

# Abschlussbericht

## **zum Vorhaben:**

Innovative und ressourcenschonende Fertigungstechnologie für die Herstellung von  
Stahlzargen

20250

## **Fördernehmer/-in:**

Wulf Zargen GmbH & Co. KG

## **Umweltbereich**

Integrierter Umweltschutz, Klimaschutz, Energie

## **Laufzeit des Vorhabens**

17.12.2012 – 31.03.2014

## **Autoren**

Andreas Wulf

Daniela Derißen, Ekkehard Wiechel, Marcus Lodde

Gefördert aus Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt,  
Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit

## **Datum der Erstellung**

04. Dezember 2014

## Berichts-Kennblatt

<b>Aktenzeichen UBA</b>	<b>Vorhaben-Nr.</b> 20250
<b>Titel des Vorhabens / Report Title</b>	
Innovative und ressourcenschonende Fertigungstechnologie für die Herstellung von Stahlzargen Innovative and resource efficient door frame processing technology	
<b>Autor(en), Name(n), Vorname(n)</b>	<b>Vorhabensbeginn</b>
Andreas Wulf, Wulf Zargen GmbH & Co. KG	17.12.2012
Daniela Derißen, Ekkehard Wiechel und Marcus Lodde, prisma consult GmbH / Effizienz-Agentur NRW	<b>Vorhabensende (Abschlussdatum):</b>
	31.03.2014
<b>Fördernehmer / -in (Name, Anschrift)</b>	<b>Veröffentlichungsdatum</b>
Wulf Zargen GmbH & Co. KG	04.12.2014
Zum Westtal 40	<b>Seitenzahl</b>
59609 Anröchte-Effeln	57
Gefördert im Rahmen des Umweltinnovationsprogramms des Bundesumweltministeriums	
<b>Kurzfassung / Summary</b>	
Mit dem Vorhaben sollte der Energieeinsatz und der Rohstoffbedarf für die Herstellung von Stahlzargen im Vergleich zum Stand der Technik wesentlich reduziert werden.	
Konkretes Ziel des Vorhabens war eine Reduktion des Verschnitts an Stahlblech um über 60 %, eine Einsparung des Verbrauchs an elektrischer Energie um 66 %, eine Senkung des Einsatzes von Hydrauliköl um 75 % und eine Lärminderung in der Produktionshalle von 79 auf 71 dB. Durch den deutlich verminderten Verbrauch an Vormaterial sowie Betriebsmitteln sollten zudem der indirekt damit verbundene CO <sub>2</sub> -Ausstoß gemindert werden.	
Zum Einsatz kommt eine vollautomatische, flexible Fertigungslinie zur Herstellung von Zargen, die sich dahingehend auszeichnet, kleinste Losgrößen ab Stückzahl 1 auftragsbezogen mit hoher Flexibilität zu produzieren. Im Rahmen dieser neuen Fertigungstechnologie können Joblisten flexibel auf der Stanzmaschine umgesetzt werden, d.h. es erfolgt eine automatische Zuschnittoptimierung der jeweiligen Blechtafel. Die Stanzmaschine optimiert den kompletten Auftragspool, den man ihr zur Verfügung gestellt hat und verteilt die Zuschnitte so möglichst optimal auf der Blechplatte, wobei vorher berechnet wird, welches Blechformat (Großformat) für eine optimale Verschachtelung jeweils aus dem Beladeturm entnommen werden muss. Dieser Punkt ist für die individuelle Fertigung von Stahlzargen ebenso als ein Novum zu betrachten wie die erheblich verbesserte Präzision der Bauteile.	
Die wesentlichen Umwelteffekte ergeben sich aus der Einsparung an Material und Energie im Herstellungsprozess. Die bessere Ausnutzung des Vormaterials (Stahlblech) wird sowohl durch die Zuschnittoptimierung als auch durch die Weiternutzung von Verschnittstücken, z. B. zur Fertigung von Anbauteilen, erreicht. Das durchgeführte Messprogramm hat bestätigt, dass die Fertigungsteile mit nahezu 100 % Gutanteil im Rahmen der innovativen Fertigungstechnologie	

erzeugt werden können. Bei herkömmlicher Fertigung lag der Gutanteil bei ca. 93 % über das gesamte Fertigungsspektrum. Es konnten somit in diesem Prozessabschnitt ca. 7 % Materialersparnis realisiert werden. Der Stahlverbrauch je Stück verkaufsfertiger Zarge konnte so um 3,3 kg/Stk auf 23,8 kg/Stk gegenüber dem bei konventioneller Fertigung geltenden Wert von 27,1 kg/Stk gesenkt werden. Dieses Ergebnis übertrifft den prognostizierten Einsparwert um 0,25 kg/Stk.

Bezogen auf eine Jahreskapazität von 60.000 Zargen können so insgesamt 200 t/a Verschnitt sowie 144.965 kWh/a elektrische Energie eingespart werden. Der Einsatz an Hydrauliköl wurde um 586 l/a auf 100 l/a gesenkt. Eine Lärminderung auf 71 dB konnte nicht erzielt werden, jedoch führen interne Arbeitsplatzorganisationen zu einer deutlichen Lärmsenkung für die Mitarbeiter. Insgesamt können durch die realisierte innovative Fertigungstechnologie 560,2 t/a CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Jahr bei einer Kapazität von 60.000 Zargen vermieden werden.

The undertaking focuses on an innovative steel door frame production process that realizes a significant reduction of the energy and material usage in comparison with state-of-the-art technology.

Ascertained aim of the undertaking were the reduction of the steel plates cut-off by more than 60 % , savings of 75 % in electric energy, a decrease of hydraulic fluid to the amount of 75 % and a noise reduction from 79 to 71 dB. The clearly reduced consumption of primary material and operating supplies should also cause the reduction of indirect carbon dioxide output. A fully automated and frame processing production line allows the job-oriented production of lot size 1 within enormous flexibility. The applied innovative production technology allows the flexible adaption of job lists on the punching machine which leads to an individual cut optimization of each steel plate. The punch engines optimization includes the entire given order pool. Therefore the dispersal of the cuttings happens in the best possible way. By that a calculation of the best possible steel plate size for the nesting the individual steel plate is taken out of the load magazine. As well as this feature the significantly improved precision of the produced components underlines the technologies level of innovation.

The essential environmental effects result from the reduction of material and energy in the production process. The improved utilization in primary material (steel plates) results from the optimized cutting and from using the cut-off for attachment parts. The new frame production technology realizes a share of nearly 100 % good parts. Conventional technology realized a share of good parts of about 93 % concerning the complete production. Within this process part nearly 7 % of the material usage was reduced. The steel consumption on a single frame is reduced from 27.1 kg a piece to 23.8 kg a piece i.e. 3.3 kg a piece. This result exceeds the forecast at about 0.25 kg a piece.

Related to the annual production capacity of 60,000 frames the possible savings are 200 t/a of steel plates as well as 144.965 kWh/a in electricity. The annual consumption of hydraulic fluid is to be reduced about 586 l to 100 l. The target values of 71 dB in noise reduction were not achieved although the reorganization of the operators positions lead to a significant reduction of the workers exposition to noise. Over all the innovative door frame production realizes a reduction of 560.2 t of carbon dioxide emission a year at capacity of 60,000 frames.

**Schlagwörter / Keywords**

Stahlzargenfertigung, flexible Fertigungslinie, Stanzmaschine, Losgröße 1, Verschnitt  
 door frame production, flexible production line, punching machine, Lot size 1, cut-off

<b>Anzahl der gelieferten Berichte</b>	<b>Sonstige Medien</b> EFA-Loseblattsammlung und Veröffentlichung
----------------------------------------	----------------------------------------------------------------------

<b>Papierform: 7</b> <b>Elektronischer Datenträger: 1</b>	im Internet geplant auf der Homepage: <a href="http://www.wulf-zargen.de">www.wulf-zargen.de</a>
--------------------------------------------------------------	-----------------------------------------------------------------------------------------------------

# Kurzfassung

## Ausgangssituation

Die großen Mitbewerber in der Stahlzargenfertigung wie z.B. die Firmen Hörmann, Novoferm, Domomoferm Gruppe mit BOS, BBE etc. fertigen alle nach dem gleichen Fertigungsschema: Größere Stückzahlen (vor allem Norm- und Standardzargen) werden vom Blech-Coil abgehaspelt, gerichtet und dann über eine Walzstraße zum passenden Profil gewalzt. Über eine Schlagschere wird die Gehrung angebracht, danach gehen die Profile zur weiteren, je nach Hersteller, maschinellen oder manuellen Weiterbearbeitung (Anpunkten der Funktionsteile, Verschweißen und Anbringen der Distanzwinkel, danach Lackierung mit einer entsprechenden Grundierung). Sonderanfertigungen, vor allem in kleinen Stückzahlen, werden auf die technisch gleiche oder ähnliche Art und Weise gefertigt, wie auch bei der Firma Wulf Zargen GmbH & Co.KG - im Folgenden kurz „Fa. Wulf“.

Nachfolgende Abbildung 1 veranschaulicht den Fertigungsablauf.

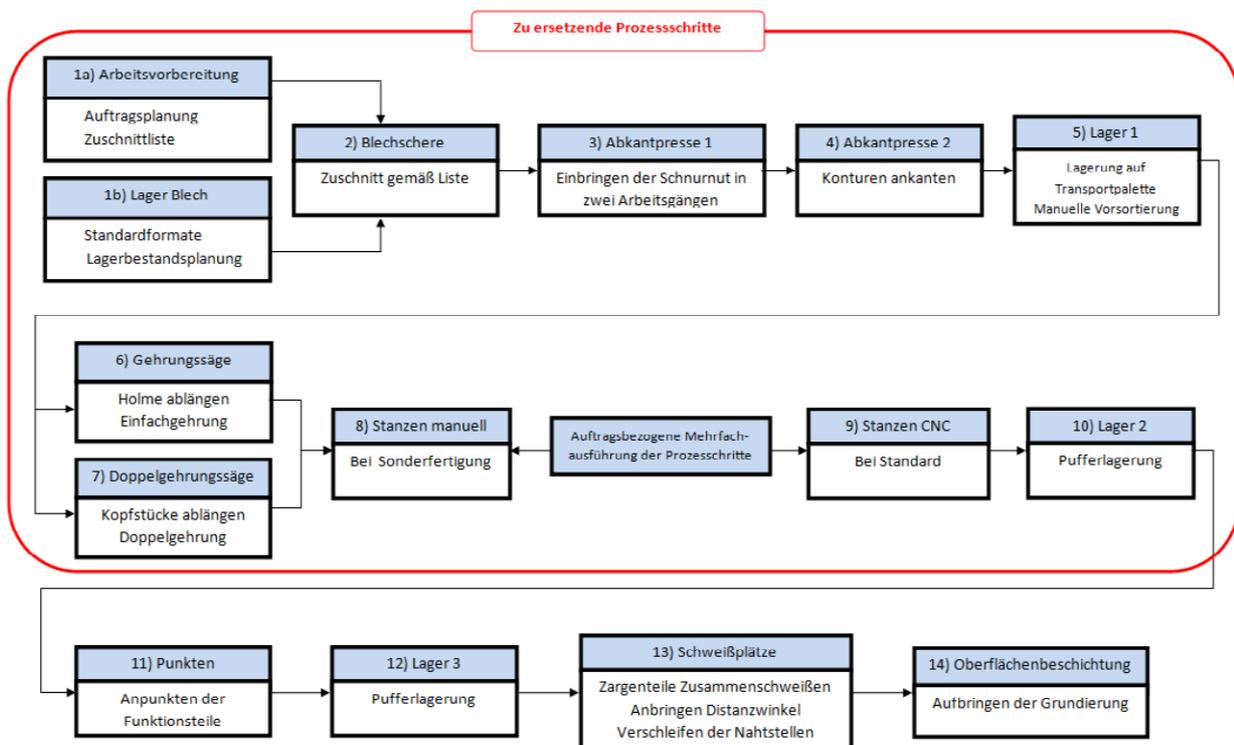


Abbildung 1: Individuelle Zargenfertigung vor Vorhabensumsetzung

Die Fa. Wulf fertigt alle Zargen aus Tafelmaterial in verschiedenen Längen (Breite immer 1.500 mm) und in den Blechdicken Nennmass 1,5 mm oder 2 mm. Die Blechtafeln werden zunächst in Blechstreifen geschnitten; deren Breite wird in Abhängigkeit von der Maulweite der zu fertigenden Zarge und dem zu fertigenden Zargentyp im Vorfeld berechnet und eine Zuschnittliste erstellt (vergl. Abbildung 1, Position 1a). Diese Zuschnittliste wird an die Blechschere gegeben (vergl. Abbildung 1, Position 2).

An der Abkantpresse wird zunächst in zwei Pressvorgängen die Schnurnut gekantet und das Profil wieder abgelegt (vergl. Abbildung 1, Position 3). Diese Profile werden anschließend zu einer weiteren Presse transportiert, wo dann die restlichen Konturen des Profils angekantet werden (vergl. Abbildung 1, Position 4).

Anschließend werden die Profile unter Berücksichtigung verschiedenster möglicher Bodeneinstände auf die passende Länge geschnitten, indem einseitig die Gehrungen gesägt werden (vergl. Abbildung 1, Position 6).

Danach werden die Profile wieder zwischengepuffert (vergl. Abbildung 1, Position 12) oder auf Transportpalletten gepackt und gehen an die unterschiedlichen Schweißplätze, wo die Teile manuell mittels Elektrode oder mittels Punktschweißung und anschließendem Anschweißen oder Anschrauben der Distanzwinkel zu kompletten Zargen zusammengefügt werden (vergl. Abbildung 1, Position 13).

Bei herkömmlicher Fertigung liegt der Gutanteil bei ca. 93 % über das gesamte Fertigungsspektrum. Es werden 27,1 kg/Stk Stahlverbrauch je Stück verkaufsfertiger Zarge benötigt; dabei beträgt der Verschnitt Stahlblech 300 t/a. Bezogen auf eine Jahreskapazität von 60.000 Zargen werden 205.103 kWh elektrische Energie sowie 686 l Hydrauliköl pro Jahr benötigt.

## **Ziel des Vorhabens**

Ziel des Vorhabens war es, die Produktivität bei der Fertigung von Stahlzargen zu erhöhen, Fertigungszeiten zu minimieren, ökologischer und ökonomischer zu arbeiten, Ressourcen zu schonen sowie das Arbeitsklima, den Arbeitsschutz und die Humanität am Arbeitsplatz zu verbessern. Eingesetzt werden Maschinenbaukomponenten die dem höchsten Qualitäts- und Umweltvorschriften entsprechen und die CE-Normen (Sicherheit, Ausführung, Konformität usw.) erfüllen.

Zum Zeitpunkt der Antragstellung wurden die nachfolgenden Umwelteffekte, bezogen auf eine Kapazität von 60.000 Zargen/a, erwartet:

- Reduktion des Verschnittes an Stahlblech von über 60 %
- Einsparung des Verbrauchs an elektrischer Energie um 66 %
- Senkung des Einsatzes von Hydrauliköl um 75 % durch den Einsatz von „Long Life Öl“ mit einer Lebensdauer von 36.000 h
- Lärminderung von 79 auf 71dB
- Werkzeuge mit hoher Standzeit (Carbid-Laseraufgeschweißt), Maschinenkomponenten mit Laufzeiten bis 50.000 h, hohe Lebensdauer der gesamten Anlage (20 Jahre)
- Minderung der (indirekt) mit der Zargenproduktion verbundenen CO<sub>2</sub>-Emissionen

Die nachfolgende Tabelle 1 zeigt die bei Antragstellung erwarteten spezifischen Umweltentlastungen je produzierter Zarge.

	Konventionelle Herstelltechnik	Neue Technik (Erwartung bei Antragstellung)	Differenz
Stahlverbrauch je Zarge (kg/Stk)	27,1	24,0	3,1
Energieverbrauch je Zarge (kWh/Stk)	5,9	1,2	4,7

Tabelle 1: Bei Antragstellung erwartete Umweltentlastungen – spezifische Verbräuche pro Zarge

Die nachfolgende Tabelle 2 zeigt die geplanten Umwelteffekte bei Antragstellung, bezogen auf eine Produktionsleistung von 60.000 Zargen pro Jahr.

	Konventionelle Herstelltechnik	Neue Technik (Erwartung bei Antragstellung)	Einsparung	Minderung der indirekt damit verbundenen CO <sub>2</sub> -Emissionen
Verschnitt Stahlblech (t/a)	300	115	185	442,0
Elektrische Energie (kWh/a)	205.103	70.000	135.103	74,0
Hydrauliköl (l/a)	686	100	586	3,8
Lärm (db)	79	71	8	k. A.
Gesamte CO <sub>2</sub> Einsparung geplant	–	–	–	519,8 t/a

Tabelle 2: Bei Antragstellung erwartete Umweltentlastungen – bezogen auf eine Produktionsleistung von 60.000 Zargen pro Jahr

## Technische Lösung

Die neuartige Fertigungstechnologie besteht aus den folgenden Baugruppenkomponenten: Der Blechbeladeturm (vergl. Abbildung 2, Position 1) vereinzelt die Bleche und führt sie automatisch der Stanzmaschine zu (vergl. Abbildung 2, Position 2). Dort werden, zur Minimierung des Verschnittes, die Bleche sinnvoll genestet und ausgestanzt. Jede einzelne Platine der Zarge wird vollautomatisch weitertransportiert, zentriert und dem Biegezentrum zugeführt (vergl. Abbildung 2, Positionen 3 - 5); anschließend werden verschiedenste Kantungen (Geometrien) ohne Rüstvorgang am Blech durchgeführt. Ein hochflexibler Handlingsroboter (vergl. Abbildung 2, Position 6) übernimmt die gekantete Zarge und führt sie der Abkantpresse zu, um die noch nachfolgenden Kantungen zu erledigen (vergl. Abbildung 2, Position 7). Danach wird die Zarge

auf einem „Ausschleuseband“ abgelegt (vergl. Abbildung 2, Position 8), um sie aus dem Sicherheitsbereich der Anlage auszuschleusen.

Von dort ist vorerst eine manuelle Entnahme und Weiterverarbeitung vorgesehen (vergl. Abbildung 2, Positionen 11 - 14). Die nachfolgende Abbildung 2 zeigt schematisch die individuelle Zargenfertigung nach der Vorhabensumsetzung.

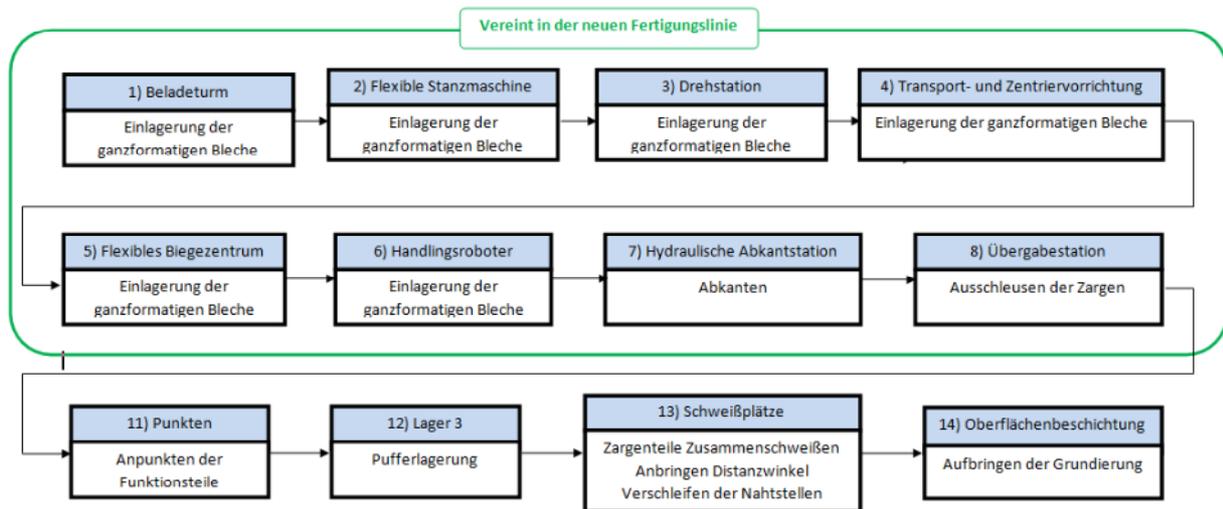


Abbildung 2: Individuelle Zargenfertigung nach Vorhabensumsetzung

## Ergebnisse aus technischer und wirtschaftlicher Sicht und hinsichtlich der Umweltentlastung

Die wesentlichen Umwelteffekte ergeben sich aus der Einsparung an Material und Energie im Herstellungsprozess. Die bessere Ausnutzung des Vormaterials (Stahlblech) wird sowohl durch die Zuschnittoptimierung als auch durch die Weiternutzung von Verschnittstücken, z. B. zur Fertigung von Anbauteilen, erreicht.

Die spezifischen Stahlverbräuche sowie der Verschnitt Stahlblech sind in nachfolgender Tabelle 3 zusammengefasst.

	Konventionelle Herstelltechnik	Neue Technik Geplant bei Antragstellung	Neue Technik Tatsächlich erreicht	tatsächlich erreichte Einsparung (konventioneller zu neuer Technik)
Stahlverbrauch je Zarge (kg/Stk)	27,10	24,00	23,77	3,33
Verschnitt Stahlblech je Zarge (kg/Stk)	4,93	1,92	1,60	3,40
Spezifischer Stromverbrauch je Zarge (kWh/Stk)	5,86	1,17	3,44	2,42
Hydrauliköl (ml/Stk)	11,4	≤1,7	≤1,7	≥ 9,8

Tabelle 3: Spezifische Verbräuche und Umweltentlastungen nach Vorhabensumsetzung

Die Berechnung der Einsparungen wird ausgehend vom „Stahlverbrauch je Zarge“ aus den Kerndaten vorgenommen, vergl. Tabelle 13. Wie die Messungen belegen, konnte der Stahlverbrauch je Stück verkaufsfertiger Zarge um 3,33 kg/Stk auf 23,77 kg/Stk. gegenüber dem bei konventioneller Fertigung geltenden Wert von 27,1 kg/Stk gesenkt werden. Dieses Ergebnis übertrifft den prognostizierten Einsparwert um 0,25 kg/Stk. Demnach lag die tatsächliche Zielerreichung im Bereich Reduktion Stahlverschnitt über den Erwartungen bei Antragstellung, währenddessen die tatsächliche Energieeinsparung deutlich geringer ausfiel.

Tabelle 4 zeigt die Umweltentlastungen bezogen auf eine Produktionsleistung von 60.000 Zargen/a pro Jahr.

	Konventionelle Herstelltechnik (60.000 Stk/a)	Neue Technik Tatsächlich erreicht (60.000 Stk./a)	Einsparung	Minderung der indirekt damit verbundenen CO <sub>2</sub> -Emissionen
Verschnitt Stahlblech (t/a)	295,8	96	199,8	477,52
Elektrische Energie (kWh/a)	351.605	206.641	144.965	78,86
Hydrauliköl (l/a)	686	100	586	3,77
Lärm (db)	79	78 (64*)	1 (15*)	k.A.

Tabelle 4: Tatsächlich erreichte Umweltentlastungen, bezogen auf eine Produktionsleistung von 60.000 Zargen pro Jahr

In Summe errechnet sich eine CO<sub>2</sub>-Einsparung in Höhe von 560,2 t/a.

Die Material- und Energieeinsparungen, bezogen auf eine Jahreskapazität von 60.000 Zargen, belaufen sich auf 191.395,60 € per anno, die kalkulatorischen Personaleinsparungen durch

verringerte Wartung und Stillstandszeiten auf 120.000 € per anno und erlauben eine statische Amortisation des Vorhabens nach ca. 10,3 Jahren. Die geplanten Gesamtkosten wurden um 61.332,49 € überschritten und betragen 2.556.844,27 €.

Nicht in die Amortisationsberechnung eingeflossen, aber von entscheidender Bedeutung für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung des Vorhabens sind die nachfolgenden Faktoren. Im Rahmen der neuen Fertigungstechnologie können die Joblisten flexibel auf der Stanzmaschine umgesetzt werden, d.h. es erfolgt eine automatische Zuschnittoptimierung der jeweiligen Blechtafel; Fertigungsfehler werden vermieden, welche bisher im ungünstigsten Fall erst beim Endkunden nach der Montage festgestellt wurden.

Die Stanzmaschine optimiert den kompletten Auftragspool, den man ihr zur Verfügung gestellt hat und verteilt die Zuschnitte so möglichst optimal auf der Blechplatte, wobei vorher berechnet wird, welches Blechformat (Großformat) für eine optimale Verschachtelung jeweils aus dem Beladeturm entnommen werden muss. Nach der Übergabestation sind fast alle technischen Kriterien des Endproduktes festgelegt, so dass die Fehlerwahrscheinlichkeit in den folgenden Arbeitsschritten minimiert ist. Dieser Punkt ist für die individuelle Fertigung von Stahlzargen ebenso als ein Novum zu betrachten wie die erheblich verbesserte Präzision der Bauteile.

Das innovative Fertigungsverfahren bietet zudem die Möglichkeit, Abfallteile nach dem Stanzen als Gutteile zu deklarieren. Diese Blechreste können direkt in der Fertigungsline weiter bearbeitet oder aber ausgeschleust werden. Es besteht die Möglichkeit, diesen Ausschuss an anderer Stelle weiterzuleiten, um Anbauteile, wie z.B. Anker, daraus zu fertigen. Aufgrund der niedrigen Durchlaufzeit, kann ein ausgeschleustes Teil umgehend für die weitere Bearbeitung verwendet werden; dies erhöht die Flexibilität in der Herstellung und reduziert den Fertiglagerbestand.

Zudem besteht die Möglichkeit über die neue Fertigungstechnologie deutlich komplexere Zargentypen zu fertigen und damit auf individuelle Kundennachfragen variabel reagieren zu können und zudem auch Spezialfertigungen erstellen zu können.

Vor dem Hintergrund dieser nicht in die Amortisationszeit eingerechneten Faktoren relativiert sich die auf den ersten Blick lange Amortisationszeit.

## **Übertragbarkeit / Maßnahmen zur Verbreitung der Projektergebnisse**

Der Modelcharakter des Vorhabens besteht in der abgestimmte Gesamtkonfiguration aller Einzelkomponenten, welche in ihrer Gesamtheit eine Herstellung von kleinen Losgrößen bei gleichzeitiger Ausschussminimierung, höchstem Qualitätsstandard, hoher Material- und Energieeffizienz, hoher Produktivität, niedrigen Durchlaufzeiten, absoluter Kostentransparenz in der Fertigung sowie humanen, ergonomischen Arbeitsplatzgestaltungen ermöglicht. Die mögliche Anwendung ist nicht nur auf die industrielle Produktion von Stahlzargen beschränkt, sondern kann auf beliebige Hersteller von stanz- und biegeaffinen Werkteilen übertragen werden, die einen kundenindividuellen Planungsaufwand mit Fehleranteilen sowie Ressourcenverbrauch haben, wie bei der Fa. Wulf dargestellt. Insbesondere sind hier Umformbetriebe zu nennen, welche Produkte fertigen, die auf Basis von Blechplatten individuelle Profile ab Losgröße 1 erzeugen. Diese sind beispielsweise in den Branchen Versorgungstechnik, Lüftungstechnik, Schaltschränke und Anlagenbau zu finden. Es ist von einer erheblichen Breitenwirkung auszugehen.

Die branchenspezifische Kommunikation dieses erfolgreichen Vorhabens erfolgt zum einen über die Kunden der Fa. Wulf GmbH. Darüber hinaus wird branchenrelevanten Zeitschriften, wie z.B. dem Blechmagazin, angeboten über die Anlage zu berichten. Zugleich wird diese

Verfahrensumsetzung auch in der Loseblattsammlung der Effizienz-Agentur NRW veröffentlicht sowie über den Branchenverband in die Öffentlichkeit getragen.

## Summary :

### Initial Situation:

All major competitors e.g Hörmann, Novoferm, Domoferm Groupe including BOS and BBW follow the conventional production principal of metal door frames: Taken from a steel coil standard profiles are produced on a rolling line in large lot sizes. The miter joint is processed by finishing jars before the further operation takes place manually as well mechanically. These processing steps are: spot-welding of the components, welding and mounting of the fastening angles, coating with primer. Custom-made frames are produced in the same way - especially when it comes to lower lot sizes. The conventional processing at the Wulf Zargen GmbH & Co.KG – further on named as „Fa.Wulf“ – follows this production scheme as shown in figure 3.

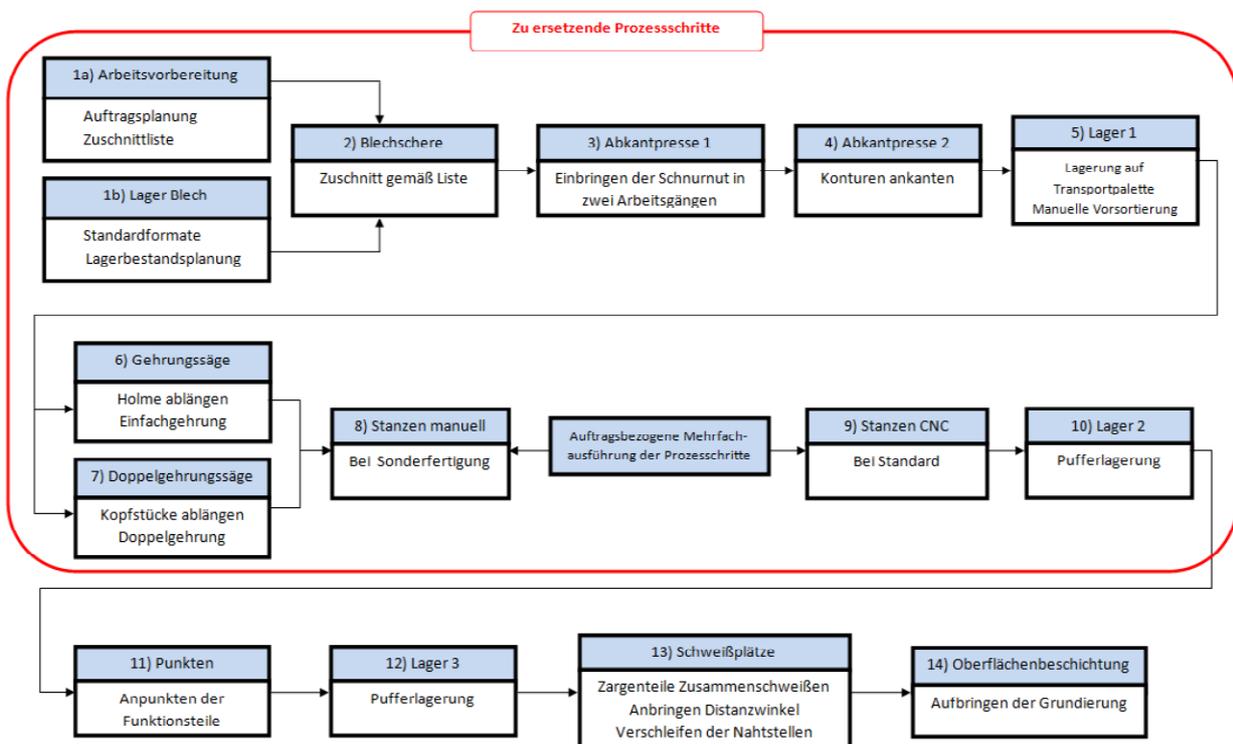


Figure 3: Conventional production of steel door frames

Steel door frames at Fa. Wulf are made of steel sheets with different lengths and a standard width of 1,500 mm. The sheets nominal thickness varies between 1,5 mm and 2 mm. At first the steel sheets are cut to the individual width that depends upon the rim width and the type of the targeted the steel door frame. A measurement list is to be generated (see figure 3, position 1a) and transferred to the sheet-iron shears (see figure 3, position 2).

Within two pressing steps the notch is brought and processed at the sheet metal bender (see figure 3, position 3). The semi-finished product is forwarded to another press where the final

outline of the profile is manufactured (see figure 3, position 4). The next process step the profiles are trimmed to length depending upon the floor recess by cutting a one-sided miter joint (see figure 3, position 6). Depending upon the material flow the profiles (see figure 3, position 12) are placed at an intermediate buffer or on transportation palettes. At different welding points the frame parts are connected whether by spot welding or dielectric welding. Also fastening angles are attached (see figure 3, position 13).

This conventional steel frame production scheme realizes an average share of 93 % good parts. 27,1 kg Steel is needed on one door frame. The annual amount of cut-off ads up to 300 t/a. Related to an annual output of 60,000 frames 205,103 kWh electricity and 686 l of hydraulic fluid are consumed.

**Project Aim:**

The undertaking focused on an increased productivity as well as on the reduction of production time in the steel frame production. But also a more economically and ecologically processing, the saving of resources and an improved working atmosphere were targeted. The machinery contains components that fulfill high quality, environment and CE standards.

The application aimed for the following environmental effects related to an annual output of 60,000 door frames:

- 60 % Reduction in steel plate cut-off
- Bring down the energy consumption about 66 %
- Lowering the needed hydraulic fluid about 75 % by using a long life fluid with a life time of 36,000 h
- Noise reduction from 79 to 71 dB
- More endurable tools with up to 50,000 h life time
- Reduction of the indirect carbon dioxide emission

The following chart 5 shows the expected specific environmental effects.

	Conventional Process	New Process (aimed at application)	Difference
Steel consumption apiece (kg/piece)	27,1	24,0	3,1
Energy consumption apiece (kWh/piece)	5,9	1,2	4,7

Table 5: Expected environmental effects at application door frame specific consumption

The following chart 6 shows the targeted environmental effects at application related to an annual output of 60,000 door frames.

	Conventional Process	New Process (aimed at application)	Savings	Reduction of carbon dioxide emission <sup>1</sup>
Steel consumption (t/a)	300	115	185	442,0
Energy consumption (kWh/a)	205.103	70.000	135.103	74,0
Hydraulic fluid (l/a)	686	100	586	3,8
Noice (db)	79	71	8	k. A.
Carbon dioxide reduction aimed	519,8 t/a			

Table 6: Expected environmental effects at application related to an annual output of 60,000 door frames

### Technical Solution:

The new processing technology contains the following parts: The Steel sheet magazine tower (see figure 4, Pos.1) separates the steel sheets and takes care for the transportation towards the punching machine (see figure 4, Pos. 2). At this point the nesting process realizes an optimized punching with a minimum of cut-off. The automatic transport moves the frame element to the bending center (see figure 4, Pos. 3-5) where versatile chamfers are applied without any setup-time. A highly flexible handling robot (see figure 4, Pos. 6) feeds the door frame part into the bending press where the final machining happens (see figure 4, Pos.7). Afterwards the door frame is placed on a lock-out belt (see figure 4, Pos. 8) and transported out of the security area of the machine. At this point the manual further processing starts (see figure 4, Pos. 11-14)

The following figure 4 shows the steel door processing after the implementation of the new process.

<sup>1</sup> Vergl. Hinweis Fussnote 1.

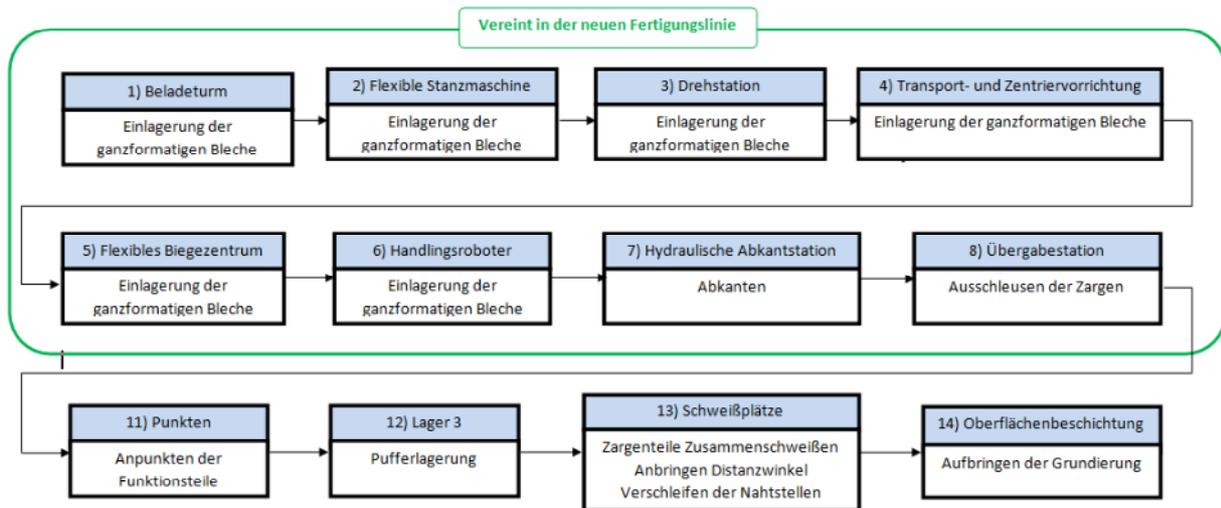


Figure 4: Individual door frame processing after implementation

### Results from a technical and economic perspective and the environmental benefit:

The essential environmental effects result from the savings in material and energy in the production process. The improved use of the primary material (steel sheets) is based on the optimized cutting as well as in the now possible use of former discarded metal.

The specific steel consumption and the cut-off is shown in the following chart 7.

	Conventional process	New process (aimed at application)	New process (reached results)	Reached results (conventional /new)
Steel consumption apiece (kg/piece)	27,10	24,00	23,77	3,33
Steel cut-off apiece (kg/piece)	4,93	1,92	1,60	3,40
Specific energy consumption (kWh/piece)	5,86	1,17	3,44	2,42
Hydraulic fluid (ml/piece)	11,4	≤1,7	≤1,7	≥ 9,8

Table 7: Specific consumption apiece steel door frame

The calculation of the savings is taken from the basic date (see also chart 13). The monitoring documents the reduction of steel consumption per door frame of 3,33 kg a piece at 23,77 kg a piece compared to the conventional processing that needed 27,11 kg a piece. This result beats the prognosis about 0,25 kg a piece. Therefore the realized reduction of steel consumption is higher than expected- although the saving in energy consumption is below the expected value.

Chart 8 shows the environmental improvement related to an annual output of 60,000 door frames.

	Conventional process (60,000 pieces/a)	New process Reached results (60,000 pieces/a)	Savings	Reduction on carbon dioxide emission
Verschnitt Stahlblech (t/a)	295,8	96	199,8	477,52
Elektrische Energie (kWh/a)	351.605	206.641	144.965	78,86
Hydrauliköl (l/a)	686	100	586	3,77
Lärm (db)	79	78 (64*)	1 (15*)	k.A.

Tabelle 8: Reached results related to an annual output of 60,000 door frames

The summed up carbon dioxide saving is at 560,2 t/a.

The savings in material and energy related to an annual output of 60,000 door frames sum up to 191,395.60 € a year. The calculated savings in stuff costs resulting from reduced maintenance are 120,000€ a year. The planed over all costs were exceeded about 61,332.49 € and were finally 2,556,844.27 €.

The following points were not considered for the payback period rule although they have a significant influence on the cost effectiveness of the undertaking. The new processing technology allows flexible job lists on the punching machine. Therefore a nesting is possible for each steel sheet. This avoids errors that, in worst case scenario, formerly appeared at the stage of application at customer site.

The punching machine optimizes the entire order pool and places the different shapes in the most material efficient way on each steel sheet. Previously the best fitting steel sheet buffered at the steel plate magazine is calculated for an optimized nesting. Beyond the transfer station nearly every technical detail of the final product is defined. Therefore the possibility of errors in the following processing steps is minimized. This feature is as well as the extremely high precision of the components is to be seen as a innovation in the production process of steel door frames.

Further on the innovative processing technology allows the use of formerly discarded material. The production line realizes the direct re-feed of steel sheet residuals and produce application parts from it. The low cycle time allows an immediately re-processing which improves the flexibility while reducing the stock of finished parts.

Moreover the new processing technology contains the option to produce steel door frames in a higher complexity. Therefore this gives the chance to fulfill customer demands in a flexible way.

The mentioned parameters put another perspective on the relatively long period of repayment.

## **Transferability / Measures to distribute the project's results**

The undertakings model characteristic belongs to the coordinated composite configuration of all machine components. Only the entirety of the components is responsible for the possibility of producing small lot sizes while reducing waste, the fulfillment of highest quality standards, the high level of resource efficiency, the high productivity, the minimized cycle-times, total transparency in processing costs and the ergonomic an human-engineered.

The possible application is not only to be seen in the industrial processing of steel door frames. A transfer to producers of punched and bended components is possible, especially if their process contains a customer individual afford in planning combined with high probability of errors and resource consumption.

Especially metal forming companies that produce products based on steel sheets with various profiles and lot size one are to be considered. They are to be found in the branches: supply engineering, ventilation engineering, control cabinet construction, and plant construction. An enormous broad effect is to be assumed.

The branch related communication of this successful undertaking will be done as well via Fa. Wulfs customers as by placing a report within a branch related magazine (e.g. Blechmagazin). Further on a best-practice-reference-sheet is to be created by the Effizienz-Agentur NRW . A publication with the branch association will also create publicity as well.

## **Inhaltsverzeichnis**

Berichts-Kennblatt .....	2
Kurzfassung.....	5
Summary : .....	11
Abbildungsverzeichnis .....	18
Tabellenverzeichnis .....	19
1. Einleitung .....	20
1.1 Kurzbeschreibung des Unternehmens.....	20
1.2 Ausgangssituation.....	21
2. Vorhabensumsetzung .....	22
2.1 Ziel des Vorhabens .....	22
2.2 Darstellung der technischen Lösung (Auslegung und Leistungsdaten) .....	24
2.3 Darstellung der Umsetzung des Vorhabens.....	32
2.4 Behördliche Anforderungen (Genehmigungen).....	40
2.5 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten .....	41
3. Ergebnisse .....	43
3.1 Bewertung der Vorhabensdurchführung .....	43
3.2 Durchführung und Ergebnisse des Messprogramms .....	44
3.3 Umweltbilanz.....	50
3.4 Wirtschaftlichkeitsanalyse .....	51
3.5 Technischer Vergleich zu konventionellem Verfahren .....	54
4. Empfehlungen.....	55
4.1 Erfahrungen aus der Praxiseinführung .....	55
4.2 Modellcharakter .....	55
4.3 Zusammenfassung .....	56
Anlagenverzeichnis.....	57

## Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1:	Individuelle Zargenfertigung vor Vorhabensumsetzung.....	5
Abbildung 2:	Individuelle Zargenfertigung nach Vorhabensumsetzung.....	8
Figure 3:	Conventional production of steel door frames .....	11
Figure 4:	Individual door frame processing after implementaion .....	14
Abbildung 5:	Betriebsgelände am Standort Anröchte.....	20
Abbildung 6:	Individuelle Zargenfertigung vor Vorhabensumsetzung.....	21
Abbildung 7:	Aufstellungsplan Zargenfertigung nach Vorhabensumsetzung (Erläuterungen der nummerierten Einzelpositiionen siehe nachfolgender Text) .....	25
Abbildung 8:	Beladeturm, Aufnahme vom 14.07.2014 .....	26
Abbildung 9:	Stanzmaschine, Aufnahme vom 14.07.2014 .....	27
Abbildung 10:	Drehstation, Aufnahme vom 14.07.2014 .....	28
Abbildung 11:	Transport und Zentriervorrichtung mit Bürstenstation, Aufnahme vom 14.07.2014 .....	28
Abbildung 12:	Im Hintergrund das Biegezentrum und vorne der Handlingsroboter, Aufnahme vom 14.07.2014 .....	29
Abbildung 13:	Abkantpresse und Handlingsroboter, Aufnahme vom 14.07.2014 .....	30
Abbildung 14:	Rechts die Abkantpresse und mittig der Handlingsroboter, Aufnahme vom 14.07.2014.....	30
Abbildung 15:	Förderband mit Ausschleusstation, Aufnahme vom 14.07.2014 .....	31
Abbildung 16:	Gesamtüberblick (Panoramabild) der Anlage, Aufnahme vom 11.07.2014 .....	31
Abbildung 17:	Projektplan .....	32
Abbildung 18:	Anlieferung der Maschinenkomponenten, Aufnahme vom 08.04.2013	33
Abbildung 19:	Aufstellung der Anlagenkomponenten, Aufnahme vom 10.04.2013....	34
Abbildung 20:	Aufstellungs- und Montagearbeiten, rechts im Bild ist die Stanzmaschine dargestellt, Aufnahme vom 13.04.2013.....	34
Abbildung 21:	Aufstellung der Presse, Aufnahme vom 16.04.2013.....	35
Abbildung 22:	Montage der Stanzmaschine, Aufnahme vom 18.04.2013 .....	35
Abbildung 23:	Montage Transportband und Biegemschine, Aufnahme vom 15.04.2013 .....	36
Abbildung 24:	Aufstellung Blechturm, Aufnahme vom 15.04.2013.....	36
Abbildung 25:	Mittlerer und hinterer Teil der Anlage im Aufbau, Aufnahme vom 23.05.2013 .....	37
Abbildung 26:	Geometrie einer gestanzten Gehrung, Aufnahme aus September 2013 .....	38
Abbildung 27:	Gehrung nach Kanten und Abkantpresse, Aufnahme aus September 2013 .....	38
Abbildung 28:	Auftrag wird aus dem ERP-System ausgelesen und in einem Ordner auf dem Server abgelegt .....	39
Abbildung 29:	Beispiel eines Nestings im MetalNest.....	40
Abbildung 30:	Messstellenplan zur Ermittlung der tatsächlich erreichten Umwelteffekte bei Antragstellung.....	41
Abbildung 31:	Entwicklung der auftragsbezogenen Leistungsaufnahme in den ersten 8 Monaten nach Inbetriebnahme.....	47

## Tabellenverzeichnis

Tabelle 1:	Bei Antragstellung erwartete Umweltentlastungen – spezifische Verbräuche pro Zarge.....	7
Tabelle 2:	Bei Antragstellung erwartete Umweltentlastungen – bezogen auf eine Produktionsleistung von 60.000 Zargen pro Jahr .....	7
Tabelle 3:	Spezifische Verbräuche und Umweltentlastungen nach Vorhabensumsetzung.....	9
Tabelle 4:	Tatsächlich erreichte Umweltentlastungen, bezogen auf eine Produktionsleistung von 60.000 Zargen pro Jahr .....	9
Table 5:	Expected enviromental effects at application door frame specific consumption .....	12
Table 6:	Expected environmental effects at application related to an annual output of 60,000 door frames.....	13
Table 7:	Specific consupmtion apiece steel door frame .....	14
Table 8:	Reached results related to an annual output of 60,000 door frames .....	15
Tabelle 9:	Bei Antragstellung erwartete spezifische Verbräuche und Umweltentlastungen je Zarge .....	23
Tabelle 10:	Bei Antragstellung erwartete Umwelteffekte durch die neue Zargenfertigung .....	24
Tabelle 11:	Teilvorhaben gem. Zuwendungsbescheid vom 02.04.2013.....	32
Tabelle 12:	Ermittelte Messresultate für den Zeitraum September 2013 bis April 2014 .....	44
Tabelle 13:	Spezifische Verbräuche und Umweltentlastungen nach Vorhabensumsetzung.....	44
Tabelle 14:	Absolute Stahlverbräuche und Schrottanteile bezogen auf 35.000 Zargen/a .....	45
Tabelle 15:	Absolute Stahlverbräuche und Schrottanteile bezogen auf 60.000 Zargen/a .....	46
Tabelle 16:	Mengenabhängige und absolute Stromverbräuche .....	46
Tabelle 17:	CO <sub>2</sub> -Emission je Zarge bei konventioneller und innovativer Fertigungstechnologie .....	49
Tabelle 18:	Gegenüberstellung der vermiedenen CO <sub>2</sub> -Emissionen bei konventioneller und innovativer Fertigung .....	49
Tabelle 19:	Spezifische Verbräuche und Umweltentlastungen nach Vorhabensumsetzung.....	50
Tabelle 20:	Umwelteffekte neue Zargenfertigung nach Vorhabensumsetzung .....	51
Tabelle 21:	Erwartete Kosteneinsparungen zum Zeitpunkt der Antragstellung, bezogen auf eine Produktionsleistung von 60.000 Zargen pro Jahr .....	52
Tabelle 22:	Tatsächliche Kosteneinsparungenlaut Messprogramm, hochgerechnet auf 60.000 Zargen pro Jahr .....	52
Tabelle 23:	Vergleichende Übersicht der Amortisationsrechnung bei Antragstellung	53

# 1. Einleitung

## 1.1 Kurzbeschreibung des Unternehmens

Die Firma Wulf Zargen GmbH & Co.KG fertigt seit 1963, also seit 50 Jahren, Stahlzargen und ist ein auf die Fertigung von Sonder-Stahlzargen spezialisiertes Unternehmen. Stahlzargen werden im Wohnungsbau, im Industriebau (Büros und Produktionsstätten), Hotels, Krankenhäuser, Seniorenheimen usw. eingesetzt, also überall dort, wo es um Stabilität, Haltbarkeit, Langlebigkeit und Unempfindlichkeit geht. Der Vertrieb der Produkte erfolgt im Wesentlichen über verbundene Fachhandelsunternehmen oder aber auch direkt an Montageunternehmen. Das Unternehmen selber existiert (angefangen als Landschmiede 1772) bereits seit 240 Jahren. Das Unternehmen beschäftigt am Standort Anröchte 23 Mitarbeiter. Es handelt sich um ein inhabergeführtes Familienunternehmen, dessen Umsatz im Jahr 2011 ca. 2,7 Mio. € und die Bilanzsumme ca. 1,3 Mio. € betrug.

Es gibt die Fa. Wulf als Produktionsunternehmen und die Wulf Handelsgesellschaft mbH als Verkaufsunternehmen. Der einzige Kunde der Fa. Wulf ist die Fa. Wulf Handel, welche mit 9 Mitarbeitern einen Jahresumsatz in 2011 von ca. 3,6 Mio. € erzielte. Sie agiert am Markt als Verkäuferin der Erzeugnisse der Firma Wulf Zargen GmbH & Co.KG. Im Firmenverbund wurden im Jahr 2013 32 Mitarbeiter beschäftigt.

Insgesamt hat das Unternehmen im Jahr 2011 ca. 949 t Stahlblech in 4 verschiedenen Sorten Stahl verarbeitet (verzinktes Material in 1,5 mm und 2 mm ca. 936 t und Edelstahl in 1,5 mm in den Güten V2A und V4A ca. 13 t). Die Fa. Wulf hat sich spezialisiert auf Sonderanfertigungen (sog. Sonderzargen) mit Fertigungslosen ab Stückzahl 1.

Auf der nachfolgenden Abbildung ist das Betriebsgelände am Standort Anröchte dargestellt.



Abbildung 5: Betriebsgelände am Standort Anröchte

## 1.2 Ausgangssituation

Die großen Mitbewerber in der Stahlzargenfertigung wie z.B. die Firmen Hörmann, Novoferm, Domomoferm Gruppe mit BOS, BBE etc fertigen alle – wie die Fa. Wulf - nach dem gleichen Fertigungsschema, wie die nachfolgende Abbildung 6 verdeutlichen soll.

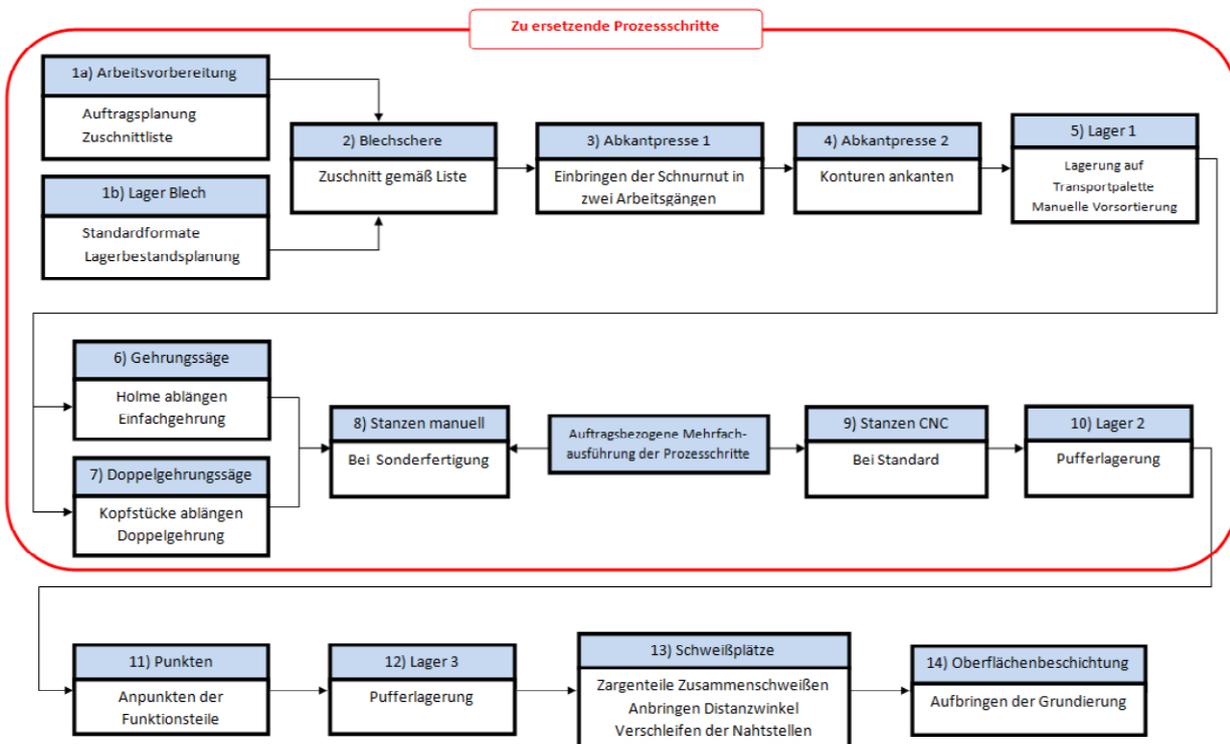


Abbildung 6: Individuelle Zargenfertigung vor Vorhabensumsetzung

Größere Stückzahlen (vor allem Norm- und Standardzargen) werden vom Blech-Coil abgehaspelt, gerichtet und über eine Walzstraße zum passenden Profil gewalzt; über eine Schlagschere wird die Gehrung angebracht, danach gehen die Profile zur weiteren, je nach Hersteller maschinellen oder manuellen Weiterbearbeitung (Anpunkten der Funktionsteile, Verschweißen und Anbringen der Distanzwinkel, danach Lackierung mit einer entsprechenden Grundierung). Sonderanfertigungen, vor allem in kleinen Stückzahlen, werden auf die technisch gleiche oder ähnliche Art und Weise gefertigt.

Fa. Wulf fertigt alle Zargen aus Tafelmaterial in verschiedenen Längen (Breite immer 1.500 mm) und in den Blechdicken Nennmaß 1,5 mm oder 2 mm. Die Blechtafeln werden zunächst in Blechstreifen geschnitten; deren Breite wird in Abhängigkeit von der Maulweite der zu fertigenden Zarge und dem zu fertigenden Zargentyp im Vorfeld berechnet und eine Zuschnittliste erstellt (vergl. Abbildung 6, Position 1a). Diese Zuschnittliste wird an die Blechschiere gegeben (vergl. Abbildung 6, Position 2). Dort werden die entsprechenden Blechformate von einem verfahrbaren Gestell entnommen (vergl. Abbildung 6, Position 1b). Die Zuschnittdaten werden manuell in die Blechschiere eingetippt und in der passenden Stückzahl geschnitten. Es werden Blechlängen von 2.060 mm bis zu 3.050 mm (Breite immer 1.500 mm) verarbeitet.

Danach werden diese Zuschnitte an eine passende Abkantpresse gefahren. Dort wird zunächst in zwei Pressvorgängen die Schnurnut gekantet und das Profil wieder abgelegt (vergl. Abbildung 6, Position 3). Diese Profile werden anschließend zu einer weiteren Presse

transportiert, wo dann die restlichen Konturen des Profils angekantet werden (vergl. Abbildung 6, Position 4). Dann werden diese nun fertig gekanteten Profile wieder auf einer Transportpalette abgelegt und zwischengelagert (vergl. Abbildung 6, Position 5). Je nach Verweildauer am Zwischenlagerplatz müssen diese vor dem Weitertransport noch manuell sortiert werden.

Wenn die Profile benötigt werden, werden diese zur Weiterbearbeitung in den Fertigungsbereich Sägen/Punkten/Stanzen transportiert. Hier werden zunächst die Profile unter Berücksichtigung verschiedenster möglicher Bodeneinstände auf die passende Länge geschnitten, indem einseitig die Gehrungen gesägt werden (vergl. Abbildung 6, Position 6). Kopfstücke werden separat auf einer Doppel-Gehrungssäge gesägt (vergl. Abbildung 6, Position 7). Danach werden die Holme entweder manuell (bei Sonderstanzen vergl. Abbildung 6, Position 8) oder auf einer CNC Stanze gestanzt (vergl. Abbildung 6, Position 9) wobei der Mitarbeiter die entsprechenden Parameter jeweils in die Anlage eintippen muss. Je nach Komplexität der Zargenausführung, werden die Profile noch einmal ausgeschleust, um manuell Sonderstanzen (Ausnehmungen für 3-fach-Verriegelungen, Rundlochungen etc.) einzubringen.

Nach dem Stanzen laufen die Profile in einen Puffer (vergl. Abbildung 6, Position 10); aus diesem Puffer werden sie entnommen, um Funktionsteile anzupunkten, z.B. die Bandtaschen, Schloßkasten, Anker etc. (vergl. Abbildung 6, Position 11). Danach werden die Profile wieder zwischengepuffert (vergl. Abbildung 6, Position 12) oder auf Transportpaletten gepackt und gehen an die unterschiedlichen Schweißplätze, wo die Teile dann manuell mittels Elektrode oder mittels Punktschweißung und anschließendem Anschweißen oder Anschrauben der Distanzwinkel zu kompletten Zargen zusammengefügt werden (vergl. Abbildung 6, Position 13). Anschließend werden die Zargen an den geschweißten oder gepunkteten Stellen noch verschliffen und danach an den Kettenförderer zur Grundierung gehängt (vergl. Abbildung 6, Position 14).

## **2. Vorhabensumsetzung**

### **2.1 Ziel des Vorhabens**

Das Vorhaben "Innovative und ressourcenschonende Fertigungstechnologie für die Herstellung von Stahlzargen" stellte die erstmalige industrielle Anwendung eines neuartigen Verfahrens dar. Ziel des Vorhabens war es ökologischer und ökonomischer zu arbeiten, Ressourcen zu schonen sowie das Arbeitsklima, den Arbeitsschutz und die Humanität am Arbeitsplatz zu verbessern. Eingesetzt werden Maschinenbaukomponenten die den höchsten Qualitäts- und Umweltvorschriften entsprechen und die CE-Normen (Sicherheit, Ausführung, Konformität usw.) erfüllen.

Zum Einsatz kommt eine vollautomatische, flexible Fertigungslinie zur Herstellung von Zargen, die sich dahingehend auszeichnet - kleinste Losgrößen ab Stückzahl 1 - auftragsbezogen mit hoher Flexibilität zu produzieren. Die Anlage wird an ein ERP-System angeschlossen; als komplexe Anwendungssoftware dient das ERP-System zur Unterstützung der Ressourcenplanung des gesamten Unternehmens. Somit können Fertigungspläne und Joblisten vollautomatisch generiert werden. Die Programmierung der Anlage erfolgt parametrisch.

Zum Zeitpunkt der Antragstellung wurden die nachfolgenden Umwelteffekte erwartet.

- Reduktion des Verschnittes an Stahlblech von über 60 %

- Einsparung des Verbrauchs an elektrischer Energie um 66 %
- Senkung des Einsatzes von Hydrauliköl um 75 % durch den Einsatz von „Long Life Öl“ mit einer Lebensdauer von 36.000 h
- Lärminderung von 79 auf 71 dB
- Werkzeuge mit hoher Standzeit (Carbid-Laseraufgeschweißt), Maschinenkomponenten mit Laufzeiten bis 50.000 h, hohe Lebensdauer der gesamten Anlage (20 Jahre)
- Minderung der (indirekt) mit der Zargenproduktion verbundenen CO<sub>2</sub>-Emissionen

Zugleich wurde eine Produktivitätsverbesserung um etwa 70 % erwartet, wodurch sich die Produktionskapazität des Werks von 35.000 Zargen pro Jahr auf bis zu 60.000 Zargen pro Jahr erhöhen sollte.

Die nachfolgende Tabelle 9 zeigt die bei Antragstellung erwarteten spezifischen Umweltentlastungen je produzierter Zarge.

	Konventionelle Herstelltechnik	Neue Technik (Erwartung bei Antragstellung)	Einsparung	CO <sub>2</sub> Einparung*
Stahlverbrauch je Zarge (kg/Stk)	27,1	24,0	3,1	7,41
Verschnitt Stahlblech je Zarge (kg/Stk)	5,0	1,9	3,1	7,41
Energieverbrauch je Zarge (kWh/Stk)	5,9	1,17	4,73	2,57
Gesamte CO <sub>2</sub> Einparung je Zarge (kg/Stk)				9,98

\* Die im Antrag verwendeten CO<sub>2</sub>-Äquivalente wurden im Rahmen der Berichterstellung aktualisiert. Um eine Vergleichbarkeit zu ermöglichen, sind die Antragsprognosen auf Basis der aktualisierten CO<sub>2</sub>-Äquivalente dargestellt, vergl. 3.3 Umweltbilanz

Tabelle 9: Bei Antragstellung erwartete spezifische Verbräuche und Umweltentlastungen je Zarge

Der Einsatz der individuell für die Anlage entwickelten Software sollte einen idealen, verschnittoptimierten Materialeinsatz und eine Senkung der Fehlerquote nahe an eine Nullfehlerproduktion erlauben. Das innovative Fertigungsverfahren bietet zudem die Möglichkeit, Abfallteile nach dem Stanzen als Gutteile zu deklarieren. Diese Blechreste können direkt in der Fertigungslinie weiter bearbeitet oder aber ausgeschleust werden. Es besteht die Möglichkeit, diesen Ausschuss an anderer Stelle weiterzuleiten, um Anbauteile, wie z.B. Anker, daraus zu fertigen.

In Verbindung mit der Einsparung mehrerer kompletter Arbeitsschritte, der erhöhten Präzision der Maschinen und dem ressourcenoptimierten Workflow, sollte der durchschnittliche Stahlverbrauch je Fertigprodukt von heute 27,1 kg auf 24,0 kg reduziert werden. Mit Augenmerk auf die jahresbezogene Fertigungsmenge von 35.000 Stahlzargen war eine jährlich Reduktion des Stahlverbrauchs um 108 t Stahl durch Vermeidung von Verschnitt geplant. Unter

Berücksichtigung der erweiterten Produktionskapazität von künftig 60.000 Stück p.a., wurde eine Minderung des Stahlverschnitts von 185 t pro Jahr gegenüber konventioneller Fertigung prognostiziert. Das entspricht einer Verschnittreduktion von knapp 61 %.

Die Einsparung von elektrischer Energie an den Anlagenkomponenten sollte unter Berücksichtigung der neuen Fertigungstechnologie und des optimierten Materialflusses bei Reduktion der erforderlichen Anschlussleistung zu einer Reduktion des Stromverbrauchs von 135.103 kWh im Jahr führen. Das entspricht unter Einbeziehung der geplanten Kapazitätserweiterung einem Rückgang des spezifischen Stromverbrauchs je Tonne Fertigprodukt von 77 %. Trotz Kapazitätserweiterung um 25.000 Zargen sollte der absolute Stromverbrauch um 66 % sinken. Für den Betrieb der neuen Anlage sollte die erforderliche Menge an Hydrauliköl von 686 l/a auf 171 l/a und somit um 75 % reduziert werden.

Die Reduktion des Lärms war von 79 db auf 71 db geplant; eine Reduzierung um 10 % trägt in besonderem Maße zu einer Verbesserung der Arbeitsbedingungen für die Mitarbeiter bei. Dies gilt insbesondere, da sich der Schalldruckpegel als logarithmisches Maß definiert und eine Differenz von 10 db als eine Verdopplung der Lautstärke wahrgenommen wird.

Die nachfolgende Tabelle 10 zeigt die bei Antragstellung erwarteten Umwelteffekte bezogen auf eine Kapazität von 60.000 Zargen p.a.:

	Konventionelle Herstelltechnik	Neue Technik Geplant bei Antragstellung	Einsparung	CO <sub>2</sub> Einsparung*
Verschnitt Stahlblech (t/a)	300	115	185	442,0
Elektrische Energie (kWh/a)	205.103	70.000	135.103	74,0
Hydrauliköl (l/a)	686	171	514	3,8
Lärm (db)	79	71	8	k. A.
Gesamte CO <sub>2</sub> Einsparung	520 t/a			
* Die im Antrag verwendeten CO <sub>2</sub> -Äquivalente wurden im Rahmen der Berichterstellung aktualisiert. Um eine Vergleichbarkeit zu ermöglichen, sind die Antragsprognosen auf Basis der aktualisierten CO <sub>2</sub> -Äquivalente dargestellt, vergl. 3.3 Umweltbilanz				

Tabelle 10: Bei Antragstellung erwartete Umwelteffekte durch die neue Zargenfertigung

## 2.2 Darstellung der technischen Lösung (Auslegung und Leistungsdaten)

Die nachfolgende Abbildung des Aufstellungsplanes soll die jeweiligen Baugruppen der Anlage näher erläutern.

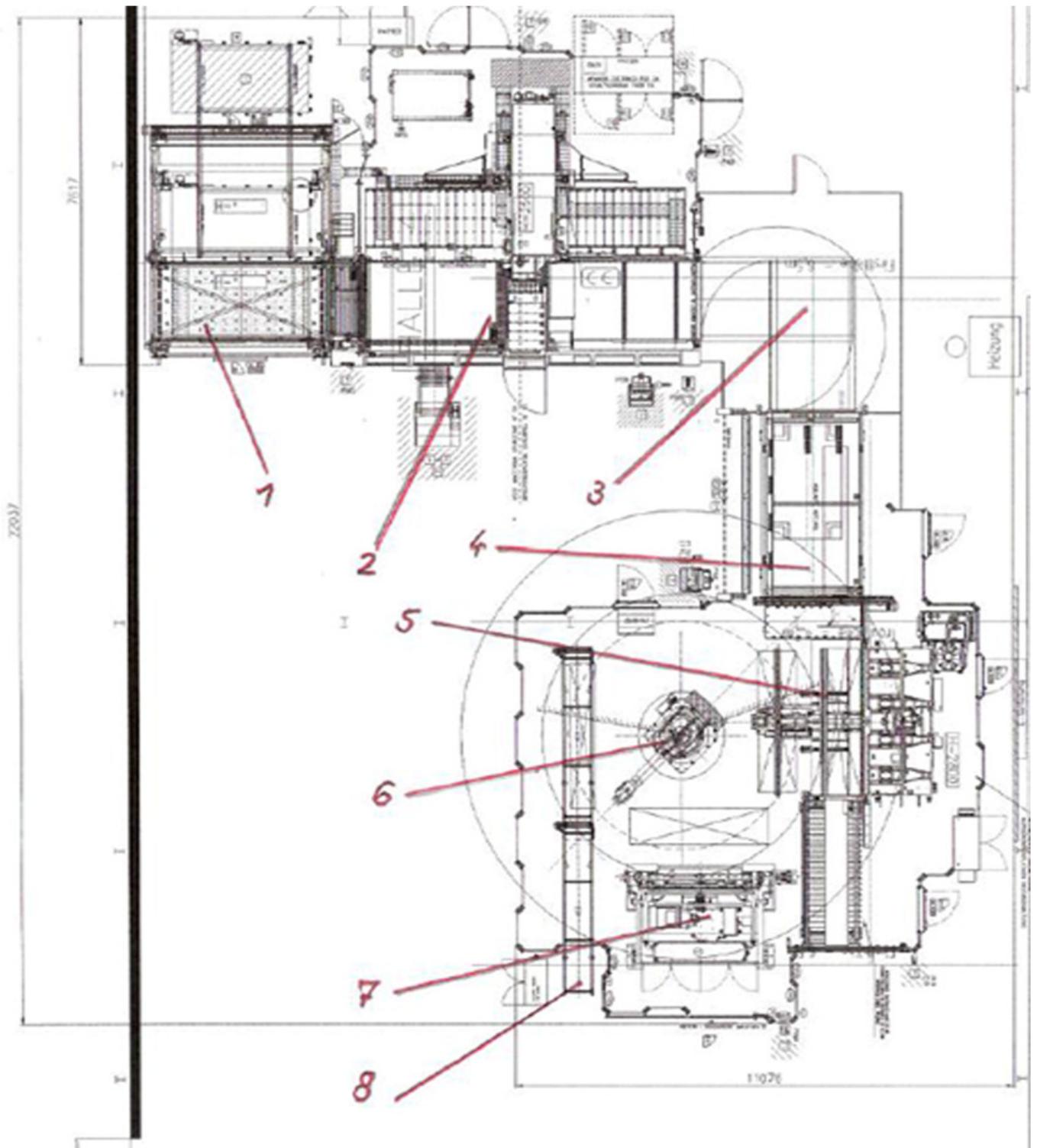


Abbildung 7: Aufstellungsplan Zargenfertigung nach Vorhabensumsetzung (Erläuterungen der nummerierten Einzelpositionen siehe nachfolgender Text)

Nachfolgend wird der Aufstellungsplan anhand der nummerierten Positionen beschrieben und mit Abbildungen der Anlagenkomponenten visualisiert.

Pos 1.

Am Beladeturm werden die Blechpakete (Großformat) über einen Tisch kontinuierlich in den Turm „einzeln“ eingelagert; dadurch ergibt sich eine hohe Flexibilität (Losgröße 1). Joblisten sind über das ERP-System und OPS generierbar. Aus diesem Turm werden dann die Ausgangstafeln einzeln dem Stanzsystem zugeführt. Priorität hat immer die Zuführung einer Tafel. Die automatische Generierung von Joblisten führt zu einer optimalen Ausnutzung der Blechformate. Neben dem Optimierungseffekt hinsichtlich der Materialverbräuche wird eine losgrößenbezogene Bestandsführung realisiert. Probleme, wie große Reststücke (wir benötigen für eine normale 1 Zarge immer 2,5 Blechlängen, je 1 Länge für die aufrechten Holme und  $\frac{1}{2}$  Länge für das Kopfstück, können aber derzeit immer nur in ganzen Blechlängen zuschneiden), werden somit ausgeschaltet.



Abbildung 8: Beladeturm, Aufnahme vom 14.07.2014

Pos. 2.

Die Joblisten werden auf der flexiblen Stanzmaschine umgesetzt, d.h. es erfolgt eine automatische Zuschnittoptimierung auf der jeweiligen Blechtafel. Die Stanzmaschine optimiert dabei den kompletten Auftragspool, den man ihr zur Verfügung gestellt hat und verteilt die Zuschnitte möglichst optimal auf der Blechplatte, wobei vorher berechnet wird, welches Blechformat (Großformat) für eine optimale Verschachtelung jeweils aus dem Beladeturm entnommen werden muss.

Die Stanzmaschine arbeitet so, dass sie am Ende eine komplette Zarge bestehend aus einem linken und einem rechten aufrechten Holm und dem dazugehörigen Kopfstück an die Biegemaschine weitergibt. Es kommen im weiteren Verlauf daher immer die Teile für eine komplette Zarge an. Die flexible Stanzmaschine besitzt einen Multifunktionsstanzkopf und eine Winkelschere zur schnellen, produktiven Herstellung der Zuschnitte inkl. Anstanzen der Gehrungen und Einbringen der Ausnehmungen für die Funktionsteile vor dem Biegeprozess.



Abbildung 9: Stanzmaschine, Aufnahme vom 14.07.2014

Pos 3.

Drehstation für das Drehen der gestanzten Platine um 90 Grad für den automatischen Weitertransport zum FrameBender (vergl. Position 5). Dieser Teil der Maschine ist dem vorhandenen Hallenlayout geschuldet, da die komplette Anlage nicht in einer Linie platziert werden kann.



Abbildung 10: Drehstation, Aufnahme vom 14.07.2014

Pos 4.

Transport und Zentriervorrichtung für die Platine zum Weitertransport zum FrameBender. Die Teile werden automatisch angenommen, zur Biegemaschine transportiert und gleichzeitig zentriert.



Abbildung 11: Transport und Zentriervorrichtung mit Bürstenstation, Aufnahme vom 14.07.2014

Pos 5.

Flexibles Biegezentrum (FrameBender) für Zargen zur Herstellung komplexer Biegegeometrien an Zargen; integriert sind automatische Bombierung, obere und untere Sonderbiegewangen, rotierende Bürsten zur Säuberung der Platine, Reinigungseinheit der Biegewangen, Übergabestation sowie Kundenanbindung. Die Biegemaschine erkennt, welches Material ankommt und misst vor der Bearbeitung die exakte Blechdicke. Entsprechend dieser Daten und der Länge des zu biegenden Werkstücks werden dann die Biegeparameter exakt für dieses Teil angepaßt, um eine optimale Verarbeitung zu gewährleisten.



Abbildung 12: Im Hintergrund das Biegezentrum und vorne der Handlingsroboter, Aufnahme vom 14.07.2014

Pos 6.

Handlingsroboter (vergl. Abbildung 13) für die vollautomatische (ohne Programmieraufwand) Übergabe zur Abkantpresse (vergl. auch Pos. 7). Zur Visualisierung des Handlingsroboters vergleiche auch die Abbildungen 12 bis 14.

Pos 7.

Hydraulische Abkantpresse zur weiteren Bearbeitung der Zargen, vergleiche Abbildungen 13 und 14, die auch den Handlingsroboter mit abbilden.



Abbildung 13: Abkantpresse und Handlingsroboter, Aufnahme vom 14.07.2014



Abbildung 14: Rechts die Abkantpresse und mittig der Handlingsroboter, Aufnahme vom 14.07.2014

Pos 8.

Übergabestation bestehend aus einem motorisierten Band für die Ausschleusung der Zargen aus dem Sicherheitsbereich der Anlage.



Abbildung 15: Förderband mit Ausschleusstation, Aufnahme vom 14.07.2014

Die Nachfolgende Abbildung 16 versucht im Rahmen eines Panoramabildes einen Gesamtüberblick über die Anlagenkomponenten zu geben.



Abbildung 16: Gesamtüberblick (Panoramabild) der Anlage, Aufnahme vom 11.07.2014

## 2.3 Darstellung der Umsetzung des Vorhabens

Die nachfolgende Abbildung 17 zeigt den zeitlichen Verlauf des Projektes.

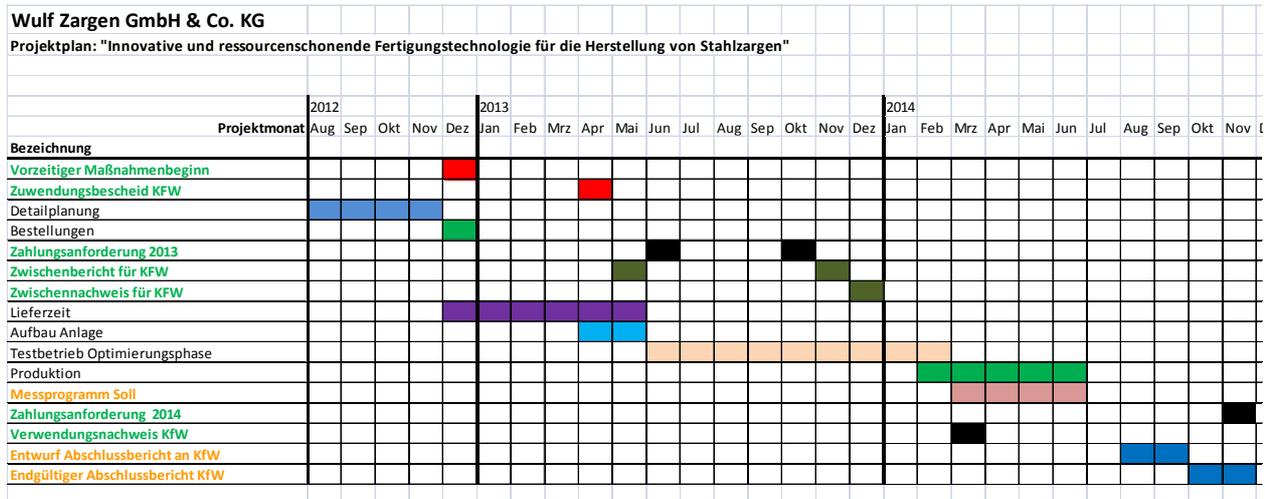


Abbildung 17: Projektplan

Die nachfolgende Tabelle 11 gibt einen Überblick über die Gliederung der Investitionen in Teilvorhaben, auf die im Weiteren Bezug genommen werden wird:

Teilvorhaben	
(1)	Bodenbelag
(2)	Schnellaufator
(3)	Anlage (Salvagnini)
(4)	Anstreicharbeiten
(5)	Elektrikarbeiten
(6)	Abladen Anlage, Kran, Aufstellen
(7)	Einarbeitung Mitarbeiter (Salvagnini)
(8)	Gehälter (inkl. Nebenkosten)
(9)	Löhne (inkl. Nebenkosten)

Tabelle 11: Teilvorhaben gem. Zuwendungsbescheid vom 02.04.2013

Nach Erteilung des förderunschädlichen Vorhabenbeginns zum 17.12.2012 wurde umgehend am 18.12.2012 beim Anlagenhersteller Salvagnini (Italien) die Bestellung ausgelöst. Diese zeitnahe Bestellung war erforderlich, da eine Anlagenaufstellung in der markttypischen ruhigeren Auftragslage (Winter/Frühjahr) erfolgen musste, da die Anlage in existierende Prozesse eingriff und interne Kapazitäten erforderte.

Ende Januar 2013 wurde die Halle leer geräumt. Um die Lichtverhältnisse für die Mitarbeiter zu optimieren, wurden die Wände und die Hallendecke weiß gestrichen. Mitte Februar 2013 wurde der Hallenboden aus Beton mit Kunststoff überzogen und beschichtet. Die Beschichtung war erforderlich, da der Kunststoffbelag weniger staubanfällig und dies von Vorteil für die

empfindliche Sensorik der neuen Anlage ist. Diese Kosten betreffen das Teilvorhaben 1, wurden jedoch aus Eigenmitteln getragen.

Am 25. und 26. März 2013 erfolgte die Abnahme der Anlage beim Werk Salvagnini in Italien, nachdem die Testung vorgegebener Teile erfolgreich verlaufen war. Anschließend wurde die Anlage abgebaut, verpackt und zur Auslieferung nach Anröchte vorbereitet.

Vom 08. bis 16. April 2013 erfolgte die Anlieferung der Anlagenteile mittels LKW. Die anschließende Aufbauphase wurde von vier Monteuren des Anlagenherstellers vorgenommen und war mit einer Zeitspanne von vier Wochen beplant.

Nachfolgende Abbildungen 18 bis 25 sollen die Stadien der Anlagenmontage visualisieren.



Abbildung 18: Anlieferung der Maschinenkomponenten, Aufnahme vom 08.04.2013



Abbildung 19: Aufstellung der Anlagenkomponenten, Aufnahme vom 10.04.2013



Abbildung 20: Aufstellungs- und Montagearbeiten, rechts im Bild ist die Stanzmaschine dargestellt, Aufnahme vom 13.04.2013



Abbildung 21: Aufstellung der Presse, Aufnahme vom 16.04.2013



Abbildung 22: Montage der Stanzmaschine, Aufnahme vom 18.04.2013



Abbildung 23: Montage Transportband und Biegemaschine, Aufnahme vom 15.04.2013



Abbildung 24: Aufstellung Blechturm, Aufnahme vom 15.04.2013

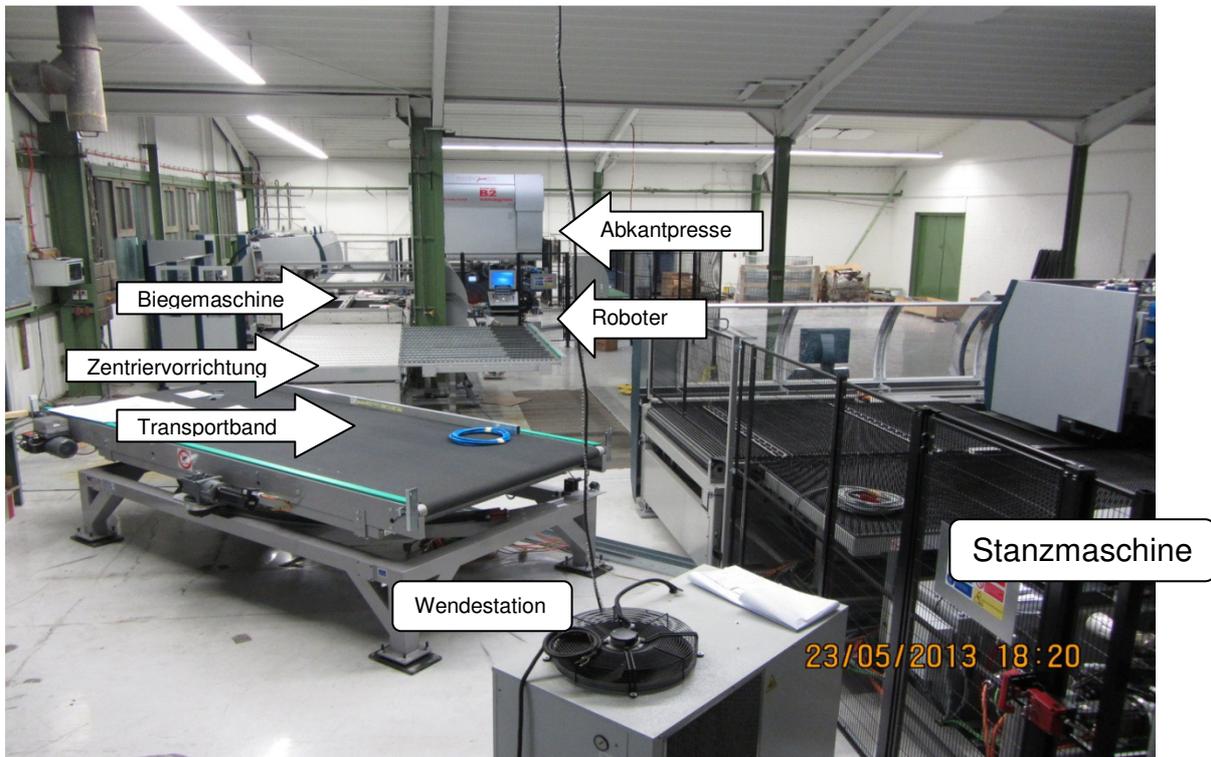


Abbildung 25: Mittlerer und hinterer Teil der Anlage im Aufbau, Aufnahme vom 23.05.2013

Nach Abschluss der Aufbau- und Montagephase zum 29.05.2013 lief zum 04.06.2013 die Test- und Einfahrphase an. Dazu wurden wir von der Firma Salvagnini mit einem Inbetriebnehmer für die Stanzmaschine, einem für die Biegemaschine und einem für den Roboter mit Abkantpresse unterstützt.

Zunächst wurden die Standardprofile 1,5 mm Blechdicke Typ UG/SUG programmiert und Muster erstellt. Diese Muster wurden von unseren Mitarbeitern vermessen und so lange optimiert, bis die aus unserer Sicht nötige Genauigkeit in Bezug auf die Maulweite über die Länge des Profils, die Ausführung der Schnurnut, die Falztiefe, die Masshaltigkeit der Putzkanten und Spiegel, Sitz der Falle-Riegel-Stanzung und Sitz der Bandstanzungen gegeben war. Dazu mussten für die Biegemaschine Alternativ-Programme in Abhängigkeit von der Länge der zu produzierenden Paneele erstellt werden. Dies war notwendig, da die Bombierung der Biegemaschine sowie das unterschiedliche Rückfederverhalten des Materials in Abhängigkeit von der Länge der jeweilig zu produzierenden Paneele zu berücksichtigen sind.

Parallel dazu wurden in Unterprogrammen die notwendigen Ausnahmen für verschiedene Bandaufnahmen, Falle-Riegel-Stanzung, Anschraub-Lochungen für Distanzwinkel, Schraublöcher für 2-schalige Zargen, Stanzbilder für die Gehrungen der Profiltypen programmiert. Wichtig war in diesem Zusammenhang, dass die Programmierung parametrisch vorgenommen wurde, d.h. dass nicht für jede Veränderung am Profil oder an der Zarge (→ Putzkante vorn, Putzkante hinten, Spiegel vorn, Spiegel hinten, Maulweite, ZFM-Höhe Gesamt, ZFM-Höhe Türmaß, ZFM-Breite, Bodeneinstand, Bandbezugslinie, Mittelabstand Bänder, Abstand 3.Bandtasche, Typ der Bandtaschen, Drückerhöhe, Abstand der Falle-Riegel-Stanzung von vorne, Anschlag, Schattennut ja oder nein usw.) zu einem neuem Programm führen sollte. Diese Variablen werden von dem Masterprogramm an Unterprogramme weitergegeben, die dann die Programmvariablen entsprechend belegen und dazu führen, dass am Ende ein korrektes Profil und eine richtige Zarge produziert wird.

Anschließend wurde der Profiltyp UGG/SUGG (Doppelfalz) programmiert sowie die 2-teilige Zarge, unser Typ UG-/SUG 2-schalig Typ 2.

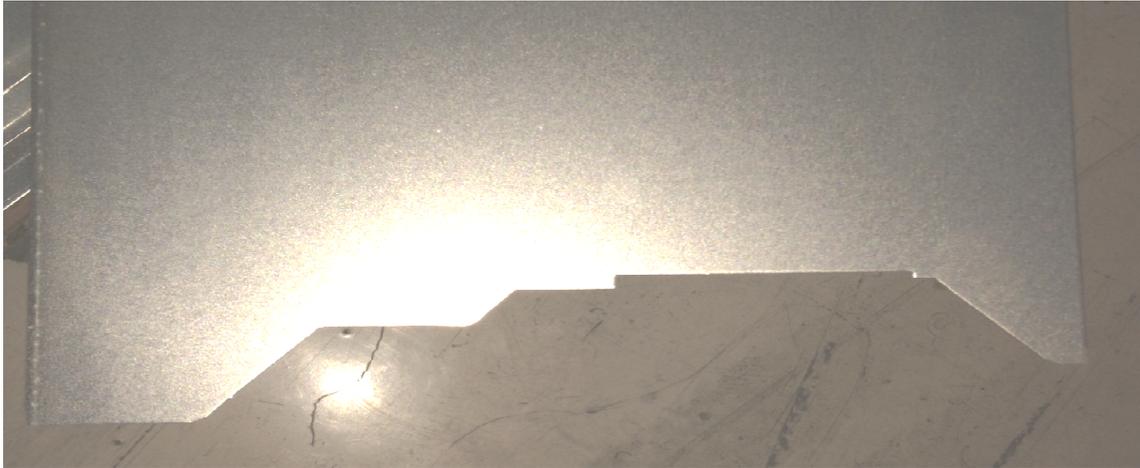


Abbildung 26: Geometrie einer gestanzten Gehrung, Aufnahme aus September 2013

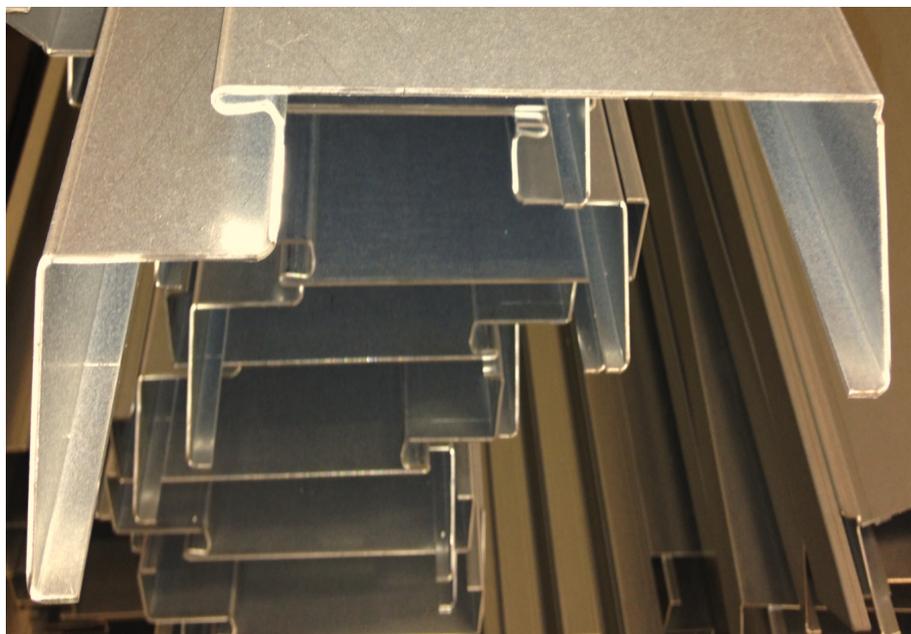


Abbildung 27: Gehrung nach Kanten und Abkantpresse, Aufnahme aus September 2013

Nach der Inbetriebnahme am 1. August 2013 haben wir mit der Fertigung von Aufträgen über die Linie begonnen und erste Messungen vorgenommen. Dazu wurden zunächst die Aufträge von Hand über das Softwaretool auf die Anlage übertragen, Einzelaufträge zusammengefasst und über das Nesting optimiert. Bei Abarbeitung der ersten Aufträge kam es vereinzelt zu Problemen, z.B. war der Materialturm nicht in der Lage, gleichzeitig die Stanzmaschine mit Blech zu versorgen und sich in den Pausen selber zu beladen. Diese Probleme konnte durch einige Software-Updates behoben werden.

Parallel zur Fertigung wurden die Programme optimiert und auftauchende Probleme analysiert und eliminiert. So war es ab dem 6. September 2013 möglich, Aufträge aus dem ERP-System in einen Ordner auf den Server zu exportieren, wie nachfolgende Abbildungen 28 und 29 darstellen sollen.

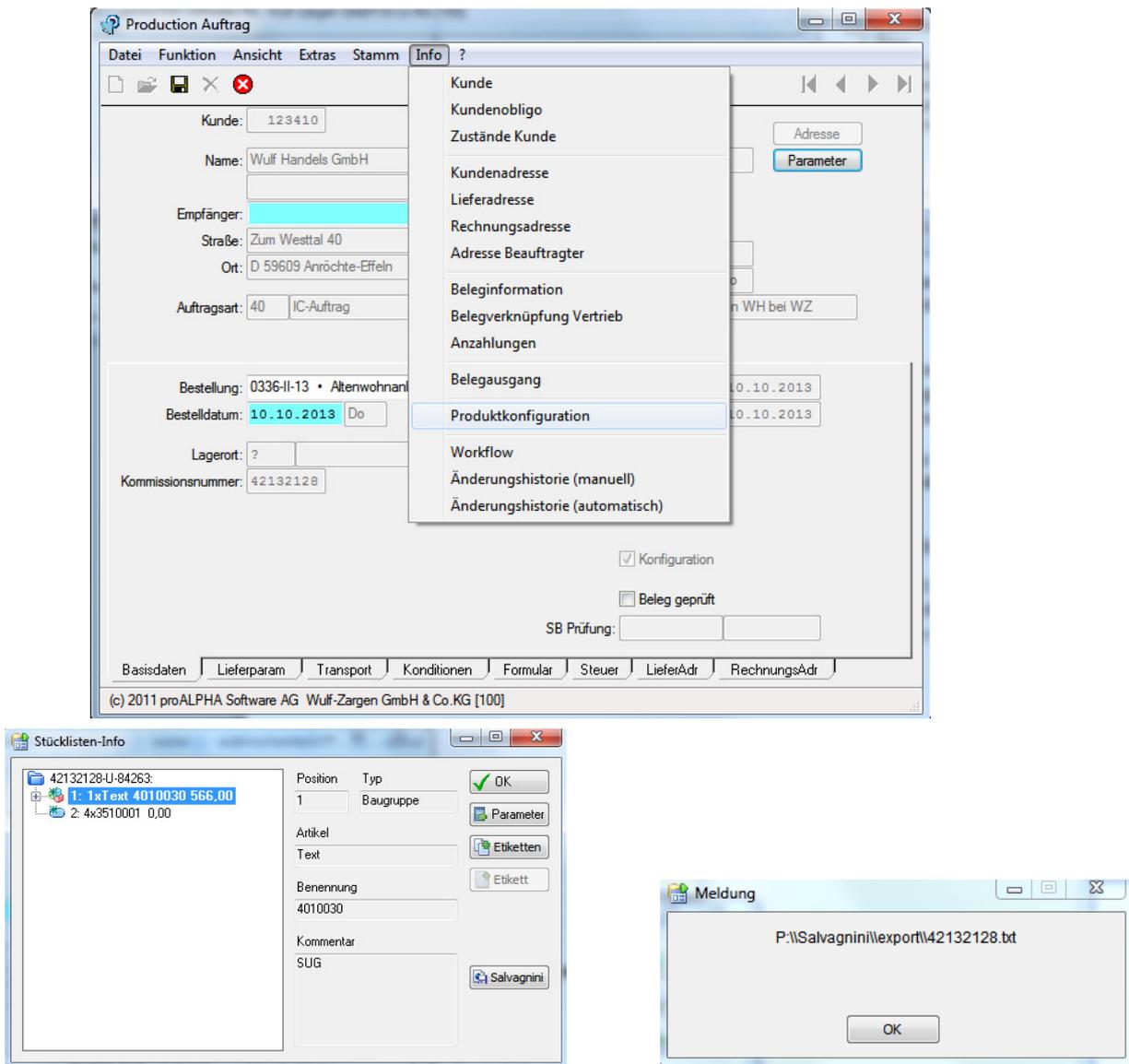


Abbildung 28: Auftrag wird aus dem ERP-System ausgelesen und in einem Ordner auf dem Server abgelegt

Der Export der Daten erfolgt als ASCII Datei auf ein Verzeichnis des Servers. Aus diesem Verzeichnis liest das OPS die Dateien automatisch ein. Im OPS werden dann die importierten Aufträge zusammengestellt und an das Nestingprogramm übergeben. Es werden dann die einzelnen Teile der Zarge auf die zur Verfügung stehenden Blechformate verteilt, um möglichst wenig Verschnitt zu produzieren. Sollte das Nestingergebnis nicht befriedigend sein, besteht die Möglichkeit, manuell einen passenden Auftrag dem Nesting hinzu zufügen oder zu entnehmen.

The screenshot displays the MetalNest software interface. On the left, there is a vertical stack of nesting layout thumbnails. The main area shows a large nesting layout with various colored parts (pink, purple, orange, blue, green) arranged on a sheet. Below the layout is a table with the following data:

Nesting	Abmessungen	Trims (F...)	Greifver...	Menge	Verfügbarkeit (%)	Gesch.	Stanzun...	Schnitte	Nachre...	Rotatio...	Status...
2013101508571381827457_mln1.S4	2200.00 x 1500.00 x...	0.00 0.0...	28.00	1	96.17	00:01:48	97	31	1	1	Korrekt
2013101508571381827457_mln2.S4	2200.00 x 1500.00 x...	0.00 0.0...	28.00	1	96.48	00:02:35	136	42	1	1	Korrekt
2013101508571381827457_mln3.S4	2200.00 x 1500.00 x...	0.00 0.0...	28.00	1	96.48	00:02:35	129	42	1	1	Korrekt
2013101508571381827457_mln4.S4	2300.00 x 1500.00 x...	0.00 0.0...	28.00	1	93.28	00:02:35	142	43	2	1	Korrekt
2013101508571381827457_mln5.S4	3048.00 x 1500.00 x...	0.00 0.0...	28.00	1	98.15	00:03:38	177	55	5	1	Korrekt
2013101508571381827457_mln6.S4	2200.00 x 1500.00 x...	0.00 0.0...	28.00	1	97.38	00:02:28	135	46	1	1	Korrekt
2013101508571381827457_mln7.S4	2200.00 x 1500.00 x...	0.00 0.0...	28.00	1	96.36	00:02:54	145	50	1	1	Korrekt
2013101508571381827457_mln8.S4	2200.00 x 1500.00 x...	0.00 0.0...	28.00	1	94.32	00:02:03	93	39	1	1	Korrekt
2013101508571381827457_mln9.S4	2200.00 x 1500.00 x...	0.00 0.0...	28.00	1	93.13	00:02:03	87	39	1	1	Korrekt
2013101508571381827457_mln10.S4	2400.00 x 1500.00 x...	0.00 0.0...	28.00	1	90.04	00:04:03	159	90	2	1	Korrekt
2013101508571381827457_mln11.S4	2060.00 x 1500.00 x...	0.00 0.0...	28.00	1	95.21	00:03:12	254	53	1	1	Korrekt
2013101508571381827457_mln12.S4	2200.00 x 1500.00 x...	0.00 0.0...	28.00	1	89.29	00:03:22	157	63	1	1	Korrekt
2013101508571381827457_mln13.S4	3048.00 x 1500.00 x...	0.00 0.0...	28.00	1	96.09	00:05:15	259	97	3	1	Korrekt
2013101508571381827457_mln14.S4	2200.00 x 1500.00 x...	0.00 0.0...	28.00	1	91.45	00:03:56	273	67	1	1	Korrekt
2013101508571381827457_mln15.S4	2060.00 x 1500.00 x...	0.00 0.0...	28.00	1	97.60	00:06:49	220	172	1	1	Korrekt

Gruppe	Programm	Abmessungen	Trims (F G U...)	Menge	Rotation	Entsorgung	Kit
OPS_ON...	6417_S4_1429_SCHALIG_G_FAL_2.S4	2014.58 x 90.32	0.00 17.32...	1	HRZ	P4	0
OPS_ON...	6419_S4_1429_SCHALIG_G_GEG_2.S4	2015.61 x 217.41	0.00 0.00 2...	3	HRZ	P4	0
OPS_ON...	6420_S4_1429_SCHALIG_G_GEG_2.S4	2015.61 x 217.41	0.00 0.00 2...	3	HRZ	P4	0
OPS_ON...	6421_S4_1429_SCHALIG_G_GEG_2.S4	930.02 x 217.41	30.00 0.00...	4	HRZ	P4	0
OPS_ON...	6457_S4_1429_SCHALIG_G_FAL_2.S4	899.16 x 82.32	21.57 17.32...	1	HRZ	P4	0
OPS_ON...	6481_S4_1429_TEILIG_G_S4	909.15 x 246.89	21.21 0.00...	2	HRZ	P4	0

Abbildung 29: Beispiel eines Nestings im MetalNest

Ist das vorgegebene Nesting in Ordnung, wird dieses akzeptiert und landet als Job automatisch im OPS-Programm. Durch Markieren und Anklicken wird der Auftrag über das Netzwerk direkt an die Stanzmaschine gesendet. Der Bediener wählt den Job aus, kompiliert und startet das Programm. Die erforderlichen Daten werden an der Fertigungslinie automatisch von der Stanzmaschine an die nachfolgenden Komponenten weitergeleitet. So ist gewährleistet, dass die Teile immer korrekt weiterverarbeitet werden.

## 2.4 Behördliche Anforderungen (Genehmigungen)

Zur Errichtung der Anlagen waren keine behördlichen Genehmigungen erforderlich, es bestanden auch keinerlei Auflagen. Die für den Betrieb der Anlage erforderliche Konformitätserklärung des Herstellers liegt vor. Die Anlage ist sicherheitstechnisch abgenommen.

## 2.5 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten

Die Erfassung der Betriebsdaten erfolgte durch die Fa. Wulf. Nachfolgende Abbildung 30 gibt einen Überblick über die Messstellen und Messmedien, die Messparameter, die Häufigkeit der Messungen und die Durchführung der Messung. Dabei wurde der Messzeitraum von ursprünglich geplanten 16 Wochen auf 20 Wochen ausgedehnt.

Nr.	Bezeichnung Messstelle	Medium	Messparameter	Häufigkeit	Anzahl Messungen / Proben	Durchführung Messung
<b>Soil-Zustand</b>						
1.	Zählerschrank Gesamtanlage	Elektroenergie	kWh	Täglich	7 x 20 Wochen	Ablesung Zählerstand
2.	Waage	Verschnittmenge oder nicht verkaufsfähige Zarge	Kg / Stück	Täglich	7 x 20 Wochen	Ablesung Waage
3.	Protokoll Verbrauch	Hydrauliköl	Liter	1 x	Bilanz Einkauf-Verbrauch	Ablesung Verbrauchsmenge
4.	Waage	Stahl	Tonnen	Täglich	7 x 20 Wochen	Ablesung Waage
5.	Anlagenprotokoll	Zarge	Stück	täglich	7 x 20 Wochen	Auswertung Anlagenprotokoll
6.	Verkauf	Zarge	Stück	täglich	7 x Wochen	Liste Produktion für Verkauf
7.	Gemäß TA Lärm	Lärm	db	1 x	1 x	Externe Messung

Abbildung 30: Messstellenplan zur Ermittlung der tatsächlich erreichten Umwelteffekte bei Antragstellung

Eine fortwährende Protokollierung der Materialstromdaten ist durch die Erfassung der Fertigungsaufträge durch die Fa. Wulf gewährleistet. Die Messungen für die neue Anlage wurden ab Inbetriebnahme am 30.08.2013 gestartet und sind zum 30.04.2014 beendet worden.

Die nachfolgenden Beschreibungen erläutern die Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten.

### Messung des Verbrauchs an elektrischem Strom

Zur Messung des Stromverbrauchs wurde für die neue Fertigungslinie ein separater Stromzähler installiert. Die Messstelle inkludiert die Prozessaggregate Beladeturm, Stanzmaschine, Transport- und Zentriereinheit, Biegezentrum, Handlingsroboter, Ausschleuseband sowie alle für die Fertigungslinie wirksamen Aggregate. Insofern ist sichergestellt, dass alle für den Fertigungsprozess der Zarge relevanten Verbraucher berücksichtigt wurden.

Die Fertigungsanlage sieht Mehrfachbearbeitung in den einzelnen Prozessschritten vor. Insofern befinden sich immer mehrere Zargen bzw. Zargenkomponenten in Bearbeitung. Eine

individuelle Zuordnung der spezifischen Energieverbräuche zu speziellen Zargentypen kann somit messtechnisch nicht erfolgen.

Der Zählerstand wurde visuell abgelesen. Um Fehler zu minimieren, wurde die Erfassung der Daten ausschließlich vom Produktionsleiter durchgeführt. Die Ablesung erfolgte täglich, jeweils zu Beginn und zum Ende der Gutteilfertigung. Zur Bearbeitung wurden die Daten manuell in eine Tabellenkalkulationsdatei überführt. Die Ablesungen erfolgen im Zeitraum 30.08.2013 bis zum 30.04.2014 an jeweils 5 Tagen je Woche.

#### Messung der Verschnittmenge Stahlblech:

Die Messung der Schrottmenge und die damit verbundene effektive Steigerung des spezifischen Materialverbrauches wurden über das Nesting ermittelt. Im Messzeitraum war es aufgrund der Anpassung von Werkzeugen erforderlich, einige Anfahrproduktionen durchzuführen. Diese Anfahrproduktionen sind einmalig erforderlich um Werkzeuge für den Regelbetrieb vorzubereiten. Um die hierbei anfallenden Schrottmengen aus der Messung auszuschließen und den bei der Gutteilproduktion anfallenden Verschnitt als Schrottmengen zu berücksichtigen, wurde die Menge aus den über die Software ermittelten Daten ermittelt. Die aus dem Beladeturm gezogene Platine ist aufgrund des Fertigungsauftrages und der Kommission eindeutig in ihren Abmessungen und der Materialart zu identifizieren. Über das Nesting wird der Zusschnittplan jeder Platine individuell definiert und über die Stanzmaschine weiterbearbeitet. Hieraus folgt, daß die Ausstanzungen sowie Abschnitte, anteilig je Nesting und somit je Platine, eindeutig fixiert sind. Die Massen des Materials für die Gutteilfertigung und des nicht verwendeten Materials (Schrott) wurden über Multiplikation mit der spezifischen Dichte ermittelt. Diese Ergebnisse wurden per Gegenprobe abgesichert, indem über Stichprobenwiegungen die Masse der Schrottanteile an der Gutteilfertigung festgehalten wurde. Die Messungen wurden mit einem Wiegehubwagen vorgenommen.

#### Stahlverbrauch

Die Messung des Stahlverbrauches wurde direkt aus den Daten der Maschinensteuerung entnommen. Die in den Beladeturm verbrachten Platinen werden individuell in den Abmessungen erkannt und können Auftrags- und Kommissionsbezogen zugeordnet werden. Die Masse wurde als Produkt aus Abmessung (Länge x Breite x Dicke) und der materialspezifischen Dichte ermittelt.

#### Stückzahl Gutteile Zarge/Verkäufe

Die Stückzahlen der Gutteile/Verkäufe wurden direkt aus der Auftragsabwicklungssoftware entnommen.

#### Lärmemissionen

Die avisierte Reduktion des Schallpegels wurde durch die Berufsgenossenschaft im Rahmen einer Vergleichsmessung ermittelt. Unter Anwendung der DIN EN ISO 9001:2008 hat die Berufsgenossenschaft Holz und Metall (BGHM) am 23.04.2014 eine Messung der konventionellen Anlage und am 27.05.2014 eine Messung der innovativen Anlage im Rahmen einer Lärmermittlung am Arbeitsplatz durchgeführt.

## Verbrauch Hydrauliköl

Das verbrauchte Hydrauliköl wurde auf Basis der getätigten Einkäufe ermittelt und kann über entsprechende Einkaufsbelege nachgewiesen werden. Es wurden für die Anlagenmontage 2013 einmalig 100 Liter Hydrauliköl eingefüllt. Zu Standzeiten und zu Nachfüllungen können derzeit keine weiteren Aussagen getroffen werden.

## **3. Ergebnisse**

### **3.1 Bewertung der Vorhabensdurchführung**

Aufgrund der engen Zusammenarbeit und ergebnisorientierten Arbeitsweise aller am Gesamtprojekt Beteiligten war es möglich, das Vorhaben erfolgreich zu realisieren. Während der Vorhabensdurchführung kam es zu Verzögerungen, die den Projekterfolg aber nicht negativ beeinflusst haben.

Nachfolgend sind die aufgetreten technischen Probleme und Schwierigkeiten während der Vorhabensdurchführung kurz erläutert.

- Verzögerungen aufgrund von Lieferzeiten, so war z.B. mehrmalig der Austausch eines Servomotors wegen Fabrikationsfehlern erforderlich.
- Um eine systemseitige Anbindung zwischen der Schnittstelle des ERP-Programmes und dem OPS der Anlage zu ermöglichen, waren diverse Optimierungs-, Anpassungs- und Programmierarbeiten nötig.
- Vor Behebung dieser Schnittstellenprobleme wurden Aufträge aufwendig manuell über das Nestingprogramm erfasst.
- Im Rahmen des Probebetriebs tauchte die Frage auf, ob zusätzliche Spezialwerkzeuge, z.B. zur Prägung von Schattenutten, erforderlich seien.
- Verzögerungen aufgrund von Urlaubsphasen und Kapazitätsbindungen bei dem Anlagenbauer Salvagnini als auch bei der Fa. Wulf.
- Die Senkung des spezifischen Verbrauchs elektrischer Strom wurde um 41,2 % auf 2,42 kWh je produzierter Zarge erreicht. Die Verfehlung des angestrebten Zielwertes von 66 % Einsparung liegt u.E. daran, dass es bei Überführung der Produktion in den Regelbetrieb zu Störungen im Produktionsablauf kam. Diese resultierten teilweise aus erforderlichen Anpassungen der Software und den Komponenten der Fertigungslinie und traten gerade zu Beginn des Messzeitraums häufiger auf. Diese Unterbrechungen der Regelproduktion führten zu Zeiträumen in denen die Fertigungslinie im Standby-Modus war. Sowohl die Leistungsaufnahme im Standby-Modus als auch die durch häufigere Starts bedingten Steigerungen der Leistungsaufnahme sind in die Messung eingeflossen und beeinflussten das Ergebnis.

### 3.2 Durchführung und Ergebnisse des Messprogramms

An der Gesamtanlage wurden ab Inbetriebnahme kontinuierlich über den gesamten Messzeitraum vom 30.08.2013 bis zum 30.04.2014 die wesentlichen Leistungsparameter überwacht und aufgezeichnet.

Die Tabelle 12 bildet die ermittelten Messergebnisse zu den in Abbildung 30 dargestellten Messstellen (für den Zeitraum September 2013 bis April 2014) ab.

	Messstelle 4 Stahlverbrauch [kg]	Messstelle 2 Verschnitt Stahlblech [kg]	Messstelle 1 Stromverbrauch [kWh]	Messstelle 5 & 6 Zargen [Stk.]
September 2013	37.815	2.726	5.856	1.597
Oktober 2013	36.491	2.529	5.568	1.538
November 2013	33.250	2.008	5.032	1.427
Dezember 2013	17.527	1.068	2.664	852
Januar 2014	40.419	2.619	5.256	1.679
<b>Februar 2014</b>	<b>33.531</b>	<b>2.261</b>	<b>4.600</b>	<b>1.390</b>
März 2014	31.189	2.202	4.512	1.336
April 2014	40.016	2.728	5.667	1.550
<b>Summe</b>	<b><u>270.238</u></b>	<b><u>18.141</u></b>	<b><u>39.155</u></b>	<b><u>11.369</u></b>

Tabelle 12: Ermittelte Messresultate für den Zeitraum September 2013 bis April 2014

#### Stahlverbrauch und Verschnitt Stahlblech

Die spezifischen Stahlverbräuche sowie der Verschnitt Stahlblech sind in nachfolgender Tabelle 13 zusammengefasst.

	Konventionelle Herstelltechnik	Neue Technik Geplant bei Antragstellung	Neue Technik Tatsächlich erreicht Messprogramm	Einsparung (konventionell zu neu tatsächlich erreicht)
Stahlverbrauch je Zarge (kg/Stk)	27,10	24,00	23,77	3,33
Verschnitt Stahlblech je Zarge (kg/Stk)	5,00	1,92	1,60	3,40

Tabelle 13: Spezifische Verbräuche und Umweltentlastungen nach Vorhabensumsetzung

Hier zeigt sich eine Differenz in der Einsparung zwischen „Stahlverbrauch je Zarge“ und dem „Verschnitt Stahlblech je Zarge“. Ursächlich hierfür ist die im Antrag getroffene Annahme zum Netto-Stahlverbrauch, welche vom ermittelten Netto-Stahlverbrauch um 0,07 kg je Zarge

abweicht. Die Berechnung der Einsparungen wird ausgehend vom „Stahlverbrauch je Zarge“ aus den Kerndaten vorgenommen, vergl. Tabelle 13. Wie die Messungen belegen, konnte der Stahlverbrauch je Stück verkaufsfertiger Zarge um 3,33 kg/Stk auf 23,77 kg/Stk. gegenüber dem bei konventioneller Fertigung geltenden Wert von 27,1 kg/Stk gesenkt werden. Dieses Ergebnis übertrifft den prognostizierten Einsparwert um 0,25 kg/Stk.

In der nachfolgenden Tabelle 14 sind die absoluten Stahlverbräuche und Verschnittanteile bezogen auf die bisherige Produktionsmenge von 35.000 Zargen/a dargestellt. Ausgehend von einem Stahlverbrauch im Jahr 2011 von 948,5 t konnte durch die neue Fertigungstechnologie der Stahlverbrauch auf 831,9 t/a reduziert werden. Dieses Ergebnis übertrifft die Prognose für den geplanten Stahlverbrauch bei Antragstellung und reduziert sich um weitere 8,1 t/a.

Diese Reduzierung des Stahlverbrauchs wird möglich, da durch die neue Fertigungstechnologie Joblisten flexibel auf der Stanzmaschine umgesetzt werden können, d.h. es erfolgt eine automatische Zuschnittoptimierung der jeweiligen Blechtafel. Die Stanzmaschine optimiert dabei den kompletten Auftragspool, den man ihr zur Verfügung gestellt hat und verteilt die Zuschnitte möglichst optimal auf der Blechplatte, wobei vorher berechnet wird, welches Blechformat (Großformat) für eine optimale Verschachtelung jeweils aus dem Beladeturm entnommen werden muss. Zudem können Abfallteile nach dem Stanzen als Gutteile deklariert werden. Diese Blechreste können direkt in der Fertigungslinie weiter bearbeitet oder aber ausgeschleust werden. Es besteht die Möglichkeit, diesen Ausschuss an anderer Stelle weiterzuleiten, um Anbauteile, wie z.B. Anker, daraus zu fertigen. Aufgrund der niedrigen Durchlaufzeit, kann ein ausgeschleustes Teil umgehend für die weitere Bearbeitung verwendet werden. Die nachfolgenden Tabellen 14 und 15 zeigen die absoluten Stahlverbräuche und Schrottanteile der neuen Fertigungstechnologie auf eine Jahresproduktion von 35.000 Zargen/a und 60.000 Zargen/a auf.

In den Tabellen 14 und 15 werden jeweils Stahlverbrauch und Verschnitt separat ausgewiesen; Hintergrund für diese Darstellung ist der von der Antragstellung abweichende Netto-Stahlverbrauch.

	Konventionelle Herstelltechnik	Neue Technik Geplant bei Antragstellung	Neue Technik Tatsächlich erreicht Messprogramm	Einsparung (konventionell zu neu tatsächlich erreicht)
Absoluter Stahlverbrauch (t/a)	948,5	840,0	831,9	116,6
Absoluter Verschnitt Stahlblech (t/a)	175,0	67,1	55,8	119,2 <sup>2</sup>

Tabelle 14: Absolute Stahlverbräuche und Schrottanteile bezogen auf 35.000 Zargen/a

<sup>2</sup> Zur Differenz zwischen der angegebenen Einsparung im Stahlverbrauch und dem Verschnitt siehe Erläuterung unter Tabelle 3; eigentlich müssten beide Werte identisch sein.

Bezogen auf eine Jahresproduktionsmenge von 60.000 Zargen/a stellen sich die Ergebnisse wie folgt dar:

	Konventionelle Herstelltechnik	Neue Technik Geplant bei Antragstellung	Neue Technik Tatsächlich erreicht Messprogramm	Einsparung (konventionell zu neu tatsächlich erreicht)
Absoluter Stahlverbrauch (t/a)	1.626,0	1.440	1.426	200
Absoluter Verschnitt Stahlblech (t/a)	300,0	115	95,7	204 <sup>2</sup>

Tabelle 15: Absolute Stahlverbräuche und Schrottanteile bezogen auf 60.000 Zargen/a

### Reduktion des Stromverbrauches

Der spezifische Stromverbrauch der innovativen Fertigungstechnik reduziert sich gegenüber der konventionellen Herstellungstechnik um 2,42 kWh/Zarge auf 3,44 kWh/Zarge. Der absolute Stromverbrauch im Vergleich der Produktionsjahre von 2011 zu 2014 sinkt um 84.563 kWh pro Jahr bezogen auf eine Produktionsmenge von 35.000 Zargen im Jahr. Bei einer Auslastung von 60.000 Zargen im Jahr beträgt die Reduktion des absoluten, jährlichen Stromverbrauches 144.965 kWh. Die nachfolgende Tabelle 16 fasst dies zusammen.

	Konventionelle Herstelltechnik (kWh)	Neue Technik Geplant bei Antragstellung (kWh)	Neue Technik Tatsächlich erreicht Messprogramm (kWh)	Einsparung (konventionell zu neu tatsächlich erreicht, kWh)
Spezifischer Stromverbrauch je Zarge	5,86	1,17	3,44	2,42
Absoluter Stromverbrauch bezogen auf die bisherige Produktionsmenge von 35.000 Zargen/a	205.103	40.950	120.541	84.563
Absoluter Stromverbrauch bezogen auf die geplante Produktionsmenge von 60.000 Zargen/a	351.605	70.200	206.641	144.965

Tabelle 16: Mengenabhängige und absolute Stromverbräuche

Wie die Auswertungen der Messdaten zeigen, besteht eine Abweichung des spezifischen Verbrauchs an elektrischem Strom vom Planwert. Das angestrebte Ziel, den spezifischen elektrischen Energieverbrauch von 5,86 kWh bei konventioneller Fertigung auf 1,17 kWh je produzierte Zarge im Rahmen der neuen Fertigung zu senken, wurde nicht erreicht. Mit dem per Messprogramm ermittelten Wert von 3,44 kWh je produzierter Zarge liegt die Einsparung

bei 2,42 kWh und somit immer noch um 41,2 % unter dem Verbrauchswert bei konventioneller Fertigung.

In Abbildung 31 ist die Entwicklung der spezifischen Energieverbräuche je Fertigungsauftrag im Zeitfenster des Messprogramms dargestellt.

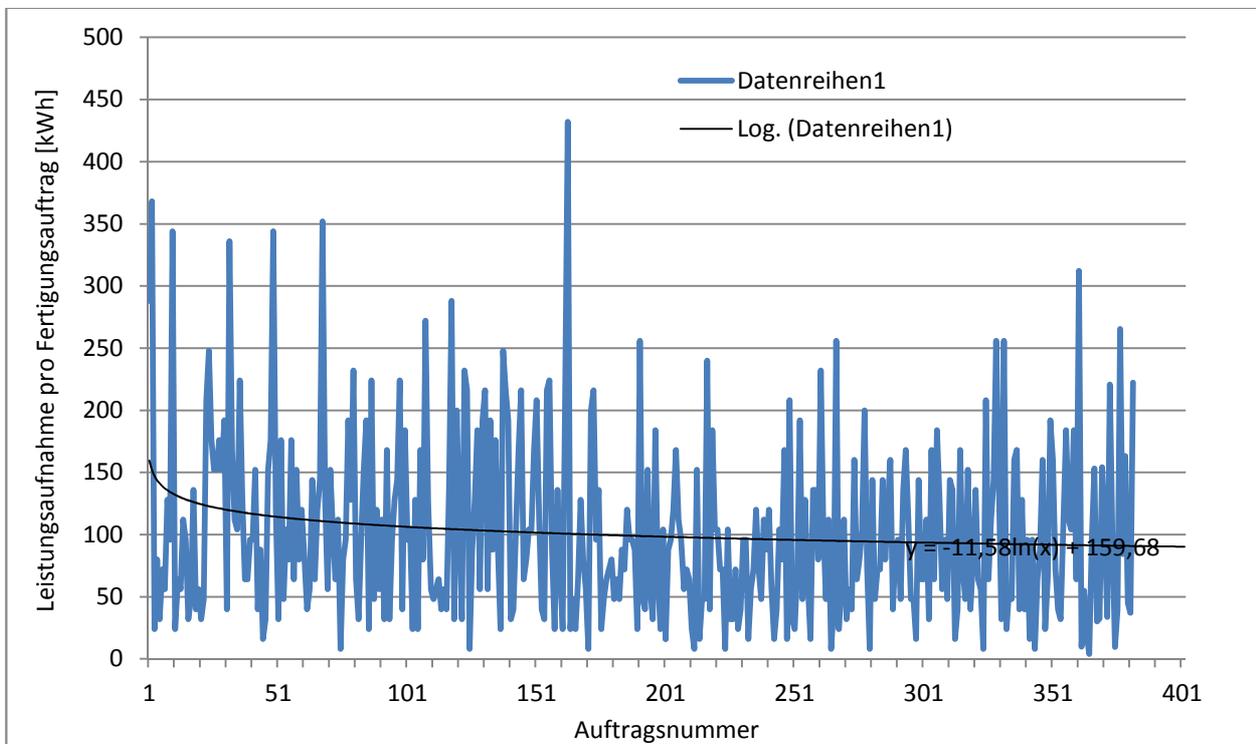


Abbildung 31: Entwicklung der auftragsbezogenen Leistungsaufnahme in den ersten 8 Monaten nach Inbetriebnahme

Auf der Ordinate sind die Fertigungsaufträge entsprechend dem zeitlichen Verlauf aufgetragen. Die Abszisse zeigt die aufsummierte Leistungsaufnahme innerhalb eines Fertigungsauftrages in kWh. Die Datenreihen1 zeigen die Entwicklung des kumulierten, auftragsbezogenen Stromverbrauchs. Zur Verdeutlichung der Entwicklung wurde mit Log.(Datenreihe1) eine logarithmische Trendlinie eingefügt.

Diese Darstellung wurde gewählt, da innerhalb der Fertigungsaufträge verschiedene Zargentypen mit unterschiedlicher Komplexität gefertigt werden. Unter „Komplexität des Zargentyps“ ist in diesem Fall die Anzahl an individueller Ausformung des Profils sowie der jeweiligen Ausstanzungen gemeint. Je komplexer die zu fertigende Zarge ist, umso höher die elektrische Leistungsaufnahme. Innerhalb des Messzeitraums nahm der Anteil komplexerer Zargentypen kontinuierlich zu. Einerseits wurden zunächst einfachere Zargentypen bevorzugt, andererseits führen die erweiterten Fertigungsoptionen auch zu vermehrten Aufträgen im Bereich komplexerer Zargentypen.

Somit wäre ein Anstieg der spezifischen Leistungsaufnahme zu erwarten gewesen. Innerhalb des Messzeitraums war dieser nicht zu verzeichnen. Es ist anzunehmen, daß eine Steigerung der spezifischen Leistungsaufnahme von den beim Erstanlagenbetrieb zu erwartenden Optimierungseffekten kompensiert wurde. Ausgehend von dem in Abbildung 31 dargestellten Trend ist allerdings abzusehen, dass das avisierte Ziel von 1,17 kWh je produzierte Zarge auch auf langfristige Sicht nicht erreicht werden wird. Zu diesem Zeitpunkt nicht eindeutig festzustellen ist, welche Komplexität die zu fertigenden Zargentypen in Zukunft haben werden und welchen Beitrag weitere Optimierungseffekte realisieren können. Insofern die Werte der

angenommenen logarithmischen Funktion folgen, ist langfristig von einer moderaten Reduktion der spezifischen Leistungsaufnahme je Zarge auszugehen.

### Angaben zur Höhe/Verbleib des eingesetzten Hydrauliköls

Das verbrauchte Hydrauliköl wurde auf Basis der getätigten Einkäufe ermittelt und kann über entsprechende Einkaufsbelege nachgewiesen werden. Es wurden im Rahmen der Anlagenmontage einmalig 100 Liter Hydrauliköl eingefüllt. Für die konventionelle Fertigung wurden bisher 400 l/a Hydrauliköl benötigt, um 35.000 Zargen pro Jahr herzustellen, damit ergibt sich ein spezifischer Ölverbrauch von 11,4 ml pro Zarge. Für 60.000 Zargen gefertigt in konventioneller Technologie ergäbe sich somit ein Ölverbrauch von 686 l/a. Entsprechend der technischen Daten des eingesetzten Hydrauliköls kann bei der neuen Anlage von einer Standzeit ausgegangen werden, die den Fertigungszeitraum von 60.000 Zargen weit übertrifft. Insofern kann von einem spezifischen Ölverbrauch von höchstens 1,7 ml pro Zarge ausgegangen werden. Die Einsparung an Hydrauliköl beträgt demnach etwa 9,8 ml pro Zarge, d. h. mindestens 342 l/a bezogen auf ein Produktionsvolumen von 35.000 Zargen pro Jahr und mindestens 586 l/a bezogen auf ein Produktionsvolumen von 60.000 Zargen pro Jahr.

### Berechnung der CO<sub>2</sub>-Einsparung

Nachfolgend sollen Erläuterung zur Einsparung an CO<sub>2</sub>-Emissionen gegeben werden. Die innovative Zargenfertigung führt zu einer signifikanten Reduktion der indirekt damit verbundenen CO<sub>2</sub>-Emissionen. Diese Reduzierung beruht im Wesentlichen auf der Vermeidung von Verschnitt, der Reduktion des Verbrauches an elektrischer Energie sowie der Reduzierung des Hydraulikölverbrauchs. Zur Bewertung der Umwelteffekte auf Basis der im Messprogramm ermittelten Ergebnisse wurden die im Folgenden aufgeführten CO<sub>2</sub>-Äquivalente herangezogen.

Für das im Produktionsprozess verwendete Stahlblech wird ein CO<sub>2</sub>-Äquivalent von 2,39 kg/kg verwendet. Dieser Werts ist der PROBAS Datenbank<sup>3</sup> unter „Metall-Stahl-Blech-DE-2010“ entnommen. Der Konvention entsprechend werden Produktionsrückstände wie der als Schrott anfallende Verschnitt bei der ökobilanziellen Rechnung nicht berücksichtigt.

Als CO<sub>2</sub>-Äquivalent für den Verbrauch an elektrischem Strom wird der Wert von 0,544 kg/kWh verwendet, den das Umweltbundesamt für den deutschen Strommix im Jahr 2010 ermittelt hat<sup>4</sup>. Dieser Faktor hat sich in den Jahren 2011–2013 leicht erhöht, aus Gründen der Vergleichbarkeit wird der im Projektantrag verwendete Faktor für das Jahr 2010 aber beibehalten.

Das für das Hydrauliköl verwendete CO<sub>2</sub>-Äquivalent von 6,77 kg CO<sub>2</sub>/kg stammt ebenfalls aus der Probass Datenbank<sup>5</sup>. Da der Verbrauch an Hydrauliköl in Litern gemessen wurde, wurde der vorgenannte Emissionsfaktor unter Annahme einer Dichte von 0,9 kg/l auf die Volumeneinheit umgerechnet (6,426 kg CO<sub>2</sub>/l).

---

<sup>3</sup> Internetseite "Prozessorientierte Basisdaten für Umweltmanagement-Instrumente (ProBas)" des Umweltbundesamts; siehe <http://www.probas.umweltbundesamt.de/>.

<sup>4</sup> Umweltbundesamt (Hrsg.) : Entwicklung der spezifischen Kohlendioxid-Emissionen des deutschen Strommix 1990-2010 und erste Schätzungen 2011, Dessau-Roßlau, 2011.

<sup>5</sup> Mangels Daten zur Herstellung von Hydrauliköl wurde der Wert für die Erzeugung von Thermo-Öl (in PROBASS unter der Stoffbezeichnung: „Chem-orgThermo-Öl-DE-2000“) verwendet; siehe <http://www.probas.umweltbundesamt.de/php/volltextsuche.php?prozessid={7992C6BF-FA0E-4F76-8CCB-B51327C7CE78}&step=4>.

## CO<sub>2</sub>-Einsparungen

In Tabelle 17 sind die CO<sub>2</sub>-Emissionen je Zarge für die konventionelle Fertigung und die innovative Zargenfertigung gegenübergestellt. Die indirekt verbundenen CO<sub>2</sub>-Emissionen je Zarge werden durch die neue Fertigungstechnologie gemindert.

	CO <sub>2</sub> -Emission je Zarge [kg CO <sub>2</sub> /Stk.]		CO <sub>2</sub> -Minderung [kg CO <sub>2</sub> /Stk.] (Differenz innovativ–konventionell)
	konventionell	innovativ	
Stahlverbrauch	64,77	56,81	-7,96
<i>Verschnitt Stahlblech</i>	<i>11,95</i>	<i>3,82</i>	<i>-8,13</i>
Strom	3,18	1,87	-1,31
Öl	0,073	0,01	-0,06
<b>Summe</b>	<b>68,02</b>	<b>58,69</b>	<b>-9,34</b>

Tabelle 17: CO<sub>2</sub>-Emission je Zarge bei konventioneller und innovativer Fertigungstechnologie

Die innovative Fertigungstechnologie ermöglicht eine Einsparung von 200 t Verbrauch an Stahlblech pro Jahr bei der für das Jahr 2015 erwarteten Produktion von 60.000 Zargen/a. Dies bedeutet eine Reduktion der indirekt damit verbundenen CO<sub>2</sub>-Emissionen um 477,7 t/a. Die Verminderung der mit dem Verbrauch an elektrischer Energie verbundenen CO<sub>2</sub>-Emissionen liegt bei 78,9 t/a. Zudem werden die CO<sub>2</sub>-Emissionen durch den minimierten Verbrauch an Hydrauliköl um weitere 3,8 t/a gemindert.

Die Ergebnisse sind in Tabelle 18 zusammengefaßt. In Summe realisiert die innovative Fertigungstechnologie die Vermeidung von 560,2 t CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Jahr, bezogen auf eine Produktionskapazität von 60.000 Zargen; bezogen auf die bisherige Kapazität von 35.000 Zargen pro Jahr 326,8 t CO<sub>2</sub>.

	Differenz konventionell-innovativ [t CO <sub>2</sub> /a]	
	bezogen auf 35.000 Zargen	bezogen auf 60.000 Zargen
Verbrauch Stahlblech	278,6	478
Strom	46,0	78,9
Öl	2,2	3,8
<b>Summe</b>	<b>326,8</b>	<b>560,2</b>

Tabelle 18: Gegenüberstellung der vermiedenen CO<sub>2</sub>-Emissionen bei konventioneller und innovativer Fertigung

## Lärmimmission

Die Vergleichsmessung vom 23.04.2014 (Halle 4) bestätigt die im Antrag benannte Lärmgröße von durchschnittlich 79 dB für die konventionelle Anlage. Die Messung der innovativen Anlage weist einen Tageslärmemissionspegel von 78 dB für den Aufenthalt im direkten Bereich der Biegemaschine aus. Bezogen auf die Lärmimmissionen in der Produktionshalle wäre somit das angestrebte Ziel der Lärmreduzierung auf 71 dB nicht erreicht.

Allerdings errechnet sich dieser Durchschnittswert aus den nachfolgenden vier Messpunkten:

- Messung im Bedienerstand/Büro: 60,0 dB
- Messung im Bereich Stanze: 80,6 dB
- Messung im Bereich Biegemaschine: 77,9 dB
- Messung im Bereich Abkantpresse: 77,8 dB

Die innovative Zargenfertigung ermöglicht, dass kaum noch händische Eingriffe der Mitarbeiter erforderlich sind. Die Steuerung des Fertigungsprozesses erfolgt zentral vom Bedienerstand aus. Da sich die Mitarbeiter somit während eines Großteils der täglichen Arbeitszeit im Bedienerstand aufhalten, ist für unsere Mitarbeiter faktisch eine Lärmreduzierung im Vergleich zur konventionellen Fertigung erzielt. Die Verweildauer in den Bereichen „Stanze“, „Biegemaschine“ und „Abkantpresse“ beläuft sich auf maximal 20 % der Tagesarbeitszeit. Bei anteiliger Wertung kann somit von einer durchschnittlichen individuellen Lärmbelastung von 72 dB ausgegangen werden. Messprotokolle der Berufsgenossenschaft für Holz und Metall (BGHM) sind im Anhang beigefügt.

**Anlage 1: BGHM, Lärmermittlung am Arbeitsplatz v. 23.04.2014**

**Anlage 2: BGHM, Lärmermittlung am Arbeitsplatz v. 27.05.2014**

**3.3 Umweltbilanz**

Die nachfolgend aufgestellte Umweltbilanz berücksichtigt ausschließlich die real erzielten Einspareffekte auf Basis des durchgeführten Messprogrammes. Bei Antragstellung gemachte Annahmen bezüglich des Verschnittes wurden nicht berücksichtigt. Zur Errechnung der CO<sub>2</sub>-Einsparung wurden die Stahlverbräuche aus den Messdaten herangezogen.

Die nachfolgende Tabelle 19 bildet die spezifischen Verbräuche je Zarge nach Vorhabensumsetzung ab.

	Konventionelle Herstelltechnik	Neue Technik Tatsächlich erreicht Messprogramm	Einsparung	CO <sub>2</sub> Einsparung
Stahlverbrauch je Zarge (kg/Stk)	27,1	23,8	3,3	7,96
Energieverbrauch je Zarge (kWh/Stk)	5,86	3,44	2,42	1,31
Ölverbrauch je Zarge (ml/Stk)	11,43	1,67	9,76	0,06

Tabelle 19: Spezifische Verbräuche und Umweltentlastungen nach Vorhabensumsetzung

In der nachfolgenden Tabelle 20 ist auf Basis der Ergebnisse des durchgeführten Messprogramms zusammenfassend die Umweltbilanz des Vorhabens bezogen auf eine Jahreskapazität von 60.000 Zargen/a dargestellt.

	Konventionelle Herstelltechnik (60.000 Stk/a)	Neue Technik Tatsächlich erreicht Messprogramm (60.000 Stk./a)	Einsparung	CO <sub>2</sub> Einsparung
Reduktion Stahlverbrauch (t/a)	300	100	200	477,6
Elektrische Energie (kWh/a)	351.605	205.103	144.965	80,4
Hydrauliköl (l/a)	686	100	586	3,8
Lärm (db)	79	78 (72*)	1 (7*)	k.A.

\*siehe Ausführungen zu „Lärmemissionen“

Tabelle 20: Umwelteffekte neue Zargenfertigung nach Vorhabensumsetzung

Zwar konnte das angestrebte Einsparziel bezogen auf den elektrischen Energieverbrauchs je produzierter Zarge nicht erreicht werden, im Bereich der Materialeinsparungen wurde das Einsparziel jedoch übertroffen. Insgesamt wurde daher eine Senkung der CO<sub>2</sub>-Emissionen über die Erwartungen hinaus erreicht.

### 3.4 Wirtschaftlichkeitsanalyse

Für die Wirtschaftlichkeitsanalyse wurden zum Zeitpunkt der Antragstellung Einsparpotenziale prognostiziert, die sich auf eine Jahreskapazität von 60.000 Zargen bezogen. Infolge der Produktivitätssteigerung von 35.000 auf 60.000 Zargen sollte ohne Personalabbau eine Einsparung von 2 € Personalkosten je Zarge erreicht werden, die als Einsparpotenzial in die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung einfließt.

Zudem wurde bei Antragstellung eine Materialeinsparung von 173.269 € auf Grundlage eines Stahlpreises von 936,49 €/t erwartet. Tabelle 21 fasst die Wirtschaftlichkeitsdaten bei Antragstellung zusammen:

	Konventionelle Herstelltechnik	Neue Technik Planwerte laut Antrag	Einsparung	Einsparung in €/a
Verschnitt Stahlblech (t/a)	300	115	185	173.269,15 (185 t/a x 936,49 €/t <sup>6</sup> )
Elektrische Energie (kWh/a)	354.000	70.200	283.800	56.760,00 (283.800 kWh/a x 0,20 €/kWh)
Hydrauliköl (l/a)	400	100	300	1.230,00 (300 l/a x 4,10 €/l)
Verringerte Wartungskosten				30.000,00
Personalkosten				120.000,00 (2 € x 60.000 Zargen/a)
<b>Gesamte erwartete Einsparung:</b>				<b>381.259,15 €</b>

Tabelle 21: Erwartete Kosteneinsparungen zum Zeitpunkt der Antragstellung, bezogen auf eine Produktionsleistung von 60.000 Zargen pro Jahr

#### Einsparungen auf Basis des durchgeführten Messprogramms:

Auf Basis der Ergebnisse des Messprogrammes stellt sich die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung, unter Berücksichtigung der Anlagenauslastung und Hochrechnung auf eine Jahresmenge von 60.000 Zargen, wie in Tabelle 22 abgebildet dar. Dabei ist der auf ca. 650,00 €/t gesunkene Stahlpreis in die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung eingeflossen.

	Konventionelle Herstelltechnik	Neue Technik Tatsächlich erreicht Messprogramm	Einsparung	Einsparungen in €/a
Verschnitt Stahlblech (t/a)	300	100	200	130.000,00 (200 t/a x 650 €/t)
Elektrische Energie (kWh/a)	354.000	206.400	144.965	28.993,00 (144.965 kWh/a x 0,20 €/kWh)
Hydrauliköl (l/a)	686	100	586	2.402,60 (586 l/a x 4,10 €/l)
Verringerte Wartungskosten				30.000,00
Personalkosten				120.000,00 (2 € x 60.000 Zargen/a)
<b>Gesamte tatsächlich erreichte Einsparung:</b>				<b>311.395,60</b>

Tabelle 22: Tatsächliche Kosteneinsparungen laut Messprogramm, hochgerechnet auf 60.000 Zargen pro Jahr

<sup>6</sup> Bei Antragstellung lag der Stahlpreis bei 936,49 €/t, aktuell bei ca. 650,00 €/t.

Anschaffungskosten:

Die geplanten Anschaffungskosten von 2.495.511,78 € wurden um 61.332,49 € überschritten und betragen 2.556.844,27 €.

Unter Berücksichtigung dieser Werte und des reduzierten aktuellen Stahlpreises verlängert sich die Amortisationszeit im Vergleich zur Antragstellung. Tabelle 23 vergleicht die Amortisationsrechnung des Projektes bei Antragstellung mit der nach Umsetzung des Projekts, jeweils bezogen auf eine Kapazität von 60.000 Zargen/a.

<b>Amortisationsrechnung (Kapitalrückfluss-, Pay back Methode)</b>			
	<b>Neue Technik PLAN</b>	<b>Neue Technik IST</b>	<b>Bemerkung</b>
<b>Anschaffungskosten [€]:</b>	2.495.511,78	2.556.844,27	
<b>Festwert [€]:</b>	0	0	
<b>Beihilfe [€]:</b>	0		
<b>Anschaffungskosten - Beihilfe [€]:</b>	2.495.512	2.556.844	
<b>Nutzungsdauer [a]:</b>	10	10	
<b>Kalkulatorischer Zins [%]:</b>	5	5	
<b>Kalkulatorische Abschreibung [€]:</b>	249.551	255.684	
<b>Energieeinsparung [€]:</b>	56.760,00	28.933,00	0,20 €/kWh
<b>Saldo Instandhaltung [€]:</b>	31.230,00	32.402,60	Festlinstandhalt. techn. Aggregate inkl. Öl
<b>Saldo Material [€]:</b>	173.269,15	130.000,00	Stahlpreis Antrag 936,49 €/t, aktuell 650€/t
<b>Kapitalkosten [€]:</b>	<b>-311.939</b>	<b>-319.606</b>	
<b>Saldo Sonstiges [€]:</b>	120.000,00	120.000,00	Personal kalkulatorisch 2 €/Zarge
<b>Jährliche Kosteneinsparung:</b>	69.320	-8.270	
<b>Amortisationszeit [a]:</b>	<b>7,8</b>	<b>10,3</b>	

Tabelle 23: Vergleichende Übersicht der Amortisationsrechnung bei Antragstellung

Die Amortisationszeit wird wie folgt berechnet:

Tatsächliche Anschaffungskosten / (Jährliche Kosteneinsparung + Kalkulatorische Abschreibung)

Nicht in die Amortisationsberechnung eingeflossen, aber von entscheidender Bedeutung für die Wirtschaftlichkeitsbetrachtung des Vorhabens sind die nachfolgenden Faktoren. Im Rahmen der neuen Fertigungstechnologie können die Joblisten flexibel auf der Stanzmaschine umgesetzt werden, d.h. es erfolgt eine automatische Zuschnittoptimierung der jeweiligen Blechtafel; Fertigungsfehler werden vermieden. Die Stanzmaschine optimiert den kompletten Auftragspool, den man ihr zur Verfügung gestellt hat und verteilt die Zuschnitte so möglichst optimal auf der Blechplatte, wobei vorher berechnet wird, welches Blechformat (Großformat) für eine optimale Verschachtelung jeweils aus dem Beladeturm entnommen werden muss.

Das innovative Fertigungsverfahren bietet zudem die Möglichkeit, Abfallteile nach dem Stanzen als Gutteile zu deklarieren. Diese Blechreste können direkt in der Fertigungsline weiter bearbeitet oder aber ausgeschleust werden. Es besteht die Möglichkeit, diesen Ausschuss an anderer Stelle weiterzuleiten, um Anbauteile, wie z.B. Anker, daraus zu fertigen. Aufgrund der niedrigen Durchlaufzeit, kann ein ausgeschleustes Teil umgehend für die weitere Bearbeitung verwendet werden; dies erhöht die Flexibilität in der Herstellung und reduziert den Fertiglagerbestand.

Zudem besteht die Möglichkeit über die neue Fertigungstechnologie deutlich komplexere Zargentypen zu fertigen und damit auf individuelle Kundennachfragen variabel reagieren zu

können und zudem auch Spezialfertigungen erstellen zu können. Von besonderer Bedeutung ist dabei auch die erheblich verbesserte Präzision der Bauteile selbst.

Vor dem Hintergrund dieser nicht in die Amortisationszeit eingerechneten Faktoren, relativiert sich die auf den ersten Blick lange Amortisationszeit.

### **3.5 Technischer Vergleich zu konventionellem Verfahren**

Die innovative Fertigungslinie bietet gegenüber der bisherigen Fertigungstechnologie die folgenden Vorteile:

Die Fertigung ist bis zur Übergabestation/Ausschleusen der fertigen Profile als eine Einheit anzusehen. Ab Übergabe der Jobliste aus dem ERP-System an die Fertigungslinie erfolgt die Bearbeitung ohne weiteren manuellen Aufwand. Das bedeutet, dass ohne die Übertragung und Umsetzung in unterschiedliche Fertigungslisten (z.B. Zuschnittliste) individuelle Übertragungsfehler vermieden werden, welche im ungünstigsten Fall erst beim Endkunden nach der Montage festgestellt werden. Fertigungsfehler mit damit verbundener Doppelfertigung sind ausgeschlossen. Das führt zu einer erheblichen Einsparung an Material, Energie und doppelt aufzuwendender Arbeitszeit, Fahrtkosten, bei Fehlerbeseitigung beim Kunden vor Ort, verglichen mit der konventionellen Fertigung.

Nach der Übergabestation sind fast alle technischen Kriterien des Endproduktes festgelegt, so dass die Fehlerwahrscheinlichkeit in den folgenden Arbeitsschritten minimiert ist. Dieser Punkt ist für die individuelle Fertigung von Stahlzargen ebenso als ein Novum zu betrachten wie die erheblich verbesserte Präzision der Bauteile.

Im Rahmen der individuellen Zargenfertigung nach konventionellem Fertigungsprinzip werden Abfallteile (z.B. Stanzreste) in das Metallrecycling gegeben. Erforderliche Anbauteile, z.B. für die Befestigung der Stahlzargen, werden bislang extern zugekauft. Das innovative Fertigungsverfahren bietet die Möglichkeit, Abfallteile nach dem Stanzen als Gutteile zu deklarieren. Diese Blechreste können direkt in der Fertigungslinie weiter bearbeitet oder aber ausgeschleust werden. Es besteht die Möglichkeit, diesen Ausschuss an anderer Stelle weiterzuleiten, um Anbauteile, wie z.B. Anker, daraus zu fertigen. Aufgrund der niedrigen Durchlaufzeit, kann ein ausgeschleustes Teil umgehend für die weitere Bearbeitung (vergl. Seite 8, Abbildung 2: Individuelle Zargenfertigung nach Vorhabenumsetzung, ab Punkt 11 „Individuelle Zargenfertigung-NEU“) verwendet werden. Somit können über eine echte Just-In-Time-Fertigung Zwischenlagerungen vermieden und bei einer Erhöhung der Flexibilität die Fertiglagerbestände reduziert werden.

Die dynamische Verwaltung der Auftragslisten ist ein Merkmal des Innovationsgrades der Software OPS\_MC.CLT. Neben der dynamischen Verwaltung, von durch das OPS-SRV-Modul erstellten Auftragslisten, können zudem vom Bediener vor Ort erstellte Auftragslisten integriert werden. Eine graphische Schnittstelle ermöglicht die Prüfung der Aufträge und ermöglicht einen direkten Eingriff in den Fertigungsablauf. Die OPS-SRV-Feedback-Funktion realisiert zudem die dynamische Sammlung von Produktionsdaten.

Bisher konnte eine individuelle Auftragsplanung in der konventionellen Fertigung nur über eine Vorplanung auf Basis der Plandaten realisiert werden. Neu für die Fertigung von Stahlzargen in individuellen Losgrößen ist die dynamische Anpassung der Planung auf Basis vielfältiger, bisher nicht einzubindender Parameter, wie die aktuellen Bestandsdaten und die aktuell vorliegende Auftragssituation in Echtzeit. Die Vereinigung diverser Arbeitsschritte, welche konventionell an unterschiedlichsten Maschinen erledigt werden - in Kombination mit der DV-gestützten

Fertigungsplanung - kennzeichnet den innovativen Charakter des Konzeptes. Eine oftmals mit Schnittstellenfehlern behaftete individuelle Weitergabe der Fertigungsvorgaben entfällt, da die relevanten Informationen aus dem ERP-System auf die Maschine übertragen werden und dann in allen weiteren Fertigungsschritten dort zur Verfügung stehen.

Es handelt sich um ein komplett EDV-geführtes System, d.h. jede nachfolgende Bearbeitungsstation in der Linie erkennt, welches Teil, mit welchen Abmassen und technischen Kriterien zu bearbeiten ist. Verglichen zum Produktionsprozess nach altem Stand der Technik, ergibt sich dadurch eine Minimierung von Fehlerursachen, insbesondere Handhabungs- und Individualfehler.

## **4. Empfehlungen**

### **4.1 Erfahrungen aus der Praxiseinführung**

Zur erfolgreichen Praxiseinführung hat in diesem Rahmen maßgeblich beigetragen:

- Die gute mess- und regeltechnische Ausrüstung der Anlagen, welche die Erkennung von Problemen wie z.B. Rohmaterialfehler und deren Ursachen erheblich erleichtert hat.
- Die dauerhaft gute Kooperation zwischen Auftraggeber und Anlagelieferant mit dem Ziel, dass gemeinsame Projekt zum Erfolg zu führen.
- Saubere, geduldige empirische Arbeit vor Ort zur Ermittlung der richtigen Regelungsparameter.
- Die Förderung durch das BMUB wirkte als zusätzliche Motivation, da wir mit unserer Vorhabensumsetzung ein Beispiel für eine erste großtechnische innovative Verfahrensumsetzung geben können. Diese Motivation trug uns auch über die im Rahmen einer großtechnischen Verfahrensumsetzung entstehenden unvorgesehenen Schwierigkeiten, die zeitnah - auch während des laufenden Tagesgeschäftes - überwunden werden müssen, um das Vorhaben wie geplant zeitlich abschließen zu können.

### **4.2 Modellcharakter**

Der Neuheitswert des Vorhabens besteht darin, dass erstmals für die hochqualitative Herstellung von Stahlzargen in kleinsten Losgrößen ein integriertes und automatisiertes Fertigungskonzept realisiert werden konnte. Bisher fanden zwar einzelne Technologien des Konzeptes bereits Anwendung, allerdings nur in der Serienfertigung. Die Recherche bei Anlagenbauern, Zargenherstellern sowie in öffentlichen Publikationen ergab, dass die individuelle Herstellung von Stahlzargen in anderen Unternehmen bisher anlag der bei Fa. Wulf betriebenen, konventionellen Fertigung erfolgt. Insofern ist davon auszugehen, dass in diesen Unternehmen der gleiche hohe individuelle Planungsaufwand, Fehleranteil sowie Ressourcenverbrauch existiert.

Im Wesentlichen resultiert der beispielhafte Charakter des Fertigungsprozesses aus einer für Stahlzargen einzigartigen Verfahrenstechnologie, speziell für die Herstellung von kleinen Losgrößen bei gleichzeitiger Reduktion von Ausschuss bzw. besserer Material- und Energieeffizienz. Die Realisierung der genannten Vorteile, wie kleinste Losgrößen, auftragsbezogene Fertigung, Ausschussminimierung, höchster Qualitätsstandard, hohe Materialeffizienz sowie Energieeffizienz, hohe Produktivität, niedrige Durchlaufzeiten, absolute

Kostentransparenz in der Fertigung und humane, ergonomische Gestaltung des Arbeitsplatzes ist auch auf vergleichbare Fertigungsbetriebe übertragbar.

Herausragendes Merkmal und maßgeblich für den innovativen Charakter des geplanten Projektes ist die abgestimmte Gesamtkonfiguration aller Einzelkomponenten, welche in ihrer Gesamtheit zu den aufgezeigten Umwelteffekten führen.

Der Demonstrationscharakter des Vorhabens und damit die Übertragbarkeit innerhalb der Branche sind gegeben. In Deutschland sind ca. 10 weitere Hersteller von Stahlzargen aktiv. Diese sind mit den gleichen Anforderungen konfrontiert, wie sie bei der Fa. Wulf gelten. Eine Übertragung auf diese Hersteller ist generell möglich.

Das Grundkonzept des Vorhabens ist allerdings auch auf andere Branchen übertragbar. Insbesondere sind hier Umformbetriebe zu nennen, welche Produkte fertigen, die auf Basis von Blechplatten individuelle Profile ab Losgröße 1 erzeugen. Diese sind beispielsweise in den Branchen Versorgungstechnik, Lüftungstechnik, Schaltschränke, Anlagenbau zu finden. Es ist von einer erheblichen Breitenwirkung auszugehen.

Die branchenspezifische Kommunikation dieses erfolgreichen Vorhabens ist in 2014 zum einen über die Kunden der Fa. Wulf erfolgen. Darüber hinaus wird branchenrelevanten Zeitschriften, wie z.B. dem Blechmagazin, angeboten über die Anlage zu berichten. Zugleich wird diese Verfahrensumsetzung auch in der Loseblattsammlung der Effizienz-Agentur NRW veröffentlicht.

### **4.3 Zusammenfassung**

Im Rahmen des Vorhabens sollte nachgewiesen werden, dass mit Umsetzung der innovativen und ressourcenschonenden Fertigungstechnologie für die Herstellung von Stahlzargen der Energieeinsatz und der Rohstoffbedarf im Vergleich zum Stand der Technik in der bestehenden Fertigungstechnologie wesentlich reduziert werden kann.

Mit Antragstellung wurde, bezogen auf eine Jahreskapazität von 60.000 Zargen, eine Reduktion des Stahlverschnittes von 185 t/a, eine Einsparung des Verbrauchs an elektrischer Energie von 135.103 kWh/a, eine Senkung des Einsatzes von Hydrauliköl um 586 l/a und eine Lärminderung von 79 auf 71 dB erwartet. Der deutlich verminderte Verbrauch an Produktionsmaterial sowie Betriebsmitteln sollte insgesamt zu einer Reduktion des CO<sub>2</sub>-Ausstoßes um 520 t CO<sub>2</sub> pro Jahr gegenüber konventioneller Fertigung führen. Im Rahmen des durchgeführten Messprogramms hat sich bestätigt, dass die Fertigungsteile mit nahezu 100% Gutanteil aus der Biegemaschine herauskommen. Das innovative Fertigungsverfahren bietet zudem die Möglichkeit, Abfallteile nach dem Stanzen als Gutteile zu deklarieren. Diese Blechreste können direkt in der Fertigungsline weiter bearbeitet oder aber ausgeschleust werden. Es besteht die Möglichkeit, diesen Ausschuss an anderer Stelle weiterzuleiten, um Anbauteile, wie z.B. Anker, daraus zu fertigen.

Bei herkömmlicher Fertigung lag der Gutanteil bei ca. 93 % über das gesamte Fertigungsspektrum. Es konnten somit in diesem Prozessabschnitt ca. 7 % Materialersparnis realisiert werden. Der Stahlverbrauch je Stück verkaufsfertiger Zarge konnte um 3,3 kg/Stk auf 23,8 kg/Stk gegenüber dem bei konventioneller Fertigung geltenden Wert von 27,1 kg/Stk gesenkt werden. Dieses Ergebnis übertrifft den prognostizierten Einsparwert um 0,25 kg/Stk.

Bezogen auf eine Jahreskapazität von 60.000 Zargen können insgesamt 200 t Stahlverschnitt sowie 144.965 kWh/a elektrische Energie eingespart werden. Der Einsatz des Hydrauliköls wurde um 586 l/a auf 100 l/a gesenkt. Eine Lärminderung auf 71 dB konnte nicht erzielt

werden, jedoch führen interne Arbeitsplatzorganisationen zu einer deutlichen Lärmsenkung für die Mitarbeiter. Insgesamt können durch die realisierte innovative Fertigungstechnologie 560 t CO<sub>2</sub>-Emissionen pro Jahr bei einer Kapazität von 60.000 Zargen vermieden werden.

Die Material- und Energieeinsparungen, bezogen auf eine Jahreskapazität von 60.000 Zargen, belaufen sich auf 191.395,60 € per anno, die kalkulatorischen Personaleinsparungen durch verringerte Wartung und Stillstandszeiten auf 120.000 € per anno und erlauben eine statische Amortisation des Vorhabens nach ca. 10,3 Jahren. Die geplanten Gesamtkosten wurden um 61.332,49 € überschritten und betragen 2.556.844,27 €.

Eine Übertragbarkeit des Konzeptes ist aus technischer Sicht auf alle vergleichbaren Betriebe möglich. Die mögliche Anwendung ist nicht nur auf die industrielle Produktion von Stahlzargen beschränkt, sondern kann auf beliebige Hersteller von stanz- und biegeaffinen Werkteilen übertragen werden, die einen kundenindividuellen Planungsaufwand mit Fehleranteilen sowie Ressourcenverbrauch haben, wie bei der Fa. Wulf dargestellt.

## **Anlagenverzeichnis**

- Anlage 1: BGHM, Lärmermittlung am Arbeitsplatz v. 23.04.2014
- Anlage 2: BGHM, Lärmermittlung am Arbeitsplatz v. 27.05.2014