

BMUB-UMWELTINNOVATIONSPROGRAMM

Abschlussbericht

zum Vorhaben:

**Innovatives, energieeffizientes Patentier- und Verzinkungsverfahren für die
Behandlung von Stahldrähten bei der Herstellung von Stahlseilen**

KfW-Aktenzeichen NKa3-001559

Fördernehmer/-in:

J. & W. Vornbäumen GmbH & Co. KG

Münsterstr. 41

49186 Bad Iburg

Umweltbereich

Klimaschutz, Energie

Laufzeit des Vorhabens

15.05.2008 bis 30.09.2014

Autor

Anton Thünemann

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

Datum der Erstellung

04.09.2015

Berichts-Kennblatt

Aktenzeichen: UBA NKa3-001559	Vorhaben-Nr.:
Titel des Vorhabens: Innovatives, energieeffizientes Patentier- und Verzinkungsverfahren für die Behandlung von Stahldrähten bei der Herstellung von Stahlseilen	
Autor(en); Name(n), Vorname(n) Thünemann Anton	Vorhabensbeginn: 15.05.2008
	Vorhabenenende (Abschlussdatum): 30.09.2014
Fördernehmer/-in (Name, Anschrift) J. & W. Vornbäumen GmbH & Co. KG Münsterstr. 41 49186 Bad Iburg	Veröffentlichungsdatum: Seitenzahl: 40
Gefördert aus der Klimaschutzinitiative im Rahmen des Umweltinnovationsprogramms des Bundesumweltministeriums	
Kurzfassung/Summary Bei der neuen Patentieranlage für die Wärmebehandlung von Drähten sollte durch eine präzise, kontinuierliche Temperaturmessung mit einer Infrarot-Kamera die Verweilzeit der Drähte in dem Patentierofen genauer geregelt und die Beheizung optimal eingestellt werden. Dadurch sollte die Produktqualität gesteigert und der Erdgasverbrauch gesenkt werden. Im Ofen sollte ein Schutzgas die Oxidation und die Verzunderung der Drähte vermeiden. Zwischen Patentierofen und Verzinkung sollte der Beizvorgang wegfallen, indem der Draht unter Schutzgas aus dem Abschreckbad in das Verzinkungsbad geführt wird. Durch eine Stickstoff- oder Druckluftabstreiftechnik sollte zudem der Zinkauftrag auf den Draht optimiert und Zinkeinsatz reduziert werden. Tatsächlich wurde durch die Umsetzung des Vorhabens – bezogen auf einen unveränderten Drahtdurchsatz von 8.391 t/a – die angestrebte CO ₂ -Minderung auf 2.148 Tonnen pro Jahr erreicht und der Zinkverbrauch um 13,7% gesenkt. Der angestrebte Verzicht auf das Beizen und Fluxen der Drähte vor dem Verzinkungsbad ließ sich dagegen aufgrund prozesstechnischer Schwierigkeiten nicht in die Praxis umsetzen.	
Schlagwörter Patentierung, Verzinkung, Draht	
Anzahl der gelieferten Berichte Papierform: 10	Sonstige Medien:

Zusammenfassung

Kurzbeschreibung des Unternehmens

Seit über 125 Jahren produziert die Vornbäumen Stahlseile GmbH & Co. KG in der eigenen Drahtzieherei und Seilerei Draht und Stahlseile, die weltweit in der Automobilindustrie, für Kräne, Aufzüge, Bagger, Seilbahnen usw. eingesetzt werden.

Die Drahtbearbeitung erfordert vor allem bei größeren Durchmessern im Bereich Vorzug, Patentierung und Verzinkung erhebliche Mengen an Energie und Rohmaterialien. Durch eine Optimierung des Patentierverfahrens bei gleichzeitiger Verringerung des Zink- und des Chemikalieneinsatzes sollte die Material- und Energieeffizienz der Anlage wesentlich verbessert werden.

Bisherige Produktionsweise im Unternehmen

Vor Umsetzung des Vorhabens umfasste der Prozessablauf vom Wareneingang (Walzdraht mit Durchmesser 5,5 mm) bis zum fertigen Stahlseil folgende Prozessschritte:

1. Mechanische Entzunderung durch Biegung und Vorzug des Walzdrahtes
2. Patentieren (Wärmebehandlung) des vorgezogenen Drahtes Ofentemperatur 900 – 950° C) und anschließend gezieltes Abkühlen im Bleibad bei Temperaturen zwischen 480 – 520° C sowie in einem Abschreckbad mit Wasser.
3. Nachbehandlung (Reinigen) des wärmebehandelten Drahtes in der Durchlaufbeize (Salzsäurebad, ca. 15%ige Konzentration), teilweise Beschichten oder Bondern für weitere Ziehvorgänge (ca. 20 – 30% der Drahtmenge)
4. Behandlung im Fluxbad für eine bessere Haftung des nachfolgenden Zinkauftrags.
5. Im Zinkbad erfolgt die Aufbringung von Zink auf die vorgezogenen Drähte nach festgelegten Parametern. Die Temperatur im Zinkbad beträgt 440 – 450° C.
6. Fertigzug in mehreren Ziehvorgängen auf Fertigmaß
7. Verlitzen von Drähten
8. Verseilen von Litzen auf den Zuschlagmaschinen
9. Teilweise Spezialbehandlung bzw. Konfektionierung von Seilen, wie Kunststoffummanteln, Wärmebehandeln, Anbringen von Ringen usw.
10. Verpacken und Versenden

Ziel des Vorhabens

Die neue Patentieranlage sollte mit einem geringeren Energie- und Rohmaterialeinsatz eine bessere Drahtqualität produzieren.

Durch eine entsprechende Maschinenausstattung sollten zweifache Patentier- und Grobzugdurchgänge entfallen.

Die Temperaturführung und Dauer der Wärmebehandlung der Drähte sollte mittels kontinuierlicher Temperaturmessung an den laufenden, glühenden Drähten im Ofen optimiert werden. In Verbindung mit dem Einsatz von sparsamen Gasbrennern sowie einer neuen Ofenisolierung sollte der Energieverbrauch für das Patentieren deutlich gesenkt werden.

Zugleich sollte durch den Einsatz von Schutzgas im Ofen und auf dem weiteren Transportweg der Drähte zum Verzinkungsbad eine Oxidation der Drähte vermieden werden, um so auf das übliche Beizen der Drähte vor dem Verzinken verzichten zu können. Das sollte zudem ermöglichen, die Drähte bereits mit Temperaturen über 400 °C dem Zinkbad zuzuführen, was perspektivisch dann auch einen Verzicht auf das Fluxen der Drähte vor dem Verzinken möglich machen sollte.

Der Auftrag an Zink auf den Draht sollte optimiert und damit der Einsatz an Zink in der Verzinkungsanlage reduziert werden.

Beim Bondern und Beschichten sollte durch die Nutzung von Prozessabwärme der Energieverbrauch gesenkt werden.

Technische Lösung

Der angelieferte Walzdraht sollte nach dem Abwickeln mechanisch von Zunder befreit werden. Die nachfolgende Drahtreinigung sollte mit einem Hochdruckwasserstrahl (ca. 200 bar) erfolgen. Danach sollte der Draht durch eine wässrige Natriumsilikat-Lösung gezogen und dann durch eine besonders effektive, induktive Hochfrequenz-Drahttrocknung getrocknet werden. Mit der optimalen Vorbereitung für die neue 14-zügige Ziehmaschine sollte ermöglicht werden, Walzdraht vom Durchmesser 5,5 mm direkt auf Durchmesser unterhalb von 2,9 mm zu ziehen und so den bisher teilweise nötigen zweiten Patentier- und Grobzugdurchgang zu vermeiden.

Bei der alten Patentieranlage wurde die Drahtgeschwindigkeit so geregelt, dass die notwendige Verweilzeit im Zinkbad und die für den Drahtdurchmesser erforderliche Abzugsgeschwindigkeit aus dem Zinkbad eingehalten wurden. Hierdurch wurde aber auch die Verweilzeit der Drähte in dem Ofen bestimmt, wodurch starke Qualitätsschwankungen entstehen konnten. Zudem wurde der Ofen tendenziell heißer betrieben als tatsächlich benötigt wurde. Daher sollte bei der Installation der neuen Anlage eine direkte Temperaturmessung der einzelnen Drähte in dem Ofen nahe dem Ofenauslauf durchgeführt werden und auf der Basis dieses Wertes die Abzugsgeschwindigkeit des einzelnen Drahtes individuell eingestellt werden. Eine direkte Kontaktmessung ist bei diesen Temperaturen und Geschwindigkeiten nicht möglich; daher sollte die Temperaturmessung mittels einer Infrarot-Kamera erfolgen, die den Emissionsgrad korrigieren konnte.

Bei dem neuen Ofen sollten keramische Rekuperatorbrenner mit Brennerluftvorwärmung eingesetzt werden und zusätzlich mit keramischen Flammrohren versehen werden. Eine weitere Energieeinsparung von ca. 10% sollte dadurch erreicht werden, dass der Ofen über das Wochenende runtergefahren und vor Arbeitsbeginn automatisch wieder hochgefahren werden sollte, was beim alten Ofen nicht möglich war (s.o.).

Mit einer entsprechenden Ofenatmosphäre sollte die Bildung einer Oxidschicht auf dem Draht verhindert oder in geeignetem Maße reduziert werden. Indem die Drähte auf dem weiteren Transportweg hinter dem Ofen weiterhin unter Schutzgas geführt werden, sollte auch hier eine Oxidation der Drähte vermieden werden und so die Notwendigkeit für das Beizen vor Eintauchen in das Zinkbad entfallen.

Nach Erreichen dieses Zieles sollte versucht werden, auch auf die Wasserabkühlung der Drähte zu verzichten und damit die Drähte (ähnlich wie bei der Bandverzinkung nach Sendzimir) im noch heißen Zustand bei ca. 450°C in das flüssige Zink einzutauchen. Wenn die Drähte zwischen Ofen und

Zinkbad durchgehend in einer Schutzgasatmosphäre verbleiben, sollte es möglich sein, die Drähte auch ohne Fluxmitteleinsatz zu verzinken.

Mit einer Stickstoff- oder Druckluft- Abstreiftechnik sollte der Auftrag an Zink auf den Draht optimiert und damit der Einsatz an Zink in der Verzinkungsanlage reduziert werden. Die Schichtdicke des Zinks sollte kontinuierlich gemessen und zur Regelung der Stickstoffabstreifung verwendet werden.

Beim Bondern und Beschichten sollte der Energieverbrauch durch Nutzung der Prozessabwärme von Patentierofen und Bleibad mittels Wärmetauscher gesenkt werden.

Umsetzung des Vorhabens

Da die Patentieranlage für die Wärmebehandlung der gesamten gefertigten Drähte benötigt wird, war es nicht möglich, die alte Anlage komplett zu entfernen, um dann dort die neue Patentieranlage zu installieren. Anderenfalls hätte die gesamte Produktion für den Zeitraum der Neuinstallation, d.h. mehrere Wochen unterbrochen werden müssen. Die Umsetzung des Vorhabens musste daher nach und nach, von einer Verfahrensstufe zur nächsten erfolgen. Da es dabei zudem wiederholt Probleme mit der Nichtverfügbarkeit bzw. einer verspäteten Lieferung von Maschinen und Komponenten gab, hat sich die Umsetzung des Vorhabens insgesamt deutlich verzögert.

Ein besonderes Problem war die Beschaffung der speziellen Wärmekamera für die Temperaturerfassung, weil diese vom vorgesehenen Lieferanten unerwartet nicht mehr angeboten wurde. Erst nach langer Suche wurde ein alternativer Anbieter gefunden, der eine den Anforderungen entsprechende Wärmekamera liefern und an den Patentierofen anbauen konnte. Da die Sichtfenster für die Kamera schon nach ein bis zwei Tagen beschlagen und mit Rauchablagerungen verschmutzt waren, musste das Kameragehäuse erneuert und mit einer Schwenk- und Dichtvorrichtung für die Kameras ausgestattet werden. In dieses Gehäuse wird gekühltes Abgas vom Patentierofen gepumpt, um ein Eindringen des sehr heißen Ofengases in das Kameragehäuse zu verhindern. Anfängliche Temperaturprobleme konnten durch eine zusätzliche Kühlung des Kameragehäuses beseitigt werden.

Es war die Installation eines Patentierofens mit geschlossenen Rekuperationsbrennern mit keramischen Flammrohren geplant. Nach Beginn des Vorhabens warnten einige Ofenhersteller jedoch davor, den Patentierofen mit keramischen Brennerrohren zu bauen: Die durch den Ofen geführten, vorgezogenen Drähte hätten immer eine Restmenge an Ziehmittel auf der Oberfläche, welche durch das enthaltene Natrium und Kalium die Oberfläche der keramischen Brennerrohre korrodieren würde, wodurch sich die Lebensdauer der Brennerrohre auf ca. ein Jahr verkürzen würde. Die Lösung dieses Problems ergab sich dadurch, dass aufgrund weiterer notwendiger Änderungen am Vorhaben ohnehin eine Neukonzeption des Ofens und der Brenner erforderlich wurde (siehe unten).

Um die richtige Ofenatmosphäre für hochwertige Drähte zu finden, wurden umfangreiche Versuche mit verschiedenen Schutzgasen (Stickstoff-Wasserstoffmischungen) im Patentierofen gefahren.

Der Draht wurde durch das Bleibad hindurch bis zum Abkühlbecken durch die Schutzgasatmosphäre geführt. Mit einem Schutzgas aus ca. 95% Stickstoff und 5% Wasserstoff bleibt der im Ofen geglühte Draht metallisch blank und hat ohne Beizen nach dem Durchlaufen von Flux- und Zinkbad eine

gleichmäßige Zinkschicht. Es wurde aber festgestellt, dass der durch dieses Schutzgas geführte Draht so sauber und blank war, dass er nach dem Abkühlen im Bleibad erhebliche Bleianhaftungen an der Oberfläche hatte, die eine Weiterverarbeitung der Drähte ausschlossen.

Leider ist es nicht gelungen, eine Schutzgas-Einstellung zu finden, bei der es auf der Drahtoberfläche weder eine Oxidschicht noch Bleianhaftungen nach dem Abkühlen gibt. Nur mit einer dünnen Oxidschicht auf der Drahtoberfläche war es möglich, einen bleifreien Draht zu patentieren.

Aufgrund der vorstehenden neuen Erkenntnisse wurde die Konzeption des Patentierofens geändert und statt eines Ofens mit geschlossenen Rekuperationsbrennern und Schutzgasatmosphäre ein Patentierofen mit einem Zentralrekuperator und mit offenen Brennern geplant und gebaut (Abbildung 10 bis Abbildung 13). Da diese Brenner auch eine reduzierende Ofenatmosphäre erzeugen, wird kein zusätzliches Schutzgas benötigt.

Die für die Vermeidung von Bleianhaftungen notwendige Oxidschicht führte bei nicht gebeiztem Draht allerdings zu einer sehr schlechten Zinkhaftung. Die Zinkschicht platzte teils bei der weiteren Verarbeitung ab. So konnte das Beizen vor der Verzinkung entgegen der ursprünglichen Zielstellung des Vorhabens leider nicht entfallen.

Nachdem sich das Abkühlen und Beizen der Drähte als zunächst unvermeidbar herausstellte, standen keine 450°C heißen Drähte zur Verfügung, die ohne Fluxen in die Zinkschmelze hätten einlaufen können. Bei kalten Drähten erreicht die Zinkschicht allerdings ohne Fluxen nicht die notwendige Haftung auf dem Draht. Insofern hat sich auch das Vorhabensziel, perspektivisch auf das Fluxen verzichten zu können, zunächst als nicht praktikabel erwiesen.

Umweltbilanz

Vor Umsetzung des Vorhabens führte die Drahtherstellung bei Fa. Vornbäumen zu (direkten und indirekten) CO₂-Emissionen von 3.085 Tonnen pro Jahr. Mit dem Vorhaben sollten die CO₂-Emissionen bei gleicher Produktionsleistung auf 2.148 Tonnen pro Jahr vermindert werden. Tatsächlich wurde mit der Umsetzung des Vorhabens – bezogen auf einen unveränderten Drahtdurchsatz von 8.391 t/a – eine CO₂-Minderung auf 2.148 Tonnen pro Jahr erreicht. Da sich aber der Drahtdurchsatz gleichzeitig um 6,7% auf 8.591 t/a erhöht hat, ist die absolute Menge der CO₂-Emissionen nur um 793 t/a gesunken.

Den größten Beitrag zur Minderung der CO₂-Emissionen (46%) erbringt dabei die Stromeinsparung durch Erneuerung des 14-zügigen Grobzugs mit der induktiven Hochfrequenz-Drahttrocknung, erst danach folgt der neue Patentierofen mit dem Rekuperator und der innovativen Steuerungstechnik (25% der Gesamtminderung). Die Nutzung der Abwärme von Patentierofen und Bleibad zur Beheizung von Bonder- und Beschichtungsbad haben dagegen nur etwa 14% zur gesamten CO₂-Minderung beigetragen.

Wie oben ausgeführt, konnte das ursprüngliche Ziel eines völligen Verzichts auf das Beizen vor der Verzinkung nicht in die Praxis umgesetzt werden, weil im Laufe des Vorhabens keine Verfahrensvariante ermittelt werden konnte, mit der eine akzeptable Produktqualität erreicht wurde. Folglich werden die Drähte nach Umsetzung des Vorhabens weiterhin gebeizt. Es ist lediglich gelungen, den Säureeinsatz um ca. 25 %, d.h. bezogen auf einen Drahtdurchsatz von 8.391 t/a von 140 t/a auf 105 t/a zu reduzieren.

Das Ziel, die Drähte säurefrei zu reinigen wird seit Anfang 2013 durch das vom BMWi geförderte Projekt „Entwicklung eines Verfahrens zur Säurefreien Reinigung von Drähten mittels Gleitschleifen“ weiterverfolgt. Bisher konnte der Säureverbrauch dadurch aber nur um weitere 20% verringert werden.

Da auf dem kalten Draht aus dem Beizbad ohne Fluxen keine ausreichende Zinkhaftung erreicht wird, ließ sich auch der perspektivisch angestrebte Verzicht auf das Fluxbad vor der Verzinkung bisher nicht in die Praxis umsetzen.

Durch Optimierung der Zinkaufbringung in Verbindung mit der Stickstoffabtreifung konnte der Zinkverbrauch um ca. 14%, d.h. bezogen auf einen Drahtdurchsatz von 8.391 t/a von 300 auf 259 t/Jahr vermindert werden.

Wirtschaftlichkeit

Mit der Umsetzung des Vorhabens wurde – bezogen auf den bisherigen Anlagendurchsatz von 8.391 t/a – eine Betriebsstoffeinsparung von 293.632,88 Euro pro Jahr erreicht und damit die erwartete Einsparung unterschritten. Da die Anschaffungskosten etwas höher waren als geplant, beträgt die statische Amortisationszeit des Vorhabens 10,2 Jahre. Die erwarteten 6 Jahre werden somit deutlich überschritten.

Der Gesamt-Drahtdurchsatz der Anlage hat sich von etwa 8400 Tonnen im Jahre 2006 auf 8950 Tonnen im Jahre 2014 leicht erhöht. Gleichzeitig hat sich der durchschnittliche Durchmesser der verkauften Drähte und Drahtseile verkleinert. Durch die andere Qualität der Produkte hat der Bearbeitungsaufwand am Produkt zugenommen. Mit der optimierten Patentierung und durch den höheren Bearbeitungsaufwand wurden einige Arbeitsplätze neu geschaffen. Die Mitarbeiterzahl hat sich folglich von 152 im Jahre 2006 auf 175 im Jahre 2014 erhöht.

Ausblick / Modellcharakter

Durch den Modellcharakter sind die Ergebnisse über dieses Vorhaben hinaus nutzbar und können für weitere Anbieter und Branchen zur Herstellung von Produkten aus hochfesten Stählen in der metallverarbeiteten Industrie eingesetzt werden.

Die Temperaturüberwachung am laufenden Produkt bietet das Potential eines breiteren Einsatzes in der Stahlverarbeitung.

Inhalt

Zusammenfassung.....	3
1 Einleitung.....	9
1.1 Kurzbeschreibung des Unternehmens	10
1.2 Ausgangssituation	10
Bisherige Produktionsweise im Unternehmen.....	10
Bisheriger Energie- und Chemikalienverbrauch sowie Anfall von Abfällen	14
2 Vorhabensumsetzung.....	15
2.1 Ziel des Vorhabens	15
2.2 Technische Lösung.....	16
2.3 Umsetzung des Vorhabens.....	19
2.4 Behördliche Anforderungen	32
2.5 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten.....	32
3 Ergebnisse	34
3.1 Allgemeine Bewertung der Vorhabensdurchführung	34
3.2 Stoff- und Energiebilanz	35
3.3 Umweltbilanz.....	37
3.4 Weitere Vorteile des Verfahrens.....	38
3.5 Wirtschaftlichkeitsanalyse	38
4 Ausblick	40
4.1 Empfehlungen für die Praxiseinführung.....	40
4.2 Perspektiven für die weitere Verbreitung.....	40
4.3 Perspektiven für die Übertragung des Verfahrens auf andere Anwendungsbereiche	40

1 Einleitung

Die Drahtbearbeitung erfordert vor allem bei größeren Durchmessern im Bereich Vorzug, Patentierung und Verzinkung erhebliche Mengen an Energie und Rohmaterialien. Deshalb wurde der Kontakt zu einem Energieberater mit fachlicher Kompetenz für die Stahldrahtherstellung hergestellt.

Im Jahre 2006 erfolgte der Abschluss eines Beratervertrages über eine prozessorientierte Stoffstromanalyse im Rahmen des Programms „Beratung von kleinen und mittleren Unternehmen zur rentablen Verbesserung der Materialeffizienz (VerMat) des Bundesministeriums für Wirtschaft und Technologie (BMWi)“.

Durch die Optimierung des Patentierverfahrens bei gleichzeitiger Verringerung des Zinkeinsatzes sowie der Verminderung von Doppelverzinkung und gleichzeitiger Betrachtung der Energieeffizienz, sollte die Materialeffizienz wesentlich verbessert werden.

Diese Prozess- und Energieoptimierung wurde in 3 Phasen gegliedert: Phase1= Istaufnahme, Phase2= Konzepterstellung und Wirtschaftlichkeitsbetrachtungen und Phase3= Projektplanung und Konzeptrealisierung/ -Umsetzung. Nach Beendigung der Phasen 1 und 2 wurde auf Empfehlung des Beraters eine „Projektstudie zum Antrag BMU-Programm zur Förderung von Demonstrationsvorhaben“ begonnen.

Der Berater erarbeitete einen Antrag für das BMU-Programm zur Förderung von Demonstrationsvorhaben, der bei der KfW eingereicht wurde. Im Jahre 2008 bewilligte der Bundesumweltminister die beantragten Fördermittel.

Nach Bewilligung der Fördermittel stand unerwartet der bis dahin tätige Berater für die Phase3, Projektplanung und Umsetzung des Vorhabens nicht mehr zur Verfügung. Auch nach intensiven Bemühungen war kurzfristig keine ähnlich qualifizierte Beratung zu finden. Für den Start des Vorhabens wurde deshalb die Projektplanung in Eigenregie begonnen. Ab Sommer 2008 konnten wir für eine qualifizierte Beratung und Unterstützung in der Projektplanung einen promovierten Ofenbau-Ingenieur gewinnen.

Das Projekt wurde nach Terminplan bearbeitet bis im Jahre 2010 die Lieferung des Patentierofens mit einigen Monaten Verzug erfolgte. Der Zeitverzug verzögerte auch den Aufbau zeitlich nachfolgender Anlagenteile. Bei der Inbetriebnahme des Ofens entstanden weitere Verzögerungen.

Mitte 2011 hat der für die technische Beratung und Projektplanung zuständige, promovierte Ofenfachmann den Arbeitgeber gewechselt und stand für unser Projekt nicht mehr zur Verfügung. In unserem Hause hatten wir durch die bis dahin erworbenen Informationen und Kenntnisse eine nicht unerhebliche Fachkompetenz für dieses Projekt erworben. Deshalb war es am sinnvollsten, die weitere Planung des Projekts mit eigenem Personal zum Abschluss zu bringen.

Durch die Anlaufschwierigkeiten beim Patentierofen und durch den Wegfall der externen Unterstützung gerieten wir zeitlich in Verzug. Aus diesen Gründen wurde im September 2011 eine Verlängerung der Projektlaufzeit beantragt. Im Januar 2012 hat die KfW Bankengruppe das Projektende auf den 31.07.2014 festgesetzt; in 2014 wurde die Projektlaufzeit nochmals bis zum 30.09.2014 verlängert.

1.1 Kurzbeschreibung des Unternehmens

Seit über 125 Jahren produziert die Vornbäumen Stahlseile GmbH & Co. KG in der eigenen Drahtzieherei und Seilerei Draht und Stahlseile, die weltweit in der Automobilindustrie, für Kräne, Aufzüge, Bagger, Seilbahnen usw. eingesetzt werden.

Geschäftsführer der Vornbäumen Stahlseile GmbH & Co. KG ist Herr Dipl. Wirt. Ing. Carsten Stefanowski.

Das Unternehmen hat mit 170 Mitarbeitern einen Produktabsatz von ca. 8.400 Tonnen pro Jahr (2013) und ist nach DIN EN ISO 9001:2008 zertifiziert.

Im Jahr 2014 wurde ein Energiemanagement nach DIN EN ISO 50001 installiert.

Der Umsatz im Jahr 2013 betrug 23.946.829,- Euro.

Besitzgesellschaft der Vornbäumen Stahlseile GmbH & Co. KG ist die J. & W. Vornbäumen GmbH & Co. KG deren Gesellschafterstruktur sich zu je 50% aus den Familien

- a) Vornbäumen: Wilhelm Vornbäumen, Marita Vornbäumen, Carsten Stefanowski
- b) Waldvogel: Hans Waldvogel, Winifred Waldvogel, Vanessa Waldvogel

zusammensetzt.

Die Bilanzsumme der J. & W. Vornbäumen GmbH & Co. KG beträgt zum 31.12.2013: 5.079.799,- Euro

1.2 Ausgangssituation

Bisherige Produktionsweise im Unternehmen

Abbildung 1 zeigt den bisherigen Prozessablauf vom Wareneingang (Walzdraht ca. \varnothing 5,5 mm auf Coils) bis zum fertigen Stahlseil.

Auf der alten Patentieranlage wurden ca. 8.391 t/a (im Jahr 2006) Walzdraht wärmebehandelt. Hierzu wurde der angelieferte Walzdraht zunächst durch Walzen geführt und dadurch entzundert. Danach erfolgte ein **Vorzug**, um den Draht auf einen minimalen Durchmesser von bis zu 2,9 mm zu verringern.

Der damals vorhandene Grobzug war nicht in der Lage, kleinere Durchmesser herzustellen. Das erforderte für diese Durchmesser einen zweiten Ziehvorgang und auch einen nachfolgenden Patentiervorgang.

Am Ende des Grobzuges wurde der Draht auf Spulen gewickelt.

Das **Patentieren** erfordert deutlich geringere Drahtgeschwindigkeiten als das Drahtziehen. Um die gleiche Durchsatzmenge wie beim Grobzug zu erreichen wurden bis zu 36 Drähte parallel durch den Patentierofen gezogen. Die Spulen mit dem Draht aus dem Grobzug wurden auf Ablaufböcke vor dem Patentierofen gesetzt. Hier wurden die Drähte abgewickelt, durch die nachfolgenden Bearbeitungsstationen gezogen und wieder aufgewickelt. Über eine Reibbremse im Ablaufbock

wurde der jeweilige Draht straff gehalten. Die Reibbremsen waren für das Straffen der Drähte notwendig, erforderten aber eine hohe Drahtzugkraft und erzeugten Schwankungen in der Drahtgeschwindigkeit.

Bis zu 36 Drähte wurden im Patentierofen auf eine Temperatur oberhalb von 850° C erwärmt, um ein für das nachfolgende Ziehen, günstiges Gefüge (feinstreifiger Perlit oder auch Sorbit genannt) zu bekommen. Der Ofen war hierzu in drei Heizzonen aufgeteilt (Anwärmzone 961° C; Mittelzone 957° C; Endzone 914° C). Die drei Heizzonen wurden über Temperaturfühler geregelt. Zur Vermeidung der Entkohlung wurden in der dritten Heizzone die Brenner etwas unterstöchiometrisch betrieben.

Zur Beheizung des alten Ofens waren 19 Erdgas-Luft-Brenner im Einsatz. Die heißen Abgase (ca. 950°C) wurden im Gegenstrom durch den Ofen geführt und dann ohne weitere Nutzung über den Kamin an die Atmosphäre abgegeben, nachdem ihnen Falschluff beigegeben wurde.

Wegen einer möglichen Beschädigung der Steinisolierung musste der damalige Patentierofen immer beheizt werden. Das Ofeninnere sollte ca. 700° C nicht unterschreiten und deshalb durfte der Ofen nur kurzzeitig über einige Stunden abgestellt werden.

Nach dem Patentierofen wurden die Drähte in einem Bleibad abgeschreckt. Die Temperatur des Bleibades lag zwischen 480° und 520° C. Die Beheizung des Bleibades erfolgte durch elektrische Energie. Diese Energie wurde dazu eingesetzt, um das Bleibad über das Wochenende auf Temperatur zu halten.

Für eine Vorreinigung und zur Abkühlung wurden die patentierten Drähte durch ein wassergekühltes Kiesbett geführt und danach in einer zweiseitigen Durchlaufbeize gereinigt. Die Beize wurde mit einer Konzentration von ca. 15% mit Salzsäure angesetzt. Die Konzentration wurde täglich gemessen und sie sollte eine Konzentration von 4% für das Einlaufbecken und 6% für das Auslaufbecken nicht unterschreiten.

In Abhängigkeit von der Auftragsvorgabe wurde der Teil der Drähte, die nicht verzinkt werden sollten (ca. 20 – 30% des Materials), einem Beschichtungsbad und/oder dem Bonderbad zugeführt. Im Bonderbad wurde durch Einsatz von Nabuphor 100 eine Phosphatschicht aufgetragen. Die Badtemperatur sollte zwischen 70 – 90° C liegen; das Säureverhältnis wurde täglich kontrolliert und durch nachfüllen von Nabuphor abgestimmt. Die Phosphatierschlämme wurden unter Abfallschlüssel 110108 durch ein externes Unternehmen entsorgt. Das Bad war elektrisch beheizt.

Im Beschichtungsbad wurde der Draht mit einem Beschichtungsmittel Traxit ZEL 800 AB für die weiteren Ziehvorgänge überzogen. Die Badtemperatur sollte zwischen 80 – 95° C liegen und die Dichte sollte min. 1,02 betragen. Es wurde regelmäßig Wasser nachgefüllt und mit Traxit ZEL 800 AB nachgeschärft. Außer Wasserdampf gab es keine Emissionen. Das Bad wurde zwei bis drei Mal jährlich komplett neu angesetzt. Die Verschmutzungen und die alte Lösung wurden unter Abfallschlüssel 110111 nach Vorschrift durch ein externes Unternehmen der Entsorgung zugeführt. Die Beheizung erfolgte durch den Einsatz von Erdgas.

Zum Wochenende wurde die Temperatur auf ca. 50° C herunter gefahren und zur Vermeidung von Wärmeverlusten das Bad mit Kunststoffkugeln abgedeckt.

Der größere Teil der Drähte wurde aus der Beize heraus dem Fluxbad zugeführt. Das Fluxbad, eine wässrige Salzlösung mit Tegoflux verbessert die Haftfähigkeit des Drahtes für den nachfolgenden Verzinkungsvorgang. Schlammiger Abfall aus dem Fluxbecken wurde dem Becken entnommen und von einem externen Unternehmen entsorgt.

Im Zinkbad erfolgte die Aufbringung von Zink auf den vor- oder fertiggezogenen Draht nach vorgegebenen Parametern. Die Abzugsgeschwindigkeit beeinflusst im Wesentlichen die Auftragsstärke des Zinkes. Die Temperatur sollte zwischen 440 – 450° C liegen; die Beheizung erfolgte durch den Einsatz von Erdgas.

Um eine Tropfenbildung des Zinkes beim Verlassen des Zinkbades am Draht zu vermeiden, wurden die Drähte durch eine Mischung aus feinkörniger Holzkohle und Abstreifkohle Gardolube SC6244 gezogen. Verbrauchte Gardolube- und Holzkohlereste wurden zusammen mit der Zinkasche von der Zinkoberfläche abgenommen und vorschriftsmäßig entsorgt.

Nach dem Verzinken wurden die Drähte über eine mit Wasser benetzte Walze in die horizontale Ebene umgelenkt und zur endgültigen Kühlung durch eine Wasserdusche geführt. Das Wasser für die Walze und die Wasserdusche wurde im geschlossenen Kreislauf über Wärmetauscher gekühlt und den beiden Stellen wieder zugeführt. Um Verdampfungsverluste auszugleichen, wurden ca. 1000 Liter Wasser am Tag nachgefüllt.

Anschließend wurden die Drähte in den Aufwicklern auf Spulen gewickelt.

Stoffflussdiagramm **Ausgangssituation**
 Patentierung u. Verzinkung Vornbäumen GmbH & Co.KG

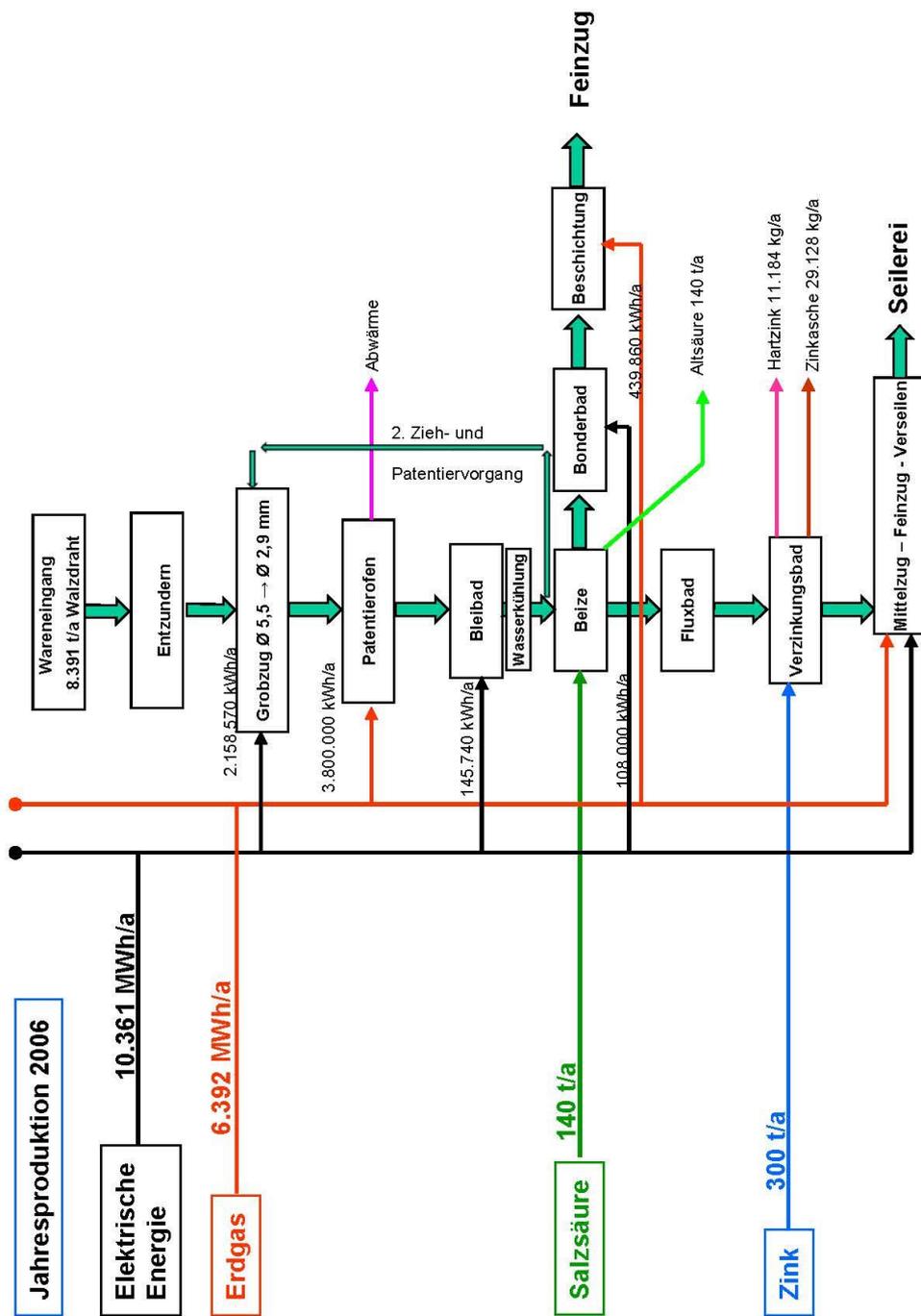


Abbildung 1: Bisheriger Verfahrensablauf (vor Umsetzung des Vorhabens)

Bisheriger Energie- und Chemikalienverbrauch sowie Anfall von Abfällen

Die Energie- und Chemikalienverbräuche vor Umsetzung des Vorhabens sowie die anfallen Abfallmengen wurden in Tabelle 1 zusammengefasst. Die auf eine Tonne Draht bezogenen spezifischen Angaben beziehen sich dabei auf einen Anlagendurchsatz von 8.391 t pro Jahr, bei Bonder- und Beschichtungsbad auf einen Durchsatz von 2.098 t/a und bei Fluxbad und Zinkbad auf einen Durchsatz von 6.221 t/a.

Tabelle 1: Energie- und Chemikalienverbräuche vor Umsetzung des Vorhabens

Prozessschritt	Material/ Energieträger	absoluter Verbrauch/ Anfall pro Jahr	spezifischer Verbrauch/ Anfall pro t Draht
Grobzug	Strom	2.158,6 MWh/a	257 kWh/t
Patentierofen	Erdgas	3.800 MWh/a	453 kWh/t
Bleibad	Strom	145,7 MWh/a	17,9 kWh/t
Beizbad	Salzsäure	140 t/a	16,7 kg/t
	Anfall von Altsäure	140 t/a	16,7 kg/t
	Abwasser	1.938 m ³ /a	0,22 m ³ /t
Bonderbad	Phosphatierungsmittel	5.900 kg/a	2,81 kg/t
	Strom	108 MWh/a	51,5 kWh/t
Beschichtungsbad	Beschichtungsmittel	1.300 kg/a	0,62 kg/t
	Erdgas	439,86 MWh/a	210 kWh/t
Fluxbad	Fluxmittel	2.000 kg/a	0,32 kg/t
Zinkbad	Zink	300 t/a	48,2 kg/t
	Holzkohle/Abstreifkohle	3.000 kg/a	0,48 kg/t
	Anfall von Hartzink	11.184 kg/a	1,80 kg/t
	Anfall von Zinkasche	29.128 kg/a	4,68 kg/t
Wasserdusche	Wasser	1.000 l/d	ca. 40 l/t

Zusätzlich zu den in Tabelle 1 genannten Mengen an Altsäure, Hartzink und Zinkasche fielen noch folgende weitere Abfälle an, die ordnungsgemäß entsorgt wurden:

- verbrauchtes Beschichtungsbad,
- Phosphatschlamm,
- Schlamm aus dem Fluxbecken sowie
- Kohlereste.

2 Vorhabensumsetzung

2.1 Ziel des Vorhabens

Die neue Patentieranlage sollte mit einem geringeren Energie- und Rohmaterialeinsatz eine bessere Drahtqualität produzieren.

Durch eine entsprechende Maschinenausstattung sollten zweifache Patentier- und Grobzugdurchgänge entfallen.

Die Wärmebehandlungsdauer der Drähte sollte für jeden Draht optimal abgestimmt werden können. Dafür sollte eine Temperaturmessung an den laufenden, glühenden Drähten innerhalb des Ofens, im Bereich des Ofenauslaufes eingesetzt werden.

Der Ofen sollte durch Einsatz von sparsamen Gasbrennern mit möglichst niedrigem Energieverbrauch arbeiten.

Eine weitere Energieeinsparung sollte durch die Möglichkeit der Abschaltung des Patentierofens, z. B. an Wochenenden, erreicht werden. Dazu sollte der Ofen mit einer entsprechenden Ofenisolierung ausgekleidet werden, welche eine schadlose Abkühlung des Ofens auf Raumtemperatur erlaubt.

Durch den Einsatz von Schutzgas soll die Oxidation der Drähte verhindert werden, so dass auf das anschließende Beizen der Drähte möglichst verzichtet werden sollte. Perspektivisch sollte so auch ein Verzicht auf das Fluxen der Drähte vor dem Verzinken ermöglicht werden.

Der Auftrag an Zink auf den Draht sollte optimiert und damit der Einsatz an Zink in der Verzinkungsanlage reduziert werden.

Beim Bondern und Beschichten sollte durch die Nutzung von Prozessabwärme der Energieverbrauch gesenkt werden.

Stoffflussdiagramm bei Antragstellung geplant
 Patentierung u. Verzinkung Vormäumen GmbH & Co.KG

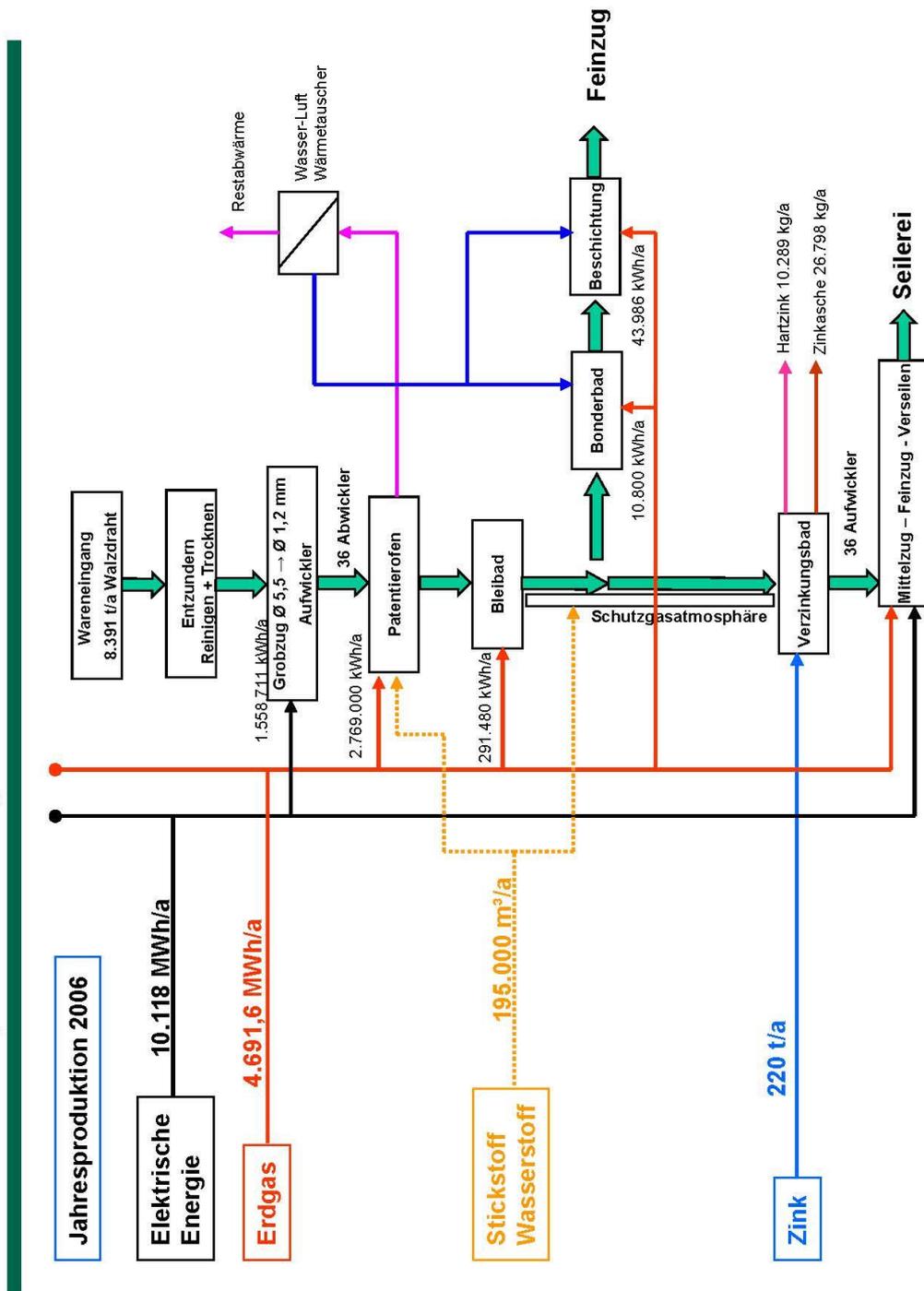


Abbildung 2: Geplanter Verfahrensablauf bei Antragstellung

2.2 Technische Lösung

Den geplanten Verfahrensablauf zum Zeitpunkt der Antragstellung veranschaulicht Abbildung 2.

Der angelieferte Walzdraht sollte nach dem Abwickeln mechanisch von Zunder befreit werden. Um Ressourcen zu schonen, sollte nicht mit Bürsten, Schleifbändern oder Strahlmitteln gearbeitet werden. Deshalb wurde ein Walzdrahtablauf mit besonders intensiver Rollenentzunderung ausgewählt.

Die nachfolgende Drahtreinigung sollte mit einem Hochdruckwasserstrahl (ca. 200 bar) erfolgen. Das Wasser sollte im Umlauf über einen Filter gereinigt und dann der Hochdruckpumpe wieder zugeführt werden. Nur die Wasserverluste sollen nachgefüllt werden.

Danach sollte der Draht durch eine wässrige Natriumsilikat-Lösung gezogen und dann getrocknet werden. Der Draht wird beim Ziehprozess mit Ziehseife (Ziehmittel in Pulverform mit Kalzium und Natrium) geschmiert. Durch Feuchtigkeit auf der Drahtoberfläche bricht der Schmierfilm zusammen, die Drahtoberfläche wird rau und der Ziehstein ist innerhalb kürzester Zeit verschlissen und defekt (ca. 1/4 Stunde). Deshalb sollte eine besonders effektive, induktive Hochfrequenz-Drahttrocknung vor der Ziehmaschine zum Einsatz kommen.

Dieser optimal für den Ziehprozess vorbereitete Draht sollte direkt in die Ziehmaschine einlaufen, auf das vorgegebene Maß gezogen und aufgewickelt werden.

Mit der optimalen Vorbereitung und durch eine neue 14-zügige Ziehmaschine sollte es möglich werden, Walzdraht mit einem Durchmesser von 5,5 mm direkt auf Durchmesser unterhalb von 2,9 mm zu ziehen. Damit sollten die zweiten Patentier- und Grobzugdurchgänge für 27 Tonnen Draht/Monat (324 t/a) entfallen und eine CO₂-Reduzierung von 29,3 t/a erreicht werden.

Für einen gleichmäßigen Drahtablauf mit geringer Zugkraft im Draht sollten die 36 Abläufe vor dem Patentierofen die Drahtspulen antreiben. Diese Antriebe sollten über einen Tänzer die Ablaufgeschwindigkeit der Spule regeln und für gleichmäßig straffe Drähte sorgen. Die Drahtgeschwindigkeit sollte nur durch die Geschwindigkeit des jeweiligen Aufwickelns bestimmt werden.

Bei der alten Patentieranlage wurde die Drahtgeschwindigkeit so geregelt, dass die notwendige Verweilzeit im Zinkbad und die für den Drahtdurchmesser erforderliche Abzugsgeschwindigkeit aus dem Zinkbad eingehalten wurden. Hierdurch wurde aber auch die Verweilzeit der Drähte in dem Ofen bestimmt. An dem Ofen selbst konnte man lediglich die Temperatur der einzelnen Zonen regeln. Der große Nachteil war, dass bei einem zu langen Aufenthalt des Drahtes in dem Ofen der Werkstoff eine Randentkohlung erfahren konnte oder bei einem zu kurzen Aufenthalt die einwandfreie Gefügeumbildung nicht gewährleistet wurde. Hierdurch konnten starke Qualitätsschwankungen entstehen.

Daher sollte bei der Installation der neuen Anlage eine direkte Temperaturmessung der einzelnen Drähte in dem Ofen nahe dem Ofenauslauf durchgeführt werden und auf der Basis dieses Wertes die Abzugsgeschwindigkeit des einzelnen Drahtes individuell eingestellt werden.

Eine direkte Kontaktmessung ist bei diesen Temperaturen und Geschwindigkeiten nicht möglich; daher sollte die Temperaturmessung mittels Infrarot-Kamera erfolgen. Zum damaligen Zeitpunkt wurden Infrarot-Kameras für diese Zwecke nicht eingesetzt.

Bei der vorgesehenen Kamera handelte es sich um eine Infrarot-Kamera, die den Emissionsgrad korrigieren konnte. (Das Verhältnis der von einem Körper abgegebenen Strahlungsintensität zur Strahlungsintensität eines schwarzen Körpers derselben Temperatur nennt man den Emissionsgrad des Körpers.) Laut Hersteller war sie speziell für den Einsatz in Härtereianlagen entwickelt worden, um dort die Temperatur der wärmebehandelten Werkstücke zu erfassen. Durch eine emissionsfaktorkompensierte Temperaturmessung und durch höchste thermische Auflösung sollte die notwendige genaue Temperaturmessung möglich sein. In einer Durchlauf-Wärmebehandlungsanlage für Drähte war die Kamera bis dahin nicht eingesetzt worden, aber wegen der vergleichbaren Konditionen wurde erwartet, dass sie auch für diesen Bereich optimal geeignet ist.

Es war vorgesehen, diese Kamera in dem neuen Ofen zu installieren, um kontinuierlich die Temperaturen jedes einzelnen Drahtes zu erfassen und auf dieser Grundlage die Abzugsgeschwindigkeit der einzelnen Drähte und die Ofentemperatur optimal einstellen zu können. Die Einstellung der Abzugsgeschwindigkeit sollte manuell und später möglichst automatisch erfolgen.

Bei dem neuen Ofen sollten keramische Rekuperatorbrenner mit Brennerluftvorwärmung eingesetzt werden und zusätzlich mit keramischen Flammrohren versehen werden. Dadurch sollte bei dem vorhandenen Temperaturbereich ca. 32% der bisher eingesetzten Energie eingespart und somit auch 32% der CO₂-Emissionen vermieden werden.

Das Bleibad sollte nach Stand der Technik gebaut werden und für ein gutes Drahtgefüge sorgen. Deshalb war vorgesehen die Eintauchlänge der Drähte zu vergrößern.

Ein weiteres Minderungspotenzial von ca. 10% ergab sich dadurch, dass der Ofen über das Wochenende runtergefahren und vor Arbeitsbeginn automatisch wieder hochgefahren werden sollte, was beim alten Ofen nicht möglich war (s.o.). Um den Patentierofen ganz ausschalten zu können, wurde der neue Ofen mit einer entsprechenden Ofenisolierung ausgestattet, die bei Abkühlung des Ofens auf Raumtemperatur keinen Schaden nimmt.

In der Summe ergab das ein Einsparpotenzial von ca. 42% des früheren Erdgasverbrauchs von 3.800.000 kWh/a, d.h. 1.596.000 kWh/a und eine CO₂ Reduktion von 319,2 t/a.

Der spezifische Gasverbrauch sollte sich von 453 kWh/t auf einen Wert von 330 kWh/t verbessern.

Mit einer entsprechenden Ofenatmosphäre sollte eine Oxidschicht auf dem Draht verhindert oder in geeignetem Maße reduziert werden. Die notwendige Atmosphäre sollte ein zugeführtes Schutzgas erzeugen.

Durch eine Schutzgasatmosphäre auch hinter dem Ofen, bei Draht Eintritt und -austritt des Bleibades, bei ca. 500°C sollte auch hier die Oxidation der Drähte vermieden werden und so die Notwendigkeit für das Beizen entfallen.

Nach Erreichen des Zieles, auf das Beizen zu verzichten, sollte versucht werden auch auf die Wasserabkühlung der Drähte zu verzichten und damit die Drähte (ähnlich wie bei der Bandverzinkung nach Sendzimir) im noch heißen Zustand bei ca. 450°C in das flüssige Zink einzutauchen. Wenn nach dieser Maßnahme die Drähte hinter dem Ofen durchgehend in einer

Schutzgasatmosphäre verbleiben, sollte es möglich werden, ohne Fluxmittelaufbringung zu verzinken.

Die optimale Einstellung der Ofenatmosphäre sollte durch Versuche herausgefunden werden.

Mit einer Stickstoff- oder Druckluft- Abstreiftechnik sollte der Auftrag an Zink auf den Draht optimiert und damit der Einsatz an Zink in der Verzinkungsanlage reduziert werden.

Die Schichtdicke des Zinks sollte kontinuierlich gemessen werden. Die Daten aus dieser Messung sollten für die Einstellung der Stickstoffabstreifung verwendet werden.

Beim Bondern und Beschichten sollte der Energieverbrauch durch Einsatz der Prozessabwärme von Patentierofen und Bleibad gesenkt werden.

Mit neuen Antrieben und neuen Steuerungen für die Aufwickler sollte eine optimale Einstellung der Drahtgeschwindigkeiten möglich sein.

2.3 Umsetzung des Vorhabens

Da die Patentieranlage für die Wärmebehandlung der gesamten gefertigten Drähte benötigt wird, war es nicht möglich, die alte Anlage komplett zu entfernen, um dann dort die neue Patentieranlage zu installieren. Anderenfalls hätte die gesamte Produktion für den Zeitraum der Neuinstallation, d.h. mehrere Wochen unterbrochen werden müssen.

Da die alten Räumlichkeiten für den Einbau einer neuen Anlage zu klein waren, war man zudem gezwungen, eine Gebäudeerweiterung durchzuführen.

Schwerpunkt der nachfolgenden Ausführungen sind Auffälligkeiten und Probleme, die bei der Umsetzung des Vorhabens aufgetreten sind, und die zum Teil Abweichungen von der ursprünglichen Planung des Vorhabens erforderlich machten.

Entzunderung mit Reinigung, Trocknung und Grobzug (Ziehmaschine)

Eine komplette Entzunderung bestehend aus Walzdrahtablauf mit Flyer (Abbildung 4), intensiver Rollenentzunderung, Draht-Hochdruckreinigung mit geschlossenem Wasserkreislauf (Abbildung 5) inklusive Bandfilter für die Wasserreinigung sowie einer Wanne mit Natriumsilikat-Lösung und Drahttrocknung (Abbildung 6) war von einem einzelnen Hersteller nicht zu bekommen.

Deshalb wurden die Einzelkomponenten und Teile von verschiedenen Lieferanten angefertigt. Diese Komponenten wurden durch eigenes, fachlich qualifiziertes Personal zusammengefügt und montiert. Der Grobzug, eine 14-zügige Ziehmaschine (Abbildung 7) komplett mit Aufwickler (Abbildung 8), wurde von einem italienischen Hersteller bezogen. Durch die verspätete Lieferung der Maschinen und Komponenten konnte der Aufbau und die Montage der Entzunderung mit Reinigung, Trocknung und Grobzug nicht zum geplanten Termin fertiggestellt werden.

So konnten wir die Inbetriebnahme dieser Maschinen erst mit zeitlicher Verzögerung durchführen.

Patentieren (Wärmebehandlung) des vorgezogenen Drahtes mit Temperaturmessung im Ofen durch Wärmekamera

Die 36 Abläufe vor dem Patentierofen wurden mit Antrieb und Tänzerregelung auf dem Markt nicht angeboten. Deshalb wurden auch hier die Komponenten und Teile beschafft und selbst montiert.

Nachdem die elektrische Steuerung abgestimmt war, konnten die Abläufe den Betrieb aufnehmen (siehe Abbildung 9).

Zu Beginn der Planungen wurde uns eine spezielle Wärmekamera für die Temperaturerfassung von bis zu 40 Drähten mit Durchmessern von 1,2 bis 5,9 mm angeboten und die störungsfreie Funktion zugesichert. Als im Jahr 2010 die Kameras bestellt werden sollten, gab der Anbieter an, dass er die Kameras nicht mehr herstelle und daher keine geeignete Wärmekamera liefern könne.

Erst nach langer Suche fanden wir einen Spezialisten, der bereit war, eine unseren Anforderungen entsprechende Wärmekamera anzubieten und an unseren Patentierofen zu bauen (Fa. Meyer-Messtechnik in 49477 Ibbenbüren).

Für die ganze Ofenbreite waren zwei Kameras für je 18 Drähte notwendig. Anfangs wurde ein Gehäuse mit einem Sichtfenster aus Sicherheitsglas für die Kameras geplant, gebaut und in den Ofen eingesetzt. Leider waren die Sichtfenster schon nach ein bis zwei Tagen auf der zum Ofen gerichteten Seite beschlagen und mit Rauchablagerungen verschmutzt.

Die Firma Meyer hat daraufhin die Gehäuse erneuert und mit einer Schwenk- und Dichtvorrichtung für die Kameras ausgestattet. In diese Gehäuse wird gekühltes Abgas vom Patentierofen gepumpt. Dadurch wird ein Überdruck erzeugt, der das Eindringen des sehr heißen Ofengases in das Kameragehäuse verhindert (siehe Abbildung 14).

Anfängliche Temperaturprobleme konnten durch eine zusätzliche Kühlung des Kameragehäuses beseitigt werden.

Für die Einstellung der Ofentemperatur werden die Drahttemperaturen des gesamten Drahtfeldes ausgewertet (siehe Abbildung 15). Diese Funktion kann als Grundeinstellung des Ofens betrachtet werden.

Die SPS Steuerung gibt der Kamera den Fokus vor und stellt auch den Drahtdurchmesser aus der übergeordneten Steuerung zur Verfügung. Jedem Drahtdurchmesser zugeordnet gibt es Temperaturvorgaben, die es zu erreichen gilt. Über die Justierung der Drahtgeschwindigkeiten erreichen die Drähte die vorgegebenen Temperaturen.

Es war die Installation eines Patentierofens mit geschlossenen Rekuperationsbrennern mit keramischen Flammrohren geplant. Die Ofenatmosphäre sollte über ein zugeführtes Schutzgas eingestellt werden.

Wir wurden von einigen Ofenherstellern davor gewarnt den Patentierofen mit keramischen Brennerrohren zu bauen: Die durch den Ofen geführten, vorgezogenen Drähte haben immer eine geringe Restmenge an Ziehmittel auf der Oberfläche. Die Ziehmittel enthalten Natrium und Kalium. Dieses Natrium und Kalium setzt sich auf der Oberfläche der keramischen Brennerrohre ab und führt dort zu einer Korrosion, die eine Absenkung der Schmelztemperatur des SiC-Materials zur Folge hat. Aus dieser Schmelztemperaturabsenkung hätte eine enorme Lebensdauerverkürzung der Brennerrohre auf ca. ein Jahr resultiert. Der Patentierofen sollte 28 Brenner mit geschlossenen Reku-Rohren quer durch den Ofen haben. Jedes dieser Keramikrohre kostet ca. 2500,- Euro. Bei einer Lebensdauer von nur einem Jahr wären dadurch Folgekosten von ca. 70.000,- Euro/Jahr entstanden. Die Lösung dieses Problems ergab sich dadurch, dass aufgrund weiterer notwendiger Änderungen am Vorhaben ohnehin eine Neukonzeption des Ofens und der Brenner erforderlich wurde (siehe nachfolgender Abschnitt).

Um ein Auf- und Abheizen des Ofens ohne Schädigungen an den Ofenwänden gewährleisten zu können und gleichzeitig gute Isoliereigenschaften zu haben, wurden die Ofenwände aus Faserisolierung hergestellt. Dieser Ofenaufbau war bis dahin im Patentierofenbau neu. Die

keramischen Fasern der Isolierung sollten bei einem Angriff durch Natrium und Kalium (Reste vom Ziehprozess) eine Glasschicht bilden, die eine weitere Schädigung der Faser verhindert.

Mit energiesparender Faserisolierung und mit einer automatischen Temperaturregelung kann der Ofen zu vorher einstellbaren Zeiten hoch- und heruntergefahren werden. So kann z. B. freitags der Ofen ausgeschaltet und sonntagnachts wieder hochgefahren werden. Es kann die Beheizung am Wochenende eingespart werden und am Montag steht ein Patentierofen mit erreichter Betriebstemperatur zur Verfügung.

Einstellung der Ofenatmosphäre und deren Auswirkungen auf die nachfolgenden Verfahrensschritte (Bleibad, Beize, Fluxen und Verzinkung)

Um die richtige Ofenatmosphäre für hochwertige Drähte zu finden, wurden umfangreiche Versuche mit verschiedenen Schutzgasen (Stickstoff-Wasserstoffmischungen) im Patentierofen gefahren.

Der Draht wurde durch das Bleibad hindurch bis zum Abkühlbecken durch die Schutzgasatmosphäre geführt.

Mit einem Schutzgas aus ca. 95% Stickstoff und 5% Wasserstoff bleibt der im Ofen geglühte Draht metallisch blank und hat ohne Beizen nach dem Durchlaufen von Flux- und Zinkbad eine gleichmäßige Zinkschicht. Es wurde aber festgestellt, dass der durch dieses Schutzgas geführte Draht so sauber und blank war, dass er nach dem Abkühlen im Bleibad erhebliche Bleianhaftungen an der Oberfläche hatte, die eine Weiterverarbeitung der Drähte ausschlossen.

Leider ist es nicht gelungen, eine Schutzgas-Einstellung zu finden, bei der es auf der Drahtoberfläche weder eine Oxidschicht noch Bleianhaftungen nach dem Abkühlen gibt. Nur mit einer dünnen Oxidschicht auf der Drahtoberfläche war es möglich einen bleifreien Draht zu patentieren. Versuche diese Oxidschicht mit einem Schutzgas hinter dem Bleibad zu reduzieren sind leider fehlgeschlagen. Andererseits sind ohne Bleibadabschreckung abgekühlte Drähte wegen schlechter mechanischer Werte für Stahlseile unbrauchbar.

Aufgrund der vorstehenden neuen Erkenntnisse wurde die Konzeption des Patentierofens geändert und statt eines Ofens mit geschlossenen Rekuperationsbrennern und Schutzgasatmosphäre ein Patentierofen mit einem Zentralrekuperator und mit offenen Brennern geplant und gebaut (Abbildung 10 bis Abbildung 13). Da diese Brenner auch eine reduzierende Ofenatmosphäre erzeugen, wird kein zusätzliches Schutzgas benötigt. Natürlich werden auch diese Brenner mit Verbrennungsluftvorwärmung betrieben. Auch diese Brenner haben kleine offene keramische Strahlrohre, die einmal im Jahr erneuert werden müssen. Aufgrund des geringen Preises von ca. 200,- Euro bleiben die jährlichen Kosten allerdings überschaubar.

Durch eine lange Einlaufzone und durch den Abgasrekuperator wird ein Großteil der Wärme dem Abgas entzogen und der Verbrennungsluft zugeführt. Die Abgastemperatur wird so auf ca. 200°C abgesenkt.

Die für die Vermeidung von Bleianhaftungen notwendige Oxidschicht führte bei nicht gebeiztem Draht allerdings zu einer sehr schlechten Zinkhaftung. Die Zinkschicht platzte teils bei der weiteren Verarbeitung ab. So konnte das Beizen vor der Verzinkung entgegen der ursprünglichen Zielstellung des Vorhabens leider nicht entfallen. Für die notwendige Drahtqualität musste weiterhin genauso wie vorher gebeizt werden. Durch eine vorgeschaltete, mechanische Reinigung konnte der Säureverbrauch reduziert werden. (Siehe nachfolgende Bemerkungen)

Bemerkungen

Das Ziel, die Drähte säurefrei zu reinigen wird seit Anfang 2013 durch das Projekt „Entwicklung eines Verfahrens zur Säurefreien Reinigung von Drähten mittels Gleitschleifen“ intensiv verfolgt. Dieses Projekt wird vom BMWi gefördert.

Bisher konnte dadurch der Säureverbrauch nur um ca. 20% verringert werden.

Ein Versuch den Zunder hinter dem Ofen mit Hochdruckwasserstrahlen zu entfernen hat an dieser Stelle nicht zum Erfolg geführt.

Verzinkung der Drähte (Abbildung 16)

Nachdem sich das Abkühlen und Beizen der Drähte als zunächst unvermeidbar herausstellte, standen keine 450°C heißen Drähte zur Verfügung, die ohne Fluxen in die Zinkschmelze hätten einlaufen können. Bei kalten Drähten erreicht die Zinkschicht allerdings ohne Fluxen nicht die notwendige Haftung auf dem Draht. Insofern hat sich auch das Vorhabensziel, perspektivisch auf das Fluxen verzichten zu können, zunächst als nicht praktikabel erwiesen.

Um die Reaktionen mit dem Sauerstoff zu reduzieren, wurde eine Verzinkung mit Stickstoffabstreiftechnik in Auftrag gegeben und gebaut (siehe Abbildung 17). Für die passende Einstellung der Zinkabstreifung werden Messdaten aus der Zinkschichtdickenmessung zur Verfügung gestellt (siehe Abbildung 18).

Für die Stickstoffabstreifung muss beim Verlassen der Zinkschmelze etwas mehr Zink auf dem Draht sein. Das noch flüssige Zink wird dann mit Stickstoff auf die passende Stärke abgestreift. Das abgestreifte Zink fließt direkt zurück in die Zinkschmelze. Danach werden die Drähte mit einem Wasserstrahl abgekühlt in die horizontale Ebene umgelenkt und durch ein Wasserbad geführt.

Das Wasser für die Kühlung der verzinkten Drähte wird im geschlossenen Kreislauf über einen Wasser – Luftwärmetauscher (Abbildung 19) gekühlt und immer wieder eingesetzt.

Die neue Verzinkung wurde nach dem Beheben einiger Probleme mit dem Wasserfluss in der Drahtkühlung durch den Lieferanten erfolgreich in Betrieb genommen.

Bondern und Beschichten

Der Wärmetauscher für Bondern und Beschichten wurde aufgebaut und in Betrieb genommen. Er überträgt die Abwärme von Patentierofen und Bleibad in Wasser, dass für die Beheizung der Bäder zur Verfügung steht.

Drahtaufwicklung

Die 36 Aufwickler (Abbildung 20) haben eine komplett neue Antriebseinheit mit Zahnriemen und exakter Steuerungseinheit erhalten. Die mechanischen Komponenten wurden durch eigenes Personal montiert.

Schaltschränke und Steuerung wurden von externen Lieferanten gebaut. Nach einigen Softwareanpassungen konnten die Aufwickler den Betrieb erfolgreich aufnehmen.

Der tatsächlich mit Umsetzung des Vorhabens realisierte Verfahrensablauf wird in Abbildung 3 veranschaulicht.

Stoffflussdiagramm inkl. umgesetzter Änderungen
 Patentierung u. Verzinkung Vornbäumen GmbH & Co.KG

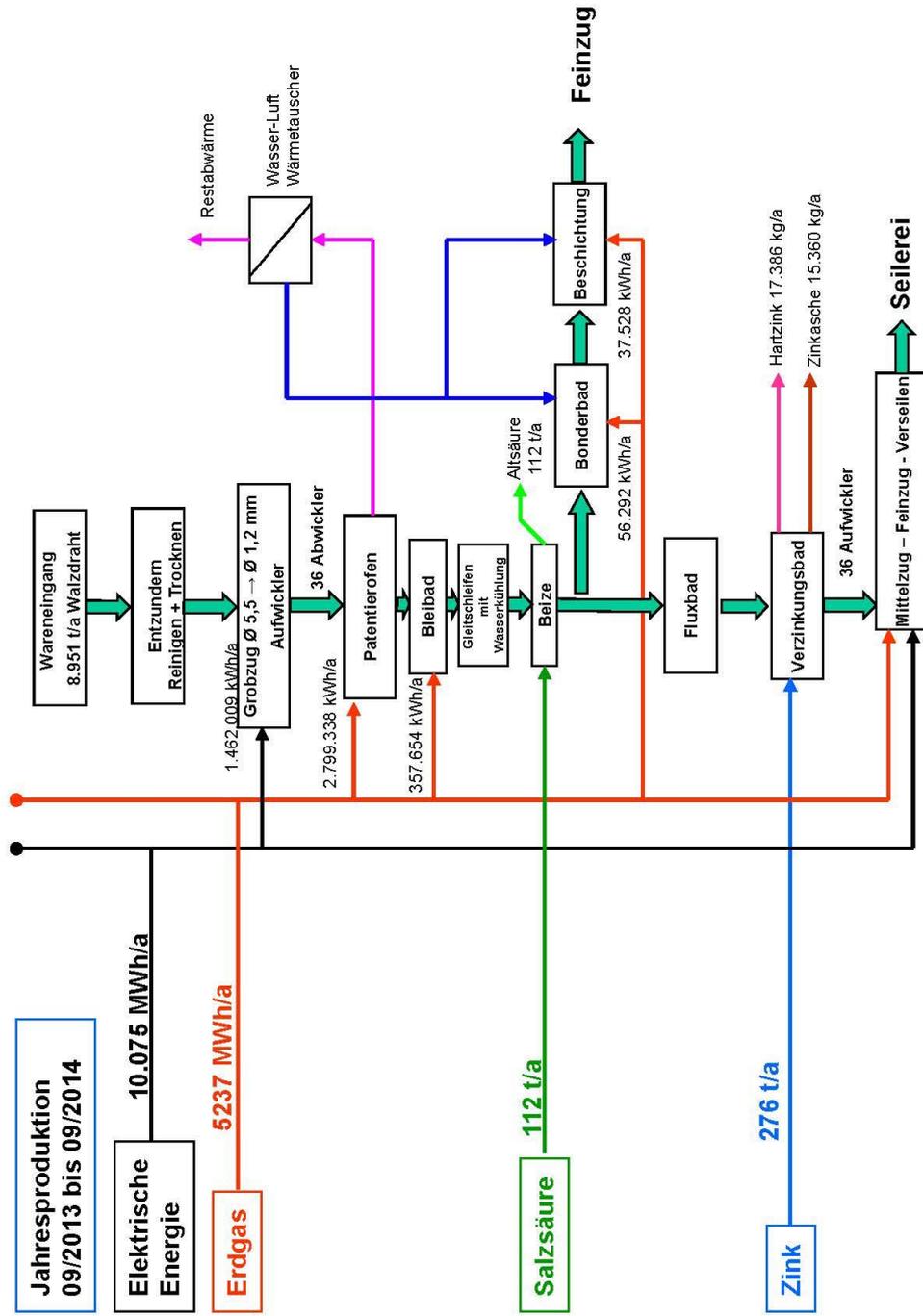


Abbildung 3: Tatsächlicher Verfahrensablauf nach Umsetzung des Vorhabens



Abbildung 4: Walzdrahtablauf



Abbildung 5: Hochdruckreinigung



Abbildung 6: Trocknung



Abbildung 7: Ziehmaschine



Abbildung 8: Aufwickler (Spuler)



Abbildung 9: Neue 36 Drahtabläufe



Abbildung 10: Ofeneinlauf



Abbildung 11: Rekuperator



Abbildung 12: Neuer Patentierofen



Abbildung 13: Patentierofen



Abbildung 14: Gehäuse mit Überdruck für Wärmekamera

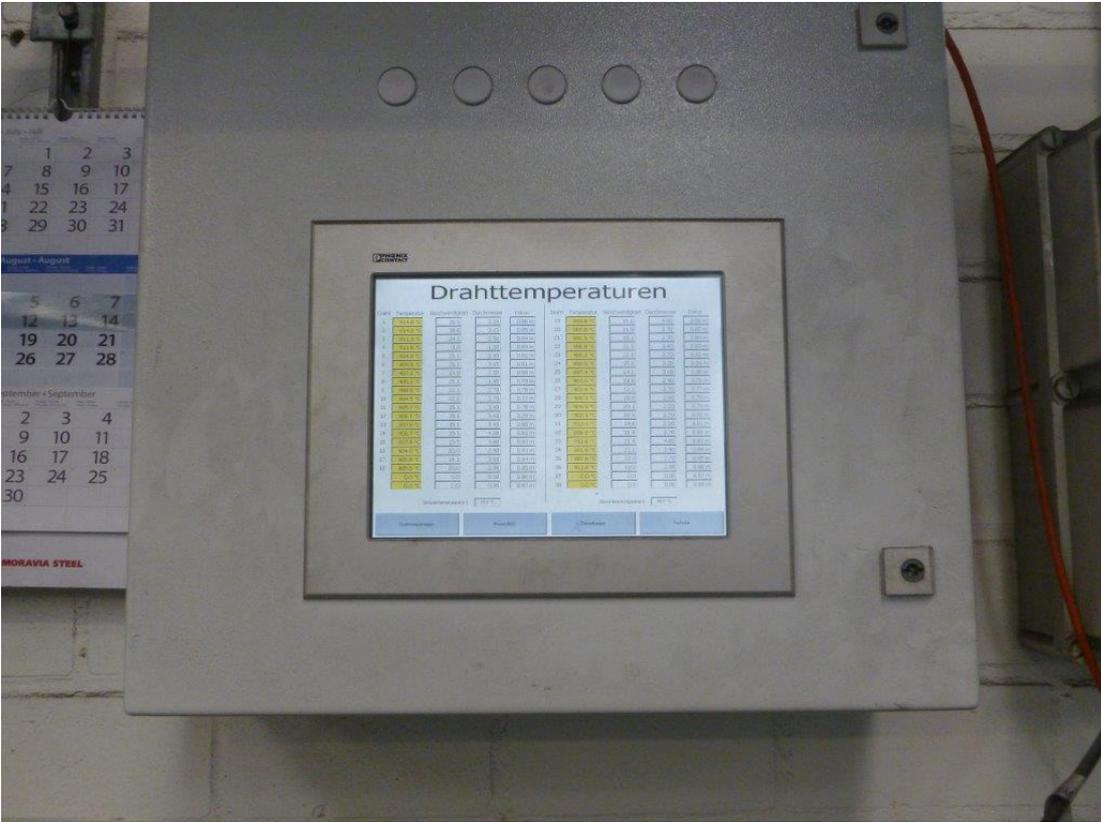


Abbildung 15: Touchscreen für Drahttemperaturen



Abbildung 16: Verzinkung



Abbildung 17: Stickstoffabstreifung und Schaltschrank Verzinkung



Abbildung 18: Bedienpult Verzinkung mit Durchmesser- und Temperaturanzeige

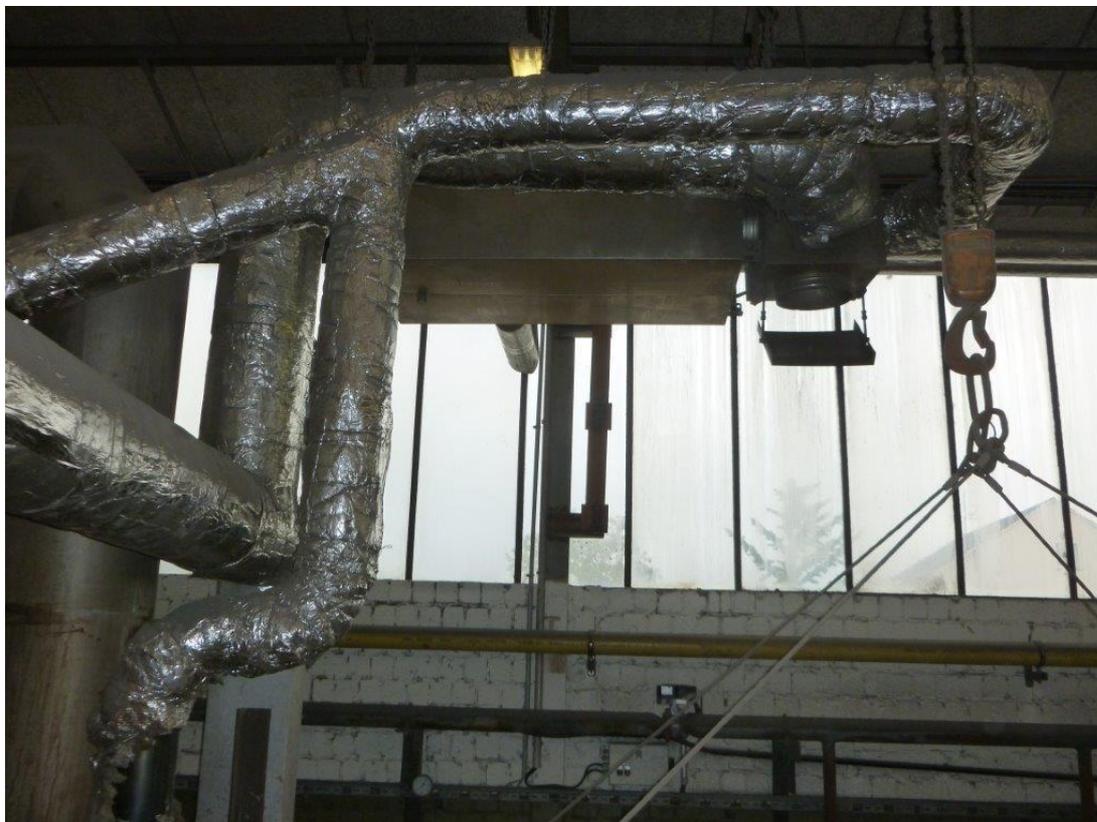


Abbildung 19: Wärmetauscher



Abbildung 20: Aufwickler

2.4 Behördliche Anforderungen

Eine BImSchG-Änderungsanzeige nach §15 wurde für den neuen Patentierofen gemacht. Da der ursprünglich angestrebte Verzicht auf das Beizen im Rahmen des Vorhabens nicht umgesetzt werden konnte, war für die Verzinkungsanlage eine Genehmigung nach BImSchG erforderlich. Deshalb wurde ein Antrag nach §16 (1) BImSchG eingereicht und genehmigt. Als zulässige Emission an gasförmigen Chlorwasserstoffen im Abgas wurde 10 mg/m^3 festgelegt. Dieser Wert wird eingehalten und wiederkehrend geprüft.

2.5 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten

Die Betriebsdaten wurden wie folgt ermittelt:

14-zügiger Grobzug:

- Der Stromverbrauch des Grobzugs wird gemessen.
- Der Drahtdurchsatz kommt aus den Betriebsdaten.
- Einsparung an Ziehsteinen, hochgerechnet auf 1 Jahr.

Patentierofen:

- Patentierofen und Bleibad haben jeweils einen eigenen, separaten Gaszähler.
- Der Drahtdurchsatz kommt aus den Betriebsdaten.

Beize:

- Die Angaben zum Säureverbrauch stammen aus den monatlichen Einkaufsdaten von 2013 und 2014.

Bondern und Beschichten:

- Der Gasverbrauch wird über einen separaten Gaszähler ermittelt.

Verzinkung:

- Der Zinkverbrauch und Stickstoffverbrauch stammt aus den Betriebsdaten.

3 Ergebnisse

3.1 Allgemeine Bewertung der Vorhabensdurchführung

Insgesamt konnte das energieeffiziente Patentier- und Verzinkungsverfahren zum Großteil erfolgreich umgesetzt werden. Aus technischen Gründen wurden einige Ziele nicht oder nicht ganz erreicht, dafür wurden andere Zielwerte übertroffen. Die Zielwerte für den Strom- und Gasverbrauch werden unterschritten.

Entzunderung mit Reinigung, Trocknung und 14-zügigen Grobzug

Die Zunderentfernung mit intensiver Rollenentzunderung zeigt gute Ergebnisse. Nach der Drahtreinigung mit dem Hochdruckwasserstrahl sind auch die Zunderreste sicher entfernt.

Das Wasser aus der Hochdruckreinigung wird durch den Bandfilter gut gereinigt. So kann das Wasser im Umlaufverfahren immer wieder eingesetzt werden. Vor allem die induktive Hochfrequenz-Drahttrocknung zeigt sehr gute Trocknungsergebnisse. Dadurch hat sich die Standzeit der Ziehsteine mehr als verdoppelt. Der Draht kann in der 14zügigen Ziehmaschine problemlos in einem Arbeitsgang bis auf Durchmesser 1,2 mm gezogen werden.

Patentieren (Wärmebehandlung) des vorgezogenen Drahtes mit Temperaturmessung im Ofen durch Wärmekamera

Die angetriebenen Drahtabläufe sorgen für einen gleichmäßigeren Drahtlauf im Patentierofen und auch in den nachfolgenden Stationen.

Durch den Einsatz der Wärmekameras wird die Drahttemperatur im laufenden Betrieb korrekt erfasst. Es hat sich gezeigt, dass die optimalen Drahttemperaturen für die verschiedenen Drahtdurchmesser unterschiedlich sind. Die dicken Drähte müssen wärmer sein als die dünnen. So werden alle Drähte auf eine vom Durchmesser abhängige, vorgegebene Temperatur gebracht. Durch die Wärmekameras werden die passenden Drahttemperaturen konstant erreicht und überwacht.

Durch die Brennerregelung werden die notwendige Temperatur und Atmosphäre im Ofen stabil erreicht.

Mit dem zentralen Rekuperator kann der Ofen stabil und sparsam betrieben werden.

Das Auf- und Abheizen des Ofens funktioniert und zeigt bisher keinerlei Schäden an der Isolierung.

Auf der Innenseite der Ofenisolierung aus keramischen Fasern hat sich wie erwartet, vor allem im Drahteinlaufbereich des Ofens eine glasige Schicht gebildet, die sich bisher stabil hält.

Die Strahlrohre der Brenner müssen tatsächlich jährlich bei der Wartung erneuert werden.

Verzinkung

Die Verzinkung mit einer Stickstoffabstreifung erzeugt genaue, einstellbare und gleichmäßige Schichtdicken. Durch die automatische Messung der Durchmesser vor und nach der Verzinkung wird sofort die Schichtdicke angezeigt. So kann die Schichtdicke optimal eingehalten und überwacht werden.

Die Geschwindigkeiten der Aufwickler mit neuer Antriebseinheit lassen sich optimal einstellen und arbeiten mit gleichmäßigem Drahtzug. Die Drähte laufen mit geringer Zugspannung gleichmäßig gestrafft durch die Patentieranlage.

3.2 Stoff- und Energiebilanz

In Tabelle 2 werden die Energie- und Materialverbräuche sowie CO₂-Emissionen nach Umsetzung des Vorhabens (Spalte „IST“) den entsprechenden Werten vor Umsetzung des Vorhabens (Spalte „Alte Anlage“) sowie den Zielwerten bei Antragstellung (Spalte „SOLL“) gegenübergestellt. Die angegebenen Einsparungen gegenüber den Werten vor Umsetzung des Vorhabens (rechte Spalte) berücksichtigen den Umstand, dass sich der Drahtdurchsatz mit Umsetzung des Vorhabens um 6,7% erhöht hat, d.h. für die korrekte Berechnung der Einsparung wurde die absoluten IST-Verbräuche auf den etwas geringeren Drahtdurchsatz vor Umsetzung des Vorhabens (8.391 t/a) umgerechnet.

Tabelle 2: Energie- und Materialverbräuche sowie CO₂-Emissionen vor und nach Umsetzung des Vorhabens

	Einheit	Alte Anlage	SOLL	IST	Einsparung bezogen auf 8.391 t Drahtdurchsatz
<u>14-zügiger Grobzug</u>					
Drahtdurchsatz	t/a	8.391	8.391	8.951	
2. Durchgang		324	0	0	
Verbrauch Strom	kWh/a	2.158.570	1.558.711	1.462.009	-788.028
CO ₂ Emission * 3	t/a	1.187	857	804	-433
<u>Patentierofen</u>					
Verbrauch Erdgas	kWh/a	3.800.000	2.769.000	2.799.338	-1.175.797
Drahtdurchsatz	t/a	8.391	8.391	8.951	
spez. Energieverbrauch	kWh/t	453	330	313	-140
CO ₂ Emission * 3	t/a	760	554	560	-235
<u>Bleibad</u> (Das neue Bleibad ist länger als das alte, deswegen mehr Verbrauch)					
Verbrauch Strom	kWh/a	145.740	0	0	-145.740
Verbr. Erdgas	kWh/a	0	291.480	357.654	+335.278
CO ₂ Emission * 4	t/a	80	58	71	-13
<u>Beize</u>					
Verbrauch HCl	t/a	140	0	112	
Verbrauch HCl bei 8.391 t Drahtdurchsatz	t/a	140	0	105	-35
Spezif. HCl-Verbrauch	kg/t	16,7	0	12,5	-4,2
<u>Fluxbad</u>					
Verbrauch Fluxmittel	kg/a	2.000	0	1760	
Verbrauch Fluxmittel bei 8.391 t Drahtdurchsatz	kg/a	2.000	0	1650	-350
Spez. Fluxmittel-Verbrauch	kg/t	0,25	0	0,20	-0,05
<u>Beschichtung</u>					
Verbrauch Erdgas	kWh/a	439.860	43.986	37.528	-404.680
CO ₂ Emission * 4	t/a	88	8,8	7,5	-81
<u>Bondern</u>					
Verbrauch Strom	kWh/a	108.000	0	0	-108.000
Verbrauch Erdgas	kWh/a	0	10.800	56.292	+52.770
CO ₂ Emission * 3 4	t/a	59	2	11	-49

	Einheit	Alte Anlage	SOLL	IST	Einsparung bezogen auf 8.391 t Drahtdurchsatz
Verzinkung					
Verbrauch Zink	t/a	300	220	276	
Verbrauch Zink bei 8.391 t Drahtdurchsatz	t/a	300	220	259	-41
CO ₂ -Emission aus Zinkpro- duktion (3,035 t CO ₂ /t Zink)	t/a	911	668	838	-125
Insgesamt					
Gesamtverbrauch Strom	kWh/a	2.412.310	1.558.711	1.462.009	
Stromverbrauch bei 8.391 t Drahtdurchsatz	kWh/a	2.412.310	1.558.711	1.370.541	-1.041.769
Gesamtverbrauch Erdgas	kWh/a	4.239.860	3.115.266	3.250.812	
Erdgasverbrauch bei 8.391 t Drahtdurchsatz	kWh/a	4.239.860	3.115.266	3.047.432	-1.182.428
CO ₂ Emission gesamt	t/a	3.085	2.148	2.292	
CO ₂ Emission bei 8.391 t Drahtdurchsatz	t/a	3.085	2.148	2.148	-937
CO ₂ Emission spez.	t CO ₂ / t Draht	0,368	0,256	0,256	0,112

* ³ Mit 0,2 kg/kWh CO₂ für Erdgas

* ⁴ Mit 0,55 kg/kWh CO₂ für Strom (deutscher Energiemix)

Mit der neuen Drahtvorbereitung konnte die Standzeit der Ziehsteine im Grobzug von 80 auf ca. 200 Stunden erhöht werden. Das ergibt eine Einsparung von ca. 48 Ziehsteinsätzen pro Jahr und reduziert die Rüstzeiten der Ziehmaschine um 1 Stunde je Ziehsteinsatz (48 Stunden/Jahr).

Das Messprotokoll zum Abgas des erdgasbetriebenen Patentierofens (siehe Tabelle 3) belegt den hohen energetischen Wirkungsgrad des neuen Patentierofens bei niedrigen Emissionen.

Tabelle 3: Messprotokolldaten zum Abgas des erdgasbetriebenen Patentierofens

O ₂	Sauerstoffgehalt	1,8%
CO ₂	CO ₂ -Gehalt	10,8%
TA	Abgastemperatur	245°C
TL	Lufttemperatur (vorgewärmte Brennerzuluft)	220°C
QA	Abgasverlust	0,1%
Eta	Wirkungsgrad	109,6%
Kon	Kondensatmenge	1,43 kg/m ³
Lambda	Luftzahl	1,09
	Taupunkt	58,7°C
Pd	Schornsteinzug	-173 Pa
COv	Kohlenmonoxid verdünnt	22 ppm
CO _n	Kohlenmonoxid norm	24 ppm
H ₂	Wasserstoffgehalt	59 ppm

3.3 Umweltbilanz

Vor Umsetzung des Vorhabens führte die Drahtherstellung bei Fa. Vornbäumen zu (direkten und indirekten) CO₂-Emissionen von 3.085 Tonnen pro Jahr. Mit dem Vorhaben sollten die CO₂-Emissionen bei gleicher Produktionsleistung auf 2.148 Tonnen pro Jahr vermindert werden.

Tatsächlich wurde durch die Umsetzung des Vorhabens – bezogen auf einen unveränderten Drahtdurchsatz von 8.391 t/a – eine CO₂-Minderung auf 2.148 Tonnen pro Jahr erreicht. Da sich aber der Drahtdurchsatz gleichzeitig um 6,7% auf 8.591 t/a erhöht hat, ist die absolute Menge der CO₂-Emissionen nur um 793 t/a gesunken.

Den größten Beitrag zur Minderung der CO₂-Emissionen (46%) erbringt dabei laut Tabelle 2 die Stromeinsparung durch Erneuerung des 14-zügigen Grobzugs mit der induktiven Hochfrequenz-Drahttrocknung, erst danach folgt der neue Patentierofen mit dem Rekuperator und der innovativen Steuerungstechnik (25% der Gesamtminderung). Die Nutzung der Abwärme von Patentierofen und Bleibad zur Beheizung von Bonder- und Beschichtungsbad haben dagegen nur etwa 14% zur gesamten CO₂-Minderung beigetragen.

Wie in Abschnitt 2.3 ausgeführt, konnte das ursprüngliche Ziel eines völligen Verzichts auf das Beizen vor der Verzinkung nicht in die Praxis umgesetzt werden, weil im Laufe des Vorhabens keine Verfahrensvariante ermittelt werden konnte, mit der eine akzeptable Produktqualität erreicht wurde. Folglich werden die Drähte nach Umsetzung des Vorhabens weiterhin gebeizt, was auch impliziert, dass die ca. 450 °C heißen Drähte aus dem Bleibad anschließend auf Beiztemperatur (80 – 95°) abgekühlt werden müssen. Es ist lediglich gelungen, den Säureeinsatz um ca. 25 %, d.h. bezogen auf einen Drahtdurchsatz von 8.391 t/a von 140 t/a auf 105 t/a zu reduzieren.

Das Ziel, die Drähte säurefrei zu reinigen wird seit Anfang 2013 durch das vom BMWi geförderte Projekt „Entwicklung eines Verfahrens zur Säurefreien Reinigung von Drähten mittels Gleitschleifen“ weiterverfolgt. Bisher konnte der Säureverbrauch dadurch aber nur um weitere 20% verringert werden.

Da auf dem kalten Draht aus dem Beizbad ohne Fluxen keine ausreichende Zinkhaftung erreicht wird, ließ sich auch der perspektivisch angestrebte Verzicht auf das Fluxbad vor der Verzinkung bisher nicht in die Praxis umsetzen. Der Fluxmittelverbrauch konnte bisher um 17,5 % vermindert werden. Bei einem Drahtdurchsatz von 8391 t/a werden 1650 kg Fluxmittel verbraucht.

Durch Optimierung der Zinkaufbringung in Verbindung mit der Stickstoffabtreifung konnte der Zinkverbrauch um ca. 14%, d.h. bezogen auf einen Drahtdurchsatz von 8.391 t/a von 300 auf 259 t/Jahr vermindert werden.

3.4 Weitere Vorteile des Verfahrens

Durch die gleichmäßigere Erwärmung der Drähte wird eine bessere, gleichmäßigere Qualität der Drähte erreicht.

Der Draht-Spulenwechsel bei den 36 Abläufen und bei den 36 Aufwicklern ist durch die neue Bauweise und die neue, exakte Steuerung deutlich einfacher.

Da die Draht-Geschwindigkeit reduziert werden kann, entsteht beim Spulenwechsel weniger Drahtschrott.

3.5 Wirtschaftlichkeitsanalyse

Tabelle 4: Betriebskosteneinsparungen durch Umsetzung des Vorhabens

	Einheit	Alte Anlage	SOLL	IST* ¹	Tatsächliche Einsparung
Jährliche Kosten für					
• Zink	Euro/a	591.000,00	433.400,00	510.230,00	80.770,00
• Strom* ²	Euro/a	399.237,31	257.966,67	226.824,54	172.412,77
• Erdgas* ³	Euro/a	155.602,86	114.330,26	111.840,75	43.762,11
• Salzsäure	Euro/a	24.316,00	0	18.237,00	6.079,00
• Ziehsteine	Euro/a	8.800,00	8.800,-	3.520,00	5.280,00
• Stickstoff	Euro/a	0	29.250,00	14.671,00	-14.671,00
Gesamtkosten	Euro/a	1.178.956,17	843.746,94	885.323,29	293.632,88

*¹ Kostenangaben umgerechnet auf den bisherigen Anlagendurchsatz (8.391 t/a; jetziger Durchsatz 8.951 t/a)

*² Bei einem Strompreis von 0,1655 Euro/kWh

*³ Bei einem Erdgaspreis von 0,0367 Euro/kWh

Gemäß Tabelle 4 wird mit der Umsetzung des Vorhabens – bezogen auf den bisherigen Anlagendurchsatz von 8.391 t/a – eine Betriebsstoffeinsparung von 293.632,88 Euro pro Jahr erreicht, die erwartete Einsparung von 335.209,23 Euro aber verfehlt.

Tabelle 5: Berechnung der statischen Amortisation des Vorhabens

Anschaffungskosten	€	3.545.565,00
Fördermittel	€	993.736,00
Nutzungsdauer	a	10
Kalkulatorischer Zins	%	3,5
Kalkulatorische Abschreibung	€	255.182,90
Betriebsstoffeinsparung	€	293.632,88
Kapitalkosten	€	299.839,91
Jährliche Kosteneinsparung	€	-6.207,03
Amortisationszeit	a	10,2

Laut Tabelle 5 beträgt die statische Amortisationszeit des Vorhabens 10,2 Jahre. Die erwarteten 6 Jahre werden somit deutlich überschritten.

Der Gesamt-Drahtdurchsatz der Anlage hat sich von etwa 8400 Tonnen im Jahre 2006 auf 8950 Tonnen im Jahre 2014 leicht erhöht. Gleichzeitig hat sich der durchschnittliche Durchmesser der verkauften Drähte und Drahtseile verkleinert. Durch die andere Qualität der Produkte hat der Bearbeitungsaufwand am Produkt zugenommen. Mit der optimierten Patentierung und durch den höheren Bearbeitungsaufwand wurden einige Arbeitsplätze neu geschaffen. Die Mitarbeiterzahl hat sich folglich von 152 im Jahre 2006 auf 175 im Jahre 2014 erhöht.

4 Ausblick

4.1 Empfehlungen für die Praxiseinführung

Die Praxiseinführung gestaltete sich schwieriger als angenommen.

Für eine gute Qualität muss der Ablauf des Patentier- und Verzinkungsverfahrens für hochfeste Drähte genau aufeinander abgestimmt sein. Eine genaue Erfassung der Parameter ist hier besonders wichtig und macht einen präzisen Ablauf möglich.

Die Beschaffung von speziellen Geräten kann bei Wegfall eines Lieferanten erhebliche Schwierigkeiten bereiten.

Hervorzuheben sind vor allem die Schwierigkeiten bei der Realisierung der Temperaturmessung an den laufenden Drähten. Erst in einer Überdruckumgebung konnte die Kamera stabil betrieben werden.

Durch die schrittweise Inbetriebnahme der Anlagenteile traten Steuerungsprobleme nicht so geballt auf und konnten nacheinander behoben werden.

4.2 Perspektiven für die weitere Verbreitung

Bei Firma Vornbäumen wird der Verkauf in einer eigenen Vertriebsabteilung mit 7 Beschäftigten organisiert. Der Vertrieb macht aktiv Werbung mit der neuen, verbesserten Drahtproduktion und verbreitet die Projektergebnisse innerhalb unserer Branche. Die Umweltaspekte und Qualitätsvorteile des Verfahrens werden besonders hervorgehoben.

Der Hersteller des Patentierofens macht Werbung für den gebauten Ofentyp mit Faserisolierung und elektronisch geregelten Brennern mit Luftvorwärmung und Messung der Ofenatmosphäre durch Sonden, die den Restsauerstoffgehalt messen. Da die Faserisolierung und die Brennertechnik mit Zentralrekuperator sparsamer ist als die bis dahin übliche Brennertechnik mit festeingestellten Gas-Luftmischern wird das neue Prinzip sicher weitere Anwendung finden.

4.3 Perspektiven für die Übertragung des Verfahrens auf andere Anwendungsbereiche

Die genaue Temperaturerfassung mit Wärmekameratechnik kann auch an anderen Wärmebehandlungsöfen mit durchlaufenden Produkten eingesetzt werden.

Die induktive Hochfrequenz-Trocknung wird auch für das Trocknen oder Erwärmen von anderen durchlaufenden Produkten aus Stahl gute Ergebnisse bringen.

Vom Kamerahersteller wurde signalisiert, dass das Konzept dieser Wärmekamera im speziellen Überdruckgehäuse auch in Öfen für Härtereien, Hochöfen oder für ähnliche Einsätze seinen Platz finden wird.