschaltung: 6-pulsig M3.2  
Kühlung: direkt wassergekühlt, offener Kreislauf  
Wasservorlauftemperatur: 18-38 °C  
Schutzart: IP21  
Lackierung: RAL 7035, lichtgrau

je Zweig stufenlos regelbar und umpolbar über 2 sekundäre,  
antiparallele Thyristorsteller.

Steuerelektronik:

Die eingebaute Steuerelektronik besteht aus den folgenden Komponenten:

- Ansteuerelektronik für den Thyristorsteller dreimal
- Reglerplatine für jeden Einzelkreis
- Zündimpulsübertrager
- Steuersatz für Schaltung M3.2
- Überwachungselektronik

Alle Elektroniken je 4.000A Einzelkreis

Schutzeinrichtungen:

Die folgenden Überwachungs- und Schutzeinrichtungen sind  
standardmäßig in unseren wassergekühlten Thyristorgleichrichtern  
vorgesehen:

- Überstromwächter (Kurzschlusserkennung)
- Phasenfolgeüberwachung
- Phasenausfallüberwachung
- Netzunterspannung
- Netzsicherungen
- Steuersicherungen
- Temperaturüberwachung Thyristoren, Dioden und Transformator
- Spannungsbegrenzung = 12 V
- Strombegrenzung = 12.000 A (4.000A je Einzelstrang)
- TSE - Schutzbeschaltung für Thyristor- und Diodensatz
- Kühlwasserdrucküberwachung
- Kühlwasserflussüberwachung
- Kühlwassertemperaturüberwachung

Ansteuerung:

Die Ansteuerung dieser Gleichrichter erfolgt grundsätzlich über einen bauseitigen Anlagenrechner oder eine Fernsteuerung. Die Signale werden uns potentialfrei zur Verfügung gestellt.

### **3,00 Stück Wassergekühlte Glättungsdrossel für Thyristor-Gleichrichter 0-12 V / 4.000 A**

Glättung auf max. 3,5% Restwelligkeit im Bereich von  
50-100% Strom

Die genannte Restwelligkeit bezieht sich immer auf die jeweils eingestellten Werte im vorgenannten Bereich und nicht nur auf die Nennwerte des Gleichrichters. Die wassergekühlte Glättungsdrossel wird im Gleichrichterschrank oder in die externe Verschienung eingebaut.

### **1,00 Stück Profibus Siemens ET200S Profibus-Schnittstelle für Thyristorgleichrichter**

Feldbus-System, Fabrikat Siemens ET200S  
Technische Daten:  
mit Analog- und Digitalbaugruppen  
mit 24V DC Versorgung

### **1,00 Stück Wassergekühlter Bipol-Thyristorgleichrichter RGB-Bipol-Power-WK mit elektronischer Umpolung Leistung : 0 - 12 V / $\pm$ 3.000 A**

Technische Daten:

Netz: 3x 400V / 50Hz  
Netzstrom: 66,7 A/Phase  
Netzleistung S1: 46,2 kVA  
Steuerspannung: 230V / 50Hz  
max. Umgebungstemperatur: 35°C  
Betriebsart: 100% ED  
Regelung: Stromregelung  
Regelgenauigkeit:  $\pm$  0,5% vom Regelendwert  
Restwelligkeit: ca. 5% bei Vollaussteuerung  
Gleichrichterschaltung: 6-pulsig bipolar 2 x M3.2C

Kühlung: direkt wassergekühlt, offener Kreislauf  
Wasservorlauftemperatur: 18-35 °C  
Schutzart: IP21  
Lackierung: RAL 7035, lichtgrau

stufenlos regelbar und umpolbar über 2 sekundäre,  
antiparallele Thyristorsteller.

Steuerelektronik:

Die eingebaute Steuerelektronik besteht aus den folgenden Komponenten:

- Ansteuerelektronik für den Thyristorsteller
- Reglerplatine
- Zündimpulsübertrager
- Steuersatz für Schaltung M3.2C
- Überwachungselektronik

Schutzeinrichtungen:

Die folgenden Überwachungs- und Schutzeinrichtungen sind  
standardmäßig in unseren wassergekühlten Thyristorgleichrichtern  
vorgesehen:

- Überstromwächter (Kurzschlusserkennung)
- Phasenfolgeüberwachung
- Phasenausfallüberwachung
- Netzunterspannung
- Netzsicherungen
- Steuersicherungen
- Temperaturüberwachung Thyristoren, Dioden und Transformator
- Spannungsbegrenzung = 12 V
- Strombegrenzung = 3.000 A
- TSE - Schutzbeschaltung für Thyristorsatz
- Kühlwasserdrucküberwachung
- Kühlwasserflussüberwachung
- Kühlwassertemperaturüberwachung

Ansteuerung:

Die Ansteuerung dieser Gleichrichter erfolgt grundsätzlich über einen bauseitigen Anlagenrechner. Die Signale werden uns potentialfrei zur Verfügung gestellt.

**1,00 Stück Wassergekühlter Bipol-Thyristorgleichrichter  
RGB-Bipol-Power-WK mit elektronischer Umpolung  
Leistung : 0 - 10 V /  $\pm$  4.000 A**

Technische Daten:

Netz: 3x 400V / 50Hz  
Netzstrom: 76 A/Phase  
Netzleistung S1: 52,3 kVA  
Steuerspannung: 230V / 50Hz  
max. Umgebungstemperatur: 35°C  
Betriebsart: 100% ED  
Regelung: Stromregelung  
Regelgenauigkeit:  $\pm$  0,5% vom Regelendwert  
Restwelligkeit: ca. 5% bei Vollaussteuerung  
Gleichrichterschaltung: 6-pulsig bipolar 2 x M3.2C  
Kühlung: direkt wassergekühlt, offener Kreislauf  
Wasservorlauftemperatur: 18-35 °C  
Schutzart: IP21  
Lackierung: RAL 7035, lichtgrau

stufenlos regelbar und umpolbar über 2 sekundäre,  
antiparallele Thyristorsteller.

**1,00 Stück Wassergekühlter Bipol-Thyristorgleichrichter  
RGB-Bipol-Power-WK mit elektronischer Umpolung  
Leistung : 0 - 12 V /  $\pm$  5.000 A**

Technische Daten:

Netz: 3x 400V / 50Hz  
Netzstrom: 109 A/Phase  
Netzleistung S1: 76 kVA  
Steuerspannung: 230V / 50Hz  
max. Umgebungstemperatur: 35°C  
Betriebsart: 100% ED  
Regelung: Stromregelung

Regelgenauigkeit:  $\pm 0,5\%$  vom Regelendwert  
Restwelligkeit: ca. 5% bei Vollaussteuerung  
Gleichrichterschaltung: 6-pulsig bipolar 2 x M3.2C  
Kühlung: direkt wassergekühlt, offener Kreislauf  
Wasservorlauftemperatur: 18-35 °C  
Schutzart: IP21  
Lackierung: RAL 7035, lichtgrau

stufenlos regelbar und umpolbar über 2 sekundäre,  
antiparallele Thyristorsteller.

**1.00 Stück Wassergekühlter Puls-Puls Bipol Gleichrichter  
RGB-Puls-Bipol-Power-WK mit auf schnellen Pulsbetrieb angepasster  
Steuerelektronik und integrierter elektronischer Umpolung  
Leistung :  $\pm 12\text{ V} / \pm 12.000\text{ A}$**

Technische Daten:

Netz: 3x 400V / 50Hz  
Netzstrom: 308A/Phase  
Netzleistung S1: 213,9kVA  
Steuerspannung: 230V/50Hz  
max. Umgebungstemperatur: 35°C  
Betriebsart: 100% ED  
Regelung: Strom- und/oder Spannungskonstanthaltung  
Regelgenauigkeit:  $\pm 0,5\%$  vom Regelendwert  
Restwelligkeit: ca. 5% bei Vollaussteuerung  
Gleichrichterschaltung: 6-pulsig M3.2  
Kühlung: direkt wassergekühlt, offener Kreislauf  
Wasservorlauftemperatur: 18-38 °C  
Schutzart: IP21  
Lackierung: RAL 7035, lichtgrau

stufenlos regelbar und umpolbar über 2 sekundäre,  
antiparallele Thyristorsteller.

**1.00 Stück Wassergekühlte Glättungsdrossel  
- für Thyristor-Gleichrichter 0-12 V / 12.000 A**



Glättung auf max. 3,5% Restwelligkeit im Bereich von  
50-100% Strom

Die genannte Restwelligkeit bezieht sich immer auf die jeweils  
eingestellten Werte im vorgenannten Bereich und nicht nur auf die  
Nennwerte des Gleichrichters. Die wassergekühlte Glättungsdrossel wird  
im Gleichrichterschrank oder in die externe Verschierung eingebaut.

### **1.00 Stück Profibus Siemens ET200S Profibus-Schnittstelle für Thyristorgleichrichter**

Feldbus-System, Fabrikat Siemens ET200S  
Technische Daten:  
mit Analog- und Digitalbaugruppen  
mit 24V DC Versorgung

## 8.4 Spezifikation Steuerung

Inhaltlich unveränderte Kopie der Steuerungsspezifikation aus Dokument „AT THOMA GLEICHRICHTER. - und STEUERUNGSZUSAMMENSTELLUNG (2)IPA.doc“, per e-mail zugestellt von MFT, Stand 12.12.2007:

### 1. Allgemeines

Der neue Hartchromautomat hat die nachfolgende einreihige Anlagenaufstellung. Die Aufstellung berücksichtigt bereits Leerplätze für eine spätere Anlagenerweiterung.

Anlagenlayout:

Pos. 1 Be- und Entlade zur Aufnahme von Handbeladewagen  
Pos. 2-5 Speicher 1 bis 4

Pos. 6 Entchromen mit Heizung und Deckel

Pos. 7 E-Entfetten mit Heizung und Deckel

Pos. 8 Spüle 1 E-Entfetten  
Pos. 9 Spüle 2 E-Entfetten mit Sprühkranz

Pos. 10 Cr-Spüle Kaskade 3 mit Sprühkranz  
Pos. 11 Cr-Spüle Kaskade 2 mit Sprühkranz  
Pos. 12 Cr-Spüle Kaskade 1 mit Sprühkranz  
Pos. 13 Cr-Standspüle mit Sprühkranz

Pos. 14 Ätzbad mit Deckel  
Pos. 16 Chrom 1 mit Deckel  
Pos. 17 Chrom 2 mit Deckel

Pos. 18 Reserve Chrom 3 mit Deckel  
Pos. 19 Reserve Chrom 4 mit Deckel  
Pos. 20 Reserve Chrom 5 mit Deckel

Pos. 21 Messstation

Pos. 20 Anodenlagerplätze

Das Steuerungssystem ist so konzeptioniert, dass eine spätere Erweiterung problemlos möglich ist.

## 2. Steuerungskonzept

Das Steuerungssystem für den neuen Hartchromautomaten setzt sich aus den Komponenten WindowsXP Leitrechner mit Drucker und einer Siemens Steuerung mit Schaltschrank zusammen. Die Kopplung zwischen dem Leitrechner und der Siemens Steuerung der Anlage erfolgt über eine TCP/IP Schnittstelle. Die Siemens Steuerung verfügt über eine entsprechende TCP/IP Schnittstelle. Es werden für die Kommunikation zur Steuerung keine speziellen Kommunikationsbaugruppen benötigt. Für die Protokollierung wird der Leitrechner mit einem Drucker ausgestattet. Der Leitrechner ist zum Einbau in einem Rittal PC-Schrank im Anlagenbereich vorgesehen.

Der Leitrechner übernimmt die Steuerung der Fahrabläufe in der Anlage und wird mit einer Artikeldatenbank ausgestattet. Zusätzliche werden alle Nebenaggregate, die über die Steuerung mit dem Leitrechner gekoppelt sind gesteuert und überwacht. Es ist eine Protokollierung für die Produktionsmengen, die Warenträgerdaten, das Störungserfassungssystem und das Qualitätsprüfprogramm vorgesehen.

### 2.1 Netzwerk

Das neue Steuerungssystem enthält ein eigenes Netzwerk zur Kommunikation zwischen Leitrechner und der Prozesssteuerung. Das Netzwerk besteht im Wesentlichen aus:

Switch 100MBit, CAT-7 Kabel  
Kommunikation zur S7-300 Prozesssteuerung Zubehör

### 2.2 Leitsystem

Das Leitsystem wird so ausgelegt, dass keine hardwaretechnische Änderung für die Anlagenerweiterung erforderlich wird. Der Leitrechner und Drucker werden nicht zur freien Aufstellung bestimmt und müssen deswegen in geschützter Umgebung z.B. Meisterbüro oder Rittal PC-Schrank aufgestellt werden.

#### 2.3.1 Leitrechnerhardware

1 Leitrechner mit folgender Ausstattung  
- Pentium IV 631  
- Prozessor 3,0 GHz, 1GB RAM,

- Harddisk 80 GB oder größer
- CD RW / DVD Laufwerk 48x32x48x16xATAPI
- Betriebssystem Windows XP Pro deutsch
- Länderbeipack Scenic W (D)
- Standard Keyboard KBPC SX D
- Optische Wheel Maus PS/2
- Netzwerkanschluss
- USB-Schnittstelle
- Highspeed Modem
- externe Festplatte zur Datensicherung
- 1 17" TFT Monitor, Auflösung 1280 x 1024
- 1 USV
- 1 Ethernetkommunikation zur S7-Steuerung
- 1 Drucker
- 1 Netzwerkkomponenten bestehend aus:
  - 1 Switch 100Mbit
  - ca. 50m CAT7 Datenleitung
  - Zubehör
- 1 ISDN-Router für Fernwartung und Service

## 2.6 Prozesssteuerung

Die SPS-Steuerung besteht im Wesentlichen aus folgenden Baugruppen:

Zentraleinheit mit Profibus- und TCP/IP-Anschaltung  
Digitale Eingangsbaugruppen  
Digitale Ausgangsbaugruppen  
Analoge Eingangsbaugruppen  
Satz Zubehör

Anmerkung:

Eine Erfassung der Gleichrichter Istspannungen ist wie auch heute schon nicht vorgesehen.

## 2.7 Schaltschrank

Die Erstellung der E-Dokumentation und Schaltschrankfertigung ist nicht in unserem Lieferumfang enthalten und erfolgt kundenseitig (Fa. MFT-Münster). Der Schaltschrank beinhaltet im Wesentlichen folgende Komponenten bzw. Steuerungsfunktionen:

Hauptschalter und 400V-Verteilung  
230V- und 24V-DC Steuerspannung  
Not-Aus System

1 Transportwagen bestehend aus:

- Fahrtrieb über SEW- Frequenzumrichter mit Profibusanschaltung
- Hubtrieb über SEW- Frequenzumrichter mit Profibusanschaltung
- Laser zur Positionserfassung
- 2 Endschalter für Vor- und Rück-Not
- 2 Endschalter für Heben und Senken-Not
- 2 Initiatoren für Heben und Senken-Langsam
- 2 Initiatoren für Heben und Senken-Ende
- Handbedienung: Vor-Rück-Aktion-Heben-Senken und Not-Aus
- Leuchtmelder Stationsmitte

5 Deckelansteuerungen mit elek. Antrieben

4 Heizungssteuerungen mit Stellventilen (auf/zu)

3 Gleichrichtersteuerungen mit folgender Ansteuerung

- 1 digitaler Ausgang Ein/Aus
- 1 digitaler Eingang Störung
- 1 analoger Ausgang für Sollwertvorgabe
- 1 analoger Eingang für Stromistwert
- 1 analoger Eingang für Spannungswert

### 3. Software

Die Software setzt sich aus der Software für den Leitreechner und der Software für die Siemens Steuerung S7 zusammen.

#### 3.1 Software für den Leitreechner

Der Leitreechner basiert auf dem WindowsXP Betriebssystem und ist mit einer Firebird SQL Datenbank ausgestattet. In der Struktur der Software sind die Grundfunktionen der Anlage und die Verriegelungen vom Ablaufprogramm getrennt. Eine Programmänderung der Abläufe berührt daher die Grundfunktionen und Verriegelungen nicht. Das Anwenderprogramm wird auf CD - ROM geliefert und unterliegt dem Urheberrechtsschutz. Die Software für den Leitreechner unterteilt sich in mehrere Funktionsgruppen, die nachfolgend aufgeführt werden.

### 3.1.1 Artikeldaten

#### 3.1.1.1 Artikeldatenverwaltung

In der Artikeldatenverwaltung können bis zu 10.000 Artikelsätze abgelegt werden. Ein Artikeldatensatz ist z.B. wie folgt aufgebaut:

- Artikelnummer
- Artikelbezeichnung im Klartext
- Behandlungsprogramme
- Behandlungszeiten
- Teilezahl/Gewicht bei voller Beladung / Behängung
- weitere Parameter

Der Zugang zu den Artikeldaten ist über einen Passwortschutz geregelt. Der Passwortschutz kann durch einen optionalen Chipkartenzugang noch erweitert werden. Die Artikeldaten können auf den Drucker in Listenform ausgegeben werden.

#### 3.1.1.2 Historie der Artikeldaten

Änderungen der Artikeldaten werden archiviert und durch einen Index charakterisiert. Alte Artikeldaten können aufgerufen, angezeigt und ausgedruckt werden.

#### 3.1.1.3 Einbindung von Bildern/Grafiken in die Artikeldaten, zur Anzeige bei der Trägerbeladung

Aus den verschiedensten Gründen kann es sinnvoll sein, bestimmte Informationen visuell darzustellen. Dies trifft sicher auch für individuelle Beladungen zu, die eine Voraussetzung für Qualität, Durchsatz und kostengünstige Fertigung sind. Aber auch bei Standardbeladungen kann über die visuelle Darstellung z.B. eine Teileidentifikation erfolgen. Die notwendigen Bilder werden über eine Kamera (Kamera nicht im Angebotsumfang) aufgenommen und im JPG-Format im Leitsystem gespeichert. Diese Bilder werden dann mit Hilfe dieser Softwareerweiterung einer Artikelnummer/Stammdatensatz zugeordnet. Bei Aufruf der Artikelnummer/Stammdatensatzes am Beladeterminale wird das zugeordnete Bild aufgerufen und angezeigt. Für diese Darstellung ist ein (oder mehrere) PC-basiertes Terminal notwendig.

### 3.1.2 Fahrprogramme

Es sind 2 Fahrprogramme vorgesehen:

- Ablauf mit ätzen
- Ablauf ohne Ätzen

Die Zeiten für die Aktivbäder sind artikelabhängig einstellbar. Eine Aussage über die Anlagenkapazität kann erst auf Basis eines Weg-Zeit-Diagrammes erfolgen, das auf Grundlage der Prozesszeiten und Transportgeschwindigkeiten erstellt wird. (Die Daten liegen derzeit noch nicht vor)

### 3.1.3 Simulation

Die Fahrabläufe werden vorab mittels eines Simulationsprogramms geprüft. Es können dadurch die unterschiedlichen Programme mit Ihren Zeitvarianten getestet werden. Die Inbetriebnahme der Fahrprogramme wird durch die Simulation wesentlich verkürzt. Die Simulation und die damit verbundenen Bedienmasken des Leitrechners werden Ihnen zur Detailabstimmung vor der Inbetriebnahme vorgestellt.

### 3.1.4 Anlagenabbild

Das Anlagenabbild wird in Blockgrafik auf dem Bildschirm dargestellt. Das Anlagenabbild enthält alle Anlagenpositionen, die Position der Warenträger auf den Behandlungsstationen, die Position der Fahrwagen, die Hublage der Fahrwagen und die Betriebsart der Anlage. Zusätzlich wird die aktuelle Taktzeit angezeigt. Die Warenträger sind farblich gekennzeichnet in welchem Produktionszustand, Rohware, Fertigware oder Leerträger sie sich befinden. Aus dem Anlagenabbild kann direkt auf die Warenträgerprotokolle der in der Anlage befindlichen Warenträger und die Stationsdaten zugegriffen werden.

### 3.1.5 Be-/Entladedialoge

Der Bediener gibt über ein Be-/Entlademenü am Terminal die Warenträger für die Anlage frei. Die Bedienung der Be-/Entlademaschinen erfolgt menügeführt. Es wird wie folgt freigegeben:

- Eingabe der Artikelnummer
- Test ob die angezeigte Artikelbezeichnung mit der Ware übereinstimmt
- Eingabe der Beladung (Gewicht oder Teilezahl)

- Auswahl mit/ohne Kontrollmessung
- Freigabe

Das Entladen einer Trommel wird über das Entlademenü quittiert. Die Kontrollmessung kann individuell über den Beladedialeg vorgegeben werden.

### 3.1.6 Störmeldesystem und Fehleranalyse

#### 3.1.6.1 Störungsverwaltung

Es werden alle Störmeldungen mit einem Störtext angezeigt. Der Bediener quittiert die Störmeldung am Bedienterminal oder am Leitrechner. Es wird zwischen anstehenden und neu kommenden Störungen unterschieden. Die Störmeldungen werden mit Störhilftexten ausgestattet. Zu jeder Störmeldung kann ein Hilftext definiert werden, der bei dem Auftreten der Störmeldungen abgerufen werden kann. Dieser Störtext besteht aus einem fest definierten Teil und einem vom Anlagenführer editierbaren Bereich. Neue Erkenntnisse über eine Fehlerursache oder Möglichkeiten zur Fehlerbeseitigungen können hier fortlaufend eingegeben werden.

#### 3.1.6.2 Störungsstatistik

Die Störungen werden statistisch nach Dauer und Häufigkeit ausgewertet. Die Ausgabe der Analyse erfolgt in Listenform in einem Schicht- oder Tagesprotokoll.

#### 3.1.6.3 Störungsverwaltung mit Störhilftexten und Zusatzinformationen

Zur Unterstützung der Fehlersuche und Verkürzung von Stillstandzeiten können den Störmeldungen zusätzliche Informationen zugeordnet werden.

- Störungs-Hilftexte

Diese werden durch den Anwender aufgrund eigener Erfahrungen erstellt; sie stehen bei einem erneuten Auftreten der Störung als Zusatzinformationen zur Verfügung

- Photos, Graphiken zur weiteren Unterstützung können ebenfalls zugeordnet werden

#### 3.1.6.4 Logfiles

Integrierte, detaillierte Logfiles, ermöglichen eine einfache und sichere Fehleranalyse.

### 3.1.7 Protokolle

Folgende Protokolle werden in Listenform auf dem Leitrechner dargestellt und können bei Bedarf ausgedruckt werden.

#### 3.1.7.1 Allgemeine Protokolle

- laufendes Protokoll
- Produktionsprotokoll
- Störungsprotokoll
- Störungsstatistik
- Einfahrprotokoll

Der Betrachtungszeitraum für die Protokolle kann über ein Zeitauswahlfenster frei eingegeben werden. Die Protokolle werden über einen Zeitraum von ca. 6 Monaten auf dem Leitrechner zwischengespeichert.

#### 3.1.7.2 Warenträgerprotokoll

Es werden für jeden Warenträger die, über die Steuerung erfaßten Meßdaten wie z.B. Zeiten in den Stationen, Temperaturen sofern verfügbar in das Leitsystem übertragen und protokolliert. Die Daten werden in einer Datenbank gespeichert. Es können ca. 10.000 Warenträgerprotokoll abgelegt werden. Jede Warenträgerprotokoll enthält über die Produktionsdaten hinaus die folgenden Informationen:

- Artikelnummer
- Artikelbezeichnung, wie in den Artikeldaten hinterlegt
- Zeit Beladen mit Datum und Uhrzeit
- Zeit Entladen mit Datum und Uhrzeit

### 3.1.8 Gleichrichteranzeige

Die aktuellen Gleichrichterstromwerte werden mit den Grenzwerten auf dem Bildschirm oder am Drucker ausgegeben. Über dieses Menü ist ein Handeingriff für die Gleichrichterregelung möglich.

### 3.1.9 Temperaturanzeige

Die Badtemperaturen werden erfasst und geregelt.

### 3.1.10 Dosierung

Die Dosierung von Badzusätzen ist derzeit nicht vorgesehen. Die Steuerung kann jedoch um die Funktion "Dosierung nach Amperestunden oder Anzahl Warenträger entsprechend erweitert werden. Der aktuelle Warenträgerdurchsatz und die Amperestunden der Gleichrichter wird in dem Menü Dosierung angezeigt.

### 3.1.11 Geräteschalten

Eine Geräteschaltung von Nebenaggregaten ist derzeit nicht vorgesehen. Die Steuerung kann jedoch um die Funktion "Schaltung von Nebenaggregaten" wie Wasserzuläufe, Pumpen, über das Menü Geräteschalten aktiviert werden.

### 3.1.12 Histogramme

Messwerte wie z.B. Temperaturen, Gleichrichteristwerte und andere analoge Messwerte werden in Form eines Kurvenverlaufs mit Sollwert und Grenzwerten angezeigt. Es sind ca. 25 Histogramme für die Anlage vorgesehen.

### 3.1.13 Wochenschaltuhr

Über die Wochenschaltuhr können Geräte entsprechend ein- und ausgeschaltet werden.

### 3.1.14 Badsperrern

Die Funktion "Badsperrern" ermöglicht das Sperren von Mehrfachbädern. Die Badsperrern sind nur aktiv für Warenträger die noch nicht in die Anlage eingefahren sind. Badsperrern für Warenträger die bereits vom Leitsystem im Fahrablauf eingerechnet sind können nicht mehr berücksichtigt werden.

### 3.3.15 Qualitätsdefinition und Qualitätsaussage an der Entladestation

Dieses Programm ermöglicht es, Qualitätsdefinitionen zu erstellen und Artikeln zuzuordnen. Unterschiedliche Qualitätsdefinitionen können vorab eingegeben und gespeichert werden. Vor der Entladung werden die tatsächlichen Behandlungsdaten eines Warenträgers mit den für diesen Artikel hinterlegten Qualitätsdefinitionen verglichen; das Ergebnis wird angezeigt, sobald der Warenträger zur Entladestation transportiert wird.

Das Entladepersonal wird über den Zustand des zu entladenen Warenträgers über das zuständige Be-/Entladeterminale informiert.

Folgende Daten werden im Qualitätsdefinitionsprogramm für die zu überwachende Behandlungsstationen hinterlegt:

Verweilzeit kürzer als  
Verweilzeit länger als  
Überhebezeit zum nächsten Bad länger als  
Stromunterbrechung  
Temperatur niedriger als  
Temperatur höher als  
Amperestunden niedriger als xx % der geforderten  
Amperestunden höher als yyy % der geforderten

Dieses Überwachungsprogramm arbeitet als unabhängiger Beobachter; es funktioniert auch bei Handbetrieb. Das Entladepersonal wird über den Zustand der zu entladenen Trommel über eine Anzeige am Leitreechner, sowie über eine optische Anzeige (QS-Ampel) an der Entladestation informiert.

Grün = Gutware  
Gelb = Prüfware  
Rot = Schlechtware

### 3.2 Software für die Siemens S7 Prozesssteuerung

Die Software für die Siemens S7 Prozesssteuerung enthält nachfolgende Module.

#### 3.2.1 Transportsystem bestehend aus dem Hub-Transportwagen in den Betriebsarten

- Automatikbetrieb

Das Transportsystem wird vollständig über die Steuerung und den Leitreechner gesteuert. Alle Verriegelungen sind aktiv. Die Transportbefehle werden über den Leitreechner berechnet und an die Steuerung übertragen. Nach der Ausführung des Transports wird eine Fertigmeldung an den Leitreechner zurückgemeldet.

- Handbetrieb

Das Transportsystem wird nur durch die SPS gesteuert. Alle Verriegelungen sind aktiv. Die Bewegungen werden durch die Handbedieneinrichtung am Bedienterminal ausgelöst.

- Einrichtbetrieb

Das Transportsystem wird nur durch die SPS gesteuert. Nur die Verriegelungen der Not-Ende-Schalter sind aktiv. Die Bewegungen werden durch die Handbedieneinrichtung am Bedienterminal ausgelöst.

### 3.2.2 Störmeldesystem

Die über die SPS erfaßten Störmeldungen werden über das Störmeldesystem dem Leitreechner angezeigt. Die Quittierung erfolgt über den Leitreechner in der SPS.

### 3.2.3 Gleichrichteransteuerung und –erfassung

Die Sollwerte für die Gleichrichter werden als Analogwert an die Gleichrichter übertragen. Die Istwerte für den Strom werden über die Steuerung erfaßt und dem Leitreechner für die Protokollierung zur Verfügung gestellt.

### 3.2.4 Temperaturregelung

Die Badtemperaturen werden über die Steuerung geregelt.

### 3.2.5 Dosierungen (derzeit nicht vorgesehen)

Die Steuerung kann den Teiledurchsatz je Behandlungseinheit und die AHStunden in den Zinkzellen erfassen und diese Daten dem Leitreechner zur Verfügung stellen. Die Berechnung der Nachdosierung erfolgt im Leitreechner.

### 3.2.6 Geräteschalten (derzeit nicht enthalten)

Die Nebenaggregate der Anlage können über die Steuerung geschaltet werden. Die Einschaltungen erfolgen je nach Betriebszustand automatisch oder manuell über das Menü Geräteschalten. Die Verriegelungen für die Nebenaggregate sind aktiv.

### 3.2.7 Niveauregelungen (derzeit nicht enthalten)

Die Niveauregelungen in der Anlage können über die Steuerung erfolgen. Die Zudosierung von Wasser oder Medien erfolgen je nach Betriebszustand automatisch oder manuell über das Menü Niveauregelungen. Die Verriegelungen für die Nebenaggregate sind aktiv.

### 3.3 Optionen für das Steuerungssystem

**Nachfolgende Optionen für das Steuerungssystem sind nicht im Angebots bzw. Lieferumfang enthalten. Auf Wunsch werden diese kundenspezifisch abgestimmt und können dann zusätzlich angeboten werden.**

#### 3.3.1 Webserver

Das Leitsystem kann mit einem Webserver-Modul ausgerüstet werden. Dieser Webserver ermöglicht den Zugriff auf das Leitsystem über das Intranet über jeden Arbeitsplatzrechner, der mit einem Browser ausgestattet ist. Auf folgende Daten kann in Listenform zugegriffen werden

- Artikeldaten
- Laufendes Protokoll
- Produktionsprotokoll
- Störungsprotokoll
- Störungsstatistik
- Einfahrprotokoll
- Warenträgerdaten
- Temperaturen

Um einen sicheren Umgang mit dem Leitsystem zu gewährleisten, wird für Jeden Benutzer ein Benutzerprofil angelegt. Dabei besteht die Möglichkeit, jede der zur Verfügung stehenden Funktionen des Leitsystems individuell für einen angemeldeten Benutzer freizugeben.

#### 3.3.2 Wartungssystem

Für zu definierende Bäder werden Messwerte, z.B. Ah, Fläche, Laufzeit, aufsummiert. Bei Überschreiten eines einstellbaren Grenzwertes für jeden dieser so überwachten Werte, wird eine Meldung ausgegeben. Zu dieser Meldung können Texte und Photo/Graphik vom Anwender editiert und hinterlegt werden, z.B., in welcher Weise nun eine Badpflege erfolgen soll.

Die Meldung wird durch den Benutzer quittiert. Alle Informationen werden mit Datum und Uhrzeit protokolliert. Messwerte werden solange aufsummiert, bis diese vom Administrator zurückgesetzt werden. Wichtige Informationen, Funktionen, Anzeigen und Eingaben:

Anmelden des Benutzers

Station für die der Wert überwacht werden soll

Typ des überwachten Wertes [Ah, Fläche, Laufzeit, etc.]

Bezeichnung des Wertes

Aktueller Wert (nicht editierbar) Grenzwert überschritten am

Anweisung, was im Falle der Grenzwertüberschreitung getan werden soll

Möglichkeit, das Protokoll einzusehen

bei der Anzeige des Protokolls wird zusätzlich das Feld "Quittiert am/durch" angezeigt

### 3.3.3 Identsystem mit Kartenleser

Das Identsystem dient zur Ab- und Abmeldung der Bediener und Anlagenführer. Jeder Bediener und Anlagenführer erhält eine persönliche Chipkarte, mit der er sich am Hauptterminal der Anlage an- und abmelden kann.

### 3.3.4 Standbyrechner

Das neue Leitsystem wird so aufgebaut, dass die Leitsystemapplikation auf dem Leitreechner installiert ist und durch einen zweiten Rechner der als Standbyrechner konfiguriert wird erweitert werden kann. Hardware Standbyrechner in der gleichen Ausführung wie der Leitreechner

1 Leitreechner mit folgender Ausstattung

- Pentium IV 631
  - Prozessor 3,0 GHz
  - 1GB RAM,
  - Harddisk 80 GB oder größer
  - CD RW / DVD Laufwerk 48x32x48x16xATAPI
  - Betriebssystem Windows XP Pro deutsch
  - Länderbeipack Scenic W (D)
  - Standard Keyboard KBPC SX D
  - Optische Wheel Maus PS/2
  - Netzwerkanschluss
  - USB-Schnittstelle
  - Highspeed Modem
  - externe Festplatte zur Datensicherung
- 1 17" TFT Monitor, Auflösung 1280 x 1024

## 1 USV

Funktionsweise:

Die anfallenden Daten werden regelmäßig auf den 2-ten Rechner geschrieben, so dass der 2-te Rechner bei Ausfall des 1-sten Rechners die Funktion des Leitrechners übernehmen kann. Dazu muss die Anlage lediglich in Grundstellung eingerichtet werden.

Rechner 1:

Anlagensteuerung

Datenbankreplikation auf 2-ten Rechner

Rechner 2: Funktion als Standbyrechner

Eingabe und Bearbeitung von Artikeldaten

Aufruf der Protokolle

Datenhaltung von ca. 4 Wochen

### 3.3.5 Archivierung

Artikeldaten und Trägerprotokolle können elektronisch archiviert werden. Dies ist vor allem dann erforderlich, wenn die Daten über Monate und Jahre hinweg für spätere Nachforschungen zur Verfügung stehen müssen. Die Hauptmerkmale der Langzeitarchivierung bestehen darin, dass die Daten auf einem externen Medium gesichert werden. Über das im Leitrechner implementierte CD-RW Laufwerk mit einem Speichervolumen von ca. 500MB erfolgt die Datenarchivierung. Die Datenarchivierung erfolgt online und wird durch das Leitsystem automatisch eingeleitet. Die Warenträgerprotokolle werden auf die CD kopiert. Empfehlenswert ist eine Sicherung der Daten einmal je Woche auf eine CD. Es steht dann für jede Kalenderwoche eine CD im Archiv zur Verfügung. Das Leitsystem informiert den Anlagenbetreiber über einen Wechsel der Speichermedien. Die archivierten Daten werden über ein Menü im Leitrechner angezeigt. Es besteht auch die Möglichkeit, archivierte Daten über einen mitgelieferten "Viewer" auf anderen Arbeitsplätzen darzustellen.

### 3.3.6 Datenexport

Ein Export von bestimmten Daten in einem Excel-lesbaren Format ist möglich und muss im Detail festgelegt werden.

### 3.3.7 Voroptimierung

Das Leitsystem bietet optional eine Optimierung der Einfahrreihenfolge, die um die Funktion der Voroptimierung für verschiedene Produkte unter Berücksichtigung von verfügbaren Warenträgergestellen erweitert werden kann. Details hierzu sind noch abzustimmen.

### 3.3.8 Hotlineservice

Über einen zusätzlichen Hotlinevertrag steht das aucos Serviceteam auch über die sonst üblichen Geschäftszeiten hinweg zur Verfügung. Der zu leistende Service bezieht sich auf die vorstehend genannte Steuerung und Leitsysteme. Er beinhaltet die Unterstützung bei Analyse und Beseitigung von auftretenden Problemen und Störungen.

Folgende Wahlmöglichkeiten für einen Hotlinevertrag stehen zur Verfügung:

- a) Mo - Fr von 16:30 bis 22:00Uhr
- b) Mo - Fr von 16:30 bis 22:00Uhr und von 6:00Uhr bis 8:00Uhr
- c) Mo - Fr von 16:30 bis 22:00Uhr und von 6:00Uhr bis 8:00Uhr und Samstags von 8:00Uhr bis 14:00Uhr
- d) 24h 7 Tage : Dieser Service besteht ganzjährig - mit Ausnahme der folgenden Tage: 24., 25., 26. und 31. Dezember sowie 1. Januar.

Auf Wunsch erstellen wir Ihnen gern ein entsprechendes Angebot

#### 1. Steuerungsumfang

Die technischen Inhalte und Funktionen haben wir in der beigefügten Steuerungsbeschreibung vom 18.10.2007 Vers. 1.0 zusammengefasst. Die Steuerungsbeschreibung liegt unserem Angebot zugrunde

#### 2. Angebotsumfang und Preise

Das Angebot beinhaltet das Windows Leitsystem und die Software der Simatic S7-Software für den derzeit vorliegenden Steuerungsumfang. Das Steuerungssystem ist so aufgebaut, dass spätere Anlagenerweiterungen problemlos möglich sind.

Unsere Leitsystem Software bietet eine Vielzahl zusätzlicher neuer Funktionen, die als Optionen angeboten werden können und unter 3.3 in der Steuerungsbeschreibung beschrieben sind. Unser Angebot enthält folgenden Lieferumfang:

#### 2.1 Technische Klärung mit Fa. MFT – Thoma

2.2 Erstellung der verbindlichen Steuerungsbeschreibung

2.3 Abstimmung der Steuerungsbeschreibung mit MFT – Thoma

2.4 Elektrokonstruktion für den Aufbau des Leitsystems

2.5 Lieferung folgender Hardware (siehe auch Steuerungsbeschreibung)  
- Leitrechner mit USV und Drucker  
- Netzwerkkomponenten

2.6 SPS Software

2.7 Leitsystem-Software

2.8 Vorstellung einer Leitrechnersimulation vor der Auslieferung und  
Inbetriebnahme

2.9 Dokumentation

Nicht enthalten:

PC-Schrank für das Leitsystem  
Inbetriebnahme und Anlaufbetreuung

3. Inbetriebnahme und Anlaufbetreuung

Die Inbetriebnahme und Anlaufbetreuung ist in den unter Punkt 2 genannten Kosten nicht enthalten. Wir rechnen mit einem Aufwand für die Inbetriebnahme von 3 Manntagen und weitere 2-3 Manntage für Schulung und Anlaufbetreuung und rechnen diese nach tatsächlichem Aufwand zu unseren Stundensätzen nach tatsächlichem Aufwand ab.

Voraussetzung für eine reibungslose Inbetriebnahme im Rahmen der o.g. Inbetriebnahmezeiten, ist die funktionstüchtige mech. und elek. Fertigstellung (inkl. Hardwaretest und funktionstüchtigem Anschluss für die Fernwartung) bis zum Inbetriebnahmetermin, sowie die uneingeschränkte Bereitstellung der Gesamtanlage für die Inbetriebnahmearbeiten.