



Programmsteuerung:
Klima- und Energiefonds

Programmabwicklung:
Österreichische Forschungsförderungsgesellschaft mbH (FFG)



ENERGIE DER ZUKUNFT

Publizierbarer Endbericht

Kurztitel	MAXREC	
Langtitel	Ganzheitliche Studie zur maximalen Ausnutzung der Abwärmeströme im Niedertemperaturbereich in drei österreichischen stahlverarbeitenden Unternehmen	
Projektnummer	815571	
Programm/Programmlinie	ENERGIE DER ZUKUNFT 1. Ausschreibung	
AntragstellerIn	STENUM GmbH Christina Krenn, Johannes Fresner	
ProjektpartnerInnen	P1 Energieagentur Obersteiermark P2 Montanuniversität Leoben P3 Stahl- und Walzwerk Marienhütte GmbH P4 Thomas Bürki GmbH P5 voestalpine Austria Draht GmbH P6 voestalpine Tubulars GmbH & Co KG	
Projektstart u. - Dauer	Projektstart: 01.02.2008	Dauer: 22 Monate
Berichtszeitraum	von 01.01.2009 bis 30.11.2009	
Synopsis	Ganzheitliches Konzept zur maximalen Nutzung der aus dem Prozess entstehenden Abwärme von stahlverarbeitenden Unternehmen, um Primärenergie zu ersetzen und zur Erzeugung von elektrischem Strom aus Abwärme durch die Kombination von innovativen Prozessen.	

auch international nicht eingesetzt. In der technischen Fachliteratur werden Ansätze zur Nutzung dieser Wärmeströme, z.B. zur Knüppelvorwärmung, oder der Einsatz von Abhitzekeesseln zur Dampferzeugung und zur Fernwärmeauskoppelung nur selten beschrieben.

Die Motivation für das Projektvorhaben besteht darin, die bisher ungenutzten Abwärmequellen zu identifizieren und durch das gezielte Ausschöpfen von Abwärmequellen den Primärenergieeinsatz und die CO₂-Emissionen zu reduzieren.

Ziel von MAXREC war es, eine ganzheitliche Grundlagenstudie für die drei stahlverarbeitenden Unternehmen zu erarbeiten, die den optimalen Mix der möglichen Technologien zur Nutzung von Abwärme im Zusammenhang mit den in den Betrieben angewandten metallurgischen Prozessen entwickelt.

Als Ergebnis liegt eine individuelle und ganzheitliche Lösung vor, die beinhaltet, welche Kombination aus ORC-Anlagen, Maßnahmen zur Wärmerückgewinnung und –nutzung in eigenen Prozessen, zur Hallenheizung und zum Fernwärmeeinsatz unter den jeweiligen prozesstechnischen, wirtschaftlichen und regionalen Rahmenbedingungen und unter Berücksichtigung der absehbaren wirtschaftlichen Entwicklung der Unternehmen die sinnvollste Lösung ist.

Diese Unterlage stellt die Basis für strategische Investitionsentscheidungen über die Gestaltung der Energiewirtschaft der beteiligten Unternehmen dar.

Die Lösungswege für die beschriebenen Themenfelder führten in allen Fällen, von der Schaffung einer Datenbasis, der Prozessanalyse und der detaillierten Kenntnisse der Energieflüsse in den betrachteten Unternehmen, über die Simulation der möglichen Lösungen zur Risikoanalyse und Szenarienbildung, zum Endergebnis der Wirtschaftlichkeitsberechnung. Zur Erstellung eines Konzeptes der technischen, produktspezifischen und risikofreien Lösungen wurden folgende Arbeitspakete definiert:

- Durchführung einer Prozess- und Energieanalyse: Es wurden vorhandene Daten aus der betrieblichen Datenerfassung, wie Erdgaseinsatz, Abgastemperaturen, Ofendruck und O₂-Gehalt, ausgewertet und für die Berechnung des Abgasvolumenstroms herangezogen. Die zur Anwendung gekommenen Instrumente waren die Pinch-Analyse und die Darstellung der Energieflüsse und Abwärmeströme anhand von Sankey-Diagrammen.
- Verifizierung der Rechenwerte durch Messungen von Abgasvolumenstrom, Abgastemperatur und O₂-Gehalt an definierten Betriebspunkten, mit dem Ziel, eine reale Datenbasis zu schaffen.
- Simulation von Möglichkeiten der Nutzung der Wärmeenergie aus Abwärmeströmen
- Risikoanalyse der identifizierten Möglichkeiten (Fehlermöglichkeits- und Einflussanalyse - FMEA) für ORC-Anlagen
- Wirtschaftlichkeitsberechnung (unter Anwendung der Statischen Amortisationszeit als Kriterium)

Nach der Phase der Daten-, Prozess- und Energieanalyse wurden die Schwerpunkte für die detaillierte Weiterbetrachtung vom Einsatz neuer Technologien gesetzt. Das wurde notwendig, weil nicht alle Maßnahmen in jedem Unternehmen umsetzbar waren bzw. in unterschiedlichem Umfang bereits Maßnahmen umgesetzt wurden.

Zur Nutzung des Energieinhaltes des Ofenabgases wurden der Einsatz von ORC-Anlagen zur Erzeugung von elektrischer Energie und der Einsatz von Abhitzekeesseln zur Wärmeauskoppelung untersucht. Patente zur Vorwärmung der eingesetzten Knüppel und zur Nutzung der Abwärme aus den Walzprodukten werden auf deren Machbarkeit und Umsetzbarkeit geprüft. Um das Temperaturniveau der Kühlwasserkreisläufe auf ein nutzbares Niveau zu bringen wurde der Einsatz von Absorptions- und Kompressionswärmepumpen im Detail betrachtet.

2 Inhaltliche Darstellung

2.1 Abwärmequelle: Ofenabgas

In den nachfolgenden Kapiteln werden die Nutzungsmöglichkeiten der im Ofenabgas enthaltenen Wärmemengen dargestellt. Es wurde der Einsatz von ORC-Anlagen, die Vorwärmung von Knüppeln mit Ofenabgas und die Wärmeauskoppelung zur internen Wärmenutzung betrachtet.

2.1.1 ORC-Anlagen

Bei der **voestalpine Tubulars GmbH & Co KG** wird das Potenzial der Nutzung des Ofenabgases zur Stromerzeugung in ORC-Anlagen im Nahtlosrohrwalzwerk anhand zweier grundsätzlich unterschiedlichen Anlagenkonzepte betrachtet:

1. Nutzung aller Abwärmequellen aus 3 Öfen in einer ORC-Anlage mit einem Wasserzwischenkreislauf
2. Nutzung des Ofenabgases mit der höchsten Wärmemenge und Temperaturniveaus

Die Variante 1 wurde aufgrund eines großen Kostenaufwands auf der einen Seite und einer ineffizienten Nutzung des Wärmeinhaltes zur Stromerzeugung (Wirkungsgrad ca. 15 %) auf der anderen Seite nicht weiterverfolgt. Es besteht ein Wärmebedarf zur Beheizung von Hallenbereichen, was eine effizientere Nutzung des Wärmeinhalts darstellen würde.

Für die nachfolgend durchgeführte Optimierungsrechnung, ausgehend vom Anlagenkonzept der Firma Turboden Lt. wurde die Häufigkeitskurve der Wärmemenge im Abgas linearisiert, um die möglichen Betriebsstunden (Variante 1 mit 8000 Std., Variante 2 mit 6000 Std.) in Abhängigkeit von der Leistung berechnen zu können.

Variante 1: 8000 Betriebsstunden

In Abbildung 2 wird das Ergebnis der Optimierungsrechnung der Standardmodelle (Thermische Leistung: 2200 kW, 2850 kW, 3450 kW und 4500 kW) der Firma Turboden dargestellt. Für diese Rechnung wurden 8000 Betriebsstunden angenommen.

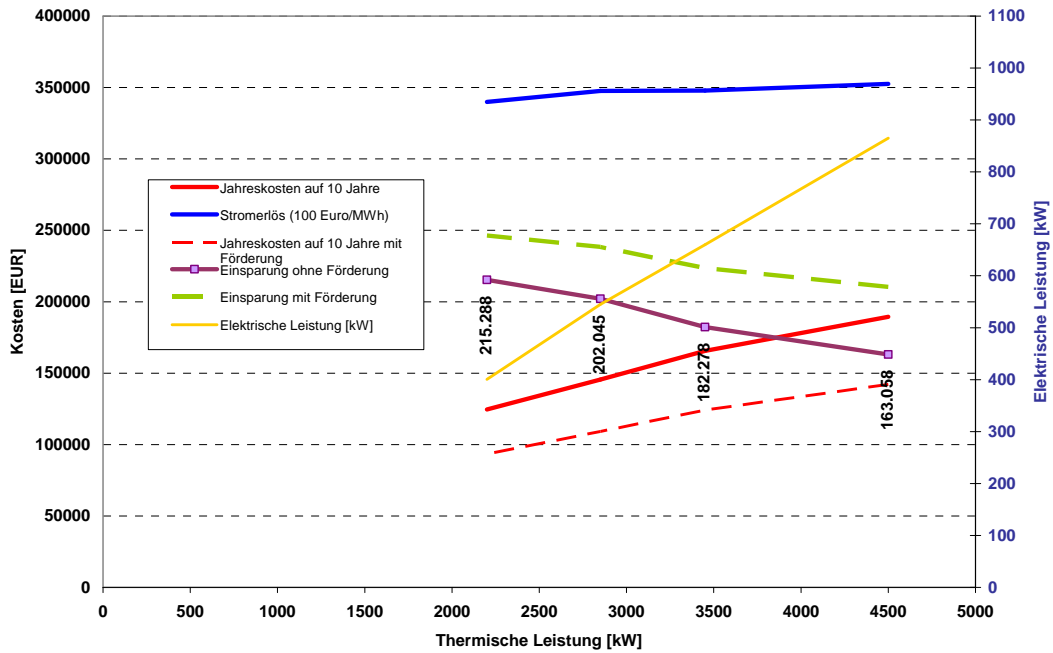


Abbildung 2: Optimierungsrechnung ORC-Turboden für 8000 Betriebsstunde

Variante 2: 6000 Betriebsstunden

In Abbildung 3 wird das Ergebnis der Optimierungsrechnung der Standardmodelle (Thermische Leistung: 2200 kW, 2850 kW, 3450 kW und 4500 kW) der Firma Turboden dargestellt. Für diese Rechnung wurden 6000 Betriebsstunden angenommen.

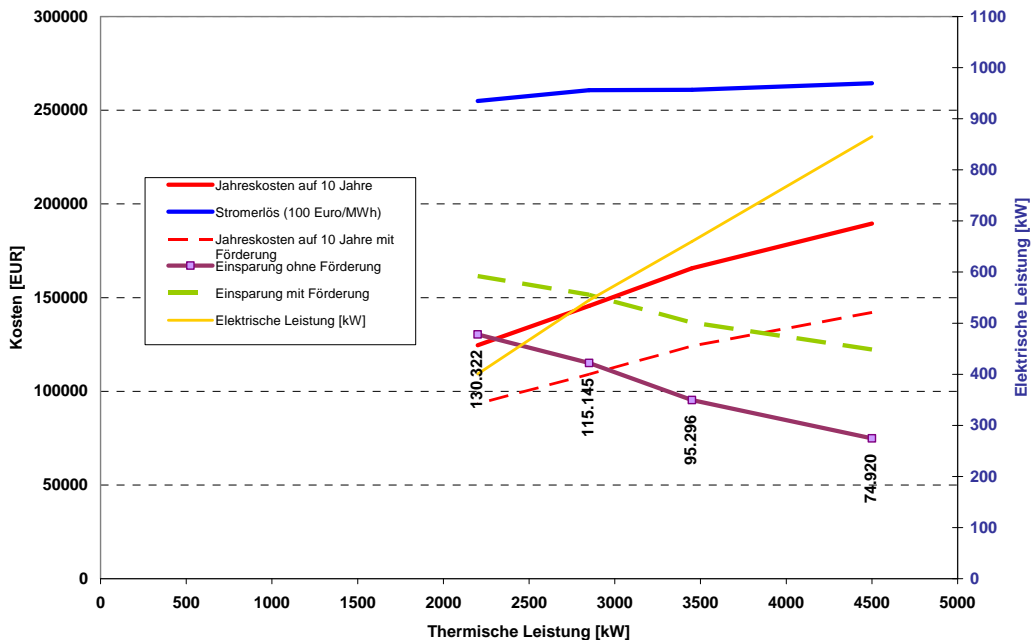


Abbildung 3: Optimierungsrechnung ORC-Turboden für 6000 Betriebsstunden

Zusammenfassung: Die Optimierungsrechnung hat für beide Varianten (8.000 und 6.000 Betriebsstunden) ergeben, dass die kleinste Anlage, mit einer thermischen Leistung von 2.200 kW und einer elektrischen Leistung von 400 kW (elektrische Nettoleistung), die wirtschaftlichste Anlagengröße im vorliegenden Fall ist. In die Berechnung eingeflossen sind folgende Punkte:

- Elektrischer Wirkungsgrad der Turbine in Abhängigkeit der Leistung
- Anlagen- und Wärmetauscherkosten sowie sonstige Kosten

In Abbildung 4 werden die Gesamtinvestitionskosten in Abhängigkeit der thermischen und elektrischen Leistung dargestellt.

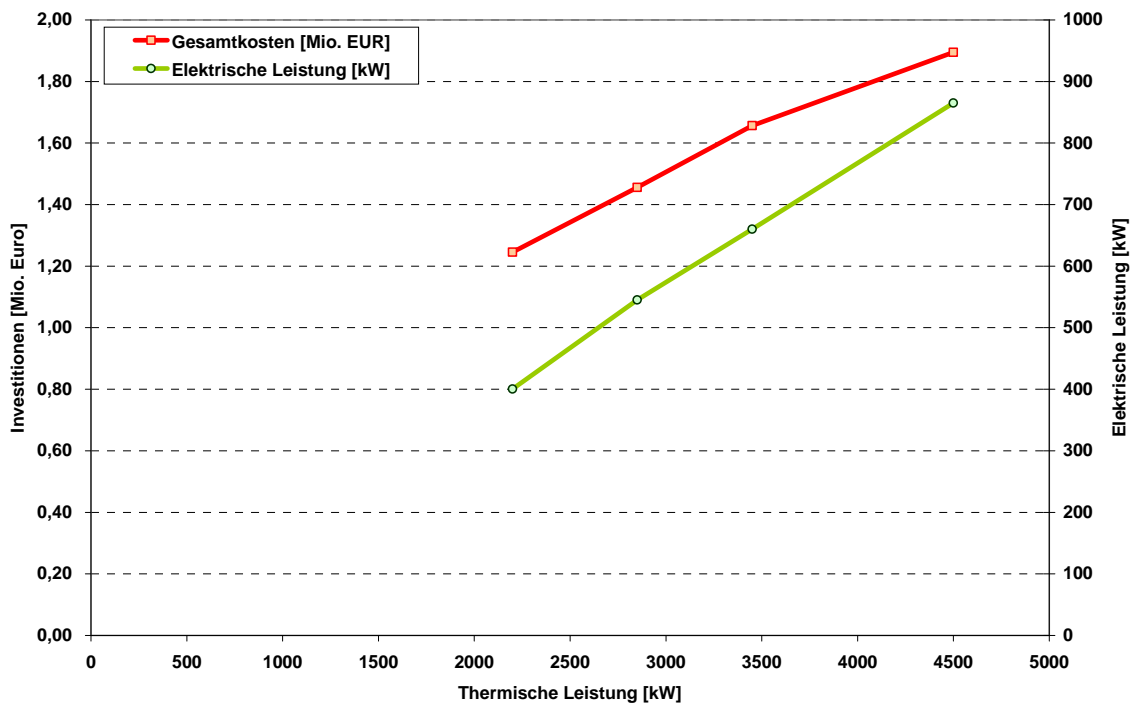


Abbildung 4: Gesamtinvestitionskosten in Abhängigkeit der thermischen Leistung

In Abbildung 5 wird das Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsberechnung (statische Amortisationszeit) für 8.000 Betriebsstunden dargestellt.

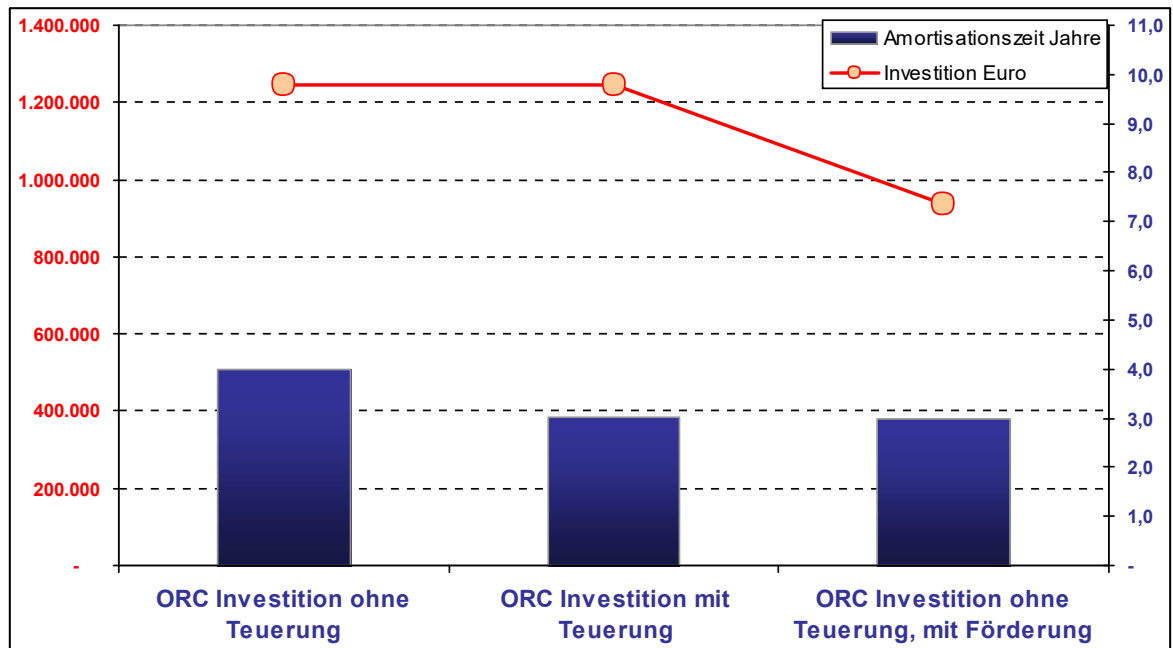


Abbildung 5: Wirtschaftlichkeitsberechnung für 8.000 Betriebsstunden (statische Amortisationszeit)

In Abbildung 6 wird das Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsberechnung (statische Amortisationszeit) für 6.000 Betriebsstunden dargestellt.

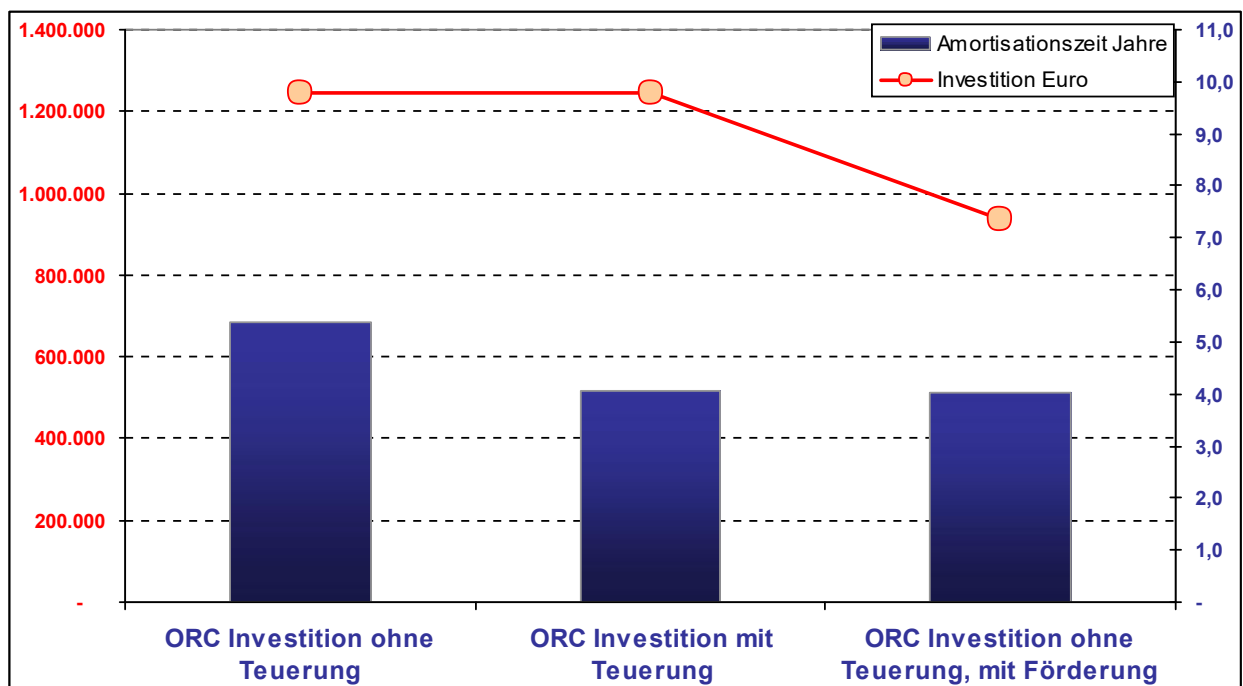


Abbildung 6: Wirtschaftlichkeitsberechnung für 6.000 Betriebsstunden (statische Amortisationszeit)

Abgesehen von den Angeboten von Turboden Lt. wurden weitere Anlagenkonzepte für ORC-Anlagen geprüft und Angebote von folgenden Anbietern eingeholt:

- **Pratt & Whitney**

Der Pratt & Whitney Power Systems PureCycle® kann jede Warmwasser-Ressource nutzen. Die Standardmodule haben eine elektrische Leistung von 280 kW (brutto). Aufgrund der schlechten Anlagenwirkungsgrade und der damit verbundenen längeren Amortisationszeiten wurde dieses Anlagenkonzept nicht weiterverfolgt.

- **GMK - Gesellschaft für Motoren und Kraftanlagen mbH**

Die anfallende Wärme wird durch einen Abgaswärmeübertrager aufgenommen, dem Thermalölkreislauf zugeführt und mit Hilfe der Thermalölpumpe in die Vorwärmer-Verdampfer-Einheit befördert und über ein Arbeitsmedium dem ORC-Kreislauf zugeführt.

Zusammenfassung: Mit der Einbindung einer ORC-Anlage in den Produktionsprozess sind keine negativen Rückkoppelungen auf den Prozess gegeben. Diese Ergebnisse können auch auf die voestalpine Austria Draht GmbH am Standort Leoben umgelegt werden. Als problematisch stellt sich aus heutiger Sicht bei beiden Unternehmen das Platzangebot für eine solche Anlage dar. Die Wirtschaftlichkeitsberechnung hat gezeigt, dass der Einsatz von ORC-Anlagen zur Stromerzeugung aus Abwärme aus betriebswirtschaftlicher Sicht durchaus für die Unternehmen interessant ist. Im Anschluss wird die durchgeführte Risikoanalyse dargestellt, welche deutlich zeigt, dass mit entsprechenden Vorsorgemaßnahmen die von der ORC-Anlage ausgehenden Risiken durchaus beherrschbar sind.

Risikoanalyse ORC-Anlage

Für das Anlagenkonzept von Turboden wurde eine Risikoanalyse durchgeführt. Dazu wurden die möglichen Gefährdungen, die möglichen Fehler, ihre Eintrittswahrscheinlichkeit, die Entdeckungswahrscheinlichkeit und die getroffenen Vorsorgemaßnahmen erfasst. Die Ergebnisse sind in Tabelle 1 zusammengefasst.

Tabelle 1: Risikoanalyse

Fehler-Möglichkeiten- und Einfluss-Analyse								
<input checked="" type="checkbox"/> System-FMEA Anlage <input type="checkbox"/> System-FMEA Prozess								
Mögliche Fehlerfolgen	B	Möglicher Fehler	Mögliche Fehlerursachen	Vermeidungsmaßnahmen	A	Entdeckungsmöglichkeit	E	RPZ
Baugruppe: Thermoölkreislauf								
Brand	8	Thermoölleckagen	Leckagen an Flanschen und Dichtungen Leck in Leitungen	Führen der Rohrleitungen außerhalb des Gebäudes abseits des heißen Ofenteils und von heißen Knüppeln, regelmäßige Inspektion	6	Tropfen, Färbung	1	48
Überhitzung, Verkokung	5	Überhitzen	Stromausfall induzierter Pumpenstillstand Temperaturspitze im Abgas	Redundanz bei der Thermoölpumpe Bypass am Wärmetauscher, Notstromsystem oder Dieselpumpe	3	Temperaturanzeige	1	15
Verlust an Wärmeträgeröl Entzündung	8	Leckage WT im Kamin	Schweißverbindung, Haarrisse, Erosion im Wärmetauscher durch Partikel im Abgasstrom	Detektion, Umfahren des Wärmetauschers (Bypass)	6	Dunkler oder schwarzer Rauch am Kamin	1	48
Baugruppe: Thermoölkreislauf/ ORC Kreislauf								
Verlust an Wärmeträgeröl	5	Leckage Vorwärmer Leckage Verdampfer Leckage Überhitzer	Schweißverbindung, Haarrisse	Überdruck im Fluid ORC-Kreislauf	3	Tropfen, Färbung	1	15
Baugruppe: ORC Kreislauf								
Brandgefahr, Gesundheitsschädigung durch Silikondämpfe	5	Fluid Fluidleckagen	Leckagen an Flanschen, Dichtungen und Leitungen	geringe Fluidvolumen in der Anlage, hoher Flash Punkt des Fluids (34°C), leckagedichte Flansche mit Feder und Nut, gageschmierte Lager mit doppelter Gleitringdichtung, Auffangbecken an der Turbine, Einsatz eines Gasspürgerätes	3	Gaswarngerät, Druckabfall	1	15
Auswirkungen auf andere Anlagen im Brandfall	5	Leckage Ventile	Leckage an Ventilen	Gerichtete Absaugung	3	Gasspürgerät	1	15
Auswirkungen auf andere Anlagen im Brandfall	5	Leckage Dichtung Fluidpumpe	Leckage an Dichtung	Gerichtete Absaugung	3	Gasspürgerät	1	15
Auswirkungen auf andere Anlagen im Brandfall	5	Fluideckagen	Leckagen an Flanschen und Dichtungen	Aufstellung außerhalb der Produktionshalle	3	Gasspürgerät, Druckabfall	1	15
Temperaturanstieg im Lager	5	Versagen Turbinenlager-schmierung	Versagen der Ölpumpe, Leckagen im Rohrleitungssystem	Überwachung des Schmiermittelfüllstandes Drucküberwachung	8	Temperaturanzeige des Lagers	1	40
Ansammlung von Dämpfen	8	Versagen der Absaugung	Lagerschaden am Ventilator, Stromausfall, Motorschaden am Ventilator	Druckanzeige, Alarm	6	Sekundärproblem bei versagen der Wellendichtung	1	48

Fehler-Möglichkeiten- und Einfluss-Analyse								
<input checked="" type="checkbox"/> System-FMEA Anlage <input type="checkbox"/> System-FMEA Prozess								
Mögliche Fehlerfolgen	B	Möglicher Fehler	Mögliche Fehlerursachen	Vermeidungsmaßnahmen	A	Entdeckungsmöglichkeit	E	RPZ
Baugruppe: Kühlsystem								
Verminderter Turbinenwirkungsgrad Schädigung des Fluidrückführungssystems	8	Ausfall der Kühlwasserpumpen	Stromausfall, blockiertes Laufrad, Lagerschaden	Alarm, Verriegelung der Anlage Notstromaggregat Dieselbetriebene Pumpe	6	Druckanstieg im Kondensator, Temperaturanzeige, Warnsignal	1	48
Baugruppe: Hilffsystem								
Generator nicht mehr synchronisierbar	8	Druckluftausfall	Turbine nicht mehr regelbar	Alarm, Abschaltung	6	Ausfall der Regelsysteme (Turbinenleitschaukeln)	1	48

B = Bewertungszahl für die Bedeutung

A = Bewertungszahl für die Auftretswahrscheinlichkeit

E = Bewertungszahl für die Entdeckungswahrscheinlichkeit

RPZ = A*B*E = Risikoprioritätszahl

A* ... Auftreten	B* ... Bedeutung	E* ... Entdeckung	RPZ* ... Risiko-Prioritätszahl
Wahrscheinlichkeit des Auftretens	Auswirkungen auf Anlage und Umwelt	Wahrscheinlichkeit der Entdeckung	
unwahrscheinlich = 1	kaum wahrnehmbar = 1	hoch = 1	hoch <= 1000
sehr gering = 2 - 3	unbedeutender Fehler = 2 - 3	mäßig = 2 - 3	mittel <= 250
gering = 4 - 6	mäßig schwerer Fehler = 4 - 6	gering = 4 - 6	gering <= 125
mäßig = 7 - 8	schwerer Fehler = 7 - 8	sehr gering = 7 - 8	kein = 1
hoch = 9 - 10	äußerst schwerer Fehler = 9 - 10	unwahrscheinlich = 9 - 10	

2.1.2 Knüppel- und Schrottvorwärmung

Bei der voestalpine Austria Draht GmbH und bei der voestalpine Tubulars GmbH & Co KG werden die Knüppel ohne Vorwärmung, d.h. mit Umgebungstemperatur/Außentemperatur im Hubbalkenofen bzw. Dreherdofen eingesetzt. Die Erwärmung im Ofen erfolgt auf ca. 1300 °C. Betrachtet man den Energiebedarf in diesen ausgewählten stahlverarbeitenden Unternehmen, entfällt der Hauptanteil des Energieeinsatzes in diesen Bereich des Prozesses. Bei der Stahl- und Walzwerk Marienhütte GmbH wird Schrott mit Umgebungstemperatur in den Elektrolichtbogenofen eingesetzt.

Bei der **Stahl- und Walzwerk Marienhütte GmbH** besteht ein theoretisches Potenzial zur Vorwärmung des Schrottes vor dem Beschicken (mit Abgas oder über Wärmeträger ein großes Potenzial). Die Erfahrungen mit ausgeführten Anlagen zur Schrottvorwärmung zeigen aber, dass beim Einsatz von gemischten Schrottqualitäten mit den üblichen Verunreinigungen ein sehr großes Emissionsproblem auftritt. Deshalb wurde dieser Ansatz nicht weiterverfolgt.

Bei der **voestalpine Austria Draht GmbH** besteht ein Potenzial, den Wärmeinhalt des Ofenabgases zur Vorwärmung der Knüppel zu verwenden. Dazu wurden folgende Arbeiten durchgeführt:

- Patentrecherche und Zusammenfassung der Patente mit Ableitung der verwertbaren Informationen für den vorliegenden Anwendungsfall
- Berechnung der Aufwärmzeiten der Knüppel durch Ofenabgas
- Berechnung für einen Anwendungsfall, in dem Annahmen getroffen wurden

Patentrecherche

Nachfolgend werden die Ergebnisse der Patentrecherche kurz zusammengefasst und die entsprechenden Schlussfolgerungen für den vorliegenden Anwendungsfall dargestellt.

Patentschrift DE 32 22 940 C1

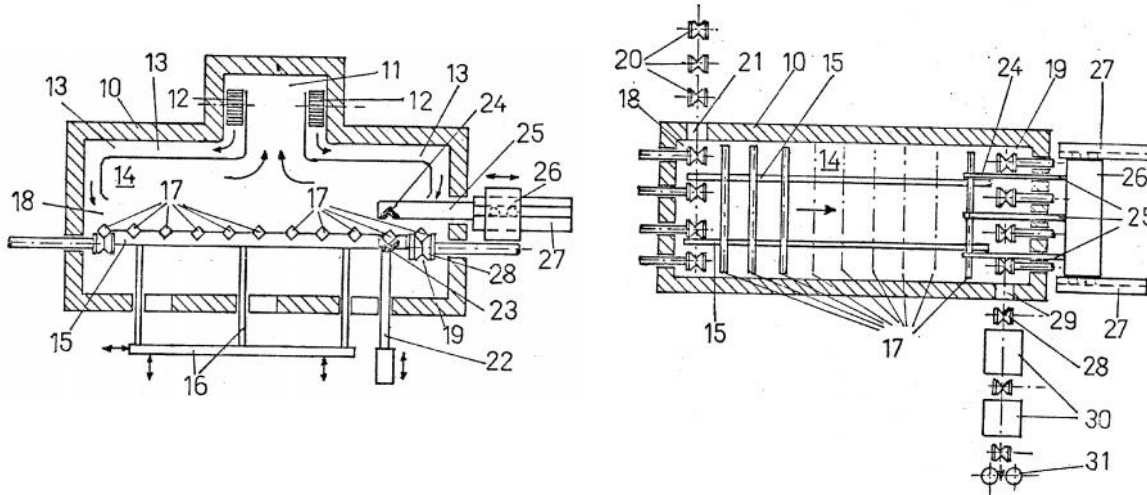


Abbildung 7: Ofenschema für Knüppelvorwärmung¹

Das Patent umfasst einen Vorwärmofen für Stangen und Knüppel, als Schritt vor der induktiven Erwärmung zur nachfolgenden Umformung, zur Pufferung zwischen Stranggussanlage und Walzwerk.

Da bei der induktiven Erwärmung die Toleranzen der Induktionsspulen zu den Knüppeln zur Herabsetzung des Energieverlustes möglichst gering gehalten werden, besteht die Gefahr einer Spulenbeschädigung durch verdrehte bzw. durchgebogene Knüppel. Zu deren Vermeidung sieht das Patent prismatische Halter und Gegenhalter zur Nachformung der gefährdenden Knüppel vor, die in gleichmäßigen Abständen angeordnet bisweilen hydraulisch betätigt und wassergekühlt sind.

Verwertbare Informationen aus dem Patent für die bestehende Anwendungsaufgabe

Die beschriebenen Vorrichtungen sind in der geplanten Anwendung nicht relevant, da die Erwärmung vor der Umformung nicht induktiv, sondern durch Gasbrenner erfolgt und damit keine zu engen Toleranzen eingehalten werden müssen. Der vorgeschlagene Vorwärmofen in seiner restlichen Anordnung wird als praktikabel angesehen.

Da zwar die Knüppel aus produktionsbedingten Gründen nicht kontinuierlich aus dem Stranggusswerk angeliefert werden können, kann aber zumindest der Vorwärmenschritt kontinuierlich geplant und ausgelegt werden.

Auch der unter 20 dargestellte Chargierrollgang, also Einlaufrollen zur Förderung der Knüppel, könnte sich als sinnvoll erweisen.

¹ Patentschrift DE 32 22 940 C1: Vorrichtung zur Erwärmung von Stangen bzw. Knüppeln, Erfinder: DI Heinz Jürgens, Unna, Patentinhaber: Brown, Boveri & Cie AG, Mannheim, Veröffentlichungstag: 17.11.1983

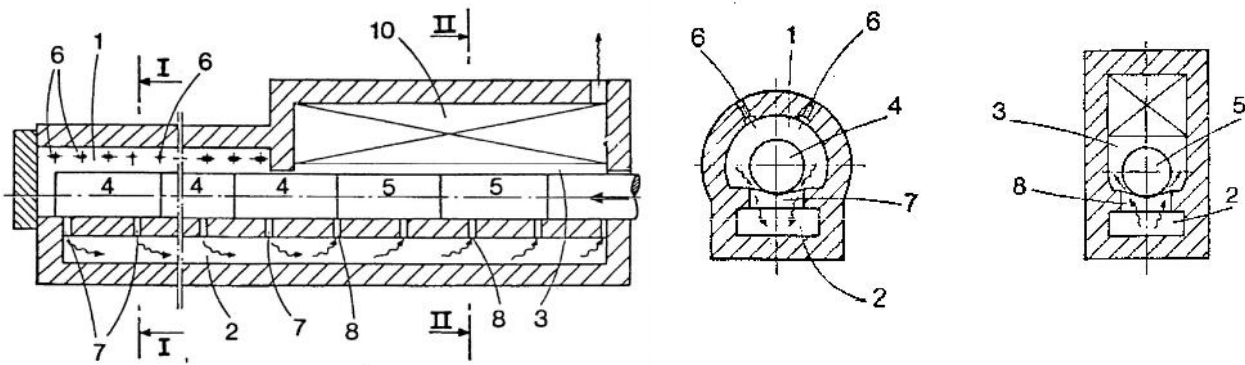


Abbildung 8: Ofenschema mit integrierter Wärmerückgewinnung²

Das Patent beschreibt einen Ofen mit integrierter Wärmerückgewinnung und diskontinuierlicher Barrenförderung mit dem Ziel, den Brennstoffverbrauch so gering wie möglich zu halten. Realisiert wird diese durch ein System aus drei Kammern; der eigentlichen Heizkammer mit Längsreihen von Brennern, einer Vorwärmkammer und einem Verbindungstunnel dazwischen für die entstehenden Abgase mit Austrittsöffnungen beliebiger Form und Anzahl.

Der dreifache Wärmerückgewinn gelingt einerseits mithilfe eines Wärmeaustausches durch die erzwungene Gasführung vom Brennerraum (Heizkammer) über die Barren nach unten in den Verbindungstunnel, andererseits durch das nach oben über die Barren strömende Abgas in die Vorwärmkammer (bevor die Temperatur dieses Gasstromes durch Mischen mit dem rezyklierten Gas in der Vorwärmkammer herabgesetzt wird) und durch das gesammelte Gas in der Vorwärmkammer.

Verwertbare Informationen aus dem Patent für die bestehende Anwendungsaufgabe

Der beschriebene Ofen kann in dieser Weise nicht für die vorhandene Aufgabe verwendet werden, da einerseits keine zusätzlichen Brenner geplant sind und andererseits auch ein Umbau des vorhandenen Aufwärmofens durch die Platzbeschränkung im Werk nicht möglich ist.

Der beschriebene Gaseintritt in die Vorwärmkammer (über den Boden) wird in die weiteren Betrachtungen aufgenommen, da, wie oben erwähnt, das Temperaturniveau ohne die Vermischung mit dem bereits abgekühlten, rezyklierten Heizgas in der Vorwärmkammer am Eintritt höher gehalten werden kann und ein besserer Wärmeübergang durch einen höheren Temperaturgradienten möglich ist.

² Patentschrift DE 32 06 238 C2: Ofen mit zusätzlicher Wärmerückgewinnung zum Beheizen von vorzugsweise metallischen Barren, Erfinder: Rossetti Vincenzo, Chiari Brescia, Offenlegungstag: 16.09.1982

Offenlegungsschrift DE 27 06 345 A1³

Das Patent beschreibt eine Ofenanordnung zur Brammenerwärmung mit dem Ziel, einerseits den Durchsatz des Ofens durch optimale Wärmenutzung zu erhöhen, andererseits die Ofenabgase soweit abzukühlen, dass ihre Abführung durch Exhaustoren möglich wird, um ein Übereinanderschieben der Brammen im Stoßofen zu verhindern.

Dies wird ermöglicht durch die Kombination eines Stoßofens mit Brennerheizung und eines Vorwärmofens.

Es werden dafür zwei Möglichkeiten der Apparateanordnung vorgeschlagen:

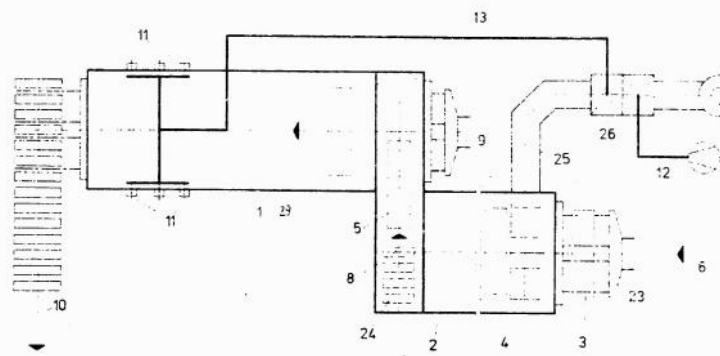


Abbildung 9: Anordnungsmöglichkeit – Variante 1

Bei Abbildung 9 werden die Heizgase vom Brenner über den Stoßofen im Gegenstrom geführt, weiter über den geschlossenen Rollgang in den Vorwärmofen und dann über einen Rekuperator zur Brennerluftvorwärmung hin zum Gausaustritt / zu den Exhaustoren.

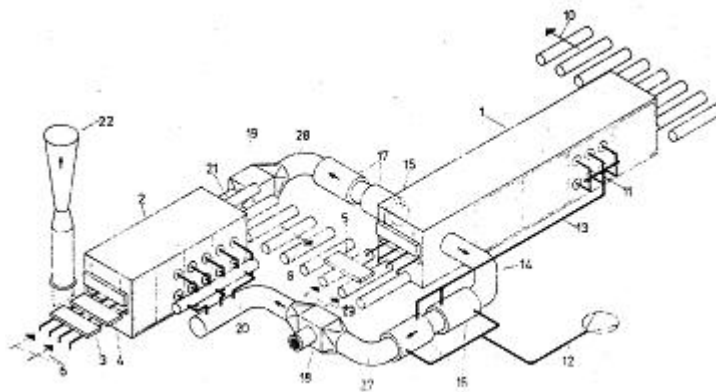


Abbildung 10: Anordnungsmöglichkeit – Variante 2

In Abbildung 10 verläuft die Heizgasführung ähnlich, doch wird das heiße Gas nach dem Stoßofen durch Kanäle abgezogen und direkt dem Rekuperator zugeführt.

³ Offenlegungsschrift DE 27 06 345 A1, Ofenanordnung zum Erwärmen von Brammen, Erfinder: Ing. Helmuth Klammer, Mülheim, Walter Speer, Oberhausen, Offenlegungstag: 17.08.1978, Anmelder: Mannesmann AG, Düsseldorf

Verwertbare Informationen aus dem Patent für die bestehende Anwendungsaufgabe

Bei der vorliegenden Aufgabenstellung wäre es denkbar, den bereits vorhandenen Ofen durch den oben beschriebenen Vorwärmofen zu ergänzen. Auch der Rollgang zwischen dem Ofen könnte ähnlich, wie der in diesem Patent beschriebene, gestaltet sein, wobei die begrenzten Platzverhältnisse berücksichtigt werden müssen.

Patentschrift DE 35 04 341 C1⁴ bzw. 0 198 153 A2

Die europäische Patentanmeldung 0 198 153 A2 bezieht sich auf die gleiche Erfindung wie die deutsche Patentschrift DE 35 04 341 C1 und wird daher nicht extra behandelt.

Es wird ein Verfahren zur Block- und Knüppelvorwärmung beschrieben, mithilfe dessen sich Oberflächen- und Innenfehler vermeiden und reproduzierbare Produktionsbedingungen sicherstellen lassen.

Dies wird realisiert durch Temperaturmessungen an charakteristischen Stellen und einer daraus erfolgenden Steuerung von induktiven Erwärmungsvorrichtungen.

Verwertbare Informationen aus dem Patent für die bestehende Anwendungsaufgabe

Da bei der vorliegenden Aufgabenstellung keine zusätzlichen Erwärmungsvorrichtungen geplant sind und das Ziel weniger eine Qualitätsverbesserung der Knüppel, als eher eine bessere Ausnutzung des eingesetzten Brennstoffes ist, sind die Patente hierfür nicht brauchbar.

Für die Planung eines Vorwärmofens sollten folgende Ideen in die Betrachtungen einbezogen werden:

- Vorwärmeschritt kontinuierlich auslegen,

damit muss eine Art der Knüppelförderung eingeplant werden, einerseits im Vorwärmofen, denkbar nach Patent DE 32 22 940 C1, andererseits zum Ofen hin und davon weg, vorstellbar als Chargierrollgang. Zu beachten sind dabei die Platzprobleme in unmittelbarer Nähe des bereits bestehenden Ofens.

- Anströmrichtung der Knüppel festlegen,

wie in Patent DE 32 06 238 C2 durch Beaufschlagung von unten und dadurch erreichte spätere Vermischung mit dem kühleren Gas in der Vorheizkammer, was eine Temperaturabsenkung der Heizgase verzögert und somit der größere Temperaturgradient und der damit verbundene höhere Wärmeübergang länger erhalten werden kann oder, wie in Patent DE 27 06 345 A1, über eine Eindüsung im Kreuzstrom.

Weiters sollte die Möglichkeit einer Beaufschlagung im Gegenstromprinzip berücksichtigt werden.

Zusätzlich könnte ein Zwangsförderer die Abgasgeschwindigkeit im Vorheizraum deutlich erhöhen und damit auch die durch Konvektion auf die Knüppel übertragene Wärmemenge.

Berechnung der Aufheizzeit der Stahlknüppel

Ziel der Berechnung war es, den Temperaturverlauf und die Aufheizdauer in einem Stahlknüppel, der durch Prozessgase erwärmt werden soll, darzustellen (vgl. Abbildung 11).

⁴ Patentschrift DE 35 04 341 C1: Verfahren zur Erwärmung von Knüppeln und Blöcken, Erfinder: Dr.-Ing. Gerald Krüger, Eppelheim, Patentinhaber: Brown, Boveri & Cie AG, Mannheim, Veröffentlichungstag: 23.01.1986

In dieser Berechnung ist der Stahlknüppel sowohl an der Ober- als auch an der Unterseite Konvektion ausgesetzt. Die Ausgangstemperatur des Knüppels ist 20 °C, das umgebende Abgas ist Luft und hat eine Temperatur von 350 °C.

Tabelle 2: Physikalische Eigenschaften, Stoffkenngrößen und Daten für das Berechnungsbeispiel

	Verwendetes Symbol	Einheit	Wert
Temperatur des Knüppels zum Zeitpunkt $t=0$	$T_{Knüppel, t0}$	[°C]	20
Temperatur des umgebenden Gases	T_{gas}	[°C]	350
Wärmeübergangskoeffizient von Luft senkrecht zu einer Metallwand	$r_{B=1}r_D$	[Wm ⁻² K ⁻¹]	15,3
Wärmeübergangskoeffizient von Luft längs einer Metallwand, $v=100$ m/s	r_{c1}	[Wm ⁻² K ⁻¹]	15,3
Wärmeleitkoeffizient ⁵ AISI 403	}	[Wm ⁻¹ K ⁻¹]	17
Wärmekapazität AISI 403	c_p	[Jkg ⁻¹ K ⁻¹]	477
Dichte AISI 403	...	[kgm ⁻³]	7900
Knüppeldimensionen in x- und y-Richtung	L_x, L_y	[m]	0,15
Radius der abgerundeten Kanten	r	[m]	0,011
Knotenschnittweite, Schrittweite	U_x	[m]	0,01625
Zeitschritt	U_t	[s]	3
Gesamtrechenzeit	t_{tot}	[s]	3300

Die Wärmeübergangskoeffizienten r_{c1}, r_{D1} wurden nach VDI-Wärmeatlas für umströmte Körper berechnet. In Abbildung 11 wird der Durchschnittstemperaturverlauf im Stahlknüppel dargestellt.

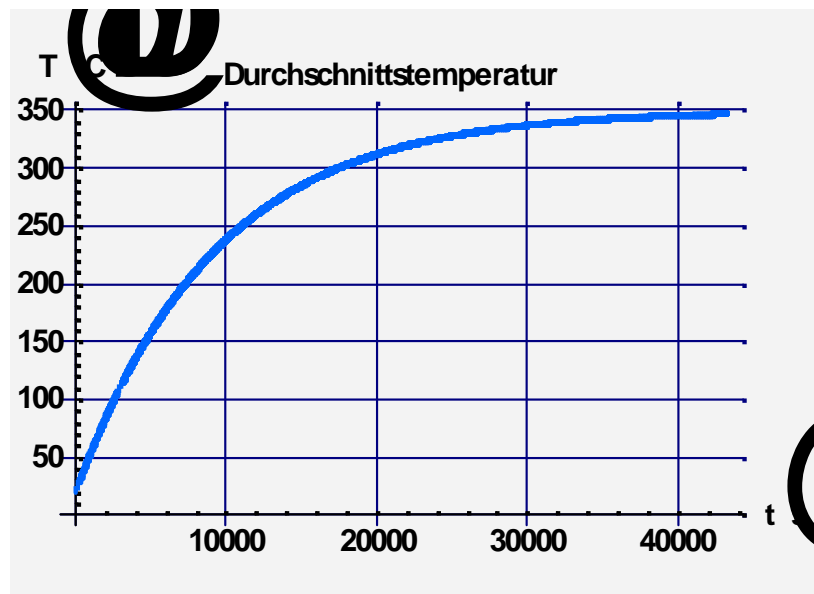


Abbildung 11: Verlauf der Durchschnittstemperatur im Stahlknüppel mit einer Gesamtaufheizzeit von 12 Std.

⁵ Incropera F.P., DeWitt D. P., Fundamentals of heat and mass transfer. 1996⁴. p. 828

Berechnung für einen Anwendungsfall

Die Aufgabenstellung umfasst die Vorwärmung der auf Lager gelegten und damit ca. 20 °C warmen Knüppel vor dem Hubbalkenofen. Dafür soll das von den Brennern des Hubbalkenofens abgezogene, nach der rekuperativen Vorwärmung der Brennerluft ca. 350 °C warme, Abgas verwendet werden.

Der Vorwärmofen soll in Form eines Hubbalkenofens ausgeführt werden. Die Knüppel werden über eine Fördereinrichtung am Beginn des Ofens auf mehreren Hubbalken eingeführt, die über prismatische Vertiefungen verfügen, in denen die Knüppel zu liegen kommen. Die Länge des Ofens wiederum wird von der Durchsatzgeschwindigkeit bzw. Verweilzeit der Knüppel im Ofen bestimmt.

In Tabelle 3 wird der Wärmeübergangskoeffizient in Abhängigkeit der Anströmgeschwindigkeit und für verschiedene Materialien dargestellt.

Tabelle 3: k [W/m².K] in Abhängigkeit der Anströmgeschwindigkeit

	1,49 m/s	7 m/s	15 m/s
Kupfer	15,19	41,18	68,53
10.305	14,83	38,63	61,75
AISI 304	13,93	33,04	48,61

In Tabelle 3 wird deutlich, dass die Anströmgeschwindigkeit der Knüppel einen wesentlichen Einfluss auf den Wärmeübergang hat. In diesem Zusammenhang wird auch deutlich, dass die Stoffeigenschaften (Kupfer mit einer hohen Wärmeleitfähigkeit) bei geringen Strömungsgeschwindigkeiten einen geringen Einfluss auf den Wärmeübergangskoeffizienten haben.

Zusammenfassung und Schlussfolgerung:

Weiters wurde eine Energiebilanz mit einer Variation folgender Parameter verfasst:

- Eintrittstemperatur des Abgases,
- Verweilzeit des Knüppels im Ofen,
- Leitfähigkeit des Knüppelwerkstoffes,
- Strömungsgeschwindigkeit des Abgases.

In Tabelle 4 werden die Ergebnisse der berechneten Varianten dargestellt.

Tabelle 4: Berechnete Varianten

Anströmgeschwindigkeit [m/s]	Verweildauer [s]	Abgaseintrittstemperatur [° C]	Stoffeigenschaft	Endtemperatur Knüppel [° C]
1,49	144	350	AISI 304	42
1,49	360	350	AISI 304	72
1,49	900	350	AISI 304	135
7	360	350	1.0305	142
7	360	350	AISI 304	128
7	360	500	AISI 304	163
7	360	800	AISI 304	244
15	360	800	AISI 304	310
15	900	800	AISI 304	569

Es wird deutlich, dass die Anströmgeschwindigkeit des Knüppels und die Verweildauer der Knüppel im Vorwärmofen die bestimmenden Faktoren für die Erwärmung des Knüppels darstellen. Weiters kann die Endtemperatur des Knüppels wesentlich erhöht werden, wenn die Eintrittstemperatur des Abgases in den Vorwärmofen erhöht wird. Bei einer Abgaseintrittstemperatur von 800 °C wird der Knüppel bei einer Verweilzeit von 360 s im Vorwärmofen auf ca. 240 °C erwärmt. Die Ausgangstemperatur liegt bei ca. 530 °C. Dieses Abgas könnte dann zur Verbrennungsluftvorwärmung genutzt werden. Der Wärmetauscher zur Verbrennungsluftvorwärmung wäre dann entsprechend zu vergrößern.

Bei der **voestalpine Tubulars GmbH & Co KG** ist das Potenzial ebenfalls vorhanden, jedoch aufgrund der vorgegebenen Rahmenbedingungen nicht umsetzbar. Die Knüppel werden mit einer Länge von ca. 15 m angeliefert und müssen dann, je nach Produktionsprogramm, auf eine Länge von ca. 1,5 m gesägt bzw. geschert werden. Für das Scheren, das sind ca. 30 % vom Gesamtknüppeleinsatz, werden die Knüppel im Vorwärmofen erwärmt. Das Sägen hingegen wird im kalten Zustand durchgeführt. Eine Anbringung einer Vorwärmkammer wird aufgrund von Platzmangel, Anschaffung einer neuen Hartmetallsäge (Temperaturniveau wird höher) und Veränderung der Logistik bzw. Verlust der Flexibilität bei Veränderungen im Produktionsprogramm nicht weiterverfolgt. Zudem wurde im Unternehmen bereits einmal eine interne Studie zu diesem Thema durchgeführt, worin sich diese Maßnahme als unwirtschaftlich und nicht praktikabel erwies.

2.1.3 Wärmeauskoppelung

Bei der **voestalpine Tubulars GmbH & Co KG** wurde das Potenzial der internen Energienutzung zur Nutzung für die Beheizung der Hallen im Detail betrachtet. Am Standort in Kindberg gibt es zwei Werke, das Ölfeldrohrwerk und das Nahtlosrohrwalzwerk. Nachfolgend werden die durchgeführten Schritte (betrifft beide Werke) und die Ergebnisse dargestellt:

- Das Abwärmepotential des Unternehmens wurde auf Basis der Abluft aus den Rauchgassträngen der Öfen anhand von Jahreslastgängen berechnet.

- In der Gegenüberstellung von Abwärmepotential und Wärmeverbrauch wird deutlich, dass im 4-Schichtbetrieb eine vollständige Deckung des Heizwärmebedarfs aus Abwärme möglich ist, im 2-Schichtbetrieb ist eine Spitzenlastabdeckung mit dem bestehenden Heizsystem in den kältesten Monaten erforderlich. Im 4-Schichtbetrieb kann die gesamte Heizenergie aus der Abwärme bereitgestellt werden kann, im 2-Schichtbetrieb ist in den Monaten Nov. bis März ein zusätzlicher Wärmebedarf erforderlich, da die Abwärme zur Beheizung alleine nicht ausreicht.
- Eine Grobdimensionierung des Heizungssystems wurde durchgeführt, dabei wurde die Dimensionierung der Heizanlage auf die verfügbare Abwärme angepasst. Es wurden keine Reserven eingeplant, da das bestehende Heizsystem als Spitzenlast- und Ausfallsreserve zur Verfügung steht und bestehen bleiben soll.
- Für den Ausgleich des Überangebotes an Wärme im Nahtlosrohrwalzwerk und dem hohen Heizenergiebedarf im Ölfeldrohrwerk wird empfohlen, eine Wärmeschiene (vgl. Abbildung 12) für den Austausch zwischen den beiden Produktionseinheiten aufzubauen. Als Lastausgleich wird ein Pufferspeicher empfohlen, welcher Lastspitzen aus der Abwärmerückgewinnung aufnehmen und auch Spitzen im Heizbedarf ausgleichen kann.



Abbildung 12: Zentrale Wärmeschiene zwischen Nahtlosrohrwalzwerk und Ölfeldrohrwerk

- Eine exakte Dimensionierung des Lastausgleichsspeichers ist erst dann sinnvoll möglich, wenn die Wärmeversorgung im Detail festgelegt wurde (internes Netz und Wärmenetz für Kindberg).
- Für die Nutzung der Abwärme aus den Abgassträngen der Öfen und dem Aufbau des firmeninternen Wärmenetzes zur Beheizung der Produktionshallen und Verwaltungsgebäude wurden die dazu erforderlichen Investitionskosten, einschließlich der Betriebskosten für den Betrieb des Wärmenetzes (Pumpenstrom, Strom für Heizlüfter), ermittelt.
- Abschließend wurde die Einsparung an Erdgas ermittelt. Auf dieser Basis ergibt sich eine statische Amortisationszeit von 4,3 – 6,1 Jahren. Lukrierbare Förderungen wurden dabei noch nicht eingerechnet (ca. 30 % Investitionskostenzuschuss für die Wärmeauskoppelung und Einbindung in das Heizungssystem).

2.2 Abwärmequelle: Kühlbetten und Hakenbahn

In den betrachteten Unternehmen tritt Strahlungswärme im Verlauf des Produktionsprozesses auf. Diese Wärme wird zurzeit ungenutzt an die Umgebung (Produktionshalle) abgegeben, was sich v. a. im Sommer zusätzlich negativ auf die Arbeitsbedingungen der in diesem Bereich beschäftigten Mitarbeiter auswirkt.

In Abbildung 13 werden die Hakenbahn bei der voestalpine Austria Draht GmbH (links) und das Kühlbett im Nahtlosrohrwalzwerk der voestalpine Tubulars GmbH & Co KG dargestellt.



Abbildung 13: Hakenbahn (links) und Kühlbett (rechts)

Das rückgewinnbare Potenzial wird in der Literatur an mehreren Stellen erwähnt. Publikationen gibt es für die Wärmerückgewinnung an Drahtbünden und bei Brammen.

In der nachfolgenden Abbildung wird die nutzbare Energie in Abhängigkeit zur Bundtemperatur dargestellt. Bei dieser Betrachtung bleiben die Bundgröße und die Verweildauer der Drahtbünde in der Hakenbahn unberücksichtigt.

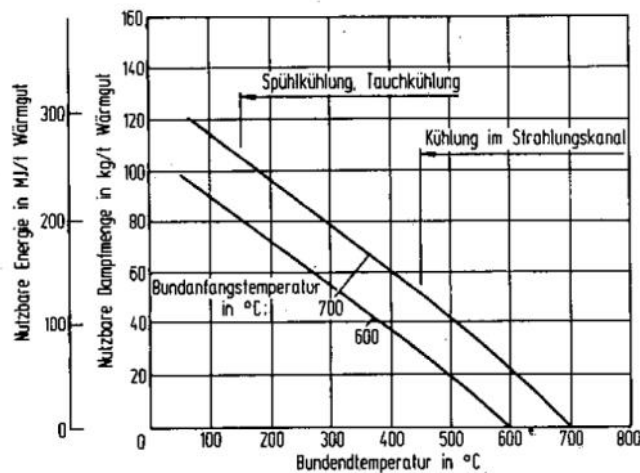


Abbildung 14: Energierückgewinnung durch Bundkühlung, nutzbare Energie in Abhängigkeit von der Bundtemperatur⁶

In der nachfolgenden Abbildung wird das Wärmerückgewinnungspotenzial eines Brammenkühlkessels dargestellt.

⁶ Nolzen H.-M.: Möglichkeiten der Energie-Rückgewinnung in der Hüttenindustrie, insbesondere bei der Walzstahlerzeugung, Stahl und Eisen 104/ 1984), Nr. 14, Seite 671 ff

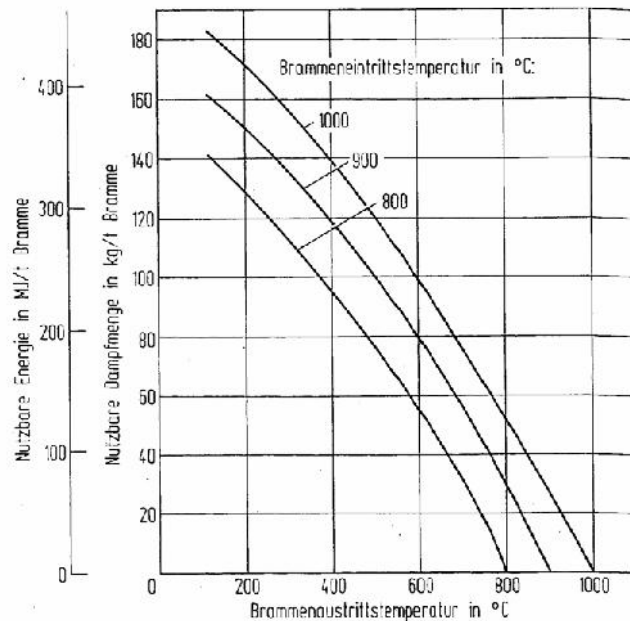


Abbildung 15: Energierückgewinnung im Brammenkühlkessel, nutzbare Energie in Abhängigkeit von der Brammentemperatur⁷

D.h. vom theoretischen und wärmetechnischen Standpunkt besteht ein Potenzial der Wärmerückgewinnung an den Kühlbetten. Das Wärmerückgewinnungspotenzial an den Kühlbetten kann als hoch eingeschätzt werden, da das Endprodukt zu Beginn des Abkühlungsprozesses eine hohe Temperatur aufweist.

Risiken bestehen bezüglich der Einbindung von Anlagen zur Strahlungswärmerückgewinnung in den praktischen Prozessablauf. Wobei derzeit davon ausgegangen wird, dass nicht das gesamte Kühlbett abgedeckt werden muss, sondern lediglich jener Bereich, in dem die Knüppel die höchste Temperatur aufweisen.

Der in Abbildung 16 dargestellte Brammenkühlkessel wurde als Kooperationsobjekt zwischen Kawasaki Steel Corporation und Kawasah Heavy Industries entwickelt. Hauptmerkmale des Systems sind:

- Rückgewinnung fühlbarer Wärme aus den Brammen und
- kontinuierlicher Prozessablauf ohne Beeinträchtigung der Brammenerzeugung.

⁷ Klammer H.: Neue Entwicklung eines Brammenkühlkessels zur Nutzung der fühlbaren Gutwärme, Stahl und Eisen 98 (1978), Nr. 23, Seite 1244 ff

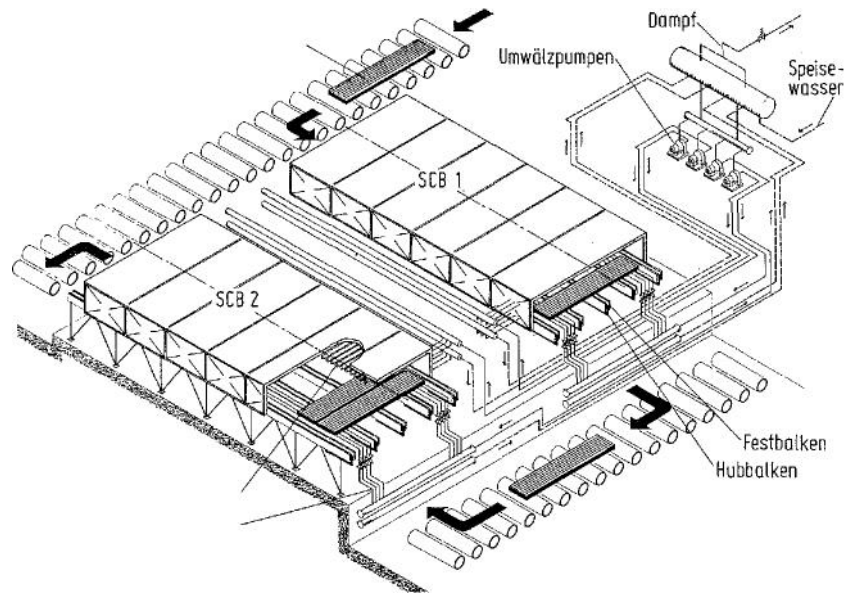


Abbildung 16: U-Formausführung eines Brammenkühlkessels

Die Brammen werden über ein Hubbalkensystem durch die in einem Bypass zum Rollgang angeordneten Brammenkühlkessel geleitet, wo sie ihre Wärme an die ober- und unterhalb der Transportebene angeordneten Kesselrohre abführen.

Die Einrichtung besteht aus dem Kessel zur Dampferzeugung, dem Drücker und Zieher für das Einsetzen und Entnehmen sowie dem Hubbalkensystem zum Transport der Brammen innerhalb des Kessels.

Durch den Drücker werden die Brammen zunächst in den Kessel eingesetzt, dann mit Hubbalken durch die tunnelförmige Wärmetauschereinheit gefördert und dem Kessel über den Zieher am Auslauf zugeführt, wo die Brammen in gleicher Weise wieder dem Hauptrollgang zugestellt werden.

Beim Verlassen der Kühlstrecke ist die Temperatur der Brammen dann noch 400 bis 600 °C.

Für die Wärmerückgewinnung an den Kühlbetten sind folgende Rahmenbedingungen zu klären:

- Von der praktischen Seite ist zu klären, inwieweit dieses theoretische Potenzial der Wärmeenergie auch unter den unternehmensspezifischen Rahmenbedingungen rückgewinnbar ist. Dieses Risiko entsteht aus dem breit gefächerten Produktionsprogramm und den damit unterschiedlichen Wärmestromdichten, die für die Wärmerückgewinnung genutzt werden können.
- die Frage der Rückkoppelung der Wärmeübertragung auf die Abkühlgeschwindigkeit und damit auf die Gefüge der Stähle,
- die Produkteigenschaften sowie die Fragen der Arbeitssicherheit (Einbringen von heißen Flächen in das Arbeitsplatzumfeld, Zugänglichkeit der Fördereinrichtungen im Störfall) und
- die Fragen der Sicherheit der Wärmeüberträger gegen Zerstörung durch Fördereinrichtungen oder das Produkt selbst.

Die im Rahmen des Projekts durchgeführte Patent- und Literaturrecherche zeigt, dass einerseits das theoretische Potenzial besteht, welches experimentell nachgewiesen wurde und dass Einrichtungen zur Wärmerückgewinnung gebaut wurden. Vorhandene Patente sehen eine gesamte Abdeckung des Kühlbettes vor. Diese Lösung ist aufgrund folgender Faktoren bei der voestalpine Tubulars GmbH & Co KG nicht praktikabel und umsetzbar:

- Eine negative Beeinflussung der Produktqualität ist sehr wahrscheinlich, da die Wärme derzeit mit Hilfe von Gebläsen abgeführt wird und es unter den veränderten Bedingungen (ungleiches Abkühlverhalten der Rohre und ev. Wärmestau unter der Abdeckung) zum Verzug der Rohre kommen kann.
- Die Einsehbarkeit des Prozesses geht verloren. Eine leichte Demontierbarkeit im Falle von Wartungs- und Reparaturarbeiten sowie bei Störungen des Produktionsflusses (vor allem bei der Produktion von langen, dünnen Rohren) ist nicht gegeben.

Bei der **Stahl- und Walzwerk Marienhütte GmbH** hat sich das Potenzial bzw. das Temperaturniveau am Kühlbett als nicht weiterverfolgungswürdig erwiesen. Die Eintrittstemperatur des Betonstahls auf das Kühlbett liegt bei ca. 360 °C und die Endtemperatur bei ca. 70 °C. Wobei die höchste Temperatur max. auf dem ersten Meter des Kühlbetts liegt.

Vom theoretischen und wärmetechnischen Standpunkt besteht ein Potenzial der Wärmerückgewinnung an den Kühlbetten. Das Wärmerückgewinnungspotenzial an den Kühlbetten kann als hoch eingeschätzt werden, da das Endprodukt zu Beginn des Abkühlungsprozesses eine hohe Temperatur aufweist.

Risiken bestehen bezüglich der Einbindung von Anlagen zur Strahlungswärmerückgewinnung in den praktischen Prozessablauf. Wobei derzeit davon ausgegangen wird, dass nicht das gesamte Kühlbett abgedeckt werden muss, sondern lediglich jener Bereich, in dem die Knüppel die höchste Temperatur aufweisen.

2.3 Abwärmequelle: Kühlwasser

In den betrachteten Unternehmen fallen erhebliche Mengen an Kühlwasser an. Sei dies zur Anlagenkühlung oder zur raschen Abkühlung des Endprodukts in Form einer Quenchkühlung. Das anfallende Kühlwasser wird gereinigt, aufbereitet und dem Prozess wieder zugeführt. Dieses Kühlwasser weist üblicherweise eine zu niedrige Temperatur auf, um den Energieinhalt wieder im Unternehmen nutzen zu können.

Nachfolgend werden die Möglichkeiten des Einsatzes von Absorptions- und Kompressionswärmepumpen zur Anhebung des Temperaturniveaus der Kühlwasserkreislaufs und die Steigerung der Wärmeauskoppelung durch den Einbau eines Pufferspeichers dargestellt.

Bei der **voestalpine Tubulars GmbH & Co KG** fallen erhebliche Mengen an Kühlwasser an, sei dies zur Anlagenkühlung oder zur raschen Abkühlung des Endprodukts in Form einer Quenchkühlung. Das anfallende Kühlwasser wird von absetzbaren Stoffen gereinigt, aufbereitet und dem Prozess wieder zugeführt. Dieses Kühlwasser weist üblicherweise eine zu niedrige Temperatur (ca. 40 °C) auf, um den Energieinhalt wieder im Unternehmen nutzen zu können.

Alternativ zur Nutzung des Ofenabgases zur Stromerzeugung und zur Hallenheizung wurde der Einsatz einer Absorptionswärmepumpe in die Betrachtung miteinbezogen. Die Absorptionswärmepumpe nimmt die Wärme aus dem Kühlwasser (ca. 40 °C) auf und wird mit 3 bar Dampf beheizt. Die Wärme wird auf ein Nutztemperaturniveau von ca. 80 °C angehoben. Der Dampf zur Beheizung kann mit einem Economizer aus dem Energieinhalt des Ofenabgases erzeugt werden. Zur Beheizung der Halle würden in diesem Fall Warmluftregister verwendet.

Absorptionswärmepumpen werden in der Industrie zur Abwärmenutzung, Klimatisierung von Gebäuden und bei der Fern- und Nahwärmeversorgung eingesetzt. Für die Beheizung der Hallen werden dann Warmluftregister verwendet. Wird diese Maßnahme umgesetzt, müssten die bestehenden Erdgasstrahler durch Warmluftregister ersetzt werden.

Eine Absorptionswärmepumpe würde, im Vergleich zu einer einfachen Auskoppelung von Heißwasser aus dem Ofenabgas, ca. 300 kW mehr Wärme zur Verfügung stellen. Somit lässt sich eine statische Amortisationszeit von ca. 6,5 Jahren angeben (ohne Förderung und eventueller Gaspreissteigerung). Diese Bewertung berücksichtigt nicht den eventuellen Nutzen einer Wärmeabfuhr aus dem Kühlwasser.

Bei der **voestalpine Austria Draht GmbH** am Standort Bruck kann für die Nutzung des Wärmeinhaltes im Kühlwasserkreislauf eine Kompressionswärmepumpe eingesetzt werden. Es bestehen folgende Möglichkeiten:

- Variante 1: Je Halle eine Wärmepumpe
- Variante 2: Zusammenfassung von Hallen und eine Wärmepumpe mit größerer Leistung

Nachfolgend wird anhand des Beispiels von Halle 13 die Variante 1 dargestellt.

Halle 13 wurde saniert und es wird eine neue Zieherei eingebaut. Das Kühlwasser wird in einem unterirdischen Becken (Volumen ca. 80 m³) gesammelt, den Kühltürmen zur Kühlung zugeführt, sofern die Wärmeabfuhr über die Beckenwände ins Erdreich nicht ausreicht.



Abbildung 17: Wassergekühlte Ziehmaschinen links und eingesetzte Umluftheizapparate rechts

Die Planungsgrößen für die Wasserwirtschaft sind:

- Wassermenge: 110 m³/h
- Vorlauf: 25 °C
- Rücklauf: 32 °C
- damit abgeführte Wärmeleistung: 900 kW

Die Umluft-Heizaggregate werden mit Heizwasser betrieben (Vorlauf-Temperatur maximal 60 °C).

Die Abwärme im Ziehsteinkühlwasser wird zur Erzeugung von Heizwasser zur Hallenheizung genutzt. Damit kann das Kühlwasser (bei Bedarf) auch auf tiefere Temperaturen gekühlt werden. Da das Temperaturniveau des Heizwasser-Vorlaufs gering ist, bietet sich hier der Einsatz einer Wärmepumpe, anstelle eines mit fossiler Energie gefeuerten Heizkessels, an. Mit der Wärmepumpe wird einerseits Heißwasser von 60 °C erzeugt und andererseits Kühlwasser von 32 °C auf 25 °C abgekühlt.



Grundlage für die Berechnung:

- Wassermenge: 110 m³/h
- dt: 7 °C (VL/RL: 25 °C/32 °C)
- Wärmeleistung aus Kühlwasser: 840 kW

Wasser/Wasser WP

- Intern: 20 °C/60 °C
- Nennleistung: 175 kW
- Antriebsleistung: 33 kW
- COP: ca. 5

Abbildung 18: Wärmepumpe von Stiebel Eltron GmbH

Wirtschaftlichkeitsberechnung – Einsatz einer Kompressionswärmepumpe zur Hallenheizung

Die Gesamtinvestitionskosten betragen insgesamt EUR 98.000,-: In diesen Kosten sind die Wärmepumpe, der Wärmetauscher und die Einbindung inkludiert.

Ergebnis der Wirtschaftlichkeitsberechnung:

- Amortisationszeit ohne Förderung: 5,6 Jahre
- Amortisationszeit mit Förderung: 4 Jahre

Variante 2: Zusammenfassung von Hallen und eine Wärmepumpe mit größerer Leistung

Die Zusammenfassung von Hallen und Versorgung mit einer Wärmepumpe mit einer größeren Leistung bringt keine Einsparung hinsichtlich der Investitionskosten.

Bei der **Stahl- und Walzwerk Marienhütte GmbH** kann die bestehende Fernwärmeauskoppelung durch den Einbau eines Wärmespeichers erhöht werden. Durch den Einbau eines Speichers wird auf der Fernwärmeseite ein Puffervolumen geschaffen, das auch Wärmeleistungsspitzen in das Fernwärmenetz eingespeist werden können.

In Abbildung 19 wird die Einbindung des Speichers schematisch dargestellt.

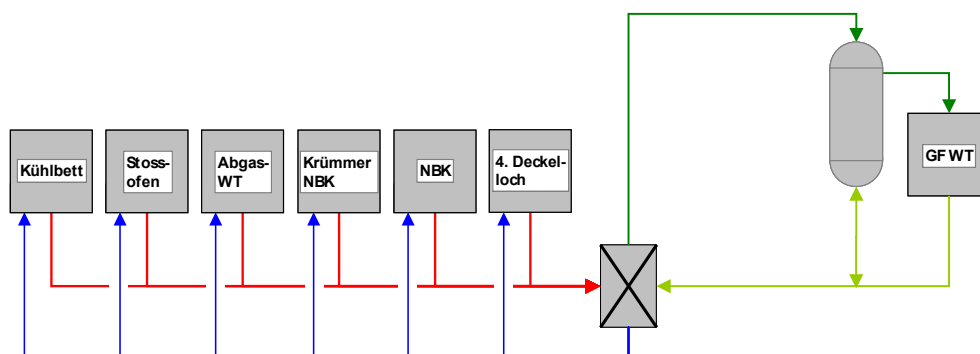


Abbildung 19: Schema der gesteigerten Abwärmennutzung durch den Einbau eines Speichers

Der Speicher wirkt dämpfend zwischen dem stark schwankenden Angebot der Stahl- und Walzwerk Marienhütte GmbH und der konstanten Nachfrage im Netz der Fernwärme Graz. Er ist so zu dimensionieren, dass er als maximale Wärmemenge die Menge aufnehmen kann, die in einer Periode anfällt, in der die Abwärmemenge der Stahl- und Walzwerk Marienhütte GmbH maximal ist, der Fernwärmeverbrauch aber gering. In Perioden, in denen der Abwärmeeinfall von der Stahl- und Walzwerk Marienhütte GmbH unter dem Bedarf der Fernwärme liegt, wird dem Speicher Wärme entzogen. Aus dieser Bilanz resultiert das Speichervolumen. Dadurch kann die genutzte Abwärmemenge deutlich vergrößert werden.

Mit dem Einbau einer Wärmepumpe kann die Abwärmennutzung weiter gesteigert werden: Sie nutzt das Kühlwasser am werkseitigen Austritt aus dem Fernwärme-Wärmetauscher als Wärmequelle (das Wasser wird weiter abgekühlt) und speist die Wärme fernwärmeseitig vor dem Speicher in den Zwischenkreislauf ein. Um die Schwankungen bei der Wärmeproduktion auszugleichen, muss ebenfalls ein Speicher eingebaut werden. Diese Variante wurde nicht weiterverfolgt, da eine Hochtemperaturwärmepumpe hohe

Investitionskosten mit sich bringen würde und der Einbau eines Speichers ausreicht, um die Auskoppelung zu steigern. Diese Energieeffizienz steigernde Maßnahme befindet sich bereits in der Planungsphase.

3 Ergebnisse und Schlussfolgerungen

Mit den Projektergebnissen können in Zukunft Aussagen über das Potenzial der Abwärmequellen, deren Qualität und deren Nutzungsmöglichkeiten und die Wirtschaftlichkeit der Nutzung dieser Abwärmequellen rasch getroffen werden.

Durch die Untersuchung von drei stahlverarbeitenden Unternehmen konnte der Grundstein für weitere Untersuchungen in diesem Bereich gelegt und somit eine Tendenz über die Weiterverfolgung von Erneuerungen und Entwicklungen im Bereich der Abwärmenutzung im Niedertemperaturbereich getroffen werden. Weiters wurde deutlich, dass durch die für die vorgeschlagenen Maßnahmen geltenden Amortisationszeiten deutlich niedriger sind als ursprünglich gedacht und ihre Umsetzung für die Unternehmen teilweise durchaus attraktiv ist.

Ein wesentliches Potenzial wird im Bereich der Ausnutzung der Ofenabgase gesehen. Durch die Untersuchung mehrerer Möglichkeiten, wie das Abgas in ORC-Anlagen für die Stromerzeugung oder das Abgas zur Knüppelvorwärmung bzw. im Abhitzekegel zur Auskoppelung und die Wärme unternehmensintern oder als Nah- bzw. Fernwärmenetz zu nutzen, wurden Tendenzen deutlich und können für andere Unternehmen umgelegt werden.

Es wurde auch deutlich, dass in energieintensiven Unternehmen große Mengen an Abwärme zur Verfügung stehen und das primäre Ziel für Energieeffizienz steigernde Maßnahmen soll sein, die Abwärme unternehmensintern zu nutzen. Der Einsatz von neuen Technologien, wie die ORC-Anlage, erweist sich dann als sinnvoll, wenn der Wärmeinhalt im Ofenabgas nicht anderweitig genutzt werden kann, da der Wirkungsgrad dieser Anlagen bei ca. 20 % liegt.

Am Beispiel der voestalpine Tubulars GmbH & Co KG wurde gezeigt, dass die unternehmensinterne Wärmeversorgung (Hallen- und Büroheizung, Brauchwassererzeugung) vollständig aus Abwärme erfolgen kann. Bei der Stahl- und Walzwerk Marienhütte GmbH wird dies schon seit Jahren durchgeführt und zusätzlich die überschüssige Wärme in das Fernwärmenetz der Stadt Graz eingespeist. Am Standort der voestalpine Tubulars GmbH & Co KG ist eine Fernwärmeauskoppelung derzeit nicht möglich, weil kein Fernwärmenetz existiert und dieses erst aufgebaut werden müsste.

In energieintensiven Unternehmen sollte der primäre Fokus auf der Nutzung der vorhandenen Abwärmepotenziale liegen. Wesentlich für die Umsetzung der Maßnahmen sind die Mitbetrachtung der unternehmensspezifischen und örtlichen Gegebenheiten sowie die produkt- und produktionsspezifischen Rahmenbedingungen, da nicht alle Maßnahmen für jedes Unternehmen umsetzbar sind.

Weitere Forschungstätigkeiten sind hauptsächlich im Bereich der Wärmespeicherung im Zusammenhang mit dem Einsatz von ORC-Anlagen und bei der Entwicklung von Vorwärmöfen zur Vorwärmung der Knüppel mit Ofenabgas zu sehen. Speziell bei der Knüppelvorwärmung gibt es aktuell keine bekannten Forschungsaktivitäten. Vorhandene Patente stammen aus den 80er Jahren. Nachgewiesenerweise ist hier ein Potenzial zu sehen und zusätzlich würde die direkte Nutzung des Ofenabgases als Wärme einen höheren Wirkungsgrad aufweisen als beim Einsatz von ORC-Anlagen.

Im Detail wurden für die teilnehmenden Unternehmen folgende Projektergebnisse erzielt:

Stahl- und Walzwerk Marienhütte GmbH: Es bestehen 2 Kühlwasserkreisläufe (Heiß- und Kaltwasserkreislauf). Teilweise wird die Wärmemenge aus dem Heißwasserkreislauf genutzt und ins Fernwärmenetz der Stadt Graz eingespeist. Die anfallende Wärmeleistung aus dem Stoßofen und Elektrolichtbogenofen schwankt prozessbedingt stark. Da im Fernwärmesystem kein Speicher vorhanden ist, können gewisse Leistungsspitzen nicht in das Fernwärmesystem übertragen werden, was zur Folge hat, dass die Wärme über werksinterne Kühltürme abgefahren wird. Das bedeutet werksintern einen zusätzlichen Einsatz von Elektrizität und Wasser, der Wärmeinhalt kann keiner Nutzung zugeführt werden. Durch den Einbau eines Speichers, in welchem die anfallenden Leistungsspitzen zyklisch gespeichert werden, kann zusätzlich zu den derzeit ca. 44 GWh pro Jahr, die Fernwärmeauskoppelung gesteigert werden.

voestalpine Austria Draht GmbH (Standort Bruck): Aufgrund des Produktionsprozesses gibt es am Standort Bruck nur eine geringe Menge an Ofenabgas. Der Schwerpunkt der Betrachtungen war hier in der Nutzung des Wärmeinhaltes im Kühlwasser zu sehen. Mit Hilfe von Wärmepumpen kann das Kühlwasser auf ein nutzbares Temperaturniveau gebracht und für die Hallenheizung als Ersatz für Erdgas genutzt werden.

voestalpine Austria Draht GmbH (Standort Leoben): Im Hubbalkenofen werden große Mengen an Erdgas zur Erwärmung der Knüppel auf Walztemperatur eingesetzt. Der Wärmeinhalt des Ofenabgases wird derzeit teilweise noch ungenutzt in die Umgebung abgegeben. Möglichkeiten, den Wärmeinhalt zu nutzen, sind die eine ORC-Anlage zur Stromerzeugung einzusetzen bzw. alternativ dazu, die enthaltene Wärme zur Vorwärmung der Knüppel in einem Vorwärmofen zu nutzen. Die Knüppelvorwärmung ist theoretisch möglich, erfordert jedoch erhebliche Eingriffe in den bestehenden Prozess und begleitende Investitionen für Umbauten. Vorhandene Patente können als Vorlage dienen, aber für die konkreten Anforderungen und Rahmenbedingungen muss ein eigener Vorwärmofen entworfen werden. Das Kühlwasser aus der Ofenkühlung (Temperaturniveau ca. 85 °C) wird in das Wärmenetz am Standort eingespeist und im Kraftwerk der am Standort befindlichen voestalpine Stahl Donawitz GmbH & Co KG zur Kesselspeisewasservorwärmung verwendet. Als weiteres und wesentliches Potenzial ist die Wärmerückgewinnung von Strahlungswärme an der Hakenbahn zu sehen.

voestalpine Tubulars GmbH & Co KG: Am Standort befinden sich zwei Produktionsstätten, das Nahtlosrohrwalzwerk und die Ölfeldrohrfertigung. Im Verlauf des Produktionsprozesses kommen verschiedene, erdgasbetriebene Öfen zum Einsatz. Der Wärmeinhalt des Ofenabgases wird derzeit noch teilweise ungenutzt in die Umgebung abgegeben.

Für die Nutzung des Ofenabgases wurde folgende Kombination gefunden:

- Nutzung des Wärmeinhalts aus dem Ofenabgas zur Stromerzeugung in einer ORC-Anlage am Ofen mit dem höchsten Temperaturniveau
- Wärmeauskoppelung zur Hallenheizung mit Wärmetauscher an allen anderen Öfen bzw. alternativ dazu im Ölfeldrohrwerk die Nutzung des Ofenabgases zum Betreiben einer Absorptionswärmepumpe, um die Wassertemperatur des Kühlwasserkreislaufes zur Hallenheizung auf ein nutzbares Niveau zu bringen. Durch den Einsatz einer Absorptionswärmepumpe stehen 300 kW mehr an Wärmeleistung für die Hallenheizung zur Verfügung.

Eine weitere wesentliche Wärmequelle ist in der Kühlluft am Kühlbett zu sehen. Eine Wärmerückgewinnung wird im Rahmen von RADREC betrachtet und würde einen wesentlichen Beitrag zur Hallenheizung leisten.

4 Ausblick und Empfehlungen

Mit der Durchführung dieser Grundlagenstudie wurde deutlich, dass in stahlverarbeitenden Betrieben Abwärmemengen verfügbar sind und als Ersatz für fossile Energieträger eingesetzt werden können. Die Möglichkeit der Stromerzeugung aus Abwärme stellt ebenfalls ein Potenzial dar.

Energieintensive Unternehmen verfügen häufig über bisher ungenutzte Abwärmequellen. Beispielhaft werden nachfolgend Branchen aufgelistet, in denen große Abwärmemengen anfallen können und eine Abwärmennutzung, sei es durch ORC-Anlagen zur Stromerzeugung oder zur internen Wärmeversorgung, erfolgt:

- Abgaskamine von Stoßöfen in der Stahl- und Aluminiumindustrie und Abluftkamine von Schmelzöfen in der Stahlindustrie
- Abgaskamine in Papier- und Zellstofffabriken, Glasschmelzwerken, Ziegelbrennöfen, Raffinerien etc.;
- Abluftkamine in Faserplattenfabriken (wegen hohem Wassergehalt besonders interessant) oder anderen industriellen (oder gewerblichen) Trocknungsprozessen;
- Abgaskamine von fossilen Kraftwerken, Müllverbrennungsanlagen, Fernheiz-Wärmezentralen oder -kraftwerken;
- viele Abwärmequellen in chemischen Prozessen, wie z.B. Polymerkondensation, Säureherstellung etc., und Klinkerkühler in Zementwerken

Die Projektergebnisse, hinsichtlich der Nutzung der im Kühlwasser enthaltenen Wärmeenergie, können in allen Bereichen der Industrie, wo Kühlwasser anfällt, umgesetzt werden. Die Ausnutzung der Strahlungswärme kann in der Zementindustrie, im Bereich der Klinkerkühlung, zum Einsatz kommen.

Der Fokus für zukünftige Forschungstätigkeiten sollte deshalb auf die effiziente Nutzung von im Rahmen des Produktionsprozesses entstehender Abwärme liegen. Sei es im Bereich der Entwicklung von Speichertechnologien oder in der Entwicklung von neuen Anlagenkonzepten für die Vorwärmung von Knüppel durch Ofenabgas. Weiteres erscheint es sinnvoll den Aufbau von Fernwärmenetzen in der Umgebung von energieintensiven Unternehmen zu forcieren.

5 Literaturverzeichnis

- Beier W., Getschmann E., Seeger M.: Nutzung von Stoßofenwärme zur Fernwärmeversorgung in Dortmund, Stahl und Eisen 107 (1987) Nr. 18
- BINE Informationsdienst: Wärmerückgewinnung bei Hochtemperatur- Prozessen, Projektinfo 03/04
- Bisio G., Cartesegna M., Rubatto G.: Energy recovery by evaporative cooling in several plants of the iron and steel industry, Paper No. 20017, 37th Intersociety Energy Conversion Engineering Conference 2002
- Degner M., Ratzek U.: Entwicklungen beim Warm- und Kaltwalzen in Vergangenheit und Gegenwart, Stahl und Eisen 126 (2006), Nr. 7, Seiten 96-110
- Drescher U., Brüggemann D.: Fluid selection for the Organic Rankine Cycle (ORC) in biomass power and heat plants, Abstract, Applied Thermal Engineering 27 (2007), 223-228
- Europäische Patentanmeldung „Kühlverfahren für Walzgut und hiermit korrespondierendes Kühlbett“, Patentblatt 2000/43, Anmeldenummer: 00107140.6, Anmeldetag: 10.04.2000, Erfinder: Rolf Stodt, Kaarst, Anmelder: SMS Schloemann-Siemag AG, Düsseldorf
- Gericke B.: Wirkungsgradsteigerung in Hüttenkraftwerken durch Vorschaltgasturbinen und Abwärmenutzung, BWK, Bd. 45 (1993), Nr. 10, Seiten 431-437
- Hammer E. E.: Wärmerückgewinnung und Energieeinsparung durch Heißkühlung an Öfen- der Eisen- und Stahlindustrie, Neue Hütte - 35.Jahrgang - Heft 11 - November 1990
- Hayashi D., Krey M.: Assessment of clean development mechanism potenzial of large-scale energy efficiency measures in heavy industries, ELSEVIER, Energy 32 (2007), 1917-1931, Mai 2006
- Held B., Nyland H., Reinitzhuber F.: Betriebliche Erfahrungen in Abgaswärmenutzung in Eisenhüttenwerken für Fernheizzwecke, Stahl und Eisen 105 (1985) Nr. 22
- Huppmann G., Weichselgartner J., Schmidt G., Duré G., Öchslein W., Raasch E.: Abwärmenutzung in der Industrie unter Verwendung des organischen Rankine Kreisprozesses (ORC), Bundesministerium für Forschung und Technologie, Oktober 1985, S 15 – 18
- Huppmann G., Weichselgartner J., Schmidt G., Duré G., Öchslein W., Raasch E.: Abwärmenutzung in der Industrie unter Verwendung des organischen Rankine Kreisprozesses (ORC), Bundesministerium für Forschung und Technologie, Oktober 1985
- Kawalla R., Lehnert W.: Prozeß-, Anlagen- und Produktentwicklung beim Walzen von Stabstahl und Draht, Metalurgija 41 (2002) 3, 171 – 182
- Klammer H., Porst G.: Möglichkeiten und Grenzen der Abwärmenutzung an Warmöfen in Walzwerken, Stahl und Eisen 101 (1981), Nr. 7/81, Seite 445 ff
- Klammer H.: Neue Entwicklung eines Brammenkühlkessels zur Nutzung der fühlbaren Gutwärme, Stahl und Eisen 98 (1978), Nr. 23, Seite 1244 ff
- Krenn C., Fresner J., Bürki T., Wastl H. (2009): Ökoeffizienz durch Abwärmenutzung in der stahlverarbeitenden Industrie, Energieeffizienzsteigerung und Reduktion der CO₂-Emissionen durch Einsatz von ORC-Anlagen und Wärmepumpen am Beispiel des Nahtlosrohrwalzwerks der voestalpine Tubulars GmbH & Co KG, Buchbeitrag in Sustainability Management for Industries, Hrg. Baumgartner, Biedermann, Zwainz, Rainer Hampp Verlag, 2009

- Krenn C., Fresner J., Meixner E. (2008) Improvement of energy efficiency in the steel industry by utilization waste heat
- Krenn C., Fresner J., Meixner E. (2008). Energieeffizienzsteigerung in Unternehmen der stahlverarbeitenden Industrie durch Abwärmenutzung im Niedertemperaturbereich: Institut für Elektrizitätswirtschaft und Energieinnovation, EnInnov08, S. 254, Graz, Austria
- Krimmling J., Nitz K.-H., Preuß A.: Abwärmenutzung in einem Stahlwerk, TAB 11/97, Seiten 49-52
- Lee Y.-K., Park H.-S., Chang R.-W.: The enhancement of energy utilizing efficiency by using low-temperature grade heat of the steel industry, Environmental and Energy Division, RIST, Pohang, Korea, 17th World Energy Congress in Houston, Texas, September 1998
- Linnhoff, B., et al. (1982) User Guide on Process Integration for the Efficient Use of Energy, IChemE, UK, 1982
- Lüngen H. B.: Technische Entwicklungen in der Stahlindustrie verringern CO₂- Emissionen, Stahlinstitut VDEh
- Maruoka N., Mizuochi T., Purwanto H., Akiyama T.: Feasibility Study for Recovering Waste Heat in the Steelmaking Industry Using a Chemical Recuperator, ISIJ International, Vol. 44 (2004), No. 2, pp. 257 – 262
- Modesto M., Nebra S. A.: Analysis of a repowering proposal to the power generation system of a steel mill plant through the exergetic cost method, ELSEVIER, Energy 31 (2006), 3261-3277
- Nolzen H.-M.: Möglichkeiten der Energie-Rückgewinnung in der Hüttenindustrie, insbesondere bei der Walzstahlerzeugung, Stahl und Eisen 104/ 1984), Nr. 14, Seite 671 ff
- Offenlegungsschrift 27 06 345, Ofenanordnung zum Erwärmen von Brammen, Erfinder: Ing. Helmuth Klammer, Mülheim, Walter Speer, Oberhausen, Offenlegungstag: 17.08.1978, Anmelder: Mannesmann AG, Düsseldorf
- Offenlegungsschrift 28 46 818, Verfahren zur Wärmebehandlung von kalten Stahlblöcken und / oder heißen Stahlblöcken sowie Vorrichtung zur Durchführung des Verfahrens, Erfinder: Tabuchi, Seigo, Narashino, Chiba, Anmelder: K.K. Itoh Seitetsusho, Tokio, Offenlegungstag: 5.5.80
- Offenlegungsschrift DE 30 19 714 A1: Vorrichtung zur Rückgewinnung von Wärme aus heißen Stahlbrammen, Erfinder: Ing. Wilhelm Schwerdt, Duisburg, Anmelder: Mannesmann AG, Düsseldorf, Offenlegungstag: 10.12.1981
- Okaniwa K., Ikeda H., Noguchi Y., Yakabe M.: Installation of New Reheating Furnaces for Wire Rod Mills, NIPPON STEEL TECHNICAL REPORT No. 53 APRIL 1992, 83 – 90
- PAK Pyong Sik: Evaluation of CO₂ – capturing Power Generation Systems Utilizing Waste Heat from Ironworks, ISIJ International, Vol. 42 (2002), No. 6, pp. 663 – 669
- Patentschrift DE 32 06 238 C2: Ofen mit zusätzlicher Wärmerückgewinnung zum Beheizen von vorzugsweise metallischen Barren, Erfinder: Rossetti Vincenzo, Chiari Brescia, Offenlegungstag: 16.09.1982
- Patentschrift DE 32 22 940 C1: Vorrichtung zur Erwärmung von Stangen bzw. Knüppeln, Erfinder: DI Heinz Jürgens, Unna, Patentinhaber: Brown, Boveri & Cie AG, Mannheim, Veröffentlichungstag: 17.11.1983

- Patentschrift DE 35 04 341 C1: Verfahren zur Erwärmung von Knüppeln und Blöcken, Erfinder: Dr.-Ing. Gerald Krüger, Eppelheim, Patentinhaber: Brown, Boveri & Cie AG, Mannheim, Veröffentlichungstag: 23.01.1986
- Pöttken H.-G., Strohschein H.: Forschungsbericht T 82-151, Technologische Forschung und Entwicklung, Nichtnukleare Energietechnik, Ausnutzung industrieller Abwärme am Beispiel eines integrierten Hüttenwerkes zur volkswirtschaftlichen Einsparung von Primärenergie und zur Entlastung der Umwelt, Band 1, Krupp Stahl Aktiengesellschaft, Hauptbereich Energiewirtschaft, Bochum, August 1982
- Pöttken H.-G., Strohschein H.: Forschungsbericht T 82-151, Technologische Forschung und Entwicklung, Nichtnukleare Energietechnik, Ausnutzung industrieller Abwärme am Beispiel eines integrierten Hüttenwerkes zur volkswirtschaftlichen Einsparung von Primärenergie und zur Entlastung der Umwelt, Band 2, Krupp Stahl Aktiengesellschaft, Hauptbereich Energiewirtschaft, Bochum, August 1982
- Raghaw Sharan Pandey: Report of Working Group on Steel Industry for the Eleventh Five-Year Plan (2007-2012)
- Rentz O., Hähre S., Rainer J., Geldermann J., Krippner M., Schultmann F.: Exemplarische Untersuchung zum Stand der praktischen Umsetzung des integrierten Umweltschutzes in der Metallindustrie und Entwicklung von generellen Anforderungen, DFIU Karlsruhe, Dezember 1999
- Rentz O., Jochum R., Schultmann F.: Report on Best Available Techniques (BAT) in the German Ferrous Metals Processing Industry, DFIU Karlsruhe, March 1999
- Rüdiger J., Brüser G., Ruhe H., Rinnhofer H., Levaggi V., Mendelsohn S., Witte M., Emmerich F.: Modernisierung und Optimierung von Stoßöfen in einem Grobblechwalzwerk, Stahl und Eisen 123 (2003) Nr. 5, 37 – 41
- Sammer G., Szednyj I.: Evaluierung der EU BAT Dokumente, Eisenmetallverarbeitung, Umweltbundesamt BE-212, Wien, Juli 2002
- Spanger H., Grurl H.: Möglichkeiten der Energieeinsparungen bei Stoßöfen, Berg- und Hüttenmännische Monatsheft, 128. Jahrgang (1983), Heft 1, 12 – 17
- Sucker D.: Entwicklungen zur Effizienzsteigerung in der Stahlindustrie, Stahl und Eisen 120 (2000), Nr. 1, Seite 29-37
- Ussar M. B.: Nutzungsmöglichkeiten der industriellen Abwärme am Beispiel eines Hüttenwerkes, Montanuniversität Leoben, 30 - 51
- Wei D., Lu X., Lu Z., Gu J.: Performance analysis and optimisation of Organic Rankine Cycle (ORC) for waste heat recovery, Abstract, Energy Conversation and Management 48 (2007), 1113-1119
- Worrell E., Bode J., de Beer J.: Analysing Research and Technology Development Strategies – The ATLAS–Project, Energy Efficient Technologies in Industry, January 1997
- Yamashita A., Fukumoto K., Mori T., Kamakura H., Asai T.: Power Generation System by Heat Recovery from Converter Cooling Water, The Sumitomo Search No. 25, Mai 1981