

Substitution of a Gas-Fired Heater by Retrofitting Steam- and Water-Gas Preheaters for Flue-Gas Heating in the Stuttgart-Münster Waste-to-Energy Plant

Stephan Prätz, Vanessa Roßmüller and Jörg Wiglinghoff

At EnBW Energie Baden-Württemberg AG's Stuttgart-Münster waste-to-energy plant, the gas-fired reheaters previously used to achieve the selective catalytic reduction (SCR) setpoint temperature in the flue gas cleaning lines were replaced by a steam-based heating system incorporating both steam/gas and water/gas preheaters.

Each of the three flue-gas cleaning lines is capable of treating the exhaust from up to three 178 MW_{th} waste boilers and employs now an upgraded preheating system using live steam and residual-heat recovery by subcooling of condensate. This configuration mitigates dewpoint corrosion downstream the wet scrubber, enhances process stability, and eliminates natural gas consumption for flue-gas reheating.

Thermally, the retrofit covers the necessary temperature rising by utilizing live steam extracted from two existing steam lines. The live steam is pressure-reduced and desuperheated before being supplied to the installed steam/gas preheater, where its condensation enthalpy is used to heat the flue gas. At full load, a single flue gas cleaning line processes about 190,000 Nm³/h flue gas ($\approx 140,000$ Nm³/h per line with all three lines in part load service), requiring roughly 1.2 MW thermal power to raise the temperature from ~ 230 °C to 250 °C (≈ 0.85 MW in part load). Replacing the gas burners saves approximately 120 m³/h (full load) and 85 m³/h (part load) of natural gas for each line, corresponding to CO₂ reductions of about 216 kg/h and 153 kg/h, respectively. The condensate generated in the steam/gas preheater, together with its residual heat, is returned to the water/steam cycle, where it supplies the feedwater tanks to reduce the auxiliary steam required for feedwater preheating.

Power Service Solutions GmbH (formerly Mitsubishi Power Europe GmbH) successfully planned and built this retrofit project. The project's Brownfield context imposed tight spatial, temporal, and interface constraints. A millimeter-accurate, high-resolution 3D capture of the existing plant ($\approx 1,500$ scans) underpinned layout, routing, and clash management, enabling reliable constructability reviews prior to installation. During execution – partly under operation and partly in a general outage under revision – strict safety governance, adaptive logistics, responsive replanning and transparent communication were required to structure erection works. Overall, the retrofit delivers a robust, energy-efficient, and low-emission flue-gas cleaning process. By substituting fossil-fired reheating with steam-driven heat exchange and optimized condensate utilization, the plant achieves higher plant reliability, lowered corrosion risk, and measurable CO₂ reduction which demonstrates how disciplined engineering and execution can unlock sustainability gains in complex Brownfield upgrades.

Substitution einer Gasfeuerung mittels Nachrüstung von Dampf- und Wasser-Gas-Vorwärmern zur Aufheizung der Rauchgase im MHKW Stuttgart-Münster

Stephan Prätz, Vanessa Roßmüller und Jörg Wiglinghoff

1.	Beschreibung der Anlagenoptimierung	403
1.1.	Stufen der Wärmeverschiebung	404
1.2.	Energiebilanz	407
2.	Integration des Verfahrens in das bestehende Müllheizkraftwerk.....	408
2.1.	Bestandserfassung und Engineering.....	408
2.2.	Montage und Logistik	410
3.	Fazit	411

Die EnBW Energie Baden-Württemberg AG betreibt am Standort Stuttgart-Münster das Restmüllheizkraftwerk Stuttgart-Münster, das aus drei Müllkesseln mit einer Feuerungs-wärmeleistung von 178 MW sowie drei Rauchgasreinigungsstraßen besteht. Eine ein-zelne Rauchgasreinigungsstraße ist dabei in der Lage, die Rauchgase von bis zu drei Müllkesseln zu behandeln. Die Rauchgase werden nass gereinigt und anschließend mittels SCR-Katalysator entstickt.

Um die für die selektive katalytische Reduktion (SCR) erforderliche Rauchgastempe-ratur zuverlässig zu erreichen, kamen bislang gasbefeuerte Vorwärmer zum Einsatz. Im Zuge eines umfassenden Modernisierungsprojekts wurden diese Erdgasbrenner durch dampfbetriebene Dampf-Gas-Vorwärmer ersetzt und durch einen Wasser-Gas-Vorwärmer ergänzt.

Das Ziel der Maßnahme umschreibt eine Steigerung der Energieeffizienz, eine Mini-mierung der Taupunktkorrosion innerhalb der Rauchgaskanäle und eine deutliche Reduzierung der CO₂-Emission der Anlage. Im Jahr 2024 wurde die Power Service Solutions GmbH mit der Planung, dem Bau und der Inbetriebnahme dieser Integration in die Struktur der Bestandsanlage beauftragt.

Das Ergebnis der Umsetzung zeigt eine Steigerung der Prozesssicherheit bei gleichzeitig nachhaltigerem Betrieb und Kosteneinsparungen.

1. Beschreibung der Anlagenoptimierung

Der verfahrenstechnische Prozess zur Behandlung der Rauchgase unterteilt sich in verschiedene Schritte. Das in Bild 1 aufgeführte Schema veranschaulicht den be-trachteten Prozessablauf der Rauchgasabkühlung bzw. -aufwärmung der jeweiligen

Reinigungsphasen je Rauchgasstraße im Müllheizkraftwerk. Den Kern dieser Optimierungsmaßnahme bilden dabei die integrierten Wärmetauscher (DaGaVo 1 und 2 und WaGaVo) sowie die deren Versorgung mit Dampf bzw. Kondensat als Energieträger.

1.1. Stufen der Wärmeverschiebung

Die im Müllverbrennungsprozess entstehenden Rauchgase werden nach Austritt aus dem Kessel zunächst entstaubt (hier nicht dargestellt). Innerhalb der ersten Wärmeverschiebung erfolgt vorerst eine Abkühlung der Rauchgase vor der Rauchgaswäsche. Durch eine Wassereindüsung (Quenche) wird die Rauchgastemperatur im nachfolgenden Schritt noch weiter abgesenkt, um somit optimale Prozessbedingungen für die sich anschließende Nassgaswäsche zu schaffen. Strömungsabwärts der Nassgaswäsche werden die Rauchgase im nächsten Schritt – ebenfalls innerhalb der ersten Wärmeverschiebung – von etwa 60 °C auf rund 110 °C wieder aufgewärmt.

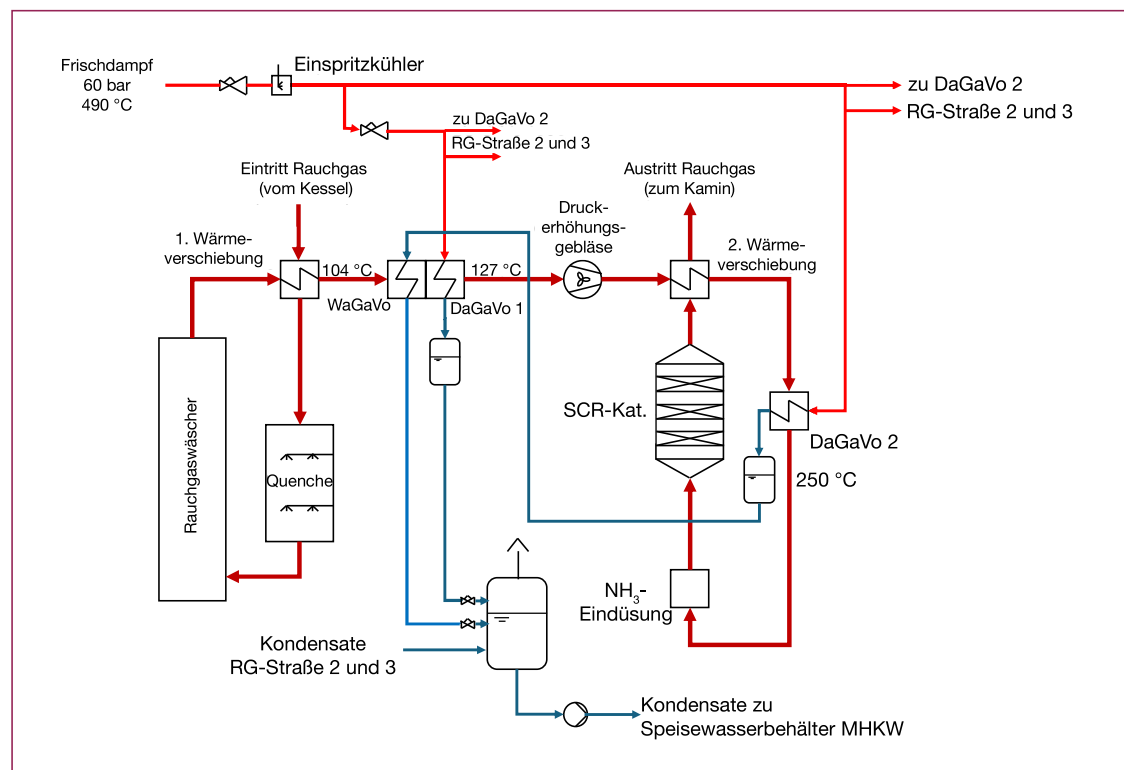
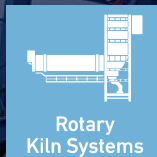
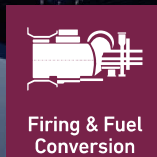


Bild 1: Prozessschema der Wärmeverschiebung

Besonders kritisch ist der sich anschließende Prozessabschnitt zwischen der ersten Wärmeverschiebung und dem SCR-Katalysator. Hier drohen Taupunktunterschreitungen und es herrschen entsprechend korrosive Bedingungen vor. Um dem entgegen zu wirken, wurde eine zusätzliche Rauchgasaufheizung implementiert. Die kombinierte Nachrüstung eines Wasser-Gas-Vorwärmers (WaGaVo) und eines Dampf-Gas-Vorwärmers (DaGaVo 1) hebt die Temperatur gezielt um weitere 20 – 25 K auf etwa 125 – 130 °C an. Der WaGaVo nutzt hierfür die Restwärme des Kondensats aus dem DaGaVo 2. Das Kondensat wird dabei gezielt auf etwa 140 °C unterkühlt, um die im Medium verbliebene Restenergie effizient für die Rauchgasaufwärmung zu nutzen. Im DaGaVo 2 wird als wärmetauschendes Medium Frischdampf als Energieträger verwendet.

TRUSTED PARTNER

in Clean Energy
Solutions



Power Service Solutions, als Nachfolger der Mitsubishi Power Europe GmbH, ist ein führender Technologie- und Servicedienstleister für innovative, umweltfreundliche Energielösungen. Unser Schwerpunkt liegt auf Energieerzeugung, Industrieanlagen sowie Waste-to-Energy-Systemen. Wir bieten maßgeschneiderte Lösungen zur Dekarbonisierung in den Bereichen Feuerungstechnik, Kesselanlagen, Wartungskonzepte sowie der Modernisierung und Erweiterung bestehender Systeme.

Scannen für
KONTAKTDATEN





**QUALITÄT
SCHWEIßT
ZUSAMMEN**

www.mdkb.de

- **ENERGIE-
TECHNIK &
KRAFTWERKS-
BAU**

Fossile Brennstoffe
Müllverbrennung
Biomasse

- **VERFAHRENS-
TECHNISCHER
ANLAGENBAU**

Chemische Industrie
Stahlindustrie
Papier- & Holzindustrie
Öl- & Gasindustrie

- **SCHWEIß-
TECHNISCHE
AKADEMIE**

- **LOHN-
DIENST-
LEISTUNGEN**

Nach dieser Aufheizstufe durchströmen die Rauchgase ein Druckerhöhungsgebläse sowie eine nachgelagerte zweite Wärmeverschiebung, bevor sie zur selektiven katalytischen Reduktion (SCR) zwecks Minderung der Stickoxid-Emissionen geleitet werden. Die für die katalytische Reaktion erforderliche Prozesstemperatur wurde bislang mithilfe der Wärmeleistung eines gasbefeuchten Brenners erzeugt. Im Zuge der Modernisierung wurde dieser nun durch einen Dampf-Gas-Vorwärmer (DaGaVo 2) ersetzt, der die Rauchgase emissionsfrei auf die erforderliche Temperatur von 250 °C erwärmt und damit einen energieeffizienten, prozessstabilen sowie nachhaltigen Betrieb der Rauchgasreinigung darstellt.

Für die Aufheizung der Rauchgase (DaGaVo 1 und 2) kommt Frischdampf mit einem Temperaturniveau von etwa 490 °C zum Einsatz, der aus zwei bestehenden Dampfschienen des Müllheizkraftwerks entnommen wird. Die Erwärmung erfolgt durch die Kondensation des Dampfes in den jeweiligen Dampf-Gas-Vorwärmern, wobei als primärer Energieträger die Kondensationsenthalpie genutzt wird. Ein hoher Überhitzungsgrad des Dampfes ist somit nicht erforderlich. Vor Eintritt des Dampfes in die Wärmetauscher erfolgt eine gezielte Absenkung der Dampftemperatur auf wenige Grad Überhitzung durch zusätzlich installierte Einspritzkühler. Dies verbessert die Wärmeübertragung und die kontrollierte Kondensatbildung innerhalb der Wärmetauscher. Der erforderliche Dampfdruck wird durch die Solltemperatur der Rauchgase nach DaGaVo 2 bestimmt. Die Regelung erfolgt zentral über die erste von zwei Druckreduzierstationen. Die im DaGaVo 2 entstehenden Kondensate weisen so Temperaturen zwischen 240 und 270 °C auf, die dem Wasser-Gas-Vorwärmer (WaGaVo) zur weiteren energetischen Nutzung zugeführt werden (siehe Ausführung oben).

Für die Nutzung des aus dem Wasser-/Dampf-Prozess entnommenen Frischdampfes ist zur Wärmeübertragung im DaGaVo 1 ein geringerer Dampfdruck erforderlich. Der Druck wird daher über eine zweite Druckreduzierstation auf das entsprechend benötigte Niveau weiter abgesenkt. Die eigenständige Regelung des Dampfdrucks ermöglicht eine präzise und stabile Einstellung der gewünschten Rauchgastemperaturen im Prozess.

Die anfallenden heißen Kondensate (alle DaGaVo und WaGaVo der drei Linien) werden einem gemeinsamen Sammelbehälter zugeführt und dort aufgefangen. Ihre Restenergie wird anschließend über die Rückführung in die Speisewasserbehälter der Müllkessel erneut dem Prozesskreislauf zugeführt und weiter genutzt. Dadurch lässt sich der Bedarf an zusätzlichem Prozessdampf zur Speisewassererwärmung deutlich reduzieren.

1.2. Energiebilanz

Ein zentrales Element der Prozessoptimierung ist die Substitution des bislang eingesetzten Gasmassenstroms für den Betrieb der Erdgasbrenner durch die drei DaGaVo 2 zur Erhöhung der Rauchgastemperaturen. Diese Maßnahme ist notwendig, um den zuverlässigen Betrieb der SCR-Anlage sicherzustellen und eine effektive Reduzierung der Stickoxid-Emissionen zu gewährleisten.

Die Rauchgasmenge variiert in Abhängigkeit vom Betriebszustand der Rauchgasstraßen. Bei Volllast und zwei von drei aktiven Rauchgasstraßen beträgt der Rauchgasdurchsatz etwa 190.000 Nm³/h pro Straße. Sind alle drei Rauchgasstraßen in Betrieb, liegt der Durchsatz bei jeweils rund 140.000 Nm³/h.

Die erforderliche Temperaturanhebung der Rauchgase von etwa 230 °C auf 250 °C erfordert eine thermische Leistung von rund 1,2 MW je Straße im Volllastbetrieb bzw. etwa 0,85 MW im Teillastbetrieb. Durch den Ersatz der Erdgasbrenner durch die Nachrüstung von Dampf-Gas- sowie Wasser-Gas-Vorwärmern entfällt der entsprechende Gasverbrauch vollständig:

- Einsparung Volllastbetrieb: etwa 120 m³/h Erdgas pro Rauchgasstraße,
- Einsparung Teillastbetrieb: etwa 85 m³/h Erdgas pro Rauchgasstraße.

Dies entspricht einer CO₂-Reduktion von rund 216 kg/h (Volllast) beziehungsweise 153 kg/h (Teillast) je Straße und stellt somit einen substanziellen Beitrag zur Emissionsminderung sowie zur Steigerung der energetischen Effizienz des Gesamtprozesses dar.

2. Integration des Verfahrens in das bestehende Müllheizkraftwerk

Modernisierungen, Optimierungen, Erweiterungen oder Umbaumaßnahmen bestehender Anlagen gewinnen im Industrie- und Energieanlagenbau zunehmend an Bedeutung. Projekte dieser Art sind geprägt von Restriktionen, Unsicherheiten sowie komplexen Schnittstellen und bedingen eine solide Bestandsaufnahme. Die zentrale Aufgabe besteht darin, bestehende Strukturen präzise zu verstehen, Risiken zu erkennen und aktiv zu mitigieren sowie Veränderungen so umzusetzen, dass Betrieb, Sicherheit und Projektziele harmonieren. Das hier beschriebene Projekt vereinte genau diese Aspekte und brachte zentrale Herausforderungen mit sich.

2.1. Bestandserfassung und Engineering

Die Einbindung neuer Komponenten in eine bestehende Anlage beginnt mit einem realistischen, detaillierten Bild des Ist-Zustands. In dem vorliegenden Projekt mussten ganze Anlagenteile demontiert und durch neue Komponenten ersetzt, Rohrleitungsführungen angepasst sowie komplette Leitungssysteme und deren Halterungskonzepte neu installiert werden. Die zur Verfügung stehenden Engineering- und Dokumentationsunterlagen von Bestandsanlagen weisen typischerweise unterschiedliche Detaillierungs- und Aktualitätsgrade auf, wodurch sich in der Planung und im Schnittstellenmanagement zusätzlicher Abstimmungs- und Verifizierungsbedarf ergeben kann. Eine umfangreiche und detaillierte Bestandsaufnahme der bereits bestehenden Anlagenstruktur stellt somit einen wesentlichen Erfolgsfaktor für die Umsetzung von Rehabilitations- und Umbauprojekten dar. Hochwertige 3D-Scans und strukturierte Begehungen bilden hierbei das Fundament für die Integration neuer Technologien und Anlagenteile in bestehende Systeme.

Für die Erstellung eines 3D-Modells, das während der initialen Engineeringphase allen Planungsschritten als Grundlage dient, sind hochauflösende und präzise Daten des Anlagenbestands sowie der Architektur des Bestandsgebäudes unerlässlich. Aus diesem Grund wurde zu Projektbeginn modernste Technik eingesetzt, um etwa 1.500 Scans an verschiedenen Anlagenteilen des MHKW Stuttgart-Münster durchzuführen.

Die Herausforderung lag hier neben einem sehr engen Zeitrahmen insbesondere in der Weitläufigkeit und komplexen Struktur der Anlage. Für die Georeferenzierung, die Homogenität und die spätere Weiterbearbeitung der Scandaten wurde die Laserscannvermessung tachymetrisch begleitet.

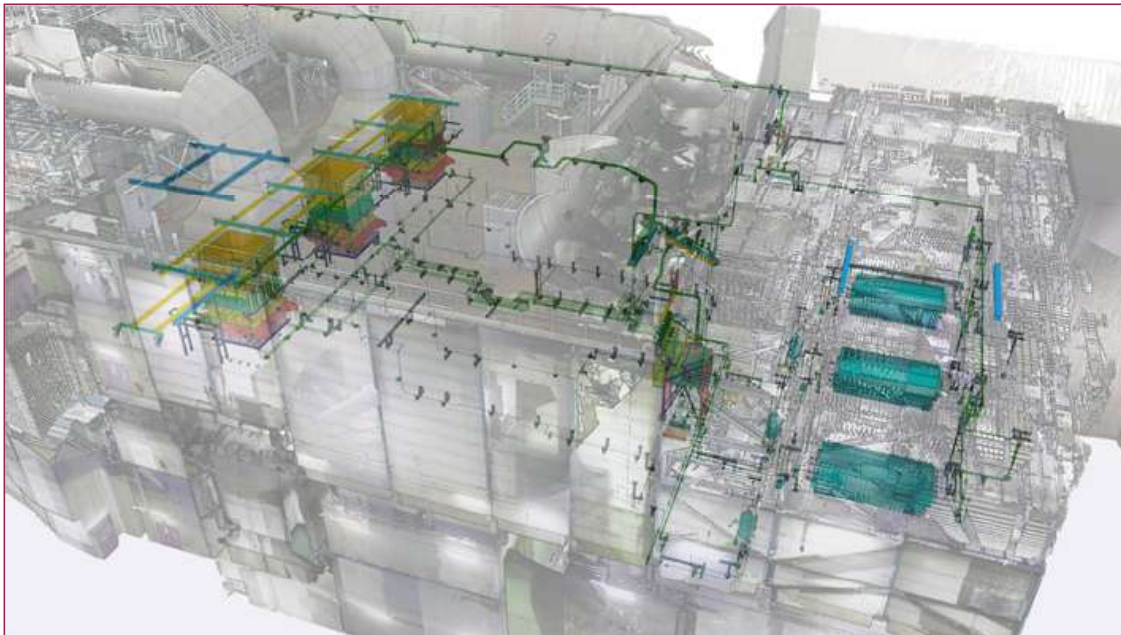


Bild 2: Anlagenscan des MHKW Stuttgart-Münster mit 3D-Modell – Übersicht

Die resultierende Punktwolke wurde bereits parallel zur Aufnahme der Scandateien aufbereitet und im Nachgang direkt in die entsprechenden CAD-Programme integriert. Dies ermöglichte somit während der Engineeringphase eine millimetergenaue Planung und Positionierung der Ein- und Umbauten sowie eine präzise Planung vorbereitender Montageaktivitäten, wie die Bestimmung von Kernlochbohrungen in Gebäude- und Trennwänden bzw. Betonflächen oder die Herstellung von Bühnendurchbrüchen und Öffnungen in Gitterrosten zur späteren Durchführung von Rohrleitungen oder Kanalbautteilen.

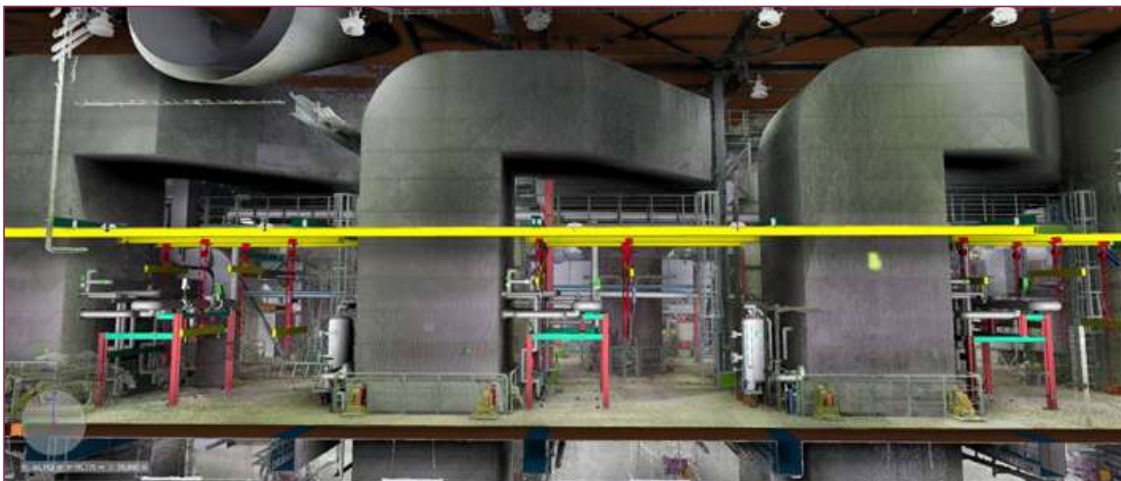


Bild 3: Anlagenscan mit 3D-Modell – neu geplante Komponenten

Die ergänzende Durchführung regelmäßiger und interdisziplinärer Design Reviews ermöglichte es, bereits frühzeitig im Projekt und weit vor Beginn der Baustellenmobilisierung verlässliche Maßkontrollen und Kollisionsprüfungen durchzuführen. So konnte schon im Vorfeld sichergestellt werden, dass die Konzepte zur Einbringung der neuen Anlagenbauteile, insbesondere der Großkomponenten, in Bezug auf Transporte innerhalb der Gebäude sowie der Hub- und Endmontagen bestmöglich vorbereitet und später problemlos umgesetzt werden konnten.

Durch die Abbildung der gesamten Peripherie der Bestandsanlage konnte sowohl das Engineering der erforderlichen Rohrleitungswege mitsamt der Halterungskonstruktionen, als auch das Engineering für die Stahl- und Kanalbauteile zuverlässig erstellt, etwaige Kollisionspunkte zügig ermittelt und effizient bearbeitet werden. Auch die Planung der zur Einbringung der Komponenten erforderlichen Kranbahnen und temporärer Montagehilfskonstruktionen wurde entsprechend frühzeitig berücksichtigt. Die Bilder 2 und 3 stellen diese Planungsschritte (grau dargestellt: Bildpunkte des 3D-Scans, farbig dargestellt: neue Komponenten, wie Wärmetauscher, Behälter, Stahlbau, usw.) dar. Notwendige Verbindungen zur Bestandsstruktur, zum Beispiel die Aufstellungs- und Befestigungspunkte von Rohrleitungen, Behältern bzw. der Wärmetauscher, konnten mittels dieser Vorgehensweise ebenfalls geschickt geplant und berechnet werden. Bild 4 illustriert die Planung des Kondensatsammelbehälters (Positionierung, Erreichbarkeit, Rohrleitungsanschlüsse, usw.) sowie die tatsächliche Einbringung der Hauptkomponente.

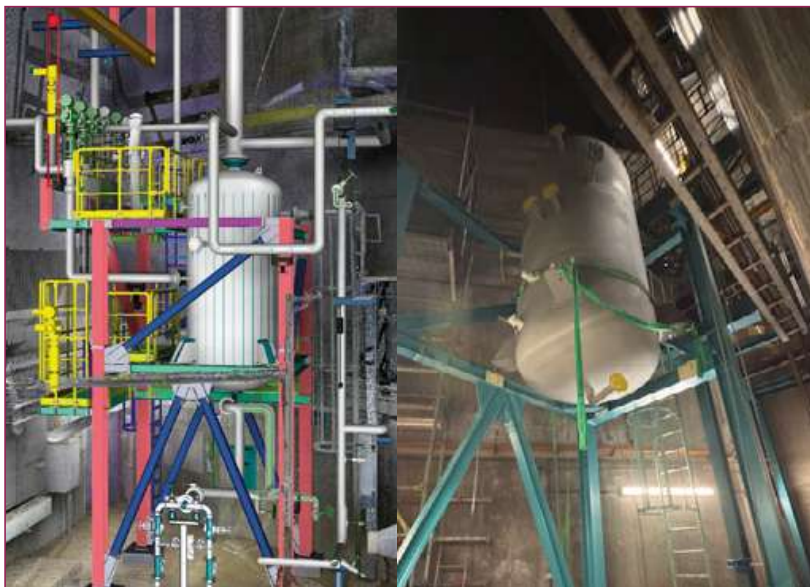


Bild 4:

Anlagenplan mit 3D-Modell
– Komponenten bei Hubmontage

2.2. Montage und Logistik

Die Montagephase erfolgte teils parallel zum laufenden Anlagenbetrieb und teils während eines geplanten Gesamtanlagenstillstands, also zwei Phasen mit jeweils eigenen Anforderungen. Der Baustellenalltag war geprägt von begrenzter Lagerungsfläche, engen Transportwegen, straffen Zeitfenstern und der Notwendigkeit, die Montageaktivitäten eng mit dem Betrieb der Anlage zu verzahnen. Die

Herausforderung während des Anlagenstillstands lag insbesondere in der Berücksichtigung und Koordination der Montageabläufe, die sich mit den im Rahmen der kundenseitigen Kessel- und Rauchgasreinigungsstraßenrevision geplanten Aktivitäten überlagerten. Über die komplette Bauphase hinweg erforderte dies nicht nur eine präzise und zugleich maximal flexible Bauablaufplanung, abgestimmte Material- und Geräteanlieferungen, klar geregelte Zugangs- und Sperrbereiche sowie eine eng geführte Baustellenlogistik, sondern vor allem eine kontinuierliche, strukturierte und reaktionsschnelle Kommunikation zwischen allen Projektbeteiligten als zentrale Voraussetzung für einen reibungslosen Ablauf.

Dem Arbeits- und Gesundheitsschutz sowie der Sicherheit von Betriebs- und Montagepersonal kam zur Minimierung etwaiger Risiken auch in diesem Projekt eine besondere Bedeutung zu. Strikte Sicherheits- und Freigabeverfahren, vorausschauende Gefährdungsbeurteilungen sowie klar definierte, abgestimmte Rettungs- und Alarmwege waren für die Strukturierung der Arbeitsprozesse unverzichtbar.

Parallele Tätigkeiten verschiedener Gewerke, beengte Verhältnisse, kritische Medien und Altanlagen mit eigenen, oftmals unerwarteten Besonderheiten, bildeten das Alltagsgeschäft und erforderten regelmäßig technische Anpassungen bzw. Änderungen der Planungen. So stellte sich beispielsweise erst im Zuge der Montage heraus, dass die erforderliche Demontage der Isolierung der betroffenen Bestandskanäle aufgrund der Verwendung von alter Materialwolle nur unter zeitaufwendiger und kostenintensiver Einhaltung besonderer Schutzmaßnahmen und Qualifikation der Beteiligten durchgeführt werden konnte. Weiterhin wurde erst im Zuge der Montage festgestellt, dass die Innenbeschichtung der Kanalstruktur teils saniert werden musste.

3. Fazit

Die Nachrüstung von Dampf-Gas-Vorwärmern und Wasser-Gas-Vorwärmern in bestehende Müllheizkraftwerke bietet eine innovative Möglichkeit zur verfahrenstechnischen Prozessoptimierung und zur Reduzierung von Emissionen. Die Integration eines solchen Systems im Müllheizkraftwerk Stuttgart-Münster zeigt, wie Modernisierungen in Bestandsanlagen technologische Effizienz, Betriebssicherheit und Nachhaltigkeit wirkungsvoll verbinden können.

Durch die intelligente Nutzung von ausgekoppeltem Frischdampf sowie von Kondensatrestwärme wurde die Prozessstabilität des Rauchgasreinigungsprozesses und dabei insbesondere des SCR-Betriebs erhöht, die Gefahr von Taupunktkorrosion minimiert und der Erdgasverbrauch zur Aufwärmung der Rauchgase eliminiert. Durch die Integration von neuer Anlagentechnik konnten die CO₂-Emissionen somit deutlich gesenkt werden.

Das Projekt verdeutlicht zugleich, dass eine fundierte Aufnahme der Bestandsstruktur, vorausschauendes Engineering und eine flexible Montage- und Logistikplanung die entscheidenden Stellhebel für Erfolg großer Umbau- bzw. Anlagenintegrationsvorhaben darstellen.

Die Anlage arbeitet heute robuster, effizienter und klimafreundlicher. Damit ist die Maßnahme nicht nur ein technischer Fortschritt, sondern ein klarer Beitrag zur nachhaltigen Energie- und Abfallwirtschaft und ein Beleg dafür, dass anspruchsvolle Modernisierungsprojekte mit dem richtigen Know-How und einer strukturierten Vorgehensweise effizient und sicher realisiert werden können.

Ansprechpartner



Stephan Prätz

Power Service Solutions GmbH
Head of Business Unit Combustion Technologies
Schifferstraße 80
47059 Duisburg, Deutschland
+49 203 8038 1505
s_praetz@power-service.com