

Abschlussbericht

zum Vorhaben:

Errichtung innovativer, energieeffizienter Glühöfen mit Online-Prozessregelung und
Schutzgasvorwärmung
20195

Fördernehmer/-in:

Aluminium NORF GmbH

Umweltbereich

Klimaschutz, Energie

Laufzeit des Vorhabens

07.10.2010 – 31.12.2013

Autoren

Dipl.-Ing. Olaf Trepels
Dipl.-Ing. Andreas Kunsleben
Dipl.-Kfm. Marcus Lodde

Gefördert aus Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt,
Naturschutz und Reaktorsicherheit

Datum der Erstellung

März 2014

Berichts-Kennblatt

Aktenzeichen UBA	Vorhaben-Nr. 20195
Titel des Vorhabens / Report Title Errichtung innovativer, energieeffizienter Glühöfen mit Online-Prozessregelung und Schutzgasvorwärmung	
Autor(en), Name(n), Vorname(n) Olaf Trepels, Aluminium Norf GmbH Andreas Kunsleben und Marcus Lodde, prisma consult GmbH / Effizienz-Agentur NRW, Duisburg	Vorhabensbeginn 07.10.2010
	Vorhabenende (Abschlussdatum): 31.12.2013
Fördernehmer / -in (Name, Anschrift) Aluminium Norf GmbH Koblenzer Str. 120 41468 Neuss	Veröffentlichungsdatum 13.03.2014
	Seitenzahl 56 + Anhang
Gefördert (aus Klimaschutzinitiative) im Rahmen des Umweltinnovationsprogramms des Bundesumweltministeriums	
Kurzfassung / Summary Im Kaltwalzwerk plante die Aluminium Norf GmbH (kurz Alunorf) den <u>ersten großtechnischen Einsatz</u> energieeffizienter Glühöfen, die mit modernster Anlagentechnik ausgerüstet sind und den genauen thermischen Zustand jeden einzelnen Bandes online regeln können. Dies sollte den energiesparenden Einsatz von walzwarmen statt abgekühlten Bändern ermöglichen. Zusätzlich sollte das Schutzgas für die Ofenatmosphäre mit Hilfe von Abgasen vorgewärmt werden. Das Vorhaben wurde mit zeitlichen Verzögerungen erfolgreich umgesetzt. Wesentlich dazu beigetragen haben die erfolgreich umgesetzte <ul style="list-style-type: none">○ Integration der Coil-Pool-Daten in Planung der Glühprozesse (Offline-Modell),○ Zusammenstellung idealer walzwärmer Bandbünde zur Glühung (Offline-Modell),○ Online-Prozessregelung mit Glühmodell,○ individuelle Berechnung je Band,○ Messung der Band-Eingangstemperatur,○ Korrektur von Rechenergebnissen auf Basis von Ofen-Messwerten,○ individuelle Regelzone je Band bei Einsatz von 4 Bändern je Charge mit unterschiedlicher Starttemperatur sowie der○ Einsatz von warmen Bändern direkt nach dem Walzen. Damit ist es gelungen, ein umweltfreundliches Wärmebehandlungskonzept erstmals in der industriellen Praxis zu realisieren. Im Messprogramm konnten alle vorhergesagten Einspareffekte nachgewiesen werden. Die gesamte jährliche Energieeinsparung gegenüber dem Vorzustand (zu diesem Zeitpunkt bestehende Anlagen bei Alunorf) beläuft sich auf 30.768.600 kWh/a. Davon entfallen auf Erdgaseinsparung incl. Schutzgaserzeugung 25.314.600 kWh/a. Der Stromverbrauch reduziert sich um 5.454.000 kWh/a. Diese Einsparungen bewirken gleichzeitig eine erhebliche Vermeidung direkter und indirekter CO ₂ – Emissionen in Höhe von rd. 8.473 t/a CO ₂ , davon 5.113 t/a in unserem Werk und 3.360 t/a für die Stromerzeugung im Kraftwerk. Über die Messung der Effizienzparameter hinaus zeigen Emissionsmessungen die sichere Einhaltung aller Grenzwerte bezogen auf die genehmigten Werte nach BImSchG.	

Summary

In the **cold mill unit** Aluminium Norf GmbH (short form: Alunorf) has projected the first large-scale use of energy-efficient annealing furnaces that are equipped with state-of-the-art technology to control online the thermal condition of each single coil. The purpose was to enable the energy-saving use of the coils' rolling heat instead of charging cooled coils. In addition, the inert gas to create the furnace atmosphere was planned to be preheated by means of waste gases.

The project was successfully completed with some delays in time. Considerably contributed to this achievement

- the integration of coil pool data in planning and scheduling annealing processes (offline model)
- the grouping of hot coils with ideal temperatures for annealing (offline model)
- the online process control based on an annealing model
- the individual calculation for each coil
- the measurement of initial strip temperatures
- the adjustment of calculated parameters to values measured in the furnace
- the individual control area for each coil when charging 4 coils with different initial temperatures
- the charging of hot coils immediately after rolling

Thus an environmental-friendly heat treatment concept could be realised and this for the first time in industrial practice.

The measuring programme has proven that all energy-saving effects predicted could be achieved. Against the initial status (existing equipment at Alunorf at that time) the entire annual energy saved totals to 30,768,600 kWh/a, thereof natural gas savings incl. inert gas generation of 25,314,600 kWh/a. Electricity consumption came down by 5,454,000 kWh/a. These savings also resulted in a considerable avoidance of direct and indirect CO₂ emissions of some 8,473 t/a, thereof 5,113 t/a in our plant and 3,360 t/a for electricity generation in power plants. In addition to the measurement of efficiency parameters, emission measurements demonstrate the safe adherence to all limiting values relating to the admissible figures acc. to the Federal emission Control Law (BimSchG).

Schlagwörter / Keywords

Kaltwalzwerk, Glühöfen, Schutzgasvorwärmung, Offline-Modell, Online-Prozessregelung

Cold rolling mill, annealing furnaces, inert gas pre-heating, offline model, online process control

Anzahl der gelieferten Berichte

Papierform: 5

Elektronischer Datenträger: 1

Sonstige Medien

Newsletter, EFA-Loseblattsammlung und Veröffentlichung im Internet geplant auf der Homepage: www.alunorf.de

Kurzfassung

Ausgangssituation

Die Aluminium Norf GmbH (kurz Alunorf) stellt Halbzeuge und Vorprodukte aus Aluminium und Aluminiumlegierungen für die weitere Herstellung von Aluminium-Produkten her. Diese werden unter anderem für Lebensmittelverpackungen, Offset-Druckplatten, Fahrzeugteile sowie Dach- und Wandverkleidungen verwendet. Die Produktion gliedert sich in die Bereiche Aluminiumschmelzwerk, Warmbandbereich und Kaltbandbereich.

Im Kaltbandbereich der Aluminium Norf GmbH werden warmgewalzte Coils in 5 Kaltwalzgerüsten weiter abgewalzt. Dabei erwärmt sich das Band auf bis zu 190 °C. Zur Einstellung der spezifikationsgerechten metallurgischen Eigenschaften des Endprodukts müssen die Bänder nach dem Kaltwalzen gegläht werden. Dies erfolgt in mit Erdgas indirekt beheizten Bundglühöfen unter Schutzgasatmosphäre. Dieses Schutzgas wurde aus Erdgas durch unterstöchiometrische Verbrennung im Verhältnis von 1 Nm³ Erdgas für 6 Nm³ Schutzgas erzeugt.

Vor Umsetzung des geförderten innovativen Vorhabens waren die bestehenden Glühöfen am Standort überwiegend für die Aufnahme von 4 Coils je Charge ausgerüstet. Sie verfügten über 3 Regelzonen je Ofen. Zur Intensivierung des Wärmeübergangs erfolgte eine Umwälzung der Ofenatmosphäre mit Anblasung des Coil-Spiegels. Nach dem Einbringen der Coils mittels eines Chargierwagens wurde die Ofentür geschlossen, die Spülung mit Schutzgas begann und die Brenner wurden eingeschaltet. Abhängig vom Ofendruck bzw. dem gemessenen Restsauerstoffgehalt im Ofenraum wurde Schutzgas nachgespeist. Im Ofen wurde ein festgelegter Temperatur-Zeit-Verlauf abgefahren.

Für den Ofenbetrieb wurden Glühpraxen – produktspezifische Zeit- und Temperaturprogramme für den gesamten Ofenraum ohne Berücksichtigung der Coiltemperatur bei Glühbeginn - vorgegeben. Diese wurden basierend auf Betriebsversuchen unter Einbeziehung metallurgischer Erfahrungen ermittelt; sie stellen ein langjährig gewachsenes Produktions-Know-how dar, dass bei Vorhabensbeginn der Kern der Prozessführung im Glühbereich war. Es wurde vorausgesetzt, dass die Öfen und die zu glühenden Bänder am Beginn des Glühprozesses kalt (Bandtemperatur < 60 °C) sind. Dies führte dazu, dass Bänder nach dem Walzen bis zum Glühbeginn abgekühlt und danach wieder aufgeheizt werden mussten, um die Werkstoffspezifikation sicher einzustellen.

Eine Vorab-Anpassung der Glühpraxen auf ggf. noch warme Bänder scheiterte an den folgenden Rahmenbedingungen:

- Der Vorwärmzustand des Ofens bzw. Bandes konnte nicht zuverlässig aus einer Temperaturmessung ermittelt werden.
- Für jeden Vorwärmzustand und jeden Band-Wärmeinhalt hätten separate Glühpraxen ermittelt werden müssen.
- Da 4 Bänder je Charge im Glühofen mit 3 Regelzonen eingesetzt wurden, konnte die Glühung nicht auf das einzelne Band angepasst werden.

Das zugeführte Schutzgas wurde im Ofeninnenraum erwärmt und mit dieser erhöhten Temperatur abgeführt. Durch diese Wärmeabfuhr über das Schutzgas mußte insgesamt mehr Energie zum Erwärmen der Bänder zugeführt werden.

Ziel des Vorhabens

Im **Kaltwalzwerk** plante die Alunorf den ersten großtechnischen Einsatz einer energieeffizienten Ofengruppe, bestehend aus 5 Aggregaten, die mit modernster Anlagentechnik ausgerüstet sind und den genauen thermischen Zustand jedes einzelnen

Bandes online regeln können. Dies sollte den energiesparenden Einsatz von walzwarmen statt abgekühlten Bändern ermöglichen. Zusätzlich sollte das Schutzgas für die Ofenatmosphäre mit Hilfe von Abgasen vorgewärmt werden.

Durch die Realisierung des Vorhabens, sollte der Anlagendurchsatz im betroffenen Bereich um 25 % gesteigert, die Fertigungsqualität erhöht und dadurch auch Nachglühungen nahezu vollständig vermieden werden. Der Energie- und Schutzgasverbrauch sollte, ebenso wie die Treibhausgasemissionen massiv sinken.

Für die weitere Entwicklung des Standortes – aber auch der Branche – war es unser Ziel, für den Standardprozess des Glühens die Machbarkeit und Wirtschaftlichkeit erheblicher Effizienzfortschritte beim Energieeinsatz zu demonstrieren.

Mit dem neuen Ofenkonzept sollte insgesamt eine erhebliche Reduzierung des Energieeinsatzes (Erdgas und Strom) für das Glühen der Coils **über den Stand der Technik hinaus** realisiert werden, durch die Integration zahlreicher neuer Ansätze zu einem innovativen Glühprozess. In der Vorhabensbeschreibung zum Antrag und den zusätzlichen Erläuterungen zu den Wirkmechanismen der Effizienzsteigerung wurden durch

- Nutzung der Restwärme aus dem Walzprozess durch erhöhte Einsatztemperatur der Bänder (> 60°C),
- Nutzung der Abgase der Bundglühöfen zur Vorwärmung des Schutzgases,
- optimierte Logistik mit verkürzten Durchlauf- und Bearbeitungszeiten,
- verbessertes Qualitätsniveau mit engeren Fertigungstoleranzen und Vermeiden von Ausfällen bzw. Nachglühungen und
- optimierter, flexibler Fertigungsplanung ohne Verwendung von Füllbändern

folgende Verbrauchsreduzierungen - ohne den Effekt der vermiedenen Nachglühungen gegenüber dem Stand der Technik prognostiziert:

- Erdgaseinsparung: 8.130.600 kWh/a
- Schutzgaseinsparung: 651.600 Nm³/a (\cong 1.118.580 kWh/a)
- Elektrischer Strom 810.405 kWh/a

Diese summieren sich zu einer Einsparung von mehr als 10 Mio kWh/a.

Als gesamte jährliche Energieeinsparung gegenüber dem **Zustand bei Vorhabensbeginn** (zu diesem Zeitpunkt bestehende Anlagen bei Aluminium Norf) wurden 31.960.000 kWh/a angestrebt. Davon durch Erdgaseinsparung incl. der Schutzgaserzeugung 27.060.000 kWh/a und beim Stromverbrauch 4.900.000 kWh/a.

Durch diese Effekte wurde unmittelbar eine erhebliche Vermeidung direkter und indirekter CO₂-Emissionen angestrebt. Wir erwarteten nach erfolgreichem Abschluss des Projektes, dass Emissionen in Höhe von rd. 8.300 t CO₂ jährlich vermieden werden, davon 4.900 t/a in unserem Werk und 3.400 t/a für die Stromerzeugung im Kraftwerk.

HINWEIS: Mit den uns nach der Antragstellung übermittelten CO₂-Äquivalenten für Strom und Erdgas (0,616 bzw. 0,202 kg/kWh) des UBA, hätte sich bei Antragstellung eine um 90 t/a höhere Einsparprognose ergeben (8.393 t/a statt 8.300 t/a).

Die möglichen Einsparungen durch Nachglühungen wurden in der Gesamtprognose nicht berücksichtigt. Nachstehend wird zur besseren Vergleichbarkeit mit anderen geförderten Projekten die Umrechnung von Energiemengen in klimarelevante Emissionen ausschließlich unter Nutzung der durch das UBA übermittelten CO₂-Äquivalenten gerechnet. Der Vergleich von Zielwerten und realisierten Effekten erfolgt ebenfalls auf dieser Basis – daher weichen Prognosezahlen für Klimaeffekte im Folgenden stets leicht von den Zahlen der Vorhabensbeschreibung ab.

Technische Lösung

Zur Erreichung der beschriebenen Ziele ist ein Anlagenkonzept realisiert worden, das in dieser Form bisher industriell noch nicht zur Anwendung gekommen ist. Im **Kaltwalzwerk der Aluminium Norf GmbH wurde erstmals** der größtechnische Einsatz einer energieeffizienten Glühofenanlage – bestehend aus fünf in einem übergeordneten Steuerungskonzept verbunden Öfen – zur Behandlung von kaltgewalztem Aluminiumband realisiert, die den genauen thermischen Zustand jeden einzelnen Bandes online regelt und die Restwärme aus dem Kaltwalzprozess beim Glühen nutzt (Warmeinsatz):

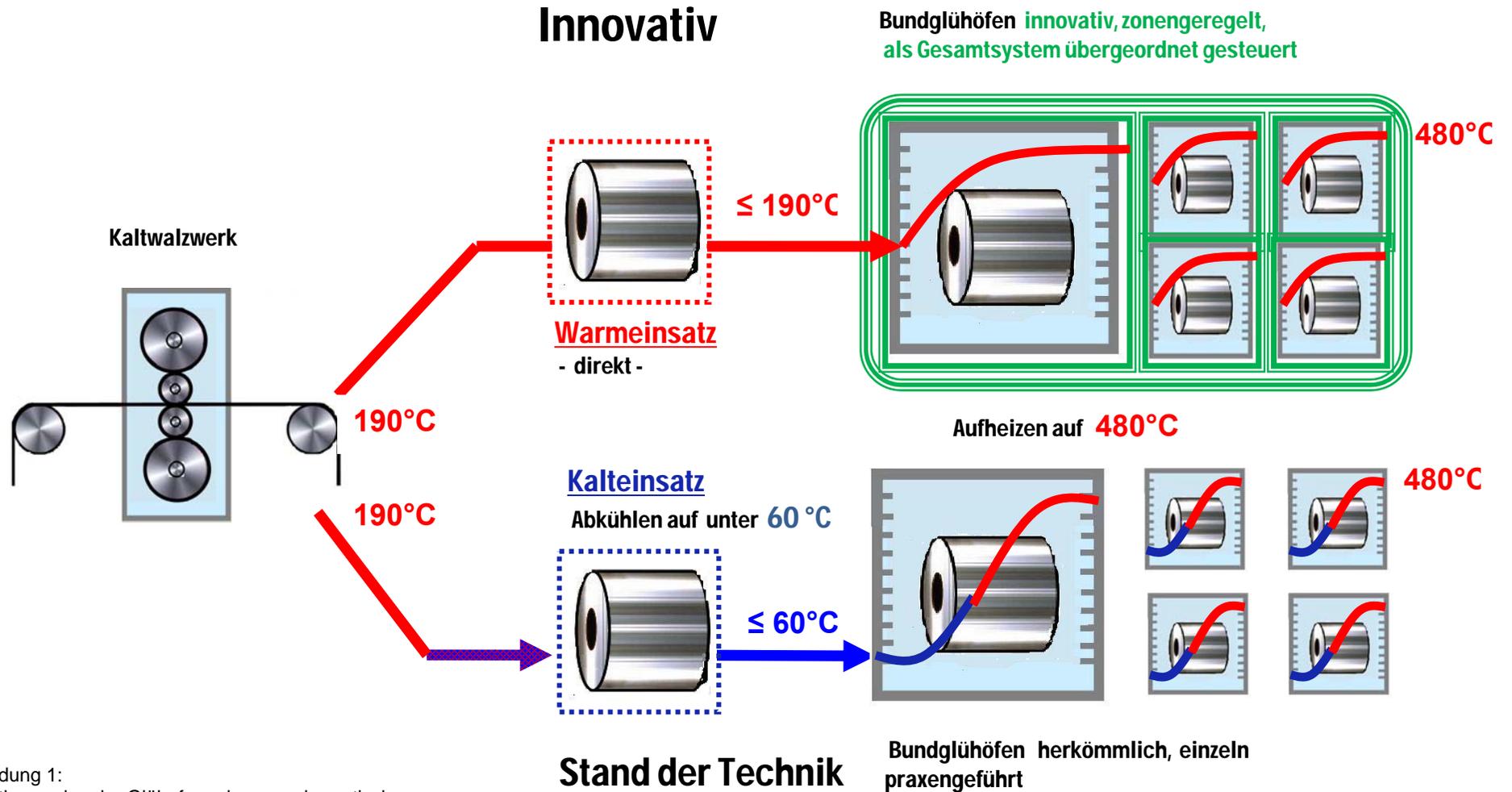


Abbildung 1:
Funktionsweise der Glühofenanlagen, schematisch

Dies ermöglicht den energiesparenden Einsatz von walzwarmen statt abgekühlten Bändern und den energetisch idealen Betrieb der einzelnen Brennerzonen. Zusätzlich wird das notwendige Schutzgas für die Ofenatmosphäre mit Hilfe der Verbrennungsabgase vorgewärmt. Die Gesamtlösung der neuen Anlagen integriert weitere, neuartige konstruktive Details zur Sicherstellung der Energieeffizienz und Glühgüte:

Die Öfen sind in jeweils vier Regelzonen eingeteilt um bis zu vier Bänder selektiv glühen zu können. Neben einem neuen Temperatur-Messkonzept wird hierzu eine Brenner Technik mit Einzelbrenner-Regelung bei einer gleichzeitig verringerter Anzahl von Brenneraggregaten eingesetzt. Alle Ventilatoren und Gebläse werden mit energiesparenden, regelbaren Antrieben ausgestattet und in die Prozessregelung eingebunden. Durch die genau bedarfsgerechte Energieversorgung bzw. Temperaturregelung wird das Erreichen der erforderlichen Werkstoffspezifikation sicher gestellt – Fehlgühungen und Nacharbeit wie bei herkömmlichen, im gesamten Ofen gleichen, statischen Temperatur-Zeit-Verfahren werden vermieden.

Diese dynamischen Maßnahmen zur optimalen Prozesssteuerung werden durch statische Maßnahmen flankiert und nachhaltig abgesichert: Hochwertige Ofenabdichtungen, thermische Isolierungen und ein wartungsfreundliches Anlagenkonzept stellen den effizienten Betrieb dauerhaft sicher. Insgesamt kann so die Fertigungsqualität bei sinkendem Energieverbrauch gesteigert werden.

Ergebnisse aus technischer und wirtschaftlicher Sicht und hinsichtlich der Umweltentlastung

Zur Ermittlung der Umweltentlastungen wurde ein umfangreiches Messprogramm, bestehend aus

- Leistungsmessungen und Energiebilanzierung (VDEh-Betriebsforschungsinstitut) an den Anlagen,
- Emissionsmessungen (ANECO Institut für Umweltschutz) und
- Dauerbetriebsmessung über 3 Produktionsmonate (Alunorf) unter Nutzung der umfangreichen, in die Anlage integrierten Prozessdatenmessungen.

durchgeführt. Die nachfolgenden Tabellen zeigen eine Übersicht über die Umwelt- bzw. Kostenwirkungen, aufgeteilt nach ursprünglicher Erwartung mit Antragstellung („geplant“) und nach real erreichten, durch das Messprogramm verifizierten, Effekten („erreicht“). Die Tabellen 1 – 3 weisen in der Spalte „Δ“ auch die Abweichungen von der Planung aus.

	Spezifischer Verbrauch Medium/t Glühgut				
	Ofen alt (Glühofengruppe 3)	Ofen Stand der Technik	Ofenanlage Innovativ	Ofenanlage Innovativ	Zielabweichung
Medium	vorher	vorher	geplant	erreicht	Δ
	[kWh/t], bei Schutzgas [Nm ³ /t]				
Erdgas	193,3	184,0	138,8	151,2	12,4
Schutzgas	77,4	26,22	22,6	20,0	-2,6
Strom	52,5	30,015	25,5	22,2	-3,3

Tabelle 1: Übersicht über die spezifischen Energieverbräuche [kWh/t] bzw. [Nm³/t] im Planungstatus und nach Durchführung Messprogramm

Medienpreise zum Zeitpunkt der Antragstellung [€/kWh], bei Schutzgas [€/m³]		Spezifische Kosten €/t Glühgut				
		Ofen alt (Glühofen- gruppe 3)	Ofen Stand der Technik	Ofenanlage Innovativ	Ofenanlage Innovativ	Ziel- abweichung
		vorher	vorher	geplant	erreicht	Δ
		€/t	€/t	€/t	€/t	€/t
Erdgas	0,024	4,64	4,42	3,33	3,63	0,30
Schutzgas	0,031	2,40	0,81	0,70	0,62	-0,08
Strom	0,061	3,20	1,83	1,56	1,35	-0,20
Summe		10,24	7,06	5,59	5,60	0,02

Tabelle 2: Übersicht über die spezifischen Kosten €/t im Planungstatus und nach Durchführung Messprogramm

	Spezifische Einsparungen €/t Glühgut					
	gegenüber dem Ofen alt			gegenüber dem Stand der Technik		
Medium	geplant	erreicht	Δ	geplant	erreicht	Δ
Erdgas	1,31 €	1,00 €	- 0,30 €	1,08 €	0,78 €	- 0,30 €
Schutzgas	1,70 €	1,78 €	0,08 €	0,11 €	0,19 €	0,08 €
Strom	1,65 €	1,85 €	0,20 €	0,28 €	0,48 €	0,20 €
Summe	4,65 €	4,63 €	- 0,02 €	1,47 €	1,45 €	- 0,02 €

Tabelle 3: Übersicht über die spezifischen Einsparungen €/t im Planungstatus und nach Durchführung Messprogramm

Die Tabellen 1 – 3 zeigen, dass die Verbräuche und Kosten insgesamt erheblich reduziert werden konnten. Beim Erdgas wurden die Einsparziele nicht vollständig erreicht, bei Schutzgas und Strom wurden die Ziele übertroffen. Betrachtet man die resultierende spezifische Einsparung der Kosten, so wird der Zielwert lediglich um 0,02 €/t verfehlt. Insgesamt liegen die erreichten Verbrauchsmengen und die daraus resultierenden Verbrauchskosten sehr nah an der Prognose. Das Vorhaben ist diesbezüglich erfolgreich umgesetzt worden.

Für die Darstellung der energetischen Effekte wurden die Schutzgasmengen – Schutzgas wird aus Erdgas erzeugt - in Energieeinheiten (kWh) umgerechnet:

	Absoluter Energieverbrauch (Referenzdurchsatz 180.000 t/a Glühgut)				
	Ofen alt (Glühofengruppe 3)	Ofen Stand der Technik	Ofenanlage Innovativ	Ofenanlage Innovativ	Zielabweichung
Medium	vorher	vorher	geplant	erreicht	Δ
	[kWh]				
Erdgas	34.794.000	33.120.000	24.989.400	27.216.000	2.226.600
Schutzgas	23.916.600	8.101.980	6.983.400	6.180.000	-803.400
Strom	9.450.000	5.402.700	4.592.295	3.996.000	-596.295
Summen	68.160.600	46.624.680	36.565.095	37.392.000	826.905

Tabelle 4: Übersicht Zielerreichung bei den Energieverbräuchen

	Jährliche Energieeinsparungen (Referenzdurchsatz 180.000 t/a Glühgut)									
	gegenüber dem Ofen alt					gegenüber dem Stand der Technik				
Medium	geplant		erreicht		Δ	geplant		erreicht		Δ
	[kWh/a]	%	[kWh/a]	%	[kWh/a]	[kWh/a]	%	[kWh/a]	%	[kWh/a]
Erdgas	9.804.600	28,18	7.578.000	21,78	-2.226.600	8.130.600	24,55	5.904.000	17,83	-2.226.600
Schutzgas	16.933.200	70,80	17.736.600	74,16	803.400	1.118.580	13,81	1.921.980	23,72	803.400
Strom	4.857.705	51,40	5.454.000	57,71	596.295	810.405	15,00	1.406.700	26,04	596.295
Summen	31.595.505	46,35	30.768.600	45,14	9.232.680	10.059.585	21,58	9.232.680	19,80	-826.905

Tabelle 5: Übersicht Zielerreichung bei der Energieverbrauchsminderung

Die Tabellen 4 und 5 zeigen, dass bezüglich des Gesamtenergieeinsatzes bemessen in kWh, die Schlussfolgerungen analog der Medienverbräuche gelten. Es wird auch deutlich, dass die Einsparungen bei Schutzgas und Strom bezogen auf die Ziele gegenüber dem Stand der Technik erheblich sind. Diese Aussagen können ebenfalls auf die Emissionen von CO₂ - ermittelt aus den Energieverbräuchen - bzw. deren Vermeidung übertragen werden. Aufgrund unterschiedlicher CO₂-Äquivalente der eingesetzten Energien (Strom, Erdgas) ergibt sich für das Klimaziel des Vorhabens ein positiver Effekt:

Das Einsparziel bezüglich Emission von klimaschädlichen Gasen gegenüber dem Stand der Technik ist um nahezu 80 t/a übertroffen. Eine Übersicht bezogen auf die Vermeidung von klimaschädlichen Emissionen geben die nachstehenden Tabellen 6 und 7:

	CO ₂ -Emissionen (Referenzdurchsatz 180.000 t/a Glühgut)				
	Ofen alt (Glühofengruppe 3)	Ofen Stand der Technik	Ofenanlage Innovativ	Ofenanlage Innovativ	Zielabweichung
Medium	vorher	vorher	geplant	erreicht	Δ
	[kg CO ₂]				
Erdgas	7.028.388	6.690.240	5.047.859	5.497.632	449.773
Schutzgas	4.831.153	1.636.600	1.410.647	1.248.360	-162.287
Strom	5.821.200	3.328.063	2.828.854	2.461.536	-367.318
Summen	17.680.741	11.654.903	9.287.359	9.207.528	-79.831

Tabelle 6: Übersicht Zielerreichung bei den CO₂-Emissionen

	CO ₂ -Emissionsminderung (Referenzdurchsatz 180.000 t/a Glühgut)									
	gegenüber dem Ofen alt					gegenüber dem Stand der Technik				
Medium	geplant		erreicht		Δ	geplant		erreicht		Δ
	[kg CO ₂ /a]	%	[kg CO ₂ /a]	%	[kg CO ₂ /a]	[kg CO ₂ /a]	%	[kg CO ₂ /a]	%	[kg CO ₂ /a]
Erdgas	1.980.529	28,18	1.530.756	21,78	-449.773	1.642.381	24,55	1.192.608	17,83	-449.773
Schutzgas	3.420.506	70,80	3.582.793	74,16	162.287	225.953	13,81	388.240	23,72	162.287
Strom	2.992.346	51,40	3.359.664	57,71	367.318	499.209	15,00	866.527	26,04	367.318
Summen	8.393.382	47,47	8.473.213	47,92	79.831	2.367.544	20,31	2.447.375	21,00	79.831

Tabelle 7: Übersicht Zielerreichung bei der CO₂-Emissionsminderung

Im Messprogramm konnten alle vorhergesagten Einspareffekte nachgewiesen werden (eine detaillierte Erörterung unter Einbeziehung einer Analyse der Wirkmechanismen folgt im entsprechenden Kapitel). Durch die Energieeinsparungen, die Senkung des

Schutzgasverbrauches und die Vermeidung von Nachglühungen konnten erhebliche Reduzierungen der Betriebskosten erzielt werden, die auch einen Beitrag zur dauerhaften Sicherstellung der Wettbewerbsfähigkeit des Unternehmens leisten.

Die gesamte jährliche Energieeinsparung gegenüber dem Vorzustand (zu diesem Zeitpunkt bestehende Anlagen bei Aluminium Norf) beläuft sich auf 30.768.600 kWh/a. Davon entfallen auf Erdgaseinsparung incl. Schutzgaserzeugung 25.314.600 kWh/a. Der Stromverbrauch reduziert sich um 5.454.000 kWh/a.

Diese Einsparungen bewirken gleichzeitig eine erhebliche Vermeidung direkter und indirekter CO₂-Emissionen in Höhe von rd. 8.473 t/a CO₂ jährlich, davon 5.113 t/a in unserem Werk und 3.360 t/a für die Stromerzeugung im Kraftwerk. Auch in diesem Vergleich werden also die Klimaziele des Vorhabens leicht übertroffen.

Über die Messung der Effizienzparameter hinaus zeigen Emissionsmessungen die sichere Einhaltung aller Grenzwerte bezogen auf die genehmigten Werte nach BImSchG. Nachstehend die Zusammenfassung des Messberichtes durch die ANECO zur Messung vom 26.06.2013 am Bundglühofen 34:

BGO34 26.06.2013	O₂	CO₂	CO	NOx als NO₂	SO₂	Ges.-C bez. Norm, tr.	Staub
	[Vol.-%]	[Vol.-%]	[mg/m ³]	[mg/m ³]	[mg/m ³]	[mg C/m ³]	[mg/m ³]
Mittel	4,6	8,4	< 13	246	< 1,1	10,8	< 0,4
Max.	7,2	8,9	16	281	< 1,3	18,9	0,5
Grenzwerte¹⁾				350		50	

¹⁾Bescheid: 22-GV 17/03-Gal geändert durch Bezirksregierung Düsseldorf 53.01-100 53.0135/10/0306BBB2

Die tatsächlichen Kosten für das Vorhaben betragen 7.590.120 €. Damit wurde das geplante Projektbudget minimal um 90.120 € überschritten. Durch die umfangreichen Maßnahmen zur Effizienzsteigerung konnte die Produktivität der betroffenen Prozesse gesteigert werden. Die angestrebte Kapazitätssteigerung um 25 % konnte noch nicht abschließend realisiert werden. Diese sollte im Wesentlichen durch einen höheren Nutzungsgrad der Anlagen und durch kürzere Glühzeiten erreicht werden. Für die Verkürzung der Glühzeiten auf breiter Basis wird – entgegen der ursprünglichen Sichtweise - eine umfassende Überarbeitung der produktbezogenen und von der Kundenfreigabe abhängigen Glühpraxen notwendig sein. Der Nutzungsgrad hängt naturgemäß auch von jeweiligen Struktur und Menge der Kundenaufträge ab. Es ist davon auszugehen, dass weitere Fortschritte bei der Kapazität der Anlagen auch zu einer Steigerung der spezifischen Effizienz und damit zur Senkung der spezifischen Emissionen führen werden.

Die massive Reduktion des spezifischen Erdgas- und Stromverbrauches sichert die Wettbewerbsfähigkeit des Standortes. Dies ist besonders vor dem Hintergrund erheblicher Energiepreisdifferenzen im weltweiten Standortwettbewerb von hoher Bedeutung.

Übertragbarkeit / Maßnahmen zur Verbreitung der Projektergebnisse

Das Vorhaben zeigt in exemplarischer Weise, welche Optimierungspotenziale in langjährig etablierten, vermeintlich durchoptimierten, großindustriellen Prozessen gehoben werden können. Folgende Aspekte sind hervorzuheben:

- Nutzung des vorhandenen Wärmeenergiepotenzials zwischen Prozessstufen (hier: Kaltwalzen → Glühen)

- Integration von konventionell als Einzelanlagen betrachteten Aggregaten in ein übergeordnetes Produktions-, Mess- und Steuerungssystem
- Überprüfung von bewährten Prozessparametern im Rahmen einer Gesamtoptimierung (hier z.B. Gradienten von Aufheizkurven)
- Konzertierter Einsatz innovativer Technologielösungen (z.B.: Einzelzonenbeheizung und -regelung der Öfen, umfassende Prozessmesstechnik, Datenerfassung- und Auswertung)
- Freisetzung der Effizienzpotenziale „konventioneller“ Komponenten durch innovative Prozessführung

Durch diese Lösungsansätze erhält das Vorhaben über die Aluminiumindustrie hinaus Modellcharakter für alle metallverarbeitenden Betriebe, die mehrstufige, verkettete Prozesse mit eingebundenen Wärmebehandlungsprozessen betreiben. Dies sind allein in NRW hunderte von Betrieben unterschiedlicher Größenordnung, für die eine Übertragbarkeit von Teillösungen oder des Gesamtkonzeptes denkbar ist. Der erhebliche wirtschaftliche Nutzen des Vorhabens in Verbindung mit den massiven CO₂-Emissionsminderungen unterstreicht den Vorbildcharakter des Projektes für eine nachhaltige Ausrichtung unverzichtbarer schwerindustrieller Prozesse.

Die fortschrittliche Technologie und die hervorragenden Leistungsdaten der eingesetzten Aggregate haben dazu geführt, dass die Otto Junker GmbH als federführender Anlagenbauer zwischenzeitlich weitere Einheiten dieses neuen Verfahrens verkauft hat und sich bezüglich weiterer Anlagen in Verhandlungen befindet

Die Kommunikation einer umweltfreundlichen Technologie ist besonders geeignet, die Standards innerhalb der Branche zugunsten energieeffizienter Verfahren zu verbessern. Dies gilt umso mehr, wenn Wirtschaftlichkeit, Produktivität, Qualität und Umweltschutz so eng miteinander verbunden werden können wie bei unserem Vorhaben „Errichtung innovativer, energieeffizienter Glühöfen mit Online-Prozessregelung und Schutzgasvorwärmung“.

Summary

Initial Situation

Aluminium Norf GmbH (short form: Alunorf) produces semi-finished and re-roll products from aluminium and aluminium alloys for further processing of aluminium products. Among others these products are used for food packaging, lithographic sheet, body parts for automotive applications as well as facade and ceiling panels. The production comprises the units remelt, hot mills and cold mills incl. finishing.

In the cold mill unit of Alunorf hot-rolled coils are further reduced in thickness at 5 cold rolling mills. This cold rolling process heats the strip up to 190 °C. In order to achieve the specified metallurgical properties of the end product the coils need to be annealed after cold rolling. This is done in indirectly gas-heated annealing furnaces in inert gas atmosphere. This inert gas is generated from natural gas by substoichiometric combustion at the rate of 1 Nm³ natural gas for 6 Nm³ inert gas.

Prior to realising this funded innovative project the existing annealing furnaces were mainly fitted for the input of 4 coils per batch. They featured 3 control zones per furnace. To intensify the heat transfer the furnace atmosphere was agitated by blowing against the coil front face. After charging the coils by means of a charging car the furnace door was closed, the flushing with inert gas started and the burners switched on. Depending on the furnace pressure resp. the measured residual oxygen content inert gas was fed into the furnace once again. The annealing process followed a set temperature-time gradient.

For the furnace operation annealing practices – i. e. product-specific time and temperature programmes for the entire furnace chamber without considering the coil temperature at the beginning of the annealing – were applied. They were based on trials also addressing metallurgical experience; they represent a product know-how grown over years that was at the basis of process control in the annealing area when the project was started. It was postulated that the furnaces and coils to be annealed had to be cold at the beginning (strip temperature < 60 °C). This meant that the coils needed to be cooled down between the rolling and the annealing process and then heated up again to safeguard adherence to material specifications. Adjusting annealing practices to the processing of already hot coils failed to be realisable because of the following restrictions:

- The preheat condition of furnaces resp. coils could not be evaluated in a reliable manner by temperature measurements.
- Addressing specific preheat conditions and heat content of each coil would have asked for specific annealing practices which were missing.
- As 4 coils per batch needed to be put into an annealing furnace with 3 control zones the annealing process could not be adapted to each single coil.

The inert gas fed into the furnace chamber was heated up and dissipated with this increased temperature. As a result of this heat dissipation by inert gas overall more energy to heat up coils was needed.

Project Aim

In the **cold mill unit** Alunorf has projected the first large-scale use of 5 energy-efficient annealing furnaces that are equipped with state-of-the art technology to control online the thermal condition of each single coil. The purpose was to enable the energy-saving use of the coils' rolling heat instead of charging cooled coils. In addition, the inert gas to create the furnace atmosphere was planned to be preheated by means of waste gases.

By realising this project the throughput in the area concerned was expected to increase by 25 % and quality be improved thus avoiding reannealings nearly completely. Energy and inert gas consumption as well as greenhouse gas emissions was expected to decrease largely.

To support the site's further development – but also that of the industry in general – it was our aim to demonstrate feasibility and profitability of major efficiency achievements in terms of energy input for the standard process annealing.

The new furnace concept was expected to considerably reduce energy input (natural gas and electricity) for coil annealing **exceeding state-of-the-art technology** and integrating quite a couple of new approaches to an innovative annealing process. The project description and additional explanations on the mode of action to increase efficiency by

- Use of residual heat from the cold rolling process by increasing coil input temperatures (> 60°C),
- Use of waste gases to preheat inert gas,
- Optimised logistics with shortened throughput and process times,
- Improved quality level with narrower manufacturing tolerances and avoidance of losses resp. reannealings and
- Optimised, flexible production planning without having to use dummy coils

forecasted the following consumption reductions against state-of-the art technology – without the effect of avoided reannealing:

- Natural gas savings: 8,130,600 kWh/a
- Inert gas savings: 651,600 Nm³/a (\cong 1,118,580 kWh/a)
- Electricity savings: 810,405 kWh/a

This sums up to savings of more than 10 million kWh/a.

Against the initial status (existing Alunorf equipment at that time) an overall annual energy reduction of 31,960,000 kWh/a was envisaged thereof natural gas savings incl. inert gas generation of 27,060,000 kWh/a and electricity savings of 4,900,000 kWh/a.

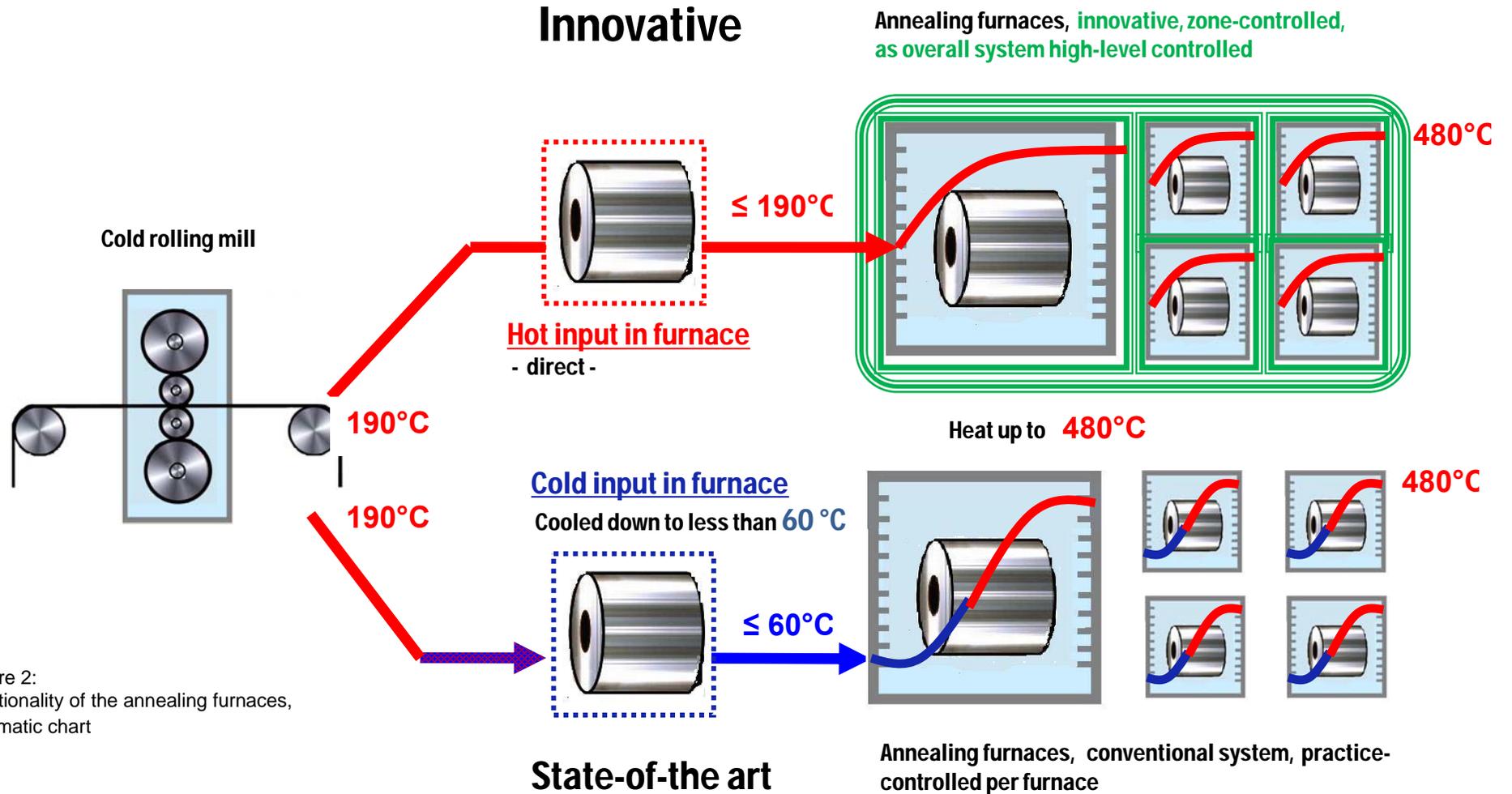
From these savings a considerable direct reduction of direct and indirect CO₂ emissions was intended. After successful completion of the project we expected some 8,300 t/a CO₂ to be avoided, thereof 4,900 t/a in our plant and 3,400 t/a for electricity generation in power plants.

REMARK: On the basis of CO₂ equivalences for electricity and gas (0.616 resp. 0.202 kg/kWh) submitted by FEA after application, the saving forecast would have been by 90 t/a higher (8,393 t/a instead of 8,300 t/a).

Potential savings from avoided reannealing were not considered in the overall estimate. For better comparison with other funded projects the recalculation of energy volumes in climate-relevant emissions is done solely on the basis of CO₂ equivalences submitted by FEA. The comparison between target values and realised effects is also on this basis – therefore forecast figures for climate effects in the following text slightly vary from figures of the project description.

Technical solution

In order to achieve the objectives as described a concept was realised that in this way had never before been implemented in any industry. In the cold mill unit of Alunorf for the first time the large-scale application of an energy-efficient annealing furnace system – consisting of 5 furnaces connected via a high-level control system – to treat cold-rolled aluminium strip was realised that online controls the thermal condition of each single coil and uses the residual heat from the cold-rolling process for the annealing process (hot input):



Picture 2:
Functionality of the annealing furnaces,
schematic chart

This enables the energy-saving input of hot instead of cooled coils and the energetically ideal operation of separated burner zones. In addition the inert gas needed to create the furnace atmosphere is preheated by means of combustion waste gases. The complete solution integrated in the new equipment features further innovative engineering details for energy efficiency and annealing quality:

Each furnace is divided into four control zones to selectively anneal up to four coils. In addition to the new temperature-measurement concept a burner technology with single-burner control is used while at the same time reducing the number of burner units. All fans and blowers are equipped with energy-saving, controllable drives and integrated in the process control. Through the exact, need-based energy supply resp. temperature control the necessary material specification will be reliably achieved – wrong annealing and rework as with conventional, statical temperature-time systems is avoided.

These dynamic measures for optimum process control are flanked by static measures and sustainably safeguarded: High-value furnace seals, thermal insulations and a maintenance-friendly equipment concept ensure a lastingly efficient operation. Altogether production quality can be increased while energy consumption decreases.

Results from a technical and economic perspective and the environmental benefit

In order to evaluate the environmental relief a comprehensive measuring programme comprising

- performance measurements and evaluation of the energy balance at the equipment (VDEh-Betriebsforschungsinstitut),
- emission measurements (ANECO Institute for environmental protection) and
- continuous operation measurements over 3 production months (Aluminium Norf) using extensive process data measurements integrated into the equipment

was conducted. The following tables give an overview on cost and environmental impacts, separated for initial expectation at the time of application ("planned") and actually achieved effects verified by the measuring programme ("achieved"). The tables 8 - 10 also include a column "Δ" to show deviations from plan as well.

	Specific consumption utilities / t annealed product				
	Furnace old (annealing group 3)	Furnace state-of-the art	Furnace innovative	Furnace innovative	Deviation from target
Utilities	existing	existing	planned	achieved	Δ
	[kWh/t], for inert gas [Nm ³ /t]				
Nat. gas	193,3	184,0	138,8	151,2	12,4
Inert gas	77,4	26,22	22,6	20,0	-2,6
Electricity	52,5	30,015	25,5	22,2	-3,3

Table 8: Overview on specific energy consumptions [kWh/t] resp. [Nm³/t] at the planning stage and after execution of the measuring programme

Prices of utilities at the time of application [€/kWh], for natural gas [€/m ³]		Specific cost €/t annealed product				
		Furnace old (annealing group 3)	Furnace state-of-the art	Furnace innovative	Furnace innovative	Deviation from target
		existing	existing	planned	achieved	Δ
		€/t	€/t	€/t	€/t	€/t
Natural gas	0,024	4,64	4,42	3,33	3,63	0,30
Inert gas	0,031	2,40	0,81	0,70	0,62	-0,08
Electricity	0,061	3,20	1,83	1,56	1,35	-0,20
Total		10,24	7,06	5,59	5,60	0,02

Table 9: Overview on the specific cost €/t at the planning stage and after execution of the measuring programme

	Specific savings €/t annealed product					
	vs. furnace old			vs. state-of-the art		
	planned	achieved	Δ	planned	achieved	Δ
Utilities						
Nat. gas	1,31 €	1,00 €	- 0,30 €	1,08 €	0,78 €	- 0,30 €
Inert gas	1,70 €	1,78 €	0,08 €	0,11 €	0,19 €	0,08 €
Electricity	1,65 €	1,85 €	0,20 €	0,28 €	0,48 €	0,20 €
Total	4,65 €	4,63 €	- 0,02 €	1,47 €	1,45 €	- 0,02 €

Table 10: Overview on the specific savings €/t at the planning stage and after execution of the measuring programme

Tables 8 - 10 show that altogether consumptions and cost were remarkably reduced. In terms of natural gas the saving targets were not achieved in full, in terms of inert gas and electricity targets were exceeded. Considering specific cost savings the target was missed by 0.02 €/t only. Overall consumption volumes achieved and resulting consumption cost are very close to the forecast. In this regard the project was successfully realised.

To demonstrate energetic effects the inert gas volume – inert gas is generated from natural gas – was recalculated in energy units (kWh):

	Absolute energy consumption (Reference throughput 180,000 t/a annealed product)				
	Furnace old (annealing group 3)	Furnace state-of-the art	Furnace innovative	Furnace innovative	Deviation from target
Utilities	existing	existing	planned	achieved	Δ
	[kWh]				
Nat. gas	34.794.000	33.120.000	24.989.400	27.216.000	2.226.600
Inert gas	23.916.600	8.101.980	6.983.400	6.180.000	-803.400
Electricity	9.450.000	5.402.700	4.592.295	3.996.000	-596.295
Total	68.160.600	46.624.680	36.565.095	37.392.000	826.905

Table 11: Overview achievement of objectives in terms of energy consumption

Utilities	Annual energy savings (Reference throughput 180,000 t/a annealed product)									
	vs. furnace old					vs. state-of-the art				
	planned		achieved		Δ	planned		achieved		Δ
	[kWh/a]	%	[kWh/a]	%	[kWh/a]	[kWh/a]	%	[kWh/a]	%	[kWh/a]
Nat. gas	9.804.600	28,18	7.578.000	21,78	-2.226.600	8.130.600	24,55	5.904.000	17,83	-2.226.600
Inert gas	16.933.200	70,80	17.736.600	74,16	803.400	1.118.580	13,81	1.921.980	23,72	803.400
Electricity	4.857.705	51,40	5.454.000	57,71	596.295	810.405	15,00	1.406.700	26,04	596.295
Total	31.595.505	46,35	30.768.600	45,14	9.232.680	10.059.585	21,58	9.232.680	19,80	-826.905

Table 12: Overview achievement of objectives in terms of energy consumption reduction

Tables 11 and 12 show that related to the overall energy input measured in kWh the same conclusions apply also for utilities consumption. It becomes also quite clear that savings of inert gas and electricity are considerable and even surpass targets. These statements are equally valid for CO₂ emissions – calculated from energy consumptions – resp. their avoidance. Although the CO₂ equivalences of energies used (electricity, natural gas) are different, the overall effect is positive:

The target for saving the emission of climate-wrecking gases vs. state-of-the art technology was exceeded by almost 80 t/a. For an overview see the following tables 13 and 14:

Utilities	CO ₂ emissions (Reference throughput 180,000 t/a annealed product)				
	Furnace old (annealing group 3)	Furnace state-of-the art	Furnace innovative	Furnace innovative	Deviation from target
	existing	existing	planned	achieved	Δ
	[kg CO ₂]				
Nat. gas	7.028.388	6.690.240	5.047.859	5.497.632	449.773
Inert gas	4.831.153	1.636.600	1.410.647	1.248.360	-162.287
Electricity	5.821.200	3.328.063	2.828.854	2.461.536	-367.318
Total	17.680.741	11.654.903	9.287.359	9.207.528	-79.831

Table 13: Overview achievement of objectives in terms of CO₂ emissions

Utilities	CO ₂ - emission reduction (Reference throughput 180,000 t/a annealed product)									
	vs. furnace old					vs. state-of-the art				
	planned		achieved		Δ	planned		achieved		Δ
	[kg CO ₂ /a]	%	[kg CO ₂ /a]	%	[kg CO ₂ /a]	[kg CO ₂ /a]	%	[kg CO ₂ /a]	%	[kg CO ₂ /a]
Nat. gas	1.980.529	28,18	1.530.756	21,78	-449.773	1.642.381	24,55	1.192.608	17,83	-449.773
Inert gas	3.420.506	70,80	3.582.793	74,16	162.287	225.953	13,81	388.240	23,72	162.287
Electricity	2.992.346	51,40	3.359.664	57,71	367.318	499.209	15,00	866.527	26,04	367.318
Total	8.393.382	47,47	8.473.213	47,92	79.831	2.367.544	20,31	2.447.375	21,00	79.831

Table 14: Overview achievement of objectives in terms of CO₂ emission reduction

The measuring programme proved that the predicted saving effects could be achieved. (A detailed explanation including an analysis of modes of action to follow in the respective chapter.) As a result of energy savings, inert gas reduction and avoidance of reannealing, considerable decreases in operating cost could be achieved that also contribute to safeguarding the competitiveness of our plant in the future.

Against the initial status (existing equipment at Alunorf at that time) the entire annual energy saving totals to 30,768,600 kWh/a, thereof natural gas savings incl. inert gas generation of 25,314,600 kWh/a. Electricity consumption came down by 5,454,000 kWh/a.

At the same time these savings result in a considerable avoidance of direct and indirect CO₂ emissions of some 8,473 t/a CO₂ per year thereof 5,113 t/a at our plant and 3,360 t/a for the generation of electricity in power plants. Also in this respect the climate targets set in the project are slightly exceeded.

In addition to measuring efficiency parameters, emission measurements demonstrate the safe adherence to all limiting values related to the authorized figures acc. to BImSchG. See the summary of the measuring report by ANECO on the measurement dated June 26, 2013 at annealing furnace 34:

AF 34 26.06.2013	O ₂	CO ₂	CO	NOx as NO ₂	SO ₂	Total-C rel. Norm, tr.	Dust
	[Vol.-%]	[Vol.-%]	[mg/m ³]	[mg/m ³]	[mg/m ³]	[mg C/m ³]	[mg/m ³]
Medium	4,6	8,4	< 13	246	< 1,1	10,8	< 0,4
Max.	7,2	8,9	16	281	< 1,3	18,9	0,5
Lim. values¹⁾				350		50	

¹⁾ Permit: 22-GV 17/03-Gal modified by district government Düsseldorf 53.01-100 53.0135/10/0306BBB2

The actual project cost totalled to 7,590,120 € thus exceeding the project budget slightly by 90,120 €. As a result of comprehensive measures to boost energy efficiency productivity of processes involved could be increased. The targeted capacity increase of 25 % however could not yet be achieved in full. This was intended to be realised by a higher utilisation rate and shorter annealing times. To reduce annealing times, it will however become necessary - in contrast to the assumption we had in the beginning - to thoroughly review product-related and customer-dependant annealing practices. The utilisation rate depends of course on product mix and volume of customer orders. It can be assumed that further progress to raise equipment capacity will also lead to an increase in specific efficiency and thus to lower specific emissions. The heavy reduction of specific natural gas and electricity consumption safeguards the competitiveness of our site. This is of high importance particularly in view of major differences in energy prices worldwide.

Transferability / Measures to distribute the project's results

The project demonstrates in an exemplary manner the optimisation potential that can be unleashed in long-term established, allegedly elaborate large-scale processes. The following aspects need to be emphasized:

- Use of existing heat energy potential between process steps (here: cold mills → annealing)
- Integration of conventionally as stand alone regarded equipment in an overarching production, measuring and control system.
- Validation of proven process parameters as part of an overall optimisation (here e. g.: gradients of heating up curves)

- Combined use of innovative technological solutions (e. g. single zone heating and control of furnaces, comprehensive process measuring technology, data collection and evaluation)
- Realisation of efficiency potentials of "conventional" components by using innovative process control

By these approaches the project serves as a model not only for the aluminium industry but also for other metal working industries with multi-level, interlinked production steps including heat treatment processes. This applies for hundreds of facilities of different sizes in North Rhine-Westphalia alone for which the transferability of partial solutions or the entire project would be imaginable. The major economic benefit in conjunction with massive CO₂ emission reductions underlines the exemplary character of this project aiming at a sustainable orientation of processes that are essential in heavy industries.

The advanced technology and excellent performance data of the components used have made Otto Junker GmbH a leading equipment manufacturer who meanwhile has sold further units with this new system and is in negotiations for other ones.

The communication of an environmentally friendly technology is in particular appropriate to improve industrial standards in favour of more energy-efficient practices. This is even more valid for those cases where profitability, productivity, quality and environmental protection are so closely connected as they are in our project "Installation of innovative, energy-efficient annealing furnaces with online process control and inert gas preheating".

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	21
Tabellenverzeichnis	22
1. Einleitung	23
1.1 Kurzbeschreibung des Unternehmens	23
1.2 Ausgangssituation	25
2. Vorhabensumsetzung	26
2.1 Ziel des Vorhabens	26
2.2 Darstellung der technischen Lösung (Auslegung und Leistungsdaten)	29
2.3 Darstellung der Umsetzung des Vorhabens	31
2.4 Behördliche Anforderungen (Genehmigungen)	36
2.5 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten	36
3. Ergebnisse	37
3.1 Bewertung der Vorhabensdurchführung	37
3.2 Durchführung und Ergebnisse des Messprogramms	38
3.2.1 BFI: Energetische Bewertung von Glühofenanlagen	38
3.2.2 ANECO: Emissionmessungen	42
3.2.3 Aluminium Norf: Dauerbetriebsmessung über 3 Produktionsmonate	44
3.3 Umweltbilanz	46
3.4 Wirtschaftlichkeitsanalyse	49
3.5 Technischer Vergleich zu konventionellen Verfahren	51
4. Empfehlungen	53
4.1 Erfahrungen aus der Praxiseinführung	53
4.2 Modellcharakter	54
4.3 Zusammenfassung	55
5. Anhang	56

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Funktionsweise der Glühofenanlagen, schematisch	6
Picture 2: Functionality of the annealing furnaces,.....	14
Abbildung 3: Luftbild des Produktionsstandortes	23
Abbildung 4: Fertiges Band zur Auslieferung	24
Abbildung 5: Funktionsweise der Glühofenanlagen, schematisch	28
Abbildung 6: Integrierte Glühofenanlage	30
Abbildung 7: Projektfahrplan	31
Abbildung 8: „Kamininstallation durch geöffnetes Hallendach“	32
Abbildung 9: „Unterteil eines Ofens“	32
Abbildung 10: „Grundrahmen eines Ofen wird vermessen“	33
Abbildung 11: „Ofeninnenraum mit teilweise montierten Düsenwänden“	33
Abbildung 12: „Komplett vormontierter Ofen“	33
Abbildung 13: „Anlieferung der teildemontierten Öfen am 17.06.2011“	34
Abbildung 14: „Einbringen des Ofenoberteils durch das Warmwalzwerk“	34
Abbildung 15: „Aufsetzen Ofenoberteil auf Ofenunterteil“	34
Abbildung 16: „Vorbereitung eines montierten Ofens zum Verschieben an den endgültigen Standort“	35
Abbildung 17: „Verschieben eines montierten Ofens an den endgültigen Standort“	35
Abbildung 18: „Chargierwagen beladen mit Coils bei Inbetriebnahme“	35
Abbildung 19: „Beladen eines Ofens bei Inbetriebnahme“	36
Abbildung 20: Schematische Darstellung der zusätzlichen Messtellen an der untersuchten Neuanlage (BGO32).....	39
Abbildung 21: Schematische Darstellung der zusätzlichen Messtellen an der untersuchten Bestandanlage (BGO 14)	39
Abbildung 22: Verlauf von Abgastemperatur und O ₂ -Konzentration im Abgas einer Bestandsanlage.....	40
Abbildung 23: Messprogramm BGO 30-34 vom 1.8. bis 30.9.2013.....	45
Abbildung 24: Glühdauer in Abhängigkeit von der Einsatztemperatur der Coils.....	45

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Übersicht über die spezifischen Energieverbräuche [kWh/t] bzw. [Nm ³ /t] im Planungstatus und nach Durchführung Messprogramm	7
Tabelle 2: Übersicht über die spezifischen Kosten €/t im Planungstatus und nach Durchführung Messprogramm	8
Tabelle 3: Übersicht über die spezifischen Einsparungen €/t im Planungstatus und nach Durchführung Messprogramm.....	8
Tabelle 4: Übersicht Zielerreichung bei den Energieverbräuchen	8
Tabelle 5: Übersicht Zielerreichung bei der Energieverbrauchsminderung	9
Tabelle 6: Übersicht Zielerreichung bei den CO ₂ -Emissionen	9
Tabelle 7: Übersicht Zielerreichung bei der CO ₂ -Emissionsminderung	9
Table 8: Overview on specific energy consumptions [kWh/t] resp. [Nm ³ /t] at the planning stage and after execution of the measuring programme.....	15
Table 9: Overview on the specific cost €/t at the planning stage and after execution of the measuring programme	16
Table 10: Overview on the specific savings €/t at the planning stage and after execution of the measuring programme	16
Table 11: Overview achievement of objectives in terms of energy consumption.....	16
Table 12: Overview achievement of objectives in terms of energy consumption reduction	17
Table 13: Overview achievement of objectives in terms of CO ₂ emissions.....	17
Table 14: Overview achievement of objectives in terms of CO ₂ emission reduction.....	17
Tabelle 15: Messwerte und Messwernerfassung	40
Tabelle 16: Zusammenfassung Messergebnisse.....	41
Tabelle 17: Grenzwerte gemäß Bescheid:	43
Tabelle 18: Ergebnissübersicht Betriebsmessungen und Projektziele.....	44
Tabelle 19: Übersicht über die spezifischen Energieverbräuche [kWh/t] bzw. [Nm ³ /t] im Planungstatus und nach Durchführung Messprogramm	46
Tabelle 20: Übersicht Zielerreichung bei den Energieverbräuchen	46
Tabelle 21: Übersicht Zielerreichung bei der Energieverbrauchsminderung	47
Tabelle 22: Übersicht Zielerreichung bei den CO ₂ -Emissionen	47
Tabelle 23: Übersicht Zielerreichung bei der CO ₂ -Emissionsminderung	47
Tabelle 24: Übersicht über die spezifischen Kosten €/t im Planungstatus und nach Durchführung Messprogramm.....	49
Tabelle 25: Übersicht über die spezifischen Einsparungen €/t im Planungstatus und nach Durchführung Messprogramm.....	49
Tabelle 26: Vergleichende Übersicht Amortisationszeiten	50

1. Einleitung

1.1 Kurzbeschreibung des Unternehmens

Die Aluminium Norf GmbH (kurz Alunorf) wurde 1965 als gemeinschaftliches Unternehmen der ehemaligen Alcan, heute: Novelis Deutschland GmbH (50 %) und der damaligen VAW, heute: Hydro Aluminium Deutschland GmbH (50 %), gegründet.

Mit dieser Partnerschaft setzten sie neue Maßstäbe für die Verarbeitung von Aluminium zu Bändern und Blechen für vielfältige Einsatzbereiche. Mit den steigenden Anforderungen an Qualität und Produktionsvolumen wurde die Alunorf seit der Gründung ständig modernisiert und erweitert.

Das Werksgelände umfasst 575.000 m², davon sind 268.000 m² überbaut, und 162.000 m² werden für Straßen und Lagerplätze genutzt. Die Produktion der Alunorf ist in die drei Bereiche

- Aluminiumschmelzwerk,
- Warmbandbereich und
- Kaltbandbereich

gegliedert. Neben- und Servicebetriebe, wie z. B. die Energieversorgung, die Instandhaltungswerkstätten und die Lagerwirtschaft unterstützen die Produktionsbereiche.



Abbildung 3: Luftbild des Produktionsstandortes

Das Unternehmen beschäftigt derzeit über 2.100 Mitarbeiter. Die Produktion ist im Konti-Schicht-System organisiert. So können die Anlagen rund um die Uhr, 7 Tage die Woche betrieben werden. Die Absatzmenge des Werkes hat sich ständig gesteigert und beträgt derzeit mehr als 1.400.000 t pro Jahr.

Im **Schmelzwerk** wird Aluminium-Metall eingeschmolzen und zu Walzbarren vergossen.

Im **Warmwalzwerk** werden vorgewärmte Barren zu Bändern mit einer Dicke von typisch 2 mm gewalzt.

Im **Kaltwalzwerk** werden die warm gewalzten Bänder bis auf typisch 0,2 mm weiter abgewalzt. Zwischen den einzelnen Walzstichen müssen die Bänder abhängig von den metallurgischen Anforderungen unter Schutzgasatmosphäre geglüht werden.



Abbildung 4: Fertiges Band zur Auslieferung

Anwendungsbereiche:

Das Werk stellt Vormaterial für die weitere Herstellung von Aluminium-Produkten her. Wesentliche Endanwendungen sind:

- Verpackungen insbesondere für Lebensmittel (Getränke- und Konserven-Dosen, Getränkekartons, Menüschaalen, Flaschenverschlüsse, flexible Verpackungsfolien)
- Offset-Druckplatten
- Fahrzeugteile für PKWs und Nutzfahrzeuge
- Dach- und Wandverkleidungen, Sonnenschutz im Baubereich

Mit modernsten Umweltschutzeinrichtungen und von Alunorf selbst entwickelten Anlagen (wie z. B. zur Abluftreinigung an den Kaltwalzen) werden die Emissionen in Luft, Wasser und Boden so gering wie möglich gehalten. Seit 1997 beteiligt sich die Alunorf erfolgreich an dem freiwilligen EG-Öko-Audit-System EMAS und ist zertifiziert nach ISO 14001 sowie OHSAS 18001, ISO 9001 und ISO TS 16949.

1.2 Ausgangssituation

Im Kaltbandbereich der Alunorf werden warmgewalzte Coils in 5 Kaltwalzgerüsten weiter abgewalzt. Dabei erwärmt sich das Band auf bis zu 190 °C. Zur Einstellung der spezifikationsgerechten metallurgischen Eigenschaften des Endprodukts müssen die Bänder nach dem Kaltwalzen geglüht werden. Dies erfolgt in mit Erdgas indirekt beheizten Bundglühöfen unter Schutzgasatmosphäre. Dieses Schutzgas wurde aus Erdgas durch unterstöchiometrische Verbrennung im Verhältnis von 1 Nm³ Erdgas für 6 Nm³ Schutzgas erzeugt.

Vor Umsetzung des geförderten innovativen Vorhabens waren die bestehenden Glühöfen am Standort überwiegend für die Aufnahme von 4 Coils je Charge ausgerüstet. Sie verfügten über 3 Regelzonen je Ofen. Zur Intensivierung des Wärmeübergangs erfolgte eine Umwälzung der Ofenatmosphäre mit Anblasung des Coil-Spiegels. Nach dem Einbringen der Coils mittels eines Chargierwagens wurde die Ofentür geschlossen und die Spülung mit Schutzgas begann. Gegen Ende der Spülphase wurde die Brenneranlage eingeschaltet (erdgasbeheizte Rekuperator-Strahlrohrbrenner). Abhängig vom Ofendruck bzw. dem gemessenen Restsauerstoffgehalt im Ofenraum wurde Schutzgas nachgespeist. Im Ofen wurde ein festgelegter Temperatur-Zeit-Verlauf abgefahren.

Die 25 Glühöfen am Standort waren in 6 Gruppen eingeteilt. Die Glühöfen wurden zu unterschiedlichen Zeiten errichtet und unterschiedlich genutzt. Die Glühofengruppe 3 (Baujahr 1983, Fa. Otto Junker GmbH) wurde vorwiegend für Glühungen qualitativ sehr anspruchsvoller Güten mit engen Temperaturtoleranzen eingesetzt. Hier wurden auch die höchsten Glühtemperaturen (Ofenraumtemperaturen bis 540°C bei Coiltemperaturen bis 450°C) am Standort gefahren. Die Dichtheit der Öfen war – nach 30 Jahren Nutzungsdauer - nur mit erheblichem Aufwand zu gewährleisten.

Für den Ofenbetrieb wurden Glühpraxen – produktspezifische Zeit- und Temperaturprogramme für den gesamten Ofenraum ohne Berücksichtigung der Coiltemperatur bei Glühbeginn - vorgegeben. Diese wurden, basierend auf Betriebsversuchen unter Einbeziehung metallurgischer Erfahrungen, ermittelt; sie stellen ein langjährig gewachsenes Produktions-Know-how dar, dass bei Vorhabensbeginn der Kern der Prozessführung im Glühbereich war. Es wurde vorausgesetzt, dass die Öfen und die zu glühenden Bänder am Beginn des Glühprozesses kalt (Bandtemperatur < 60 °C) sind. Dies führte dazu, dass Bänder nach dem Walzen bis zum Glühbeginn abgekühlt und danach wieder aufgeheizt werden mussten, um die Werkstoffspezifikation sicher einzustellen.

Eine Vorab-Anpassung der Glühpraxen auf ggf. noch warme Bänder scheiterte an den folgenden Rahmenbedingungen:

- Der Vorwärmzustand des Ofens bzw. Bandes konnte nicht zuverlässig aus einer Temperaturmessung ermittelt werden.
- Für jeden Vorwärmzustand und jeden Band-Wärmeinhalt hätten separate Glühpraxen ermittelt werden müssen.
- Da 4 Bänder je Charge im Glühofen mit 3 Regelzonen eingesetzt wurden, konnte die Glühung nicht auf das einzelne Band angepasst werden.

Das zugeführte Schutzgas wurde im Ofeninnenraum erwärmt und mit dieser erhöhten Temperatur abgeführt. Durch diese Wärmeabfuhr über das Schutzgas mußte insgesamt mehr Energie zum Erwärmen der Bänder zugeführt werden.

2. Vorhabensumsetzung

2.1 Ziel des Vorhabens

Im **Kaltwalzwerk** plante die Alunorf den ersten großtechnischen Einsatz energieeffizienter Glühöfen, die mit modernster Anlagentechnik ausgerüstet sind und den genauen thermischen Zustand jeden einzelnen Bandes online regeln können. Dies sollte den energiesparenden Einsatz von walzwarmen statt abgekühlten Bändern ermöglichen. Zusätzlich sollte das Schutzgas für die Ofenatmosphäre mit Hilfe von Abgasen vorgewärmt werden.

Das Gesamtkonzept der neuen Anlagen sollte weitere konstruktive Details als funktionale Voraussetzung für die angestrebte Energieeffizienz integrieren:

Die Einteilung der Öfen in vier Regelzonen für bis zu vier zu glühende Bänder in Verbindung mit einem neuen Temperatur-Messkonzept sowie neuer Brennertechnik mit Einzelbrenner-Regelung und verringerter Anzahl von Brennern sollte für minimalen Energieeinsatz und gleichzeitig hohe Fertigungsqualität sorgen. Alle Ventilatoren und Gebläse sollten mit energiesparenden regelbaren Antrieben ausgestattet und in die Prozessregelung eingebunden werden. Diese Effekte sollten verstärkt und nachhaltig abgesichert werden durch hochwertige Ofenabdichtungen und thermische Isolierungen. Die bedarfsgerechte Regelung und Beheizung der gesamten Ofengruppe über eine Echtzeitwärmebilanz unter Berücksichtigung lokaler Temperaturdaten sowohl am Glühgut als auch in Schlüsselbereichen der Öfen geht dabei weit über die Regelung von Öfen anhand einzelner Leistungsparameter (z.B. Temperaturen direkt oder indirekt gemessen, im Ofen, am Glühgut etc.) gemäß dem Stand der Technik hinaus. Die Innovation ergibt sich aus der erheblich höheren Anzahl und Qualität der Messparameter, der ebenfalls deutlich gesteigerten Anzahl der regelbaren Prozessparameter in Verbindung mit der Chargenoptimierung und der zielgenauen Ofenwahl, verschmolzen zu einem neuartigen Gesamtkonzept, sowohl physikalisch als auch bezüglich der Prozessmodellierung. Das nachhaltige Isolierungskonzept ist Grundlage der Verlustvermeidung und stellt die Energieeffizienz dauerhaft sicher.

Übergreifendes Ziel des Vorhabens war eine weitestgehende Minimierung des Energieeinsatzes für die Öfen. Die derzeit genutzten Vorgaben für die Glühung der Bänder („Glühpraxen“) sahen vor, dass die Bänder nur im kalten Zustand ($< 60\text{ °C}$) in einen Ofen eingesetzt werden dürfen. Anschließend wurde ein vorgegebener Temperatur-Zeit-Verlauf im Ofen abgefahren. Je nach konkreter Temperaturentwicklung konnte damit jedoch nicht immer sichergestellt werden, dass die Qualität der Bänder den Kundenanforderungen entspricht. Nachbehandlung oder sogar Verschrottungen waren die Folge. Wir erwarteten nach der Umsetzung des Vorhabens eine um 1%-Punkt verringerte Ausfall- bzw. Nacharbeitsquote, d.h. 1.800 t pro Jahr und damit einer spürbaren Steigerung der Ressourceneffizienz.

Mit dem neuen Ofenkonzept sollte insgesamt eine erhebliche Reduzierung des Energieeinsatzes (Erdgas und Strom) für das Glühen der Coils über den Stand der Technik hinaus realisiert werden, durch die Integration zahlreicher neuer Ansätze zu einem innovativen Glühprozess. In der Vorhabensbeschreibung zum Antrag und den zusätzlichen Erläuterungen zu den Wirkmechanismen der Effizienzsteigerung wurden durch

- Nutzung der Restwärme aus dem Walzprozess durch erhöhte Einsatztemperatur der Bänder ($> 60\text{ °C}$),
- Nutzung der Abgase der Bundglühöfen zur Vorwärmung des Schutzgases,
- optimierte Logistik mit verkürzten Durchlauf- und Bearbeitungszeiten,
- verbessertes Qualitätsniveau mit engeren Fertigungstoleranzen und Vermeiden von Ausfällen bzw. Nachglühungen und
- optimierter, flexibler Fertigungsplanung ohne Verwendung von Füllbändern

folgende Verbrauchsreduzierungen - ohne den Effekt der vermiedenen Nachglühungen -

gegenüber dem Stand der Technik prognostiziert:

- Erdgaseinsparung: 8.130.600 kWh/a
- Schutzgaseinsparung: 651.600 Nm³/a (\cong 1.118.580 kWh/a)
- Elektrischer Strom 810.405 kWh/a

Diese summierten sich zu einer Einsparung von mehr als 10 Mio kWh/a. Darüber hinaus wurde eine erste Abschätzung zur Zuordnung unternommen:

- o Verringerter Energiebedarf durch erhöhte Einsatztemperatur (>60°C) der Bänder (ca. 21%, entsprechend 9.700.000 kWh/a)
- o Energieeinsparung durch Schutzgasvorwärmung (ca. 1%,entsprechend 350.000 kWh/a)

Als Effekt vermiedener Nachglühungen wurde ca. 1% Energieeinsparung entsprechend 370.000 kWh/a zusätzlich vermutet.

Als gesamte jährliche Energieeinsparung gegenüber dem **Zustand bei Vorhabensbeginn** (zu diesem Zeitpunkt bestehende Anlagen bei Aluminium Norf) wurden 31.960.000 kWh/a angestrebt. Davon durch Erdgaseinsparung incl. der Schutzgaserzeugung 27.060.000 kWh/a und beim Stromverbrauch 4.900.000 kWh/a.

Durch diese Effekte wurde unmittelbar eine erhebliche Vermeidung direkter und indirekter CO₂-Emissionen angestrebt. Wir erwarteten nach erfolgreichem Abschluss des Projektes, dass Emissionen in Höhe von rd. 8.300 t CO₂ jährlich vermieden werden, davon 4.900 t in unserem Werk und 3.400 t für die Stromerzeugung im Kraftwerk.

HINWEIS: Mit den uns nach der Antragstellung übermittelten CO₂-Äquivalenten für Strom und Erdgas (0,616 bzw. 0,202 kg/kWh) des UBA, hätte sich bei Antragstellung eine um 90 t/a höhere Einsparprognose ergeben (8.393 t/a statt 8.300 t/a). Die möglichen Einsparungen durch Nachglühungen wurden in der Gesamtprognose nicht berücksichtigt. Nachstehend wird zur besseren Vergleichbarkeit mit anderen geförderten Projekten die Umrechnung von Energiemengen in klimarelevante Emissionen ausschließlich unter Nutzung der durch das UBA übermittelten CO₂-Äquivalenten errechnet. Der Vergleich von Zielwerten und realisierten Effekten erfolgt ebenfalls auf dieser Basis – daher weichen Prognosezahlen für Klimaeffekte im Folgenden stets leicht von den Zahlen Vorhabensbeschreibung ab.

Eine einfache schematische Darstellung zur Funktionsweise der neuen Ofenanlage - im Vergleich zur konventionellen Technik - zeigt nachstehende Abbildung:

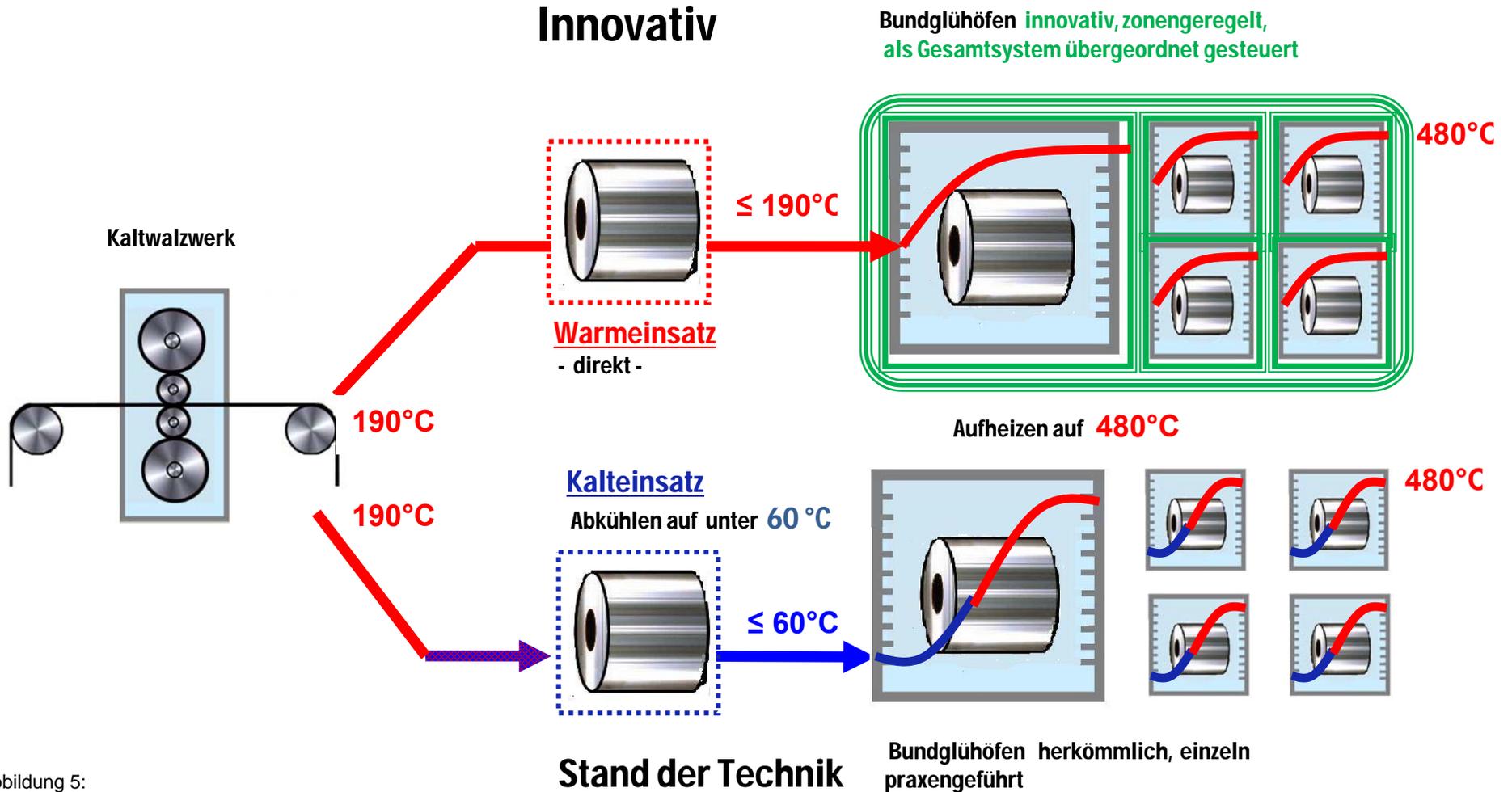


Abbildung 5:
Funktionsweise der Glühofenanlagen, schematisch

2.2 Darstellung der technischen Lösung (Auslegung und Leistungsdaten)

Zur Erreichung der beschriebenen Ziele ist ein Anlagenkonzept erarbeitet worden, das in dieser Form bisher industriell noch nicht zur Anwendung gekommen ist. Dieses Konzept verbindet eine innovative Ofenanlage mit einem ebenfalls neuartigen Steuerungs- und Regelkonzept, das sich im Wesentlichen auf zwei Modelle stützt, die sogenannten Offline- und Online Modelle, die durch das Integriertes Prozess-Planungs-System (IPPS) verknüpft werden.

Das Offline-Modell realisiert die übergeordnete Steuerung der gesamten Ofenanlage in Verbindung mit vorgelagerten Fertigungs- und Logistikprozessen, insbesondere dem Walzprozess. Es wird mit den Produktionsdaten des Kaltwalzwerkes gespeist und verfügt über eine 48h-Sicht auf die verfügbaren gewalzten Coils und deren Oberflächentemperaturen. Das Modell verfügt über die Daten der Glühpraxen und die Leistungsparameter der Öfen. Außerdem stehen dem Offline-Modell die Verfügbarkeitsdaten der Glühofenanlage zur Verfügung. Auf dieser Basis können der Ofenanlage optimal (im Rahmen der verfügbaren Coils) zusammengestellte Bandbünde (Glühchargen aus zumeist 4 Coils) für jede Ofenfahrt zur Verfügung gestellt werden, deren energetisch ideale Glühung dann in der Ofenanlage selbst über das Online-Modell realisiert wird.

Bei der Online-Prozessregelung wird vor dem Einsatz in den Öfen die Temperatur des Glühgutes gemessen. Aufgrund dieses thermischen Zustandes wird auf Basis eines mathematischen Modells der Temperaturverlauf im Ofen vorgegeben. Während des Glühprozesses werden Online-Temperaturmessungen im Ofen zur laufenden Korrektur des Band-Erwärmungszustandes genutzt.

Der Erwärmungszustand der eingesetzten Bänder (standardmäßig 4 Bänder pro Charge) vor dem Chargieren ist in der Regel unterschiedlich. Das Modell berechnet für eine gegebene Charge den optimalen Erwärmungsverlauf und kann die Regelzonen entsprechend einzeln regeln, wobei aufgrund der Verbindungen im Ofenraum mit einer gegenseitigen Beeinflussung der Regelzonen zu rechnen ist.

Ebenso ist es möglich bei entsprechenden Auftragskonstellationen auch nur 3 oder weniger Bänder in einer Charge zu glühen, ohne die übrigen Plätze mit „Füllbändern“ zu belegen und diese dann auch erwärmen zu müssen.

Dazu wird für jedes Band eine eigene Regelzone bereitgestellt – also 4 Zonen für die maximal 4 Coils je Charge. Bisher sind nach Stand der Technik 3 Regelzonen bei 4 eingesetzten Bändern je Charge üblich, aber unzureichend für die zuvor beschriebenen Effizienzmaßnahmen.

Die Bänder werden auf eine Temperatur von 320 bis 480 °C erwärmt. Anstelle von kalten Bändern (< 60 °C) können nun Bänder mit bis zu 190 °C in den Öfen eingesetzt werden. Hieraus ergibt sich eine signifikante Verringerung der dem Band zuzuführenden Wärmemenge. Es ist aus werkslogistischen Gründen jedoch nicht in allen Fällen machbar, Bänder sofort nach dem Walzen mit maximaler Temperatur in den Glühofen einzusetzen. Für die Berechnungen zur Prognose der Effekte haben wir eine Einsparung von 21% angenommen, bei einer durchschnittlichen Einsatztemperatur von 80°C. Für die nachstehend ausgewiesenen realen Werte wurde ein umfangreiches Messprogramm durchgeführt.

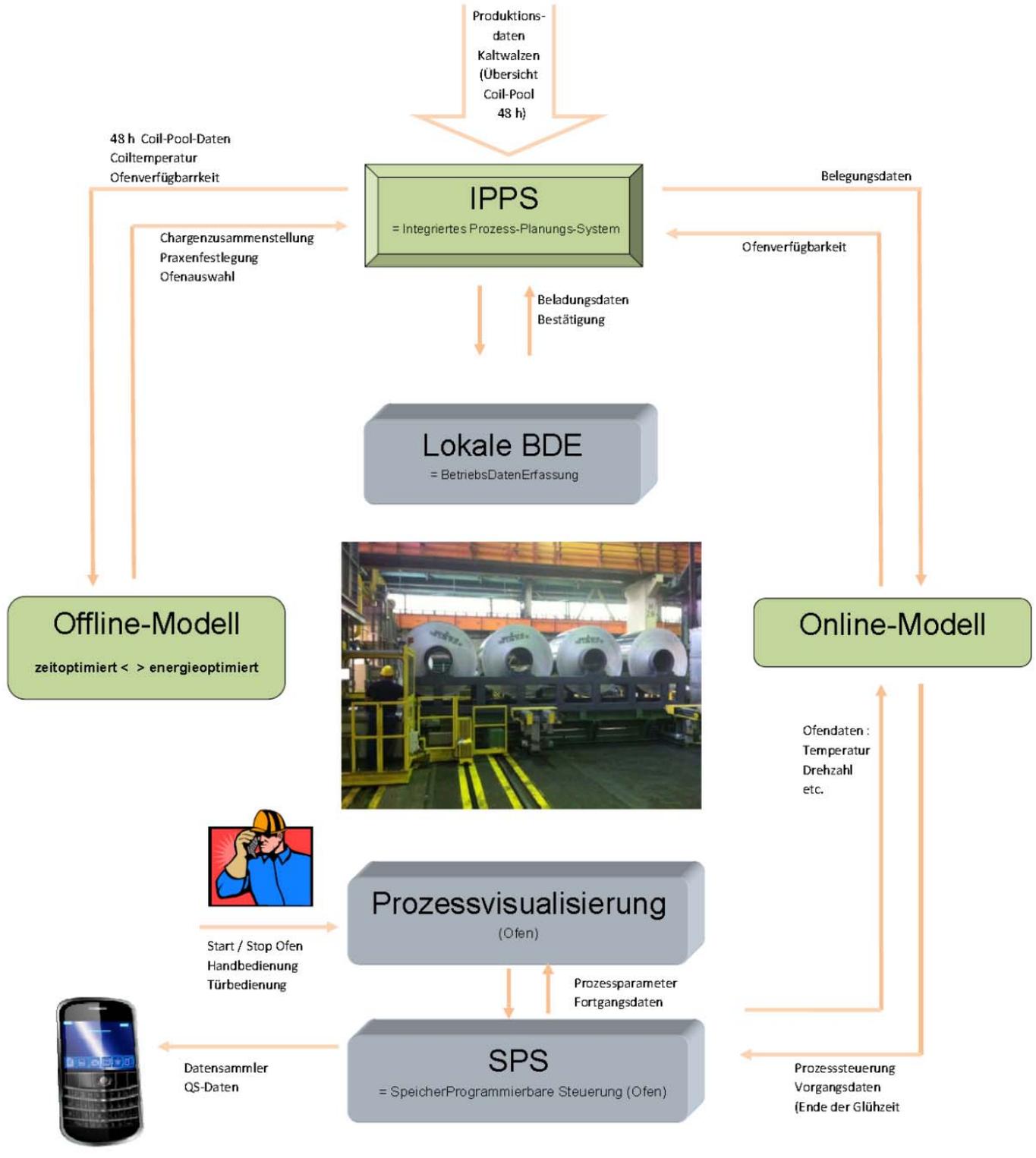
Das jeweilige Einsparpotenzial durch die beschriebene innovative Prozesstechnologie bleibt stets abhängig von der Auftragslage, der Art der Glühaufräge sowie der innerbetrieblichen Logistik.

Eine wichtige Maßnahme zur Erreichung der Gesamtziele des Projektes stellt die in das Konzept integrierte Vorwärmung des Schutzgases mit Hilfe von Abwärme der Bundglühofen dar. Hierbei werden als Abwärmequelle die Ofenraumabgase (aus Schutzgas) genutzt. Die nachstehende Abbildung 6 verdeutlicht die Funktionsweise der Glühofenanlage:

Abbildung 6: Integrierte Glühofenanlage

Integrierte Glühofenanlage

Vereinfachtes Schema: Ablauf und Informationsfluss



- Grundlegender Ablauf:
- ① IPPS liefert Produktionsdaten an Offline-Modell
 - ② Offline-Modell berechnet optimale Chargen
 - ③ Offline-Modell liefert Chargenplan an IPPS (ggf. Kontrolle durch Arbeitsvorbereitung)
 - ④ Bediener stellt Beladung zusammen
 - ⑤ Beladung wird in Prozessvisualisierung bestätigt
 - ⑥ START

Beim Weihnachtsstillstand 2010 erfolgte die Vorbereitung für die Kaminmontage und die Medienversorgung sowie der Umbau der Lagerplätze.



Abbildung 8: „Kamininstallation durch geöffnetes Hallendach“

Die Fahrschiene für die Chargiermaschine wurde montiert, eingemessen und vergossen. Zudem erfolgte die Vorbereitung zur Fundamenterstellung für die neuen Öfen.

Otto Junker hat die Öfen in Tschechien gefertigt. Die nachfolgenden Abbildungen 9 - 12 zeigen die Teilefertigung und Vormontage.



Abbildung 9: „Unterteil eines Ofens“



Abbildung 10: „Grundrahmen eines Ofen wird vermessen“



Abbildung 11: „Ofeninnenraum mit teilweise montierten Düsenwänden“



Abbildung 12: „Komplett vormontierter Ofen“

Die fünf Bundglühöfen mit Chargiermaschine und kompletter Automatisierung wurden Mitte des Jahres 2011 an die ALUMINIUM NORF GmbH (ALUNORF) ausgeliefert.



Abbildung 13: „Anlieferung der teildemontierten Öfen am 17.06.2011“

Die nachfolgenden Abbildungen 14 - 15 beschreiben die Zusammenführung des Ofenoberteils mit dem Ofenunterteil.



Abbildung 14: „Einbringen des Ofenoberteils durch das Warmwalzwerk“



Abbildung 15: „Aufsetzen Ofenoberteil auf Ofenunterteil“

„Zusammenführung Ofenoberteil und Ofenunterteil“

Nach dem Zusammenführen wurden die Öfen zum vorgesehenen Standort verbracht (Abb. 16 – 17) und die Inbetriebnahme der Öfen erfolgte im Oktober 2011 mit dem Beladen der Coils auf die Chargiermaschine und dem Einfahren in den Ofen (Abb. 18 - 19).



Abbildung 16: „Vorbereitung eines montierten Ofens zum Verschieben an den endgültigen Standort“



Abbildung 17: „Verschieben eines montierten Ofens an den endgültigen Standort“

“



Abbildung 18: „Chargierwagen beladen mit Coils bei Inbetriebnahme“



Abbildung 19: „Beladen eines Ofens bei Inbetriebnahme“

2.4 Behördliche Anforderungen (Genehmigungen)

Zur Errichtung der Anlage waren eine BImSchG-Genehmigung (wesentliche Änderung einer vorhandenen Anlage) erforderlich. Die für den Betrieb der Anlage erforderlichen Konformitätserklärungen der Hersteller liegen vor. Sicherheitstechnisch ist die Anlage abgenommen. Die Betriebsgenehmigung ist erteilt.

2.5 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten

Nach Errichtung der neuen Öfen erfolgte die Optimierung der Online-Prozessregelung und die Anpassung an die betrieblichen Gegebenheiten.

Die Verbrauchsdaten der Öfen (Erdgas, Schutzgas, Strom) wurden online ermittelt. Hierzu wurde ein vorhandenes Datenbank-Programm zur Online-Erfassung der Zählerstände für Erdgas, Strom und Schutzgas genutzt. Es erfolgt eine Verknüpfung mit der Produktionsmenge, so dass der spezifische Energieverbrauch bzw. die spezifische CO₂-Emission pro Tonne geglühtes Gut ermittelt werden konnte.

Diese Werte wurden für die relevanten Betriebsbedingungen und Parameter ermittelt:

- Abhängigkeit von der Auslastung bzw. stand-by Zeit der Öfen
- Erreichter Wärmeeintrag mit den Bändern (Restwärme aus dem Walzen)
- Art der Glühpraxe
- Einstellparameter des Online-Ofenmodells zur Prozessregelung

Ebenso wurde die Energieeinsparung durch die Schutzgasvorwärmung messtechnisch ermittelt. Die Temperaturmessung am Coil erfolgte zum einem im Auslauf der Kaltwalze direkt nach dem Walzen – für die Planung im Offline-Modell - sowie auf der Chargiermaschine direkt vor dem Einfahren in den Ofen – für das Online-Modell. Es wurde eine Messung an einem definierten Punkt des Coil-Stirnseite (Coil-Spiegel) durchgeführt. Über langjährige Erfahrungswerte aus der Produktion und mathematische Modelle kann damit die gesamte Temperaturverteilung im Coil ausreichend exakt bestimmt werden.

Damit wurden alle relevanten Verbrauchsdaten erfasst und im Rahmen eines Energie-Online-Monitorings dokumentiert. Zur Validierung der beschriebenen Einsparungen hat die Alunorf auf

diese Daten, ihre Energie- und Umweltfachleute sowie externe Gutachter und Messinstitute zurückgegriffen.

3. Ergebnisse

3.1 Bewertung der Vorhabensdurchführung

Mit dem Start der Inbetriebnahme im Oktober 2011 wurde die Inbetriebnahme der Online-Prozessregelung begonnen, wobei die gewünschte Genauigkeit noch durch weitere Datensammlungen aus Glühungen und diversen Versuchen hergestellt werden musste. Es stellte sich heraus, dass der Aufwand für Einrichtung, Anpassung und Optimierung deutlich mehr Zeit als ursprünglich veranschlagt benötigte. Dadurch kam es zu Verzögerungen, die sich bis Mitte des Jahres 2013 einstellten. Zur Unterstützung der Inbetriebnahme der Offline-Prozessregelung wurden intern logistische Abläufe optimiert, um eine maximale Menge an walzwarmen Bändern für die Einplanung an den neuen Öfen zur Verfügung zu stellen.

In 2012 traten beim Probetrieb der Ofengruppe Probleme auf, die den Start des Dauerbetriebes verzögerten und nachfolgenden beschrieben werden:

An allen Öfen fiel ein systematischer Fehler auf. Die Lufttemperatur in Heizzone 1 stieg sporadisch zu langsam an. Dadurch waren einzelne Glühungen nicht ausreichend reproduzierbar. Durch eine Vielzahl kleinerer Maßnahmen (z.B. nachträgliche Isoliermaßnahmen, Anpassung der Brennerregelung) wurde dieser Fehler auf ein für die Prozessführung nicht mehr relevantes Maß minimiert. Ganz eliminiert werden konnte er nicht, da bauartbedingt der Bereich der Ofentür, indem sich die Heizzone 1 befindet, immer die höchsten thermischen Verluste besitzt.

Die Andrückthermoelemente zur Optimierung der Online-Prozessregelung waren nicht betriebssicher. Alle Andrückthermoelemente wurden komplett demontiert und mit neu konstruierten Führungen wieder montiert. Zusätzlich wurden Sicherheitsverriegelungen in die Ofensteuerung programmiert, um die Gefahr von mechanischen Beschädigungen durch die thermische Ausdehnung der Coils im Ofen zu minimieren.

Die thermischen Verluste an den Ofendecken und Türen waren höher als spezifiziert. Es erfolgte eine Nachisolierung durch Lieferanten Otto Junker GmbH.

Durch diverse konstruktive Schwächen funktionierte die Chargiermaschine nicht zuverlässig. Deshalb erfolgte eine Überarbeitung der Konstruktion nach FMEA (Failure Mode and Effects Analysis „Fehlermöglichkeits- und Einfluss-Analyse“) und ein entsprechender Umbau durch den Lieferanten Otto Junker GmbH wurde durchgeführt.

Die beschriebenen Änderungen führten dazu, dass ein mehrtägiger Stillstand der gesamten neuen Glüherei im vierten Quartal 2012 notwendig wurde, damit die Ausführung der oben genannten Maßnahmen durch Otto Junker GmbH im Rahmen der Gewährleistung erfolgen konnte. Seit Dezember 2012 funktioniert die Chargiermaschine betriebssicher. Sie ist beidseitig verfahrbar und kann neue und alte Öfen beschicken.

Mit der Fertigstellung der Chargierlösung wurde eine weitere maßgebliche Voraussetzung für das Offline-Modell erfüllt. Dieses Modell realisiert die übergeordnete Steuerung der gesamten Ofenanlage in Verbindung mit vorgelagerten Fertigungs- und Logistikprozessen, insbesondere dem Walzprozess. Dies führt im Ergebnis zu optimal zusammengestellten Bandbündeln (Coilpaketen zu je vier Stück) für jede Ofenfahrt und idealen Voraussetzungen für die Online-Regelung. Für den Alltagsbetrieb im Offline-Modell wurden im 2. Quartal 2013 fertigungsorganisatorische und logistische Aufgaben gelöst. Laufend wurden die bisher gewonnenen Erkenntnisse zur weitere Optimierung der Prozessregelung (Software im

Zusammenspiel mit o.g. Hardware) genutzt. Hierzu fanden auch umfangreiche Prozesssimulationen statt.

Im Februar 2013 wurde in einem Ofen damit begonnen alle Coils im Warmeinsatz (> 60 Grad Celsius) zu fahren. Damit begann die Erprobung und Optimierung des Online-Modells für walzwarme Coils. Das Online-Modell regelt den Glühprozess im Ofen unter Berücksichtigung der Bundzusammenstellung und real gemessener Prozessbedingungen und berücksichtigt auch die Wärmemenge, die durch die Coils beim Warmeinsatz „mitgebracht“ wird.

Insgesamt stellte das Vorhaben eine erhebliche technische, wirtschaftliche und organisatorische Herausforderung für unser Unternehmen, aber auch für unseren Lieferanten dar. Dies war auch bedingt durch sehr schmale Zeitkorridore, in denen bei unserem vollkontinuierlichen Betrieb Baumaßnahmen und sonstige Eingriffe in die Anlagenstruktur möglich sind. So kam es im Verlauf des Projektes zu Verzögerungen bezüglich der vollständigen Realisierung bzw. Implementierung einzelner technischer Leistungscharakteristika. Dies betraf insbesondere die abschließende Sicherstellung der Isolierungsstandards, die Chargiereinrichtung und die Inbetriebnahme der Online-Regelung. Dadurch verzögerte sich die Erreichung und Validierung der Durchsatz- und Effizienzziele teilweise um mehr als 12 Monate. Durch intensive Problemanalysen, gezielte Modifikationen der eingesetzten Technologien und Nacharbeiten des Lieferanten sowie den hohen Einsatz der Betriebsmannschaft ist uns gelungen, schließlich alle angestrebten Projektziele zu erreichen bzw. die notwendigen Voraussetzungen zur Erreichung der Kapazitätsziele zu schaffen.

3.2 Durchführung und Ergebnisse des Messprogramms

Zur Ermittlung der Umweltentlastungen, der Verbrauchsminderungen und der Kosteneffekte wurde ein umfangreiches Messprogramm, bestehend aus

- Leistungsmessungen und Energiebilanzierung (VDEh-Betriebsforschungsinstitut) an den Anlagen,
- Emissionsmessungen (ANECO Institut für Umweltschutz) und
- Dauerbetriebsmessung über 3 Produktionsmonate (Aluminium Norf) unter Nutzung der umfangreichen, in die Anlage integrierten Prozessdatenmessungen.

durchgeführt.

3.2.1 BFI: Energetische Bewertung von Glühofenanlagen

Die „Energetische Bewertung von Glühofenanlagen für Aluminium-Coils mit gesteigerter Energieeffizienz und Produktivität“, durchgeführt durch die VDEh-Betriebsforschungsinstitut GmbH (kurz BFI), stellt die Grundlage für die Zuordnung der Energie- und Emissionminderungen im Rahmen des Vorhabens dar. Im Rahmen dieses Messauftrages erstellte das BFI ein Modell für die energetische Bilanzierung der Anlagen, wählte Messpunkte und Messparameter aus, führte Messungen durch und legte eine Interpretation der Ergebnisse vor. Der Bericht Nr. 5.71.138 des BFI liegt als Anlage bei.

Das BFI hat im Rahmen seiner Untersuchungen Vergleichsmessungen an einer Bestandsanlage und an der neu errichteten Ofenanlage durchgeführt. An der neuen Anlage wurden zudem Messungen durchgeführt zum Vergleich der Energieeffizienz bei kalt und warm eingesetzten Coils, da eine der wesentlichen Innovationen des Vorhabens darin besteht, walzwarme Coils mit einer Einsatztemperatur bis zu 190 °C glühen zu können.

Neben den an den Ofenanlagen vorhandenen Messeinrichtungen wurden zusätzliche Messstellen eingerichtet. Für die Neuanlage zeigt dies folgende Abbildung:

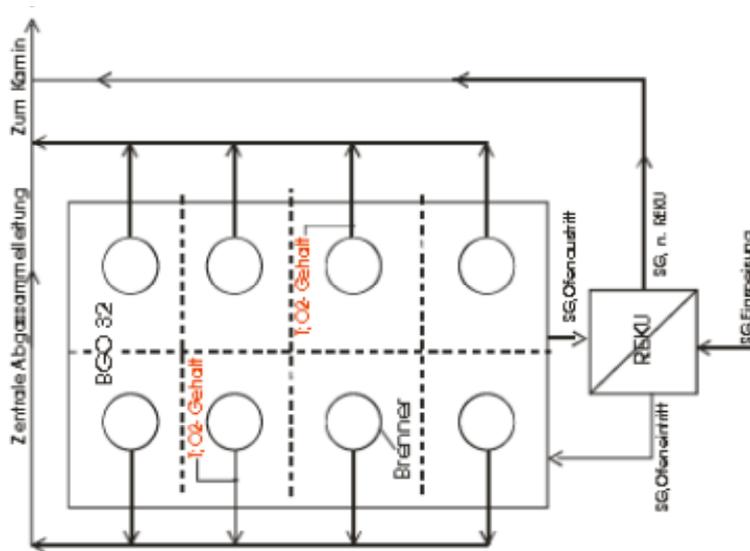


Abbildung 20: Schematische Darstellung der zusätzlichen Messstellen an der untersuchten Neuanlage (BGO32)

Bei dem Bestandssofen wurde die Messtechnik wie folgt ergänzt:

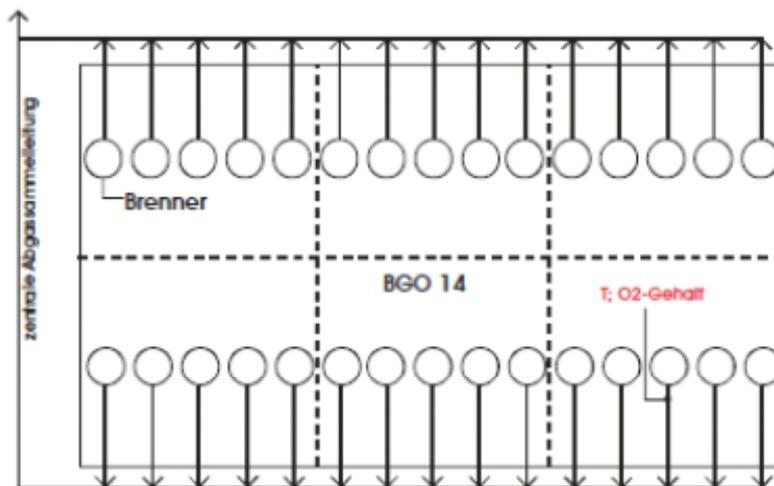


Abbildung 21: Schematische Darstellung der zusätzlichen Messstellen an der untersuchten Bestandsanlage (BGO 14)

Insgesamt wurden folgenden Meßwerte erfasst und durch das BFI ausgewertet:

Messwerte	Art der Messwernerfassung
Schutzgastemperaturwerte und –volumenströme an Ofenein- und -austritt	Ofensteuerung, AluNorf
Brenngasvolumenstrom aller Brenner	Ofensteuerung, AluNorf
Ofenraumtemperatur	Ofensteuerung, AluNorf
Brennlufttemperatur vor Reku	Manuelle Messung, AluNorf
Brennluftvolumenströme	Ofensteuerung, AluNorf
Leistungsaufnahme der Umwälzgebläse	Ofensteuerung, AluNorf
Abgastemperatur am Brenneraustritt	Betriebsmessung, BFI und Ofensteuerung, AluNorf
O ₂ -Gehalt im Brenner-Abgas	Betriebsmessung , BFI

Tabelle 15: Messwerte und Messwernerfassung

Aufgrund der erfassten Prozessdaten konnte das BFI die Verbrauchsdaten für Erdgas (Brennerbetrieb), elektrischen Strom (vor allem Lüfterbetrieb), für Schutzgas und bei der Neuanlage den energetischen Nutzen des Schutzgasrekuperators (Schutzgasvorwärmung) getrennt erfassen. Die messtechnische Ausrüstung erlaubte eine sehr detaillierte Auflösung der Prozessdaten. Ein Beispiel nachfolgend:

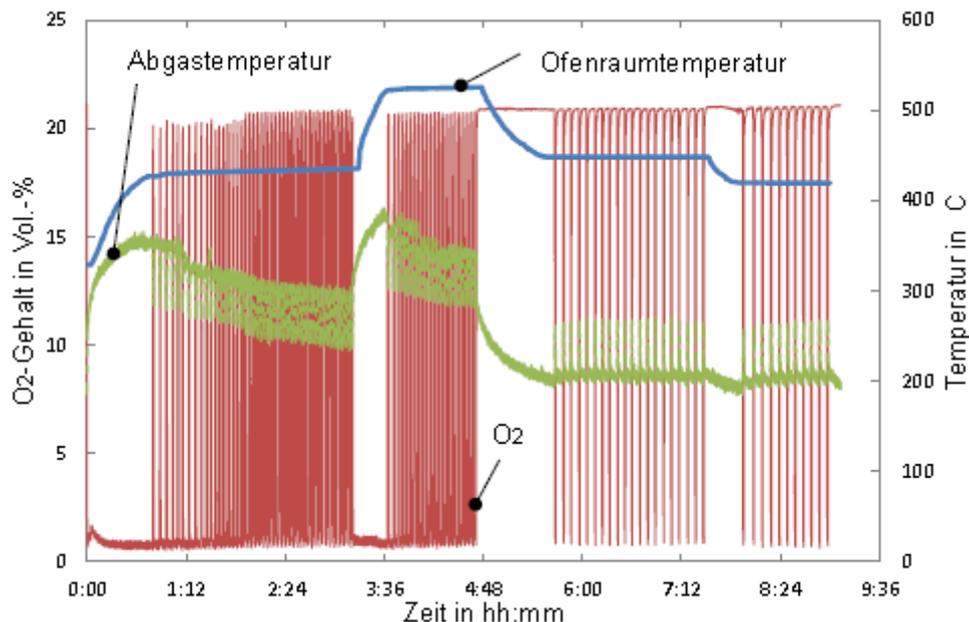


Abbildung 22: Verlauf von Abgastemperatur und O₂-Konzentration im Abgas einer Bestandsanlage.

Für die Vergleichsmessungen wurden drei Chargen mit sehr ähnlicher Coilzusammenstellung ausgewählt und unter realen Betriebsbedingungen die oben genannten Daten erfasst. Eine Zusammenfassung der Messergebnisse zeigt nachstehende Tabelle:

Bestandsanlage	Neuanlage „Kalteinsatz“	Neuanlage „Warmeinsatz“
Charge C149/14	Charge C187/32	Charge C261/32

Glühdaten

Ofen	BGO 14	BGO 32	BGO 32
Beladung in t	31,7	32,4	32,1
Glühdauer in hh:mm	9:00	8:00	8:20
Anzahl der Glühphasen	4	3	4
max. Glühtemp. in °C	540	500	500

Aluminiumtemperaturen

Anfangstemperatur ($T_{ALU,in}$)	35	35	84
Endtemperatur ($T_{ALU,out}$)	401	422	427
Temperaturdifferenz (ΔT)	366	387	343

Spezifische Enthalpien, Wärmemengen, elektrische Energie und Verluste

Brennstoffenthalpie ($h-EG_{(H_2)}$) in MJ/t	971	495	478
Elektr. Energie (p_{el}) in MJ/t	195	82	77
Summe Energie aufwen- dungen (H_{En}) in MJ/t	1166	577	555
Wärmeaufnahme Nutzgut ($q-Alu$) in MJ/t	348	368	326
Verluste Abgas ($h-AG$) in MJ/t	127	96	101
Verluste Schutzgas ($h-SG-2/3$) in MJ/t	61	6,3	6,5
Verluste, restliche ($q-Verlust$) in MJ/t	636	110	124

Tabelle 16: Zusammenfassung Messergebnisse

Die gemessenen absoluten Verbrauchswerte wurden durch das BFI in spezifische Verbrauchswerte je Tonne eingesetztes Glühgut übertragen. Auf dieser Basis kommt das Institut zu folgenden, abschließenden Bewertungen (Seite 25 des Berichtes):

„Im genannten innovativen Investitionsvorhaben wurde für die Neuanlagen zudem ein neues Modell zur Ofensteuerung entwickelt, welches unter anderem den energieeffizienten Einsatz von vorgewärmtem Nutzgut ermöglicht. Dieses Modell wurde ebenfalls im Rahmen der durchgeführten Untersuchung an der ausgewählten Neuanlage getestet, vermessen und anschließend energetisch bewertet.“

Die durchgeführten Untersuchungen zeigten, dass die untersuchte Neuanlage bereits im konventionellen Betrieb (C187/32), d. h. mit kalt eingesetztem Nutzgut, etwa 49 % weniger Erdgas, 83 % weniger Schutzgas und 58 % weniger elektrische Energie benötigt als die Bestandsanlage unter vergleichbaren Bedingungen.

Durch den Betrieb der Neuanlage mit dem neu entwickelten Ofensteuerungsmodell und warm eingesetztem Nutzgut (C261/32, Einsatztemperatur: 84 °C) konnte zudem eine weitere Steigerung der Energieeffizienz ermittelt werden. Hier ergaben die durchgeführten Untersuchungen Einsparungen von bis zu 51 % Erdgas und 61 % elektrischer Energie im Vergleich zur Bestandsanlage. Der Schutzgasbedarf lag hier zwar leicht über dem Niveau der Neuanlage im konventionellen Betrieb, erreicht aber immer noch Einsparungen von etwa 82 % gegenüber der Bestandsanlage. Die zusätzliche Energieeinsparung durch den Einsatz des neuen Ofensteuerungsmodells und die Nutzung von vorgewärmtem Nutzgut beläuft sich damit auf etwa 4 % gegenüber dem konventionellen Betrieb der Neuanlage. Durch eine weitere Anhebung der Einsatztemperatur kann diese zukünftig aber noch weiter gesteigert werden.“

Die Schutzgasvorwärmung insgesamt geht über den Stand der Technik hinaus – d. h. die gesamte Energieeinsparung durch die Schutzgasvorwärmung stellt eine Fortschreibung des Standes der Technik dar. Daher bestätigen die Messungen des BFI die Einschätzung, dass die Schutzgasvorwärmung etwa 1 % des Gesamtenergiebedarfes im Vergleich zum Stand der Technik einspart. Der Erdgasverbrauch zur Herstellung des Schutzgases wurde nicht gemessen, da die Schutzgaserzeugung außerhalb des Bilanzraumes liegt und nicht unmittelbar Gegenstand des Vorhabens war.

3.2.2 ANECO: Emissionmessungen

Die ANECO Institut für Umweltschutz GmbH & Co. KG wurde mit der Messung des Emissionsverhaltens der Öfen unter Gesichtspunkt der Einhaltung behördlicher Auflagen und der Vermeidung schädlicher Emissionen beauftragt. Die Messungen wurden am 26. Juni 2013 durchgeführt:

Aufgabenstellung:

Die gemäß §§ 26, 28 Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) bekanntgegebene Messstelle ANECO Institut für Umweltschutz GmbH & Co. wurde beauftragt, das Emissionsverhalten der neuen Bundglühöfen 30 – 34 am Beispiel von Bundglühofen 34 zu dokumentieren. Dabei wurden sowohl die Phasen mit voller Brennerleistung und maximaler Schutzgasleistung berücksichtigt. Als Parameter wurden die Emissionswerte der Betriebsgenehmigung sowie die im Fördervorhaben genannten Schadstoffe gemessen

Die Grenzwerte sowie der genehmigungsrechtliche Bezug sind in der nachfolgenden Tabelle 17 zusammengestellt:

Genehmigung:

Genehmigungsbehörde:	Staatliches Umweltamt Krefeld
Bescheid-Nr.:	22-GV 17/03-Gal geändert durch Bezirksregierung Düsseldorf 53.01-100 53.0135/10/0306BBB2
vom:	21.10.2003 (geändert 01.08.2011)
➤ Grenzwerte Nebenbestimmung Nr. 12:	
Gesamtkohlenstoff	50 mg/m ³
Stickoxide (Stickstoffmonoxid und Stickstoffdioxid), angegeben als NO ₂	0,35 g/m ³
➤ Bezugsgrößen:	
Die Volumenangaben sind bezogen auf Normzustand (273 K, 1.013 hPa), trocken (nach Abzug des Feuchtegehaltes an Wasserdampf) und 5 Vol. % O ₂ .	

Tabelle 17: Grenzwerte gemäß Bescheid:

Die Nebenbestimmung enthält folgenden ergänzenden Hinweis:

Diese Nebenbestimmung ersetzt alle bisherigen Festlegungen zu den Emissionen der Bundglühöfen. Die volle Brennerleistung wird bei ungestörtem nicht getaktetem Betrieb der Brenner üblicherweise am Anfang jeder Charge erreicht. Dabei entsteht die höchste Abgasmenge. Aufgrund der unterschiedlichen Glühpraxen variiert der Zeitraum mit voller Brennerleistung.

Folgende Emissionsdaten wurden ermittelt:

BGO34 26.06.2013	O ₂ [Vol.-%]	CO ₂ [Vol.-%]	CO [mg/m ³]	NOx als NO ₂ [mg/m ³]	SO ₂ [mg/m ³]	Ges.-C bez. Norm, tr. [mg C/m ³]	Staub [mg/m ³]
Mittel	4,6	8,4	< 13	246	< 1,1	10,8	< 0,4
Max.	7,2	8,9	16	281	< 1,3	18,9	0,5
Grenzwerte¹⁾				350		50	

¹⁾Bescheid: 22-GV 17/03-Gal geändert durch Bezirksregierung Düsseldorf 53.01-100 53.0135/10/0306BBB2

Es wird deutlich, dass sämtliche Grenzwerte eingehalten werden.

3.2.3 Aluminium Norf: Dauerbetriebsmessung über 3 Produktionsmonate

Aufgrund der hervorragenden messtechnischen Ausrüstung und der entsprechenden Infrastruktur zur Datenerfassung und -auswertung konnte die Aluminium Norf über die Dauer von drei Monaten sämtliche Glühungen mit Wärmeinsatz in der innovativen Anlage erfassen.

Im Zeitraum von Juli bis September 2013 wurden für die Glühung von insgesamt 808 Bündeln (Glühpraxe 097) die Eingangstemperaturen der Coils sowie die Erdgas-, Schutzgas- und Stromverbräuche ermittelt. Im Juli erreichten die Durchschnittstemperaturen der Coils beim Wärmeinsatz noch nicht die in Vorhabensbeschreibung gewünschten ca. 80 °C. Dies gelang durch logistische Maßnahmen in den beiden Folgemonaten. Eine Übersicht der Messergebnisse zeigt die nachstehende Tabelle:

Monat	Anzahl Glühungen Praxe 097 ohne Störung	Starttemperatur [°C]	Erdgasverbrauch [kWh/t]	Schutzgasverbrauch [Nm³/t]	Stromverbrauch [kWh/t]
Juli	252	61	158,0	20,8	22,7
August	289	78,6	151,3	19,9	22,3
September	267	78,8	151,2	20,1	22,1
Summe & Mittelwert Messparameter	808	73,8	153,7	20,3	22,4
Summe & Mittelwert Messparameter Aug+Sep	556	78,7	151,2	20,0	22,2

Ofen alt		40,0	193,3	77,4	52,5
Ziel: Ofenanlage innovativ		80,0	138,8	22,6	25,5
Ergebnis: Aug bis Sep		78,7	151,2	20,0	22,2
Ergebnis: Juli bis Sep		73,8	153,7	20,3	22,4

Tabelle 18: Ergebnissübersicht Betriebsmessungen und Projektziele

Es wird deutlich, dass die Ziele des Vorhabens bezüglich der Energieverbräuche erreicht wurden. Eine genauere Diskussion folgt im Kapitel 3.3 Umwelteffekte. Für die Ermittlung der Umweltbilanz und der Energieeinsparungen wurden die Werte aus den Monaten August und September 2013 verwendet, da hier stabile Wärmeinsatztemperaturen erreicht wurden und eine echte Vergleichbarkeit mit der Prognose der Vorhabensbeschreibung möglich wurde.

Nachstehend eine grafische Darstellung der Messergebnisse für den Zeitraum August bis September 2013:

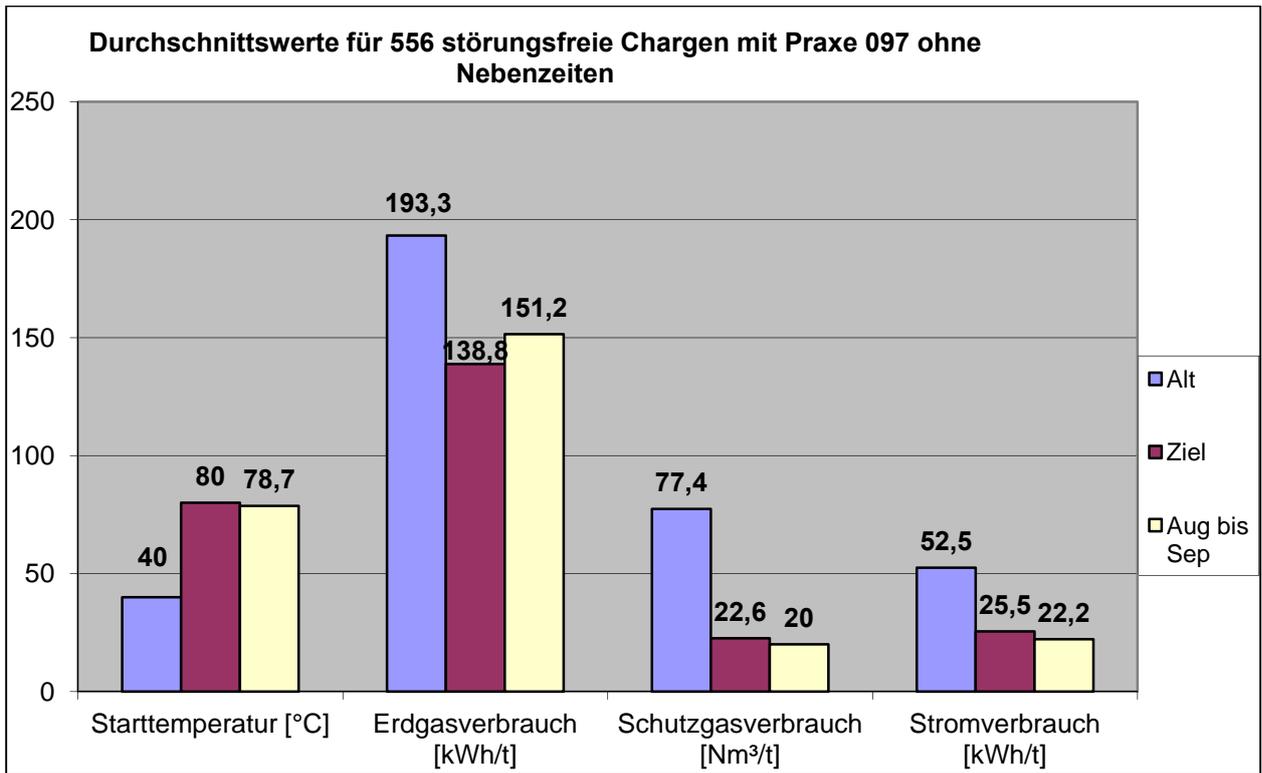


Abbildung 23: Messprogramm BGO 30-34 vom 1.8. bis 30.9.2013

Es wurde ferner erkennbar, dass mit den bestehenden Glühpraxen noch keine systematische Verkürzung der Glühdauer erzielt werden konnte. Hier besteht noch weiteres Potenzial durch eine Anpassung der Qualitätsparameter und eine entsprechende Freigabe der Kunden. Im Messzeitraum stellte sich der Zusammenhang wie folgt dar:

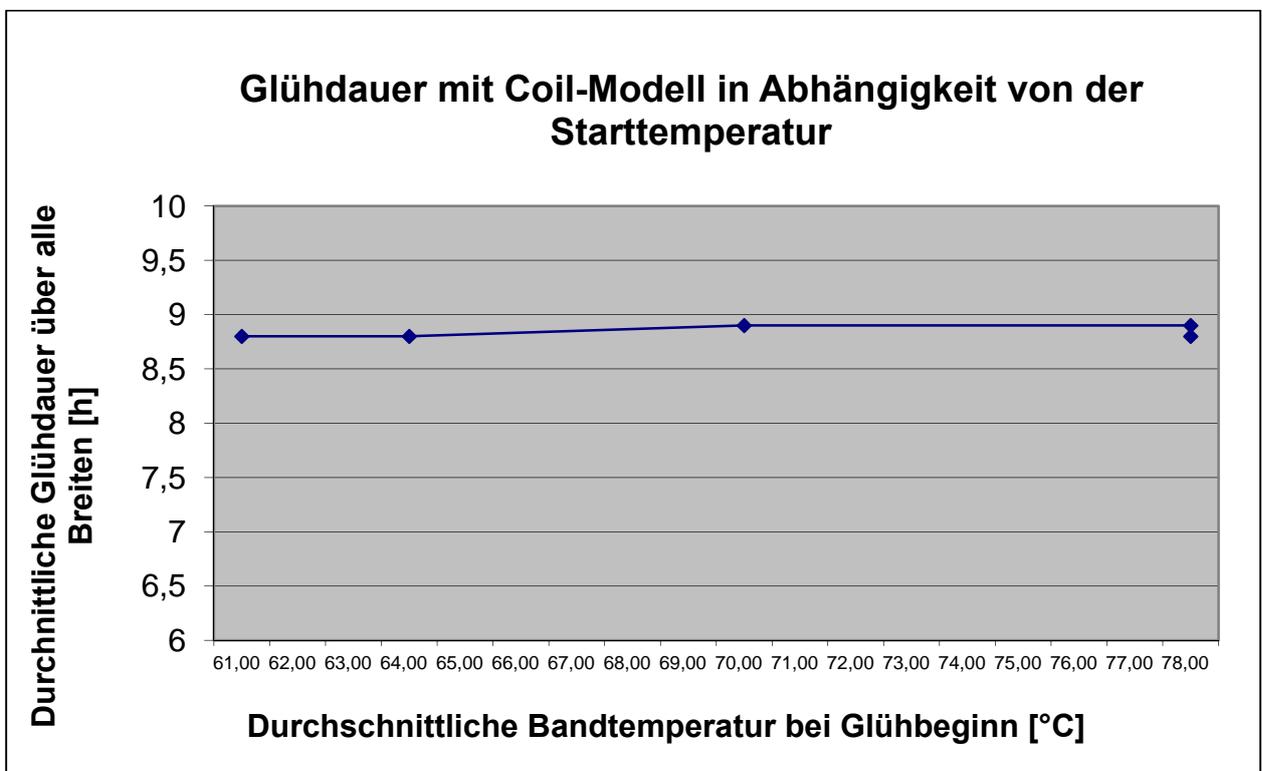


Abbildung 24: Glühdauer in Abhängigkeit von der Einsatztemperatur der Coils

Aus den vorliegenden Messergebnissen wurde die Umweltbilanz des Vorhabens zusammengestellt.

3.3 Umweltbilanz

Nachfolgend wird die Erreichung der Umweltziele (vgl. Kapitel 2.1) und der Verbrauchseinsparungen anhand der Ergebnisse des Messprogramms diskutiert. Grundlage der Verbrauchsangaben sind stets die Betriebsmessungen der Alunorf, d.h. Teil 3 des Messprogramms. Die folgenden Tabellen zeigen, aufgeteilt nach ursprünglicher Erwartung mit der Antragstellung („geplant“) und nach real erreichten die Effekten („erreicht“), den Grad der Zielerreichung des Vorhabens. Die Tabellen weisen in der Spalte „Δ“ auch die Abweichungen von der Planung aus.

Für das Vorhaben wurden die Effekte insgesamt aufgrund spezifischer Verbräuche bezogen auf einen Jahresdurchsatz der Anlagen von 180.000 t/a kalkuliert. Die Daten für den Stand der Technik wurden bei der Antragstellung aus den Angebotsinformationen von 3 Vergleichsangeboten führender europäischer Ofenbauer ermittelt. Hierbei wurden die jeweiligen Leistungsparameter gemittelt und mit einem Praxisaufschlag von 10 % versehen, da die Anlagenanbieter erfahrungsgemäß im Angebot in der Praxis nicht erreichbare Laborwerte angeben. Wir stufen die so ermittelten Werte als sehr fortschrittliche Auslegung des damaligen Standes der Technik ein. Eine Messung im Vergleich zum Stand der Technik war nicht möglich, da bei uns keine derartige Ofenanlage zur Verfügung stand. Nachstehend sind die Prognosen für den spezifischen Verbrauch den gemessenen Werten gegenübergestellt.

	Spezifischer Verbrauch Medium/t Glühgut				
	Ofen alt (Glühofen- gruppe 3)	Ofen Stand der Technik	Ofenanlage Innovativ	Ofenanlage Innovativ	Ziel- abweichung
Medium	vorher	vorher	geplant	erreicht	Δ
	[kWh/t], bei Schutzgas [Nm ³ /t]				
Erdgas	193,3	184,0	138,8	151,2	12,4
Schutzgas	77,4	26,22	22,6	20,0	-2,6
Strom	52,5	30,015	25,5	22,2	-3,3

Tabelle 19: Übersicht über die spezifischen Energieverbräuche [kWh/t] bzw. [Nm³/t] im Planungstatus und nach Durchführung Messprogramm

Für die Darstellung der energetischen Effekte wurden die Schutzgasmengen – Schutzgas wird aus Erdgas erzeugt - in Energieeinheiten (kWh) umgerechnet:

	Absoluter Energieverbrauch (Referenzdurchsatz 180.000 t/a Glühgut)				
	Ofen alt (Glühofengruppe 3)	Ofen Stand der Technik	Ofenanlage Innovativ	Ofenanlage Innovativ	Zielabweichung
Medium	vorher	vorher	geplant	erreicht	Δ
	[kWh]				
Erdgas	34.794.000	33.120.000	24.989.400	27.216.000	2.226.600
Schutzgas	23.916.600	8.101.980	6.983.400	6.180.000	-803.400
Strom	9.450.000	5.402.700	4.592.295	3.996.000	-596.295
Summen	68.160.600	46.624.680	36.565.095	37.392.000	826.905

Tabelle 20: Übersicht Zielerreichung bei den Energieverbräuchen

Hieraus wurde schließlich die absolute Menge an eingesparter Energie ermittelt:

	Jährliche Energieeinsparungen (Referenzdurchsatz 180.000 t/a Glühgut)									
	gegenüber dem Ofen alt					gegenüber dem Stand der Technik				
Medium	geplant		erreicht		Δ	geplant		erreicht		Δ
	[kWh/a]	%	[kWh/a]	%	[kWh/a]	[kWh/a]	%	[kWh/a]	%	[kWh/a]
Erdgas	9.804.600	28,18	7.578.000	21,78	-2.226.600	8.130.600	24,55	5.904.000	17,83	-2.226.600
Schutzgas	16.933.200	70,80	17.736.600	74,16	803.400	1.118.580	13,81	1.921.980	23,72	803.400
Strom	4.857.705	51,40	5.454.000	57,71	596.295	810.405	15,00	1.406.700	26,04	596.295
Summen	31.595.505	46,35	30.768.600	45,14	9.232.680	10.059.585	21,58	9.232.680	19,80	-826.905

Tabelle 21: Übersicht Zielerreichung bei der Energieverbrauchsminderung

Insgesamt liegen die erreichten Verbrauchsmengen sehr nah an der Prognose. Das Vorhaben ist diesbezüglich erfolgreich umgesetzt worden. Die Tabellen 19, 20 und 21 zeigen, dass die Verbräuche insgesamt erheblich reduziert werden konnten. Beim Erdgas wurden die Einsparziele nicht vollständig erreicht, bei Schutzgas und Strom wurden die Ziele übertroffen. Es wird auch deutlich, dass die Einsparungen bei Schutzgas und Strom bezogen auf die Ziele gegenüber dem Stand der Technik erheblich sind. Diese Aussagen können ebenfalls auf die Emissionen von CO₂ - ermittelt aus den Energieverbräuchen - bzw. deren Vermeidung übertragen werden. Aufgrund unterschiedlicher CO₂-Äquivalente der eingesetzten Energien (Strom, Erdgas) ergibt sich für das Klimaziel des Vorhabens ein positiver Effekt: Das Einsparziel bezüglich Emission von klimaschädlichen Gasen gegenüber dem Stand der Technik wird um nahezu 70 t/a übertroffen. Eine Übersicht bezogen auf die Vermeidung von klimaschädlichen Emissionen geben die nachstehenden Tabellen 22 und 23:

	CO ₂ -Emissionen (Referenzdurchsatz 180.000 t/a Glühgut)				
	Ofen alt (Glühofengruppe 3)	Ofen Stand der Technik	Ofenanlage Innovativ	Ofenanlage Innovativ	Zielabweichung
Medium	vorher	vorher	geplant	erreicht	Δ
	[kg CO ₂]				
Erdgas	7.028.388	6.690.240	5.047.859	5.497.632	449.773
Schutzgas	4.831.153	1.636.600	1.410.647	1.248.360	-162.287
Strom	5.821.200	3.328.063	2.828.854	2.461.536	-367.318
Summen	17.680.741	11.654.903	9.287.359	9.207.528	-79.831

Tabelle 22: Übersicht Zielerreichung bei den CO₂-Emissionen

	CO ₂ -Emissionsminderung (Referenzdurchsatz 180.000 t/a Glühgut)									
	gegenüber dem Ofen alt					gegenüber dem Stand der Technik				
Medium	geplant		erreicht		Δ	geplant		erreicht		Δ
	[kg CO ₂ /a]	%	[kg CO ₂ /a]	%	[kg CO ₂ /a]	[kg CO ₂ /a]	%	[kg CO ₂ /a]	%	[kg CO ₂ /a]
Erdgas	1.980.529	28,18	1.530.756	21,78	-449.773	1.642.381	24,55	1.192.608	17,83	-449.773
Schutzgas	3.420.506	70,80	3.582.793	74,16	162.287	225.953	13,81	388.240	23,72	162.287
Strom	2.992.346	51,40	3.359.664	57,71	367.318	499.209	15,00	866.527	26,04	367.318
Summen	8.393.382	47,47	8.473.213	47,92	79.831	2.367.544	20,31	2.447.375	21,00	79.831

Tabelle 23: Übersicht Zielerreichung bei der CO₂-Emissionsminderung

Im Messprogramm konnten also auch die vorhergesagten Klimaeffekte nachgewiesen werden. Aufgrund der Vielzahl der gemessenen Glühvorgänge ist die Größenordnung der dargestellten Umwelteffekte sehr gut belegt und als außerordentlich hoch einzustufen. Insgesamt wurden die vorhergesagten Klimaeffekte erreicht.

Für die innovative Glühofenanlage wurde ein Energieeinspareffekt gegenüber dem Stand der Technik von 22 %, entsprechend ca. 10 GWh/a erwartet. Tatsächlich erreicht wurde eine Energieeinsparung von 9,23 GWh/a entsprechend 19,8 %. Die Einsparungen sind auf die innovative Glühofenanlage insgesamt zurückzuführen.

Der Beitrag einzelner Wirkmechanismen zum Gesamteffekt ist trotz hohen Messaufwands schwierig zu identifizieren. Der Wärmeinsatz alleine leistet laut Energiebilanz des BFI einen Beitrag von 4 % im Vergleich zu kalt eingesetzten Coils. Die in der Vorhabenbeschreibung getroffene Vermutung der Wärmeinsatz werde alleine einen Einspareffekt von 9.700.000 kWh/a erreichen kann so nicht bestätigt werden – 4 % gegenüber dem Stand der Technik entsprechen ca. 1.850.000 kWh/a. Dieser Beitrag wird noch steigen, wenn es künftig gelingt die Einsatztemperaturen weiter zu erhöhen und/oder die Glühzeiten zu verkürzen. Für die Schutzgasvorwärmung hat das BFI einen Einsparbeitrag von einem Prozent bestätigt. Die Reduktion der Nachglühungen kann durch Aluminium Norf bestätigt werden – der Effekt liegt ebenfalls erwartungsgemäß bei 1 %. Für die Effekte durch Verkürzung von Durchlaufzeiten und die Vermeidung von Füllbändern sind keine quantifizierenden Aussagen möglich. 13,8 % (von 19,8 % Einsparung) verbleiben als Nutzen des hochinnovativen Gesamtsystems, die nicht einer Einzelursache zugeordnet werden können.

Die gesamte jährliche Energieeinsparung gegenüber dem Vorzustand (zu diesem Zeitpunkt bestehende Anlagen bei Aluminium Norf) beläuft sich auf 30.768.600 kWh/a. Davon entfallen auf Erdgaseinsparung incl. Schutzgaserzeugung 25.314.600 kWh/a. Der Stromverbrauch reduziert sich um 5.454.000 kWh/a.

Diese Einsparungen bewirken gleichzeitig eine erhebliche Vermeidung direkter und indirekter CO₂ – Emissionen in Höhe von rd. 8.473 t/a CO₂ jährlich vermieden werden, davon 5.113 t/a in unserem Werk und 3.360 t/a für die Stromerzeugung im Kraftwerk. In diesem Vergleich werden also die Klimaziele des Vorhabens leicht übertroffen.

Über die Messung der Effizienzparameter hinaus zeigen Emissionsmessungen die sichere Einhaltung aller Grenzwerte bezogen auf die genehmigten Werte nach BImSchG.

3.4 Wirtschaftlichkeitsanalyse

Für die Wirtschaftlichkeit wurden vor Start des Projekts erhebliche Einsparpotentiale prognostiziert. Die nachfolgenden Tabellen stellen Prognose und Ergebnis – abgeleitet aus den Ergebnissen des Messprogramms - gegenüber.

Medienpreise zum Zeitpunkt der Antragstellung [€/kWh], bei Schutzgas [€/m³]		Spezifische Kosten €/t Glühgut				
		Ofen alt (Glühofen- gruppe 3)	Ofen Stand der Technik	Ofenanlage Innovativ	Ofenanlage Innovativ	Ziel- abweichung
		vorher	vorher	geplant	erreicht	Δ
		€/t	€/t	€/t	€/t	€/t
Erdgas	0,024	4,64	4,42	3,33	3,63	0,30
Schutzgas	0,031	2,40	0,81	0,70	0,62	-0,08
Strom	0,061	3,20	1,83	1,56	1,35	-0,20
Summe		10,24	7,06	5,59	5,60	0,02

Tabelle 24: Übersicht über die spezifischen Kosten €/t im Planungstatus und nach Durchführung Messprogramm

	Spezifische Einsparungen €/t Glühgut					
	gegenüber dem Ofen alt			gegenüber dem Stand der Technik		
Medium	geplant	erreicht	Δ	geplant	erreicht	Δ
Erdgas	1,31 €	1,00 €	- 0,30 €	1,08 €	0,78 €	- 0,30 €
Schutzgas	1,70 €	1,78 €	0,08 €	0,11 €	0,19 €	0,08 €
Strom	1,65 €	1,85 €	0,20 €	0,28 €	0,48 €	0,20 €
Summe	4,65 €	4,63 €	- 0,02 €	1,47 €	1,45 €	- 0,02 €

Tabelle 25: Übersicht über die spezifischen Einsparungen €/t im Planungstatus und nach Durchführung Messprogramm

Die beiden Tabellen zeigen, dass die Verbräuche und Kosten insgesamt erheblich reduziert werden konnten. Beim Erdgas wurden die Einsparziele nicht vollständig erreicht, bei Schutzgas und Strom wurden die Ziele übertroffen. Betrachtet man die resultierende spezifische Einsparung der Kosten, so wird der Zielwert lediglich um 0,02 €/t verfehlt. Insgesamt liegen die erreichten Verbrauchsmengen und die daraus resultierenden Verbrauchskosten sehr nah an der Prognose.

Bezogen auf die Referenzproduktion von 180.000 t/a für die neue Ofenanlage resultieren aus den spezifischen Einsparungen von real 4,63 €/t Einsparungen von 833.500 €/a.

Zusätzlich zu diesem Potential ergeben sich Einsparungen in folgenden Bereichen:

Instandhaltung:

Durch den Einsatz modernster Technik und Werkstoffe war eine Reduktion der Instandhaltungskosten um 191.000 €/a prognostiziert worden. Diese wird bisher aufgrund des geringen Anlagentalers noch übertroffen, langfristig aber aufrecht erhalten.

Produktivität:

Durch höheren Automatisierungsgrad und höhere spezifische Leistung der innovativen Öfen wurde eine Produktivitätssteigerung der einzelnen Mitarbeiter im Bereich Bundglüherei erwartet. Die angestrebte Kapazitätssteigerung um 25 % konnte noch nicht abschließend realisiert werden. Diese sollte durch einen höheren Nutzungsgrad der Anlagen und durch kürzere

Glühzeiten erreicht werden. Für die Verkürzung der Glühzeiten auf breiter Basis wird – entgegen der ursprünglichen Sichtweise - eine umfassende Überarbeitung der produktbezogenen und von der Kundenfreigabe abhängigen Glühpraxen notwendig sein. Der Nutzungsgrad hängt naturgemäß auch von der jeweiligen Struktur und Menge der Kundenaufträge ab. Es ist davon auszugehen, dass weitere Fortschritte bei der Kapazität der Anlagen auch zu einer Steigerung der spezifischen Effizienz und damit zur Senkung der spezifischen Kosten führen werden. Aktuell sind 50 % der erwarteten Produktivitätseffekte erreicht. Es ergeben sich Einsparungen von 168.500 €/a

Minimierung von Nachbehandlung und Verschrottungen:

Durch ca. 1% weniger Bandausfälle errechnen sich jährliche Einsparungen von 304.000 €/a. Diese Einsparung ergibt sich dadurch, daß vorgelagerte Produktionsschritte (Schmelzen, Gießen, Fräsen, Sägen, Warm- und Kaltwalzen) und der Glühprozess selbst nicht erneut durchlaufen werden müssen.

Hieraus errechnete sich eine gesamte **jährliche Bruttoeinsparungen von 1.497 T€.**

Die tatsächlichen Kosten für das Vorhaben betragen 7.590.120 €. Damit wurde das geplante Projektbudget minimal um 90.120 € überschritten. Unter der Berücksichtigung dieser Werte stellt sich die Amortisationsrechnung für das Projekt im Vorher-/Nachher-Vergleich wie folgt dar:

Amortisationsrechnung

	geplant	tatsächlich
Anschaffungskosten [€]:	7.500.000	7.590.120
Restwert [€]:	0	0
Kalkulatorische Nutzungsdauer [a]:	10	10
Kalkulatorischer Zins [%]:	5	5
Kalkulatorische Abschreibung [€]:	750.000	759.102
Jährliche Betriebsstoffeinsparung [€]:	837.000	833.500
Einsparung Instandhaltung [€]:	191.000	191.000
Produktivitätssteigerung [€]:	337.000	168.500
Einsparung Material [€]:	0	0
Kapitalkosten [€]:	937.500	948.765
Einsparung Sonstiges [€]:	304.000	304.000
Jährliche Einsparung vor AfA [€]:	1.481.500	1.310.747
Amortisationszeit [a]:	5,1	5,8

Tabelle 26: Vergleichende Übersicht Amortisationszeiten

3.5 Technischer Vergleich zu konventionellen Verfahren

Wesentlicher Neuheitswert für unter Schutzgas betriebene, indirekt beheizte Bundglühöfen ist der Einsatz einer Prozessregelung auf Basis eines Online-Modells in Verbindung mit der Bereitstellung optimal zusammengestellter, walzwarmer Bandbünde durch das Offline-Modell sowie der Schutzgasvorwärmung in Verbindung mit neuester Anlagentechnik und optimierter Logistik.

Für eine wirklich effektive Nutzung des Online-Glühmodells ist die optimierte Betrachtung eines Einzelofens losgelöst von der Prozessumgebung unzureichend. Vielmehr ist es notwendig die Produktionsdaten des vorgelagerten Kaltwalzwerks, und damit den Bestand und die Temperatur an „glühfähigen“ Coils, über einen ausreichend langen Zeitraum (48 h Coil-Pool-Daten) einzubeziehen und diese Coils auf eine hinreichend große Anzahl von Glühplätzen (hier: fünf Chargenoptionen in einer integrierten Ofenanlage) optimiert zuordnen zu können. Diese optimierte Chargenzusammenstellung und Ofenzuweisung ist die wesentliche Leistung unseres ebenfalls neuen Offline-Modells. Die ideale, energieeffiziente Durchführung und Regelung des Glühvorgangs selbst wird durch das Online-Modell in Verbindung mit der innovativen Ofentechnik realisiert.

Die Prozesssteuerung für unter Schutzgas betriebene, indirekt beheizte Bundglühöfen nach dem **Stand der Technik** zum Zeitpunkt der Antragstellung kann wie folgt beschrieben werden:

Nach einer groben Offline-Simulation werden Bänder mit an definierten Messstellen eingewickelten Thermoelementen im Ofen geglüht und der Temperaturverlauf an den Messstellen dokumentiert. In der industriellen Anwendung ergeben sich Abweichungen bei der wärmetechnischen Berechnung der aufgewickelten Bänder (Coils), weil zwischen den einzelnen Windungen jeweils kleine Luftspalte als Isolationsschicht wirken. Eine genaue Berechnung hängt von der Dicke der Luftspalte ab, die wiederum durch die Wicklung des Bandes bestimmt wird. Diese Wicklung kann in der Praxis differieren. Die mehr oder weniger dicken Luftschichten aufgrund von mehr oder weniger starkem Wickelzug beim Kaltwalzen stellen einen erheblichen Unsicherheitsfaktor bei der Vorhersage des Wärmeintrags durch Offline-Berechnungen bzw. Simulationen dar. Diese Simulationen und Messungen müssen für die verschiedenen Legierungen, Abmessungen und Vorwärmzustände durchgeführt werden (Praxenentwicklung). Aus ihnen werden dann feste Vorgaben für Produktionsbänder ermittelt (Glühpraxen = vorgegebene Temperatur für vorgegebene Zeit bei fester Umluftventilatorumdrehzahl).

Das Erreichen der gewünschten Metalltemperaturen wird dann über Vergleichbarkeit zu den o.g. Glühungen mit Messbändern vermutet. Dabei geht man davon aus, dass bei Erreichen der Metalltemperatur (die dann gleich Ofentemperatur wäre) keine Differenz mehr zwischen Zuluft- und Ablufttemperatur existiert, da das Band dann keine Wärme mehr „entnimmt“. Bei den Stand der Technik-Regelungen wird nach den vor der Glühung fest vorgegebenen Temperaturvorgaben für die einzelne Regel-Zone (nicht das einzelne Band) die Temperatur über die Taktung Ein/Aus der entsprechenden Brenner geregelt. Messgröße für diese Brennerregelung ist die gemessene Vorlufttemperatur in der jeweiligen Zone.

Nur im Nachhinein kann diese Vermutung bzw. das Einhalten der Glühparameter über den dokumentierten Temperaturverlauf verifiziert bzw. Abweichungen festgestellt werden. Diese Abweichungen führen dann zu Nachglühungen oder zur Verschrottung. Eine weitergehende Regelung mit dem Ziel einer energetischen Optimierung ist nicht möglich, der Wärmeinsatz von Coils mit unterschiedlichen Starttemperaturen damit praktisch ausgeschlossen.

Unser **innovatives Online-Modell** regelt dagegen gezielt die Metalltemperatur jedes einzelnen Bandes in einer eigenen Zone. Dafür werden die variablen Sollwert-Vorgaben für die Brennerregelung abhängig von den aktuellen Messergebnissen und der daraus errechneten Wärmebilanz online und stufenlos geändert. Zusätzlich wird zur gezielten Beeinflussung der einzelnen Bandtemperatur die Lüfterdrehzahl und damit der Wärmeübergang auf das einzelne Band geregelt. Die erstmalig zusammenwirkenden Komponenten aus individueller Temperaturregelung über Brenner und Lüfter in Abhängigkeit von detaillierter Ermittlung der Eingangstemperaturen und permanenter Messwerterfassung bilden gemeinsam das neue Konzept.

Durch die Online-Prozessregelung werden ferner Berechnungsfehler, wie sie z.B. durch unterschiedlich gewickelte Coils (Luftspaltbreiten variieren) entstehen, korrigiert, indem auf Basis der kontinuierlichen Messung der Prozessparameter während der Glühung Abweichungen erkannt und Korrekturmaßnahmen über die Regelung eingeleitet werden.

Die Leistungsfähigkeit dieses Systems kann nur durch unser intelligentes Offline-Modell und die Bereitstellung einer ausreichenden Anzahl innovativer Glühplätze voll genutzt werden. Nur das Offline-Modell ermöglicht es häufig harmonisch zusammengestellte Chargen mit einer möglichst hohen Eingangstemperatur (ideal walzwarm, max. 190 °C) bereitzustellen und einem verfügbaren Ofen zuzuordnen.

Eine technische Demonstration der Funktionstüchtigkeit im industriellen Maßstab erfordert auch eine sinnvolle Dimensionierung der Anlage, um deutlich den Technikumsmaßstab zu verlassen. Bei Alunorf ist eine Ofengruppe jeweils einem Kaltwalzwerk zugeordnet. Im Falle der neu errichteten geförderten Ofengruppe ist dieses zugeordnete Kaltwalzwerk eines, das abhängig vom Produktmix ca. alle 6 Minuten ein Coil abwalzt, entsprechend 240 Stück pro Tag. Bei vereinfacht angenommenen 8 Stunden durchschnittlicher Glühdauer, 4 Coils je Charge und 5 Öfen in der Ofengruppe ergibt sich eine Glühkapazität von 60 Bändern je Tag für die innovative Ofengruppe und damit eine angemessene Leistung zur Verarbeitung relevanter Produktionsmengen. Schließlich ist nur durch eine ausreichende Anzahl verfügbarer Glühplätze der Warmeinsatz der Coils logistisch zu realisieren.

Diese Aufgabe ist im Detail hochkomplex. Die Alunorf arbeitet aktuell daran, ihre innovative Lösung weiter zu verfeinern, so dass bei einer möglichst großen Bandbreite von Auftragskonstellationen möglichst nahe am energetischen Optimum produziert werden kann. Da andere Betriebe bisher nicht über das zuvor beschriebene Online-Modell verfügten, haben sie naturgemäß auch bisher keine fortschrittlichen Offline-Modelle im Betrieb.

Bei Aluminiumbundglühöfen war der industrielle Einsatz von Prozessregelungen im Online-Betrieb bisher nicht bekannt. Insbesondere die Verknüpfung der Elemente:

- Integration der Coil-Pool-Daten in Planung der Glühprozesse (Offline-Modell)
- Zusammenstellung idealer walzwarmer Bandbünde zur Glühung (Offline-Modell)
- Online-Prozessregelung mit Glühmodell
- Individuelle Berechnung je Band
- Messung der Band-Eingangstemperatur
- Korrektur von Rechenergebnissen auf Basis von Ofen-Messwerten
- Individuelle Regelzone je Band bei Einsatz von 4 Bändern je Charge mit unterschiedlicher Starttemperatur
- Einsatz von warmen Bändern direkt nach dem Walzen

wurde bisher nicht realisiert.

Das neue Ofenkonzept ermöglicht mit exakter Regelung und Überwachung des Glühprozesses engere Fertigungstoleranzen und Qualitätsvorteile. Damit kann Alunorf höherwertige Produktausführungen anbieten und Wettbewerbsvorteile realisieren.

Die Schutzgasvorwärmung bei Bundglühöfen ist nicht Stand der Technik und wurde nur auf Wunsch von Alunorf hin von Anlagenbaufirmen angeboten. Die wesentlichen Arbeiten zur Planung, Implementierung, Anpassung und Optimierung der Online-Prozessregelung mit Integration in die Anlagentechnik wurden in enger Zusammenarbeit mit der beauftragten Anlagenbaufirma ausgeführt.

Nach erfolgreichem Abschluss des vorliegenden Vorhabens ist es sinnvoll, weitere Ofenanlagen im Werk der Alunorf entsprechend dem innovativen Konzept zu errichten und alte Anlagen abzulösen. Aufgrund der Höhe der notwendigen Investitionen und der unterschiedlichen Aufgaben der einzelnen Glühanlagen, kann dieser Prozess jedoch nur über Jahre verteilt erfolgen.

4. Empfehlungen

4.1 Erfahrungen aus der Praxiseinführung

Aufgrund der Einmaligkeit der Anlage und den damit verbundenen Notwendigkeiten für eine reibungslose Projektrealisierung, werden nachfolgend die wesentlichen Erfahrungen aufgezeigt, welche die Alunorf bei der Umsetzung des Vorhabens gemacht hat:

- Die Inbetriebnahme der Anlage hat gezeigt, dass trotz modernster Mess- und Steuerungstechnik eine aufwändige produktbezogene Adaption der Programme notwendig ist. Diese führt dann zu sehr guten Ergebnissen. Voraussetzung für eine wirtschaftliche Nutzung sind daher Produkte mit hohem Durchsatz.
- Auch andere Anwendungsfälle für die innovative Technik scheinen möglich wie z.B. Glühen von walzwarmem Warmband vor dem ersten Kaltwalzstich.
- Bei Realisierung des Projektes in dieser Fertigungspräzision fielen bisherige, verdeckte Optimierungspotenziale im Prozess sowohl seitens des Betriebes als auch des Anlagenbauers auf, die ohne den aufwendigen messtechnischen Apparat und die Detailanalysen nicht erkannt werden konnten.
- Aus den für uns erkannten Schwächen des alten Prozesses können auch Verbesserungen für den Bereich der bestehenden, konventionellen Prozessführung abgeleitet werden.

Die umfangreichen Messungen haben gezeigt, dass die Zusammenhänge zwischen Einsatztemperatur, Glühdauer und Energieverbrauch sehr komplex sind und insbesondere keine lineare Interpretation möglich ist. Grundsätzlich wurde aber die Annahme bestätigt, dass sowohl steigende Einsatztemperaturen als auch verkürzte Durchlaufzeiten zur Energieeffizienz beitragen. Bei den Abnahmemessungen der Ofenanlagen wurde die grundsätzliche Leistungsfähigkeit der Öfen zur Coil-Aufheizung ermittelt. Der Nachweis, dass Einsatztemperaturen von 190 °C durch die Ofenanlage beherrscht werden, konnte ebenfalls erbracht werden.

Wenn die thermische Leistungsfähigkeit der Ofengruppe komplett zur Verkürzung der Glühdauer genutzt werden kann und es gelingt die Warmeinsatztemperatur um weitere 20 °C zu erhöhen, so kann die Glühdauer vermutlich um mehr als eine Stunde weiter verkürzt werden - mit einem resultierenden Einsparpotenzial beim Energiebedarf von ca. 10%.

4.2 Modellcharakter

Das Vorhaben zeigt in exemplarischer Weise welche Optimierungspotenziale in langfristig etablierten, vermeintlich durchoptimierten, großindustriellen Prozessen gehoben werden können. Folgende Aspekte sind hervorzuheben:

- Nutzung des vorhandenen Wärmeenergiepotenzials zwischen Prozessstufen (hier: Kaltwalzen → Glühen)
- Integration von konventionell als Einzelanlagen betrachteten Aggregaten in ein übergeordnetes Produktions-, Mess- und Steuerungssystem
- Überprüfung von bewährten Prozessparametern im Rahmen einer Gesamtoptimierung (hier z.B. Gradienten von Aufheizkurven)
- Konzertierter Einsatz innovativer Technologielösungen (z.B.: Einzelzonenbeheizung und -regelung der Öfen, umfassendes Prozessmesstechnik, Datenerfassung- und Auswertung)
- Freisetzung der Effizienzpotenziale „konventioneller“ Komponenten durch innovative Prozessführung

Durch diese Lösungsansätze erhält das Vorhaben über die Aluminiumindustrie hinaus Modellcharakter für alle metallverarbeitenden Betriebe, die mehrstufige, verkettete Prozesse mit eingebundenen Wärmebehandlungsprozessen betreiben. Dies sind allein in NRW Hunderte von Betrieben unterschiedlicher Größenordnung, für die eine Übertragbarkeit von Teillösungen oder des Gesamtkonzeptes denkbar ist. Der erhebliche wirtschaftliche Nutzen des Vorhabens in Verbindung mit den massiven CO₂-Emissionsminderungen unterstreicht den Vorbildcharakter des Projektes für eine nachhaltige Ausrichtung unverzichtbarer schwerindustrieller Prozesse.

Die fortschrittliche Technologie und die hervorragenden Leistungsdaten der eingesetzten Aggregate haben dazu geführt, dass die Otto Junker GmbH als federführender Anlagenbauer zwischenzeitlich weitere Einheiten dieses neuen Verfahrens verkauft hat und sich bezüglich weiterer Anlagen in Verhandlungen befindet.

Die branchenspezifische Kommunikation dieses erfolgreichen Vorhabens hat bereits in erheblichem Umfang in Fachpublikationen stattgefunden. Auch in der Kommunikation mit ihren Kunden hat die Alunorf das Vorhaben herausgestellt und nutzt es auch weiterhin, um ihre Anstrengungen zu emissionsarmer Produktion zu unterstreichen. Alunorf beabsichtigt sowohl die Durchführung als auch den erfolgreichen Abschluß der Maßnahme weiterhin, auch gemeinsam mit der Otto Junker GmbH, in Fachorganen wie "Aluminium" zu publizieren. In Abstimmung mit der KfW sowie dem BMU und UBA hat die Alunorf zur Inbetriebnahme der Anlage eine Pressekonferenz mit Beteiligung der Fachpresse und tagesaktuellen Medien durchgeführt. Es ist gelungen den Bundesumweltminister zur Teilnahme an einer öffentlichkeitswirksamen Anlagenbesichtigung mit hoher Presseresonanz und erheblicher Wahrnehmung auch der Förderung durch das Umweltinnovationsprogramm des Bundesumweltministeriums zu gewinnen.

Außerdem beabsichtigt die Alunorf, das Projekt im Jahr 2014 in die Innovationswettbewerbe ihrer beiden Gesellschafter einzubringen. Diese betreiben an ihren deutschen Standorten insgesamt etwa 120 Glühöfen für Aluminium und werden die Einsatzmöglichkeiten des neuen Konzeptes interessiert prüfen. Eine Veröffentlichung in der Loseblattsammlung der Effizienz-Agentur NRW ist ebenfalls geplant.

Die Kommunikation einer umweltfreundlichen Technologie ist besonders geeignet, die Standards innerhalb der Branche zugunsten energieeffizienter Verfahren zu verbessern. Dies gilt umso mehr, wenn Wirtschaftlichkeit, Produktivität, Qualität und Umweltschutz so eng miteinander verbunden werden können wie bei unserem Vorhaben „Errichtung innovativer, energieeffizienter Glühöfen mit Online-Prozessregelung und Schutzgasvorwärmung“

4.3 Zusammenfassung

Im **Kaltwalzwerk** plante die Alunorf den ersten großtechnischen Einsatz energieeffizienter Glühöfen, die mit modernster Anlagentechnik ausgerüstet sind und den genauen thermischen Zustand jeden einzelnen Bandes online regeln können. Dies sollte den energiesparenden Einsatz von walzwarmen statt abgekühlten Bändern ermöglichen. Zusätzlich sollte das Schutzgas für die Ofenatmosphäre mit Hilfe von Abgasen vorgewärmt werden.

Das Vorhaben wurde mit zeitlichen Verzögerungen erfolgreich umgesetzt. Wesentlich dazu beigetragen haben die erfolgreich umgesetzte

- Integration der Coil-Pool-Daten in Planung der Glühprozesse (Offline-Modell),
- Zusammenstellung idealer walzwärmer Bandbünde zur Glühung (Offline-Modell),
- Online-Prozessregelung mit Glühmodell,
- individuelle Berechnung je Band,
- Messung der Band-Eingangstemperatur,
- Korrektur von Rechenergebnissen auf Basis von Ofen-Messwerten,
- individuelle Regelzone je Band bei Einsatz von 4 Bändern je Charge mit unterschiedlicher Starttemperatur sowie der
- Einsatz von warmen Bändern direkt nach dem Walzen.

Damit ist es gelungen, ein umweltfreundliches Wärmebehandlungskonzept erstmals in der industriellen Praxis zu realisieren.

Im Messprogramm konnten alle vorhergesagten Einspareffekte nachgewiesen werden. Die gesamte jährliche Energieeinsparung gegenüber dem Vorzustand (zu diesem Zeitpunkt bestehende Anlagen bei Aluminium Norf) beläuft sich auf 30.768.600 kWh/a. Davon entfallen auf Erdgaseinsparung incl. Schutzgaserzeugung 25.314.600 kWh/a. Der Stromverbrauch reduziert sich um 5.454.000 kWh/a. Diese Einsparungen bewirken gleichzeitig eine erhebliche Vermeidung direkter und indirekter CO₂ – Emissionen in Höhe von rd. 8.473 t/a CO₂, davon 5.113 t/a in unserem Werk und 3.360 t/a für die Stromerzeugung im Kraftwerk. In diesem Vergleich werden also die Klimaziele des Vorhabens leicht übertroffen. Über die Messung der Effizienzparameter hinaus zeigen Emissionsmessungen die sichere Einhaltung aller Grenzwerte bezogen auf die genehmigten Werte nach BImSchG.

Aus den Energieeinspareffekten lassen sich monetär Einsparungen in Höhe von 833.500 €/a ableiten. Darüber hinaus lässt sich eine Reduktion der Instandhaltungskosten in Höhe von 191.000 €/a realisieren. Die angestrebte Kapazitätssteigerung um 25 % konnte noch nicht abschließend realisiert werden. Diese sollte durch einen höheren Nutzungsgrad der Anlagen und durch kürzere Glühzeiten erreicht werden. Es ist davon auszugehen, dass weitere Fortschritte bei der Kapazität der Anlagen auch zu einer Steigerung der spezifischen Effizienz und damit zur Senkung der spezifischen Kosten führen werden. Aktuell sind 50 % der erwarteten Produktivitätseffekte erreicht und damit Einsparungen in Höhe von 168.500 €/a. Durch ca. 1% weniger Bandausfälle errechnen sich jährliche Einsparungen von 304.000 €/a. Insgesamt errechnen sich damit Einsparungen in Höhe von 1.497.000 €/a.

Die tatsächlichen Kosten für das Vorhaben betragen 7.590.120 €. Damit wurde das geplante Projektbudget um 90.120 € überschritten. Die Amortisationszeit des Projektes zum Zeitpunkt der Antragstellung in Höhe von 5,1 Jahren erhöht sich auf Basis der tatsächlich erreichten Einsparungen leicht auf 5,8 Jahre.

Durch die aufgezeigten Lösungsansätze erhält das Vorhaben über die Aluminiumindustrie hinaus Modellcharakter für alle metallverarbeitenden Betriebe, die mehrstufige, verkettete Prozesse mit eingebundenen Wärmebehandlungsprozessen betreiben. Dies sind allein in NRW hunderte von Betrieben unterschiedlicher Größenordnung, für die eine Übertragbarkeit von Teillösungen oder des Gesamtkonzeptes denkbar ist. Der erhebliche wirtschaftliche Nutzen des Vorhabens in Verbindung mit den massiven CO₂-Emissionsminderungen unterstreicht den Vorbildcharakter des Projektes für eine nachhaltige Ausrichtung unverzichtbarer schwerindustrieller Prozesse.

5. Anhang