

## **BMU-Umweltinnovationsprogramm (UIP)**

**BMUB-UMWELTINNOVATIONSPROGRAMM**

**Abschlussbericht**

**zum Vorhaben**

*Optimierung der Rauchgasreinigung der Thermischen Restabfallbehandlungsanlage in Leuna  
KfW Aktenzeichen NKa3-003170*

**Zuwendungsempfänger/-in**

*MVV Umwelt Asset GmbH*

**Umweltbereich**

*Umweltschutz, Ressourceneffizienz, Klimaschutz*

**Laufzeit des Vorhabens**

*10.02.2016-22.12.20*

**Autor/-en**

*Dr.-Ing. Rebecca Reviol, André Vester*

**Gefördert mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare  
Sicherheit**

**Datum der Erstellung**

*24.11.2021*

### Berichts-Kennblatt

Aktenzeichen UBA: 3170	Projekt-Nr.: NKa3-003170
Titel des Vorhabens: „Optimierung der Rauchgasreinigung der Thermischen Restabfallbehandlungsanlage in Leuna“	
Autor/-en (Name, Vorname): Reviol, Dr.-Ing. Rebecca Vester, André	Vorhabenbeginn: 10.02.2016  Vorhabenende (Abschlussdatum): 22.12.2020
Zuwendungsempfänger/-in (Name, Anschrift): MVV Umwelt Asset GmbH Otto-Hahn-Straße 1 68169 Mannheim	Veröffentlichungsdatum: 24.11.2021  Seitenzahl: 33
Gefördert im BMU-Umweltinnovationsprogramm des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz und nukleare Sicherheit	
<p>Kurzfassung (max. 1.500 Zeichen): Mit dem dargestellten zweistufigen Projekt ist eine Optimierung der Rauchgasreinigung der Thermischen Abfallbehandlungsanlage TREA Leuna erfolgt, bei der eine <u>Steigerung der Ressourceneffizienz, Materialeinsparung und Reststoffreduzierung in der Rauchgasreinigung</u> erreicht werden konnte.</p> <p>Diese Umstellung der Rauchgasreinigung ermöglicht darüber hinaus die Erschließung von Abwärme aus dem Rauchgasreinigungsprozess. Diese kann sowohl einer außerbetrieblichen Nutzung in Form einer Fernwärmeversorgung wie auch einer innerbetrieblichen Nutzung zur Speisewasservorwärmung zukommen. Neben der Steigerung der Energieeffizienz der thermischen Abfallbehandlungsanlage können auf diesem Weg <u>hohe Primärenergieeinsparungen im Fernwärmenetz und nennenswerte CO<sub>2</sub>-Reduktionen bei der Bereitstellung der Fernwärme</u> erreicht werden.</p>	
Schlagwörter: Trockensorptionsverfahren, Fernwärmeauskopplung, VapoLAB, Effizienz in der Rauchgasreinigung, Abwärme, Klimaschutz, CO <sub>2</sub> -Einsparung	
Anzahl der gelieferten Berichte Papierform: 3 Elektronischer Datenträger: entfällt	Sonstige Medien: entfällt Veröffentlichung im Internet geplant auf der Webseite: <a href="http://www.umweltinnovationsprogramm.de">www.umweltinnovationsprogramm.de</a>

## Report Coversheet

Reference-No. Federal Environment Agency: 3170	Project–No.: NKa3-003170
Report Title: Optimization of the flue gas cleaning of the thermal waste treatment plant in Leuna	
Author/Authors (Family Name, First Name): Reviol, Dr.-Ing. Rebecca Vester, André	Start of project: 10.02.2016  End of project: 22.12.2020
Performing Organisation (Name, Address): MVV Umwelt Asset GmbH Otto-Hahn-Straße 1 68169 Mannheim	Publication Date: 24.11.2021  No. of Pages: 33
Funded in the Environmental Innovation Programme of the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation and Nuclear Safety.	
<p>Summary (max. 1.500 characters): With this two-stage project, an optimization of the flue gas treatment of the EfW plant TREA Leuna takes places, that offers the possibility to increase resource efficiency, save material and avoid residues.</p> <p>The optimization of the flue gas treatment system enables the installation`s operator to exploit waste heat from the flue gas treatment process. The waste heat can be gained at a high temperature, so it can be applied to several internal or external uses. In this case, a district heating application is realized. Waste heat, that exceeds the requirements of the district heating network, is taken to supply the feedwater heating process of the plant. The realized waste heat recovery system results in high savings of primary energy in the district heating system and by this in high savings of CO<sub>2</sub> emissions. Furthermore, the energy efficiency of the energy from waste plant increases.</p>	
Keywords: dry sorption process, district heating, VapoLAB, efficiency in flue gas cleaning, waste heat, climate protection, CO <sub>2</sub> reduction	

## INHALTSVERZEICHNIS

<b>1. Einleitung .....</b>	<b>4</b>
1.1. Kurzbeschreibung des Unternehmens und ggf. der Projektpartner.....	4
1.2. Ausgangssituation .....	4
<b>2. Vorhabenumsetzung.....</b>	<b>7</b>
2.1. Ziel des Vorhabens.....	7
2.2. Technische Lösung (Auslegung und Leistungsdaten) .....	8
2.3. Umsetzung des Vorhabens .....	13
2.4. Behördliche Anforderungen (Genehmigungen) .....	16
2.5. Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten .....	17
2.6. Konzeption und Durchführung des Messprogramms.....	18
<b>3. Ergebnisdarstellung zum Nachweis der Zielerreichung.....</b>	<b>20</b>
3.1. Bewertung der Vorhabendurchführung .....	20
3.2. Stoff- und Energiebilanz.....	20
3.3. Umweltbilanz .....	24
3.4. Wirtschaftlichkeitsanalyse .....	25
3.5. Technischer Vergleich zu konventionellen Verfahren .....	27
<b>4. Übertragbarkeit .....</b>	<b>27</b>
4.1. Erfahrungen aus der Praxiseinführung .....	27
4.2. Modellcharakter/Übertragbarkeit (Verbreitung und weitere Anwendung des Verfahrens/der Anlage/des Produkts).....	29
4.3. Kommunikation der Projektergebnisse .....	30
<b>5. Zusammenfassung/Summary .....</b>	<b>30</b>
<b>6. Literatur .....</b>	<b>31</b>

## 1. Einleitung

### 1.1. Kurzbeschreibung des Unternehmens und ggf. der Projektpartner

Mit mehr als 6.300 Mitarbeitern und 3,5 Mrd. Euro Umsatz in 2020 besetzt die Mannheimer MVV Energie AG alle Stufen der energiewirtschaftlichen Wertschöpfungskette (Erzeugung, Handel, Verteilung und Vertrieb) und zählt in Deutschland zu den führenden Betreibern thermischer Abfallverwertungs- und Biomasseanlagen.

Die Anlagen am Standort Deutschland sind in der MVV Umwelt Asset GmbH (folgend kurz: MVV) zusammengefasst, die ein Tochterunternehmen der MVV Energie AG ist. Die Produkte und Schwerpunkte des Unternehmens sind insbesondere:

- Abfallentsorgung
- Stromerzeugung aus Abfall und Biomasse
- Prozessdampfversorgung
- Betriebsführung von thermischen Biomasse- und Abfallverwertungsanlagen

Die MVV verfügt über mehr als 50 Jahre Erfahrung im Bereich der thermischen Abfallverwertung, in denen kommunale und gewerbliche Abfälle sowie Althölzer behandelt werden. Mit einer jährlichen Verwertungskapazität von ca. 2 Mio. Tonnen ist MVV Umwelt eines der führenden Unternehmen der Branche innerhalb Deutschlands. Weiterhin werden mit abfallbefeuelten Heizkraftwerken in Plymouth und im schottischen Dundee sowie einem Biomassekraftwerk in Ridham Dock drei thermische Abfallverwertungsanlagen in Großbritannien betrieben.

Der Fokus der Arbeit liegt auf der umweltverträglichen und nachhaltigen stofflichen und energetischen Nutzung nachwachsender Rohstoffe und nicht recycelbarer Abfälle. Die Abfallverwertungsanlagen haben neben der umweltfreundlichen Entsorgung der Abfälle eine weitere wesentliche Aufgabe: die klimaneutrale und nachhaltige Energieerzeugung in Form von Strom und Prozessdampf und Fernwärme.

Die MVV Umwelt GmbH verfügt über ein nach ISO 50001, ISO 9001, ISO 14001 und BS OHSAS 18001 zertifiziertes Managementsystem.

Projektpartner im Teilprojekt 2 Fernwärmeauskopplung sind die Stadtwerke Merseburg. Diese sind im Stadtgebiet Merseburg zuständig für Breitband, Strom-, Gas- und Fernwärmeversorgung. Die Stadtwerke Merseburg betreiben hier ein weit verzweigtes Fernwärmenetz mit einer Gesamtlänge von rd. 43 km und versorgen 410 Hausanschlussstationen mit Fernwärme 125/60°C. Der jährliche Wärmebedarf des Netzes liegt bei ca. 90 GWh. Vor Anschluss der TREA Leuna wurden die Erzeugungskapazitäten durch gasgefeuerte KWK-Anlagen und bivalente Spitzenlastkessel gestellt.

### 1.2. Ausgangssituation

Die MVV betreibt am Standort Leuna die thermische Restabfallbehandlungs- und

Energieerzeugungsanlage TREA Leuna. Die TREA Leuna verfügt über zwei baugleiche Abfallverbrennungslinien für Siedlungsabfälle (ca. 40 %) und Gewerbeabfälle (ca. 60 %). Abbildung 1 zeigt beide Linien aus der Vogelperspektive.



Abbildung 1: Luftaufnahme der TREA Leuna (Quelle: MVV)

Der in den Kesselanlagen erzeugte Dampf wird in Dampfturbosätzen (90 t/h; 40 bar; 400 °C, 18 MW<sub>el</sub>) entspannt und in Strom umgewandelt, welcher an den Industriestandort geliefert wird. Zudem wird Dampf entnommen, um den Industriestandort zu versorgen.

Beide Abfallverbrennungslinien wurden vor Projektumsetzung mit einer vierstufigen quasitrockenen Rauchgasreinigungsanlage betrieben, deren Prinzip Abbildung 2 zeigt.

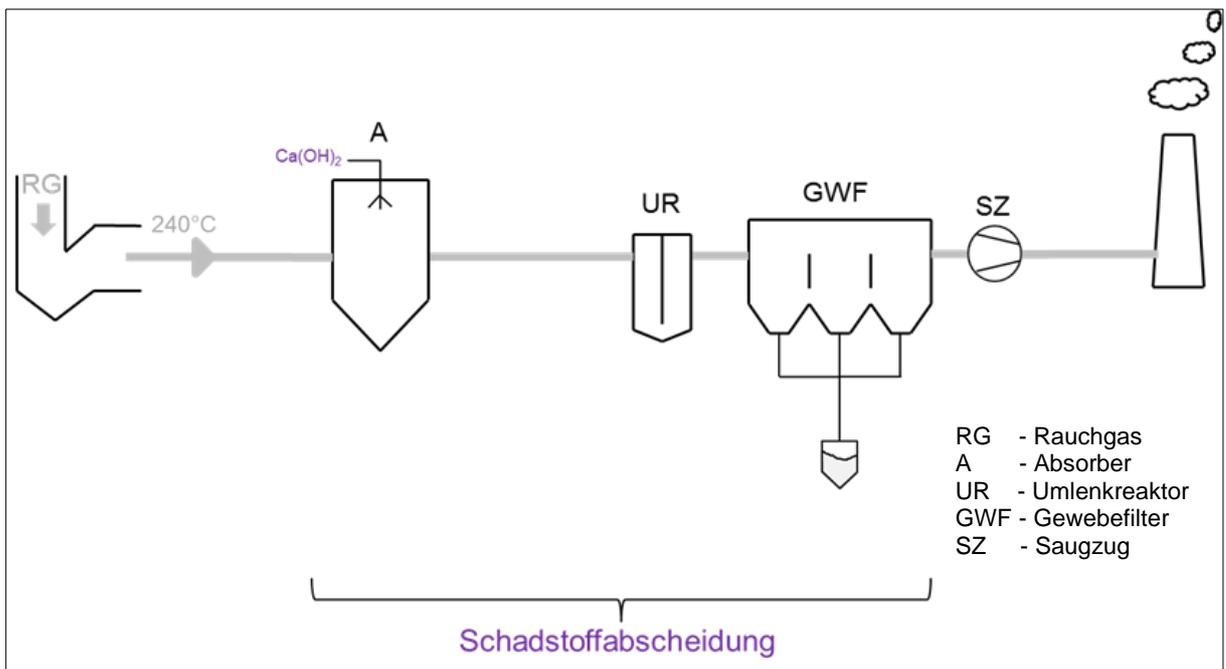


Abbildung 2: Skizze Rauchgasreinigung vor Umbau auf VapoLAB-Verfahren (Quelle: MVV)

Ein identisches Rauchgasreinigungsverfahren war bis zum Jahr 2014 im Biomassekraftwerk Mannheim in Betrieb. Hier hat die MVV Umwelt das Rauchgasreinigungsverfahren im Jahr 2014 von einem quasitrockenen Verfahren auf das Trockensorptionsverfahren VapoLAB umgestellt. Es zeigten sich signifikante Verringerungen des Betriebsmittelverbrauches und des Reststoffanfalls bei gleichzeitig sicherer Einhaltung der Emissionswerte.

Eine Umstellung der Rauchgasreinigung der TREA Leuna auf das Trockensorptionsverfahren war aus ökologischen und ökonomischen Aspekten erstrebenswert.

Die Rauchgase der TREA weisen hohe saure Schadstoffwerte ( $\text{HCl}/\text{Nm}^3$  Rauchgas) und Schwefelbelastungen ( $\text{SO}_2/\text{Nm}^3$  Rauchgas) auf. Gegenüber den Schadgasbelastungen einer Biomasseverbrennung sind diese etwa sechsfach erhöht.

Eine Umstellung der Rauchgasreinigung auf das additiv- und reststoffeinsparende Trockensorptionsverfahren war hier aus ökologischen und ökonomischen Gesichtspunkten umso erstrebenswerter, jedoch mit hohen Risiken bezüglich des Ausreichens der Abscheideleistung und der Einhaltung der Emissionsgrenzwerte behaftet. Es gilt die 17. BImSchV.

Bei einer Umstellung des quasitrockenen Rauchgasreinigungsverfahrens auf das innovative Trockensorptionsverfahren entfällt der Verfahrensschritt des Sprühabsorbers. Die im Rauchgas der TREA vorhandenen Schadstoffgehalte, welche vor der Umstellung bis zu 75 % durch den Sprühabsorber abgeschieden wurden, stellen damit hohe Anforderungen an das neue Trockensorptionsverfahren. Eine ausreichende Abscheidung der Schadstoffe muss gegeben sein, um die Emissionswerte gesichert einzuhalten. Dies gilt insbesondere für das Schadgas  $\text{SO}_2$ . Werden die Emissionsgrenzwerte überschritten, ist ein Weiterbetrieb der gesamten Verbrennungslinie nicht mehr möglich.

Die MVV Umwelt ist bestrebt, ihre Bestandsanlagen in Deutschland stetig zu optimieren und deren Wettbewerbsfähigkeit fortlaufend auszubauen. Hierzu werden regelmäßige Innovations- und Demonstrationsvorhaben auch bei vorhandenen Risiken umgesetzt. Daher kommt in der TREA das Trockensorptionsverfahren erstmalig in Anlagen mit hohen Schadstoffgehalten zum Einsatz.

Neben den Nachhaltigkeitseffekten in der Rauchgasreinigung gab es eine weitere besondere Motivation für eine Umstellung der Rauchgasreinigung. Bei Umstellung des Verfahrens kann der Sprühabsorber entfallen und die so freiwerdende Rauchgaswärme kann einer anderweitigen außer- und innerbetrieblichen Nutzung zukommen: der Fernwärmeversorgung und der Speisewasservorwärmung.

Da die Applikation des Trockensorptionsverfahrens bei Rauchgasen mit hohen Schadstoffgehalten zu Problemen bei der Einhaltung der Emissionswerte führen kann, wurde zunächst eine Versuchsreihe mit einer skalierten Versuchsanlage DemoLAB durchgeführt. Zu diesem Zweck wurde ein Teilmassenstrom des Rauchgases im Bypass entnommen und mit dem Trockensorptionsverfahren behandelt, um die Leistung des Verfahrens zu verifizieren.

Dies diente der Darstellung der technischen Machbarkeit vor Projektbeginn.

## 2. Vorhabenumsetzung

### 2.1. Ziel des Vorhabens

#### 2.1.1 Teilprojekt 1: Optimierung der Rauchgasreinigung

Ziel des Teilprojektes war die Umstellung des quasitrockenen Rauchgasreinigungsverfahrens der TREA auf ein innovatives Trockensorptionsverfahren, dass bei einer Anlage mit hohen Schadgaswerten erstmalig zum Einsatz kam. Durch die Umstellung wurden vor Projektbeginn die folgenden Umwelteffekte erwartet:

##### 1. Senkung des spezifischen Betriebsmittelbedarfs (RRA-Input)

Durch den Einsatz des VapoLAB-Verfahrens wurde eine Reduktion des Einsatz von Branntkalk ( $\text{CaO}$ ) erwartet bei gleichzeitiger Erhöhung des Verbrauches an Kalkhydrat ( $\text{Ca(OH)}_2$ ). Trotz des Mehrverbrauchs an Kalkhydrat wurde über die Laufzeit des Gesamtvorhabens insgesamt eine erhebliche Betriebsmitteleinsparung prognostiziert. Branntkalk, auch als ungelöschter Kalk bezeichnet, reagiert mit Wasser unter Hitzeentwicklung und birgt damit ein Gefährdungspotential für Brandentwicklung. Kalkhydrat, auch als gelöschter Kalk bezeichnet, ist hingegen nicht entflammbar oder brennbar.

Ziel: Reduzierung von Branntkalk und Kalkhydrat um 5 %

##### 2. Senkung der Reststoffmenge (Filterstäube; RRA-Output)

Durch den Einsatz des VapoLAB-Systems wurde eine Reduktion der Menge an Reststoffen, die deponiert werden müssen, ermittelt.

Ziel: Reduktion der Filterstäube um 22 %.

#### 2.1.2 Teilprojekt 2: Abwärmeerschließung und Fernwärmeauskopplung

Die Umstellung des Rauchgasreinigungsverfahrens innerhalb von Teilprojekt 1 ermöglicht die Erschließung von Abwärme aus dem Prozess. Diese wird im Rahmen von Teilprojekt 2 über einen Wärmeübertrager aus dem Rauchgas erschlossen und über eine Fernwärmeübergabestation an die Stadtwerke Merseburg übergeben. Durch die Fernwärmeversorgung mit Abwärme aus der Restabfallbehandlungs- und Energieerzeugungsanlage TREA Leuna wird eine Reduktion der  $\text{CO}_2$ -Emissionen der Fernwärmeversorgung erwartet. Dies entspricht nach Angaben der Stadtwerke Merseburg bei Substitution von erdgasgefeuerter Kessel- und KWK-Erzeugung bis zu rd. 90.000 MWh Hi Erdgaseinsatz und 18.000 t  $\text{CO}_2$  pro Jahr bei Einspeisung aus beiden Linien.

Weiterhin kann bei einer Auskopplung der Wärme zur Fernwärmeversorgung eine Kühlung des Rauchgases durch Wassereinspritzung im Sprühabsorber entfallen. Hier können jährlich ca. 72.000  $\text{m}^3$  Wasser eingespart werden, von denen etwa 10 % Trinkwasserqualität besitzen.

Abwärme, die nicht von der Fernwärme angefragt wird, kann einer innerbetrieblichen Nutzung zur Speisewasservorwärmung zukommen und eine Mehrstromerzeugung in der Turbine der TREA ermöglichen. Hier sind je MWh Abwärme Mehrstrommengen von ca. 0,17 MWh<sub>el</sub> zu erwarten.

Ziel: Erdgassubstitution bis zu 90.000 MWh Hi/a und dadurch CO<sub>2</sub>-Reduktion in der Größenordnung von 18.000 t CO<sub>2</sub>/a; Wassereinsparung bis zu 72.000 m<sup>3</sup>/a; Mehrstromerzeugung in der TREA bis zu 1.700 MWh/a.

## 2.2. Technische Lösung (Auslegung und Leistungsdaten)

### Teilprojekt 1: Optimierung der Rauchgasreinigung

Im Rahmen des ersten Teilprojektes fand die Umstellung der quasitrockenen Rauchgasreinigung auf das innovative Trockensorptionsverfahren „VapoLAB“ statt.

Da bei Einsatz des Trockensorptionsverfahrens Probleme bei der Einhaltung der Emissionswerte nicht ausgeschlossen werden konnten, wurde zunächst eine Versuchsreihe mit einer skalierten Versuchsanlage, DemoLAB, durchgeführt. Die Versuchsanlage war von Februar 2015 bis Mai 2015 in der TREA Leuna installiert (nicht Gegenstand des Projektes). Nach erfolgreichem Probetrieb wurde das VapoLAB-Verfahren erstmalig großtechnisch und im Dauerbetrieb in der TREA zur Anwendung gebracht.

Die schematische Darstellung der Rauchgasreinigung vor der Umstellung auf das VapoLAB Verfahren findet sich in Abbildung 2. Die Verfahrensskizze nach der Umstellung auf das Trockensorptionsverfahren ist Abbildung 3 zu entnehmen.

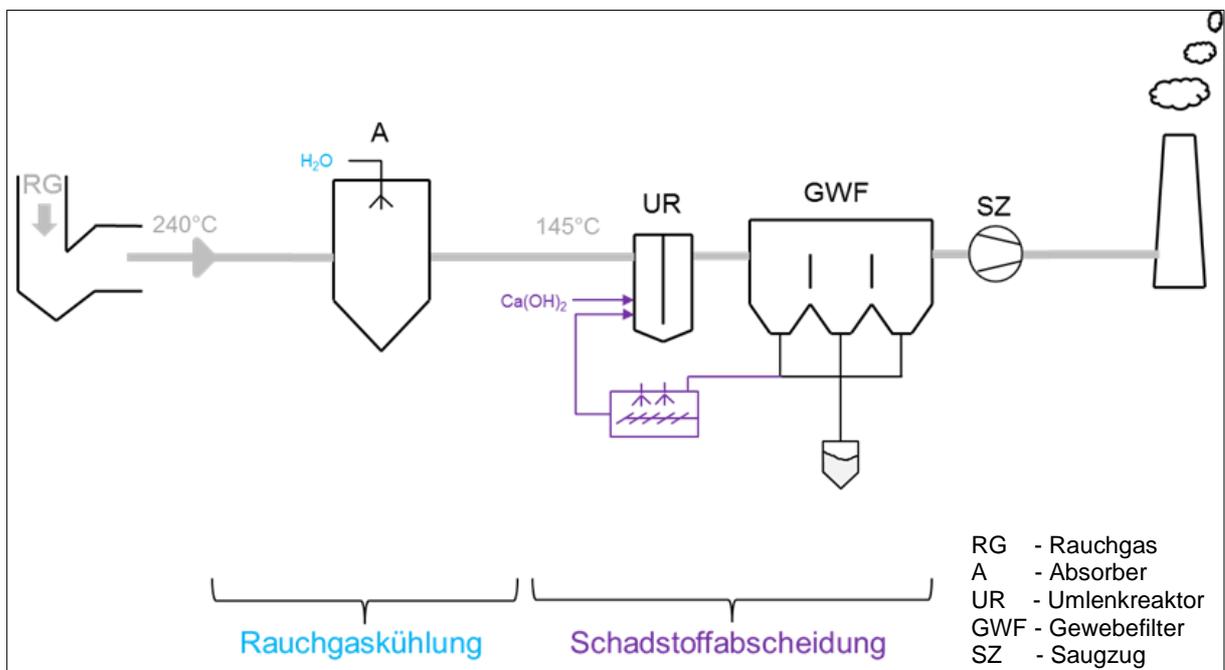


Abbildung 3: Skizze Rauchgasreinigung nach Umbau auf VapoLAB-Verfahren (Quelle: MVV)

Das bestehende System der Rauchgasreinigungsanlage wurde zunächst um einen ActiLAB-

Reaktor ergänzt, der zwischen Stufe 3 (Umlenkreaktor „UR“) und Stufe 4 (Gewebefilter „GF“) installiert wurde. Ein Teil der im Gewebefilter (Stufe 4) anfallenden Reststoffe wird im laufenden Betrieb gesammelt und dem ActiLAB Reaktor zugeführt („Rezirkulat“). Durch die Eindüsung von Dampf wird dieses Rezirkulat reaktiviert und in Stufe 3 zusammen mit Kalkhydrat und Natriumbicarbonat wieder in den Umlenkreaktor eingebracht, um v.a. die geforderte Abscheideleistung von SO<sub>2</sub> zu besichern. Das Eindüsen und das Verdampfen von Kalkmilch in einem Sprühabsorber (A), wie es in der quasitrockenen Rauchgasreinigung (Abbildung 2) der Fall ist, können entfallen.

Auf diesem Weg werden prozessbedingt Abwärmeleistungen im Bereich von > 4 MW<sub>th</sub> frei, da für die Funktion des Trockensorptionsverfahrens die vorhandene Rauchgastemperatur um 80-120 K reduziert werden muss. Dies wurde zunächst, wie in Abbildung 3 zu sehen ist, durch die Einspritzung von Wasser realisiert.

Die Temperatur der Abwärmequelle liegt, abhängig vom Verschmutzungszustand des Kessels, bei > 210 °C. Aufgrund der Leistung und des Temperaturniveaus der Abwärmequelle ist diese gut für eine weiterführende Nutzung geeignet. Durch Erschließung der Abwärme kann zudem die Zwangskühlung des Rauchgases durch Wassereinspritzung reduziert werden.

#### Teilprojekt 2: Abwärmeerschließung und Fernwärmeauskopplung

Da bei Umstellung des Rauchgasreinigungsverfahrens auf den Sprühabsorber verzichtet werden kann, ist es möglich die dort bislang zur Verdampfung von Kalkmilch verwendete Wärme anderen Verwendungszwecken zukommen zu lassen. Dies erfolgte innerhalb von Teilprojekt 2 durch die Applikation eines Rauchgaswärmeübertragers im Rauchgasweg.

Die technischen Parameter der Abwärmequelle sind in Tabelle 1 aufgeführt

Tabelle 1: Technische Parameter der Abwärmequelle

<b>Parameter</b>	<b>Einheit</b>
Art des Trägermediums	Rauchgas/ Schadgas
Temperatur der Abwärmequelle	240 °C
Wärmeleistung	> 4 MW <sub>th</sub> / je Linie
Verfügbarkeit	> 7.800 h/a

Da die Abfallkessel dem Zweck der thermischen Abfallbehandlung dienen, werden diese saisonunabhängig bei Volllast betrieben. Die Kesselverfügbarkeit liegt bei > 7.800h/a. Für die freiwerdende thermische Leistung von > 4 MW<sub>th</sub> je Verbrennungslinie muss bei Applikation eines Wärmeübertragers eine entsprechende Wärmesenke zur Verfügung stehen.

In unmittelbarer Nachbarschaft zur Anlage TREA Leuna liegt die Stadt Merseburg.

Abbildung 4 gibt eine Übersicht über die Fernwärmeversorgung in Merseburg vor Projektstart. Die Lage der TREA Leuna ist gekennzeichnet.

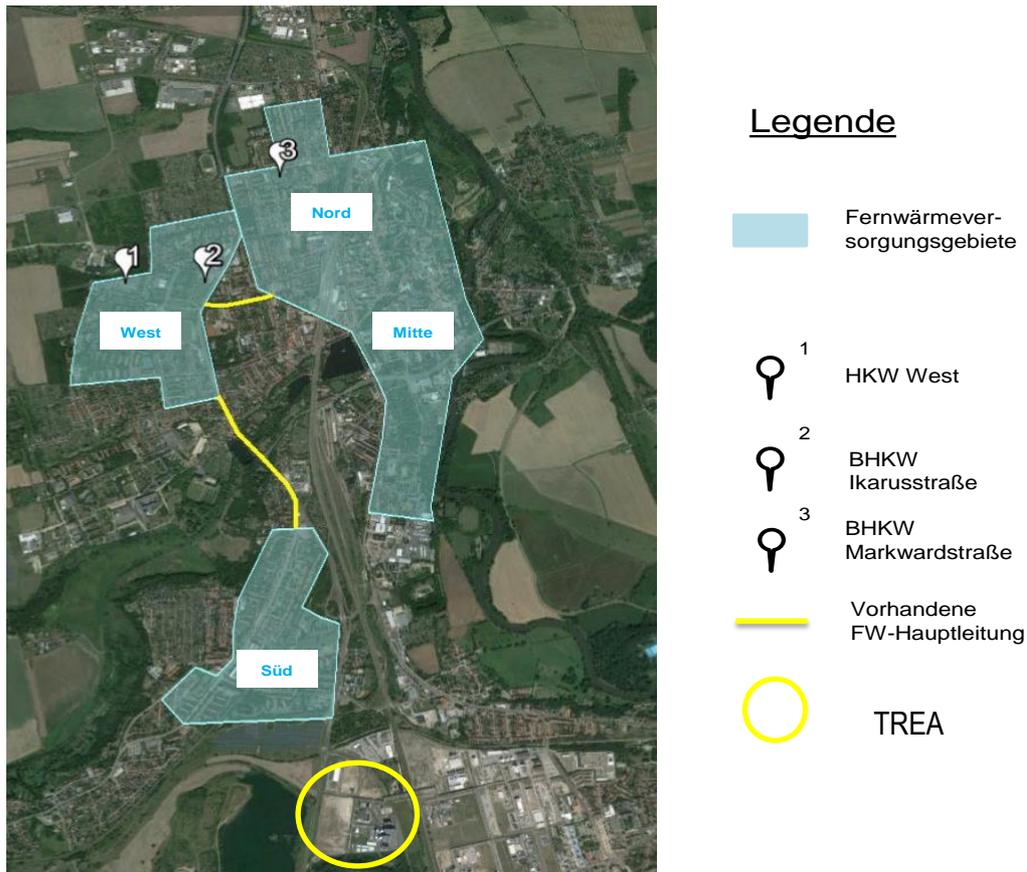


Abbildung 4: Übersichtsplan der Wärmeversorgung Merseburg (Quelle: SWM)

Bei den Stadtwerken Merseburg bestand der Bedarf nach einer CO<sub>2</sub>-armen und nachhaltigen Grundlastversorgung ihres Fernwärmenetzes, auf deren Basis weiterer Netzausbau möglich ist.

Aufgrund der Leistung und des Temperaturniveaus der Wärmequelle im Rauchgas ist diese gut für eine außerbetriebliche Nutzung zur Fernwärmeversorgung geeignet. Durch Nutzbarmachung der Abwärme kann zudem die Zwangskühlung des Rauchgases durch Wassereinspritzung reduziert werden.

Über eine Wärmeübergabestation kann die Wärme an das Fernwärmenetz der Stadt Merseburg übergeben werden. Die grundlastfähige Wärme aus der TREA kann hier ganzjährig zu Heizung und Warmwasserbereitung genutzt werden. Die auf Erdgas basierende Eigenerzeugung der Stadtwerke Merseburg wird hier substituiert. Zwangstromerzeugung auf Seiten der Stadtwerke kann entfallen.

Aufgabenstellung war die Realisierung einer externen Abwärmenutzung zur Fernwärmeversorgung der Stadtwerke Merseburg. Durch die Applikation eines Rauchgaswärmeübertragers im Rauchgasweg, wie in Abbildung 5 gezeigt ist, kann die Wärme über einen sekundären Wasserkreislauf abgeführt und über eine Wärmeübergabestation an das Fernwärmenetz der Stadt Merseburg übergeben werden.

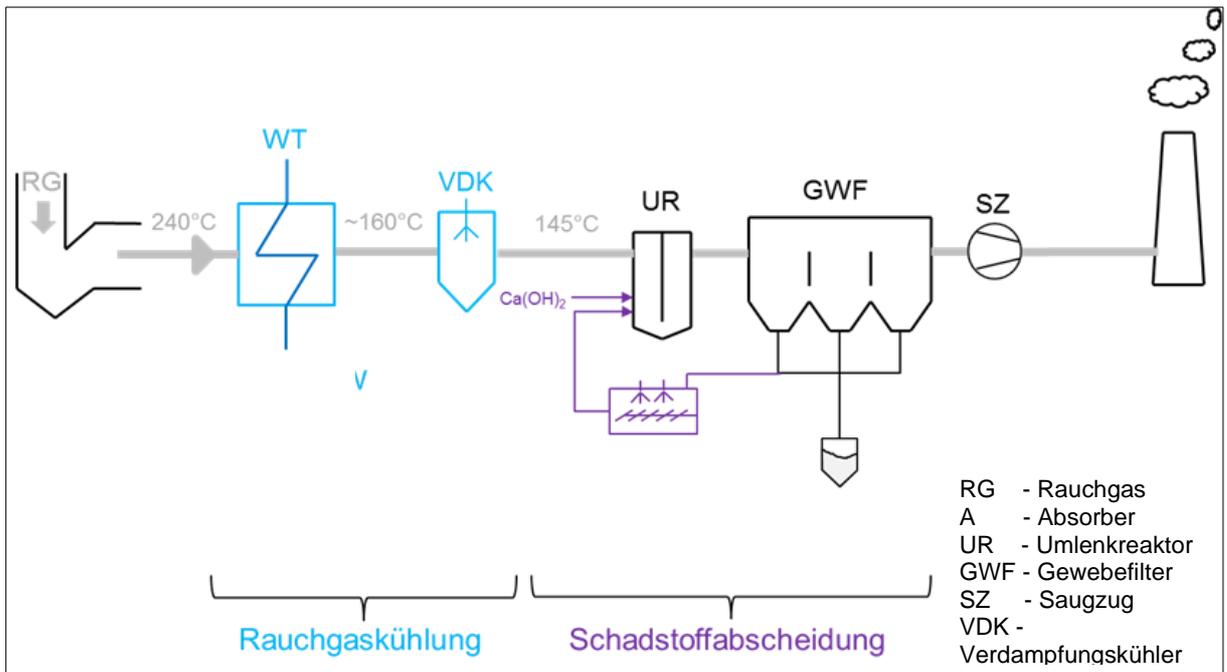


Abbildung 5: Rauchgaskühlung durch Rauchgaswärmetauscher und Verdampfungskühlung (Quelle: MVV)

Der sekundäre Wasserkreislauf ist durch Niederdruckverdampfer ergänzt, welche eine innerbetriebliche Nutzung von überschüssiger Rauchgaswärme, beispielsweise bei niedriger Fernwärmelast in den Sommermonaten, ermöglichen. Der sekundäre Wasserkreislauf wird mittels Pumpen umgewälzt, welche auch die notwendigen Druckverhältnisse schaffen, um ein Ausdampfen in den Leitungen zu vermeiden. Eine Verfahrensskizze ist in Abbildung 6 dargestellt.

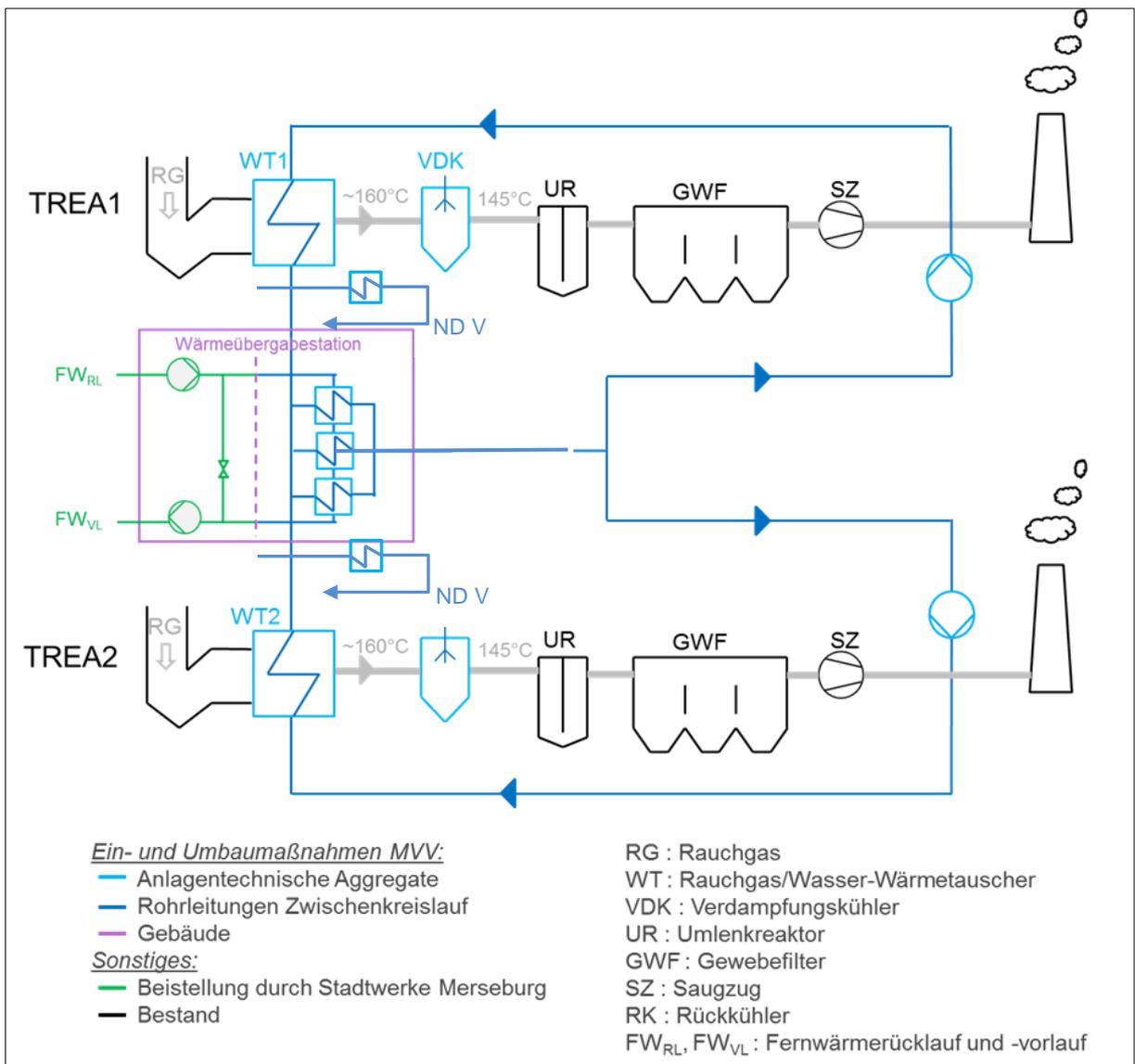


Abbildung 6: Skizze Abwärmenutzung zur Fernwärmeversorgung (Quelle: MVV)

Innerhalb der TREA wurden folgende Maßnahmen umgesetzt:

- Erweiterung der Rauchgasreinigungsanlage durch Applikation eines Rauchgaswärmetauschers mit angeschlossenen sekundärem Heißwasserkreislauf zur Nutzbarmachung der Abwärme.
- Errichtung einer Fernwärmeübergabestation zur Bereitstellung der Abwärme an das Fernwärmenetz.
- Einrichtung eines Niederdruckverdampfers je Linie

Um eine Wärmelieferung zu ermöglichen, mussten die Stadtwerke Merseburg ihr Fernwärmenetz um eine Anbindungsstrasse zur TREA erweitern.

## 2.3. Umsetzung des Vorhabens

### 2.3.1 Teilprojekt 1: Optimierung der Rauchgasreinigung

Das zentrale technische Risiko bei der Substitution der quasitrockenen Rauchgasreinigung durch das Trockensorptionsverfahren liegt in einer dauerhaften Überschreitung der Emissionswerte, was zu einem Zwangstillstand der Anlage über einen nicht definierten Zeitraum führen könnte. Hierdurch käme es zu erheblichen Ausfällen von Einnahmen und zugleich zusätzlichen Kosten, so dass zugleich ein hohes wirtschaftliches Risiko begründet wird.

Um dieses Risiko bewerten und reduzieren zu können war von Februar 2015 bis zum Mai 2015 die Versuchsanlage DemoLAB in der TREA Leuna installiert. Mit dem Abschluss dieses Probetriebes waren die Forschungs- und Entwicklungsarbeiten abgeschlossen. Im Rahmen des Teilprojektes 1 konnte das VapoLAB-Verfahren nunmehr erstmalig großtechnisch umgesetzt und im Dauerbetrieb zur Anwendung kommen.

Eine wesentliche Anforderung an den Trockensorptionsprozess ist die Einstellung der optimalen relativen Abgasfeuchte, die im Bereich von 5-6 % relativer Feuchte liegen soll. Diese wird durch die beiden Größen der absoluten Feuchte und der Rauchgastemperatur bestimmt. Eine Erhöhung der relativen Feuchte kann somit durch Abkühlung des Rauchgases oder Zufuhr von Wasser erreicht werden.

Zur Beschränkung des Risikos erfolgte der Umbau zum Trockensorptionsverfahren gestuft. Der Sprühabsorber wurde zunächst voll funktionsfähig erhalten und ausschließlich zur Kühlung mit reinem Wasser statt mit Kalkmilch betrieben. Erst nachdem bei Einsatz des Trockensorptionsverfahrens über einen Zeitraum von mehreren Monaten eine Einhaltung der Emissionswerte sichergestellt werden konnte, wurde der Sprühabsorber in einem zweiten Schritt durch den Rauchgaswärmetauscher zur Versorgung der Fernwärme ersetzt.

Hätte das Trockensorptionsverfahren im großindustriellen Einsatz nicht die erwartete Abscheideleistung erbracht, hätte der Sprühabsorber reaktiviert und so das ursprüngliche Rauchgasreinigungsverfahren wiederhergestellt werden können.

Im Zuge des Dauerbetriebes traten bislang verschiedene Störungen, unter anderem am Betriebsmittelfördersystem auf, die allesamt behoben werden konnten.

Die wesentlichen Arbeitsschritte zur Umsetzung waren wie folgt gegliedert:

	<b>Arbeitspaket</b>	<b>Zeitraum</b>	<b>Kommentar</b>
VapLAB	Genehmigung	Q1/2016	Anzeige gemäß §15, Abs. 1 BImSchG
	Vorarbeiten und Bestellphase	Q4/2015 - Q1/2016	Ausschreibungsunterlagen , Fundamentierung, Bauüberwachung, Erstellung Genehmigungsstatik für Fundamentplatten und Erstellung Bewehrungspläne
	Bestellung Anlage bei LAB	Q1/2016	Vertragsunterzeichnung 29.02.2016
	Montage	Q3/ 2016	Ende mechanische Montage Mitte August 2016
	Inbetriebnahme kalt	Q3/2016	Bis zu Beginn warme IBN
	Stillstand Linie	Q3/2016	
	Abschlussarbeiten an Bestand	Q3/2016	
	Inbetriebnahme warm	Q3/2016	warme IBN bis Abschluss am 20.10.2016
	Probetrieb	Q4/2016	Beginn 21.10.2016 Abbruch 03.11.2016 Beginn Probetrieb 2 11.04.2017 Ende Probetrieb 2 08.05.2017
	Übernahme		23.05.2017

Die dargestellten Ist-Termine weichen deutlich von den ursprünglich geplanten Umsetzungsterminen ab. Die Übernahme der Anlage war für den 04.10.2016 vorgesehen und wurde letztendlich nach einem zweiten Probetrieb am 23.05.2017 mit einer ca. 7,5-monatiger Verspätung fixiert. Seit dieser Übernahme ist die Anlage in Betrieb, die geforderten Garantiewerte und die Reingaswerte gemäß 17. BImSchV werden im laufenden Betrieb

eingehalten. Genauere Informationen können Kapitel 3 entnommen werden.

#### Teilprojekt 2: Abwärmeerschließung und Fernwärmeauskopplung

Nach erfolgreicher Umstellung auf das Trockensorptionsverfahren innerhalb von Teilprojekt 1 verblieb auch im Teilprojekt 2, der Abwärmeerschließung und Fernwärmeauskopplung, ein Risiko bezüglich der Besicherung der Abscheideleistung.

Da im Teilprojekt 1 die Rauchgastemperatur mittels Verdampfungskühlung eingestellt wurde, traf ein Rauchgas mit eingestellter relativer Feuchte und Temperatur auf das Trockensorptionsverfahren. Dieser, für die Abscheideleistung erforderliche, optimale Temperatur-Feuchte-Bereich kann auch durch Abgaskühlung mit einem Rauchgaswärmetauscher erreicht werden. Zur Einstellung der gleichen relativen Feuchte muss in diesem Fall eine niedrigere Prozesstemperatur eingestellt werden. Diese darf eine, durch den Trockensorptionsprozess, definierte minimale Prozesstemperatur jedoch nicht unterschreiten. Der Spielraum für die Einstellung optimaler Abscheidebedingungen ist bei Einsatz eines Rauchgaswärmetauschers daher gegenüber der Verdampfungskühlung begrenzt, was das Risiko einer reduzierten Abscheideleistung steigert. Zur Abdeckung von Schadgasspitzenwerten wird zur Besicherung der Emissionswerte die Möglichkeit einer Natriumbicarbonatindüsung vorgehalten.

Das vorliegende Vorhaben ist in der Kombination aus Trockensorptionsverfahren und Fernwärmeauskopplung erstmalig großindustriell bei Abfallverbrennungsanlagen zum Einsatz gekommen.

Die Verfahrenskombination von Trockensorptionsverfahren und Rauchgaswärmetauscher befindet sich nun in funktionierendem Dauerbetrieb.

	<b>Arbeitspaket</b>	<b>Zeitraum</b>	<b>Kommentar</b>
Teilprojekt 2 Fernwärme	Vergabe Los 1-3	Q4/18- Q2/19	
	Auslösung Planung Los 1 und 2	Ende Q3/18	
	Auslösung Ausführung Los 1 und 2	Q4/18	
	Ausschreibung und Vergabe Los 3	Q4/18- Q2/19	
	Genehmigungsverfahren	Q1/19- Q4/19	Erhalt Genehmigungsbescheid BlmSchG, Baufreigabe WÜS, Baufreigabe AWT, Erhalt Bewilligung Anzeige ND

		Verdampfer
Planung übergeordnet	Q3/18- Q4/19	
Bau Wärmeübergabestation	Q3/18- Q2/20	
<i>davon Planung</i>	<i>Q3/18- Q2/19</i>	
<i>davon Bau</i>	<i>Q1/19- Q4/19</i>	
<i>davon Montage</i>	<i>Q3/19- Q2/20</i>	
<i>davon Innenausbau</i>	<i>Q3/19- Q2/20</i>	<i>Estrich, Elektroausbau, Beschichtung</i>
Installation AWT (Abgaswärmetauscher)	Q2/19- Q1/20	
<i>davon Planung</i>	<i>Q3/18- Q2/19</i>	
<i>davon Vorbereitende Maßnahme und Montage</i>	<i>Q1/19- Q1/20</i>	<i>Fundamentierung, Montage, E Montage</i>
<i>Umschlüsse und Inbetriebsetzung</i>	<i>Q4/2019</i>	<i>Arbeiten im Stillstand TREA 2, IBS Rauchgasseite Nov/Dez 19</i>
<i>Warme IBN</i>	<i>Q4/19- Q2/20</i>	

Die Ausschreibung der Realisierung für die Fernwärmeanbindung erfolgte in 3 Losen, Los 1-Verfahrenstechnik, Los 2 Bau und Los 3 Elektro und Leittechnik. Genauere Informationen können Kapitel 3 entnommen werden.

#### 2.4. Behördliche Anforderungen (Genehmigungen)

##### 2.4.1 Teilprojekt 1: Optimierung der Rauchgasreinigung

Die Genehmigungen richten sich nach den Anforderungen des BImSchG. Das immissionsschutzrechtliche Genehmigungsverfahren innerhalb des BImSchG entfaltet eine „Konzentrationswirkung“. Die Konzentrationswirkung des § 13 BImSchG bedeutet, dass die Immissionsschutzbehörde für die Genehmigung einer immissionsschutzrechtlich

genehmigungspflichtigen Anlage, für deren Errichtung und Betrieb grundsätzlich mehrere Zulassungsentscheidungen erforderlich sind (z. B. Baugenehmigung, wasserrechtliche Genehmigung, naturschutzrechtliche Ausnahme ...) ein einheitliches Genehmigungsverfahren führt, an dessen Ende eine einheitliche Genehmigung („... für Errichtung und Betrieb“) steht. In dieser sind alle für die Anlage erforderlichen Zulassungsentscheidungen enthalten. Die Konzentrationswirkung endet mit Erteilung der immissionsschutzrechtlichen (Änderungs-) Genehmigung. Nach ihrer Erteilung fallen die Zuständigkeiten an die Fachbehörden zurück. Die Genehmigung wurde entsprechend erteilt.

#### 2.4.1 Teilprojekt 2: Abwärmeerschließung und Fernwärmeauskopplung

Im Rahmen der Realisierung des Fernwärmeprojektes wurde eine Änderungsgenehmigung für den ND-Verdampfer erteilt sowie eine Erlaubnis zur Errichtung der Wärmeübergabestation und des Wärmetauschers.

### 2.5. Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten

#### 2.5.1 Allgemein

Die Erhebung des vorhandenen Abwärmepotentials im Rauchgas erfolgte durch Berechnung der Enthalpiedifferenz des Rauchgases zwischen Ist- und Zieltemperatur vor Eintritt in den Verfahrensschritt VapoLAB. Eine Kontrollrechnung konnte über die Verdampfungsenthalpie der zur Kühlung des Rauchgases eingesetzten Wassermenge erfolgen.

Die Berechnung und Vorauslegung des Rauchgaswärmetauschers inklusive des sekundären Wasserkreislaufes und der Fernwärmeübergabestation erfolgte im Kraftwerkssimulationsprogramm Thermoflex. Den innerhalb des Programms zur Berechnung der Wärmeleistung angenommenen Rauchgasmengen und spezifischen Wärmekapazitäten liegt eine Verbrennungsrechnung zugrunde. Diese wurde anhand der zum Nachweis der Einhaltung des BImSchG vorhandenen gemessenen Emissionswerte des Rauchgases validiert.

Die Erhebung der Betriebsdaten innerhalb der TREA erfolgt, mit Methoden entsprechend Stand der Technik, kontinuierlich über im Rauchgas und rund um die Fernwärmeauskopplung befindliche Messstellen für Temperatur, Druck und Volumenstrom. Die Messdaten werden zentral in der Technischen BetriebsInformationsSoftware (TeBIS) gespeichert. Die Datenerhebung und Speicherung erfolgen kontinuierlich mit einer Taktung von 2 Sekunden, die Daten sind dann über das Betriebssystem abrufbar.

#### 2.5.2 Teilprojekt 1: Optimierung der Rauchgasreinigung

Die Erfolgskontrolle des VapoLAB-Verfahrens kann auf Basis der realisierten Einsparungen von Betriebsmitteln und Reststoffen erfolgen. Diese Stoffströme werden durch das Assetcontrolling geführt und dokumentiert. Eine Gegenüberstellung der Zustände vor und nach Umbau auf das VapoLAB-Verfahren ist somit auf Basis der kumulierten Betriebsmittelbedarfe und Reststoffanfänge möglich.

### 2.5.3 Teilprojekt 2: Abwärmeerschließung und Fernwärmeauskopplung

Die Erfolgskontrolle der Fernwärmeauskopplung ist über die Dokumentation der übergebenen Wärmemengen zum Fernwärmenetz möglich. Diese sind gegenüber dem Projektpartner Stadtwerke Merseburg auch abrechnungsrelevant. Die Stadtwerke Merseburg führen Nachweis über den Primärenergiefaktor ihrer Fernwärme sowie deren spezifischer CO<sub>2</sub>-Emissionen. Die Auswirkungen durch Auskopplung der Rauchgaswärme zur Fernwärme werden über diese Dokumentation erfasst. Verbesserungen zeigen sich durch die Änderungen im Vergleich mit den Vorjahren.

## 2.6. Konzeption und Durchführung des Messprogramms

### 2.6.1 Teilprojekt 1: Optimierung der Rauchgasreinigung

#### **Messung bzw. Auswertung der Betriebssituation nach der Umsetzung/Herkunft der Messergebnisse**

Im Rahmen der Umsetzung des Teilprojektes 1 wurden die Messwerte von vier Bereichen betrachtet. Hierzu zählen die Roh- und Reingasemissionen, der Eigenbedarf, der Reststoffanfall sowie der Einsatz von Betriebsmitteln. Hierbei wurden die Werte für Roh- und Reingasemissionen sowie dem Eigenbedarf aus TeBIS exportiert. Die Datenbasis für die Reststoffmengen stammt aus der Waagesoftware „Athos“. Die Werte selbst wurden ebenso wie die Betriebsmittelmengen aus dem MVV Umwelt Asset GmbH internen Berichtswesen entnommen. Hierbei gilt, dass die Werte für die Reststoffmengen auf Wiegevorgängen beruhen und damit immer gewisse Mengenströme zusammengefasst als ein Transportvorgang (LKW-Größe) aufgezeichnet werden. Ähnliches gilt für den Einsatz von Betriebsmitteln. Hier orientieren sich die Werte für den Verbrauch an den Anliefermengen, wodurch ebenfalls die Mengenströme auf einer losweisen Aufzeichnung beruhen.

#### **Einflussfaktoren auf die Messergebnisse, die nicht auf den Einsatz des Trockensorptionsverfahrens zurückzuführen sind**

Verschiedene äußere und anlagenspezifischen Zustände und Rahmenbedingungen beeinflussen die Kennzahlen, können jedoch nicht für die Betrachtung eliminiert werden. Betrachtet man die in 2.1 dargestellten Ziele des Teilprojektes 1, die Senkung des spezifischen Betriebsmittelbedarfs und die Senkung der Reststoffmenge der Rauchgasreinigungsanlage, so werden die entsprechenden Kennzahlen zwar beeinflusst, die grundlegende Aussage über einen Erfolg des Projekts kann dennoch abgeleitet werden. Lediglich bei der Betrachtung des elektrischen Eigenbedarfs sind die durch „VapoLAB“ eingetretenen Veränderungen im Vergleich zum Grundeigenbedarf sowie den aufgrund der jeweiligen Anlagenzustände (z. B. hinsichtlich des Verschmutzungsgrades und den Druckverlusten über einzelne Anlagenteile) sich ergebenden Schwankungen so gering, dass keine Aussage über den tatsächlichen Mehrbedarf getroffen werden kann. Dies führt dazu, dass bei der Aufstellung der Ergebnisse

in Teilprojekt 1 hilfsweise auf die theoretische Kennzahl der geplanten installierten Leistung zurückgegriffen werden muss.

Die wesentlichen äußeren und anlagenspezifischen Zustände und Rahmenbedingungen werden in folgender Tabelle dargestellt:

Tabelle 2: äußere Einflussfaktoren

äußere Einflussfaktoren	Schwankender Heizwert des Abfalls bedingt durch Abfallbeschaffenheit
	Belastung des Abfalls mit Schadstoffen
	Anteil Schredderleichtfraktion
	Anteil hochkalorischer Abfallanteil
	Anteil niederkalorischer Abfallanteil

Tabelle 3: anlagenspezifische Einflussfaktoren

anlagenspezifische Einflussfaktoren	Verschmutzungsgrad der Anlage (u.a. Reisezeit)
	Druckverluste über spezielle Anlagenteile
	Homogenisierung des Brennstoffs
	Reinigungen und Revisionen führen zu Periodenverschiebungen bei Reststoffen
	Messungenauigkeiten zurückführen u.a. auf eine Rohgasmessungen

## 2.6.2 Teilprojekt 2: Abwärmeerschließung und Fernwärmeauskopplung

### **Konzept für den Nachweis der Energieeffizienzmaßnahmen**

Die aus dem Prozess ausgekoppelte Wärmemenge sowie alle an die Stadtwerke Merseburg übergebenen Wärmemengen werden über Wärmemengenzähler erfasst. Dabei wird zunächst die Wasser-Durchflussmenge sowie die zugehörige Vor- und Rücklauftemperatur gemessen und fortlaufend der Wärmestrom errechnet und gespeichert. Die Messwerte werden im zentralen Energiemonitoringsystem zusammengeführt, ausgewertet und erfahren monatlich im Zuge der Rechnungsstellung des Wärmepreises gegenüber Stadtwerke Merseburg eine Plausibilitätsprüfung. Über diese erfassten Mengen kann auch die CO<sub>2</sub>-Einsparung entsprechend berechnet werden. Die nach AGFW 309-6 berechneten CO<sub>2</sub>-Emissionen der TREA können den CO<sub>2</sub>-Emissionen der gasbasierten Wärmeerzeugung gegenübergestellt werden und somit kann eine CO<sub>2</sub>-Einsparung berechnet werden.

Die Strombilanz muss aufgrund der Geringwertigkeit der wegfallenden und hinzukommenden Leistungsbezieher gegenüber anderen Leistungsbedarfen im System TREA auf Basis von

Leistungswerten der Auslegung erfolgen. Die Wasserbilanz muss über die Verdampfungsenthalpie und damit die gemessenen Temperaturen im Rauchgas geschätzt werden.

### **3. Ergebnisdarstellung zum Nachweis der Zielerreichung**

#### **3.1. Bewertung der Vorhabendurchführung**

##### **3.1.1 Teilprojekt 1: Optimierung der Rauchgasreinigung**

Abbruch des Probetriebes:

Da sich während der warmen Inbetriebnahme technische Probleme ergaben, verschob sich der Soll Termin gegenüber dem Zuwendungsbescheid (04.04.2016) um sieben Monate. Der erste Probetrieb musste abgebrochen werden. Der Einbau eines neu modifizierten Schneckenbaums in die Rezirkulationssammelschnecke erfolgte im Februar 2017. Am 02.03.2017 erfolgte ein Ausfall der Kalkhydrat Förderschnecke aufgrund des Bruchs/Abscherung der Förderspirale und Bruch des Förderrohres. Die Schnecke wurde neu ausgerichtet und das Halterungskonzept verbessert. Der zweite Probetrieb fand vom 11.04.2017 bis 08.05.2017 erfolgreich statt. Seit dem 23.05.2017 ist die Anlage in Dauerbetrieb. Während des Dauerbetriebes wurden die Reingaswerte durchgehend eingehalten.

##### **3.1.2 Teilprojekt 2: Abwärmeerschließung und Fernwärmeauskopplung**

Der Solltermin gemäß Zuwendungsbescheid verschob sich vom 01.11.2019 um 8 Monate. Technische und bauliche Herausforderungen, die sich im Rahmen der Umsetzung ergeben haben, sind hierfür der Grund. Neben der Verzögerung des Teilprojektes 1 und genehmigungsrechtliche Herausforderungen im Projektteil des Vertragspartners SWM kamen bauliche Herausforderungen, wie Ertüchtigungen der Pfahlgründungen hinzu, die in der Planungsphase noch nicht abzusehen waren und Umplanungen erforderlich machten. Hinzu kamen Lieferschwierigkeiten der Hauptlieferanten, u. a. bedingt durch die Corona-Pandemie. Die Projektkosten werden deutlich überschritten. Im Rahmen der Ausschreibungen mussten hier Kostensteigerungen hingenommen werden.

#### **3.2. Stoff- und Energiebilanz**

##### **3.2.1 Teilprojekt 1: Optimierung der Rauchgasreinigung**

##### **Ressourceneffizienz und Materialeinsparung**

Das Grundprinzip des Trockensorptionsverfahrens besteht in einer Rezirkulation des Filterstaubes vom Gewebefilter zum Umlenkreaktor. Vor Einleiten in denselben wird der Filterstaub durch eine integrierte Sattdampfaktivierung behandelt. Auf diese Weise werden die im ersten Durchlauf noch nicht umgesetzten Betriebsmittel (30 bis 50 % der Freikalke)

oberflächenaktiviert und dem Rauchgasreinigungsprozess erneut zugeführt. Die Rezirkulation in Verbindung mit der Aktivierung führt zu einer deutlichen Steigerung der Reaktionskinetik und zu einer Absenkung der Stöchiometriefaktoren.

In Folge reduzieren sich die einzusetzenden Betriebsmittel (Kalkhydrat und Natriumcarbonat) signifikant und damit auch die entstehenden Reststoffmengen (Filterstäube). Durch Wegfall des Sprühabsorbers kann der Einsatz von Branntkalk einschließlich der exothermen Reaktion zur Kalkmilcherzeugung entfallen. Branntkalk, auch als ungelöschter Kalk bezeichnet, reagiert mit Wasser unter Hitzeentwicklung und birgt damit ein Gefährdungspotential für Brandentwicklung. Kalkhydrat, auch als gelöschter Kalk bezeichnet, ist hingegen nicht entflammbar oder brennbar. Das vorhandene Branntkalksilo findet als Kalkhydratsilo weiterhin Verwendung. Wie auch bei dem quasitrockenen Rauchgasreinigungsverfahren werden die Anforderungen der 17. BImSchV durch das Trockensorptionsverfahren eingehalten.

Aufgrund der deutlichen Reduzierung der Betriebsmittel und Reststoffmengen verringert sich auch die damit verbundene Transportlogistik (An- und Abfuhr). Es fällt weiterhin kein Abwasser im Trockensorptionsverfahren an.

Durch den erstmaligen Einsatz des innovativen Trockensorptionsverfahrens ergeben sich zusammenfassend die folgenden Umwelteffekte:

1. Senkung des spezifischen Betriebsmittelbedarfs (RRA-Input)

Durch den Einsatz des Trockensorptionsverfahrens entfällt der Einsatz von Branntkalk (CaO). Bezogen auf die behandelte Menge Abfall (Tonne Branntkalk/Tonne behandelter Abfall) sinkt der Bedarf von > 3,1 % auf 0 %.

Zugleich erhöht sich der Verbrauch an Kalkhydrat (Ca(OH)<sub>2</sub>). Bezogen auf die behandelte Menge Abfall steigt der Bedarf von durchschnittlich 1 % auf 2,4 % an. Trotz des Mehrverbrauchs an Kalkhydrat erfolgt insgesamt eine erhebliche Einsparung an Betriebsmitteln, aktuelle Werte im Betrieb zeigen Betriebsmitteleinsparungen von 38 % gegenüber dem quasitrockenen Verfahren, welche zuvor installiert war.

2. Senkung der Reststoffmenge (Filterstäube; RRA-Output)

Durch den Einsatz des Trockensorptionsverfahrens kann die Menge an Filterstäuben, die deponiert werden müssen, um ca. 25 % reduziert werden, von durchschnittlich ca. 9,3 % auf ca. 6,8 % je behandelter Tonne Abfall. Im Betrieb werden aktuell bis zu ca. 30 % Reststoffreduktion gegenüber dem quasitrockenen Verfahren realisiert.

3. Veränderungen Stromeigenbedarf (definiert über installierte Leistung)

Anstieg um 33,9 kW durch den Energieverbrauch der Fördereinrichtungen.

4. Stromverlust durch Dampfverbrauch

Reduktion um 19 kW durch den Dampfeinsatz im ActiLAB-Mischer (Schätzwert).

## Fazit

Unter Einhaltung der Grenzwerte der 17. BImSchV werden die Ziele des Teilprojektes 1 sowohl beim Betriebsmittelverbrauch wie auch dem Filterstaubanfall (Reststoff) übertroffen.

Zeitlich hat sich die Umsetzung des Projektes deutlich verzögert und nicht vorhergesehene Maßnahmen mussten ergriffen und zusätzliche Anpassungen in der Bestandsanlage mussten vorgenommen werden. Im weiteren Betrieb der VapoLAB-Anlage müssen einzelne Komponenten noch verbessert und ggf. höherwertige Materialien eingesetzt werden. Auch beim Regelkonzept werden voraussichtlich weitere Verbesserungen erforderlich sein, um auch für künftige Änderungen der Rahmenbedingungen einen stabilen Betrieb zu erreichen.

### 3.2.2 Teilprojekt 2: Abwärmeerschließung und Fernwärmeauskopplung

#### **Energieeffizienz und Klimaschutz**

Der größte Klimaschutz- und Effizienzaspekt des Gesamtvorhabens ist die Abwärmenutzung zur Versorgung der Fernwärme der Stadtwerke Merseburg. Die Abwärmeleistung je Linie beläuft sich auf > 4 MWth. Damit stehen zur Fernwärmeversorgung bei den üblichen Verfügbarkeiten der Verbrennungslinien jährlich durch beide Linien rund 61 GWh/a Abwärme sicher zur Verfügung. Die grundlastfähige Wärme aus der TREA kann über die Fernwärmeversorgung ganzjährig zu Heizung und Warmwasserbereitung genutzt werden. Die auf Erdgas basierende Eigenerzeugung der Stadtwerke Merseburg wird hier substituiert. Die Wärmeerzeugung in KWK wird weiter flexibilisiert, insbesondere durch Verschiebung der KWK-Anlagen von der Grundlast in die Mittellast z. B. im Sommer bei Stromüberschüssen im Markt.

Das Fernwärmenetz der Stadtwerke Merseburg hat einen Wärmebedarf von ca. 90.000 MWh/a. Zukünftig werden über 50 % dieser Wärme aus Abwärme bereitgestellt. Das spart bei Substitution von Wärmeerzeugung aus Erdgaskesseln rund 12.000 Tonnen CO<sub>2</sub> pro Jahr. Bei Substitution von KWK-Anlagen sind Einsparungen von rd. 90.000 MWh Hi/a Erdgaseinsatz und rd. 18.000 Tonnen lokaler CO<sub>2</sub>-Emissionen aus Erdgaseinsatz für Strom- und Wärme möglich.

Die Stadtwerke Merseburg planen den Einsatz ihrer Wärmeerzeuger unter ökologischen und wirtschaftlichen Gesichtspunkten. Liegen die variablen Wärmeerzeugungskosten der BHKW-Anlagen unter denen der Alternative Abwärme aus der TREA, werden die BHKW-Anlagen eingesetzt. Unter diesen Voraussetzungen werden über 50 % der Fernwärme der Stadtwerke Merseburg aus der TREA kommen. Eine beispielhafte Prognoserechnung der Stadtwerke Merseburg kann Abbildung 7 entnommen werden.

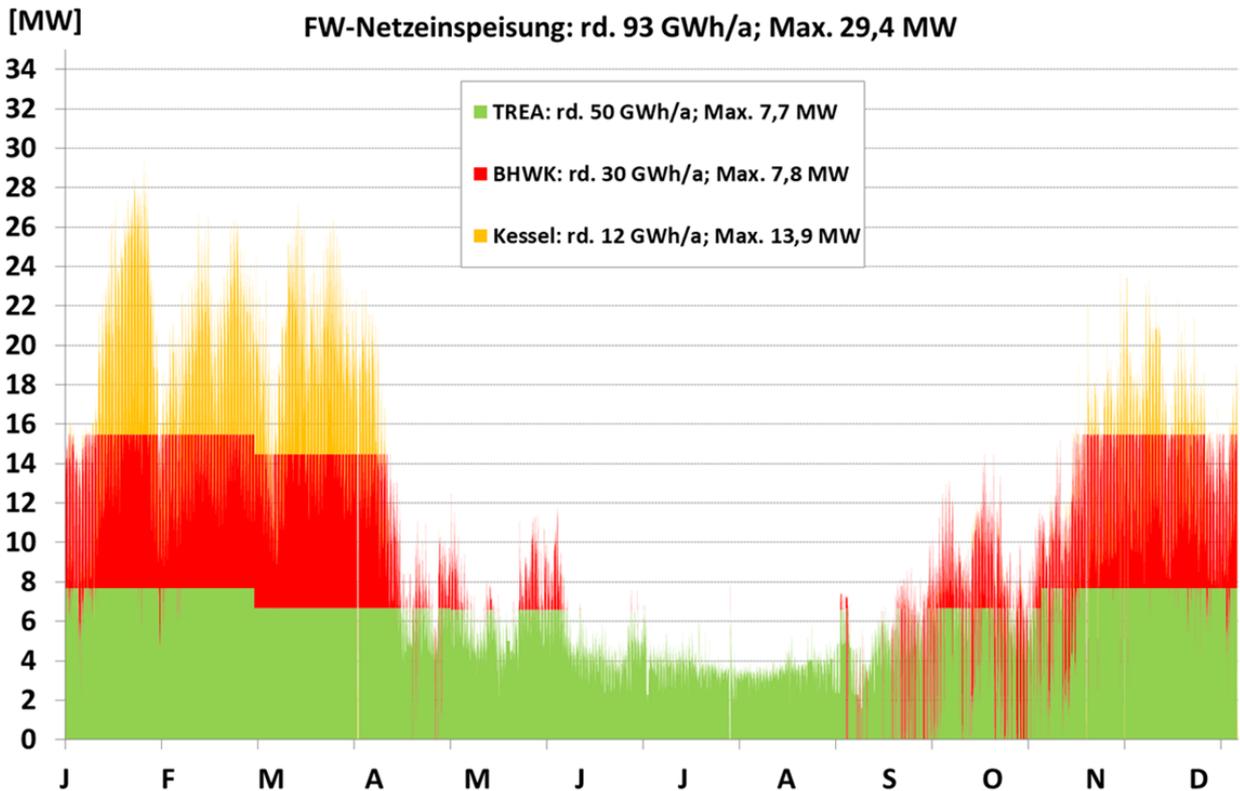


Abbildung 7: Beispiel-Jahresgang Fernwärmenetzeinspeisung mit TREA, BHKW und Kesselprognosewerten (Quelle: Stadtwerke Merseburg)

Das Verhältnis von nutzbar gemachter Wärme zu angebotener Wärme liegt bei Einsatz beider Linien bei  $\geq 80\%$ . Während der Sommermonate ist eine Deckung des Fernwärmebedarfs ausschließlich durch die Abwärme der TREA möglich. Eine fossile Wärmeerzeugung kann hier vollständig entfallen.

Die nicht durch die Fernwärme abgenommene Abwärme, insbesondere in den Sommermonaten, kann über die vorhandenen Niederdruckverdampfer einer innerbetrieblichen Wärmenutzung zur Speisewasservorwärmung zugeführt werden. Insgesamt kommt die Abwärme damit zu 100 % einer Nutzung zu. Wird die Speisewasservorwärmung durch Abwärme realisiert, reduziert sich die notwendige Eigenbedarfsdampfmenge, die der Turbine der TREA entnommen werden muss. Diese kann dann einer Verstromung zukommen. Je MWh Abwärme können ca. 0,17 MWh Strom erzeugt werden.

### Massen- und Energiebilanzen

1. Veränderungen Leistungsbereitstellung

**Ziel:** > 4 MWth/ Linie

**Ist:** > 4 MWth/ Linie

2. Veränderungen Stromeigenbedarf (über installierte Leistung)

Reduktion um 36,5 kW durch Wegfall von Begleitheizung und Reduktion der Saugzugleistung

(Entfallen Kühlwasser).

Steigerung um 65,7 kW durch Stromverlust EB, Schallreinigung und Pumpen.

### 3. Stromverlust durch Dampfverbrauch

Dem Stromverlust durch Dampfverbrauch steht die Mehrstromerzeugung durch Nutzung von Überschusswärme über den ND Verdampfer entgegen. Diese Effekte sind von vielen verschiedenen Faktoren abhängig (Bedarf Fernwärmenetz, Bedarf Industriestandort, Möglichkeiten vertrimmter Fahrweise). Aktuell wird von einer Mehrstromerzeugung von 1.700 MWh/a ausgegangen.

### 3.3. Umweltbilanz

#### **Dekarbonisierung und Emissionsreduktion, Klimaschutz**

CO<sub>2</sub>: Die Maßnahme führt vor allem auf Seiten der Stadtwerke Merseburg zu hohen CO<sub>2</sub>-Einsparungen, da hier die fossile Erzeugung substituiert wird. Die Höhe der erwarteten Energieeinsparungen beläuft sich nach Angaben von Stadtwerke Merseburg bei Wärmelieferung aus zwei Linien auf rd. 90 GWh Hi/a, was einer CO<sub>2</sub>-Einsparung von 18.000 t/a lokaler CO<sub>2</sub>-Emissionen aus Erdgaseinsatz für Strom- und Wärme entspricht.

Erdgas: die Höhe der erwarteten Energieeinsparung beläuft sich auf 90 GWh/a, Hi.

Strom: liegt die angeforderte Fernwärmeleistung unter der bereitgestellten Abwärmeleistung kann die Leistungsdifferenz über die ND Verdampfer einer Speisewasservorwärmung zukommen. Die erwarteten Mehrstrommengen liegen in der Größenordnung von 1.700 MWh/a.

#### **Nachhaltigkeit**

Die Abwärme aus der TREA Leuna führt zu einer deutlichen Reduktion des Primärenergiefaktors des Produktes Fernwärme auf Seiten der Stadtwerke Merseburg. Dies steigert die Nachhaltigkeit und Attraktivität des Produktes Fernwärme aus Kundensicht. Insbesondere unter dem Gesichtspunkt des Gebäudeenergiegesetzes bleibt die Fernwärme auch für den Neubausektor attraktiv.

Durch den Einsatz des Rauchgaswärmetauschers entfällt die Wassereinspritzung größtenteils, hier kommt es zu einer Einsparung in der Größenordnung von 72.000 m<sup>3</sup>/a bei Einsatz beider Linien.

#### **Energieeffizienz**

Mit der Fernwärme steht der TREA eine attraktive Wärmesenke zur Verfügung, durch deren Anbindung der Nutzungsgrad der TREA insgesamt steigt.

#### **Fernwärmenetz**

Es können aus beiden Linien der TREA über 50 GWh/a Abwärme eingespeist werden. Die Abwärme aus der TREA ist eine zusätzliche Wärmequelle. Sie ist grundlastfähig und steigert

die Sicherheit der Fernwärmeversorgung in Merseburg. Die Einbindung der Abwärme als CO<sub>2</sub>-armes lokales Erzeugungspotential flexibilisiert nicht nur die bestehende Erzeugung in KWK, sondern bringt auch die Transformation des Wärmenetzes im Sinne der Wärmewende entscheidend voran.

### 3.4. Wirtschaftlichkeitsanalyse

Für das VapoLAB-Verfahren war ein Investitionsvolumen in Höhe von 1,9 Mio. EUR geplant. In der Umsetzung konnte eine Reduktion auf 1,6 Mio. EUR erreicht werden. Diesen Investitionseinsparungen stehen zahlreiche nachträgliche Anpassungen entgegen, die kein Bestandteil des BMU-Umweltinnovationsprogramms darstellen. Die geplanten Einsparungen im Bereich der Betriebsmittel der Rauchgasreinigung sowie der Entsorgung von Reststoffen konnten erreicht und übertroffen werden.

Für Teilprojekt 2 war ein Investitionsvolumen in Höhe von 3,943 Mio. EUR geplant. Im Rahmen der Projektumsetzung kam es zu einem Anstieg der Kosten, wodurch sich das Investitionsvolumen auf 4,345 Mio. EUR gesteigert hat. Weitere Kostensteigerungen, die sich im Zusammenhang mit der Fernwärmeübergabestation ergeben haben, waren nicht Bestandteil des BMU-Umweltinnovationsprogramms.

Die Förderung in Form des BMU-Umweltinnovationsprogramms in Höhe von 1,762 Mio. EUR führte zu einer deutlichen Verringerung der technischen und wirtschaftlichen Risiken, die mit der Installation eines neuen Rauchgasreinigungsverfahrens einhergingen. Da die Einhaltung der genehmigten Grenzwerte des Rauchgases bestimmend ist, wäre bei einem Versagen des Verfahrens ein Rückbau mit den entsprechenden technischen und wirtschaftlichen Herausforderungen nötig gewesen. Im Teilprojekt zwei hat die Förderung ebenfalls zur Reduktion von technischen und wirtschaftlichen Risiken geführt. Hier waren es im Wesentlichen die wirtschaftlichen Risiken, da bezüglich einer vertraglichen Vereinbarung mit den Stadtwerken Merseburg nahezu kein Spielraum bestand. Zusätzliche Anpassungen oder weitere erforderliche technische Maßnahmen zur Ermöglichung der Fernwärmelieferung hätten eine Unwirtschaftlichkeit für MVV bedeutet.

Tabelle 4: Wirtschaftlichkeit

<b>Wirtschaftsjahr vom 1. Oktober bis 30. September</b>	<b>Gesamt</b>
<b>Investitionen</b>	
<b>Teilprojekt 1 VapoLAB</b>	<b>1.574.382 €</b>
<b>Teilprojekt 2 - Fernwärmeauskopplung</b>	<b>4.345.491 €</b>
<b>Gesamtinvestitionen Teilprojekt 1 und Teilprojekt 2</b>	<b>5.919.873 €</b>

<b>Finanzierung der Investitionen</b>
Gesamt
davon Zuschuss (30 %)
davon Eigenmittel (Konzern-Cashpool, 5 % Zinsen)

<b>Abschreibung</b>	<b>Gesamt</b>
Abschreibungen Sachanlagen Anteil VapoLAB	1.574.382 €
Abschreibungen Sachanlagen Anteil Fernwärmeauskopplung	4.345.491 €

<b>Auswirkung auf die Betriebskosten während der Laufzeit der Anlage</b>	<b>Gesamt</b>
Mehrstrombedarf RRA durch VapoLAB Verfahren	328.173 €
Minderkosten Betriebsstoffe durch VapoLAB Verfahren (Einsparung Branntkalk bei Mehrverbrauch Kalkhydrat gemäß Massen-, Energie- und Schadstoffbilanzen)	- 6.194.290 €
Minderkosten Reststoffe durch VapoLAB Verfahren gemäß Massen-, Energie- und Schadstoffbilanz	- 9.716.147 €
<b>Zwischensumme Auswirkung Teilprojekt 1 VapoLAB</b>	<b>- 15.582.264 €</b>
Mehrkosten der Wartung und Instandhaltung für Fernwärmeauskopplung	2.345.287 €
Mehrstrombedarf für Fernwärme	- 488.875 €
Einsparung Frischwasser, Trinkwasser durch Fernwärmeauskopplung	- 322.774 €
<b>Zwischensumme Auswirkung Teilprojekt 2 - Fernwärmeauskopplung</b>	<b>1.533.637 €</b>
<b>Gesamtauswirkung Betriebskosten Teilprojekt 1 und Teilprojekt 2</b>	<b>- 14.048.627 €</b>

### 3.5. Technischer Vergleich zu konventionellen Verfahren

Die Anwendung des Trockensorptionsverfahrens bei einer Abfallverwertungsanlage mit hohen Schadstoffwerten wurde erstmalig in Deutschland durchgeführt. Die Besonderheit liegt in der Aktivierung der Betriebsstoffe mit Dampf und deren Rezirkulation, wodurch deren Nutzungsgrad steigt und sich hohe Einsparpotentiale ergeben.

Die besondere technische Herausforderung in der Applikation des Trockensorptionsverfahrens in Kombination mit Wärmetauscher lag darin, bei Wegfall des Sprühabsorbers durch die Trockensorption eine ausreichende Abscheidung der Schadstoffe innerhalb des Umlenkrektors sicherzustellen, um die Emissionswerte zwingend einzuhalten.

Eine wesentliche Anforderung an den Trockensorptionsprozess ist die Einstellung der optimalen relativen Abgasfeuchte, die im Bereich von 5 bis 6 % relativer Feuchte liegt. Diese wird durch die beiden Größen der absoluten Feuchte und der Rauchgastemperatur bestimmt. Eine Erhöhung der relativen Feuchte kann durch Abkühlung oder Zufuhr von Wasser erreicht werden.

Der optimale Temperatur-Feuchte-Bereich kann durch eine Wassereindüsung oder durch Abgaskühlung mittels Rauchgaswärmetauscher erreicht werden. Zur Einstellung der gleichen relativen Feuchte muss bei einer Abkühlung durch einen Rauchgaswärmetauscher eine niedrigere Prozesstemperatur eingestellt werden. Diese darf eine definierte minimale Prozesstemperatur jedoch nicht unterschreiten. Der Spielraum für die Einstellung optimaler Abscheidebedingungen ist bei Einsatz eines Rauchgaswärmetauschers daher begrenzt, was das Risiko einer reduzierten Abscheideleistung steigert.

## **4. Übertragbarkeit**

### 4.1. Erfahrungen aus der Praxiseinführung

#### 4.1.1 Teilprojekt 1: Optimierung der Rauchgasreinigung

Die folgend tabellarisch dargestellten Probleme und Herausforderungen sowie die entsprechenden Gegenmaßnahmen zeigen auf, dass im Rahmen einer großtechnischen für den Dauerbetrieb vorgesehenen Anlage wie das VapoLAB-Verfahren zahlreiche Hürden überwunden und nachträgliche Anpassungen bzw. Optimierungen vorgenommen werden müssen. Auch wenn im Vorfeld Untersuchungen durch einen Versuchsaufbau, hier die DemoLAB-Anlage, mit einer entsprechenden Auswertung und/oder eine Adaption aus einem anderen Einsatzgebiet, hier das VapoLAB-Verfahren im BMKW Mannheim, vorgenommen wurden, können entsprechende Probleme bzw. Herausforderungen nicht gänzlich ausgeschlossen werden.

Tabelle 5: Probleme und Herausforderungen

Problem	Ursache	Lösung
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Abbruch Probebetrieb</li> </ul>	<p>Ausfall                      Rezirkulationsschnecke –                      kein Anlauf der Schnecke                      mehr möglich</p>	<p>Austausch                      Rezirkulationsschnecke</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Verkürzung                      Anlagenreisezeit</li> </ul>	<p>Ursache: Ablagerungen                      im Umlenkrektor</p>	<p>Installation                      Luftauflockerungsdüsen                      zur Vermeidung                      Druckverlustanstieg</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Anstieg des                      Stöchiometriefaktors                      nach längerem                      Stillstand</li> </ul>	<p>Bei der                      Ursachenforschung                      wurden Verkrustungen                      im ActiLAB-Mischer                      gefunden.</p>	<p>Durch ein verändertes                      Stillstandregime soll dies                      künftig vermieden                      werden.</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Probleme mit                      Betriebsmittelzuführung</li> </ul>	<p>Probleme mit dem                      Schneckenbaum</p>	<p>Einsatz neuer                      Schneckenbaum. Danach                      kam es an dieser Stelle                      nicht mehr zu                      Problemen.</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Bruch                      Kalkhydratzuführung</li> </ul>	<p>Die Schnecke der                      Kalkhydratzufuhr war                      gebrochen</p>	<p>Austausch der Schnecke</p>
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Unzureichende                      Stöchiometrie</li> </ul>	<p>Im Februar und März                      2017 kam es immer                      wieder zu deutlichen                      Überschreitungen der                      Stöchiometrie.</p>	<p>Auf Hinweis MVV wurde                      die Regelung der Anlage                      händisch gefahren.                      Hierauf hat sich eine                      Verbesserung eingestellt.                      Die automatische                      Regelung wurde                      daraufhin angepasst.</p>

Fasst man die Gegenmaßnahmen in die drei Kategorien Hardwareoptimierung, Optimierung der Regeltechnik zur Steuerung und Verbesserung des Chemismus und Optimierungsmaßnahmen in der Bestandsanlage zusammen, so können folgende Erfahrungen und Denkanstöße für künftige Projekte abgeleitet werden. Einsatz von höherwertigen Materialien im Bereich der Fördertechnik und Berücksichtigung von möglichen Störungspotentialen im Rahmen der Produktförderung. Komplette Betrachtung und gezielte

Verfolgung von Auswirkungen eines neu eingesetzten Verfahrens für die bisherige Anlagenstruktur. Vorsehen eines permanenten Anpassungsprozesses der Regeltechnik, um neben den verschiedenen Gesamtanlagenzuständen auch den sich ergebenden Veränderungen im Abfallmix und damit den Rohgaszusammensetzungen Rechnung tragen zu können.

#### Teilprojekt 2: Abwärmeerschließung und Fernwärmeauskopplung

Zeitweise bestand eine Einschränkung der auskoppelbaren Wärmeleistung auf ca. 3,0-3,2 MW (statt > 4 MW). Dies ergab sich im Wesentlichen aus der fehlenden Regelbarkeit der Wasserkühlung durch den Sprühabsorber. Durch Testversuche von verschiedenen Fahrweisen unter Variation von Beschichtung und Größe der Zerstäuberscheibe konnte hier mit Einsatz einer kleineren Zerstäuberscheibe eine Lösung gefunden werden. Zur Verfahrensbesicherung wird eine mögliche Wasserkühlung durch den ehemaligen Sprühabsorber weiterhin funktionsfähig erhalten.

#### 4.2. Modellcharakter/Übertragbarkeit (Verbreitung und weitere Anwendung des Verfahrens/der Anlage/des Produkts)

Die Anwendung des Trockensorptionsverfahrens bei einer Abfallverwertungsanlage mit hohen Schadstoffwerten wurde erstmalig in Deutschland durchgeführt.

Die besondere technische Herausforderung in der Applikation des Trockensorptionsverfahrens liegt darin, bei Wegfall des Sprühabsorbers durch die Trockensorption eine ausreichende Abscheidung der Schadstoffe innerhalb des Umlenkreaktors sicherzustellen, um die Emissionswerte garantiert einzuhalten.

Die Anbindung der Fernwärmeauskopplung an das Trockensorptionsverfahren stellt eine neuartige Verfahrenskombination da, erstmalig wurde der Sprühabsorber durch ein externes Rauchgaswärmetauscherpaket ersetzt, wodurch dem Trockensorptionsverfahren nunmehr trockenes und nicht mehr gesättigtes Rauchgas zugeführt wird.

Das Trockensorptionsverfahren sowie die anschließende Abwärmeerschließung kann grundsätzlich auf jede thermische Abfallbehandlungsanlage, welche aktuell über ein quasitrockenes Rauchgasreinigungsverfahren verfügt, übertragen werden, so dass in maßgeblichem Umfang Additive und Deponie-Reststoffe eingespart werden können. Dies wäre in Deutschland an ca. 50 installierten Abfallverbrennungslinien (20 % der installierten Linien) möglich.

Eine Übertragbarkeit ist nicht nur für Anlagen aus der Branche der thermischen Abfallbehandlung möglich. Jede Verbrennung, die den Einsatz einer Rauchgasreinigung zur Einhaltung der Emissionsgrenzwerte notwendig macht und analoge Schadstoffbelastungen aufweist, kann durch eine Installation des Trockensorptionsverfahren profitieren.

Die im Rauchgasstrom freiwerdende Wärme besitzt ein Temperaturniveau, welches die Wärme nicht ausschließlich für Fernwärmeversorgungszwecke oder

Speisewasservorwärmungen attraktiv macht. Auch Anwendungen im Bereich der Eigenbedarfsdeckung sind ohne weiteres möglich. Hier können Steigerungen der jeweiligen Anlageneffizienz ermöglicht werden.

Eine weitere Möglichkeit wäre die Ergänzung der Rauchgaswärmequelle durch einen Wasserdampf-Kreislauf oder Organic Rankine Cycle Prozess. Auf diesem Weg kann die Rauchgaswärme einer Verstromung zukommen.

Das Investitionsprojekt zur Optimierung der thermischen Restabfallbehandlungsanlage in Leuna stärkt signifikant die Position der TREA Leuna im Wettbewerb des mitteldeutschen Abfallmarktes. Gerade hier ist eine energetische Optimierung der Anlagen und Steigerung der Anlageneffizienz wichtig, um die Position der Anlage zu stärken und Vorteile bei der Mengenaufnahme zu generieren (Ausschreibungsanforderungen). Diese kann jede entsprechende Anlage durch Einsatz des Verfahrens in Kombination mit einer Abwärmenutzung erreichen.

Durch die Installation des VapoLAB-Verfahrens können die Betriebskosten signifikant gesenkt werden. Ein attraktives Argument für jeden Anlagenbetreiber.

#### 4.3. Kommunikation der Projektergebnisse

*Veröffentlichungen und Presseaktivitäten:*

Bewerbung Dena Energy Efficiency Award 2018 – Live Pitch

Bewerbung Innovationspreis für Klima und Umwelt 2019

Bewerbung Dena Energy Efficiency Award 2021

Beitrag VKS News 260

Presseaktivitäten

## 5. Zusammenfassung/Summary

Mit dem dargestellten zweistufigen Projekt ist eine Optimierung der Rauchgasreinigung der Thermischen Abfallbehandlungsanlage TREA Leuna erfolgt, bei der sowohl eine Steigerung der Ressourceneffizienz, Materialeinsparung und Reststoffreduzierung in der Rauchgasreinigung erreicht werden konnte.

Diese Umstellung der Rauchgasreinigung ermöglicht darüber hinaus die Erschließung von Abwärme aus dem Rauchgasreinigungsprozess. Diese kann sowohl einer außerbetrieblichen Nutzung in Form einer Fernwärmeversorgung wie auch einer innerbetrieblichen Nutzung zur Speisewasservorwärmung zukommen. Neben der Steigerung der Energieeffizienz der thermischen Abfallbehandlungsanlage können auf diesem Weg hohe Primärenergieeinsparungen im Fernwärmenetz und nennenswerte CO<sub>2</sub>-Reduktionen bei der Bereitstellung der Fernwärme erreicht werden.

With this two-stage project, an optimization of the flue gas treatment of the EfW plant TREA

Leuna takes places, that offers the possibility to increase resource efficiency, save material and avoid residues.

The optimization of the flue gas treatment system enables the installation`s operator to exploit waste heat from the flue gas treatment process. The waste heat can be gained at a high temperature, so it can be applied to several internal or external uses. In this case, a district heating application is realized. Waste heat, that exceeds the requirements of the district heating network, is taken to supply the feedwater heating process of the plant. The realized waste heat recovery system results in high savings of primary energy in the district heating system and by this in high savings of CO2 emissions. Furthermore, the energy efficiency of the energy from waste plant increases.

## **6. Literatur**

*Keine externe Literatur*