

Ressourceneffizienzsteigerung in der metallverarbeitenden Industrie

Experimentelle Optimierung von Wärmebehandlungsprozessen

R. Stiglbrunner, Ch. Aschacher,
P. Enzinger, R. Padinger, J. Spitzer

Berichte aus Energie- und Umweltforschung

9/2005

Impressum:

Eigentümer, Herausgeber und Medieninhaber:
Bundesministerium für Verkehr, Innovation und Technologie
Radetzkystraße 2, 1030 Wien

Verantwortung und Koordination:
Abteilung für Energie- und Umwelttechnologien
Leiter: DI Michael Paula

Liste sowie Bestellmöglichkeit aller Berichte dieser Reihe unter <http://www.nachhaltigwirtschaften.at>
oder unter:

Projektfabrik Waldhör
Nedergasse 23, 1190 Wien
Email: versand@projektfabrik.at

Ressourceneffizienzsteigerung in der metallverarbeitenden Industrie

Experimentelle Optimierung von Wärmebehandlungsprozessen

Projektleiter:

Dr. Rudolf Stiglbrunner
JOANNEUM RESEARCH

Projektpartner:

Christian Aschacher, Dipl. Ing. Torsten Krichbaum
JOH. PENGG AG
Peter Enzinger, Dr. Reinhard Padinger, Dr. Josef Spitzer
JOANNEUM RESEARCH

Graz, Juli 2004

Ein Projektbericht im Rahmen der Programmlinie



Impulsprogramm Nachhaltig Wirtschaften

Im Auftrag des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie



Institut für
Energieforschung

Koordination: JOANNEUM RESEARCH
INSTITUT FÜR
ENERGIEFORSCHUNG

Elisabethstraße 5, A-8010 Graz

Tel. (0316) 876 / 1338

Fax (0316) 876 / 1320

Im Auftrag des

Forschungsförderungsfonds für die gewerbliche Wirtschaft (FFF) und der Fa.

Joh. Pengg AG

INHALTSVERZEICHNIS

Kurzfassung	1
Summary	2
1. Einleitung	3
2. Inhalte und Ziele	6
3. Beschreibung der Anlage Patentieren IV und der durchgeführten Untersuchungen	8
3.1 Beschreibung der Anlage Patentieren IV	8
3.2 Untersuchungen zur Abwärmenutzung	15
3.3 Untersuchungen zur Wärmedämmung der Bleibäder	22
3.4 Untersuchungen zur Bleiabscheidung bzw. Entsorgung von Anthrazit	37
4. Ergebnisse	40
4.1 Abwärmenutzung	40
4.2 Wärmedämmung der Bleibäder	43
4.3 Bleiabscheidung bzw. Entsorgung von Anthrazit	51
5. Bewertung der Ergebnisse	52
5.1 Umsetzung in der Fa. Joh. Pengg AG	52
5.2 Übertragbarkeit auf andere Betriebe und Industriezweige	54
5.3 Bewertung im Hinblick auf Nachhaltige Technologieentwicklung	54
6. Ausblicke und Empfehlungen	59
Literaturverzeichnis	61
Abbildungsverzeichnis	62
Tabellenverzeichnis	64
Diagrammverzeichnis	65
Anlagenverzeichnis	66

Kurzfassung

Die Joh. Pengg AG mit Sitz in Thörl in der Steiermark hat sich auf die Herstellung von öl-schlussvergüteten Drähten für die Automobil-, Elektro- und Maschinenbauindustrie spezialisiert. Die Herstellung dieser Drähte ist ein energieintensiver Prozess mit prozessbedingten Erwärmungs- und Abkühlungsvorgängen sowie Verformungsschritten. Eine effizientere Nutzung der eingesetzten Energie sowie eine kostengünstigere Entsorgung von Produktionsabfällen ist von erheblicher wirtschaftlicher und ökologischer Bedeutung. Wichtige Beispiele dafür sind die Abwärmenutzung der Öfen, die Wärmedämmung der Bleibäder und die betriebsinterne Verwertung bzw. Entsorgung von bleihaltigem Anthrazit.

Ziel dieses Projektes war es daher, die technischen Möglichkeiten und Potentiale der

- Abwärmenutzung der Öfen, der
- Wärmedämmung der Bleibäder und der
- Verwertung des bleihaltigen Anthrazits

experimentell und rechnerisch zu untersuchen. Diese Untersuchungen wurden, soweit produktionsbedingt möglich, an der Anlage Patentieren IV durchgeführt. Die Ergebnisse sind auch auf andere Anlagen der Fa. Joh. Pengg AG bzw. andere Betriebe übertragbar.

Zur Berechnung von Abwärmepotentialen erdgasbefuerter Verbrennungsanlagen wurde das Rechenmodell „RM_Abwärme.xls“ erstellt. Bei der Anlage Patentieren IV könnten zwischen 90 und 125 kW Abwärme genutzt werden.

Zur Berechnung der Wärmeverluste der Bleibäder über die Oberfläche durch Konvektion und Strahlung wurde das Rechenmodell „RM_Wärmeverluste.xls“ erstellt, welches auch die erforderlichen Dämmstärken zur Verminderung der Wärmeverluste berechnet. Es wurde durch experimentelle Untersuchungen an der Anlage Patentieren I verifiziert. Dabei wurde auch festgestellt, dass durch eine Erhöhung der Anthrazitschichtdicke auf den Bleibädern von ca. 10 mm auf ca. 90 mm die Wärmeverluste um ca. 80% vermindert werden könnten.

Möglichkeiten zur betriebsinternen Verwertung von bleihaltigem Anthrazit konnten nicht gefunden werden, allerdings konnte eine kostengünstigere Entsorgungsmöglichkeit aufgezeigt werden.

Summary

Joh. Peng AG with headquarters at Thörl (Styria), is specialized in production of oil tempered spring steel wires for automobile, electrical, and mechanical industries. The manufacturing process of these wires requires different heat treatment steps as well as shaping steps. Process heat is provided by electricity and natural gas. Optimizing the energy input of the manufacturing process and reducing disposal costs of production residues are of high economic and ecologic importance. Therefore, the aim of this project was the investigations of technical feasibility and potential of the following topics:

- use of waste heat of the furnaces
- thermal insulation of heat treatment lead baths
- utilization of lead contaminated anthracite

These investigations have been carried out at plant “Patentieren IV”. However, results can be transferred to other plants of Joh. Pengg AG as well as to plants of other companies.

To calculate the waste heat amount of natural gas fuelled furnaces under different conditions the mathematical model “RM_Abwärme.xls“ has been developed. Results show, that at plant „Patentieren IV“ between 90 and 125 kW of waste heat could be used.

To calculate the heat losses of the lead baths through their surface by convection and radiation, the mathematical model „RM_Wärmeverluste.xls“ has been developed. This model also calculates the necessary thickness of thermal insulation. The model has been verified by experimental investigations at plant „Patentieren I“. Results show, that the increase of the thickness of the anthracite insulation from app. 10 mm to some 90 mm could reduce the heat losses by some 80 percent.

No alternative use of the lead contaminated anthracite at Joh. Pengg AG could be found; however, a cheaper disposal option for the anthracite was found.

1. Einleitung

Die Joh. Pengg AG mit Sitz in Thörl in der Steiermark hat sich auf die Herstellung von Drähten für die Automobil-, Elektro- und Maschinenbauindustrie spezialisiert und ist der einzige österreichische Hersteller von ölschlussvergütetem Draht. Die Herstellung von ölschlussvergütetem Draht ist ein energieintensiver Prozess mit prozessbedingten Erwärmungs- und Abkühlungsvorgängen sowie Verformungsschritten.

Das gegenständliche Projekt ist ein Folgeprojekt des Projekts „Abwärmenutzung und Einsatz Erneuerbarer Energieträger in einem metallverarbeitenden Betrieb“ /1/ und wird ebenfalls in Kooperation mit der Fa. Joh. Pengg AG durchgeführt. Gleichzeitig und in enger Abstimmung werden auch die Projekte „Ressourceneffizienzsteigerung durch Optimierung der Filterreinigung mittels Abwärmenutzung in einem metallverarbeitenden Betrieb“ /2/ und „Ressourceneffizienzsteigerung durch experimentelle Optimierung der Dampfbereitstellung und durch Reduktion der Produktionsabfälle in einem metallverarbeitenden Betrieb“ /3/ gemeinsam mit der Fa. Joh. Pengg AG durchgeführt.

Die Fa. Joh. Pengg AG befindet sich in Thörl und liegt direkt am Thörlbach. Ein Lageplan der Produktionsstätte mit den wichtigsten Anlagen ist in [Abbildung 1.1](#) dargestellt.

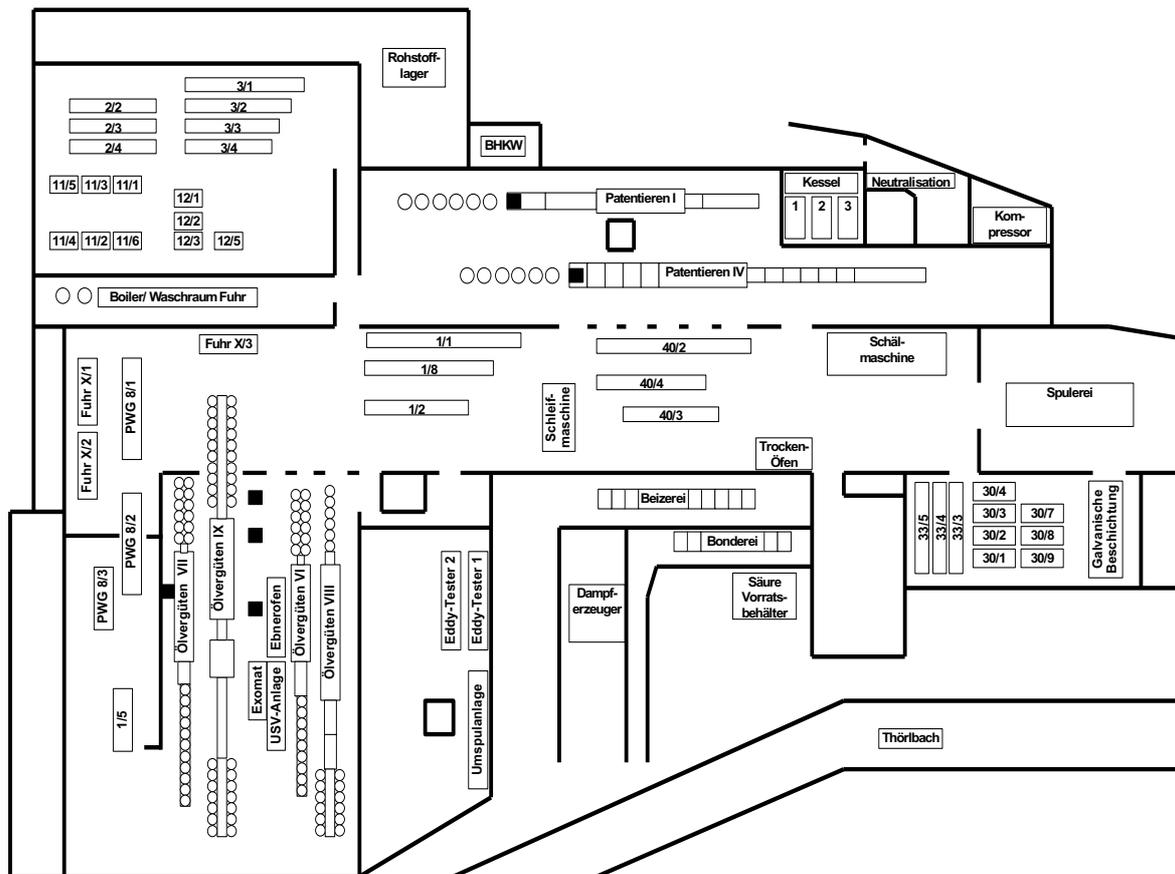


Abbildung 1.1: Lageplan der Fa. Joh. Pengg AG in Thörl

Bei den Prozessschritten Patentieren und Vergüten wird der Draht auf eine vorgegebene Temperatur erwärmt und anschließend auf eine ebenfalls vorgegebene Temperatur abgekühlt. Die Erwärmung des Drahtes erfolgt mittels erdgasbeheizter Öfen (Drahttemperatur ca. 950 °C) oder Hochtemperatur-Bleibäder (Badtemperatur ca. 860 °C). Der anschließende Abkühlvorgang erfolgt zum Teil in Bleibädern (Badtemperatur ca. 400 - 600 °C), die entweder ebenfalls mit Erdgas oder mit Strom beheizt werden. Bei den Öfen und Hochtemperatur-Bleibädern fällt Abwärme an, die derzeit nicht genutzt wird. Im Rahmen dieses Projektes werden die technischen Möglichkeiten und Potentiale der Abwärmenutzung untersucht. Die Möglichkeiten der Nutzung dieser Abwärme wird im Projekt „Ressourceneffizienzsteigerung durch experimentelle Optimierung der Dampfbereitstellung und durch Reduktion der Produktionsabfälle in einem metallverarbeitenden Betrieb“ betrachtet.

Die Bleibäder haben wegen der hohen Oberflächentemperaturen hohe Wärmeverluste was einen erheblichen Energieeinsatz zur Erwärmung und Aufrechterhaltung der Badtemperatur erfordert. Die Oberflächen der Bleibäder werden mit einer Anthrazitschicht abgedeckt, was einerseits eine Wärmedämmung bewirkt, andererseits eine Oxidation der heißen Bleioberfläche verhindert. Um die Wärmeverluste der Bäder zu verringern und somit Energieeinsatz zur Aufrechterhaltung der Badtemperatur zu verringern, werden Möglichkeiten einer besseren Wärmedämmung der Oberfläche der Bleibäder untersucht. Da das Anthrazit im Laufe der Zeit mit Blei versetzt und auch „verbraucht“ wird (sogenannte „Bleiasche“ entsteht), muss die Schicht alle vier bis sechs Wochen erneuert werden. Das bleihaltige Anthrazit und die Bleiasche müssen entsorgt werden. Es werden Möglichkeiten einer energetischen Nutzung bzw. einer kostengünstigen Entsorgung des bleihaltigen Anthrazits untersucht.

In diesem Projekt werden daher Untersuchungen der Möglichkeiten der Abwärmenutzung der Öfen, einer besseren Wärmedämmung der Bleibäder und einer kostengünstigen Entsorgung des bleihaltigen Anthrazits angestellt.

2. Inhalte und Ziele

In der metallverarbeitenden Industrie ist der Einsatz von Energie von wesentlicher ökonomischer und ökologischer Bedeutung. Besonders bei den energieintensiven Prozessen wie z.B. Wärmebehandlungsprozessen ist ein möglichst effizienter Energieeinsatz anzustreben. Ein effizienter Energieeinsatz kann einerseits durch eine Verringerung des erforderlichen Energieeinsatzes (z.B. durch bessere Wärmedämmung), andererseits durch verbesserte Nutzung der eingesetzten Energie (z.B. durch Abwärmenutzung) erreicht werden. Im Rahmen dieses Projektes wurden bei der Fa. Joh. Pengg AG folgende Untersuchungen durchgeführt:

- Erhebung des Ist-Zustandes
In Hinblick auf die Abwärmenutzung der Öfen und der Wärmedämmung der Bäder wurden die erforderlichen Daten, sofern sie in einem höheren Detaillierungsgrad benötigt werden als im Projekt „Abwärmenutzung und Einsatz Erneuerbarer Energieträger in einem metallverarbeitenden Betrieb“ enthalten, erhoben.
- Abwärmenutzung der Öfen
Es wurden die Potentiale und technischen Möglichkeiten der Nutzung der Abwärme der Öfen untersucht.
- Wärmedämmung der Bleibäder
Es wurden Möglichkeiten einer Wärmedämmung der Oberflächen der Bleibäder untersucht. Dafür wurde ein Rechenmodell erstellt und Versuche in der Praxis durchgeführt.
- Bleiabscheidung aus dem Anthrazit
Im Hinblick auf eine energetische Nutzung des bleihältigen Anthrazits und der Bleiasche wurden Untersuchungen über Möglichkeiten der Bleiabscheidung aus dem Anthrazit angestellt, bzw. Möglichkeiten einer kostengünstigen Entsorgung betrachtet.

In Abstimmung mit der Fa. Joh. Pengg AG wurde festgelegt, die oben angeführten Untersuchungen, soweit möglich, an der Anlage Patentieren IV durchzuführen. Die Ergebnisse sind dann auch auf die anderen Anlagen der Fa. Joh. Pengg AG bzw. auf andere Betriebe übertragbar.

Ziele des Projektes sind:

- Möglichkeiten der Abwärmenutzung der Öfen aufzuzeigen
- Erstellung eines Rechenmodells zur Ermittlung der Wärmeverluste der Bleibäder
- Vorschläge zur besseren Wärmedämmung der Bleibäder zu erstellen
- Möglichkeiten der Bleiabscheidung aus dem verbrauchten Anthrazit aufzuzeigen bzw. kostengünstige Entsorgungsmöglichkeiten vorzuschlagen.

3. Beschreibung der Anlage Patentieren IV und der durchgeführten Untersuchungen

Im diesem Kapitel wird zuerst die Anlage Patentieren IV im Detail dargestellt, anschließend werden die durchgeführten Untersuchungen zur Abwärmenutzung, zur Wärmedämmung der Bleibäder und zur Bleiabscheidung bzw. Entsorgung von Anthrazit beschrieben.

3.1 Beschreibung der Anlage Patentieren IV

Die Untersuchungen im Rahmen dieses Projektes werden, soweit produktionstechnisch und betriebsablaufbedingt möglich, an der Anlage Patentierten IV durchgeführt. Aus Abbildung 3.1 ist die räumliche Lage der Anlage Patentieren IV (gestrichelt umrandet) in der Produktionsanlage der Fa. Joh. Pengg AG zu entnehmen.

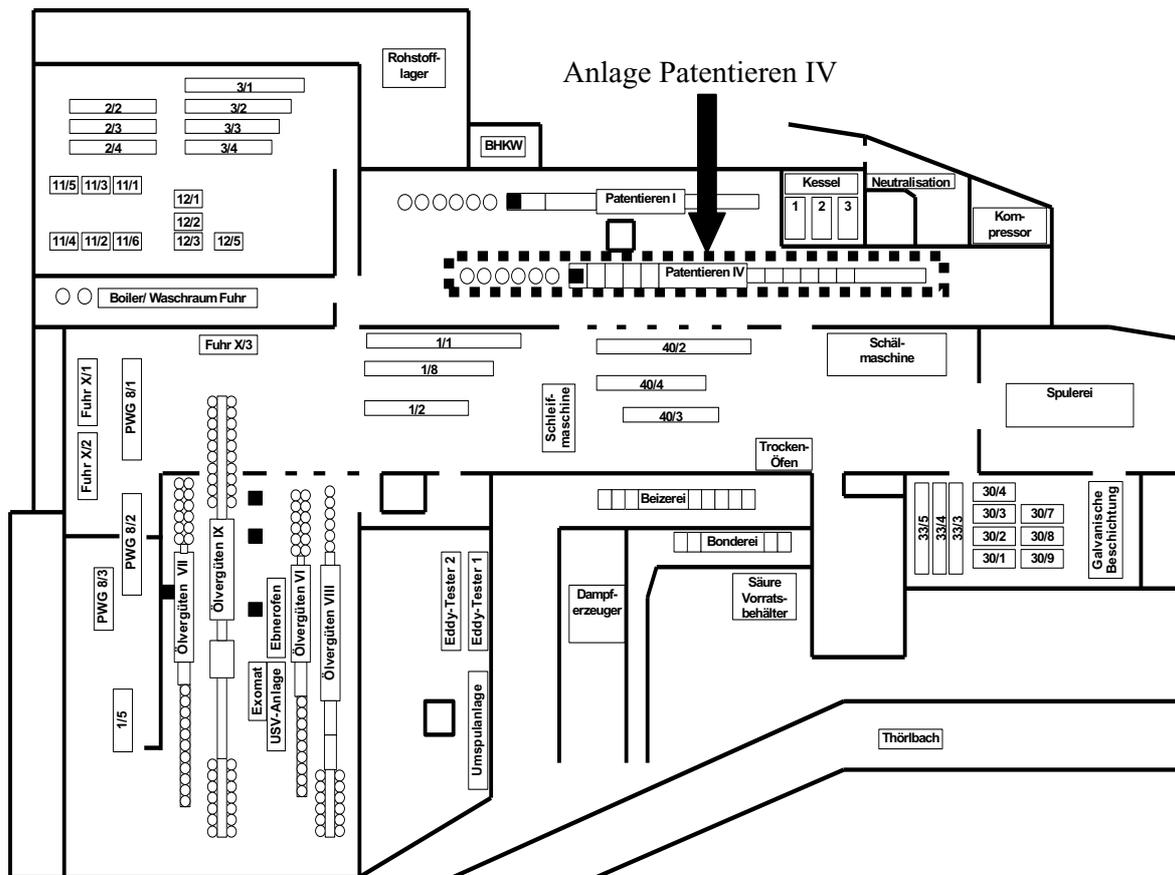


Abbildung 3.1: Lageplan der Anlage Patentieren IV

Die an dieser Anlage durchgeführten Untersuchungen sind auch auf andere Anlagen der Fa. Joh. Pengg AG und anderer metallverarbeitender Betriebe übertragbar. Die Anlage Patentieren IV ist in [Abbildung 3.2](#) schematisch dargestellt. In [Tabelle 3.1](#) sind die Daten der wichtigsten Komponenten zusammengestellt.

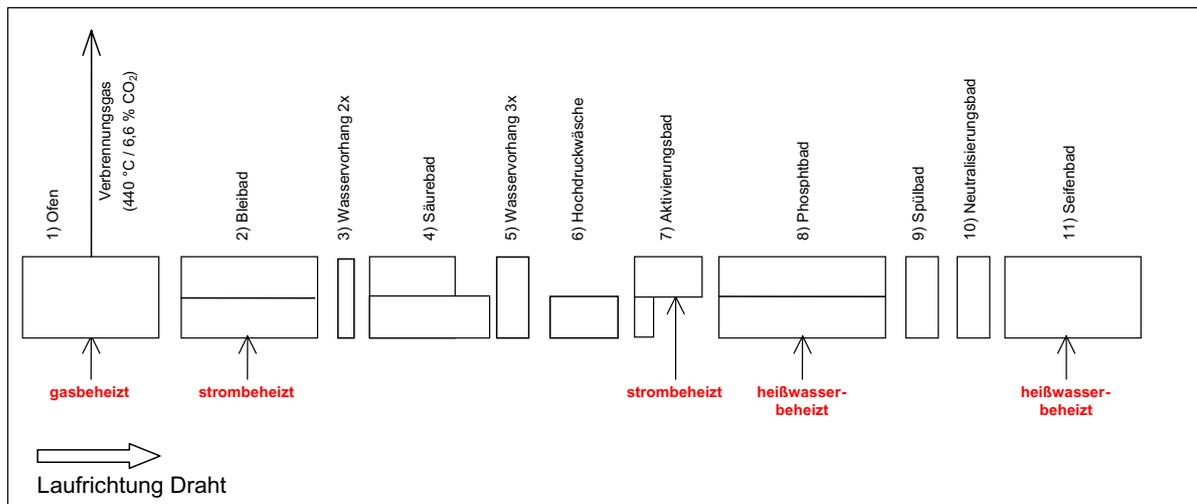


Abbildung 3.2: Anlage Patentieren IV - Schema

Tabelle 3.1: Anlage Patentieren IV - Daten der wichtigsten Komponenten

Komponente	Nr. in Abb. 3.2	ca. Länge (m)	maximale (Bad-) Temperatur (°C)	Energieträger zur Beheizung
Ofen	1)	10	950	Erdgas
Bleibad	2)	11	650	el. Strom
Säurebad	4)	8 (12)	50	unbeheizt
Aktivierungsbad	7)	1 (0,3)	40	el. Strom
Phosphatbad	8)	10	95	Heißwasser
Spülbad	9)	0,5	50	unbeheizt
Seifenbad	11)	1,5	95	Heißwasser

Der Draht durchläuft in der Anlage Patentieren IV folgende Komponenten:

1) Ofen:

Im Ofen erfolgt die Erwärmung des Drahtes auf ca. 950 °C. Der Ofen ist innen mit Schamotte ausgekleidet und wird mittels Erdgasbrennern beheizt. Das Verbrennungsgas wird über einen Kamin, der mit Naturzug funktioniert, an die Umgebung abgeleitet. Die Temperatur des Verbrennungsgases vor dem Eintritt in den Kamin beträgt ca. 440 °C.

2) Bleibad:

Im Bleibad wird der aus dem Ofen (1) kommende Draht auf die Temperatur des Bleibades (in der Regel ca. 450 bis 550 °C, maximal 650°C) abgekühlt. Die Wanne des Bleibades ist in der Längsrichtung (Laufrichtung des Drahtes) zweigeteilt um zwei verschiedene Temperaturen fahren zu können. Um die Wärmeverluste des Bades an die Umgebung zu vermindern, ist die Wanne nach außen hin wärmegeämmt. Die Oberfläche des Bades wird mit einer Anthrazitschicht abgedeckt. Diese Anthrazitschicht bewirkt eine Wärmedämmung und verhindert eine Oxidation des Bleis an der Badoberfläche. Durch die hohe Temperatur des Bleibades wird Anthrazit „verbraucht“ und muss in regelmäßigen Abständen erneuert werden. Die „verbrauchten“ Anthrazitreste sowie die Anthrazitasche sind mit Blei verunreinigt und müssen als Sondermüll entsorgt werden. Um eine gleichmäßige Temperatur im Bleibad zu gewährleisten, wird das flüssige Blei mittels Pumpen ständig umgewälzt. Zur Abdeckung der Wärmeverluste wird das Bad mittels elektrischer Heizstäbe auf konstanter Temperatur gehalten. Steigt die Temperatur des Bleibades, so werden die Wärmeverluste bewusst erhöht, indem Teile des Bleibades abgedeckt werden.

3) Wasservorhang (2-fach):

Der Wasservorhang dient der Abkühlung des Drahtes um das folgende Säurebad (4) nicht zu stark zu erwärmen und um einen Austritt von Säuredampf in die Produktionshalle zu verhindern. Von den zwei Wasservorhängen ist einer immer in Betrieb, der zweite wird bei Bedarf (zu starke Erwärmung des Säurebades) zugeschaltet. Das dazu erforderliche Wasser kommt aus der Hochdruckwäsche (6) und wird nicht beheizt.

4) Säurebad:

Das Säurebad ist unbeheizt und wird durch den Wärmeeintrag des Drahtes auf ca. 40 – 50 °C gehalten. Ist der Wärmeeintrag zu groß, wird das Bad durch Zugabe von Frischwasser gekühlt. Das Aufheizen des Säurebades nach einem Anlagenstillstand erfolgt mittels Dampf, welcher über einen Schlauch nur während der Aufheizzeit direkt in das Bad eingeleitet wird.

5) Wasservorhang (3-fach):

Ein dreifacher Wasservorhang reinigt den Draht von der Säure und verhindert auch das Austreten von Säuredampf in die Produktionshalle. Das Wasser stammt, wie auch für den Wasservorhang vor dem Säurebad (3), aus der Hochdruckwäsche (6).

6) Hochdruckwäsche:

Die Wasserversorgung der Hochdruckwäsche erfolgt mit unbeheiztem Frischwasser, welches in weiterer Folge für die Wasservorhänge vor (3) und nach (5) dem Säurebad genutzt wird. Die Hochdruckwäsche befindet sich nur an der, in Drahtlaufrichtung gesehen, rechten Seite der Anlage.

7) Aktivierungsbad:

Das Aktivierungsbad wird mittels elektrischer Heizstäbe auf einer Temperatur von ca. 40 °C gehalten. An der linken Seite der Anlage (siehe Abbildung 3.2) hat das Bad eine Länge von ca. 1 m, während sich an der rechten Seite nur eine kurze Überlaufasse befindet.

8) Phosphatbad:

Das Phosphatbad ist, ebenso wie das Bleibad (2), zweigeteilt, um unterschiedliche Temperaturen fahren zu können. Die maximale Badtemperatur beträgt 95 °C. Um das Bad auf konstanter Temperatur halten zu können, sind an den inneren Seitenwänden der Wannen Heizschlangen angebracht, welche von Heißwasser mit einer Temperatur von ca. 150 °C durchflossen werden. Problematisch sind dabei Phosphatablagerungen an den Oberflächen (sowohl unten und seitlich an der Wanne als auch an den Heizschlangen). Durch die Ablagerungen an den Heizschlangen wird die Wärmeübertragung vom Heißwasser an das Phosphatbad erheblich erschwert.

9) Spülbad:

Das Spülwasser hat einen eigenen Wasserkreislauf und ist unbeheizt. Es wird zum Teil an das Neutralisierungsbad (10) abgeleitet, die abgeleitete Menge wird durch Frischwasser ersetzt.

10) Neutralisierungsbad:

Das Neutralisierungsbad hat einen geschlossenen Kreislauf und ist unbeheizt. Die Neutralisation der Drahtoberfläche erfolgt durch ein spezielles Neutralisationsmittel.

11) Seifenbad:

Das Seifenbad hat eine Temperatur von maximal 95 °C. Um das Bad auf konstanter Temperatur halten zu können, befindet sich eine Heizschlange im Bad, welche von Heißwasser mit einer Temperatur von ca. 150 °C durchflossen wird.

Die in diesem Projekt näher betrachteten Komponenten der Anlage Patentieren IV sind der Ofen (1) und das Bleibad (2).

Abbildung 3.3 zeigt die Längsseite, Abbildung 3.4 die Vorderseite des Ofens worin der Draht auf ca. 950 °C erwärmt wird. Der Ofen ist erdgasbeheizt, die detaillierten Untersuchungen zur Abwärmenutzung werden beispielhaft an diesem Ofen durchgeführt.

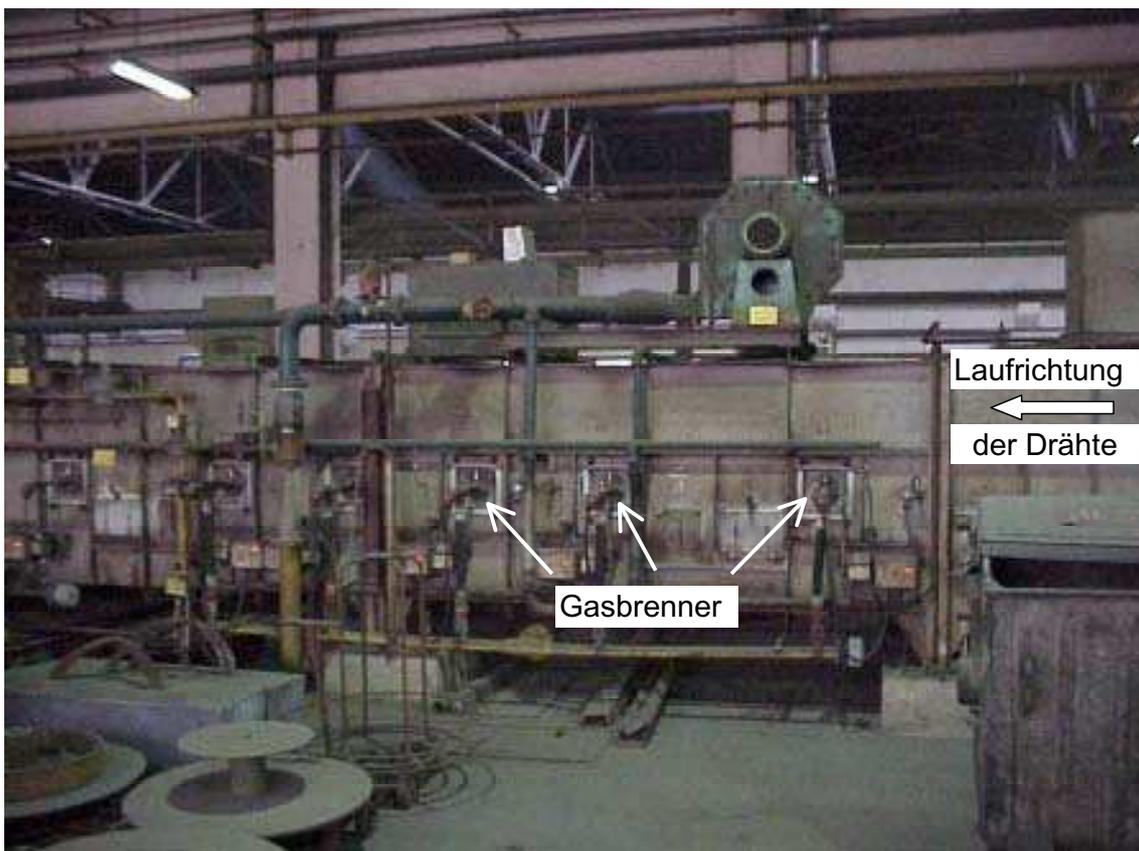


Abbildung 3.3: Anlage Patentieren IV – Ofen Längsseite

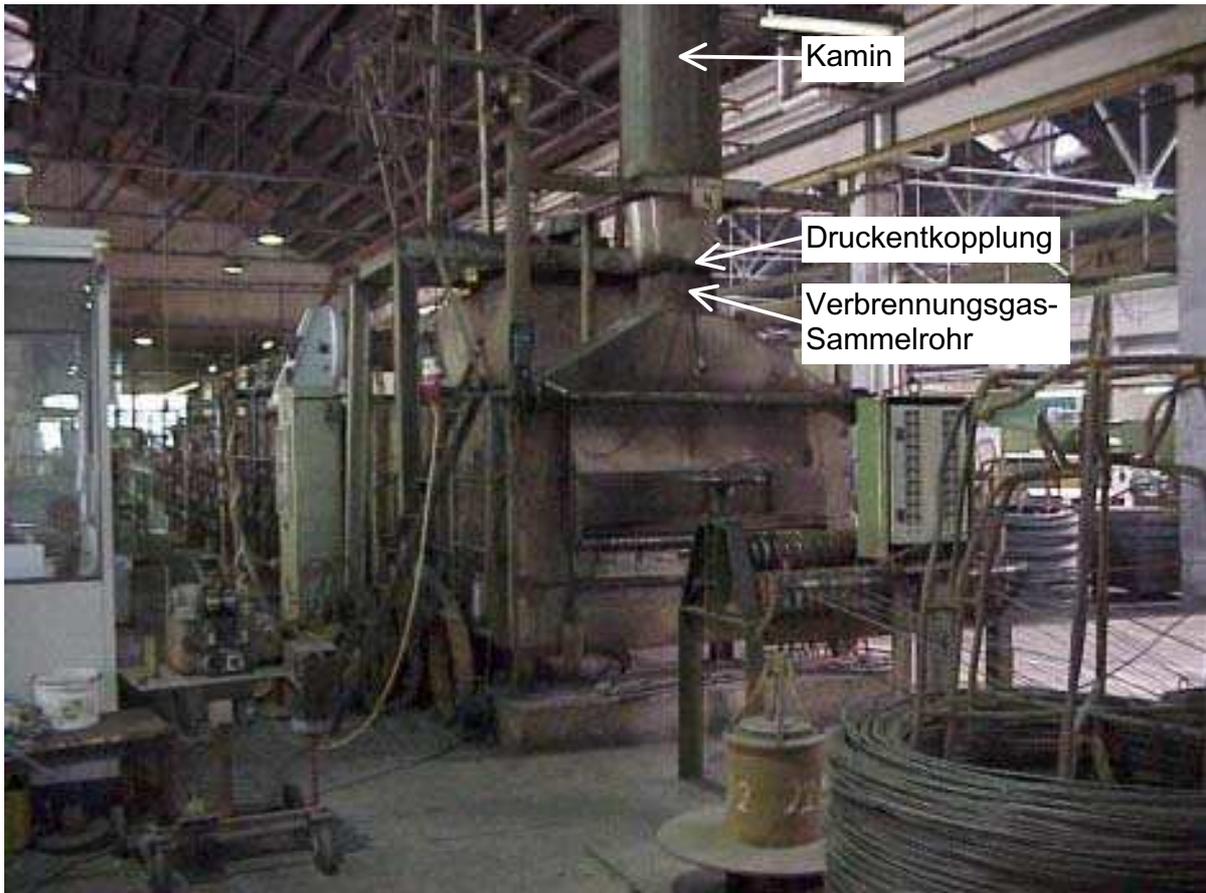


Abbildung 3.4: Anlage Patentieren IV – Ofen Vorderseite

Abbildung 3.5 zeigt das Bleibad unmittelbar nach dem Ofen, die Laufrichtung des Drahtes ist von hinten nach vorne. Die helle Fläche im Bleibad (in Abbildung 3.5 rechts nach dem Ofen) ist ein nicht mit Anthrazit abgedeckter Teil der Bleibadoberfläche. Durch die teilweise Freilegung der Bleibadoberfläche werden die Wärmeverluste bewusst erhöht, um eine zu starke Erwärmung des Bleibades durch den Wärmeeintrag mit den Drähten zu verhindern. Die restliche Fläche der Bleibadoberfläche ist mit Anthrazit abgedeckt. Um das durch die Drähte ausgetragene Blei zu ersetzen, wird bei Bedarf Blei in Form von Bleibarren dem Bleibad zugesetzt.

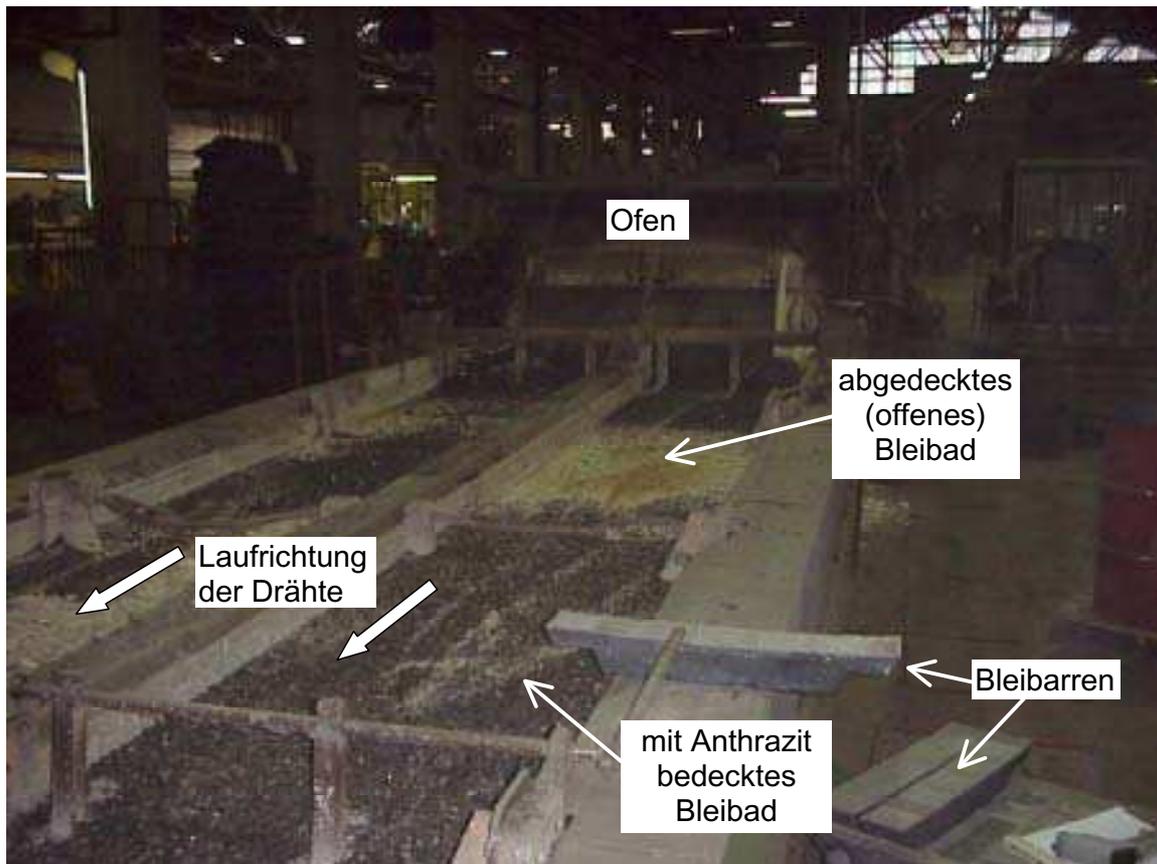


Abbildung 3.5: Anlage Patentieren IV - Bleibad

3.2 Untersuchungen zur Abwärmenutzung

Erste Abschätzungen zum Abwärmepotential erfolgten im Projekt „Abwärmenutzung und Einsatz Erneuerbarer Energieträger in einem metallverarbeitenden Betrieb“ /1/. Im Rahmen des gegenständlichen Projektes wurden Detailuntersuchungen an der Anlage Patentieren IV durchgeführt.

Für eine sinnvolle Abwärmenutzung müssen eine Reihe von Rahmenbedingungen beachtet werden. Die Wesentlichsten davon sind einerseits das „Angebot“ an Abwärme (welches im Rahmen dieses Projektes untersucht wird) und andererseits die „Nachfrage“ nach Wärme (was in Projekt „Ressourceneffizienzsteigerung durch experimentelle Optimierung der Dampfbereitstellung und durch Reduktion der Produktionsabfälle in einem metallverarbeitenden Betrieb“ untersucht wird). Nur wenn es genügende Übereinstimmungen zwischen „Angebot“ und „Nachfrage“ gibt, sind die Voraussetzungen für eine erfolversprechende Abwärmenutzung gegeben. „angebotsseitige“ Rahmenbedingungen sind

beispielsweise Temperaturniveau, Leistung, zeitliche Temperatur- und Leistungsschwankungen, Verfügbarkeit, Medium welchem die Wärme entzogen und auf welches sie übertragen werden soll, Ort des Wärmeanfalls, mögliche Einflüsse auf den Produktionsprozess, technische Umsetzbarkeit und schlussendlich die Wirtschaftlichkeit. „Nachfrageseitige“ Rahmenbedingungen sind zum Teil die Gleichen wie die „angebotsseitigen“ (z.B. Temperaturniveau, Leistung, zeitliche Temperatur- und Leistungsschwankungen) hinzu kommen dabei noch Punkte wie Versorgungssicherheit, Zweck der Nutzung, etc..

Die bei der Fa. Joh. Pengg AG theoretisch nutzbare Abwärme stammt aus erdgasbeheizten Öfen und Bädern sowie einem Trockenofen. Bei all diesen Anlagen ist der Verbrennungsgasstrom der die Anlage verlässt die Wärmequelle einer möglichen Abwärmenutzung. Technisch möglich ist die Abwärmenutzung durch Einbau eines Wärmetauschers in den Verbrennungsgasstrom, in welchem dem heißen Verbrennungsgas Wärme entzogen und auf ein anderes Wärmeträgermedium (meist Luft oder Wasser, aber auch Thermoöl für Temperaturen über 100 °C) übertragen wird. Die warme Luft oder das warme Wasser kann zur Beheizung oder für sonstige Zwecke (z.B. Trocknung) genutzt werden. Eine der wesentlichen Rahmenbedingungen bei der Abwärmenutzung ist, dass das Wärmeträgermedium theoretisch maximal die Temperatur des Verbrennungsgases beim Eintritt in den Wärmetauscher erreichen kann, in der Praxis allerdings einige Grad Celsius darunter liegt. Hat z.B. das Verbrennungsgas beim Eintritt in den Wärmetauscher 95 °C, so ist theoretische eine Erwärmung des Wassers (bei Verwendung eines Verbrennungsgas/Wasser-Wärmetauschers) auf 95 °C möglich, in der Praxis können aber nur ca. 92 °C erreicht werden. Bei der „normalen“ Abkühlung des Verbrennungsgases ist darauf zu achten, dass der Taupunkt (welcher im Wesentlichen vom verwendeten Brennstoff und vom Sauerstoffgehalt des Verbrennungsgases abhängig ist) nicht unterschritten wird, sodass es zu keiner Kondensation des Wasserdampfes im Wärmetauscher kommen kann. Wird der Taupunkt aber bewusst unterschritten (was z.B. bei Verbrennungsgas-Kondensationsanlagen oder bei Brennwertkesseln der Fall ist), so können wesentlich größere Abwärmemengen als bei der „normalen“ Abkühlung des Verbrennungsgases gewonnen werden, da dabei auch die frei werdende Kondensationswärme genutzt werden kann. Diese Wärme fällt allerdings erst bei Temperaturen unter dem Taupunkt an (Niedertemperaturwärme). Die Wärmetauscher für Kondensationsanlagen sind aus korrosionsbeständigem Material zu fertigen und das anfallende Kondensat muss ordnungsgemäß entsorgt werden. Durch den Einbau eines Wärmetauschers in den Verbrennungsgaskanal werden auch die Druckverhältnisse im

Verbrennungsgasstrom verändert. Das kann bedeuten, dass ein Kamin der jetzt mit Naturzug funktioniert, nach dem Einbau eines Wärmetauschers zusätzlich mit einem Verbrennungsgas-Ventilator ausgestattet werden muss, um die ursprünglich vorhandenen Druckverhältnisse wieder herzustellen.

Bei der Abwärmenutzung in der Fa. Joh. Pengg AG ist anzustreben, die Abwärme „in der Linie“ zu nutzen, weil es dabei zu keinen Beeinträchtigungen anderer Anlagen kommt. Wird beispielsweise bei der Anlage Patentieren IV die Abwärme des Ofens zur Erwärmung eines Bades dieser Anlage genutzt, so ist bei einer möglichen Störung des Ofens auch keine Wärme zur Baderwärmung erforderlich, da ohne Ofen die gesamte Anlage nicht betrieben werden kann. Würde hingegen die Abwärme zur Beheizung eines Bades einer anderen Anlage eingesetzt werden, müsste eine 100%ige Redundanz der Abwärmeversorgung vorgesehen werden, da es bei einer möglichen Störung der Abwärmeversorgung zu einem Ausfall der anderen Anlage käme. Daher werden als erstes die Möglichkeiten der Abwärmenutzung in der Linie untersucht. Sollte es keine sinnvollen Möglichkeiten der Abwärmenutzung in der Linie geben und sollte die Abwärme dennoch genutzt werden, sind Vorkehrungen gegen mögliche Störungen bzw. Ausfälle der Abwärme zu treffen.

Eine besonders elegante Möglichkeit zur Abwärmenutzung wäre die Errichtung eines Wärmeverbundes für den gesamten Betrieb. Alle Wärmequellen würden in den Wärmeverbund einspeisen und alle Wärmeverbraucher würden aus dem Wärmeverbund entnehmen. Dies hätte den Vorteil, dass nicht für alle Wärmeeinspeiser eine 100%ige Redundanz erforderlich wäre, da ein gleichzeitiger Ausfall aller Einspeiser sehr unwahrscheinlich ist und außerdem durch eine entsprechende Regelung immer die günstigsten Wärmequellen vorrangig genutzt werden könnten. Vor der Realisierung eines Wärmeverbundes müssten allerdings alle möglichen Erzeuger und Verbräucher genau untersucht und aufeinander abgestimmt werden.

Abwärmenutzung bei der Anlage Patentieren IV

Bei der Anlage Patentieren IV (Beschreibung siehe Kapitel 3.1) fällt Abwärme beim Ofen an, gleichzeitig besteht Wärmebedarf zur Beheizung des Blei-, Aktivierungs-, Phosphat- und Seifenbades. Das Blei- und Aktivierungsbad sind derzeit mit Strom beheizt, für das Bleibad sind Badtemperaturen bis zu 650 °C erforderlich. Das Phosphat- und Seifenbad (maximale Badtemperatur 95 °C) wird mit Heißwasser beheizt. Eine Abwärmenutzung in der Linie ist, zumindest theoretisch, zur Beheizung des Aktivierungs-, Phosphat- und Seifenbades möglich.

Eine Abwärmenutzug für die Beheizung des Bleibades ist aufgrund der erforderlichen hohen Badtemperatur nicht möglich.

In Abbildung 3.6 ist der Ofen (siehe auch Abbildung 3.3 und Abbildung 3.4) mit der Verbrennungsgasführung der Anlage Patentieren IV schematisch dargestellt.

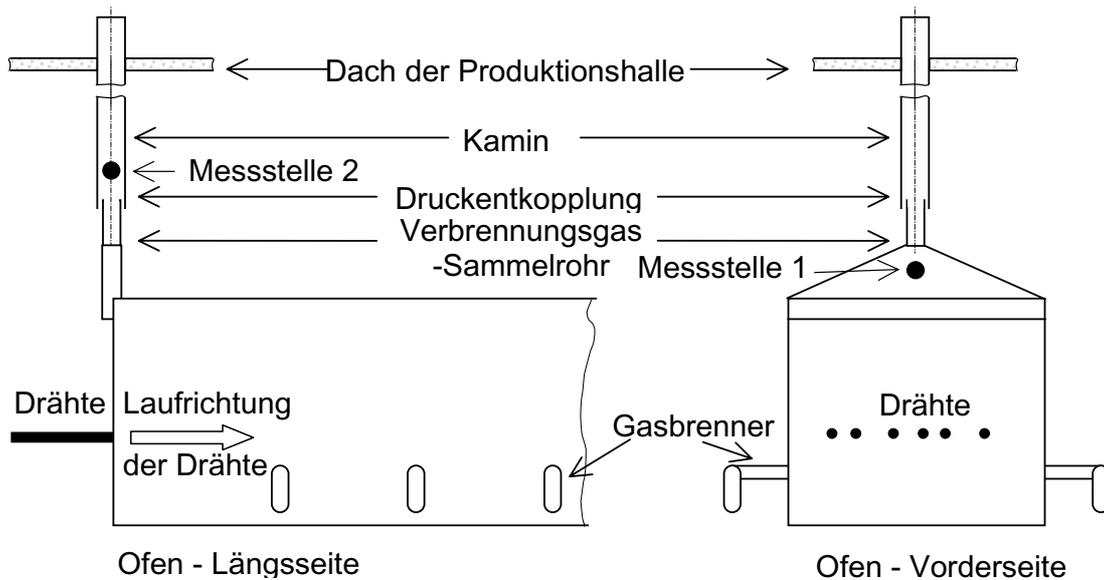


Abbildung 3.6: Anlage Patentieren IV - Schema des Ofens und Verbrennungsgasführung

Der Ofen ist innen schamottiert und wird mit insgesamt 25 Gasbrennern, welche an beiden Längsseiten des Ofens angebracht sind, beheizt. Die Nennleistung aller Brenner zusammen beträgt ca. 600 kW (8 Brenner a' 12,8 kW, 8 Brenner a' 18,6 kW und 9 Brenner a' 38,4 kW). Das Verbrennungsgas wird an der Vorderseite des Ofens oben zusammengeführt und über ein Verbrennungsgas-Sammelrohr in den Kamin geleitet. Um definierte und konstante Druckverhältnisse im Ofen gewährleisten zu können, sind Kamin und Ofen druckentkoppelt. Dies wird dadurch erreicht, dass der Kamin nicht dicht mit dem Verbrennungsgas-Sammelrohr und dem Ofen verbunden ist. Das Verbrennungsgas-Sammelrohr hat deshalb einen kleineren Außendurchmesser als der Innendurchmesser des Kamins ist. Somit kann das Verbrennungsgas-Sammelrohr ein Stück in den Kamin gesteckt werden, wodurch bei einem entsprechenden großen Spalt an der Übergangsstelle der Unterdruck im Ofen auch bei unterschiedlichem Kaminzug konstant bleibt. Bei stärkerem Kaminzug wird durch den Spalt an der Übergangsstelle von Verbrennungsgas-Sammelrohr und Kamin Umgebungsluft angesaugt. Dadurch erfolgt jedoch auch eine Abkühlung des Verbrennungsgases, was sich

ungünstig auf eine eventuelle Abwärmenutzung auswirken kann, weil dadurch die maximal erreichbare Temperatur der nutzbaren Abwärme sinkt. Prinzipiell ist eine Abwärmenutzung des Ofens vor oder nach der Druckentkopplung möglich, daher wurden die zur Ermittlung des Abwärmepotentials erforderlichen Messungen auch vor (Messstelle 1) und nach (Messstelle 2) der Druckentkopplung durchgeführt. Obwohl, aufgrund der höheren Verbrennungsgastemperatur, eine Abwärmenutzung vor der Druckentkopplung anzustreben ist, wird in der Praxis eine Abwärmenutzung an dieser Stelle nur mit hohem technischen Aufwand realisierbar sein, da die Verhältnisse im Ofen durch den Einbau eines Wärmetauschers nicht beeinflusst werden dürfen.

Zur Ermittlung des Abwärmepotentials wurde das Rechenmodell „RM_Abwärme.xls“ erstellt (siehe Anlage 1). Dieses Rechenmodell berechnet aus den Angaben der Betriebsstunden pro Jahr (h/a), des Gasverbrauchs (m_N^3/h), des Sauerstoffgehalts des trockenen Verbrennungsgases ($v\%$) und der Temperatur des Verbrennungsgases ($^{\circ}C$) vor und nach einem Wärmetauscher die nutzbare Abwärmeleistung (kW), die nutzbare Abwärmemenge pro Jahr (MWh/a) sowie die zur Auslegung eines Wärmetausches wichtigen Parameter wie Verbrennungsgas-Massenstrom (kg/h) und Verbrennungsgas-Normdichte (kg/m_N^3). Die Angaben über den Gasverbrauch des Ofens stammen einerseits von der Fa. Joh. Pengg AG (monatlicher Gasverbrauch im Jahr 2003), andererseits wurden sie während der Messungen vor Ort durch Ablesung des an der Anlage installierten Gaszählers erhoben und sind in Tabelle 3.2 und Tabelle 3.3 bzw. Diagramm 3.1 und Diagramm 3.2 zusammengestellt.

Tabelle 3.2: Gesamtgasverbrauch und Gasverbrauch des Ofens der Anlage Patentieren IV im Jahre 2003 (Quelle: Fa. Joh. Pengg AG)

Monat	Gesamtgasverbrauch Joh. Pengg AG		Gasverbrauch Ofen Anlage Patentieren IV		
	(m_N^3)	(MWh)	(m_N^3)	(MWh)	Anteil an Gesamtverbrauch (%)
Jan 03	270.617	2.695	51.651	514	19%
Feb.03	248.133	2.471	52.857	526	21%
Mär.03	221.561	2.206	32.783	326	15%
Apr.03	206.411	2.055	14.526	145	7%
Mai.03	185.075	1.843	41.290	411	22%
Jun.03	146.229	1.456	31.912	318	22%
Jul.03	124.465	1.239	23.536	234	19%
Aug.03	141.546	1.410	27.140	270	19%
Sep.03	173.364	1.726	33.521	334	19%
Okt.03	224.515	2.236	35.609	355	16%
Nov.03	201.192	2.003	37.618	375	19%
Dez.03	240.284	2.393	48.289	481	20%
<i>Summe 03</i>	<i>2.383.392</i>	<i>23.734</i>	<i>430.732</i>	<i>4.289</i>	<i>18%</i>

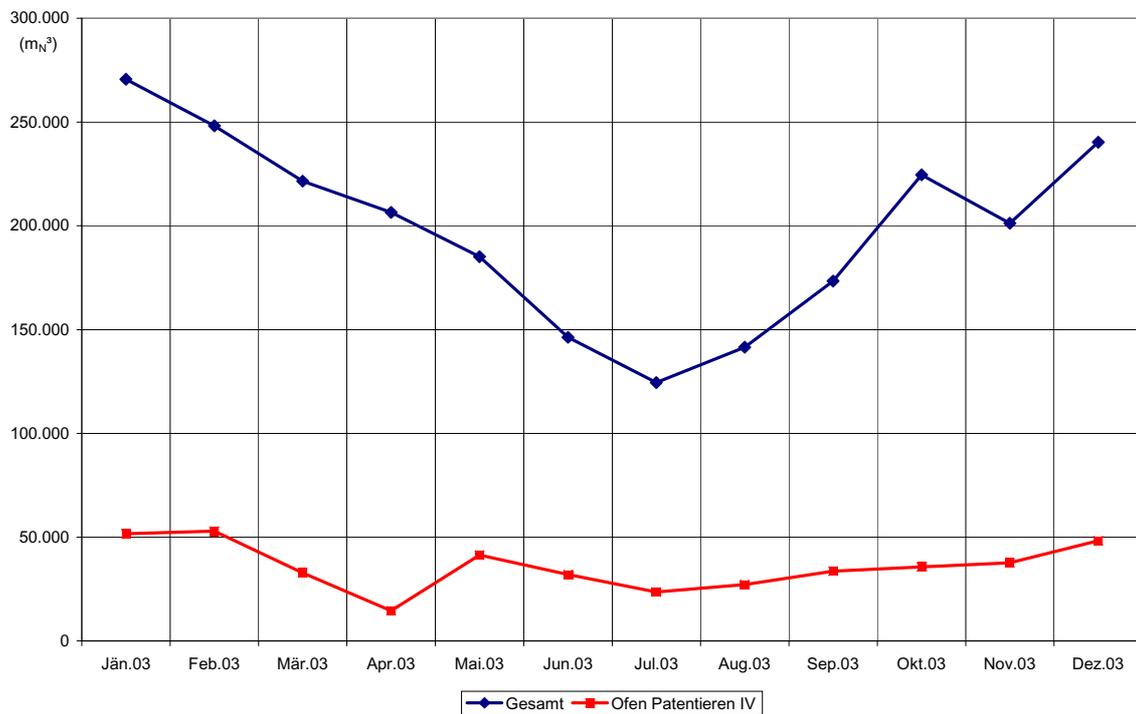


Diagramm 3.1: Gesamtgasverbrauch und Gasverbrauch des Ofens der Anlage Patentieren IV im Jahre 2003 (Quelle: Fa. Joh. Pengg AG)

Tabelle 3.3: Kumulierter Gasverbrauch des Ofens der Anlage Patentieren IV während der Messungen

Zeit	kumulierter Gasverbrauch	
	(m _N ³)	(kWh)
08:32	0,0	0,0
09:15	32,5	323,9
10:05	66,0	657,3
11:07	114,6	1.141,6
11:52	150,3	1.497,0
12:17	170,5	1.698,2
12:42	190,4	1.896,4
14:23	271,9	2.707,8
14:28	276,0	2.748,6
15:04	304,1	3.028,5
16:00	348,3	3.468,8
16:30	372,3	3.707,8
16:55	393,5	3.918,5

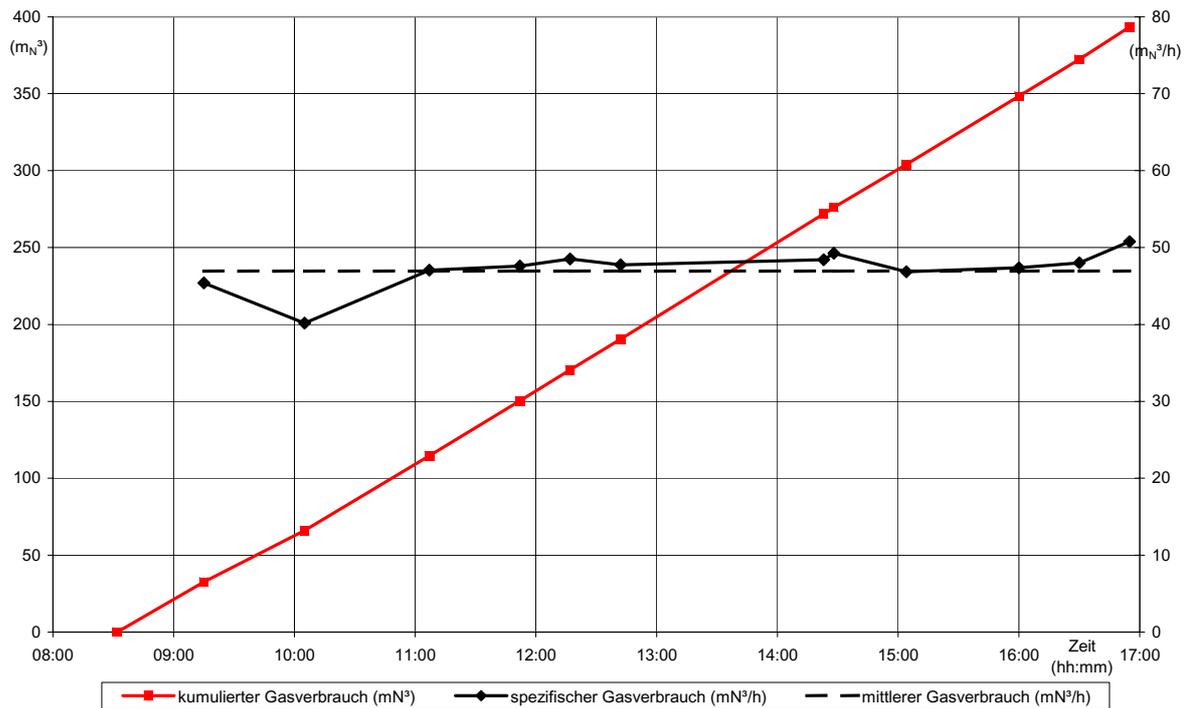


Diagramm 3.2: Kumulierter Gasverbrauch des Ofens der Anlage Patentieren IV während der Messungen

Wie der Tabelle 3.1 zu entnehmen ist, betrug der jährliche Gasverbrauch des Ofens der Anlage Patentieren IV ca. 18% des Gesamtgasverbrauchs der Fa. Joh. Pengg AG und ist somit einer der größten Einzelverbraucher. Unter der Annahme von 8.000 Vollbetriebsstunden pro Jahr betrug der durchschnittliche Gasverbrauch des Ofens der Anlage Patentieren IV ca. 53,8 m_N³/h, was einer durchschnittlichen Brennstoffleistung von ca. 536 kW entspricht. Während der Messungen (Zeitraum: 8 Stunden 23 Minuten) wurden ca. 393,5 m_N³ Gas verbraucht, was einem durchschnittlichen Gasverbrauch von ca. 46,9 m_N³/h und einer durchschnittlichen Brennstoffleistung von ca. 467 kW entspricht. Wie leicht zu sehen, gibt es eine gute Übereinstimmung zwischen dem durchschnittlichen Gasverbrauch pro Jahr und dem Gasverbrauch während der Messungen. Daraus folgt, dass sich der Ofen der Anlage Patentieren IV während der Messungen in einem repräsentativen Betriebszustand befunden hat und somit auch die Messergebnisse repräsentativ sind. Zur Ermittlung des Abwärmepotentials wurden Messungen der Verbrennungsgasparameter (Temperatur und Sauerstoffgehalt) an zwei verschiedenen Messstellen (siehe Abbildung 3.5) unter

Verwendung des Handmessgeräts Testo 300M durchgeführt. Die Ergebnisse der Messungen sind in Kapitel 4.1 dargelegt.

3.3 Untersuchungen zur Wärmedämmung der Bleibäder

3.3.1 Beschreibung der Bleibäder

Die Bleibäder sind für eine kontrollierte Erwärmung (bei den Anlagen Ölvergüten) und Abkühlung (bei den Anlagen Patentierten) der Drähte erforderlich. Die Bleibadtemperaturen liegen zwischen ca. 400 und 650 °C (Ausnahme: Bleibadglühe zur Drahterwärmung bei den Anlage Ölvergüten IX mit einer Bleibadtemperatur von ca. 860 °C). Die Bleibäder befinden sich in Stahlwannen, in welchen das flüssige Blei mittels Pumpen in Längsrichtung der Wanne umgewälzt wird, um überall eine möglichst gleichmäßige Bleibadtemperatur zu erreichen. Die Beheizung der Bleibäder erfolgt entweder mit Erdgas oder Strom, wobei die Gasbrenner bzw. Heizstäbe seitlich an den Bädern unter der Wanne angebracht sind. Die durch das Bleibad laufenden Drähte werden mit speziellen Halterungen im unteren Bereich des Bades gehalten. Die Stahlwannen sind nach außen hin wärmegeklämmt. An der offenen Oberseite der Wannn ist die Bleibadoberfläche mit einer Anthrazitschicht abgedeckt. Dies bewirkt einerseits eine Wärmedämmung und verhindert andererseits die Oxidation des flüssigen Bleis. Da die Stahlwannen an den Seite gut wärmegeklämmt sind, erfolgt der allergrößte Teil der Wärmeverluste über die mit Anthrazit abgedeckte Bleibadoberfläche. In der weiteren Folge werden daher nur die Wärmeverluste über die Bleibadoberfläche betrachtet. Der Ist-Zustand eines Bleibades der Anlage Patentieren IV ist in Abbildung 3.7 schematisch im Querschnitt dargestellt.

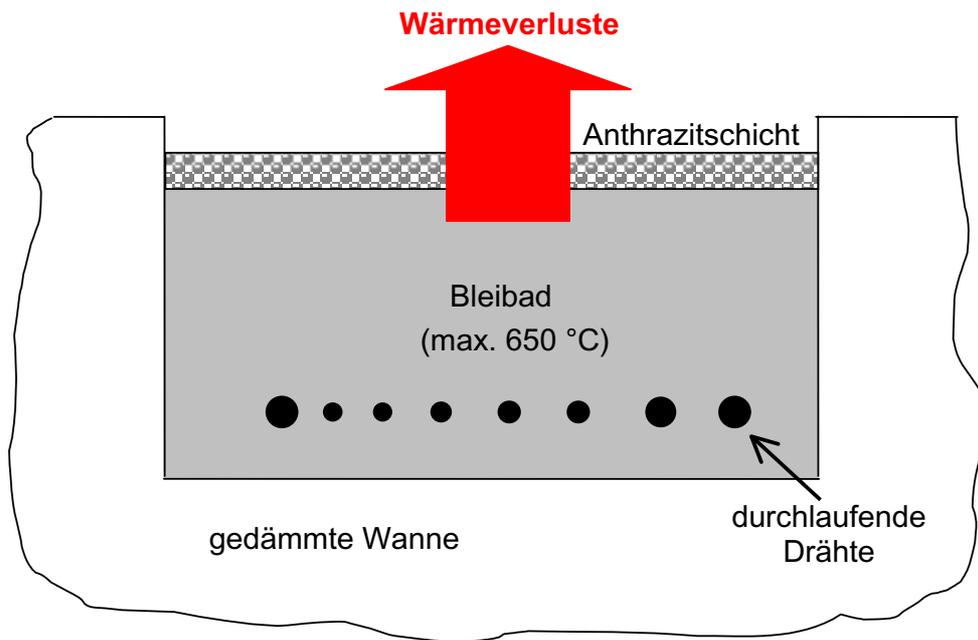


Abbildung 3.7: Anlage Patentieren IV – Ist-Zustand der Dämmung des Bleibades mit Anthrazit im Querschnitt

Die Beheizung der Bleibäder der Anlagen Patentieren I und Patentieren IV erfolgt elektrisch mittels auf beiden Längsseiten des Bades unterhalb der Wanne eingeschobener Heizstäbe. Die Leistung der Heizstäbe wird elektronisch geregelt, wobei die Regelung der Heizleistung der Heizstäbe aufgrund der gemessenen Bleibadtemperatur erfolgt. Die Drähte haben beim Eintritt in das Bleibad ungefähr die Temperatur des Ofens (ca. 950 °C), da sie direkt aus diesem kommen. Durch die heißen Drähte erfolgt, zusätzlich zur Beheizung, ein weiterer Wärmeeintrag ins Bleibad. Ist der Wärmeeintrag ins Bleibad zu hoch und kann die Badtemperatur trotz der elektronischen Regelung nicht auf der gewünschten Temperatur gehalten werden, dann wird die Stärke der Anthrazitschicht reduziert bzw. stellenweise gänzlich von der Bleibadoberfläche entfernt. Dadurch werden die Wärmeverluste über die Bleibadoberfläche erheblich erhöht, und die elektronische Temperaturregelung ist wieder in der Lage, durch Wärmezufuhr über die Heizstäbe die Bleibadtemperatur zu regeln.

3.3.2 Beschreibung des Rechenmodells zur Vorbereitung der Wärmedämmversuche

Zur Vorbereitung der Dämmversuche wurde ein Rechenmodell erstellt, mit welchem die Wärmeverluste über die Oberfläche von Bleibädern und die erforderlichen Dämmschichtstärken ermittelt wurden.

Die Wärmeübertragung kann grundsätzlich auf drei verschiedene Arten erfolgen. Diese sind

- Wärmeleitung (Wärmeübertragung innerhalb eines Körpers, z.B. durch eine Wand),
- Konvektion (Wärmeübertragung mittels eines bewegten flüssigen oder gasförmigen Medium, z.B. Erwärmung der Raumluft mit einem Heizkörper) und
- Strahlung (Wärmeübertragung durch elektromagnetische Strahlung, z.B. von der Sonne auf die Erde).

In der Praxis treten meist alle drei Arten der Wärmeübertragung auf, allerdings ist in der Regel eine oder zwei Arten derart dominierend, sodass zumeist mindestens eine Art der Wärmeübertragung bei realistischen Betrachtungen vernachlässigt werden kann.

Bei den Wärmeverlusten über die Oberfläche der Bleibäder liegt folgende Situation vor: Ausgehend von der flüssigen Bleibadoberfläche (bzw. der Unterseite der Anthrazitschicht, welche die Temperatur der Bleibadoberfläche annimmt) erfolgt die Wärmeübertragung durch die Anthrazitschicht durch Wärmeleitung. Von der Oberfläche der Anthrazitschicht wird die Wärme durch Konvektion und Strahlung an die Umgebung abgegeben. Zur Ermittlung dieser Wärmeverluste wurde ein Rechenmodell entwickelt, wobei davon ausgegangen wird, dass die in der Europäischen Norm EN 304: 1992-09 „Heizkessel“ [5] angegebenen Näherungsmethode zur Ermittlung der Wärmeverluste von horizontalen und vertikalen Kesselwänden auch für Bleibadoberflächen angewendet werden kann. Mit dieser Näherungsmethode ergibt sich der in Diagramm 3.3 dargestellte Zusammenhang der spezifischen Wärmeverluste (W/m^2) durch Konvektion und Strahlung in Abhängigkeit von der Oberflächentemperatur ($^{\circ}C$) bei einer Umgebungstemperatur von $30^{\circ}C$.

Spezifische Wärmeverluste von Heizkessel durch Konvektion und Strahlung

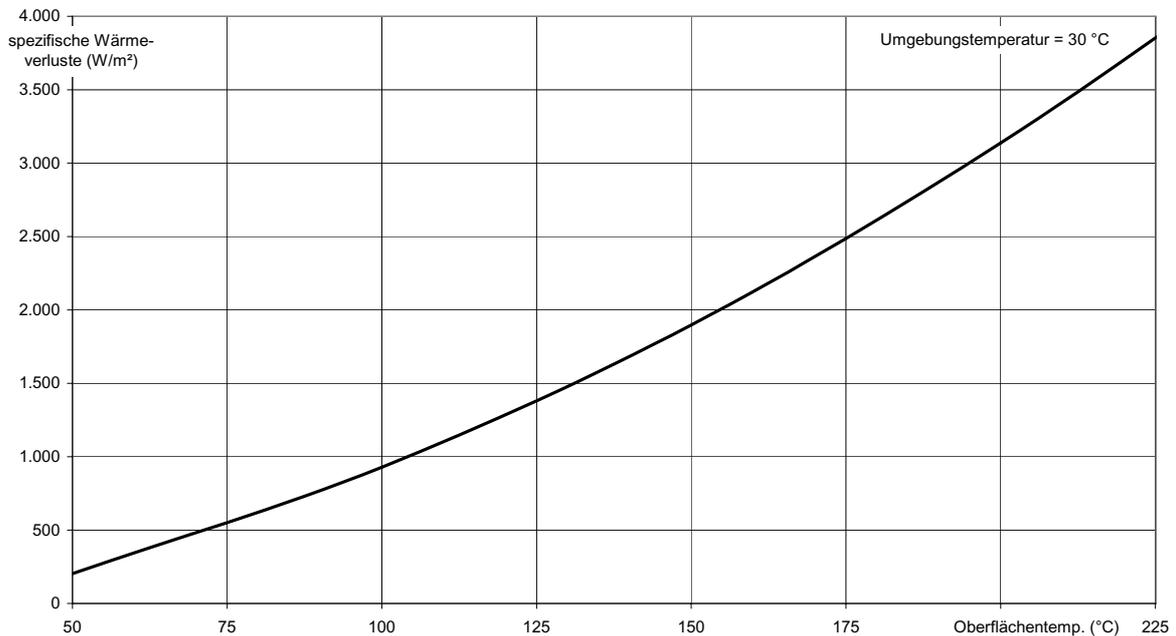


Diagramm 3.3: Spezifische Wärmeverluste durch Strahlung und Konvektion in Abhängigkeit von der Oberflächentemperatur bei einer Umgebungstemperatur von 30 °C

Mit diesem Rechenmodell können, ausgehend vom Ist-Zustand, die Wärmeverluste des Bleibades über die Oberfläche sowohl für den Ist-Zustand als auch für zwei unterschiedliche Dämmversionen möglicher Soll-Zustände näherungsweise berechnet werden. Die Berechnung sind deshalb nur näherungsweise möglich, weil einerseits eine Näherungsmethode für die Wärmeverluste verwendet wird und andererseits die Wärmeleitfähigkeit der Dämmmaterialien in diesem Temperaturbereich nicht bekannt sind. In Dämmversion 1 wird über der vorhandenen Anthrazitschicht eine zusätzliche Dämmschicht (z.B. Steinwolle) aufgebracht (schematische Darstellung im Querschnitt siehe [Abbildung 3.8](#)). In Dämmversion 2 erfolgt die Wärmedämmung anstelle der Anthrazitschicht ausschließlich mit einer anderen Dämmschicht, beispielsweise ebenfalls Steinwolle (schematische Darstellung im Querschnitt siehe [Abbildung 3.9](#)).

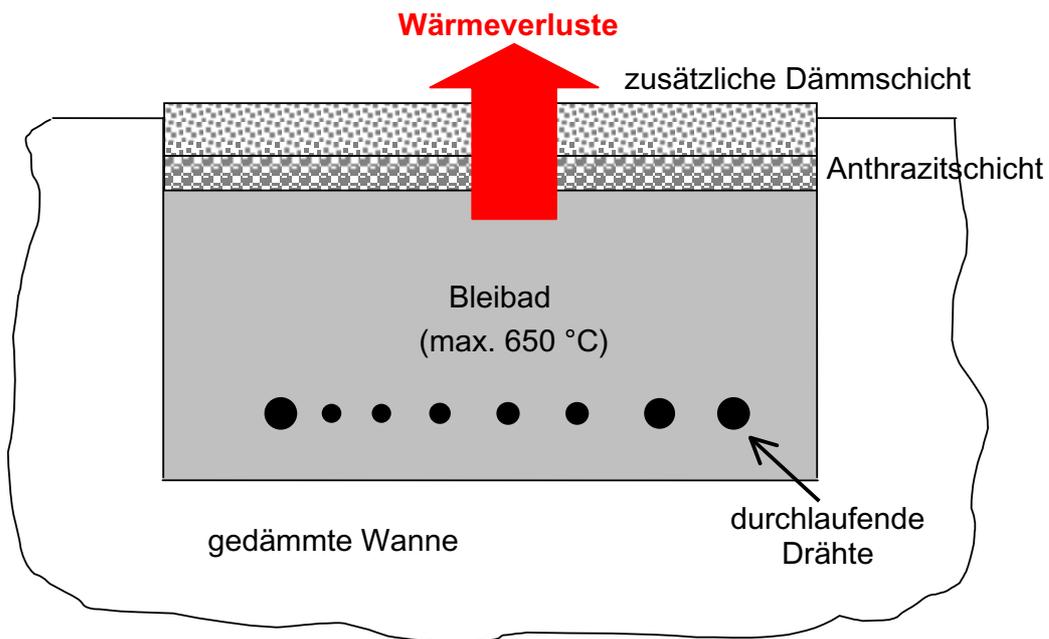


Abbildung 3.8: Wärmedämmung des Bleibades – Dämmversion 1: Zusätzliche Dämmschicht

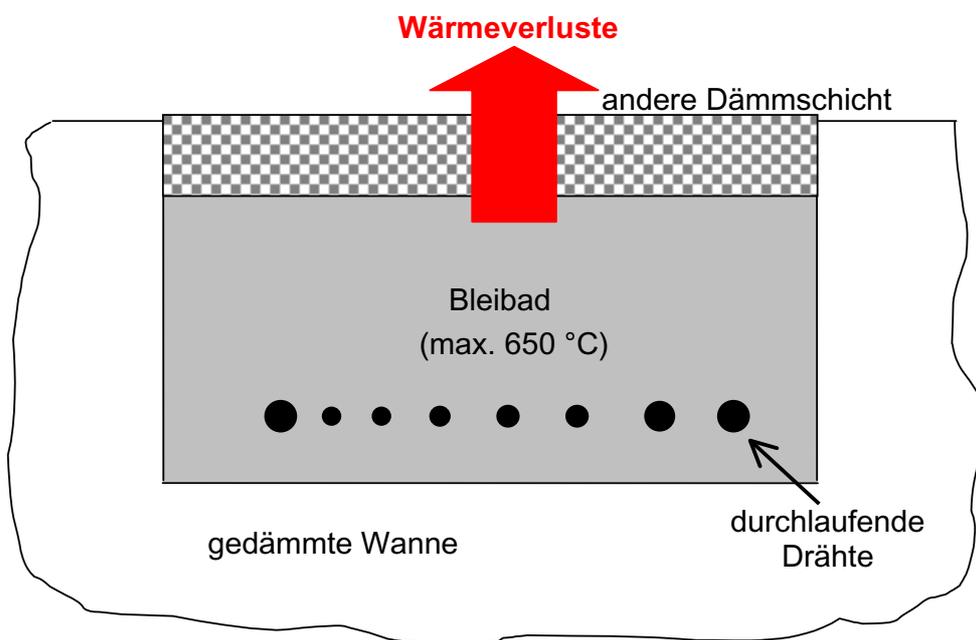


Abbildung 3.9: Wärmedämmung des Bleibades – Dämmversion 2: Andere Dämmung

Zur Berechnung der Wärmeverluste für den Ist-Zustand sind die Eingabe der Umgebungstemperatur, der Bleibadtemperatur, der jährlichen Betriebsstunden, der

Abmessungen der Oberfläche (Länge und Breite), der Stärke der Anthrazitschicht und der Oberflächentemperatur der Anthrazitschicht ins Rechenmodell erforderlich. Hierfür wird der Wärmeübergangskoeffizient α und die Wärmeleitfähigkeit λ der Anthrazitschicht berechnet.

Zur Berechnung die Wärmeverluste für die Dämmversion 1 (zusätzliche Dämmung über der Anthrazitschicht) sind, zusätzlich zu den Daten des Ist-Zustandes, die gewünschte Oberflächentemperatur an der Oberseite der zusätzlichen Dämmschicht sowie deren Wärmeleitfähigkeit einzugeben. Damit wird die erforderliche Dämmschichtstärke der zusätzlichen Dämmschicht sowie die Einsparungen an Wärmeverlusten gegenüber dem Ist-Zustand überschlägig berechnet.

Zur Berechnung der Wärmeverluste der Dämmversion 2 (nur andere Dämmschicht) sind zusätzlich zu den Daten des Ist-Zustandes, die gewünschte Oberflächentemperatur sowie die Wärmeleitfähigkeit des entsprechenden Dämmmaterials einzugeben. Damit wird ebenfalls die erforderliche Dämmschichtstärke der anderen Dämmschicht sowie die Einsparungen an Wärmeverlusten gegenüber dem Ist-Zustand überschlägig berechnet.

In [Abbildung 3.10](#) ist beispielhaft eine Berechnung der Wärmeverluste des Ist-Zustandes sowie für beide Dämmversionen dargestellt. In den grün hinterlegten Feldern sind die oben beschriebenen Eingabedaten enthalten. Mit diesen Werten werden die Berechnungen für die drei Zustände (Ist-Zustand, Dämmversion 1 und Dämmversion 2) durchgeführt. Die Berechnungen werden für zwei Teilflächen (linkes und rechtes Bleibad), welche verschiedenen Abmessungen, Temperaturen etc. haben können angestellt. Die Wärmeverluste der Teilflächen sind in den Feldern „Summe_...“ aufsummiert. Die Summe_-Werte entsprechen den gesamten Wärmeverlusten der linken und rechten Bleibadoberfläche.

Wärmeverluste über Oberflächen durch Strahlung und Konvektion		
	Eingabezellen	
Umgebungstemp. (°C) *)	25	
Betriebsstunden pro Jahr (h/a)	8.000	
*) > 20 °C		
Ist-Zustand (Dämmung mit Anthrazit)	Teilfläche 1	Teilfläche 2
Beschreibung - Teilfläche	Oberfl. re. Bleibad	Oberfl. li. Bleibad
Badtemperatur innen (°C)	550	450
Länge (m)	11,00	11,00
Breite (m)	0,90	0,90
Dämmstärke (mm)	50	50
Oberflächentemp. t_ist (°C) **)	200	190
**) 20 bis 200 °C		
Fläche (m²)	9,90	9,90
alpha (W/m²*K)	18,4	17,9
Wärmeverluste bei t_ist (W)	31.883	29.299
Wärmeverluste bei t_ist (kWh/a)	255.066	234.393
lambda_ist (W/m*K)	0,46	0,57
Summe_Fläche (m²)	19,80	
Summe_Wärmeverluste (W)	61.182	
Summe_Wärmeverluste (kWh/a)	489.459	
Dämmversion 1: Zusätzliche Dämmung		
Oberflächentemp. t_soll (°C) ***)	70	70
lambda_Dämmmaterial (W/m*K)	0,07	0,07
***) < t_ist und > t_Umgebung		
Wärmeverluste bei t_soll (W)	5.154	5.154
Wärmeverluste bei t_soll (kWh/a)	41.235	41.235
erforderliche Dämmstärke (mm)	57	45
Einsparung (t_ist - t_soll) (W)	26.729	24.145
Einsparung (t_ist - t_soll) (kWh/a)	213.830	193.158
Einsparung in % bezogen auf ist	84%	82%
Summe_Wärmeverluste (W)	10.309	
Summe_Wärmeverluste (kWh/a)	82.471	
Summe Einsparung gegenüber ist (kWh/a)	406.988	
Summe Einsparung gegenüber ist (%)	83%	
Dämmversion 2: Andere Dämmung		
Oberflächentemp. t_soll (°C) ****)	50	50
lambda_Dämmmaterial (W/m*K)	0,07	0,07
****) < t_ist und > t_Umgebung		
Wärmeverluste bei t_soll (W)	2.535	2.535
Wärmeverluste bei t_soll (kWh/a)	20.279	20.279
erforderliche Dämmstärke (mm)	137	137
Einsparung (t_ist - t_soll) (W)	29.348	26.764
Einsparung (t_ist - t_soll) (kWh/a)	234.787	214.114
Einsparung in % bezogen auf ist	92%	91%
Summe_Wärmeverluste (W)	5.070	
Summe_Wärmeverluste (kWh/a)	40.558	
Summe Einsparung gegenüber ist (kWh/a)	448.901	
Summe Einsparung gegenüber ist (%)	92%	

Abbildung 3.10: Beispielhafte Berechnung der Wärmeverluste für den Ist-Zustand sowie für zwei Dämmversionen

Wie aus dem oben angeführten Beispiel ersichtlich, können durch entsprechende Wärmedämmung die derzeitigen Wärmeverluste theoretisch um bis zu 92% reduziert werden.

3.3.3 Durchführung der Wärmedämmversuche

Basierend auf diesen Berechnungen wurden in Zusammenarbeit mit der Fa. Joh. Pengg AG praktische Versuche zu einer verbesserten Wärmedämmung der Bleibäder geplant und vor Ort durchgeführt. Ziel der Versuche war es, im Produktionsprozess anwendbare Möglichkeiten der Wärmedämmung der Bleibäder zu testen und das Rechenmodell mittels der gemessenen Daten an die praktischen Einsatzbedingungen anzupassen. Dabei wurden u.A. die Wärmeleitfähigkeit von Anthrazit und von Steinwolle-Dämmplatten in Abhängigkeit der Dämmstärke und der mittleren Temperatur in den Dämmschichten experimentell ermittelt und nach einer polynomischen Annäherung in das Rechenmodell übernommen. Aus betrieblichen und produktionsbedingten Gründen mussten die Versuche an der Anlage Patentieren I durchgeführt werden. Da die Bauweise der Bleibäder der Anlage Patentieren I und der Anlage Patentieren IV ident ist, können die Ergebnisse direkt auf die Anlage Patentieren IV übertragen werden. Am rechten Bleibad (in Laufrichtung des Drahtes) wurden Dämmversuche mit verschiedenen Anthrazitschichtstärken, am linken Bleibad Dämmversuche mit Steinwolle-Dämmplatten in unterschiedlichen Dämmstärken durchgeführt. Das für die Dämmversuche verwendete Anthrazit war von gleicher Qualität wie das üblicherweise zur Abdeckung der Bleibäder verwendete Anthrazit. Es wurde von der Fa. Joh. Pengg AG zur Verfügung gestellt. Bei den Steinwolle-Dämmplatten handelt es sich um ein Produkt der Fa. Deutsche Rockwool GmbH & Co. OHG (Steinwolle-Dämmplatte RP-XV) mit einer Dicke von 50 mm, einer Länge von 1.000 mm, einer Breite von 625 mm und einer Wärmeleitfähigkeit bei 20 °C von 0,040 W/(m*K).

Der Versuchsaufbau ist schematisch (im Längsschnitt durch des Bleibad) in [Abbildung 3.11](#) für Anthrazitschichten unterschiedlicher Stärken und in [Abbildung 3.12](#) für unterschiedliche Dämmstärken aus Steinwolle-Dämmplatten dargestellt. In der Draufsicht ist diese Versuchsanordnung schematisch in [Abbildung 3.13](#) und in der Realität in [Abbildung 3.14](#) dargestellt.

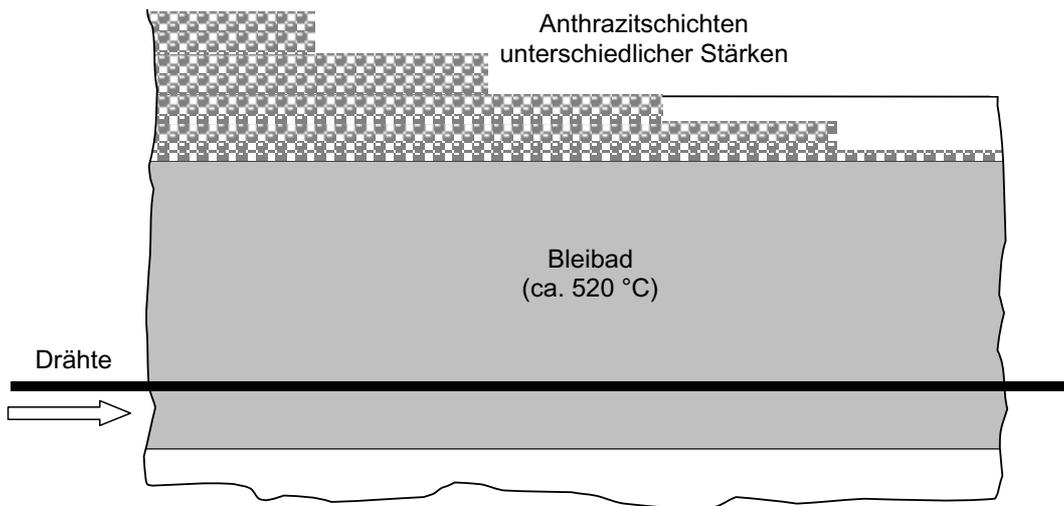


Abbildung 3.11: Schematischer Versuchsaufbau zur Durchführung von Wärmedämmversuchen mit Anthrazitschichten unterschiedlicher Stärken (Längsschnitt durch das Bleibad)

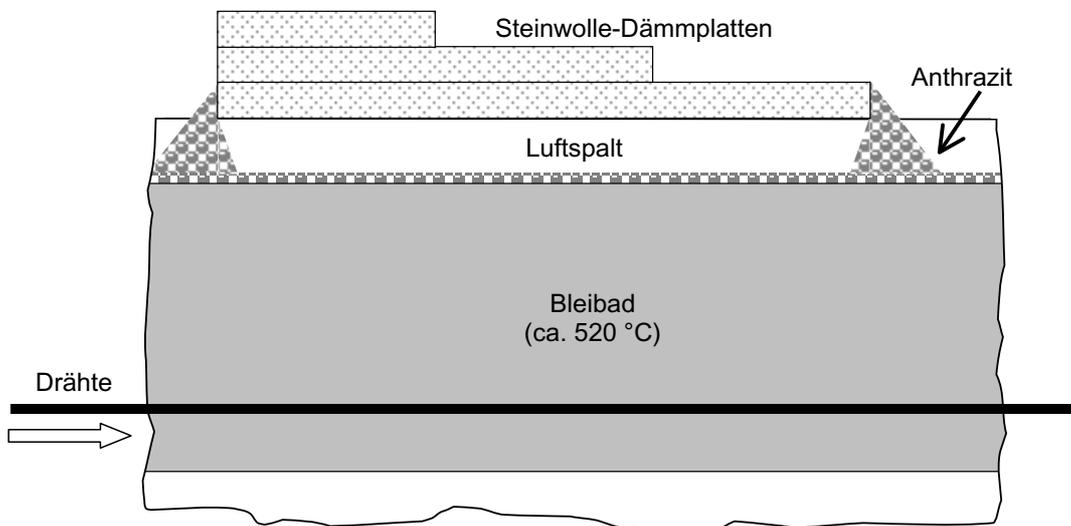


Abbildung 3.12: Schematischer Versuchsaufbau zur Durchführung von Wärmedämmversuchen mit unterschiedlichen Dämmstärken aus Steinwolle-Dämmplatten (Längsschnitt durch das Bleibad)

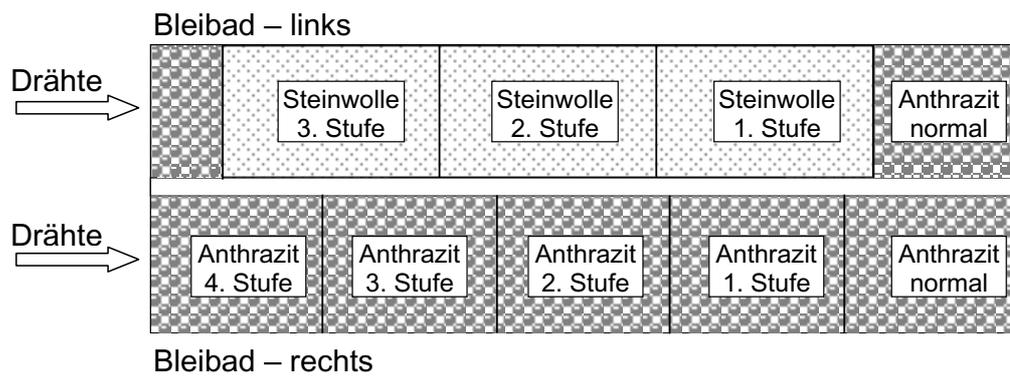


Abbildung 3.13: Schematischer Versuchsaufbau zur Durchführung von Wärmedämmversuchen in der Draufsicht

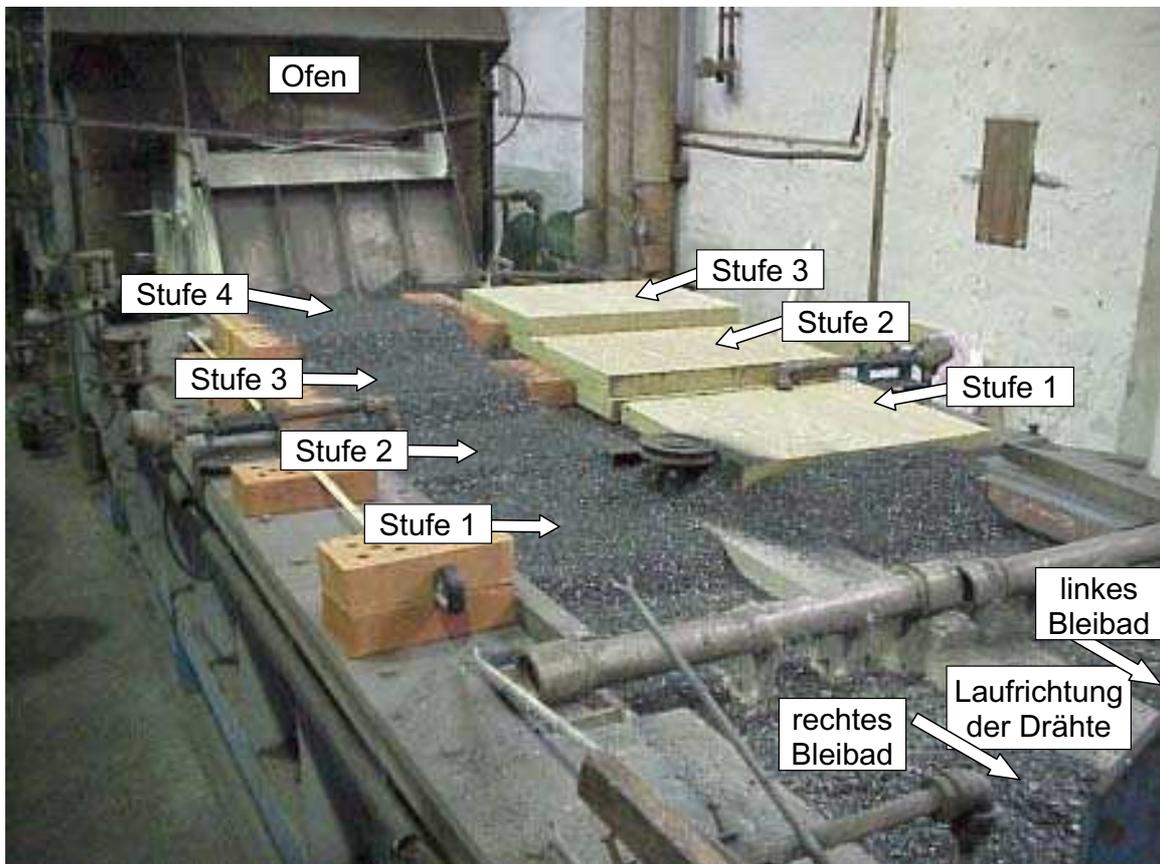


Abbildung 3.14: Versuchsaufbau zur Durchführung von Wärmedämmversuchen am Bleibad der Anlage Patentieren I

Wie in den obigen Abbildungen ersichtlich, wurden die Dämmmaterialien treppenförmig auf die Bleibäder aufgebracht. Beim rechten Bleibad wurden, über die vorhandene ca. 10 mm

dicke Anthrazitschicht, vier Stufen (erste und zweite Stufe mit je 40 mm, dritte und vierte Stufe mit je 60 mm Stufenhöhe) mit Anthrazit aufgebaut. Die ersten beiden Stufenhöhen ergaben sich aufgrund der örtlichen Gegebenheiten des Bleibades (Wannenhöhe und Höhe der seitlichen Verkleidung), die letzten beiden Stufenhöhen aufgrund der Abmaße der als seitliche Begrenzung verwendeten Ziegelbausteine. Die Länge der Stufen betrug zwischen ca. 36 und 48 cm, welche ebenfalls durch die örtlichen Gegebenheiten bedingt waren. Beim linken Bleibad wurden drei Stufen (jeweils 50 mm Stufenhöhe) mit Steinwolle-Dämmplatten aufgebaut. Die Stufenhöhe hier ergab sich aus der Dicke der Steinwolle-Dämmplatten, welche ein-, zwei- und dreilagig aufgelegt wurden, die Länge der Stufen betrug jeweils ca. 50 cm. Die Dämmplatten wurden, aus Gründen einer möglichen späteren praktischen Umsetzbarkeit der Versuchsergebnisse, nicht direkt auf die normale Anthrazitschicht aufgebracht, sondern auf dem äußeren Rand der seitlichen Einfassung des Bleibades aufgelegt. Dadurch entstand ein ca. 80 mm hoher Luftspalt zwischen der Oberseite der normalen Anthrazitschicht und der Unterseite der Dämmplatten. Die vordere und rückwärtige Seite des Luftspaltes wurden mit Anthrazit abgedeckt, sodass keine Außenluft in den Luftspalt gelangen konnte. Vor der Durchführung der Dämmversuche wurde die Oberflächentemperatur der normalen Anthrazitschicht der Bleibäder der Anlage Patentieren I gemessen. Die punktuell gemessenen Temperaturen sind der Abbildung 3.15 zu entnehmen.

Bleibad – links (mittlere Oberflächentemperatur 214 °C)					
Drähte ⇒	200	192	235	220	205
	203	205	250	200	235
	178	195	235	210	250
Bleibad – rechts (mittlere Oberflächentemperatur 243 °C)					
Drähte ⇒	187	330	268	270	305
	175	240	233	230	300
	198	230	195	250	230

Abbildung 3.15: Oberflächentemperaturen (°C) der normalen Anthrazitschicht (Dicke ca. 10 mm) an der Anlage Patentieren I vor der Durchführung der Wärmedämmversuche

Sämtliche Messungen von Oberflächentemperaturen erfolgten mit dem Handmessgerät Raynger MX4 der Fa. Raytec, welches nach dem Infrarot-Messprinzip arbeitet. An der elektronisch geregelten Badbeheizung (mittels elektrischer Heizstäbe) wurde für beide

Bleibäder eine Soll-Temperatur von 520 °C vorgegeben. Diese Art der Regelung erlaubt allerdings nur eine Temperaturregelung „nach oben“ d.h. wenn das Bad zu kalt wird kann mittels der elektrischen Heizstäbe die Beibadtemperatur erhöht werden. Wird das Bad aber z.B. aufgrund einer verbesserten Wärmedämmung zu warm, ist diese Art der Temperaturregelung unwirksam. Ist dies der Fall, so müssen die Wärmeverluste (z.B. durch teilweises Entfernen der Anthrazitabdeckung) derart erhöht werden, dass eine Regelung mithilfe der Badbeheizung möglich wird. Die Bleibadtemperatur wird in jedem Bleibad an drei Stellen (vorne, mitte, hinten) gemessen und ist Eingangsgröße für die Temperaturregelung der Bäder. Diese drei Temperaturen werden auch am Schaltschrank angezeigt und wurden gemeinsam mit den Oberflächentemperaturen der Dämmmaterialien auf sämtlichen Stufen während der gesamten Dauer der Wärmedämmversuche protokolliert. Die Versuchsdauer erstreckte sich über ca. sieben Stunden.

Der zeitliche Verlauf der Bleibadtemperatur (Mittelwert der drei Messungen), der Oberflächentemperatur der normalen Anthrazitschicht mit vier Stufen Anthrazit des rechten Bleibades der Anlage Patentieren I ist in [Diagramm 3.4](#) dargestellt. [Diagramm 3.5](#) zeigt den zeitlichen Verlauf der entsprechenden Temperaturen mit drei Stufen Steinwolle-Dämmplatten des rechten Bleibades.

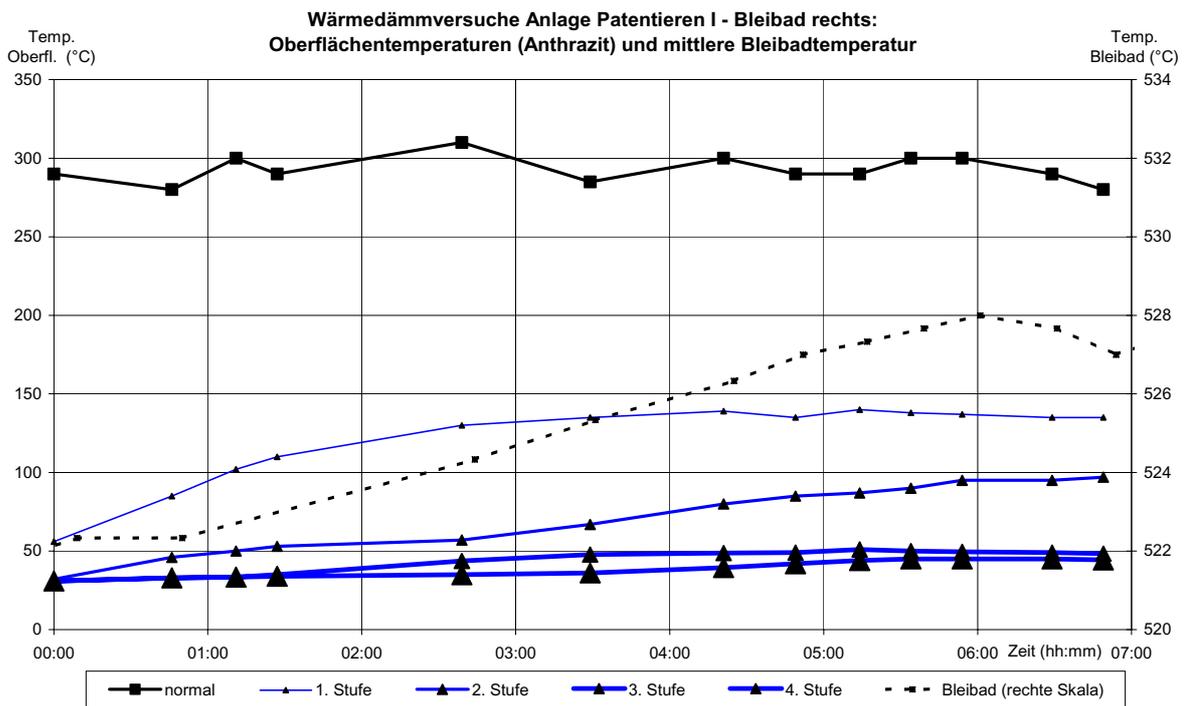


Diagramm 3.4: Zeitlicher Verlauf der Oberflächentemperatur der normalen Anthrazitschicht, der vier Stufen Anthrazitdämmung und der mittleren Bleibadtemperatur des rechten Bleibades der Anlage Patentieren I während der Wärmedämmversuche

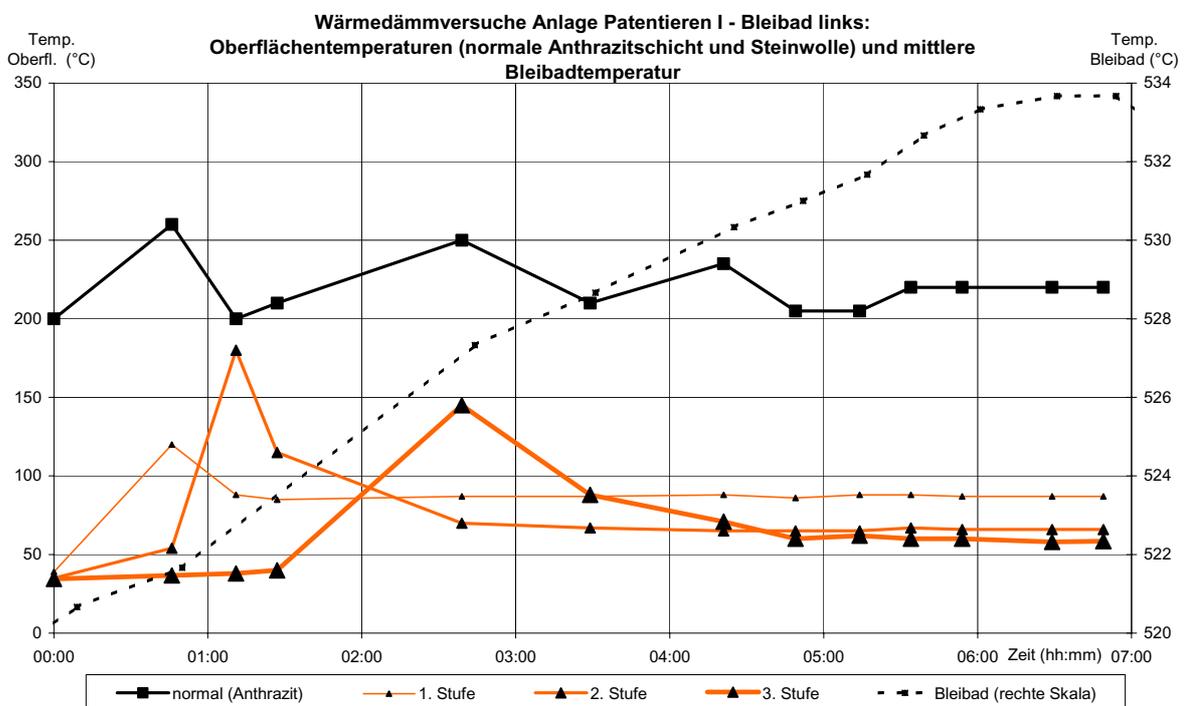


Diagramm 3.5: Zeitlicher Verlauf der Oberflächentemperatur der normalen Anthrazitschicht, der drei Stufen Steinwolledämmung und der mittleren Bleibadtemperatur des linken Bleibades der Anlage Patentieren I während der Wärmedämmversuche

Wie zu erwarten war, stiegen die Oberflächentemperaturen der Anthrazit- und Steinwollschichten langsam an, um dann auf annähernd konstanter Temperatur zu bleiben, wobei diese umso niedriger ist je dicker die zusätzlich aufgebrauchte Dämmschicht ist. Auffällig war der konstante Anstieg der Bleibadtemperaturen beider Bleibäder, trotz elektronischer Temperaturregelung. Eine mögliche Erklärung dieses Temperaturanstieges wäre, dass durch die bessere Wärmedämmung und den gleichbleibenden Wärmeeintrag durch die Drähte die Wärmeverluste geringer sind als die Wärmeinträge durch die Drähte und die elektronische Temperaturregelung wirkungslos ist, da diese nur die Heizleistung der Heizstäbe regeln kann. In anderen Worten heißt das, dass die elektronische Temperaturregelung der Bleibäder nur dann zu regeln in der Lage ist, wenn die erforderliche Heizleistung größer als null ist, d.h. „kühlen“ ist nicht möglich.

Weiters war zu beobachten, dass es bei der Steinwolle Temperaturpeaks gab, welche bei der geringsten Schichtstärke begannen und sich im Laufe der Zeit (ca. drei Stunden) bis zur größten Dämmstärke fortsetzen, um dann auf annähernd konstantem Temperaturniveau zu bleiben. Es ist anzunehmen, dass es während der Temperaturpeaks zu exothermen Reaktionen in den Steinwolle-Dämmplatten gekommen ist (eventuell „Verbrennung“ eines Bindemittels) welche nach einer gewissen Zeit (ca. ein bis zwei Stunden) abgeschlossen waren, obwohl laut Herstellerangaben ein Schmelzpunkt von über 1.000 °C angegeben wird. Ein Indiz dafür ist, dass die ursprünglich gelbe Farbe der Steinwolle-Dämmplatten an der unteren Seite in eine Graufärbung umschlug, und auch die Festigkeit der grauen Schicht wesentlich geringer als die der ursprünglichen Platte war (siehe [Abbildung 3.16](#) und [Abbildung 3.17](#)).

Nach Abnahme der Steinwolle-Dämmplatten wurde auch beobachtet, dass die normale Anthrazitschicht auf dem Bleibad in Laufe der Versuche verbrannte und nur mehr graue Anthrazitasche auf dem Bleibad schwamm (siehe [Abbildung 3.18](#)).



Abbildung 3.16: Steinwolle-Dämmplatte nach den Dämmversuchen und nach Abnahme der dritten Dämmstufe



Abbildung 3.17: Steinwolle-Dämmplatte nach den Dämmversuchen – Detailansicht der „verbrannten“ Schicht

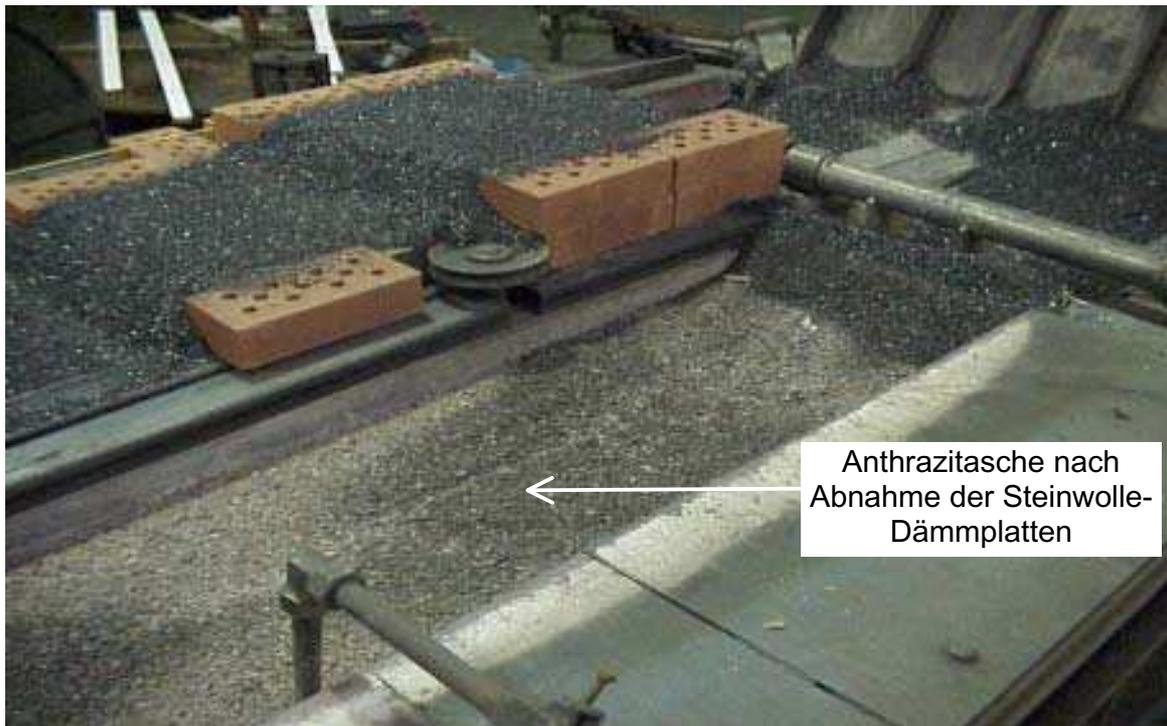


Abbildung 3.18: Anthrazitasche nach Abnahme der Steinwolle-Dämmplatten nach den Dämmversuchen

3.4 Untersuchungen zur Bleiabscheidung bzw. Entsorgung von Anthrazit

Das zur Abdeckung der Bleibäder verwendete Anthrazit dient der Wärmedämmung und verhindert eine Oxidation der Bleibadoberfläche. Im Laufe der Zeit wird es „verbraucht“, deshalb wird regelmäßig neues Anthrazit zugegeben, bis die „verbrauchte“ Schicht so groß ist, dass sie komplett entfernt und erneuert wird. Dies ist ca. alle fünf Wochen erforderlich /1/. Das „verbrauchte“ Anthrazit und die weniger „verbrauchten“ Reste der Anthrazitabdeckung (gemeinsame Bezeichnung „Bleiasche“) müssen ordnungsgemäß entsorgt werden, wobei entsprechende Entsorgungskosten anfallen. Laut Angaben der Fa. Joh. Pengg AG fallen pro Jahr insgesamt ca. 82 t Bleiasche an, worin ca. 24 bis 32 t „verbrauchte“, mit Blei kontaminierte Anthrazitreste enthalten sind. Abbildung 3.19 zeigt eine Probe bleihaltigen Anthrazits.



Abbildung 3.19: Bleihaltige Anthrazitprobe

Für diese weniger „verbrauchten“, aber bleihaltigen Anthrazitreste sollten die Möglichkeiten einer betriebsinternen energetischen Nutzung (Verbrennung) untersucht werden (siehe Projekt „Ressourceneffizienzsteigerung durch experimentelle Optimierung der Dampfbereitstellung und durch Reduktion der Produktionsabfälle in einem metallverarbeitenden Betrieb“). Dazu müsste aber vor einer Verbrennung das Blei aus den Anthrazitresten entfernt werden, da aus Kostengründen keine betriebsinterne „Abfallverbrennung“ möglich ist und daher nur „reines“ Anthrazit, z.B. gemeinsam mit Biomasse, verbrannt werden könnte. Wie die im Rahmen dieses Projektes durchgeführten Recherchen ergaben, gibt es keine technisch ausgereifte und kostengünstige Methode um Blei aus dem kontaminierten Anthrazit abzuscheiden. Somit ist eine betriebsinterne thermische Anthrazitverwertung nicht möglich. Daher wurde versucht, andere Möglichkeiten der Entsorgung des „verbrauchten“ Anthrazits zu finden. Dazu war es erforderlich, Analysen über den tatsächlichen Bleigehalt vorzunehmen. Von der Fa. Joh. Pengg AG wurden drei repräsentative Anthrazitproben gezogen, welche im Auftrag von Joanneum Research auf den Gehalt an Blei und Zink analysiert wurden. Die Analysen wurden

von der staatlich autorisierten Versuchsanstalt „FTU Forschungsgesellschaft Technischer Umweltschutz GmbH“, Wien durchgeführt (Untersuchungsbericht siehe [Anlage 3](#)). Die festgestellten Bleigehalte lagen bei 934, 185 und 1.975 mg/kg, die entsprechenden Zinkgehalte bei 210, 177 und 165 mg/kg. Auf Basis dieser Analysen wurde nach möglichen Abnehmern des bleihältigen Anthrazits gesucht.

4. Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die Ergebnisse der durchgeführten Untersuchungen zur Abwärmenutzung, zur Wärmedämmung der Bleibäder und zur Bleiabscheidung bzw. Entsorgung von Anthrazit dargestellt.

4.1 Abwärmenutzung

Die prinzipiellen Möglichkeiten der Abwärmenutzung wurden bereits in /1/ betrachtet. Basierend darauf wurden, in Abstimmung mit der Fa. Joh. Pengg AG, Detailuntersuchungen an der Anlage Patentieren IV durchgeführt. Mittels des im Rahmen dieses Projektes erstellten Rechenmodells „RM_Abwärme.xls“ (siehe Anlage 1) wurde das Abwärmepotential für die Anlage Patentieren IV ermittelt.

Die Messungen wurden an zwei verschiedenen Stellen (Messstellen) entlag des Verbrennungsgasweges durchgeführt, an welchen Wärmetauscher angebracht werden könnten. Die Stelle 1 befindet sich unmittelbar vor dem Verbrennungsgas-Sammelrohr an der Vorderseite des Ofens, die Stelle 2 im Kamin (siehe auch Kapitel 3.2, Abbildung 3.6). Gemessen wurden die Verbrennungsgas-Parameter Verbrennungsgastemperatur (°C) und Sauerstoffgehalt des trockenen Verbrennungsgases (v%), wobei an jeder Messstelle mehrere Einzelmessungen durchgeführt wurden. Die Messergebnisse für beide Messstellen sind in Tabelle 4.1 zusammengestellt.

Tabelle 4.1: Gemessene Verbrennungsgas-Parameter des Ofens der Anlage Patentieren IV an zwei verschiedenen Messstellen

Messstelle 1 - vor VG-Sammelrohr		
Messung Nr.	VG-Temp. (°C)	O ₂ -Gehalt (v%)
1	411	9,7
2	440	9,8
3	427	9,5
Mittelwert	426	9,7

Messstelle 2 - Kamin		
Messung Nr.	VG-Temp. (°C)	O ₂ -Gehalt (v%)
1	180	17,2
2	190	17,1
3	191	17,1
4	210	16,6
Mittelwert	193	17,0

Mit diesen Werten wurden, ausgehend von einem durchschnittlichen Gasverbrauch von $50 \text{ m}_N^3/\text{h}$, die theoretisch möglichen Abwärmeleistungen in Abhängigkeit von jener Temperatur, auf welche das Verbrennungsgas durch den Wärmetauscher abgekühlt wird, berechnet. In Diagramm 4.1 sind die Ergebnisse graphisch dargestellt. Auf der Abszisse ist jene Temperatur ($^{\circ}\text{C}$) aufgetragen, auf welche das Verbrennungsgas durch den Wärmetauscher abgekühlt wird. Auf der Ordinate ist die zugehörige Abwärmeleistung (kW) aufgetragen. Diese Werte sind für beide Messstellen angegeben.

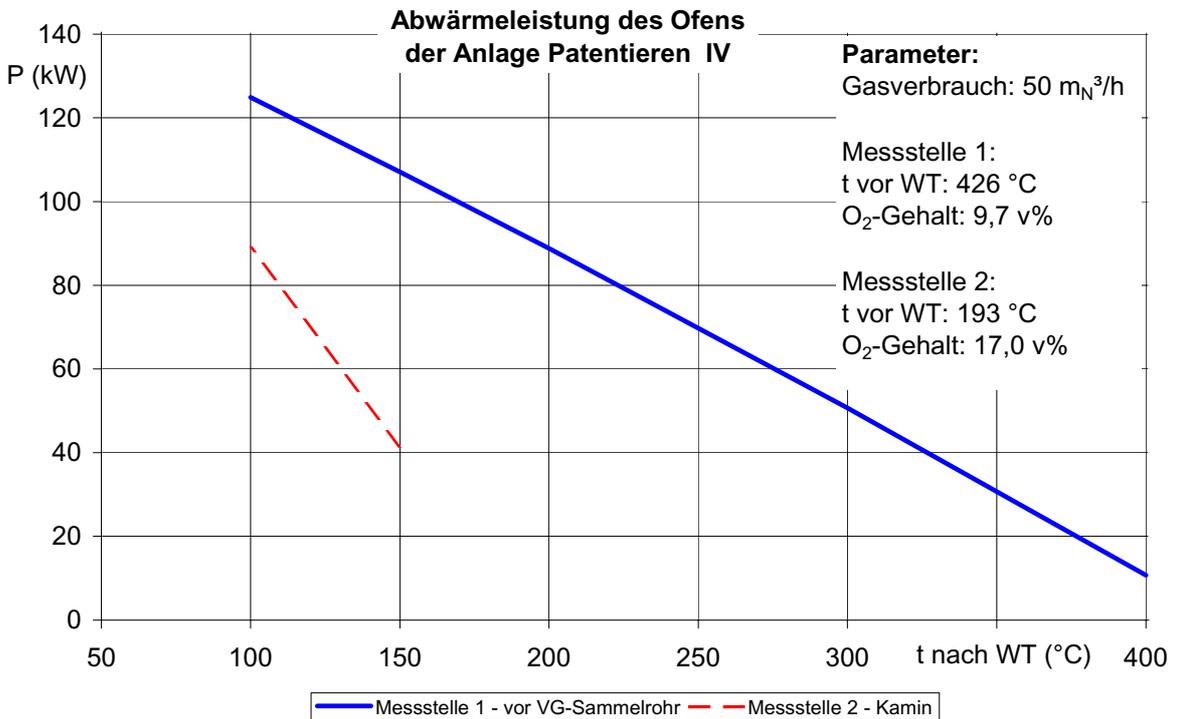


Diagramm 4.1: Abwärmleistung des Ofens der Anlage Patentieren IV an zwei verschiedenen Stellen entlang des Verbrennungsgasweges in Abhängigkeit von der Verbrennungsgastemperatur nach dem Wärmetauscher

Wie aus Diagramm 4.1 zu entnehmen, ist die theoretisch nutzbare Abwärmeleistung entscheidend vom Ort, an welchen ein Wärmetauscher angebracht werden könnte, abhängig. Dies ist dadurch bedingt, dass sich zwischen der Stelle 1 und der Stelle 2 die Druckentkopplung zwischen Ofen und Kamin befindet und an dieser Stelle dem Verbrennungsgas Umgebungsluft beigemischt wird. Dadurch verringert sich die Verbrennungsgastemperatur von $426 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (Messstelle 1) auf $193 \text{ }^{\circ}\text{C}$ (Messstelle 2), gleichzeitig steigt aber der Sauerstoffgehalt des Verbrennungsgases von $9,7 \text{ v}\%$ (Messstelle 1) auf

17,0 v% (Messstelle 2). Unter der Annahme, dass mittels der Abwärmenutzung Thermoöl auf ca. 145 °C erwärmt werden soll (wobei des Verbrennungsgas auf ca. 150 °C abgekühlt werden kann) stehen bei der Abwärmenutzung an der Messstelle 1 ca. 110 kW, an der Messstelle 2 jedoch nur ca. 40 kW zur Verfügung. Nicht so groß, aber dennoch beträchtlich ist der Unterschied der nutzbaren Abwärmeleistung bei einer Abkühlung des Verbrennungsgases auf ca. 100 °C (wobei Warmwasser mit ca. 95 °C bereitgestellt werden kann). Dabei können an der Messstelle 1 ca. 125 kW, an der Messstelle 2 jedoch nur ca. 90 kW (also rund 30% weniger) genutzt werden.

Abbildung 4.1 zeigt einen Auszug aus dem Rechenmodell „RM_Abwärme.xls“ zur Berechnung des Abwärmepotentials. Im folgenden Beispiel wird das Abwärmepotential des Ofens der Anlage Patentieren IV an der Messstelle 2 bei 8.000 Betriebsstunden pro Jahr mit einem Gasverbrauch von 50 m_N³/h und den gemessenen Verbrennungsgasparametern (Sauerstoffgehalt des Verbrennungsgases 17,0 v% und Verbrennungsgastemperatur 193 °C) bei einer Abkühlung des Verbrennungsgases auf 100 °C ermittelt. Diese Daten sind in den Eingabezellen enthalten.

Abwärmepotential - Ofen Anlage Patentieren IV	
Brennstoff: Erdgas Messstelle 2 - Kamin	
EINGABEDATEN	
	Eingabezellen
(1) Betriebsstunden pro Jahr (h/a)	8.000
(2) Erdgasverbrauch (m _N ³ /h)	50,0
(3) Sauerstoffgehalt des trockenen Verbrennungsgases (v%)	17,0
(4) Verbrennungsgastemperatur t _{vor_WT} (°C)	193
(5) Verbrennungsgastemperatur t _{nach_WT} (°C)	100
RECHENERGEBNISSE	
(6) nutzbare Abwärmeleistung (kW) bei Abkühlung von t _{vor_WT} auf t _{nach_WT}	88,9
(7) nutzbare Abwärmemenge pro Jahr (MWh/a) bei Abkühlung von t _{vor_WT} auf t _{nach_WT}	711,2
(8) Verbrennungsgas-Massenstrom (kg/s)	0,895
(9) Verbrennungsgas-Normdichte (kg/m _N ³)	1,28

Abbildung 4.1: Rechenbeispiel für das Abwärmepotential des Ofens der Anlage Patentieren IV berechnet mit dem Rechenmodell „RM_Abwärme.xls“

Mit den Eingabedaten werden die unter RECHENERGEBNISSE stehenden Werte berechnet. Diese sind:

- Die nutzbare Abwärmeleistung (kW) bei Abkühlung des Verbrennungsgases von der Temperatur vor dem Wärmetauscher auf die Temperatur nach dem Wärmetauscher
- Die nutzbare Abwärmemenge pro Jahr (MWh/a)
- Der Verbrennungsgas-Massenstrom (kg/s)
- Die Verbrennungsgas-Normdichte (kg/m_N³)

Der Verbrennungsgas-Massenstrom und die Verbrennungsgas-Normdichte sind neben anderen Daten (z.B. Temperaturen, zulässiger Druckabfall, Abmessungen des Verbrennungsgaskanals, etc.) wichtig für die Auslegung von Abwärme-Wärmetauschern.

Die aufgrund der durchgeführten Messungen am Ofen der Anlage Patentieren IV angestellten Berechnungen zeigen, dass bei einer Abwärmenutzung im Kamin (welche nach den örtlichen Gegebenheiten technisch relativ einfach umsetzbar sein müsste) und einer Abkühlung des Verbrennungsgases auf 100 °C theoretisch eine Abwärmeleistung von ca. 90 kW genutzt werden könnte. Dies entspricht bei 8.000 Jahrsbetriebsstunden einer theoretisch nutzbaren Abwärmemenge von ca. 711 MWh/a. Für eine praktische Abwärmenutzung müssen von den theoretisch möglichen Werten noch diverse Verluste (z.B. im Wärmetauscher, den Warmwasser-Rohrleitungen, etc.) abgezogen werden. Die Abwärme könnte in der Linie der Anlage Patentieren IV zur Beheizung bzw. Teilbeheizung des Phosphat- oder Seifenbades genutzt werden.

4.2 Wärmedämmung der Bleibäder

Die Untersuchungen zur Wärmedämmung der Bleibäder (siehe auch Kapitel 3.2) erbrachten die in der weiteren Folge dargestellten Ergebnisse. Die Oberflächentemperaturen bei den verschiedenen Dämmmaterialien und –stärken am Ende der Versuchsdauer sind in Tabelle 4.2 und in Diagramm 4.2 dargestellt.

Tabelle 4.2: Messergebnisse der an der Anlage Patentieren I durchgeführten Dämmversuche: Bleibadtemperatur, zusätzliche Dämmstärke und Oberflächentemperatur des rechten und linken Bleibades sowie die Umgebungstemperatur und Versuchsdauer

linkes Bleibad - zusätzliche Dämmung mit Steinwolle-Dämmplatten					
Bleibadtemperatur (°C)	534				
zusätzliche Dämmstärke (mm)	0	50	100	150	
Oberflächentemperatur (°C)	220	87	66	58	
rechtes Bleibad - zusätzliche Dämmung mit Anthrazit					
Bleibadtemperatur (°C)	528				
zusätzliche Dämmstärke (mm)	0	40	80	140	200
Oberflächentemperatur (°C)	293	135	96	49	45
Umgebunstemperatur (°C)	30				
Versuchsdauer (hh:mm)	06:49				

Gemessene Oberflächentemperaturen bei zusätzlicher Dämmung mit Anthrazit bzw. Steinwolle-Dämmplatten

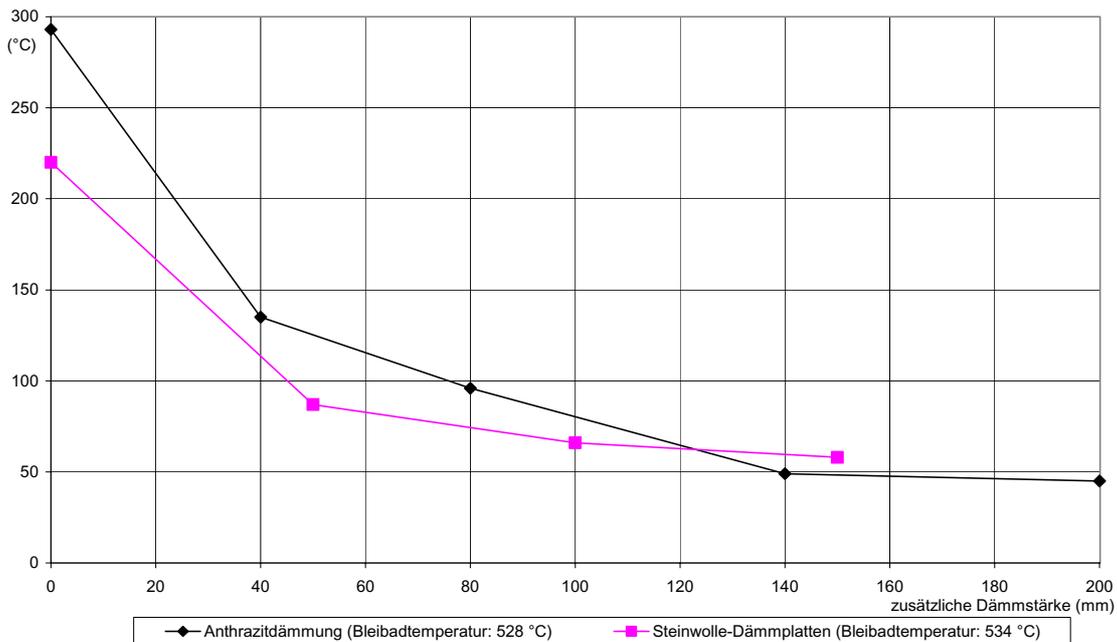


Diagramm 4.2: Gemessene Oberflächentemperaturen bei zusätzlicher Dämmung mit Anthrazit bzw. Steinwolle-Dämmplatten in Abhängigkeit von der zusätzlichen Dämmstärke

Die Oberflächentemperatur bei der Dämmstärke null ist die Oberflächentemperatur jener ca. 10 mm dicken Anthrazitschicht welche sich normalerweise am Bleibad befindet (normale Anthrazitschicht). Erwartungsgemäß sinkt die Oberflächentemperatur mit zunehmender Dämmstärke. Auffällig ist, dass bei der Dämmung mit zusätzlichem Anthrazit der

Temperaturabfall zwischen 140 und 200 mm Dämmstärke. nur mehr ca. 4 °C beträgt. Hingegen bewirkt eine Dämmung mit Anthrazit mit einer zusätzlichen 40 mm Anthrazitschicht auf die normale Anthrazitschicht eine Absenkung der Oberflächentemperatur um ca. 160 °C (von 293 auf 135 °C). Mit 50 mm Steinwolle-Dämmplatten wird eine Absenkung der Oberflächentemperatur um ca. 130 °C (von 220 auf 87 °C) erreicht.

Ableich und Beschreibung des Rechenmodells „RM_Wärmeverluste.xls“

Wie im Rahmen der Durchführung der Dämmversuche festgestellt wurde, liegen die Oberflächentemperaturen der normalen Anthrazitschicht zum Teil deutlich über 200 °C. Das Rechenmodell, mit welchem die Wärmeverluste durch Konvektion und Strahlung berechnet werden, ist jedoch, aufgrund des Gültigkeitsbereiches des verwendeten Näherungsverfahrens (Berechnung der Wärmeverluste über die Oberfläche von Heizkesseln /5/), nur bis zu maximalen Oberflächentemperaturen von ca. 200 °C gültig (siehe Diagramm 3.3) und verwendet keine temperaturabhängige Wärmeleitfähigkeit der Dämmmaterialien. Daher wurde das Rechenmodell mit den bei den praktischen Versuchen experimentell ermittelten Daten entsprechend adaptiert. Eine genaue Beschreibung des Rechenmodells findet sich in [Anlage 2](#). Neben der Erweiterung des zulässigen Temperaturbereichs der Oberfläche wurden die Wärmeleitfähigkeiten von Anthrazit und Steinwolle-Dämmplatten experimentell ermittelt und in das Rechenmodell integriert. Für diese beiden Dämmmaterialien ist also die explizite Eingabe der Wärmeleitfähigkeit in das Rechenmodell nicht notwendig. Es ist für Oberflächentemperaturen bis zu maximal 550 °C für die Dämmmaterialien Anthrazit (Variante 1) und Steinwolle-Dämmplatten (Variante 2) sowie für andere Dämmmaterialien (Variante 3), einsetzbar. Für die Variante 3 ist die Eingabe der Wärmeleitfähigkeit des anderen Dämmmaterials bei der entsprechenden Mitteltemperatur erforderlich. Mit dem Rechenmodell werden die Wärmeverluste durch getrennte Berechnung der Wärmeverluste durch Konvektion und der Wärmeverluste durch Strahlung ermittelt /4/. Bei der Berechnung der Wärmeverluste durch Konvektion werden die Berechnungsmethoden für waagrechte Platten und Wärmestrom nach oben (turbulente Fluidströmung ohne äußeren Einfluss) angewendet. Die Wärmeverluste durch Strahlung werden mittels des Strahlungswärmeübergangskoeffizienten α_s berechnet. Der gesamte Wärmeverlust durch Konvektion und Strahlung ergibt sich aus der Addition der Wärmeverluste durch Konvektion und der Wärmeverluste durch Strahlung. In [Diagramm 4.3](#) sind die spezifischen Wärmeverluste einer waagrechten Platte nach oben durch Konvektion und Strahlung bei einer Umgebungstemperatur von 30 °C und einem Emissionsgrad der Oberfläche von 0,9 in Abhängigkeit von der Oberflächentemperatur dargestellt.

Spezifische Wärmeverluste einer waagrecnten Platte nach oben durch Konvektion und Strahlung

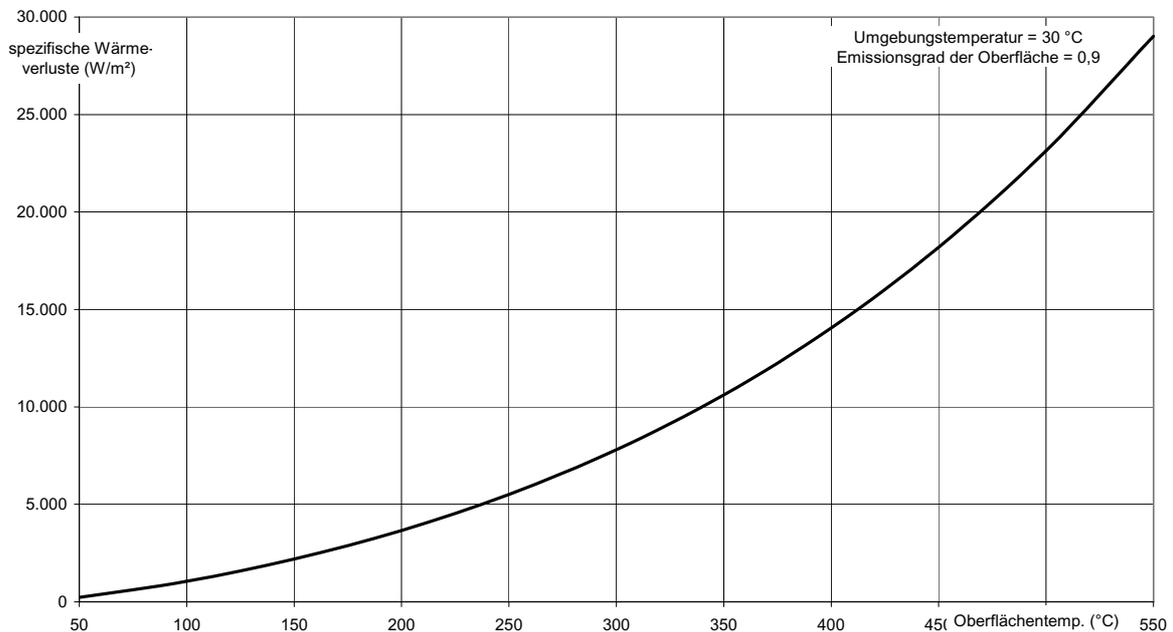


Diagramm 4.3: Spezifische Wärmeverluste einer waagrecnten Platte nach oben durch Konvektion und Strahlung bei einer Umgebungs-temperatur von 30 °C und einem Emissionsgrad der Oberfläche von 0,9 in Abhängigkeit von der Oberflächentemperatur

Mit dem Rechenmodell „RM_Wärmeverluste.xls“ können die Wärmeverluste der Bleibadoberfläche durch Konvektion und Strahlung gleichzeitig für zwei Bleibäder berechnet werden. Der Grund für die Wahl von zwei Bleibädern liegt darin, dass in den Patentieranlagen der Fa. Joh. Pengg AG jeweils zwei Bleibäder vorhanden sind. Die Berechnungen der Wärmeverluste wurden für den Ist-Zustand und drei verschiedene Varianten von Wärmedämmungen durchgeführt. Im Ist-Zustand befindet sich nur eine Anthrazitschicht auf der Bleibadoberfläche. Die drei verschiedenen Varianten sind:

Variante 1: Zusätzliche Dämmung mit Anthrazit d.h. es wird eine dickere Anthrazitschicht als im Ist-Zustand aufgebracht.

Variante 2: Dämmung mit Steinwolle-Dämmplatten, wobei die Dämmplatten am Wannenrand aufgelegt werden (genaue Beschreibung siehe Kapitel 3.3).

Variante 3: Dämmung mit anderem Dämmmaterial, wobei das andere Dämmmaterial direkt auf der Bleibadoberfläche angebracht wird.

Zur Durchführung der Berechnungen für den Ist-Zustand sind folgende Eingabedaten erforderlich:

- Umgebungstemperatur ($^{\circ}\text{C}$),
- Betriebsstunden pro Jahr (h/a),
- Bleibadtemperatur ($^{\circ}\text{C}$),
- Länge der Bleibadoberfläche (m),
- Breite der Bleibadoberfläche (m),
- Emissionsgrad der Anthrazitschicht-Oberfläche und die
- Oberflächentemperatur der Anthrazitschicht (t_{ist} in $^{\circ}\text{C}$).

Zur Berechnung der Wärmeverluste der drei Varianten werden jeweils folgende weitere Eingabedaten benötigt:

- Emissionsgrad der Oberfläche und
- gewünschte Oberflächentemperatur (t_{soll}) der Dämmschicht.

Bei der Variante 3 muss zusätzlich zu diesen Eingaben die Wärmeleitfähigkeit ($\text{W/m}^{\circ}\text{K}$) des betrachteten Dämmmaterials bei den entsprechenden Temperaturen eingegeben werden.

Mit diesen Eingabedaten werden die Wärmeverluste (sowohl als Leistung in kW als auch als Arbeit in MWh/a) für beide Bleibäder getrennt und in Summe berechnet. Für alle drei Varianten wird außerdem die erforderliche Dämmstärke zur Erreichung der Soll-Oberflächentemperatur und der Unterschied der Wärmeverluste zum Ist-Zustand (Δ zu Ist in %) ermittelt.

In [Abbildung 4.2](#) sind die Eingabewerte und Rechenergebnisse eines mit dem Rechenmodell „RM_Wärmeverluste.xls“ berechneten Beispiels dargestellt.

Berechnung der Wärmeverluste von Bleibadoberflächen durch Konvektion und Strahlung				
EINGABEDATEN		Eingabezellen		
(1) Umgebungstemperatur (°C)		30		
(2) Betriebsstunden pro Jahr (h/a)		8.000		
Ist-Zustand:				
Dämmung mit Anthrazit (Dicke: 10 mm)		Bleibad links	Bleibad rechts	
(3) Bleibadtemperatur (°C)		534	528	
(4) Länge (m)		3,88	3,88	
(5) Breite (m)		0,425	0,425	
(6) Emissionsgrad der Oberfläche		0,90	0,90	
(7) Oberflächentemperatur t_ist (°C)		200	293	
Variante 1:				
Zusätzliche Dämmung mit Anthrazit		Bleibad links	Bleibad rechts	
(8) Emissionsgrad der Oberfläche		0,90	0,90	
(9) Oberflächentemperatur t_soll (°C)		95	95	
Variante 2:				
Dämmung mit Steinwolle		Bleibad links	Bleibad rechts	
(10) Emissionsgrad der Oberfläche		0,90	0,90	
(11) Oberflächentemperatur t_soll (°C)		95	95	
Variante 3:				
Dämmung mit anderem Dämmmaterial		Bleibad links	Bleibad rechts	
(12) Wärmeleitfähigkeit Dämmmaterial (W/m*K)		0,15	0,15	
(13) Emissionsgrad der Oberfläche		0,90	0,90	
(14) Oberflächentemperatur t_soll (°C)		95	95	
RECHENERGEBNISSE				
Ist-Zustand		Bleibad li.	Bleibad re.	Gesamt
(15) Wärmeverluste (kW)		6,036	12,294	18,330
(16) Wärmeverluste (MWh/a)		48,287	98,353	146,639
Variante 1		Bleibad li.	Bleibad re.	Gesamt
(17) Anthrazitdicke (mm)		90	85	
(18) Wärmeverluste (kW)		1,575	1,575	3,149
(19) Wärmeverluste (MWh/a)		12,597	12,597	25,193
Variante 2		Bleibad li.	Bleibad re.	Gesamt
(20) Steinwollendicke (mm)		46	45	
(21) Wärmeverluste (kW)		1,575	1,575	3,149
(22) Wärmeverluste (MWh/a)		12,597	12,597	25,193
Variante 3		Bleibad li.	Bleibad re.	Gesamt
(23) Dämmdicke (mm)		69	68	
(24) Wärmeverluste (kW)		1,575	1,575	3,149
(25) Wärmeverluste (MWh/a)		12,597	12,597	25,193

Abbildung 4.2: Rechenbeispiel zur Ermittlung der Wärmeverluste beim Ist-Zustand und für drei Varianten einer verbesserten Wärmedämmung der Bleibäder der Anlage Patentieren I berechnet mit dem Rechenmodell „RM_Wärmeverluste.xls“

Die Wärmeverluste der Bleibadoberfläche der Anlage Patentieren I im Ist-Zustand betragen unter den angegebenen Bedingungen ca. 7,2 kW (bzw. 57,4 MWh/a) für das Bleibad links und ca. 12,3 kW (bzw. 98,4 MWh/a) für das Bleibad rechts, insgesamt also ca. 19,5 kW (bzw. 156,8 MWh/a). Wird durch Dämmung die Oberflächentemperatur von 220 bzw. 293 °C auf 95 °C reduziert, betragen die Wärmeverluste des linken und des rechten Bleibades jeweils ca. 1,6 kW (bzw. 12,6 MWh/a), insgesamt also ca. 3,2 kW (bzw. 25,2 MWh/a). Dies entspricht einer Reduktion der Wärmeverluste um ca. 84%. Um diese Werte zu erreichen, sind anstatt einer 10 mm dicken Anthrazitschicht auf beiden Bleibädern eine 90 (linkes Bleibad) bzw. 85 mm (rechtes Bleibad) dicke Anthrazitschicht aufzubringen (Variante 1). Dieselbe Oberflächentemperatur wird durch die Aufbringung von Steinwolle-Dämmplatten mit 46 (linkes Bleibad) bzw. 45 mm (rechtes Bleibad) Dicke erreicht (Variante 2). Wird ein anders Dämmmaterial mit einer Wärmeleitfähigkeit von ca. 0,15 W/(m*K) verwendet, so ist eine Dicke von 69 (linkes Bleibad) bzw. 68 mm (rechtes Bleibad) erforderlich (Variante 3). Vergleicht man für die Varianten 1 (Anthrazitdämmung) und Variante 2 (Steinwolle-Dämmplatten) gemessenen Oberflächentemperaturen mit den mittels des Rechenmodells berechneten Oberflächentemperaturen in Abhängigkeit von der zusätzlichen Dämmstärke so ergibt sich das in Diagramm 4.4 dargestellte Bild.

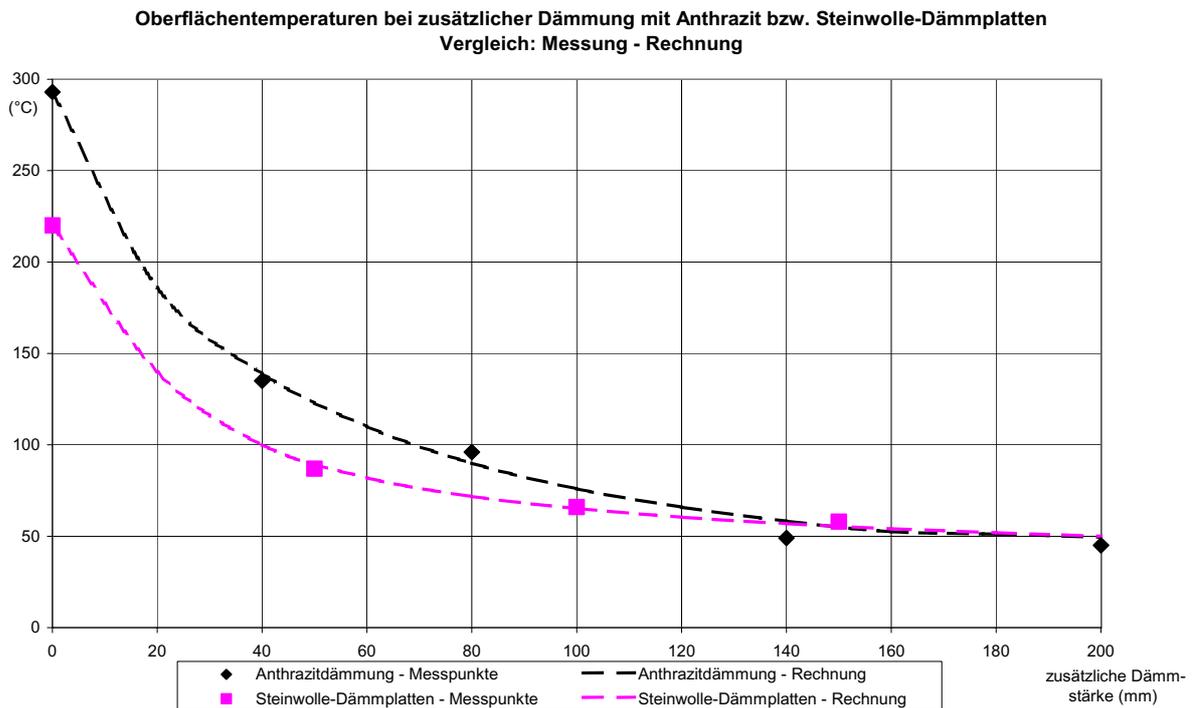


Diagramm 4.4: Vergleich der gemessenen und der mit dem Rechenmodell „RM_Wärmeverluste.xls“ berechneten Oberflächentemperaturen bei zusätzlicher Dämmung der Bleibadoberflächen mit Anthrazit bzw. Steinwolle-Dämmplatten

Wie ersichtlich, liegen die Abweichungen zwischen den Messungen und den Rechnungen in einem Bereich, welcher den Einsatz des Rechenmodells zur Ermittlung der Effizienz von Dämmmaßnahmen in der Praxis zulässt. Die Verwendung des erstellten Rechenmodells „RM_Wärmeverluste.xls“ erlaubt die Bewertung der Effizienz von Dämmmaßnahmen ohne die Durchführung von aufwändigen Dämmversuchen an in Betrieb befindlichen Anlagen.

Verwendet man des Rechenmodell zur Berechnung der Wärmeverluste an der Anlage Patentieren IV, so erhält man die in Abbildung 4.3 dargestellten Ergebnisse.

Berechnung der Wärmeverluste von Bleibadoberflächen durch Konvektion und Strahlung				
EINGABEDATEN		Eingabezellen		
(1) Umgebungstemperatur (°C)		25		
(2) Betriebsstunden pro Jahr (h/a)		8.000		
Ist-Zustand:				
Dämmung mit Anthrazit (Dicke: 10 mm)		Bleibad links	Bleibad rechts	
(3) Bleibadtemperatur (°C)		550	450	
(4) Länge (m)		11,00	11,00	
(5) Breite (m)		0,900	0,900	
(6) Emissionsgrad der Oberfläche		0,90	0,90	
(7) Oberflächentemperatur t_ist (°C)		200	190	
Variante 1:				
Zusätzliche Dämmung mit Anthrazit		Bleibad links	Bleibad rechts	
(8) Emissionsgrad der Oberfläche		0,90	0,90	
(9) Oberflächentemperatur t_soll (°C)		95	95	
Variante 2:				
Dämmung mit Steinwolle		Bleibad links	Bleibad rechts	
(10) Emissionsgrad der Oberfläche		0,90	0,90	
(11) Oberflächentemperatur t_soll (°C)		95	95	
Variante 3:				
Dämmung mit anderem Dämmmaterial		Bleibad links	Bleibad rechts	
(12) Wärmeleitfähigkeit Dämmmaterial (W/m²K)		0,15	0,15	
(13) Emissionsgrad der Oberfläche		0,90	0,90	
(14) Oberflächentemperatur t_soll (°C)		95	95	
RECHENERGEBNISSE				
Ist-Zustand		Bleibad li.	Bleibad re.	Gesamt
(15)	Wärmeverluste (kW)	37,220	34,013	71,233
(16)	Wärmeverluste (MWh/a)	297,758	272,103	569,861
Variante 1		Bleibad li.	Bleibad re.	Gesamt
(17)	Anthrazitdicke (mm)	97	31	
(18)	Wärmeverluste (kW)	10,226	10,226	20,453
(19)	Wärmeverluste (MWh/a)	81,810	81,810	163,620
Variante 2		Bleibad li.	Bleibad re.	Gesamt
(20)	Steinwollendicke (mm)	44	31	
(21)	Wärmeverluste (kW)	10,226	10,226	20,453
(22)	Wärmeverluste (MWh/a)	81,810	81,810	163,620
Variante 3		Bleibad li.	Bleibad re.	Gesamt
(23)	Dämmdicke (mm)	66	52	
(24)	Wärmeverluste (kW)	10,226	10,226	20,453
(25)	Wärmeverluste (MWh/a)	81,810	81,810	163,620

Abbildung 4.3: Rechenbeispiel zur Ermittlung der Wärmeverluste beim Ist-Zustand und bei drei Varianten einer verbesserten Wärmedämmung der Bleibäder der Anlage Patentieren IV, berechnet mit dem Rechenmodell „RM_Wärmeverluste.xls“

Im Vergleich zur Anlage Patentieren I sind die Wärmeverluste der Bleibäder der Anlage Patentieren IV im Ist-Zustand ca. 3,6 mal so groß (Wärmeverluste Anlage Patentieren I ca. 19,5 kW, Anlage Patentieren IV ca. 71,2 kW). Durch eine bessere Wärmedämmung der Bleibäder der Anlage Patentieren IV sind daher, absolut gesehen, wesentlich größere Einsparungen als an der Anlage Patentieren I möglich. Verringert man die Oberflächentemperatur von ca. 200 auf ca. 95 °C (was durch eine Anthrazitschicht mit einer Dicke von 100 bzw. 30 mm, oder einer Steinwolle-Dämmplatte mit ca. 45 bzw. 30 mm möglich ist) so verringern sich die Wärmeverluste um ca. 70%. In absoluten Zahlen bedeutet dies eine Verringerung der Wärmeverluste von ca. 71 auf ca. 20 kW bzw. von ca. 567 MWh/a auf ca. 164 MWh/a.

Bei der praktischen Umsetzung einer verbesserten Wärmedämmung ist aber zu beachten, dass es durch die heißen Drähte (ca. 950 °C) zu einem Wärmeeintrag ins Bleibad kommt. Würde also die Bleibadoberfläche „zu gut gedämmt“ werden (d.h. der Wärmeeintrag durch die Drähte wäre größer als die gesamten Wärmeverluste des Bleibades), würde die Temperatur des Bleibades steigen, was auch während der Durchführung der Dämmversuche an der Anlage Patentieren I beobachtet wurde (siehe Diagramm 3.4 und Diagramm 3.5). Da dies aber nicht zulässig ist, werden derzeit die Wärmeverluste der Bleibäder soweit erhöht, dass mittels einer elektrischen Beheizung der Bleibäder, welche elektronisch geregelt ist, die Bleibadtemperatur automatisch geregelt werden kann, was nur bei zusätzlichem Wärmebedarf

möglich ist. Um entsprechende Wärmeverluste zu erreichen, wird die Dicke der Anthrazitschicht gering gehalten, bzw. Teile der Bleibadoberfläche gänzlich abgedeckt. Würde die Dämmung der Bleibadoberfläche nur soweit verbessert werden, dass die gesamten Wärmeverluste der Bleibäder in etwa so groß sind wie der Wärmeeintrag durch die Drähte, so könnte im Normalbetrieb auf eine zusätzliche elektrische Beheizung der Bleibäder nahezu verzichtet werden.

Mit Hilfe des Rechenmodells „RM_Wärmeverluste.xls“ ist es möglich, die erforderliche Schichtdicke zur Wärmedämmung der Bleibäder zu berechnen, bei welcher der Wärmeeintrag durch die Drähte in etwa so groß ist wie die Wärmeverluste. Dadurch könnte im Normalbetrieb der zur (geregelten) Beheizung der Bäder aufgewendete elektrische Strom eingespart werden.

4.3 Bleiabscheidung bzw. Entsorgung von Anthrazit

Bei den durchgeführten Recherchen über praktisch einsetzbare Methoden zur Abscheidung von Blei aus dem zur Abdeckung der Bleibäder verwendeten Anthrazits mit dem Ziel einer anschließenden energetischen Nutzung des „reinen“ Anthrazits konnte kein entsprechendes Verfahren gefunden werden. Allerdings konnte, nach chemischen Analysen von drei Proben auf den Blei- und Zink-Gehalt (siehe Anlage 3), eine Entsorgungsmöglichkeit für das bleihaltige Anthrazit durch die Montanwerke Brixlegg AG gefunden werden. Die Entsorgungskosten dafür betragen 55 €/t frei Werk Brixlegg. Die Transportkosten inklusive roadpricing von Thörl nach Brixlegg liegen laut Auskunft zweier Speditionen zwischen ca. 30 und 54 €/t, abhängig von der jeweiligen Liefermenge (bei 10 t pro Transport ca. 54 €/t, bei 24 t pro Transport ca. 30 €/t). Dies ergibt Entsorgungs- plus Transportkosten in der Höhe von ca. 85 bis 110 €/t. Im Vergleich dazu betragen die derzeitigen Entsorgungskosten der Fa. Joh. Pengg AG für „Bleiasche“ ca. 273 €/t. Im ungünstigsten Fall reduzieren sich die Entsorgungskosten um ca. 163 €/t, im günstigsten Fall um ca. 188 €/t. Bei Entsorgungsmengen von ca. 24 bis 30 t pro Jahr könnten damit im Vergleich zu den bisherigen Entsorgungskosten zwischen 3.900 und 5.600 € pro Jahr eingespart werden. Dies würde eine Reduktion der Entsorgungskosten des bleihaltigen Anthrazits von ca. 60 bis 70% bedeuten.

5. Bewertung der Ergebnisse

In diesem Kapitel werden die im vorigem Kapitel dargestellten Ergebnisse hinsichtlich der Umsetzung in der Fa. Joh. Pengg AG, der Übertragbarkeit auf andere Betriebe und Industriezweige sowie im Hinblick auf Nachhaltige Technologieentwicklung bewertet.

5.1 Umsetzung in der Fa. Joh. Pengg AG

Bei den durchgeführten Untersuchungen und den daraus abgeleiteten Ergebnissen war die Umsetzbarkeit in der Fa. Joh. Pengg AG das vorrangige Ziel. Aufbauend auf den Ergebnissen des Projektes „Abwärmenutzung und Einsatz Erneuerbarer Energieträger in einem metallverarbeitenden Betrieb“ /1/ wurden im gegenständlichen Projekt die Teilbereiche

- Abwärmenutzung der Öfen,
- Verringerung der Wärmeverluste der Bleibäder und die
- Verwertung des bleihältigen Anthrazits

detaillierter untersucht. Dabei wurde das Hauptaugenmerk, in enger Zusammenarbeit mit der Fa. Joh. Pengg AG, auf die praktische Umsetzbarkeit der Ergebnisse gelegt. Da an der Anlage Patentieren IV in nächster Zeit größere Umbauarbeiten geplant sind, wurden die Untersuchungen, soweit möglich, an dieser Anlage durchgeführt. Vorbild für die Umbauten an der Anlage Patentieren IV ist die Anlage Patentieren I, an welcher bereits entsprechende Umbauten durchgeführt wurden. So wird beispielsweise das Phosphatbad der Anlage Patentieren I mittels Thermoöl beheizt, welches elektrisch erwärmt wird. Bei der Anlage Patentieren IV erfolgt hingegen die Beheizung des Phosphatbades mittels Heißwasser. Im Zuge der Umbauten an der Anlage Patentieren IV bietet sich eine Abwärmenutzung des Ofens dieser Anlage zur Beheizung eines oder mehrerer wässriger Bäder (Aktivierungs-, Phosphat- und Seifenbad). Wie in Kapitel 4.1 dargestellt, können vom Ofen der Anlage Patentieren IV zwischen ca. 90 und 125 kW an Abwärme bei einem Temperaturniveau von ca. 100 °C genutzt werden (siehe Diagramm 4.1). Ob diese Leistungen zur Bäderbeheizung ausreichen, kann erst nach Ermittlung der tatsächlich erforderlichen Heizleistung für die wässrigen Bäder nach den Umbauten entschieden werden. Zur Berechnung des Abwärmepotentials von erdgasbefeuerten Verbrennungsanlagen wurde im Rahmen dieses Projektes das Rechenmodell

„RM_Abwärme.xls“ erstellt. Mit Hilfe dieses Rechenmodells ist auch eine einfache Berechnung des Abwärmepotentials der anderen Öfen der Fa. Joh. Pengg AG möglich. Die Nutzung des Abwärmepotentials mehrerer oder aller Abwärmequellen in einem Wärmeverbund erscheint vielversprechend, müsste aber, vor allem verbraucherseitig, noch im Detail untersucht werden.

Zur Berechnung der Wärmeverluste an der Oberfläche der Bleibäder wurde das Rechenmodell „RM_Wärmeverluste.xls“ erstellt, mit welchem auch die erforderlichen Dämmstärken verschiedener Dämmmaterialien zu einer besseren Wärmedämmung ermittelt werden können. Eine Verbesserung der Wärmedämmung der Bleibadoberflächen und somit eine Verringerung der Wärmeverluste ist sofort umsetzbar. Die einfachste Maßnahme dazu ist die Erhöhung der Anthrazitschichtdicke. Die erforderliche Schichtdicke zur Erreichung einer vorzugebenden Oberflächentemperatur kann mit dem Rechenmodell „RM_Wärmeverluste.xls“ berechnet werden. Eine Wärmedämmung mittels Steinwolle-Dämmplatten ist ebenfalls möglich, erfordert aber relativ komplizierte Vorrichtungen zur Befestigung und Entfernung der Platten (aufklappbare bzw. abnehmbare „Deckel“ über den Bleibädern). Außerdem ist damit eine gezielte Beeinflussung der Wärmeverluste durch Variation der Schichtdicke nur schwer möglich. Gleichgültig welche Maßnahmen zur Wärmedämmung der Bleibäder umgesetzt werden, ist zu beachten, dass die gesamten Wärmeverluste der Bleibäder größer sind als die durch die Drähte in die Bleibäder eingetragene Wärme, da es anderenfalls zu einer unzulässigen Erhöhung der Bleibadtemperaturen kommen würde. Bei einer optimalen Dicke der Anthrazitschicht auf den Bleibädern könnten die Wärmeverluste soweit verringert werden, dass eine konstante Bleibadtemperatur ohne zusätzliche elektrische Beheizung der Bleibäder erreicht werden kann.

Eine betriebsinterne energetische Verwertung (Verbrennung) des beikontaminierten Anthrazits ist nicht möglich, da einerseits eine betriebliche „Abfallverbrennung“ aus Kostengründen nicht realisierbar ist, andererseits aber keine praktikablen Verfahren zur Bleiabscheidung aus dem kontaminierten Anthrazit verfügbar sind, um das bleifreie Anthrazit in einer „normalen“ Festbrennstofffeuerungsanlage (Biomassefeuerung), welche unter gewissen Umständen errichtet werden könnte /3/, zu verwerten.

Es konnte aber eine Möglichkeit der Entsorgung des bleihältigen Anthrazits durch die Montanwerke Brixlegg AG gefunden werden, durch welche bis zu 70% an Entsorgungskosten eingespart werden könnten.

5.2 Übertragbarkeit auf andere Betriebe und Industriezweige

Obwohl es sich bei den betrachteten Fragen um sehr spezielle Verfahren, welche bei der Fa. Joh. Penng AG eingesetzt werden, handelt, sind die Ergebnisse zum größten Teil aber auch auf andere Betriebe und Industriezweige übertragbar.

Die Nutzung von Abwärme ist in allen Betrieben, in welchen Wärme in Produktionsprozessen erforderlich ist, von Bedeutung. Dies ist nicht nur in der metallverarbeitenden Industrie der Fall sondern beispielsweise auch in der Lebensmittelindustrie. Die in Kapitel 3.2 ausführlich dargelegten Rahmenbedingungen für eine effiziente Abwärmennutzung sind allgemein gültig. Das Rechenmodell „RM_Abwärme.xls“ ist in der Lage, das Abwärmepotential sämtlicher, mit Erdgas betriebener Verbrennungsanlagen, zu berechnen.

Die Überlegungen, welche zur Wärmedämmung der Oberflächen der Bleibäder angestellt wurden, sind ebenfalls nicht auf die Fa. Joh. Pengg AG beschränkt. Sie sind für alle Fälle, in denen heiße, waagrechte Oberflächen vorhanden sind, gültig. Auch das Rechenmodell „RW_Wärmeverluste.xls“ kann generell zur Berechnung von Wärmeverlusten durch Konvektion und Strahlung von waagrechten Oberflächen eingesetzt werden. Außerdem erlaubt es die Berechnung von Dämmstärken um eine gewisse Oberflächentemperatur zu erreichen und berechnet auch für diese Oberflächentemperatur Wärmeverluste durch Konvektion und Strahlung.

Der am wenigsten zu verallgemeinernde Teil der durchgeführten Untersuchungen betrifft die Verwertung von bleihaltigem Anthrazit. Da dieses Problem nur in Kombination von Bleibädern und deren Abdeckung mit Anthrazit auftritt, wird es auch kaum für andere Betriebe und Industriezweige von Interesse sein. Eventuell könnten andere Drahthersteller, welche nach den gleichen Verfahren wie die Fa. Joh. Pengg. AG arbeiten, Interesse an einer günstigen Möglichkeit der Anthrazitentsorgung haben.

5.3 Bewertung im Hinblick auf Nachhaltige Technologieentwicklung

Im folgenden werden die Ergebnisse dieses Projektes in Bezug auf die in der Programmlinie „Nachhaltig Wirtschaften“ definierten Sieben Leitprinzipien Nachhaltiger Technologieentwicklung betrachtet. Dabei ist zu beachten, dass eine allgemeine Betrachtung

dieser Leitprinzipien bereits im FdZ-Projekt „Abwärmenutzung und Einsatz Erneuerbarer Energieträger in einem metallverarbeitenden Betrieb“ /1/ erfolgte und parallel zu diesem Projekt zwei weitere FdZ-Projekte („Ressourceneffizienzsteigerung durch Optimierung der Filterreinigung mittels Abwärmenutzung in einem metallverarbeitenden Betrieb“ /2/ und „Ressourceneffizienzsteigerung durch experimentelle Optimierung der Dampfbereitstellung und durch Reduktion der Produktionsabfälle in einem metallverarbeitenden Betrieb“ /3/) gemeinsam mit der Fa. Joh. Pengg AG durchgeführt wurden. Eine Betrachtung der Sieben Leitprinzipien Nachhaltiger Technologieentwicklung nur für das gegenständliche Projekt ist etwas unausgewogen, da auch in den anderen beiden Projekten Detailuntersuchungen durchgeführt wurden, und sich daher für ein einzelnes Projekt kein abgerundetes Bild ergibt, sehr wohl aber für alle drei Projekte gemeinsam.

Nachhaltige Entwicklung ist dafür folgendermaßen definiert (Zitate aus der Ausschreibung „Fabrik der Zukunft“ in der Folge *kursiv*):

Nachhaltige Entwicklung („sustainable development“) soll den ökonomischen, ökologischen und sozialen Bedürfnissen der heutigen Gesellschaft gerecht werden, ohne dadurch zukünftigen Generationen die Möglichkeiten der freien Entwicklung zu nehmen.

5.3.1 Prinzip der Dienstleistungs-, Service- und Nutzenorientierung

In einer nachhaltig zukunftsverträglichen Entwicklung ist die Bereitstellung von Energie, Gütern und Produkten nicht primär von reinen Versorgungsüberlegungen (was kann wo angeboten und verkauft werden) geprägt, sondern konzentriert sich zunächst auf die mit Energie, Gütern und Produkten zu erfüllenden Funktionen bzw. Dienst- oder Serviceleistungen.

Die Herstellung von Gütern in der Fabrik der Zukunft konzentriert sich in diesem Falle auf die mit Energie und Rohstoffen zu erfüllende Nutzungsorientierung, d.h. eine möglichst hohe Produktionsmenge bei möglichst geringem Energie- und Rohstoffeinsatz zu erreichen. Die im gegenständlichen Projekt durchgeführten Arbeiten zeigen, dass bei gleichbleibendem Output eine erhebliche Verringerung des Energieeinsatzes in der Produktion durch Nutzung der

Abwärme der Öfen sowie durch eine Verbesserung der Wärmedämmung der Bleibäder erreicht werden kann.

5.3.2 Prinzip der Nutzung erneuerbarer Ressourcen

Dabei ist die energetische und stoffliche Versorgung möglichst durch erneuerbare und/oder nachwachsende Ressourcen zu bewerkstelligen.

Die Untersuchung der Möglichkeiten der Nutzung erneuerbarer Energieträger in der Fa. Joh. Pengg AG ist Schwerpunkt des Projekts „Ressourceneffizienzsteigerung durch experimentelle Optimierung der Dampfbereitstellung und durch Reduktion der Produktionsabfälle in einem metallverarbeitenden Betrieb“ /3/. Die im gegenständlichen Projekt durchgeführten Untersuchungen zur Abwärmenutzung ermöglichen, ebenso wie der Einsatz erneuerbarer Energieträger eine Reduktion der Treibhausgasemissionen, da dadurch der Erdgaseinsatz verringert werden kann.

5.3.3 Effizienzprinzip

Wichtige Zielsetzung ist, Dienst- oder Serviceleistungen so energie- und materialeffizient aber auch so kosteneffizient wie möglich zu erfüllen.

Sowohl durch die Nutzung von Abwärme der Öfen als auch durch Energieeinsparung zur Beheizung der Bleibäder infolge besserer Wärmedämmung wird nicht nur die Energie- sondern auch die Kosteneffizienz der Drahtbearbeitung in der Fa. Joh. Pengg AG gesteigert.

5.3.4 Prinzip der Rezyklierungsfähigkeit

Besonders in den Bereichen, in denen die Nutzung erneuerbarer Ressourcen noch nicht oder nur schwer möglich ist, ist eine Rezyklierung oder kaskadische Nutzung der Ressourcen anzustreben.

Durch die Nutzung der Abwärme der Öfen erfolgt eine kaskadische Nutzung der eingesetzten Energie. Die erste und bisher einzige Kaskade ist die Drahterwärmung im Ofen, die nächste durch Abwärmenutzung mögliche Kaskade könnte die Erwärmung wässriger Bäder sein. Eine betriebsinterne energetische Nutzung von Abfallstoffen wird im Rahmen des Projektes „Ressourceneffizienzsteigerung durch experimentelle Optimierung der Dampfbereitstellung und durch Reduktion der Produktionsabfälle in einem metallverarbeitenden Betrieb“ /3/ untersucht.

Bei einem Ersatz von Anthrazit z.B. durch haltbare Dämmmatten müsste kein Anthrazit recycelt bzw. entsorgt werden.

5.3.5 Prinzip der Einpassung, Flexibilität, Adaptionfähigkeit und Lernfähigkeit

Zukunftsverträgliche Entwicklungen sind als innovative, dynamische Prozesse zu begreifen, die in Bezug auf Technologie einerseits eine Einpassung an vorhandene (z.B. regionale) Rahmenbedingungen und Gegebenheiten, andererseits eine kontinuierliche Anpassung an neue Entwicklungen und Gegebenheiten erfordern.

Durch die Bereitstellung eines experimentell überprüften Rechenmodells zur Berechnung von Wärmeverlusten durch Konvektion und Strahlung sowie zur Ermittlung von Dämmschichtstärken wird ein flexiblen Einsatz des Rechenmodells für alle Prozesse, bei welchen Wärmeverluste vermindert werden sollen, ermöglicht.

5.3.6 Prinzip der Fehlertoleranz und Risikovorsorge

Auch die Vorsorge gegenüber Störfällen technischer Anlagen mit potentiellen Auswirkungen auf ganze Landstriche und zukünftige Generationen gehört zum Konzept einer „Nachhaltigen Entwicklung“.

Dem Prinzip der Fehlertoleranz und Risikovorsorge wird durch eine Abwärmenutzung „in der Linie“ (d.h. die Abwärme wird in derselben Anlage genutzt in der sie anfällt) bzw. durch Einspeisung der Abwärme in einen Wärmeverbund erreicht. Dies ist dadurch begründet, dass bei Störfällen in der Bereitstellung der Abwärme z.B. durch Ausfall der Feuerungsanlage, kein weiterer Wärmbedarf in dieser Produktionsanlage besteht, da bei Störung einer Komponente die gesamte Anlage abgestellt werden muss. Bei der Einspeisung der Abwärme in einen Wärmeverbund kann der Ausfall einer Abwärmequelle leicht durch andere Wärmeerzeuger kompensiert werden, wenn der Wärmeverbund entsprechend ausgelegt ist. Durch eine Optimierung der Wärmedämmung der Bleibäder sinkt das Risiko von Störungen, welche bei einem Ausfall der Beheizung auftreten würden.

5.3.7 Prinzip der Sicherung von Arbeit, Einkommen und Lebensqualität

Durch die Erhaltung und Schaffung von hochwertiger sinnvoller Arbeit einerseits, sowie einer lebenswerten Umwelt andererseits soll eine Erhöhung der Lebensqualität erreicht werden.

Die Steigerung der Energieeffizienz durch Abwärmenutzung der Öfen und Wärmedämmung der Bleibäder bewirkt eine Kostenreduktion in den Produktionsprozessen bei der Drahtherstellung. Dadurch wird die Konkurrenzfähigkeit der Fa. Joh. Joh. Pengg AG erhöht und somit Arbeit und Einkommen gesichert. Durch den geringeren Einsatz von fossilen Energieträgern (Erdgas), welche durch die Abwärmenutzung der Öfen erreicht wird, werden umweltschädliche Emissionen, insbesondere von Kohlendioxid, welches Hauptverursacher des anthropogenen Treibhauseffektes ist, gesenkt und somit ein Beitrag zur Erhöhung der Lebensqualität geleistet. Durch bessere Wärmedämmung der Bleibäder wird eine übermäßige Erwärmung in den Produktionsstätten vermindert und somit steigt die Lebensqualität am Arbeitsplatz.

6. Ausblicke und Empfehlungen

Die Nutzung der Abwärme wurde am Ofen der Anlage Patentieren IV im Detail untersucht. Analog dazu ist auch eine Abwärmenutzung an anderen Anlagen möglich, wozu noch weiterführende, wie an der Anlage Patentieren IV beispielhaft durchgeführt, Untersuchungen erforderlich sind. Langfristig anzustreben ist, das gesamte Abwärmepotential der Fa. Joh. Pengg AG zu nutzen und nach Möglichkeit einen betriebsinternen Wärmeverbund zu errichten, in welchem von allen Wärmequellen eingespeist und aus welchem von allen Wärmeverbrauchern entnommen wird.

Als erster Schritt der Abwärmenutzung wird empfohlen, bei den bevorstehenden Umbauarbeiten an der Anlage Patentieren IV die Abwärme des Ofens zur Beheizung der wässrigen Bäder dieser Anlage zu nutzen. Dabei kann auch praktische Erfahrung zur späteren Abwärmenutzung an anderen Anlagen gesammelt und umgesetzt werden.

Eine Verringerung der Wärmeverluste der Bleibäder durch Konvektion und Strahlung über die Bleibadoberfläche durch bessere Wärmedämmung ist nur soweit möglich, bis die Wärmeverluste gleich hoch wie die Wärmeeinträge durch die Drähte sind. Langfristig anzustreben ist der Ersatz der derzeit verwendeten Anthrazitdämmung durch dauerhafte Dämmmaterialien (z.B. Steinwolle-Dämmplatten). Die Dämmstärke müsste dabei so bemessen sein, dass in etwa die Wärmeverluste gleich dem Wärmeintrag sind, aber eine „Feinabstimmung“ der Wärmeverluste, wie sie z.B. bei unterschiedlichen Drahtdurchsatzmengen erforderlich ist, leicht möglich ist. Dies könnte beispielsweise durch Teilabdeckung eines Bleibades erreicht werden. Vor Errichtung einer derartigen Dämmung sind auch noch umfangreiche Überlegungen betreffend des konstruktiven Aufbaus einer derartigen Dämmvorrichtung anzustellen. Der wesentliche Vorteil dieser Lösung wäre, dass kein Anthrazit, welches im Laufe der Zeit „verbraucht“ und mit Blei kontaminiert wird und daher entsprechende entsorgt werden muss, benötigt werden würde. Als erster Schritt zu einer besseren Wärmedämmung der Bleibäder wird empfohlen, die Dicke der Anthrazitdämmschicht soweit zu erhöhen, dass keine zusätzliche Energie zur Beheizung der Bleibäder aufgewendet werden muss. Dies ist relativ leicht durch Veränderung der Anthrazitschichtstärke möglich. Der Verbrauch und die Entsorgungsmenge an Anthrazit

dürfte sich durch diese Maßnahmen gegenüber der derzeitigen Situation nicht wesentlich verändern.

Eine betriebsinterne energetische Verwertung von bleihaltigem Anthrazit erscheint derzeit nicht umsetzbar zu sein. Längerfristig sollte daher der Ersatz von Anthrazit durch andere, lange haltbare Dämmmaterialien (z.B. Steinwolle) angestrebt werden. Dadurch würden sowohl die Beschaffungs- als auch Entsorgungskosten für das Anthrazit entfallen.

Als unmittelbar umsetzbare Maßnahme wird die Entsorgung des bleihaltigem Anthrazits durch die Montanwerke Brixlegg AG vorgeschlagen, wodurch bis zu 70% von den derzeitigen Entsorgungskosten eingespart werden könnten.

Literaturverzeichnis

- /1/ H. Bayer et. al.: „Abwärmenutzung und Einsatz Erneuerbarer Energieträger in einem metallverarbeitenden Betrieb“, Joanneum Research, Graz, Bericht Nr.: IEF-B-02/03, November 2003
- /2/ P. Enzinger et. al.: „Ressourceneffizienzsteigerung durch Optimierung der Filterreinigung mittels Abwärmenutzung in einem metallverarbeitenden Betrieb“, Joanneum Research, Graz, Bericht Nr.: IEF-B-13/03, Mai 2004
- /3/ R. Padinger: „Ressourceneffizienzsteigerung durch experimentelle Optimierung der Dampfbereitstellung und durch Reduktion der Produktionsabfälle in einem metallverarbeitenden Betrieb Feuerung – Zwischenbericht“, Joanneum Research, Graz, Bericht Nr.: IEF-B-08/03, Dezember 2003
- /4/ Recknagel, Sprenger, Schramek: „Taschenbuch für Heizung und Klimatechnik“, 69. Auflage 1999, R. Oldenbourg Verlag München Wien
- /5/ EN 304: „Heizkessel – Prüfregele für Heizkessel mit Ölzerstäubungsbrennern“, September 1992, enthalten in ÖNORM EN 304 von 1. Februar 1993

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1.1: Lageplan der Fa. Joh. Pengg AG in Thörl

Abbildung 3.1: Lageplan der Anlage Patentieren IV

Abbildung 3.2: Anlage Patentieren IV – Schema

Abbildung 3.3: Anlage Patentieren IV – Ofen Längsseite

Abbildung 3.4: Anlage Patentieren IV – Ofen Vorderseite

Abbildung 3.5: Anlage Patentieren IV – Bleibad

Abbildung 3.6: Anlage Patentieren IV - Schema des Ofens und Verbrennungsgasführung

Abbildung 3.7: Anlage Patentieren IV – Ist-Zustand der Dämmung des Bleibades mit Anthrazit im Querschnitt

Abbildung 3.8: Wärmedämmung des Bleibades – Dämmversion 1: Zusätzliche Dämmung

Abbildung 3.9: Wärmedämmung des Bleibades – Dämmversion 2: Andere Dämmung

Abbildung 3.10: Beispielhafte Berechnung der Wärmeverluste für den Ist-Zustand sowie für zwei Dämmversionen

Abbildung 3.11: Schematischer Versuchsaufbau zur Durchführung von Wärmedämmversuchen mit Anthrazitschichten unterschiedlicher Stärken (Längsschnitt durch das Bleibad)

Abbildung 3.12: Schematischer Versuchsaufbau zur Durchführung von Wärmedämmversuchen mit unterschiedlichen Dämmstärken aus Steinwolle-Dämmplatten (Längsschnitt durch das Bleibad)

Abbildung 3.13: Schematischer Versuchsaufbau zur Durchführung von Wärmedämmversuchen in der Draufsicht

Abbildung 3.14: Versuchsaufbau zur Durchführung von Wärmedämmversuchen am Bleibad der Anlage Patentieren I

Abbildung 3.15: Oberflächentemperaturen (°C) der normalen Anthrazitschicht (Dicke ca. 10 mm) an der Anlage Patentieren I vor der Durchführung der Wärmedämmversuche

Abbildung 3.16: Steinwolle-Dämmplatte nach den Dämmversuchen und nach Abnahme der dritten Dämmstufe

Abbildung 3.17: Steinwolle-Dämmplatte nach den Dämmversuchen – Detailansicht der „verbrannten“ Schicht

Abbildung 3.18: Anthrazitasche nach Abnahme der Steinwolle-Dämmplatten nach den Dämmversuchen

Abbildung 3.19: Bleihaltige Anthrazitprobe

Abbildung 4.1: Rechenbeispiel für das Abwärmepotential des Ofens der Anlage Patentieren IV berechnet mit dem Rechenmodell „RM_Abwärme.xls“

Abbildung 4.2: Rechenbeispiel zur Ermittlung der Wärmeverluste beim Ist-Zustand und für drei Varianten einer verbesserten Wärmedämmung der Bleibäder der Anlage Patentieren I berechnet mit dem Rechenmodell „RM_Wärmeverluste.xls“

Abbildung 4.3: Rechenbeispiel zur Ermittlung der Wärmeverluste beim Ist-Zustand und bei drei Varianten einer verbesserten Wärmedämmung der Bleibäder der Anlage Patentieren IV, berechnet mit dem Rechenmodell „RM_Wärmeverluste.xls“

Tabellenverzeichnis

Tabelle 3.1: Anlage Patentieren IV - Daten der wichtigsten Komponenten

Tabelle 3.2: Gesamtgasverbrauch und Gasverbrauch des Ofens der Anlage Patentieren IV im Jahre 2003 (Quelle: Fa. Joh. Pengg AG)

Tabelle 3.3: Kumulierter Gasverbrauch des Ofens der Anlage Patentieren IV während der Messungen

Tabelle 4.1: Gemessene Verbrennungsgas-Parameter des Ofens der Anlage Patentieren IV an zwei verschiedenen Messstellen

Tabelle 4.2: Messergebnisse der an der Anlage Patentieren I durchgeführten Dämmversuche: Bleibadtemperatur, zusätzliche Dämmstärke und Oberflächentemperatur des rechten und linken Bleibades sowie die Umgebungstemperatur und Versuchsdauer

Diagrammverzeichnis

Diagramm 3.1: Gesamtgasverbrauch und Gasverbrauch des Ofens der Anlage Patentieren IV im Jahre 2003 (Quelle: Fa. Joh. Pengg AG)

Diagramm 3.2: Kumulierter Gasverbrauch des Ofens der Anlage Patentieren IV während der Messungen

Diagramm 3.3: Spezifische Wärmeverluste durch Strahlung und Konvektion in Abhängigkeit von der Oberflächentemperatur bei einer Umgebungstemperatur von 30 °C

Diagramm 3.4: Zeitlicher Verlauf der Oberflächentemperatur der normalen Anthrazitschicht, der vier Stufen Anthrazitdämmung und der mittleren Bleibadtemperatur des rechten Bleibades der Anlage Patentieren I während der Wärmedämmversuche

Diagramm 3.5: Zeitlicher Verlauf der Oberflächentemperatur der normalen Anthrazitschicht, der drei Stufen Steinwollendämmung und der mittleren Bleibadtemperatur des linken Bleibades der Anlage Patentieren I während der Wärmedämmversuche

Diagramm 4.1: Abwärmleistung des Ofens der Anlage Patentieren IV an zwei verschiedenen Stellen entlang des Verbrennungsgasweges in Abhängigkeit von der Verbrennungsgastemperatur nach dem Wärmetauscher

Diagramm 4.2: Gemessene Oberflächentemperaturen bei zusätzlicher Dämmung mit Anthrazit bzw. Steinwolle-Dämmplatten in Abhängigkeit von der zusätzlichen Dämmstärke

Diagramm 4.3: Spezifische Wärmeverluste einer waagrechten Platte nach oben durch Konvektion und Strahlung bei einer Umgebungstemperatur von 30 °C und einem Emissionsgrad der Oberfläche von 0,9 in Abhängigkeit von der Oberflächentemperatur

Diagramm 4.4: Vergleich der gemessenen und der mit dem Rechenmodell „RM_Wärmeverluste.xls“ berechneten Oberflächentemperaturen bei zusätzlicher Dämmung der Bleibadoberflächen mit Anthrazit bzw. Steinwolle-Dämmplatten

Anlagenverzeichnis

Anlage 1: Rechenmodell „RM_Abwärme.xls“ zur Ermittlung des Abwärmepotentials von mit Erdgas befeuerten Verbrennungsanlagen

Anlage 2: Rechenmodell „RM_Wärmeverluste.xls“ zur Ermittlung der Wärmeverluste von Bleibädern über die Oberfläche

Anlage 3: Untersuchungsbericht über die Analyse von bleihaltigen Anthrazitproben der Fa. Joh. Pengg AG auf Blei und Zink der staatlich autorisierten Versuchsanstalt „FTU Forschungsgesellschaft Technischer Umweltschutz GmbH“, Wien vom 30. März 2004

Anlage 1

Rechenmodell „RM_Abwärme.xls“ zur Ermittlung des Abwärmepotentials von mit Erdgas befeuerten Verbrennungsanlagen

In dieser Anlage wird das zur Berechnung des Abwärmepotentials von mit Erdgas befeuerten Verbrennungsanlagen erstellte Rechenmodell „RM_Abwärme.xls“ dokumentiert. Bei der Fa. Joh. Pengg AG dient es in erster Linie zur Berechnung der Abwärmeverluste der Öfen. In der Folge werden zuerst die Handhabung und anschließend die im Rechenmodell verwendeten Rechenverfahren beschrieben.

Das Rechenmodell wurde im Tabellenkalkulationsprogramm Microsoft EXCEL 2000 erstellt. Das Eingabe- und Ergebnisblatt samt „Beschreibungen / Anmerkungen“ ist in Abbildung A1.1 dargestellt.

Rechenmodell zur Abwärmenutzung	
Brennstoff: Erdgas	
EINGABEDATEN	
	Eingabezellen
(1) Betriebsstunden pro Jahr (h/a)	8.000
(2) Erdgasverbrauch (m _N ³ /h)	50,0
(3) Sauerstoffgehalt des trockenen Verbrennungsgases (v%)	17,0
(4) Verbrennungsgastemperatur t _{vor_WT} (°C)	193
(5) Verbrennungsgastemperatur t _{nach_WT} (°C)	100
RECHENERGEBNISSE	
(6) nutzbare Abwärmeleistung (kW) bei Abkühlung von t _{vor_WT} auf t _{nach_WT}	88,9
(7) nutzbare Abwärmemenge pro Jahr (MWh/a) bei Abkühlung von t _{vor_WT} auf t _{nach_WT}	711,2
(8) Verbrennungsgas-Massenstrom (kg/s)	0,895
(9) Verbrennungsgas-Normdichte (kg/m _N ³)	1,28
<p>Dieses Rechenmodell wurde im Rahmen des Projektes "RE-ST: Ressourceneffizienzsteigerung durch experimentelle Optimierung von Wärmebehandlungsprozessen in der metallverarbeitenden Industrie" der Programmlinie "Fabrik der Zukunft" (Zl. 806120) des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie im Auftrag des Forschungsförderungsfonds für die gewerbliche Wirtschaft (FFF) und der Fa. Joh. Pengg AG von Joanneum Research, Institut für Energieforschung (Projekt Nr.: IEF.2002.GF.013-01, Bericht Nr.: IEF-B-06/04) erstellt.</p> <p>Beschreibungen / Anmerkungen</p> <p>Eingabedaten</p> <p>(1) Betriebsstunden der Anlage pro Jahr, maximal zulässiger Wert 8.760</p> <p>(2) Erdgasverbrauch der Anlage in Normkubikmeter pro Stunde, maximal zulässiger Wert 10.000</p> <p>(3) Sauerstoffgehalt des trockenen Verbrennungsgases in Volumsprozent, maximal zulässiger Wert 20</p> <p>(4) Temperatur des Verbrennungsgases vor dem Wärmetauscher zur Abwärmenutzung in ° C, zulässige Werte größer 80 und kleiner 1.100</p> <p>(5) Temperatur des Verbrennungsgases nach dem Wärmetauscher zur Abwärmenutzung in ° C, zulässige Werte größer als 80 und kleiner als die Verbrennungsgastemperatur vor dem Wärmetauscher (t_{vor_WT})</p> <p>Rechenergebnisse</p> <p>(6) theoretisch nutzbare Abwärmeleistung in Kilowatt bei Abkühlung des Verbrennungsgases von der Temperatur vor dem Wärmetauscher (t_{vor_WT}) auf die Temperatur nach den Wärmetauscher (t_{nach_WT}) bei den in (2) angegebenen Erdgasverbrauch</p> <p>(7) theoretisch nutzbare Abwärmemenge in Megawattstunden pro Jahr bei Abkühlung des Verbrennungsgases von der Temperatur vor dem Wärmetauscher (t_{vor_WT}) auf die Temperatur nach den Wärmetauscher (t_{nach_WT}) bei den in (2) angegebenen Erdgasverbrauch und den in 1 angegebenen Betriebsstunden pro</p> <p>(8) Massenstrom des Verbrennungsgases in Kilogramm pro Sekunde</p> <p>(9) Dichte des Verbrennungsgases bei Normbedingungen (Normtemperatur: 0 °C bzw. 273,15 ; Normdruck: 1.013,25 mbar) in Kilogramm pro Normkubikmeter</p>	



Abbildung A1.1: Eingabe- und Ergebnisblatt samt „Beschreibungen / Anmerkungen“ des Rechenmodells „RM_Abwärme.xls“

Handhabung des Rechenmodells

In den grün hinterlegten Eingabezellen sind die für die Berechnungen erforderlichen Eingabedaten enthalten, welche vom Benutzer einzugeben sind. Die in der ganz linken Spalte

in Klammer angegeben Zahlen (1) bis (9) verweisen auf die unter der Tabelle befindlichen „Beschreibungen / Anmerkungen“, in welcher die jeweiligen Eingabedaten und Rechenergebnisse beschrieben sind. Dabei sind auch die verwendeten Einheiten und die erlaubten Eingabebereiche angegeben. Wird versucht, in die Eingabezellen (1) bis (5) Werte außerhalb des erlaubten Wertebereiches einzugeben (z.B. mehr als 8.760 Betriebsstunden pro Jahr), so erscheint rechts neben der jeweiligen Eingabezelle in roter Schrift der Hinweis „Eingabe nicht erlaubt!!! – nur Werte zwischen z.B. 0 und 8.760 zugelassen“. Bei „falschen“ Eingabedaten werden auch keine Rechenergebnisse angezeigt sondern es erscheint der Hinweis „EINGABEDATEN FALSCH!!!“. Sind alle Eingabedaten korrekt, so werden unterhalb der Zeile „RECHENERGEBNISSE“ (6) bis (9) die berechneten Werte angegeben (Beschreibung siehe „Beschreibungen / Anmerkungen“ (6) bis (9)).

Rechenverfahren

Ausgehend von der Zusammensetzung des Erdgases (97,0 v% CH₄, 1,1 v% C₂H₆, 0,6 v% CO₂, 1,3 v% N₂) und dem gemessene Sauerstoffgehalt im Verbrennungsgas wird die Zusammensetzung des Verbrennungsgases berechnet (Annahme einer vollständigen Verbrennung d.h. nur CO₂, N₂, O₂ und H₂O als Wasserdampf sind im Verbrennungsgas enthalten). Unter Verwendung von Näherungsverfahren (Polynome 4.Ordnung) wird die spezifische Wärmekapazität c_p , welche von der Temperatur und der Gasart abhängt, für jede einzelne Verbrennungsgaskomponente bei einer bestimmten Temperatur berechnet und damit anschließend jene des Verbrennungsgas-Gasgemisches ($c_p = \sum_i (c_{pi} * m_i)$). Daraus werden die Enthalpien h (kJ/kg) des Verbrennungsgases bei der Temperatur vor und nach dem Wärmetauscher berechnet. (h (kJ/kg) = c_p (kJ/(kg*K))* t (°C)). Die Differenz dieser Enthalpien multipliziert mit dem Massenstrom (kg/s), welcher aufgrund des Erdgasverbrauches und des Luftüberschusses berechnet wird, ergibt die Abwärmeleistung (kW). Multipliziert man die Abwärmeleistung mit den jährlichen Betriebsstunden der Anlage so erhält man die pro Jahr zur Verfügung stehende Abwärmemenge (MWh/a). Der zur Auslegung eines Verbrennungsgas-Wärmetauschers wichtige Verbrennungsgas-Massenstrom (siehe oben) und die aufgrund der Verbrennungsgaszusammensetzung gegebene Normdichte des Verbrennungsgases werden ebenfalls angegeben.

Anlage 2

Rechenmodell „RM_Wärmeverluste.xls“ zur Ermittlung der Wärmeverluste von Bleibädern über die Oberfläche

In dieser Anlage wird das für die Fa. Joh. Pengg AG erstellte Rechenmodell „RM_Wärmeverluste.xls“ dokumentiert. Es dient zur Berechnung der Wärmeverluste über die Oberfläche der Bleibäder durch Konvektion und Strahlung. In der Folge wird zuerst die Handhabung und anschließend die im Rechenmodell verwendeten Rechenverfahren beschrieben.

Das Rechenmodell wurde im Tabellenkalkulationsprogramm Microsoft EXCEL 2000 erstellt. Das Eingabe- und Ergebnisblatt samt „Beschreibungen / Anmerkungen“ ist in Abbildung A2.1 dargestellt.

Berechnung der Wärmeverluste von Bleibadoberflächen durch Konvektion und Strahlung			FABRIK der Zukunft		Jah. Peng AG KUTTI	
INGABEDATEN			Eingabewerte			
(1)	Umgebungstemperatur (°C)		30			
(2)	Betriebsstunden pro Jahr (h/a)		8.000			
Ist-Zustand			Dämmung mit Anthrazit (Dicke: 10 mm)			
(3)	Bleibadtemperatur (°C)		Bleibad links	Bleibad rechts		
(4)	Länge (m)		3,88	3,88		
(5)	Breite (m)		0,425	0,425		
(6)	Emissionsgrad der Oberfläche		0,90	0,90		
(7)	Oberflächentemperatur ist (°C)		230	293		
Variante 1:			Zusätzliche Dämmung mit Anthrazit			
(8)	Emissionsgrad der Oberfläche		0,90	0,90		
(9)	Oberflächentemperatur ist (°C)		95	95		
Variante 2:			Dämmung mit Steinwolle			
(10)	Emissionsgrad der Oberfläche		0,90	0,90		
(11)	Oberflächentemperatur ist (°C)		95	95		
Variante 3:			Dämmung mit anderem Dämmmaterial			
(12)	Wärmeleitfähigkeit Dämmmaterial (W/mK)		0,15	0,15		
(13)	Emissionsgrad der Oberfläche		0,90	0,90		
(14)	Oberflächentemperatur ist (°C)		95	95		
RECHNERGEBNISSE			Ist-Zustand			
(15)	Wärmeverluste (kW)		7.175	12.294	19.469	
(16)	Wärmeverluste (MWh/a)		57.397	98.353	155.750	
Variante 1			Variante 2			
(17)	Anthrazitdicke (mm)		90	85	Gesamt/delta zu Ist	
(18)	Wärmeverluste (kW)		1.575	1.575	3.149 -84%	
(19)	Wärmeverluste (MWh/a)		12.597	12.597	25.193 -84%	
Variante 2			Variante 3			
(20)	Steinwollendicke (mm)		46	45	Gesamt/delta zu Ist	
(21)	Wärmeverluste (kW)		1.575	1.575	3.149 -84%	
(22)	Wärmeverluste (MWh/a)		12.597	12.597	25.193 -84%	
Variante 3			Variante 3			
(23)	Dämmdicke (mm)		68	68	Gesamt/delta zu Ist	
(24)	Wärmeverluste (kW)		1.575	1.575	3.149 -84%	
(25)	Wärmeverluste (MWh/a)		12.597	12.597	25.193 -84%	
Dieses Rechenmodell wurde im Rahmen des Projektes "RE-ST: Ressourceneffizienzsteigerung durch experimentelle Optimierung von Wärmebehandlungsprozessen in der metallverarbeitenden Industrie" der Programmlinie "Fabrik der Zukunft" (Z. B06120) des Bundesministeriums für Verkehr, Innovation und Technologie im Auftrag des Forschungsförderungs fonds für die gewerbliche Wirtschaft (FFW) und der Fa. Jah. Peng AG von Jeanneum Research, Institut für Energieforschung (Projekt Nr. EF 2002 GF 013-01, Bericht Nr.: IEF-D-0604) erstellt.						
Beschreibungen / Anmerkungen						
Eingabedaten						
(1)	Umgebungstemperatur (°C): zulässiger Bereich 10 bis 50 °C					
(2)	Betriebsstunden der Anlage pro Jahr, maximal 8760					
(3)	Bleibadtemperatur (°C): zulässiger Bereich 300 bis 650 °C und höher als die Oberflächentemperatur					
(4)	Länge des Bleibades (m), maximal 50 m					
(5)	Breite des Bleibades (m), maximal 5 m					
(6)	Emissionsgrad der Oberfläche (grauer Strahler) zur Ermittlung der Strahlungsverluste; zulässiger Bereich 0,01 bis 1 (= schwarzer Strahler)					
(7)	Oberflächentemperatur ist (°C) der vorhandenen Anthrazitschicht, zulässiger Bereich von (Umgebungstemperatur plus 5 °C) bis Bleibadtemperatur					
(8)	Emissionsgrad der Oberfläche (grauer Strahler) zur Ermittlung der Strahlungsverluste; zulässiger Bereich 0,01 bis 1 (= schwarzer Strahler)					
(9)	Oberflächentemperatur ist (°C) der zur besseren Wärmedämmung aufgetragene Anthrazitschicht; zulässiger Bereich von (Umgebungstemperatur plus 5 °C) bis Bleibadtemperatur					
(10)	Emissionsgrad der Oberfläche (grauer Strahler) zur Ermittlung der Strahlungsverluste; zulässiger Bereich 0,01 bis 1 (= schwarzer Strahler)					
(11)	Oberflächentemperatur ist (°C) der zur besseren Wärmedämmung aufgetragene Steinwolle-Dämmplatte; zulässiger Bereich von (Umgebungstemperatur plus 5 °C) bis Bleibadtemperatur					
(12)	Wärmeleitfähigkeit des aufgetragenen Dämmmaterials (W/mK) bei der mittleren Temperatur des Dämmmaterials; zulässiger Bereich 0,01 bis 4					
(13)	Emissionsgrad der Oberfläche (grauer Strahler) zur Ermittlung der Strahlungsverluste; zulässiger Bereich 0,01 bis 1 (= schwarzer Strahler)					
(14)	Oberflächentemperatur ist (°C) des zur besseren Wärmedämmung aufgetragenen anderen Dämmmaterials; zulässiger Bereich von (Umgebungstemperatur plus 5 °C) bis Bleibadtemperatur					
Rechenergebnisse						
(15)	Wärmeverluste (kW) des Ist-Zustandes über die Oberfläche durch Konvektion und Strahlung für das linke und rechte Bleibad sowie Gesamt (= linkes + rechtes Bleibad)					
(16)	Wärmeverluste (MWh/a) pro Jahr bei den in (2) angegebenen Betriebsstunden des Ist-Zustandes über die Oberfläche durch Konvektion und Strahlung für das linke und rechte Bleibad sowie Gesamt (= linkes + rechtes Bleibad)					
(17)	Anthrazitdichtungen (mm) über den Bleibäden, welche zur Erreichung der in (9) angegebenen Oberflächentemperaturen erforderlich sind					
(18)	Wärmeverluste (kW) bei Dämmung mit den in (17) angegebene Anthrazitdichtungen über die Oberfläche durch Konvektion und Strahlung für das linke und rechte Bleibad sowie Gesamt (= linkes + rechtes Bleibad) und die prozentuale Differenz zum Ist-Zustand					
(19)	Wärmeverluste (MWh/a) pro Jahr bei den in (2) angegebenen Betriebsstunden und den in (17) angegebene Anthrazitdichtungen über die Oberfläche durch Konvektion und Strahlung für das linke und rechte Bleibad sowie Gesamt (= linkes + rechtes Bleibad) und die prozentuale Differenz zum Ist-Zustand					
(20)	Steinwollendichtungen (mm) über den Bleibäden, welche zur Erreichung der in (11) angegebenen Oberflächentemperaturen erforderlich sind					
(21)	Wärmeverluste (kW) bei Dämmung mit den in (20) angegebenen Steinwollendichtungen über die Oberfläche durch Konvektion und Strahlung für das linke und rechte Bleibad sowie Gesamt (= linkes + rechtes Bleibad) und die prozentuale Differenz zum Ist-Zustand					
(22)	Wärmeverluste (MWh/a) pro Jahr bei den in (2) angegebenen Betriebsstunden und den in (20) angegebene Steinwollendichtungen über die Oberfläche durch Konvektion und Strahlung für das linke und rechte Bleibad sowie Gesamt (= linkes + rechtes Bleibad) und die prozentuale Differenz zum Ist-Zustand					
(23)	Dämmdicken (mm) eines anderen Dämmmaterials über den Bleibäden, welche zur Erreichung der in (14) angegebenen Oberflächentemperaturen erforderlich sind					
(24)	Wärmeverluste (kW) bei Dämmung mit den in (23) angegebene Schichtdicken eines anderen Dämmmaterials über die Oberfläche durch Konvektion und Strahlung für das linke und rechte Bleibad sowie Gesamt (= linkes + rechtes Bleibad) und die prozentuale Differenz zum Ist-Zustand					
(25)	Wärmeverluste (MWh/a) pro Jahr bei den in (2) angegebenen Betriebsstunden und den in (23) angegebenen Schichtdicken eines anderen Dämmmaterials über die Oberfläche durch Konvektion und Strahlung für das linke und rechte Bleibad sowie Gesamt (= linkes + rechtes Bleibad) und die prozentuale Differenz zum Ist-Zustand					

Abbildung A2.1: Eingabe- und Ergebnisblatt samt „Beschreibungen / Anmerkungen“ des Rechenmodells „RM_Wärmeverluste.xls“

Handhabung des Rechenmodells

In den grün hinterlegten Eingabezellen sind die für die Berechnungen erforderlichen Eingabedaten enthalten, welche vom Benutzer einzugeben sind. Die in der ganz linken Spalte in Klammern angegeben Zahlen (1) bis (14) verweisen auf die unter der Tabelle befindlichen „Beschreibungen / Anmerkungen - Eingabedaten“, in welchen die jeweiligen Eingabedaten beschrieben sind. Dabei sind auch die verwendeten Einheiten und die erlaubten Eingabebereiche angegeben. Wird versucht, in die Eingabezellen Werte außerhalb des erlaubten Wertebereiches einzugeben (z.B. Umgebungstemperatur kleiner als 10 °C oder größer als 50 °C), so erscheint in roter Schrift der Hinweis „FALSCH!!!“ bzw. „ACHTUNG UNERLAUBTER EINGABEWERT!!!“. Bei „falschen“ Eingabedaten werden auch keine Rechenergebnisse angezeigt (15) bis (25), sondern in allen Zellen mit Rechenergebnissen erscheint „FALSCH“. Sind alle Eingabedaten korrekt, so werden unterhalb der Zeile „RECHENERGEBNISSE“ (15) bis (25) die berechneten Werte angegeben (siehe „Beschreibungen / Anmerkungen - Rechenergebnisse“).

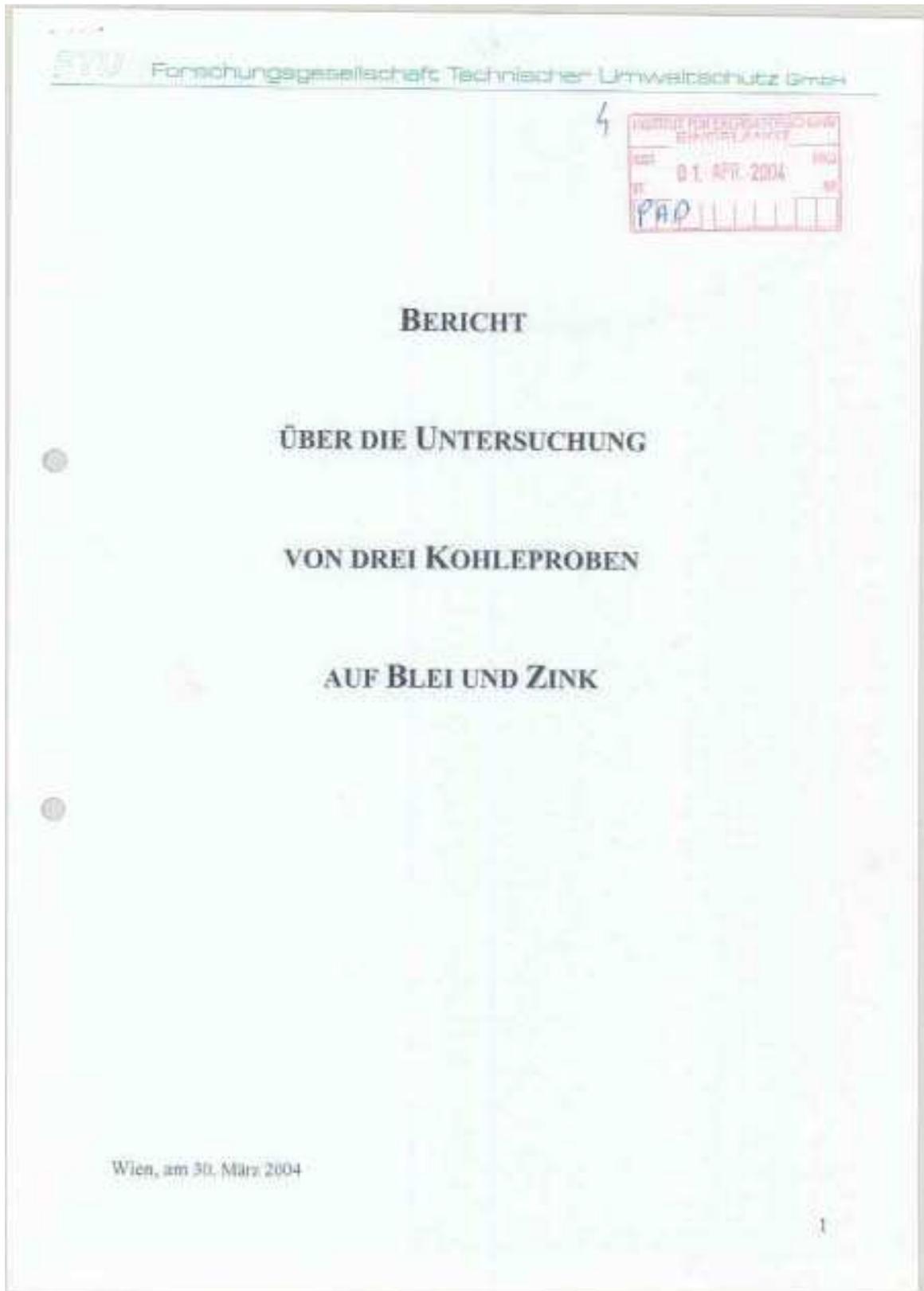
Das Rechenmodell berechnet die Wärmeverluste (kW) für den Ist-Zustand (15), die Variante 1: Zusätzliche Dämmung mit Anthrazit (18), die Variante 2: Dämmung mit Steinwolle-Dämmplatten (21) und Variante 3: Dämmung mit anderen Dämmmaterialen (24), wobei diese Berechnungen für zwei Bleibäder (linkes und rechtes Bleibad) gleichzeitig durchgeführt und auch als Gesamt (Summe linkes und rechtes Bleibad) angegeben werden. Die jährlichen Wärmeverluste (MWh/a) werden aufgrund der Wärmeverluste (kW) und den jährlichen Betriebsstunden (2) berechnet und sind ebenfalls für den Ist-Zustand (16) und die drei Varianten (19), (22) und (25) dargestellt. Für alle drei Varianten wird auch der prozentuelle Unterschied der Gesamtverluste zum Ist-Zustand angegeben. Zur Durchführung dieser Berechnungen ist für alle drei Varianten die gewünschte Oberflächentemperatur t_{soll} an der Oberseite der Dämmung (9), (11) und (14) sowie der Emissionsgrad der Oberfläche (8), (10) und (13), bei Variante 3 zusätzlich die Wärmeleitfähigkeit des verwendeten Dämmmaterials (12) bei der mittleren Temperatur des Dämmmaterials (ermittelt aus der Temperatur des Bleibades und Oberflächentemperatur des Dämmmaterials an der Oberseite) einzugeben. Damit werden dann außer den Wärmeverlusten die erforderlichen Dicken der Dämmmaterialen Anthrazit (17), Steinwolle (20) und des anderen Dämmmaterials (23) berechnet.

Rechenverfahren

Zur Berechnung der Wärmeverluste durch Konvektion und Strahlung über die Oberfläche der Bleibäder werden die Wärmeverluste durch Konvektion für eine waagrechte Platte nach oben ermittelt. Dabei werden zur Ermittlung des Wärmeübergangskoeffizienten durch Konvektion α_K Näherungsverfahren /4/ angewendet ($\alpha_K = (Nu * \lambda) / l$). Die Wärmeverluste durch Strahlung werden ebenfalls durch Ermittlung des Wärmeübergangskoeffizienten durch Strahlung α_S berechnet, wobei angenommen wird, dass es sich um parallele, unendlich große Platten handelt ($\alpha_S = C * b$). Diese beiden Teil-Wärmeverluste werden addiert, wodurch man die Wärmeverluste durch Konvektion und Strahlung erhält ($q = q_K + q_S = (\alpha_K + \alpha_S) * \Delta t$). Die Wärmeverluste der Bleibäder nach oben sind nur von der Umgebungstemperatur, der Temperatur und dem Emissionsgrad ε der jeweiligen Oberfläche des Dämmmaterials abhängig. Zur Ermittlung der Dämmstärke für Anthrazit und Steinwolle-Dämmplatten werden die bei den Versuchen experimentell ermittelten (temperaturabhängigen) Wärmeleitfähigkeiten λ ($\lambda = (q * s) / \Delta t$) verwendet.

Anlage 3

Untersuchungsbericht über die Analyse von bleikontaminierten Anthrazitproben der Fa. Joh. Pengg AG auf Blei und Zink der staatlich autorisierten Versuchsanstalt „FTU Forschungsgesellschaft Technischer Umweltschutz GmbH“, Wien vom 30. März 2004



 **Forschungsgesellschaft Technischer Umweltschutz GmbH**

Auftraggeber: Joanneum Research
Forschungsgesellschaft mbH
Institut für Energieforschung
Steyrergasse 17
8010 Graz

Auftragsnummer/datum: 4537815 vom 23.2.2004

Auftragsgegenstand: Analysen von drei Kohleproben auf Blei und Zink

Begleitscheinnummer: 39/04

Auftragnehmer: Forschungsgesellschaft Technischer Umweltschutz
Shuttleworthstraße 4-8
1210 Wien
☎ +43 (0)1 29 100-3525, Fax: +43 (0)1 292 77 66
e-mail: fu.gmbh@netway.at, Homepage: www.fu.at

Projektleiter: Univ. Prof. Dr. Th. Prey

Durchführende: A. Krenauer

2

 **Forschungsgesellschaft Technischer Umweltschutz GmbH**

1. Einleitung

Von IR wurden 3 Kobleproben aus dem Abdeckmaterial einer Verzinkerei übersandt, um den Gehalt an Zink und Blei festzustellen.

2. Untersuchungsmethoden

Die Proben wurden für Blei mit modifiziertem Königwasseraufschluß (Mikrowelle) und für Zink mit Schwefelsäure-Peroxid-Aufschluß (Mikrowelle) aufgeschlossen. Die Analyse erfolgte über ICP-MS gemäß SOP 209.

3. Ergebnisse

Probe	Pb in mg/kg	Zn in mg/kg
A1 Öl	934	210
G	185	177
A2 ZAB (verbraucht)	1.975	165


Univ. Prof. Dr. Th. Prey

3