

# Abschlussbericht des technisch orientierten Vorhabens mit dem Titel:

## Wärmerückgewinnung am Drehrohrofen

Gefördert unter dem Az: 34475/01



bei der  
Deutschen Bundesstiftung Umwelt  
An der Bornau 2  
49090 Osnabrück

### Antragsteller:



Liapor GmbH & Co. KG  
Industriestraße 2  
D-91352 Hallerndorf-Pautzfeld

### Geschäftsführung:

Jürgen Tuffner  
Tel.: +49 9545 448 14  
[juergen.tuffner@liapor.com](mailto:juergen.tuffner@liapor.com)

Rudolf Borýsek  
Tel.: +49 9545 448 11  
[borysek@liapor.com](mailto:borysek@liapor.com)

### Betriebsleitung:

Eugen Schilnikow  
Tel.: +49 9545 448 27  
[eugen.schilnikow@liapor.com](mailto:eugen.schilnikow@liapor.com)

### Ansprechpartner:

Norbert Merkel  
Tel.: +49 9545 448 51  
[norbert.merkel@liapor.com](mailto:norbert.merkel@liapor.com)

06/02		<b>Projektkennblatt</b> der <b>Deutschen Bundesstiftung Umwelt</b>			
Az	<b>34475/01</b>	Referat	<b>24/0</b>	Fördersumme	<b>94.490,- €</b>
<b>Antragstitel</b>		<b>Entwicklung und Erprobung eines innovativen Verfahrens zur Wärmerückgewinnung an Drehrohröfen</b>			
<b>Stichworte</b>		Energie, Wärmerückgewinnung			
Laufzeit	Projektbeginn	Projektende	Projektphase(n)		
<b>30 Monate</b>	<b>01.11.2018</b>	<b>30.04.2021</b>	<b>1</b>		
<b>Zwischenberichte</b>					
<b>Bewilligungsempfänger</b>	Liapor GmbH & Co. KG Industriestraße 2 91352 Hallerndorf-Pautzfeld Deutschland	Tel	09545/448 51		
		Fax	09545/448 85		
		Projektleitung Norbert Merkel			
		Bearbeiter			
<b>Kooperationspartner</b>					
<p><b>Zielsetzung und Anlass des Vorhabens</b></p> <p>Die Liapor GmbH &amp; Co. KG betreibt zwei Drehrohröfenanlagen zur Herstellung von Blähton. An den Mantelflächen der Ofenanlagen wird sehr viel Wärme ungenutzt an die Umgebung abgegeben. Die Wärmeabfuhr vom Ofen an die Umgebung (Kühlung) ist zwar notwendig, um ein Überhitzen des Ofenmantels zu verhindern, jedoch soll untersucht werden, einen Teil dieser thermischen Energie an einem unkritischen Bereich des Kühlers zurückzugewinnen und für das Erhitzen des Wärmeträgeröl-Kreislaufes nutzbar zu machen. Für die Nutzung der Strahlungswärme an der Ofenmantelfläche gibt es bisher nur wenig Ansätze und es ist kein bisher umgesetztes Projekt in dieser Form bekannt.</p> <p><b>Darstellung der Arbeitsschritte und der angewandten Methoden</b></p> <p>Die Durchführung des Projektes war in 7 Projektphasen geplant:</p> <ol style="list-style-type: none"> <li>1. Grundlagenermittlung</li> <li>2. Vorplanung</li> <li>3. Entwurfsplanung</li> <li>4. Ausführungsplanung</li> <li>5. Vergabe</li> <li>6. Montage</li> <li>7. Inbetriebnahme</li> </ol> <p>Zu 1.) Bei der Grundlagenermittlung wurde eine Ist-Aufnahme der baulichen Situation vor Ort und thermografische Untersuchungen des Drehrohrmantels sowie des umliegenden Stahlbaus durchgeführt.</p> <p>Zu 2.) Auf Grundlage dieser Ergebnisse wurde bei der Vorplanung ein grobes Konzept erarbeitet. Im Vordergrund stand dabei die generelle Funktionalität und die wirtschaftliche und praktische Umsetzbarkeit.</p> <p>Zu 3.) Bei der Entwurfsplanung wurde dieses Konzept dann weiter im Detail ausgearbeitet. Dabei wurden bereits verschiedene Betriebszustände sowie stör- und sicherheitsrelevante Aspekte betrachtet. Die ersten drei Projektphasen wurden im Rahmen eines HOAI-Vertrages von einem externen Ingenieurbüro durchgeführt. Wegen personeller Veränderungen konnte dieses Ingenieurbüro das Projekt nicht mehr weiter betreuen. Da die Suche nach einem alternativen Ingenieurbüro zur Unterstützung erfolglos blieb, wurden bei verschiedenen Firmen für Wärmetauscher und Energietechnik direkt Anfragen für die Umsetzung der Projektschritte 4-7 platziert.</p>					
Deutsche Bundesstiftung Umwelt • An der Bornau 2 • 49090 Osnabrück • Tel 0541/9633-0 • Fax 0541/9633-190 • <a href="http://www.dbu.de">http://www.dbu.de</a>					

### ***Ergebnisse und Diskussion***

Auf drei Anfragen folgte ein belastbares Angebot für den Bau dieser Wärmetauscheranlage. Dieses Angebot liegt bei ca. 345.000 €, jedoch ohne Fundamentarbeiten, Isolierungsarbeiten, Thermoöl und Inbetriebnahme. In Summe belaufen sich die Projektkosten dadurch auf etwa 425.000 €. Die Amortisationszeit verlängert sich dadurch auf fast 14 Jahre, was zu der Entscheidung führt, das Projekt in der Form nicht weiter verfolgen zu können.

### ***Öffentlichkeitsarbeit und Präsentation***

### ***Fazit***

Auf Grund der Neuartigkeit und fehlender Vorprojekte war die Umsetzbarkeit von Anfang an mit gewissen Risiken behaftet. Dieser Risiken war sich die Liapor GmbH & Co. KG bewusst und bereit einzugehen. Die Entwurfsplanung ergab, dass eine Umsetzung aus technischer Sicht prinzipiell möglich ist. Auch das Risiko einer Überhitzung des Ofenmantels wäre an dieser Stelle am Kühler aus Sicht von Liapor durch die Möglichkeit des auseinanderfahrbaren Wärmetauschers auf ein Minimum reduzierbar.

Waren anfänglich noch Einsparungen gegenüber dem Kostenplan zu erwarten, so zeigte sich mit dem Angebot für die Vergabe der Auslegung, Fertigung und Montage, dass mit deutlich höheren Kosten zu rechnen ist. Durch diese höheren Investitionen, ist eine wirtschaftliche Umsetzung dieses Projektes so nicht mehr gewährleistet. Deshalb musste seitens Liapor die Entscheidung getroffen werden, das Projekt in dieser Form vorzeitig abzubrechen. Dennoch wird auch zukünftig die Wärmerückgewinnung an verschiedenen Stellen bei Liapor aus umwelttechnischen Aspekten ein Thema bleiben. Es werden große Anstrengungen unternommen und Investitionen getätigt, um weitere Möglichkeiten zur Rückgewinnung von nicht direkt einsparbarer Prozessenergie zu finden.

## Inhaltsverzeichnis

Projektkennblatt.....	2
1 Abbildungsverzeichnis.....	5
2 Zusammenfassung.....	6
3 <i>Wie kam es zu dem Projekt</i> .....	7
4 <i>Projekt Wärmerückgewinnung</i> .....	9
4.1 <i>Grundidee</i> .....	9
4.2 <i>Umsetzung</i> .....	12
4.2.1 Schritt 1: Grundlagenermittlung .....	12
4.2.2 Schritt 2: Vorplanung.....	13
4.2.3 Schritt 3: Entwurfsplanung.....	16
5 Fazit .....	24

# 1 Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Prozessschema Blähtonherstellung .....	7
Abbildung 2: Mögliche Anordnung der Kollektoren.....	10
Abbildung 3: Prinzip-Schema Thermoölkreislauf .....	11
Abbildung 4: Thermografie Mantelrohr des Kühlers .....	12
Abbildung 5: Thermografie Stahlträger längs zum Kühler .....	13
Abbildung 6: Thermografie Stahlträger quer zum Kühler .....	13
Abbildung 7: Entwurf Wärmetauscher hängend am Stahlbau.....	14
Abbildung 8: Entwurf Wärmetauscher hängend am Stahlbau Seitenansicht.....	14
Abbildung 9: Entwurf Laufrollen .....	15
Abbildung 10: Entwurf Fließbild Wärmetauscher inkl. Einbindung .....	16
Abbildung 11: Entwurf Wärmetauscher hängend am Stützgestell .....	18
Abbildung 12: Entwurf Wärmetauscher hängend am Stützgestell Seitenansicht .....	20
Abbildung 13: Details Laufrollen, Laufschiene und Verriegelung .....	21

## 2 Zusammenfassung

Für die Herstellung von Blähton besitzt die Liapor GmbH & Co. KG zwei dreistufige Drehrohrofenanlagen, bestehend aus Vorwärmer, Blähofen und Kühler. An den Mantelflächen dieser Drehrohre wird verhältnismäßig viel Energie an die Umgebung abgegeben. Die Art der Anlagentechnik erfordert es, dass diese Energie zuverlässig abgeführt wird, um eine Überhitzung des Mantelrohres zu vermeiden. Eine äußere Isolierung des Ofens zur Abwärmevermeidung kommt somit nicht in Frage. Bei dem hier beschriebenen Projekt soll die Strahlungsenergie des Ofenmantels mit Hilfe speziell angefertigter Wärmetauscher abgegriffen und für die Erwärmung des Thermoölkreislaufes nutzbar gemacht werden.

Das Thermoöl wird bisher über einen mit Heizöl befeuerten Brenner auf etwa 150°C erhitzt und dient als Wärmeträgermedium für die Heizung der beiden Schweröltanks und für die Begleitheizung der Schwerölleitungen in der Anlage. Dazu werden jährlich etwa 80.000 Liter leichtes Heizöl verbraucht. Ersten Schätzungen zufolge kann durch die geplante Wärmerückgewinnung theoretisch bis zu 70% an Heizöl eingespart werden. Dies entspräche etwa einer Energie von bis zu 560.000 kWh und rund 187 Tonnen CO<sub>2</sub> Ausstoß pro Jahr.

Bei der Entwicklung eines solchen Wärmerückgewinnungskonzepts wurde mit einem örtlichen Ingenieurbüro zusammengearbeitet. Dieses Ingenieurbüro wurde im Rahmen eines HOAI-Vertrages mit den ersten Projektschritten bis hin zur Entwurfsplanung beauftragt. Während dessen wurden bereits vereinzelt Vorbereitungen getroffen, z.B. Setzen der Anschlussstellen im Wärmeträgerölkreislaufs, um die Umsetzung und Einbindung auch während des Betriebes zu ermöglichen. Das Ergebnis der Entwurfsplanung war eine detaillierte Vorplanung mit dem Ergebnis, dass das Projekt im vorgegebenen Kostenrahmen realisierbar wäre. Das bis dahin federführend Tätige Ingenieurbüro stand nach der Entwurfsplanung aus personellen Gründen für Liapor nicht mehr zur Verfügung.

Nach Anfragen bei insgesamt drei Firmen über die Fertigung und Montage dieser neuartigen Anlage, konnte lediglich eine Firma ein Angebot abgeben. Dieses Angebot überstieg die geplanten Kosten jedoch bei weitem, sodass auf Grund der Amortisationszeit keine wirtschaftlich sinnvolle Umsetzung mehr möglich war. Daraufhin musste entschieden werden, das Projekt in der Form nicht weiter zu verfolgen. Unabhängig davon, wird das Thema Wärmerückgewinnung bei Liapor weiterhin ein Thema bleiben und auch zukünftig Gegenstand von Investitionen und Projekten sein, die zu umweltrelevanten Energieeinsparungen führen sollen.

### 3 Wie kam es zu dem Projekt

Die Liapor GmbH & Co. KG ist ein Hersteller von Blähton für verschiedenste Anwendungsgebiete. Der Herstellprozess sei nachfolgend kurz erläutert:

Der Lias-Delta Ton wird aus der unternehmenseigenen Grube angeliefert, grob vorgebrochen und in einer Walzenschüsselmühle fein vermahlen. Anschließend wird das Tonmehl unter Zugabe von Wasser in Granuliertellern zu dem für Liapor typischen, kugelförmigen Granulat agglomeriert. Dieses Grüngranulat wird mit Kalkmehl bepudert und in der nachgeschalteten dreistufigen Drehrohrofenanlage bei etwa 1200°C gebrannt. Dabei bläht das Material auf und es entsteht die typische poröse Struktur, durch die Blähtonprodukte mit Schüttdichten unter 300 kg/m<sup>3</sup> möglich sind. Zuletzt wird der Materialstrom gesiebt und nach den jeweiligen Fraktionen getrennt gelagert. Ein Teil der Körnung kann noch vor Ort zu verschiedenen Leichtsanden gebrochen werden.

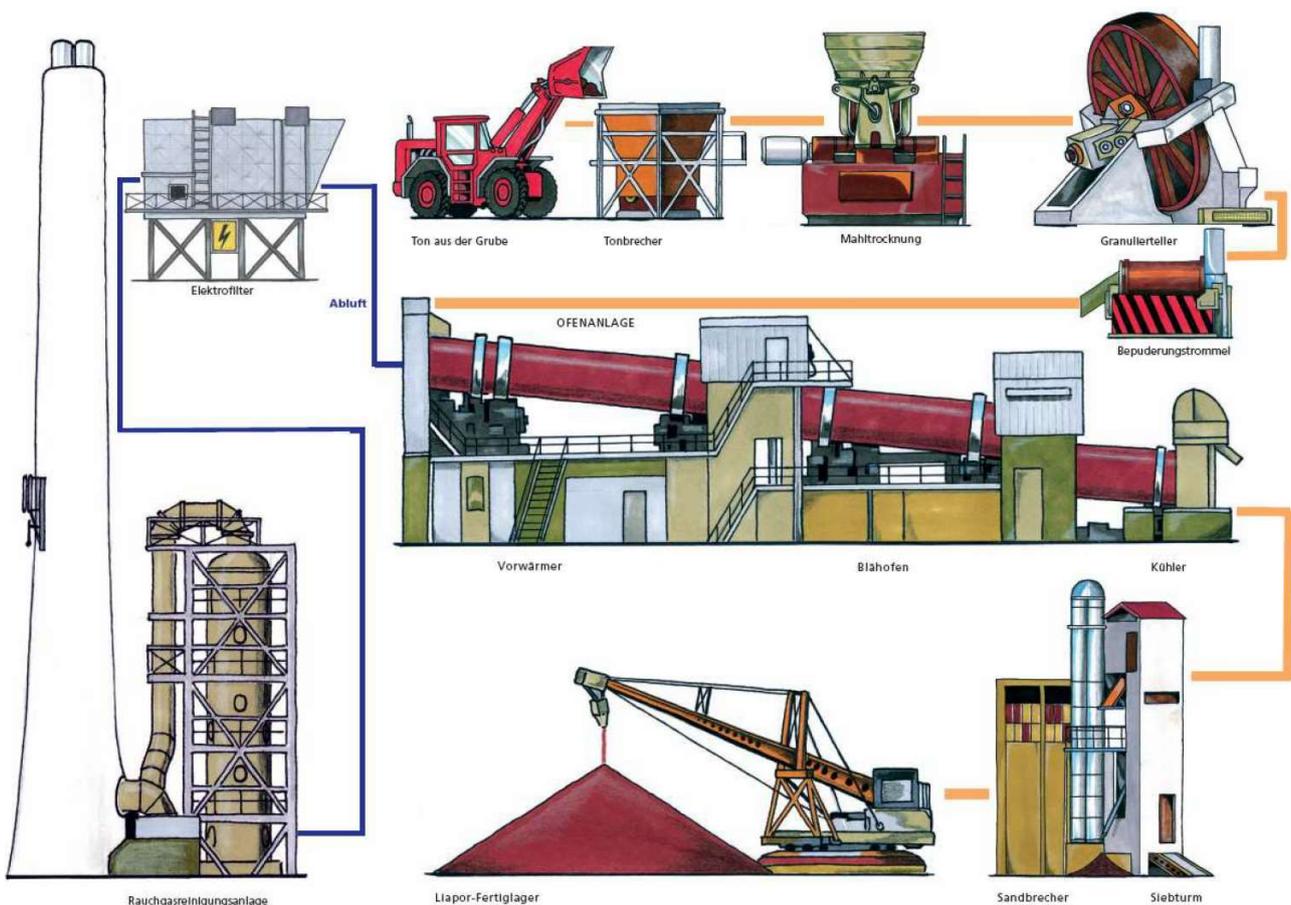


Abbildung 1: Prozessschema Blähtonherstellung

## DBU-Aktenzeichen: 34475/01

Ein Hauptanwendungsgebiet der Körnungen und Leichtsande ist der Einsatz als Leichtzuschlag in der Baustoffindustrie. So können mit diesem Material gefügedichte Leichtbetone genauso wie haufwerksporige Mauersteine gefertigt werden. Auch in Mörteln und als Schüttungen werden Liapor-Produkte eingesetzt. Vorteile sind neben dem geringen Gewicht die hervorragenden Wärme- und Schalldämmeigenschaften. Gleichzeitig ist es als Baustoff nicht brennbar und problemlos recyclebar.

Auch im Grünmarkt findet Blähton in den letzten Jahren immer mehr Anwendung. Ob als Substrat in Pflanzkübeln (Hydrokultur) oder leichte Schüttungen zur Dachbegrünung. Der natürliche Rohstoff ist pflanzenverträglich und hat die Fähigkeit, Wasser und Wärme zu speichern.

Ein weiteres Anwendungsgebiet ist der Einsatz als Filtermaterial in Klär- und Wasseraufbereitungsanlagen. Durch die poröse Struktur und die große spezifische Oberfläche eignet sich das Filtermaterial zugleich hervorragend als Trägermaterial für Bakterien bei der biologischen Wasserreinigung.

Für die Herstellung von Blähton besitzt die Liapor GmbH & Co. KG zwei dreistufige Drehrohrofen-Anlagen (Vorwärmer, Blähofen, Kühler). Der Brennprozess erfordert einen hohen Bedarf an Brennstoffen und ist somit mit Abstand der größte Energieverbraucher im gesamten Herstellungsprozess. An den Mantelflächen der Ofenanlagen wird sehr viel Wärme ungenutzt an die Umgebung abgegeben. Der Wärmestrom vom Ofen an die Umgebung (Kühlung) ist zwar notwendig, um ein Überhitzen des Ofenmantels zu verhindern, jedoch sollte untersucht werden, einen Teil dieser thermischen Energie an einem unkritischen Bereich des Kühlers zurückzugewinnen und für das Erhitzen des Wärmeträgeröl-Kreislaufes nutzbar zu machen.

Das Wärmeträgeröl wird bisher über einen Brenner mit leichtem Heizöl auf bis zu 150°C erhitzt. Der Brenner hat eine maximale Leistung von 400kW. Im getakteten Betrieb läuft er mit einer durchschnittlichen Leistung von ca. 100kW, wenn die Produktion läuft (d.h. mind. eine der beiden Anlagen ist in Betrieb). Pro Jahr werden dabei ca. 800.000 kWh Energie verbraucht (entspricht ca. 80.000l/a Heizöl EL bei einer Produktionslaufzeit von ca. 7200h/a). Bei einer angenommenen Laufzeit der Wärmerückgewinnung von etwa 5200 h (entspricht der durchschnittlichen Laufzeit der Anlage 2) könnten somit durch die rekuperierte Energie im besten Fall bis zu 70% des Heizöls ersetzt werden. Somit würde sich der direkte Ausstoß von Treibhausgasen in CO<sub>2</sub>-Äquivalent aus fossilen Brennstoffen in der Produktion von Blähton um rund 150t/a verringern. Die Gesamtemissionen an THG inkl. Vorkette wären sogar um etwa 187t/a niedriger (in CO<sub>2</sub>-Äquivalent).

## 4 Projekt Wärmerückgewinnung

### 4.1 Grundidee

Die meisten Ansätze, an einem Drehrohfen Abwärme zu nutzen, beschränken sich auf die Rekuperation der Wärme im Abgas. Für die Nutzung der Strahlungswärme an der Ofenmantelfläche gibt es nur wenig Ansätze.

Der Aufbau der Ofenanlagen bei Liapor ist am ehesten vergleichbar mit denen der Zementindustrie. Doch auch in diesem Industriezweig ergaben Recherchen keine bereits umgesetzten Anlagen, die Abwärme am Ofenmantel in irgendeiner Form rückgewinnen. Hauptgrund wird sein, dass eine mögliche Überhitzung des Ofenmantels ein großes Risiko darstellt, das im schlimmsten Fall die Statik des Drehrohres beeinflusst und Schäden am Mantel und der feuerfesten Ausmauerung zur Folge haben kann. Somit ist es wichtig, ein Konzept zu finden, das zu keinem Zeitpunkt die Integrität der Ofenanlage gefährdet, sondern auch im Störfall eine ausreichende Wärmeabfuhr sicherstellt.

Thermodynamisch am sinnvollsten wäre es, die Wärme an der heißesten Zone des Blähofens abzugreifen (Manteltemperaturen  $>400^{\circ}\text{C}$ ). Um oben genannte Risiken einer Überhitzung zu minimieren, wurde entschieden, das Projekt an den ersten 4-5 Metern des Kühlers der Anlage 2 durchzuführen. Hier liegen durchschnittlich noch Oberflächentemperaturen von rund  $200^{\circ}\text{C}$  vor. Eine leichte Temperaturerhöhung durch die installierten Wärmetauscher wird an dieser Stelle als weniger kritisch erachtet. Außerdem kann an dieser Stelle sichergestellt werden, dass durch die Wärmerückgewinnung kein Einfluss auf den Prozess und somit die Produktqualität entstehen kann.

Die Strahlungsenergie soll mit Hilfe von Wärmetauscher/Kollektoren abgegriffen und dem Wärmeträgeröl-Kreislauf zur Schwerölvorwärmung zugeführt werden. Diese Kombination (Kühler 2 als Wärmequelle und Schwerölvorwärmung als Wärmesenke) bietet zudem den Vorteil der räumlichen Nähe, sodass nur sehr kurze Distanzen mit Rohrleitungen überwunden werden müssen und somit die Wärmeverluste minimiert und zugleich auch die Investitionskosten möglichst geringgehalten werden.

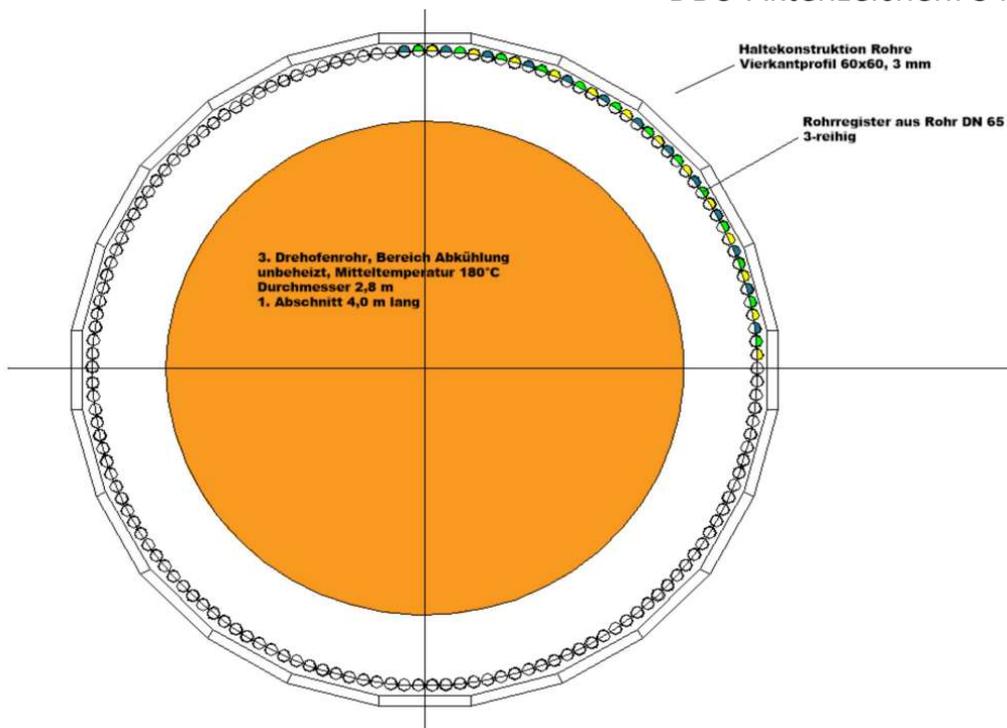


Abbildung 2: Mögliche Anordnung der Kollektoren

Der Wärmetauscher soll in den Rücklauf des Wärmeträgeröl-Kreislaufes vor dem Brenner eingebunden werden und fungiert somit als Rücklaufanhebung. Es ergeben sich folgende Betriebsmodi:

- *Wärmetauscherbetrieb:* Die rekuperierte Energie reicht aus, um das Wärmeträgeröl und somit auch das Schweröl auf Temperatur zu halten. Eine zusätzliche Heizung durch den Brenner ist nicht nötig.
- *Teilbetrieb:* Die Wärmerückgewinnung reicht nicht ganz aus, um das System auf Temperatur zu halten. Der Brenner muss zusätzlich heizen.
- *Bypass-Betrieb:* Der Wärmetauscher ist vom System getrennt. Die komplette Heizleistung wird vom Brenner übernommen (z.B. beim Anfahren und Aufheizen der Ofenanlage).

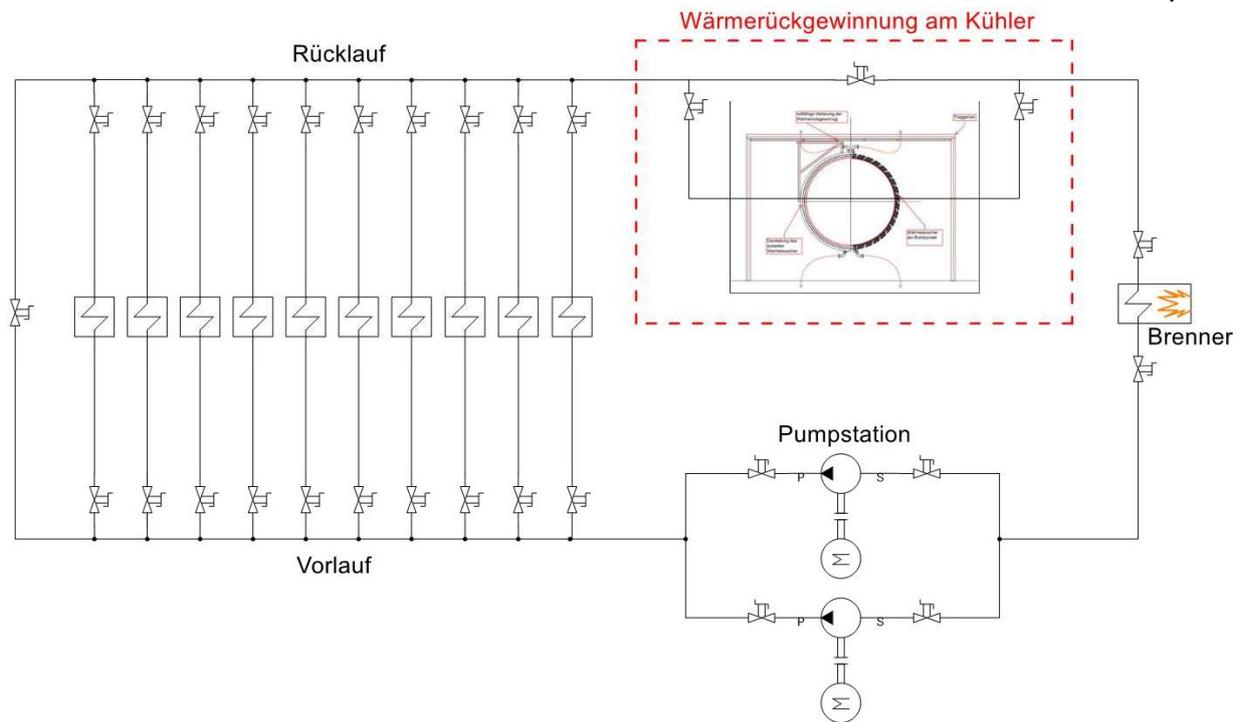


Abbildung 3: Prinzip-Schema Thermoölkreislauf

Da der Firma Liapor nicht bekannt ist, dass diese Art von Wärmerückgewinnung jemals an einem Drehrohrföfen umgesetzt wurde, ist der Modellcharakter dieses Projektes besonders hervorzuheben. Es sollen Daten und Erfahrungen gesammelt werden, um in der Lage zu sein, ggf. weitere Projekte dieser Art an anderen Stellen des Drehrohrföfens umzusetzen. Mögliche Wärmesenken wären dafür vorhanden.

## 4.2 Umsetzung

Für die Projektschritte 1 bis 3 (Grundlagenermittlung, Vorplanung und Entwurfsplanung) wurde die Firma EcoConTec im Rahmen eines HOAI-Vertrages beauftragt. EcoConTec ist ein Planungsbüro für Energie- und Gebäudetechnik und auch Ideengeber der beschriebenen Technologie. Das Planungsteam ist auf Energieeffizienz spezialisiert und verfügt über umfangreiche Erfahrungen mit der Auslegung und dem Einsatz von Hochtemperatur-Wärmeträgern und -Wärmetauschern und wurde in diesem Zusammenhang bereits im Zuge des Bayerischen Energiepreises ausgezeichnet. Die fachliche Kompetenz und das Know-How dieser Firma soll dazu beitragen, die technischen und wirtschaftlichen Risiken so gering wie möglich zu halten.

### 4.2.1 Schritt 1: Grundlagenermittlung

Im ersten Schritt wurde eine Ist-Aufnahme der bestehenden Anlage durchgeführt. Ein wichtiger Punkt dabei war ein Aufmaß des Ofenbereichs mit allen erforderlichen Maßen und Abständen zu umliegenden Aggregaten und Gebäudestrukturen. Das Aufmaß wurde von der Fa. EcoConTec durchgeführt.

Ein weiterer wichtiger Bestandteil der Grundlagenermittlung war eine Thermografische Untersuchung des Ofenmantels und aller umliegenden Gebäudeteile. Die Ergebnisse daraus gingen in die weitere Auslegung des Wärmetauschers sowie in die Statischen Berechnungen des Stahlbaus mit ein.

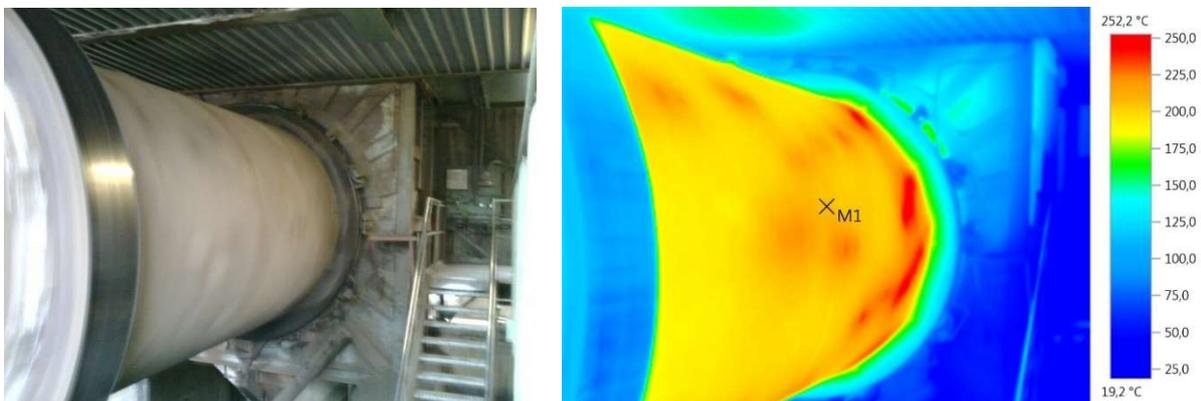


Abbildung 4: Thermografie Mantelrohr des Kühlers

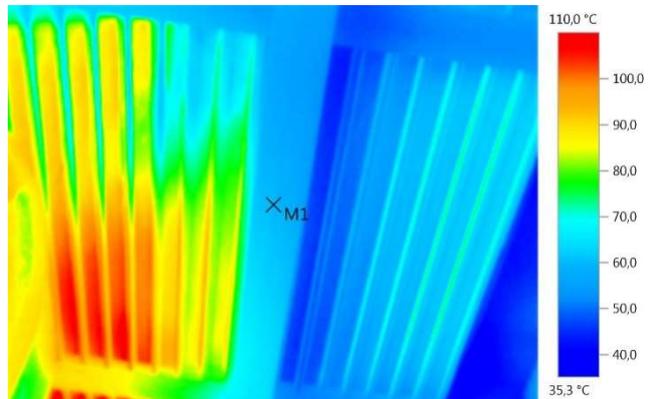


Abbildung 5: Thermografie Stahlträger längs zum Kühler

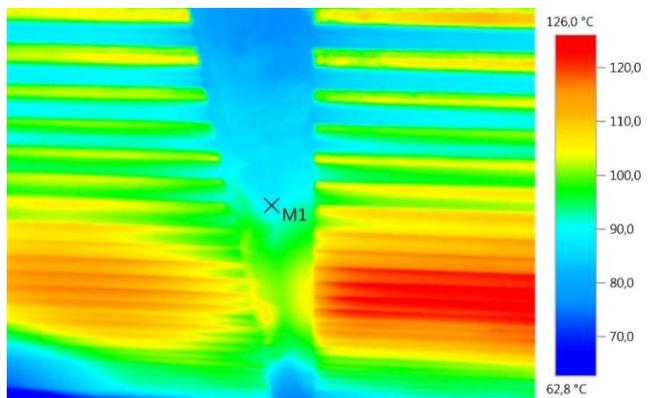
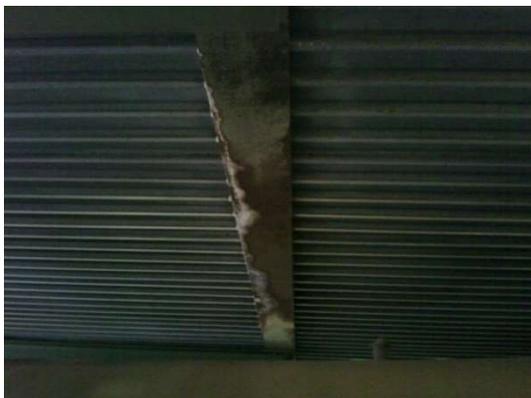


Abbildung 6: Thermografie Stahlträger quer zum Kühler

#### 4.2.2 Schritt 2: Vorplanung

Auf Grundlage der Ist-Aufnahme wurde ein vorläufiger Konzeptentwurf erstellt, wie der Wärmetauscher aufgebaut werden soll.

Im Vordergrund stand dabei die Zugänglichkeit und die Betriebssicherheit im Störfall. Die Zugänglichkeit muss gewährleistet werden, um den Wärmeüberträger von Staub und Schmutz zu befreien und jederzeit eine optische Kontrolle durchführen zu können. Unter dem Aspekt der Betriebssicherheit ist eine Möglichkeit zu schaffen, das Überhitzen des Ofenmantels im Störfall zuverlässig zu verhindern.

Deshalb wurde sich für einen zweiteiligen Wärmetauscher, bestehend aus zwei Halbschalen, entschieden, die zu diesen oben angeführten Zwecken auseinandergefahren werden können.

Die Halbschalen sollten zu diesem Zeitpunkt noch an dem vorhandenen Stahlbau hängend montiert werden.

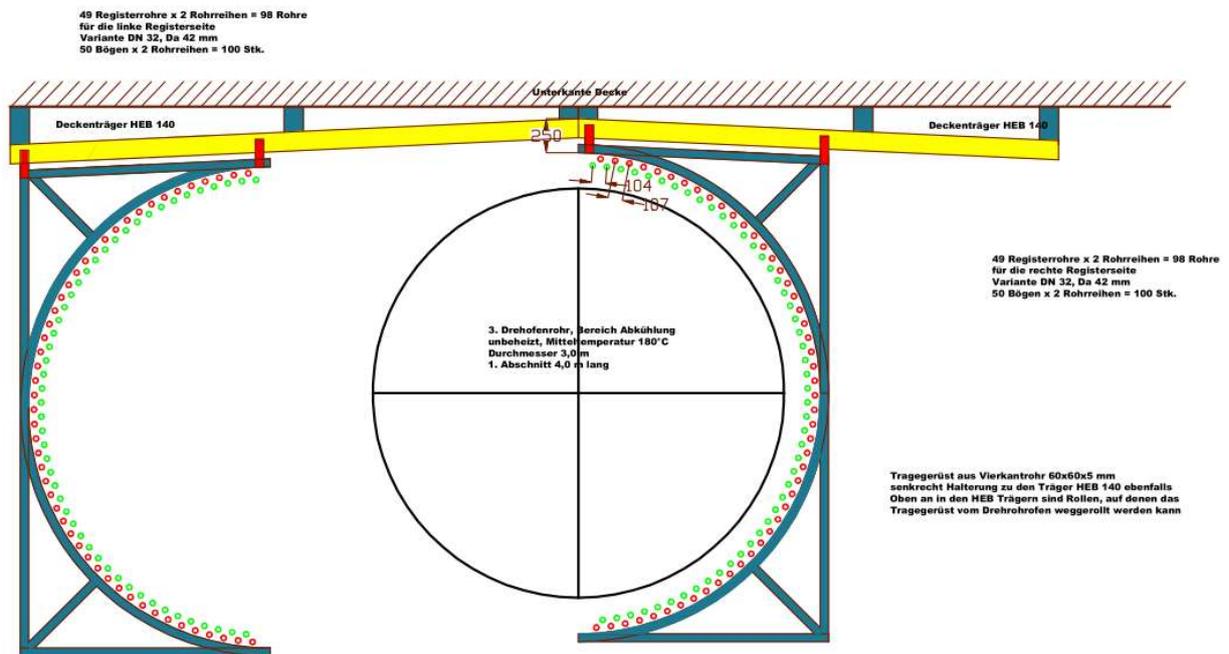


Abbildung 7: Entwurf Wärmetauscher hängend am Stahlbau

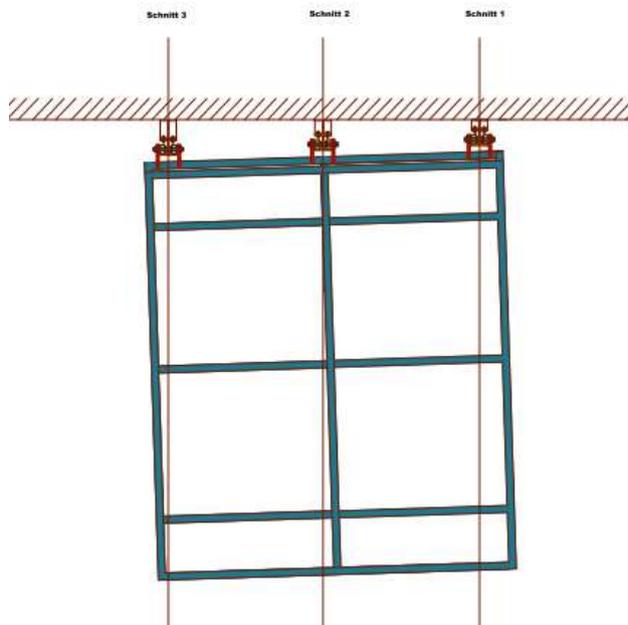


Abbildung 8: Entwurf Wärmetauscher hängend am Stahlbau Seitenansicht

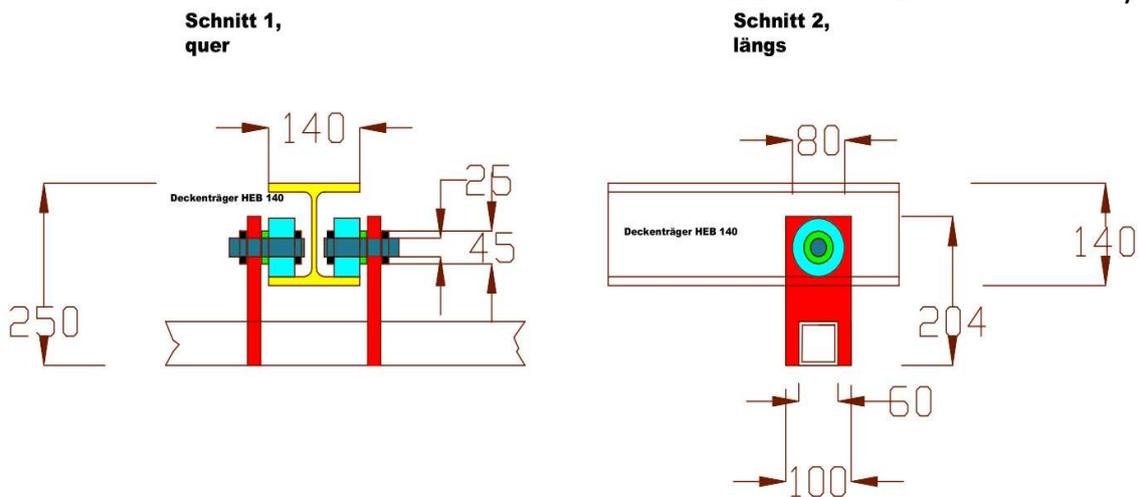


Abbildung 9: Entwurf Laufrollen

Das Haltegestell mit den Vierkantröhr 60x60x5 mm wird durch 2 Halteplatten (rot) 20mm dick, sowie einer Achse (blau) 25 mm und je 2 Stahlrollen (türkis) 80mm Durchmesser, Distanzscheiben (grün) sowie einer Mutter (schwarz) abgehängt.

In Summe werden 6 der oben gezeigten Haltepunkte pro Halbschale installiert. Die Stahlrollen/ Gussrollen haben pro Stück eine Tragfähigkeit von 1.500/250 kg.

## 4.2.3 Schritt 3: Entwurfsplanung

Im weiteren Projektverlauf wurde ein Fließschema erstellt und die Wärmetauscherkonstruktion weiterentwickelt.

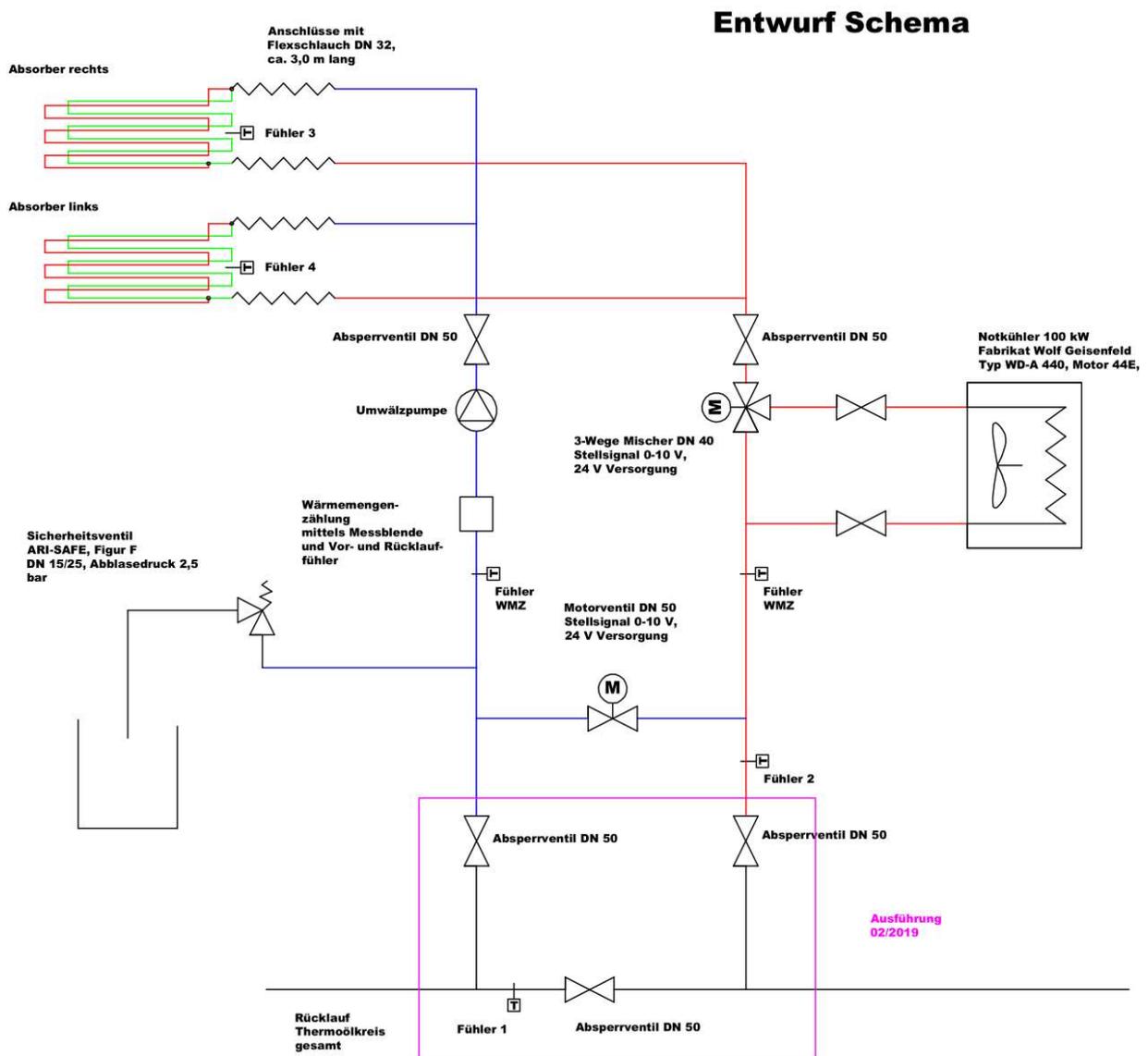


Abbildung 10: Entwurf Fließbild Wärmetauscher inkl. Einbindung

Anfahrfunktion:

Der Fühler 1 am Rücklauf Thermoölkreis hat eine 10K niedrigere Temperatur als die beiden Fühler 3 und 4 am Absorber. Daraufhin schließt Motorventil 1 und die Umwälzpumpe 1 wird eingeschaltet.

#### Abschaltfunktion:

Die Differenztemperatur von Fühler 3 und 4 zu Fühler 1 beträgt nur 5K. Motorventil 1 öffnet und Umwälzpumpe 1 wird ausgeschaltet.

#### Normalbetrieb Phase 1:

Motorventil 1 ist geschlossen und die Umwälzpumpe 1 fördert das Medium durch die Absorber und führt das vorgewärmte Medium dem Rücklauf des Thermoölerhitzers zu. Im Normalbetrieb ist die Leistung kleiner bzw. gleich der benötigten Leistung im Thermoölkreislauf.

Die Einstellung hinsichtlich der benötigten Leistung kann über die maximale Temperatur (Fühler 2) gesteuert werden.

#### Normalbetrieb Phase 2:

Wie Phase 1, nur Leistung im Absorberkreis ist höher als die benötigte Leistung im Thermoölkreis bzw. die fixe Temperatur von Fühler 2 wird überschritten. Der 3-Wege-Mischer wird über das 0-10 V Signal angesteuert bzw. erhält den Wert 1V. Dasselbe trifft auf den Lufterhitzer zu.

Sollte die Temperatur im Zeitfenster von 5 Minuten nicht auf den gewünschten Wert sinken, erhalten 3-Wege-Mischer und Lufterhitzer den Wert 2 V. Dies wird so lange fortgeführt, bis der Wert an Fühler 2 wieder dem fixen Vorgabewert entspricht. Das Zeitfenster 5 Minuten muss in der realen Einbausituation anpassbar sein, falls es sich im Betrieb herausstellt, dass die Reaktion schneller sein muss.

Sobald der Wert an Fühler 2 um 5K niedriger als der fixe Vorgabewert ist, erfolgt schrittweise (5 Minuten-Schritte) die Reduzierung des Stellsignals, bis der fixe Werte sich an Fühler 2 einstellt.

#### Notfallfunktion:

Die Notfallfunktion wird händisch durch Notfalltaster ausgelöst und beinhaltet das sofortige Lösen der Halteklammern des Absorbers. Die Umwälzpumpe 1 wird abgeschaltet und das Motorventils 1 wird geöffnet. Anlage ist dann gesperrt und kann nur händisch am Schaltkasten entsperrt werden.

#### Messtechnik:

Weiterhin soll für eine kontinuierliche Messung der rückgewonnenen Wärmemenge in der Zu- und Ablaufleitung des Kollektors zwei Temperatur- und eine Durchflussmessung installiert werden. Aus diesen Werten kann mit Hilfe der spezifischen Wärmekapazität des Wärmeträgermediums die aktuell transportierte Wärmemenge – bzw. die thermische Leistung der Anlage – errechnet werden. Dadurch kann auch bei unterschiedlichen Produkten oder wechselnden Betriebszuständen der jeweilige Rückgewinnungsgrad ermittelt und die Anlage ggf. optimal eingestellt werden. Diese kontinuierliche Wärmemengenmessung soll in die bestehende Anlagensteuerung integriert werden.

Als Ergänzung ist eine kontinuierliche Überwachung der Mantelflächentemperatur des Kühlers im Bereich der Kollektoren vorgesehen, um Auswirkungen der Wärmerückgewinnung auf den

Temperaturverlauf zu erkennen. Dies bietet die Möglichkeit, auch für heißere Zonen der Ofenanlage die potenzielle Änderung der Mantelflächentemperatur abschätzen und somit spätere Anlagen besser auslegen zu können.

### Absorber

Bei weiterer Ausarbeitung des Absorbers und dessen Statischer Berechnung wurde festgestellt, dass für die Aufnahme und Abführung der Lasten ein eigenes Haltegestell erforderlich ist. Der bestehende Stahlbau ist für die zusätzliche Last nicht geeignet.

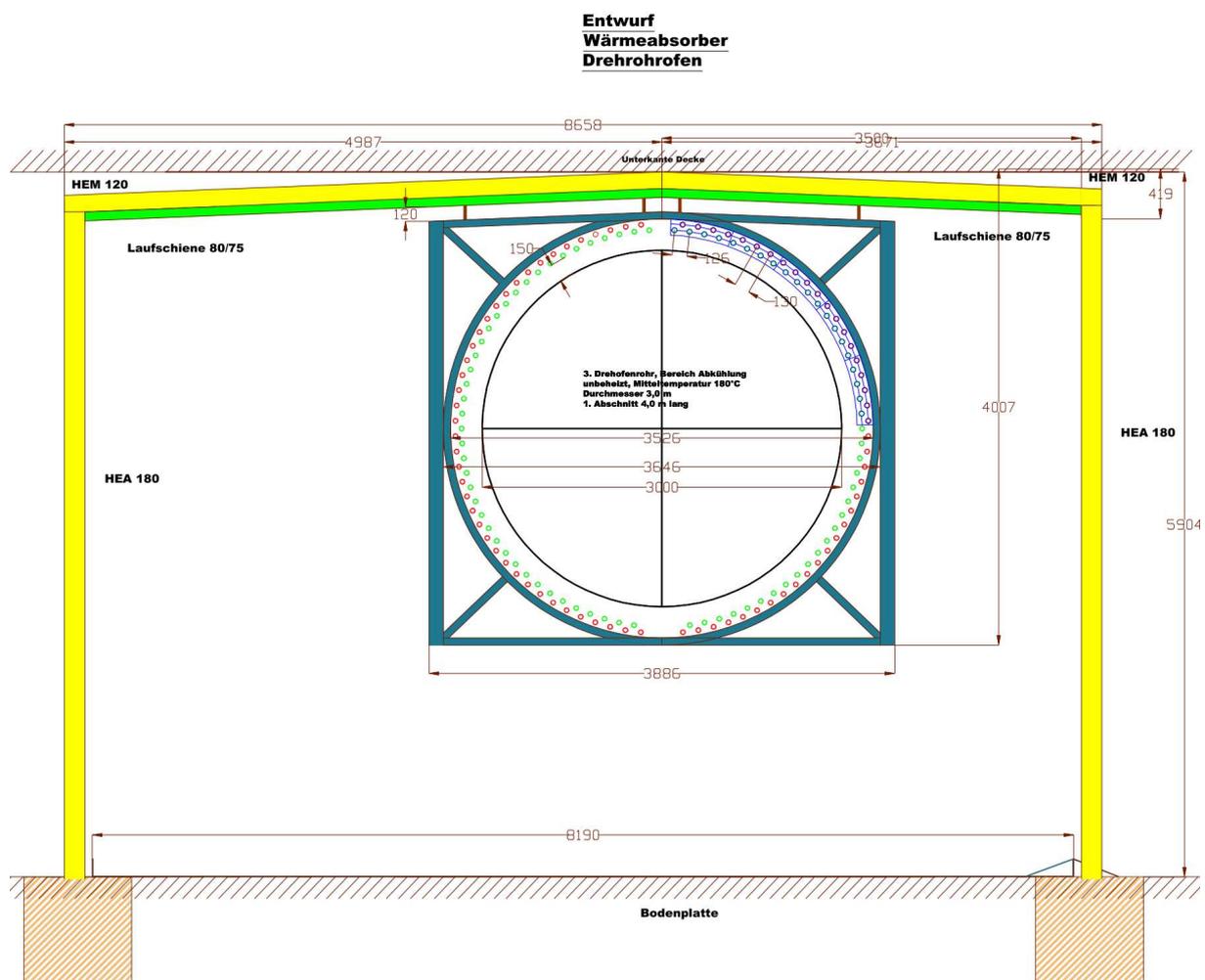


Abbildung 11: Entwurf Wärmetauscher hängend am Stützgestell

Der Wärmetauscher besteht aus einem Rohrwärmetauscher (grün/rot), der ringförmig um den Drehrohröfenabschnitt angeordnet ist. Die Rohre werden mittels Rohrhalterungen (hellblau) am Traggerüst des Wärmetauschers (dunkelblau) befestigt.

## DBU-Aktenzeichen: 34475/01

Die Rohre sind DN 32 ( $d_a$  42,4mm) und haben am Umlenkbogen einen Radius von 126mm bzw. 130mm von Mitte Rohr zu Mitte Rohr. Je Halbschale sind 2 Rohrreihen vorgesehen, die oben bzw. unten miteinander verbunden werden und dann an flexible Druckrohre angeschlossen werden. Diese Druckrohre sind ca. 3,5m lang und können beim Zu- bzw. Auffahren des Wärmetauschers die Längenänderung aufnehmen, sodass der Thermoölkreis nicht extra entleert werden muss.

Das Traggerüst des Wärmetauschers hat im gebogene, waagerechten und schrägen Aussteifungsbereich ein Vierkantprofil von 60x60x5 mm. Nur die senkrechten Bereiche sind in 120mm x 60mm x 5mm ausgeführt. Das Haltegestell (gelb), welches das Traggerüst und den darin befindlichen Wärmetauscher trägt, wird im waagerechten Bereich mit einem HEM 120 und im senkrechten Bereich mit einem HEA 180 ausgeführt. Im oberen Bereich zwischen den Ecken der senkrechten HEA 180 werden zwei Druckrohre 48,3mm x 4mm eingesetzt. Für die Aussteifung diagonal werden auf beiden Seiten zwei Rundstähle 16mm eingesetzt und in den jeweiligen Ecken befestigt.

## Entwurf Ansicht rechte Seite

( in Blickrichtung Strassenseite )

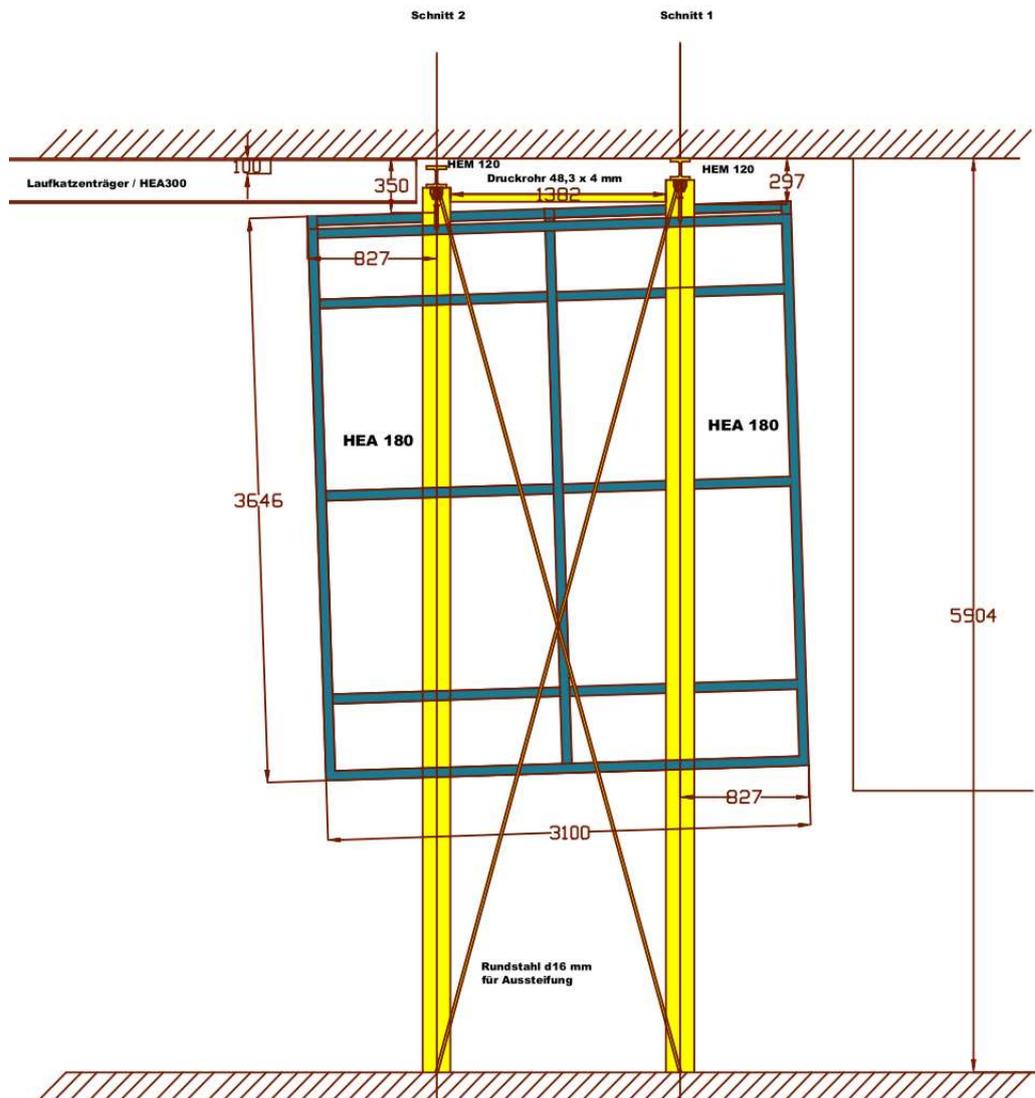


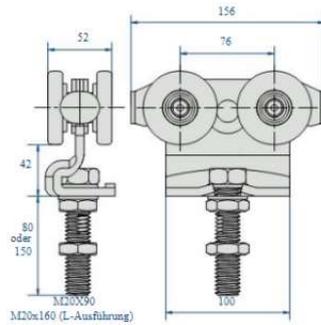
Abbildung 12: Entwurf Wärmetauscher hängend am Stützgestell Seitenansicht

Unterhalb der Konstruktion wird eine Blechwanne eingesetzt, welche im Havariefall den Thermoölinhalt des Wärmetauschers aufnimmt. Höhe der Auffangwanne beträgt mindestens 10cm. Die Auffangwanne wird in der Breite so bemessen, dass auch bei auseinandergefahrenen Halbschalen kein Thermoöl entweichen kann.

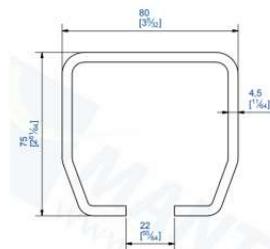
Um die Beweglichkeit der beiden Halbschalen zu erreichen, werden Laufschiene (grün) am HEM 120 befestigt. In die Laufschiene kommen jeweils zwei Laufwägen (braun) pro Laufschiene. In Summe sind 4 Laufwägen pro Halbschale bzw. Wärmetauscherseite vorgesehen.

Bei den Laufrollen und dem Verschluss, der die beiden Halbschalen zusammenhält, soll nun auf Standard-Zukaufteile zurückgegriffen werden, um die Kosten möglichst gering zu halten.

**Detail Laufwagen**



Rollapparate 9262 S - 9262 SL

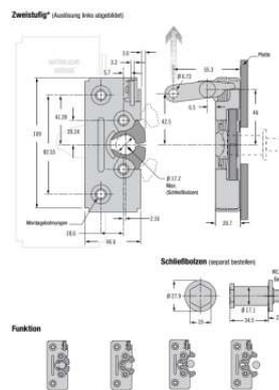


**Detail Laufschiene  
Typ 9060/600 1.200 kg Tragkraft**

Abbildung 13: Details Laufrollen, Laufschiene und Verriegelung

**Detail Zuhaltung unten**

Verborgener Verschluss, zweistufig, Schließkraft 18.000N (R4-50)



## Kostenabschätzung:

Auf Grundlage dieser Entwurfsplanung wurde eine erste Kostenaufstellung durch die Fa. EcoConTec angefertigt.

Aufbau Kühler, 1. Abschnitt ca. 4 m lang	50-100 kW		netto!!
HEB 100 als Deckenbefestigung	25,2 lfm	155 €/m	3906
Distanzstück für Gefälle und Neigung	19 Stk.	100 €/Stk.	1900
Arbeitsgerüste	1 Psch.	1000 €/Psch.	1000
Laufschiene für Rollböcke bzw. Rollwagen	25,5 lfm	150 €/m	3825
Rollwagen	12 Stk.	225 €/Stk.	2700
Befestigungsmittel für Laufschiene/Verbindungsmittel	24 Stk.	50 €/Stk.	1200
Haltemechanik für Zuhaltung	3 Stk.	140 €/Stk.	420
Linearmotor für Auslösung	1 Stk.	450 €/Stk.	450
Haltegestell mit Verstrebungen	1 Stk.	13500 €/Stk.	13500
Montage vor Ort	64 h	50 €/h	3200
Rohre gebogen für Rohrregister	160 Stk.	57,5 €/Stk.	9200
Montage vor Ort	160 Stk.	25 €/Stk.	4000
Schweißarbeiten Rohre	160 Stk.	45 €/Stk.	7200
Befestigungsbleche für Rohrregister	60 Stk.	25 €/Stk.	1500
Arbeitsgerüste	1 Psch.	1000 €/Psch.	1000
Wärmedämmung Wärmetauscher	41,82 m <sup>2</sup>	27,5 €/m <sup>2</sup>	1150
Blechverkleidung Wärmetauscher	43,92 m <sup>2</sup>	95 €/m <sup>2</sup>	4172
Blechanne unterhalb Wärmetauscher	28,13 m <sup>2</sup>	125 €/m <sup>2</sup>	3516
Arbeitsgerüste	1 Psch.	750 €/Psch.	750
Verrohrung DN 50 von Wärmetauscher bis Anschluß	40 lfm	49 €/m	1960
Flexible Edelstahlrohre für Übergang DN 40, 1 1/2"	16 lfm	85 €/m	1360
Ventile DN 50, inkl. Montage	4 Stk.	360 €/Stk.	1440
Umwälzpumpe, inkl. Montage	1 Stk.	4750 €/Stk.	4750
Wärmemengenzählung, inkl. Montage	1 Stk.	4550 €/Stk.	4550
Motorventil mit Antrieb, inkl. Montage	1 Stk.	4156 €/Stk.	4156
Dreiweg-Ventil mit Antrieb, inkl. Montage	1 Stk.	4468,75 €/Stk.	4469
Lufterhitzer für Notkühlung, inkl. Montage	1 Stk.	3125 €/Stk.	3125
Temperaturanzeigen	3 Stk.	125 €/Stk.	375
Druckanzeigen			
Wärmedämmung Rohrleitung und Ventile, inkl. Blech	40 lfm	75 €/m	3000
Arbeitsgerüste	1 Psch.	1000 €/Psch.	1000
MSR			
Regeleinheit	1 Stk.	1500 €/Stk.	1500
Fühler, Aktoren usw.	5 Stk.	75 €/Stk.	375
Software / Programmierung	1 Stk.	1500 €/Stk.	1500
Ausführung / Verkabelung	1 Psch.	1250 €/Stk.	1250
Modul 0-10 V	1 Psch.	250 €/Stk.	250
Schaltkasten samt Einbauten	1 Stk.	1250 €/Stk.	1250
Zuleitung, Versorgung mit Strom	1 Psch.	350 €/Stk.	350
Notauslösung	1 Psch.	1020 €/Stk.	1020
<b>Ausführungssumme</b>			<b>102.268,83 €</b>

Diese Kostenaufstellung entspricht in etwa den Pos. 6.1 bis 6.8 im Kostenplan. Zu diesem Zeitpunkt des Projektes scheinen die geplanten Kosten sogar noch deutlich unter den im Kostenplan veranschlagten Kosten zu liegen.

Im Jahr 2019, nach Fertigstellung der Entwurfsplanung, hat sich die Fa. EcoConTec aus personellen Gründen aus dem Projekt zurückgezogen.

Mit der vorliegenden Entwurfsplanung wurden dann Anfragen bei mehreren Firmen über die Umsetzung gestellt. Zwei Firmen konnten die Anfrage nicht erfüllen. Eine Firma hat auf die Anfrage hin ein Angebot inklusive Montage abgegeben.

Wärmetauscher	260.000 €
Montage	85.000 €
Sonstiges	80.000 €
<hr/> Summe	<hr/> 425.000 €

<b>Energieeinsparung:</b>	<b>58,9 kW</b>
<b>Investitionssumme:</b>	<b>330.510 €</b>
<b>Kosteneinsparung:</b>	<b>24.156 €/a</b>

**Amortisation: 13,7 Jahre**

Das Angebot über den Bau des Wärmetauschers belief sich auf 260.000€. Dazu kommt die Montage und Installation für rund 85.000€. Unter dem Posten Sonstiges sind alle bisher aufgelaufenen Kosten und die noch ausstehenden Punkte, wie z.B. Fundament- und Isolierarbeiten etc., zusammengefasst.

Die Gesamtkosten für die Umsetzung betragen so ca. 425.000 €.

Abzüglich der bewilligten Förderung ist durch Liapor ein Eigenanteil von ca. 330.510 € zu tragen. Selbst mit Förderung würde sich die Amortisationszeit dieses Projektes auf fast 14 Jahre verlängern.

## 5 Fazit

Es stand von Anfang an fest, dass die Wirtschaftlichkeit dieses Vorhabens auf Grund der Neuartigkeit und den fehlenden Vorerfahrungen mit dieser Art der Wärmerückgewinnung ein gewisses Risiko bei der Umsetzung für Liapor darstellt. Auf Grundlage der sehr hohen Investitionskosten im Vergleich zum Rückgewinnungspotential wurde seitens der Geschäftsführung entschieden, das Projekt in dieser Form leider nicht weiter zu verfolgen. Wir kommen zu dem Schluss, dass eine Rückgewinnung der Strahlungswärme am Ofenmantel im mittleren und großen Maßstab für Liapor nicht wirtschaftlich ist.

Wenngleich dieses Projekt eingestellt wird, sollen die bisher gewonnen Erkenntnisse nicht ungenutzt bleiben. Das Thema Wärmerückgewinnung wird bei Liapor, unabhängig von diesem Förderprojekt, weiterhin verfolgt. Dafür werden verschiedenste Untersuchungen und Investitionen getätigt, um zukünftig rekuperierte Prozessenergie wirtschaftlich nutzbar zu machen.