

Abschlussbericht

zum Vorhaben:

„Wrasendampfkondensation zur Gewinnung von Energie in der Carbon Black
Produktion“

NKa3 – 002109

Zuwendungsempfänger/-in:

KG Deutsche Gasrußwerke GmbH & Co.

Umweltbereich

(Klimaschutz, Energie, Luft)

Laufzeit des Vorhabens

28.01.2013 – 31.05.2015

Autoren

Dr. Jörg Kasprowski,
Daniela Derißen, Marcus Lodde

Gefördert mit Mitteln des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau
und Reaktorsicherheit

Datum der Erstellung

15.06.2016

Berichts-Kennblatt

Aktenzeichen UBA: 2109	Vorhaben-Nr. NKa3 – 002109
Titel des Vorhabens: „Wrasendampfkondensation zur Gewinnung von Energie in der Carbon Black Produktion“	
Autoren: Dr. Jörg Kaprowski, KG Deutsche Gasrußwerke GmbH & Co. Daniela Derißen und Marcus Lodde, prisma consult GmbH / Effizienz-Agentur NRW, Duisburg	Vorhabensbeginn: 27.11.2013 Vorhabenende (Abschlussdatum): 31.05.2015
Zuwendungsempfänger: KG Deutsche Gasrußwerke GmbH & Co. Weidenstraße 70-72 44147 Dortmund	Veröffentlichungsdatum: 15.06.2016 Seitenzahl: 46
Gefördert im BMUB-Umweltinnovationsprogramm des Bundesministeriums für Umwelt, Naturschutz, Bau und Reaktorsicherheit	
Kurzfassung: Die Deutschen Gasrußwerke GmbH & Co. (DGW) plante auf Basis des bestehenden Furnaceruß-Prozesses eine erstmalige, großtechnische Modifizierung des Verfahrens vorzunehmen, in dem durch den Einbau von Energierückgewinnungsaggregaten (Wrasendampf-Kondensator) im Abgas der Trockentrommel der Perlerei eine Rückführung der derzeit ungenutzten Abwärme in den Prozess möglich wird bzw. eine Einspeisung in das örtliche Fernwärmenetz erfolgen soll. Die nicht kondensierbaren Abluftanteile, die dann weitgehend im getrockneten Zustand vorliegen, sollten einer thermischen Behandlung zugeführt werden. Naheliegend war es, diese Abluftströme dem Verbrennungsluftsystem der Dampfkesselanlagen zuzuführen. Hiermit sollte auch eine weitest gehende Elimination der Geruchsstoffe aus der bisherigen Wrasenabluft umgesetzt werden. Das anfallende Dampfkondensat sollte gesammelt dem Betriebswassersystem zugeführt und z. B. in den Furnaceruß-Reaktoren eingesetzt und damit die Frischwasserentnahme aus dem Kanal reduziert werden. Das Vorhaben wurde erfolgreich umgesetzt. Mit dem Einbau eines Wärmeaustauschers als Kondensator zwischen Wrasenfilter und Sammelkamin ist es erstmalig in Deutschland in der industriellen Praxis gelungen, korrosive Wasserdampfemissionen aus der Wrasenfiltration zu kondensieren und Energie zurückzugewinnen. Ebenfalls konnten deutliche Geruchsminderungen realisiert werden. Im Rahmen des durchgeführten Messprogramms konnten die nachfolgenden	

Umweltentlastungen hochgerechnet auf ein Jahr ermittelt werden:

- Einsparung von jährlich 33.288 MWh Brennstoffenergie zur Erzeugung von Fernwärme
- damit erzielte Einsparung von 6.757 Tonnen/a CO₂- Emissionen
- Minderung der zurzeit in den Abgasen der zwei Furnaceruß-Produktionsstraßen enthaltenen Gerüche von bisher 5.500 Geruchseinheiten/m³ um ca. 85 % durch das Einleiten der Abgase nach dem Wärmetauscher als Verbrennungsluft in die betrieblichen Dampferzeuger
- Wiederverwendung der zurückgewonnenen Kondensatmenge von ca. 46.000 m³/a als Quenchwasser im Furnaceruß-Reaktor

Schlagwörter:

Carbon Black Produktion, Wrasendampfkondensation, Furnaceruß-Verfahren, Geruchsminderung, Energierückgewinnung, Abwärmenutzung, Niedertemperaturwärme, CO₂-Minderung,

Anzahl der gelieferten Berichte

Papierform: 6

Elektronischer Datenträger: 1

Sonstige Medien

Newsletter, EFA-Loseblattsammlung und Veröffentlichung im Internet geplant auf der Homepage: www.ressourceneffizienz.de

Report-Coversheet

Reference-No. Federal Environment Agency: 2109	Project-No.: NKa3 – 002109
Report Title: „Energy recovery in the Carbon Black production by Purge gas condensation”	
Authors: Dr. Jörg Kaprowski, KG Deutsche Gasrußwerke GmbH & Co. Daniela Derißen und Marcus Lodde, prisma consult GmbH / Effizienz-Agentur NRW, Duisburg	Start of project: 27.11.2013
	End of project: 31.05.2015
Performing Organisation: KG Deutsche Gasrußwerke GmbH & Co. Weidenstraße 70-72 44147 Dortmund	Publication Date: 15.06.2016
	No. of Pages: 46
Funded in the Environmental Innovation Programme of the Federal Ministry for the Environment, Nature Conservation, Building and Nuclear Safety.	
Summary: <p>KG Deutsche Gasrußwerke GmbH & Co. was planning a first-time, large-scale modification of the existing furnace black process by installing a energy recovery unit (purge gas condenser) in the exhaust gas of the drying process. In this way previously unused waste heat could be made reusable in the local district heating network. The non-condensable exhaust components which then remain in the dried exhaust gas should be supplied to a thermal treatment. It seemed obvious to supply these off gas stream the combustion air system of the existing steam generators. Herewith a complete elimination of the odors from the drier exhaust should be also reached. The resulting steam condensate should be collected and supplied to the process water system and finally injected into the furnace black reactors and thus reduces the fresh water consumption from the canal.</p> <p>The project was successfully implemented. By installing a heat exchanger working as a condenser between the purge gas filter and the stack corrosive steam emissions from the purge gas filter were condensed and energy was recovered successfully for the first time in an industrial scale in Germany.</p>	
Keywords: Carbon Black Production, Purge Gas Condensation, Furnace Black Processodor reduction, energy recovery, low temperatur heat, waste heat recovery, CO ₂ -reduction	

Inhaltsverzeichnis

Abbildungsverzeichnis	6
Tabellenverzeichnis	8
1. Einleitung	9
1.1 Kurzbeschreibung des Unternehmens	9
1.2 Ausgangssituation	10
2. Vorhabensumsetzung.....	14
2.1 Ziel des Vorhabens	14
2.2 Technische Lösung (Auslegung und Leistungsdaten).....	15
2.2 Umsetzung des Vorhabens	19
2.4 Behördliche Anforderungen (Genehmigungen)	22
2.5 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten.....	23
2.6 Konzeption und Durchführung des Messprogramms	23
3. Ergebnisdarstellung zum Nachweis der Zielerreichung.....	24
3.1 Bewertung der Vorhabensdurchführung.....	24
3.2 Stoff- und Energiebilanz	24
3.3 Umweltbilanz.....	36
3.4 Wirtschaftlichkeitsanalyse	37
3.5 Technischer Vergleich zu konventionellen Verfahren	38
4. Übertragbarkeit.....	39
4.1 Erfahrungen aus der Praxiseinführung.....	39
4.2 Modellcharakter/Übertragbarkeit	39
5. Zusammenfassung.....	40

Abbildungsverzeichnis

Abbildung 1: Schema eines Furnace-Ruß Reaktors	10
Abbildung 2: Vereinfachtes Blockschema der bisherigen Stoffströme	12
Abbildung 3: Verfahrenschema der Furnace Black-Produktion.....	13
Abbildung 4: Einbindung Wrasenkondensation.....	16
Abbildung 5: Vereinfachtes Blockschema nach Umsetzung der Maßnahme	18
Abbildung 6: Vorbereitung zum Bau der Abluftleitung, (November 2014)	19
Abbildung 7: Wrasenleitung mit Abgängen und Einbau Dummy, (August 2014)	20
Abbildung 8: Abbildung des eingebauten Dummy, (September 2014).....	20
Abbildung 9: Bereich vor Einbau des Wrasenkondensators, (November 2014).....	21
Abbildung 10: Hereinziehen des Wrasenkondensators, (November 2014).....	21
Abbildung 11: Prozessleitsystem	22
Abbildung 12: Kontinuierliche Messung der Wärmemengen in MW/h vom 01.04. – 31.10.2015.....	25
Abbildung 13: Messwerte der Kondensatuntersuchungen am 9.06., 10.06. und 03.09.2015.....	26
Abbildung 14: Massenkonzentration Betriebszustand mit Wrasendampfkondensation (BZ1) und einer Rußsorte „1“	27
Abbildung 15: Geruchstoffe Perlerei 6/7 Betriebszustand mit Wrasendampfkondensation (BZ1) und einer Rußsorte „1“	28
Abbildung 16: Geruchstoffe Kessel E Betriebszustand mit Wrasendampfkondensation (BZ1) und einer Rußsorte „1“	28
Abbildung 17: Geruchstoffe Kessel E Betriebszustand mit Wrasendampfkondensation (BZ1) und einer Rußsorte „1“	28
Abbildung 18: Massenkonzentration Betriebszustand ohne Wrasendampfkondensation (BZ0) und einer Rußsorte „1“	29
Abbildung 19: Geruchstoffe Perlerei 6/7 Betriebszustand ohne Wrasendampfkondensation (BZ0) und einer Rußsorte „1“	29
Abbildung 20: Geruchstoffe Kessel E Betriebszustand ohne Wrasendampfkondensation (BZ0) und einer Rußsorte „1“	29
Abbildung 21: Massenkonzentration Betriebszustand mit Wrasendampfkondensation (BZ2) und einer Rußsorte „2“	30
Abbildung 22: Geruchstoffe Perlerei 6/7 Betriebszustand mit Wrasendampfkondensation (BZ2) und einer Rußsorte „2“	30

Abbildung 23: Geruchstoffe Kessel E Betriebszustand mit Wrasendampfkondensation (BZ2) und einer Rußsorte „2“	30
Abbildung 24: Geruchstoffe Kessel E Betriebszustand mit Wrasendampfkondensation (BZ2) und einer Rußsorte „2“	31
Abbildung 25: Austrittsseite Wrasenkondensator, Foto vom 27.05.2015	32
Abbildung 26: Zwischenstück Wrasenkondensator, Foto vom 27.05.2015	32
Abbildung 27: Austrittsseite des Kondensators, Foto vom 28.05.2015	33
Abbildung 28: Eintrittsseite des Kondensators, Foto vom 28.05.2015	33
Abbildung 29: Austrittsseite des Kondensators, Foto vom 11.11.2015	33
Abbildung 30: Eintrittsseite des Kondensators, Foto vom 11.11.2015	34
Abbildung 31: Austrittsseite Demister, Foto vom 28.05.2015.....	34
Abbildung 32: Eintrittsseite Demister, Foto vom 28.05.2015.....	34
Abbildung 33: Eintrittsseite Demister, Foto vom 11.11.2015.....	35
Abbildung 34: Austritt Demister, Foto vom 11.11.2015	35
Abbildung 35: Austritt Demister (vergrößerter Bildausschnitt), Foto vom 11.11.2015	35

Tabellenverzeichnis

Tabelle 1: Prognostiziertes Umweltentlastungspotenzial	14
Tabelle 2: Projektfahrplan	19
Tabelle 3: Messstellen, -medien und –parameter Soll-Zustand	23
Tabelle 4: Wärmemengen und Verfügbarkeit im Messzeitraum.....	24
Tabelle 5: Umweltbilanz des Vorhabens	36
Tabelle 6: Amortisationsrechnung nach Erfolgskontrolle des Projekts.....	37
Tabelle 7: Amortisationsrechnung nach Erfolgskontrolle des Projekts unter der Berücksichtigung des gewährten Zuschusses	38
Tabelle 8: Umweltbilanz des Vorhabens	42
Table 9: environmental impact of the project	45

1. Einleitung

1.1 Kurzbeschreibung des Unternehmens

Die KG Deutsche Gasrußwerke GmbH & Co. (DGW) ist ein mittelständisches Unternehmen, welches seit 1936 in Dortmund Industrieruße nach dem Gasruß- und dem Furnace-Black-Verfahren herstellt. DGW produziert Carbon Blacks, die im Wesentlichen in der Reifenindustrie eingesetzt werden sowie Pigment Blacks, die u.a. für Druckfarben, Toner, Ink-Jet-Tinten und Lacke benötigt oder zur UV-Stabilisierung von Polyolefinen verwendet werden. Die Produktionskapazität liegt in der Furnace-Black-Anlage bei 120.000 t/a, im repräsentativen Produktionsjahr 2010 wurden insgesamt 118.000 Tonnen Carbon Black hergestellt und ausgeliefert. Der Exportanteil beträgt mehr als 30 %. Der Betrieb arbeitet kontinuierlich an 365 Tagen im Jahr und 24h pro Tag.

In der Produktion werden als Rohstoffe ca.180.000 t/a Steinkohlenteeröl sowie 850.000 m³/a Kanalwasser eingesetzt. Das energiehaltige Restgas der Carbon Black-Produktion wird in Nachverbrennungsanlagen verstromt. So wird der Eigenbedarf (ca. 70.000 MWh/a) an Strom gedeckt und darüber hinaus in das Stromnetz der Dortmunder Energie- und Wasserversorgung (DEW21) eingeleitet (ca. 80.000 MWh/a).

Dass sich Ökologie und Ökonomie nicht ausschließen müssen, sondern vorteilhaft verknüpfen lassen, beweisen die der Carbon-Black-Herstellung nachgeschalteten Anlagen zur Strom- und Fernwärmeerzeugung. Nach der Carbon Black-Bildung erfolgt ein Kühlen des Prozessgasgemisches durch Eindüsen von Wasser, um Nachreaktionen zu unterbinden. Die Carbon Black-haltigen Prozessgase strömen dann zur weiteren Kühlung durch einen Wärmetauscher, der zugleich die benötigte Prozessluft aufheizt. Sie gelangen in eine Filteranlage, um den Carbon Black vom Restgas zu trennen. Diese Reaktionsgase sind brennbar und werden seit 1989 vollständig einer Nachverbrennung (Dampfkesseln) zugeführt. Im Einzelnen besteht die Nachverbrennungsanlage aus 2 Dampfkesseln, 2 Dampfturbinen, 3 Kühltürmen und einer Kanalwasseraufbereitungsanlage. Abzüglich des Eigenbedarfs liefern die DGW bis zu 18 Megawatt elektrische Leistung ins Stromnetz der Dortmunder Energie- und Wasserversorgung (DEW). Damit wird der Strombedarf von etwa 4 Prozent der Dortmunder Haushalte gedeckt.

Zur weiteren Abwärmenutzung verfügen die Deutschen Gasrußwerke seit 1993 über zwei Fernwärmestationen, in denen Dampf aus der Gas Black-Produktion sowie den Dampfkesseln zur Erwärmung von Heißwasser mit max. 130 °C genutzt wird. Mittlerweile liefern die Deutschen Gasrußwerke einen wesentlichen Anteil (35 %) der in Dortmund verbrauchten Fernwärme. Bisher wird aber noch keine Niedertemperatur für die Erzeugung von Fernwärme genutzt.

Am Standort in Dortmund sind derzeit 146 Mitarbeiter (inkl. 12 Auszubildende) beschäftigt. Der Jahresumsatz des Unternehmens betrug im Jahr 2014 126 Mio. €, die Bilanzsumme 48 Mio. €.

Die Carbon Black Produktion steht unter einem massiven internationalen Wettbewerbsdruck. Neben den Wettbewerbern auf europäischer Ebene verschärfen in wachsendem Maße Produktionsstandorte in Russland, Nordägypten sowie China die Wettbewerbssituation.

1.2 Ausgangssituation

Carbon Black wird weltweit in sehr großen Mengen hergestellt (ca. 9 Mio. t/a) und vorwiegend (90 %) in der Gummiindustrie eingesetzt. Reifen und technische Gummiartikel enthalten Rubber Blacks als verstärkenden Füllstoff, um die unterschiedlichsten gummitechnischen Eigenschaften einzustellen. Ca. 10 % der produzierten Menge kommen als Pigment Blacks für Anwendungen in den Bereichen Kunststoffe, Druckfarben sowie Farben und Lacke zum Einsatz. Hier werden Eigenschaften wie UV-Beständigkeit, elektrische Leitfähigkeit und Farbstärke über die Pigment Black Qualität eingestellt.

Carbon Blacks werden nach unterschiedlichen Herstellverfahren (Furnace-Black-, Gasruß-, Flammrußverfahren) produziert. In Bezug auf die weltweit produzierte Menge ist das Furnace Black-Verfahren bei weitem das bedeutendste. Die KG Deutsche Gasrußwerke GmbH & Co. betreibt in Dortmund eine Furnaceruß-Produktionsanlage mit einer Gesamtkapazität von 120.000 t/a Carbon Black.

Da es sich hierbei um einen Hochtemperaturprozess und damit auch um ein sehr energieintensives Verfahren handelt, werden zwangsweise sehr hohe Mengen an CO_2 (ca. 280.000t/a) emittiert.

Das Furnace-Black-Verfahren arbeitet kontinuierlich, wobei als Rohstoffe flüssige aromatische Kohlenwasserstoffe (z. B. Steinkohlenteeröle) zum Einsatz kommen. Der flüssige Rohstoff wird in eine aus Erdgas und erhitzter Luft erzeugte Flamme eingesprüht. Die Reaktion findet in einem mit keramischem Material ausgekleideten Ofen (Furnace) statt; davon hat das Verfahren seinen Namen erhalten.

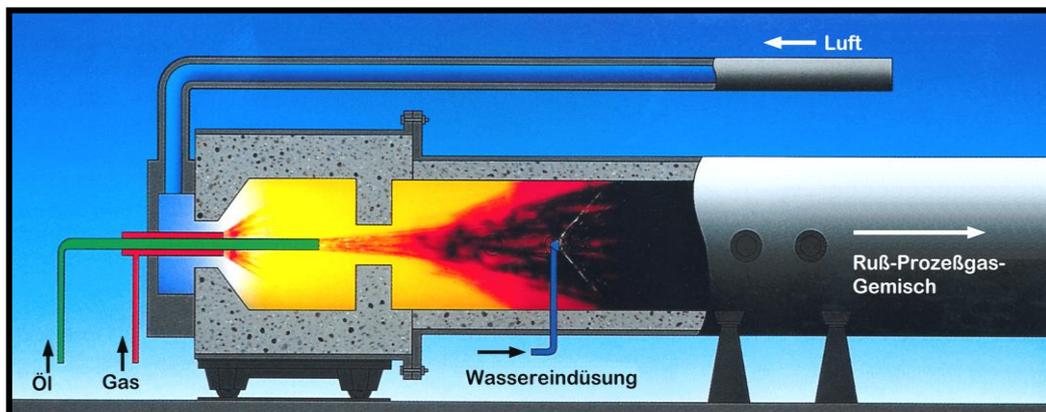


Abbildung 1: Schema eines Furnace-Ruß Reaktors

Nach der Carbon Black-Bildung erfolgt ein Kühlen des Prozessgasgemisches durch Eindüsen von Wasser, um Nachreaktionen zu unterbinden. Die Carbon Black-haltigen Prozessgase strömen dann zur weiteren Kühlung durch einen Wärmetauscher, der zugleich die benötigte Prozessluft aufheizt. Sie gelangen in eine Filteranlage, um den Carbon Black vom Restgas zu trennen.

Diese Reaktionsgase sind brennbar und werden seit 1989 vollständig einer Nachverbrennung zugeführt und zur Dampferzeugung genutzt. Der Hauptteil der so gewonnenen Energie wird zur Verstromung genutzt. Im Einzelnen besteht die Nachverbrennungsanlage aus zwei Dampfkesseln, zwei Dampfturbinen, drei Kühltürmen und einer Kanalwasseraufbereitungsanlage. Zur weiteren Abwärmenutzung für einen Wärmeexport

verfügen die Deutschen Gasrußwerke über zwei Fernwärmestationen, in denen Dampf aus der Gas Black-Produktion sowie den Dampfkesseln zur Erwärmung von Wasser genutzt wird.

Das vom Restgas in der Filteranlage abgetrennte Carbon Black-Pulver wird zu den sogenannten Perlereien gefördert. Hier wird Carbon Black unter Zusatz von Wasser und einem Hilfsmittel (Natriumligninsulfonat) in einer speziellen Perlmaschine granuliert und anschließend in einer erdgas- und restgasbeheizten Trockentrommel getrocknet. Der bei der Trocknung entstehende Wasserdampf und die zur Erhaltung eines Unterdrucks aus dem Trocknerrohr abgesaugte Luft werden durch Hinzufügen von Rauchgasen auf eine Temperatur von ca. 200°C erhitzt. So strömen die wasserdampfhaltigen Ablüfte durch einen Gewebefilter (Wrasenfilter) und werden neben den sonstigen Abluftströmen der Produktion (Abluft der Trockentrommelfeuerungen sowie Abluft aus pneumatischen Förderungen) nach der Staubfiltration über sog. Sammelkammine in die Atmosphäre emittiert. Die Wrasenfilter-Emissionen aller sechs Produktionsfahrstraßen haben die Größenordnung von ca. 36.600 m³/h (Norm, trocken) bzw. ca. 60.000 m³/h (Norm, feucht).

Schließlich gelangt das Granulat über mechanische Förderanlagen in die Fertigwarensilos. Aus diesen wird es entweder in Silowagen oder über eine Packstraße in Säcke bzw. Big-Bags abgefüllt. In dieser Anlage zur Herstellung von Carbon Black werden jährlich ca. 120.000 t/a für die Reifenindustrie gewonnen. Diese Menge reicht aus, um mehr als 50 Mio. Autoreifen zu fertigen.

Im Perlprozess werden jährlich ca. 150.000 m³ filtrierte Kanalwasser verbraucht. Insgesamt werden im Furnacerussprozess jährlich ca. 850.000 m³ Kanalwasser eingesetzt. Die wärmehaltigen Wassermengen aus dem Perlprozess gehen zurzeit über die beschriebenen Sammelkammine in Form von Dampf vollständig verloren. Dieses Abwärmepotenzial wird derzeit nicht genutzt. Hinzukommt, dass während der Trocknung das Perlhilfsmittel teilweise pyrolysiert wird und hierdurch Geruchsstoffe entstehen, die zeitweise zu Belästigungen in der Nachbarschaft führen.

Das nachfolgende vereinfachte Blockschema (Abbildung 2) verdeutlicht die Stoffströme vor der Umsetzung der Maßnahme:

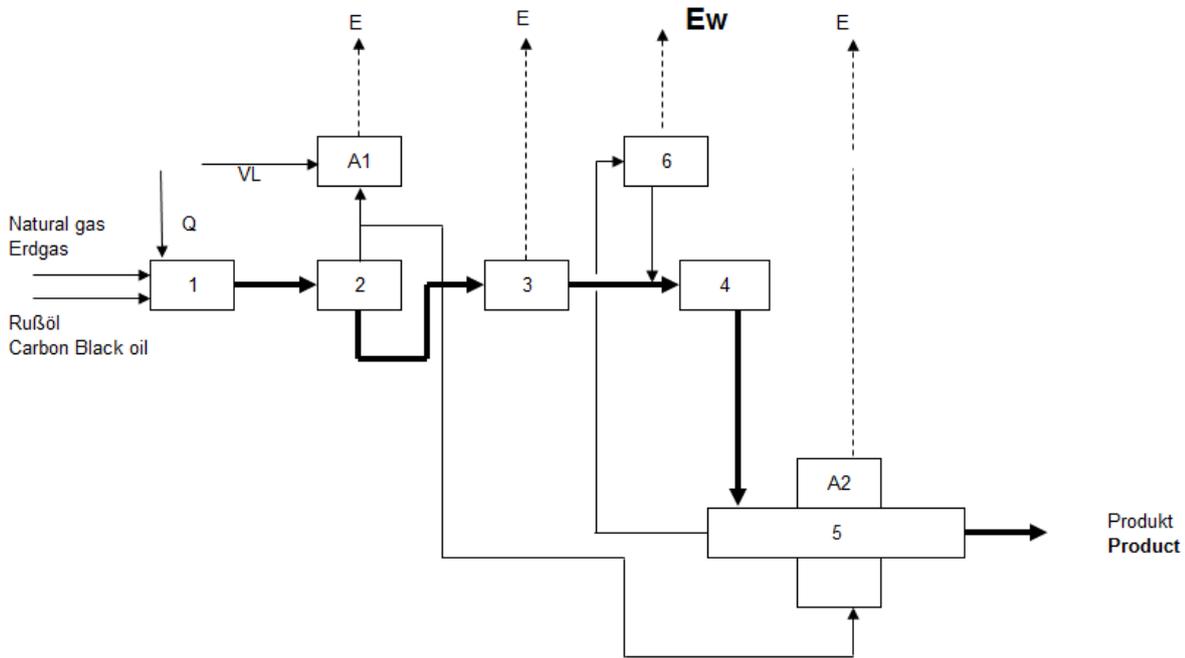


Bild Furnaceruß-Verfahren ohne Wrasendampfkondensation

Figure Furnace black process without purgegas condensation

- 1 Furnacerußreaktor mit Brenner und Wärmetauscher
- 2 Produktabscheidung
- 3 Pneumatische Förderung und Abscheidung
- 4 Nassperlmachine
- 5 Trockentrommel
- 6 Wrasenfilter

- 1 furnaceblack reactor with burner and heat exchanger
- 2 product filter
- 3 pneumatic conveying and separation
- 4 wet pelletising machine
- 5 drum drier
- 6 purgegas filter

A1 Restgasnachverbrennung im Kessel

A2 Restgasnachverbrennung in Brennkammer

A1 tail gas afterburning in the boiler

A2 tail gas afterburning in combustion chamber

EW Emissionen Wrasenfilter mit Geruchsstoffen und Wasserdampf (=Energieverlust)

EW Emissions purgegas filter with odorants and watervapour (=waste of energy)

- E Emissionen
- Q Quenchwasser
- VL Verbrennungsluft

- E emissions
- Q quench water
- VL air

Abbildung 2: Vereinfachtes Blockscha der bisherigen Stoffströme

Die Furnace Black-Produktion ist in dem nachfolgenden Verfahrensschema (Abbildung 3) veranschaulicht.

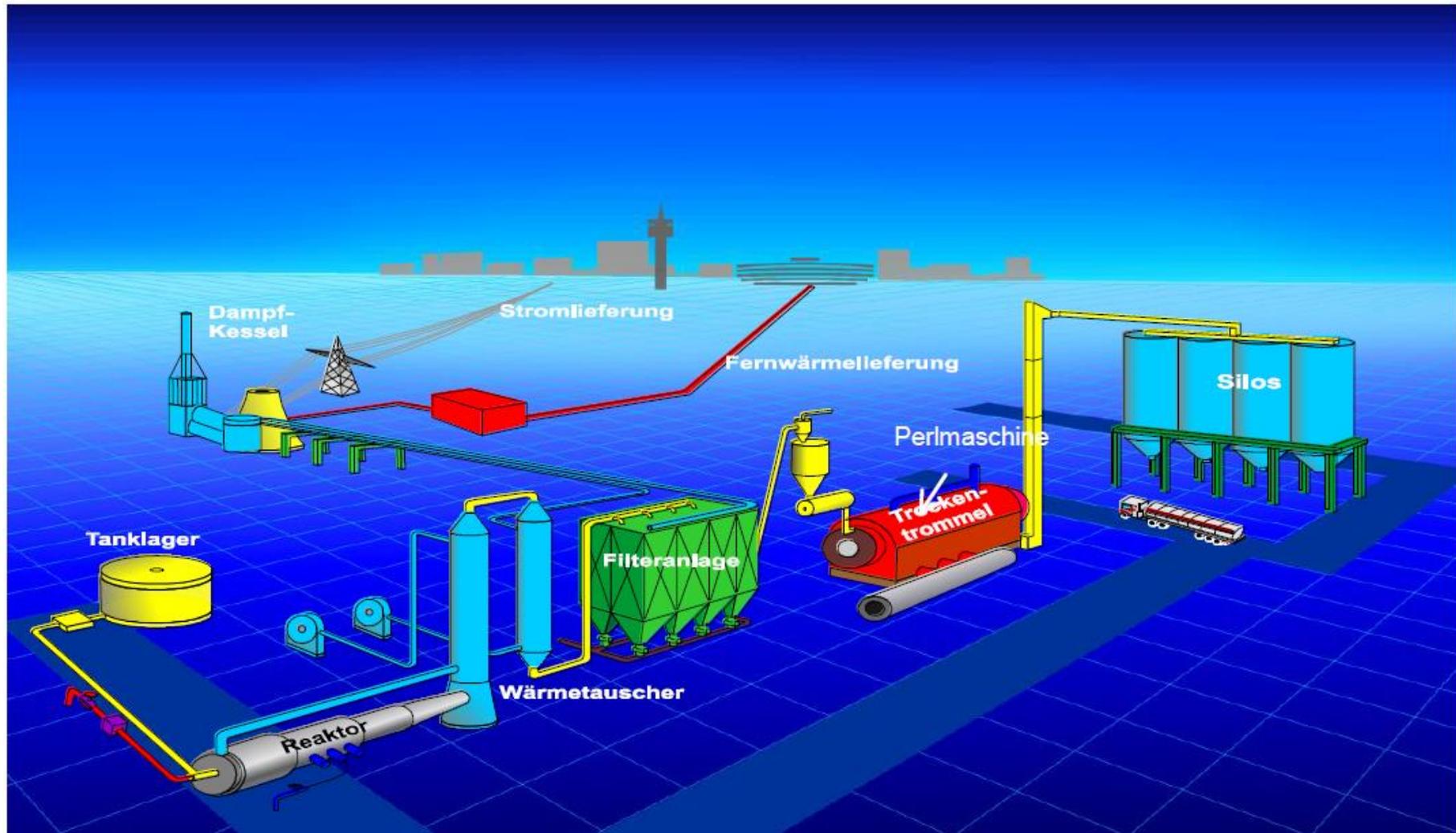


Abbildung 3: Verfahrenschema der Furnace Black-Produktion

2. Vorhabensumsetzung

2.1 Ziel des Vorhabens

Ziel des geplanten Projektes war es, durch den Einbau von Energierückgewinnungsaggregaten (Wrasendampf-Kondensator) im Bereich der Perlerei eine Rückführung der derzeit ungenutzten Abwärme in den Prozess bzw. die Einspeisung in das örtliche Fernwärmenetz zu ermöglichen. Zusätzlich sollten die Geruchsstoffe aus der bisherigen Wrasenabluft nahezu vollständig eliminiert werden.

Dazu sollte durch den Einbau von Energierückgewinnungsaggregaten (Wrasendampf-Kondensator) in die Abgasleitung zwischen Wrasenfilter und Sammelkamin eine Rückführung der derzeit ungenutzten Abwärme mit niedrigem Temperaturniveau (80-90° C) zur Einspeisung in das örtliche Fernwärmenetz erfolgen. Die bisher dafür genutzte Hochtemperatur-Abwärme aus der thermischen Nachverbrennung kann dann zusätzlich zur Generierung von Strom genutzt werden.

Die nicht kondensierbaren Abluftanteile nach dem Wrasendampfkondensator, die dann weitgehend im getrockneten Zustand vorliegen, sollten einer thermischen Behandlung zugeführt werden. Naheliegend war es, diese Abluftströme dem Verbrennungsluftsystem der Dampfkesselanlagen zuzuführen. Hiermit sollte eine möglichst vollständige Elimination der Geruchsstoffe aus der bisherigen Wrasenabluft umgesetzt werden. Das anfallende Dampfkondensat sollte gesammelt dem Betriebswassersystem zugeführt und z. B. in den Furnaceruß-Reaktoren eingesetzt werden und damit die Frischwasserentnahme aus dem Kanal reduziert werden.

Die Wrasendampfkondensation ist ein neuartiges Verfahren in der Aufarbeitung von Carbon Black, welches den Stand der Technik (siehe VDI Richtlinie 2580) deutlich übersteigt.

Mit der Umrüstung der ersten zwei Furnaceruß Fahrstraßen sollten nachfolgende Umweltverbesserungen realisiert werden:

	Verbesserung durch die Wrasendampfkondensation
Rückgewonnene Wärme in MWh/a	32.000
Minderung der CO ₂ -Emission in t/a	6.500
Reduzierung des eingesetzten Frischwassers in m ³ /a	50.000
Minderung der Geruchseinheiten in GE/m ³	5.500

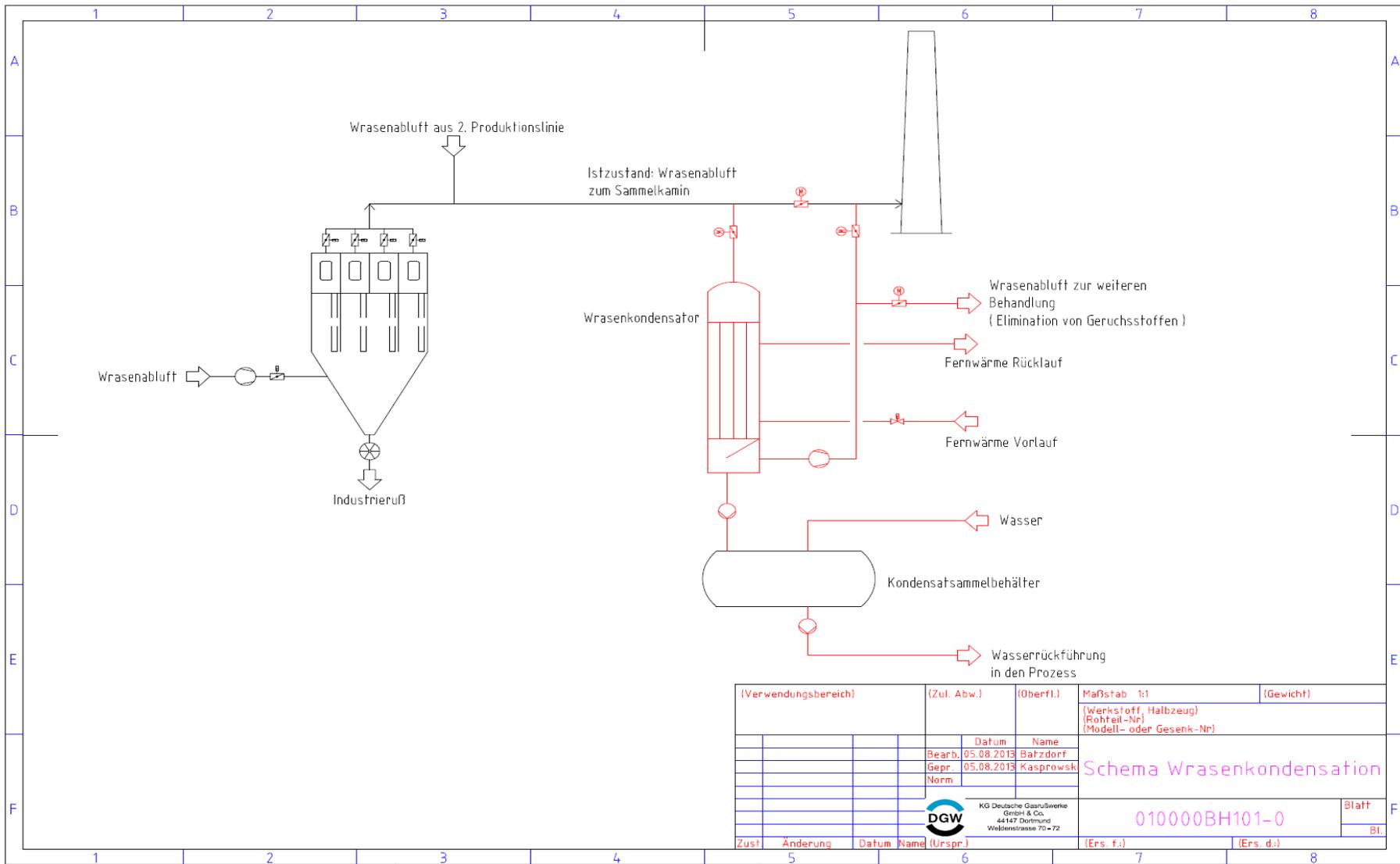
Tabelle 1: Prognostiziertes Umweltentlastungspotenzial

2.2 Technische Lösung (Auslegung und Leistungsdaten)

In der Betriebseinheit Perlerei (Konfektionierung) sollte bei zwei von sechs Furnaceruß-Fahrstraßen in die Leitung zwischen Wrasenfilter und Sammelkamin ein Wärmeaustauscher als Kondensator eingebaut werden, um die Energie der Wasserdampfemissionen zurück zu gewinnen. Die Auswahl von zwei Fahrstraßen leitete sich aus den technischen historisch gewachsenen Anlagenvoraussetzungen ab. Die Wrasenabläufe der zwei Produktionsanlagen wurden direkt hinter den Filteranlagen in einer Sammelleitung zur Ableitung der Emissionen zusammengeführt. Der neue Wrasenkondensator konnte räumlich sehr nahe an dieser Sammelleitung positioniert werden und somit eine sehr kurze Rohrleitungsführung realisiert werden. Alternative Vorgehensweisen hätten wesentlich mehr technischen Umbau bedeutet, wären mit wesentlich höheren Kosten verbunden und damit nicht verhältnismäßig gewesen.

Das folgende Schema (Abbildung 4) verdeutlicht die geplante technische Änderung:

Abbildung 4: Einbindung Wrasenkondensation



Zur Auslegung des Wärmetauschers wurden Kondensationsvorversuche mit Bestimmung der Kondensatqualität durchgeführt. Für den geplanten Kondensator wurden die folgenden Auslegungsdaten angenommen:

Rohrbündelapparat:

In den Rohren:

Eintritt:	25.000 Bm ³ Abluft, 200 °C
Austritt:	13.000 Bm ³ Abluft, 70 °C
	6.000 kg Kondensat, 70 °C

Um die Rohre:

Eintritt:	150 – 300 m ³ /h Wasser (Fernwärme), 63 °C
Austritt:	150 – 300 m ³ /h Wasser (Fernwärme), 73-86 °C

Die nicht kondensierbaren Abluftanteile können im nunmehr weitgehend getrockneten Zustand einer thermischen Nachverbrennung durch Einspeisung in das Verbrennungsluftsystem der Dampfkesselanlagen zugeführt werden. Hiermit sollte eine vollständige Elimination der Geruchsstoffe aus der bisherigen Wrasenabluft umgesetzt werden.

Das anfallende Dampfkondensat wird gesammelt, dem Betriebswassersystem zugeführt und z. B. in den Furnaceruß-Reaktoren eingesetzt, was zu einer Reduzierung der Frischwasserentnahme aus dem Kanal führt.

Die Kondensationswärme sollte in Zukunft für das Fernwärmesystem (z. B. für die Versorgung Dortmunder Ortsteile) genutzt werden. Die durch die Kondensation entstandene Wärmemenge wird dem Wasserkreislauf der Fernwärmestation zugeführt. Das Kreislaufwasser wird von ca. 60°C auf 80-90°C erwärmt. Die weitere Temperaturerhöhung bis auf max. 135°C erfolgt wie bisher in zwei vorhandenen Heizkondensatoren durch Dampf aus den Kesselanlagen und der Produktion. Alternative Nutzungen in Nachbarbetrieben mit Wärmebedarf sind ebenfalls denkbar.

Das nachfolgende vereinfachte Blockschema (Abbildung 5) verdeutlicht die Stoffströme nach der Umsetzung der Maßnahme:

2.2 Umsetzung des Vorhabens

Die Tabelle 2 beschreibt den Projektfahrplan für die Umsetzung des Projektes.

KG Deutsche Gasrusswerke GmbH & Co. KG																														
Projektplan: "Innovative Gewinnung von Energie in der Carbon Black Produktion"																														
Projektmonat	2013					2014												2015												
	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt	Nov	Dez	Jan	Feb	Mrz	Apr	Mai	Jun	Jul	Aug	Sep	Okt			
Bezeichnung																														
Detailplanung	■	■	■																											
Angebote			■	■																										
Bestellungen					■																									
Lieferzeit						■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Aufbau														■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
Inbetriebnahme																														
Probetrieb																														
Dauerbetrieb																														
Erfolgskontrolle																														

Tabelle 2: Projektfahrplan

Die einzelnen Schritte im Projektablauf werden nachfolgend kurz beschrieben.

Unmittelbar nach Erteilung des vorzeitigen förderunschädlichen Vorhabenbeginns am 27.11.2013 wurde die Bestellung des Wrasenkondensators (Wärmetauscher) ausgelöst.

Im August 2014 begannen die ersten Vorbereitungshandlungen und Montagearbeiten für das Vorhaben im Bereich des Rohrleitungsbaus. Der zu diesem Zeitpunkt noch nicht gelieferte Wrasenkondensator wurde durch ein Dummy in gleicher Größe und Beschaffenheit ersetzt, um alle Rohrleitungsarbeiten durchführen zu können. Da die Arbeiten an der vorhandenen Anlagenstruktur im Altbestand durchgeführt wurden, waren diese Montagearbeiten aufwändig und zeitintensiv.

Nachfolgende Abbildungen zeigen die Vorbereitungsarbeiten im Rohrleitungsbau sowie den Dummy zur Vorbereitung der Einbauarbeiten.



Abbildung 6: Vorbereitung zum Bau der Abluftleitung, (November 2014)

Die nachfolgende Abbildung zeigt im oberen Bereich die Wrasenleitung mit Abgängen und im unteren Bildbereich den Dummy.



Abbildung 7: Wrasenleitung mit Abgängen und Einbau Dummy, (August 2014)

Die Abbildung 8 zeigt den eingebauten Dummy.

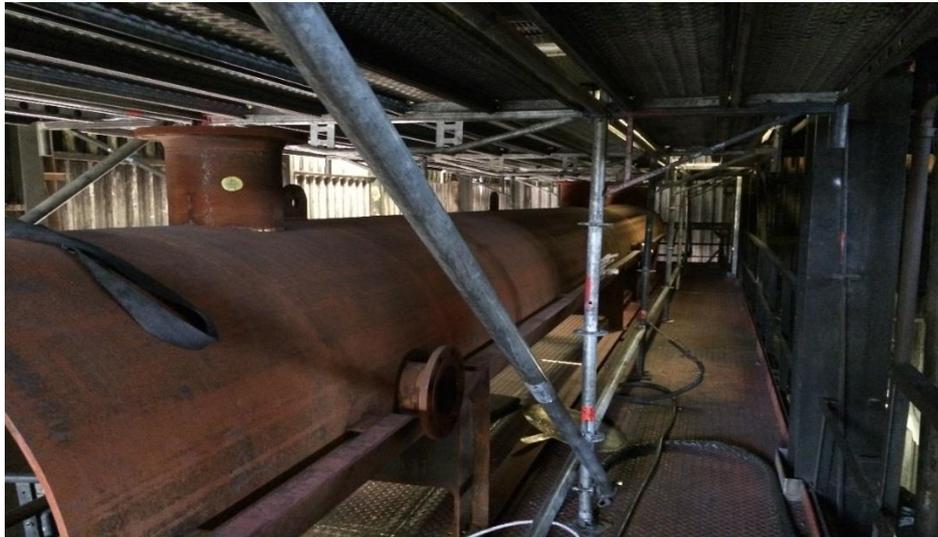


Abbildung 8: Abbildung des eingebauten Dummy, (September 2014)

Abbildung 9 zeigt den vorbereiteten Bereich vor Einbau des Wrasenkondensators nach Entfernung des Dummy.



Abbildung 9: Bereich vor Einbau des Wrasenkondensators, (November 2014)

Der Wrasenkondensator wurde am 11. Dezember 2014 geliefert. Die Montagearbeiten inklusive Verschaltung und Isolierung konnten am 14. Dezember 2014 abgeschlossen werden.

Die nachfolgende Abbildung 10 visualisiert das Hereinziehen des Wrasenkondensators.



Abbildung 10: Hereinziehen des Wrasenkondensators, (November 2014)

Anschließend erfolgte die Errichtung und Montage der Gesamtkomponenten; sowohl mechanisch (Installation von Rohrleitungen, Wärmetauscher) als auch der Mess- und Regeltechnik. Die Installationsarbeiten wurden Mitte Dezember 2014 abgeschlossen. Die Vorbereitungsarbeiten zur Inbetriebnahme der Anlage dauerten jedoch noch bis in den Januar 2015 an.

2.5 Erfassung und Aufbereitung der Betriebsdaten

Im Vorfeld der Durchführung des Messprogrammes für den Neu-Zustand wurden im Januar 2015 die Messstellen und Messparameter überprüft und endgültig zwischen der Effizienz-Agentur NRW und den Deutschen Gasrußwerken abgestimmt. Die nachfolgende Tabelle 3 gibt einen aktualisierten Überblick:

Untersuchter Parameter	Messhäufigkeit	Durchführung
Wärmeenergie (Menge und Konstanz)	Kontinuierliche Messungen	Installation einer Kontinuummessung der Wärmemenge
Kondensat (Menge und Qualität)	<u>Menge:</u> kontinuierlich <u>Analytik:</u>	3 Probenahmen mit Bestimmung der Parameter pH-Wert, Gesamthärte, Hydrogensulfat und Sulfat
Staub (Gesamtstaub, PM 10, PM 2.5) ⁽¹⁾	Messhäufigkeit: 3 Messkampagnen (1x ohne WrasenDK, 2x mit WrasenDK und unterschiedlichen Produktsorten)	3 externe Messungen
SO _x ⁽¹⁾	Kontinuierliche Messungen	
NO _x ⁽¹⁾	Kontinuierliche Messungen	
CO ⁽¹⁾	Kontinuierliche Messungen	
Wertstoffbeständigkeit (Rohrleitungen, Kondensator)	In Abhängigkeit der Produktionsbedingungen Prüfung durch externe Prüfstellen	Untersuchungen erfolgen 1x pro Quartal durch DGW-Personal externe Prüfstellen werden nur im Falle von Auffälligkeiten eingeschaltet,
Foulingprozesse im Kondensatorbereich	In Abhängigkeit der Produktionsbedingungen Prüfung durch externe Prüfstellen	Untersuchungen erfolgen 1x pro Quartal durch DGW-Personal, externe Prüfstellen werden nur im Falle von Auffälligkeiten eingeschaltet
Geruch	Olfaktorische Untersuchungen durch akkreditierte Messstellen	5 Olfaktometrische Untersuchungen: 1x am Kesselkamin ohne Wrasenabluft 2 Kampagnen je 1x Wrasenabluft vor Einspeisung in die Verbrennungsluft mit Variation der Rußsorten sowie 1x Kesselabluft mit Zudosierung Wrasenabluft. 2 weitere Messungen, um die Abwesenheit der Gerüche am Perlereikamin zu verifizieren (diese werden mit den Untersuchungen an den Kesseln zeitlich kombiniert).

(1): gemessen am Ausgang der TNV gemäß den Anforderungen der Nr. 5.3 der TA Luft

Tabelle 3: Messstellen, -medien und -parameter Soll-Zustand

Nach 12 Wochen lief der Betrieb der Wrasendampfkondensation stabil und prozesssicher. Im Mai 2015 konnte dann mit dem sechsmonatigen Messprogramm begonnen werden.

2.6 Konzeption und Durchführung des Messprogramms

Aufgrund der messtechnischen Ausrüstung und der entsprechenden Infrastruktur zur Datenerfassung und -auswertung konnte DGW über die Dauer von sechs Monaten (Mai – Oktober 2015) Messdaten zu den Wärme- und Kondensatmengen erfassen. Die gemäß § 29b

Bundes-Immissionsschutzgesetz (BImSchG) bekanntgegebene Messstelle ANECO Institut für Umweltschutz GmbH & Co. wurde beauftragt, Emissionsmessungen im Abgas der Nachverbrennungsanlage Kessel E, der Abluft der Perlerei 6/7 sowie in der Wrasenabluft nach Kondensation nach Umsetzung des Projektes Wrasendampfkondensation zur Gewinnung von Energie in den Fahrstraßen 6 und 7 durchzuführen.

Der Messzeitraum Mai bis Oktober 2015 war nicht optimal für die Erfolgskontrolle, da diverse Stillstände das Ergebnis beeinflussten. So gab es unter anderem im Juli 2015 eine Unterbrechung, die auf einen extern bedingten Stillstand der Fernwärmeübergabestation zurückzuführen ist. Nachfolgend werden die durchgeführten Messungen näher erläutert.

3. Ergebnisdarstellung zum Nachweis der Zielerreichung

3.1 Bewertung der Vorhabensdurchführung

Insgesamt konnte das Vorhaben, nach leichten Verzögerungen zu Beginn des Projektes, erfolgreich durchgeführt werden. Technische Risiken in Form von Korrosionserscheinungen konnten durch gezielte Kontrolle im Bereich des Demisters erkannt und durch Anpassung der Werkstoffauswahl ausgeräumt werden. Die durchgeführte Erfolgskontrolle nach Inbetriebnahme der Anlage war sehr hilfreich für die Fördernehmerin, da über die Auswertungen in der Inbetriebnahmephase wesentliche Erkenntnisse hinsichtlich Schulungsbedarf des Bedienpersonals und des erforderlichen technischen Optimierungsbedarfs gewonnen wurden.

3.2 Stoff- und Energiebilanz

3.2.1 Wärmeenergie (Menge und Konstanz)

Im Rahmen der technischen Ausstattung wurde eine kontinuierliche Messung der Wärmemenge installiert. Die monatlich aufgezeichneten Wärmemengen sowie die Verfügbarkeit sind in der nachfolgenden Tabelle 4 zusammengefasst:

Monat	Wärmemenge in MWh	Verfügbarkeit in %
Mai	2.832	94
Juni	2.406	96
Juli	1.617	62
August	1.153	80
September	2.844	98
Oktober	1.987	87
Mai – Oktober 2015	12.839	86

Tabelle 4: Wärmemengen und Verfügbarkeit im Messzeitraum

Die Verfügbarkeit der Wrasendampfkondensation ist von verschiedenen Faktoren abhängig. Diese sind z. B. Wartungs- und Instandhaltungsarbeiten, Anlagenstörungen oder Stillstände beim externen Fernwärmeabnehmer. Die DGW geht von einer Jahresverfügbarkeit von 95 % aus, wenn beide Furnaceruß-Fahrstraßen in Betrieb sind. Die im Messzeitraum ermittelte Wärmemenge betrug bei einer Verfügbarkeit von 86% 12.839 MWh.

Insgesamt konnten im Jahr 2015 (April-Dezember) 18.572 MWh Wärme gewonnen werden. Bei einem CO₂-Äquivalent von 203 g CO₂ pro kWh Erdgas errechnet sich eine CO₂-Einsparung von 3.770 t für das erste Betriebsjahr. Durch die Einspeisung der beschriebenen zurückgewonnenen Wärmemenge in den Fernwärmeexport kann im Energieverbundsystem der DGW Dampf, welcher sonst die Fernwärme versorgen müsste in den Turbinen zusätzlich verstromt werden. Diese zusätzlich erzeugte Strommenge summiert sich auf ca. 6.575 MWh. Die Betrachtung über den Stromexport führt mit dem Emissionsfaktor von 584 g CO₂ / kWh zu einer CO₂-Einsparung von ca. 3.840 t CO₂.

Aus der nachfolgenden Abbildung 12 können die kontinuierlich gemessenen Wärmemengen in MW/h abgelesen werden.

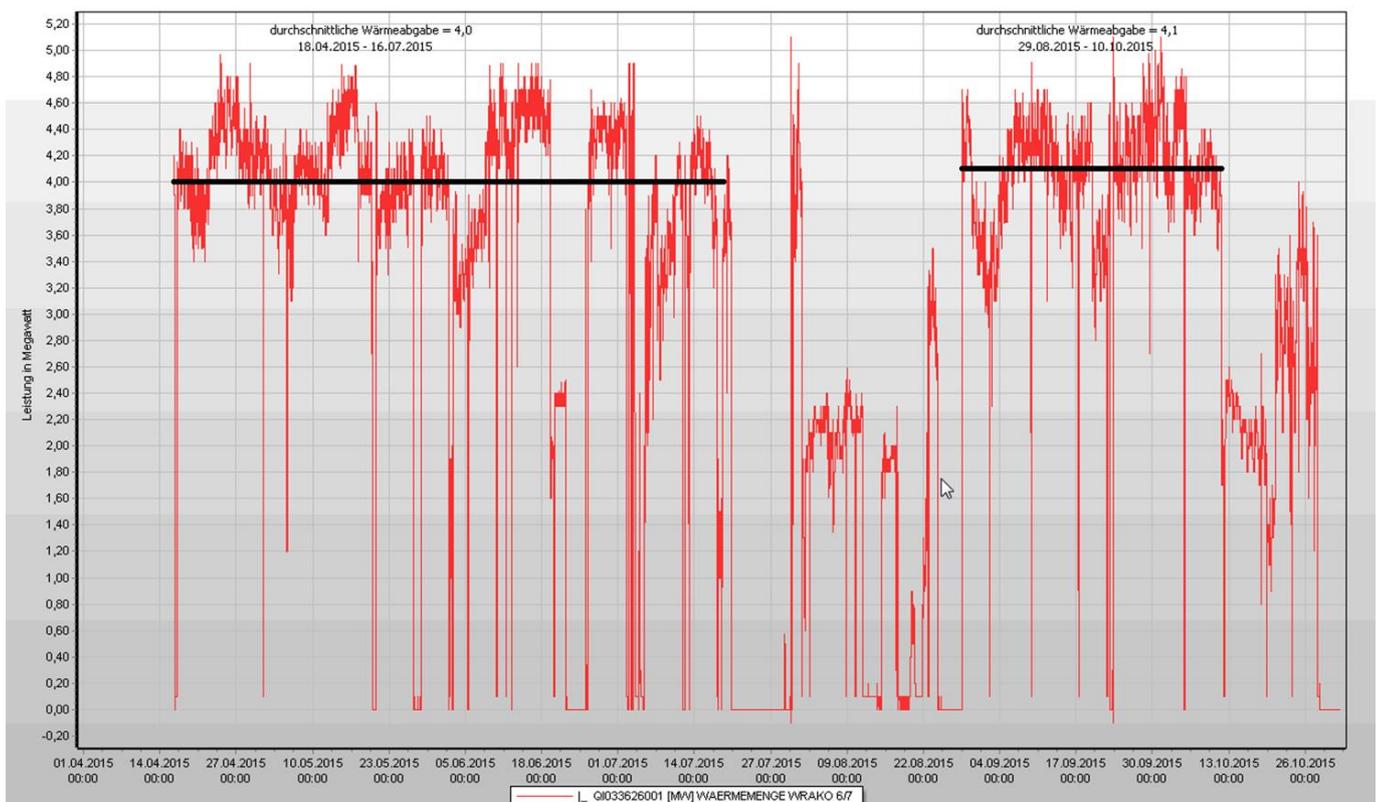


Abbildung 12: Kontinuierliche Messung der Wärmemengen in MW/h vom 01.04. – 31.10.2015

Wie man der Abbildung 12 entnehmen kann, betrug die durchschnittliche tägliche Wärmeabgabe während des Zeitraums 18.04.2015 – 16.07.2015 4,0 MW/h und im Zeitraum 29.08.2015 – 10.10.2015 4,1 MW/h.

Es lässt sich festhalten, dass die Anlage unauffällig arbeitet. Die ausgekoppelte Wärme bewegt sich in einer Spanne von 3,8 – 4,5 MW/h (abhängig von der Rücklaufemperatur) und muss jeweils entsprechend angepasst und reguliert werden. Die Erfahrung hat gezeigt, dass durch Anpassung verfahrenstechnischer Parameter im Trocknungsprozess Optimierungen erreicht werden konnten. Für die Zukunft ist eine durchschnittliche Leistung von 4 MW realistisch.

Unter der Zugrundelegung einer Wärmemenge von 4 MW/h, von jährlichen Betriebsstunden in Höhe von 8.760 h und einer Verfügbarkeit von 95 % errechnet sich eine zukünftige Wärmemenge von 33.288 MWh/a. Bei einem CO₂-Äquivalent von 203 g CO₂ pro kWh Erdgas ergibt sich eine Einsparung von 6.757 t/a CO₂.

Wie in Abbildung 3 auf Seite 13 dargestellt, verfügen die Deutschen Gasrußwerke über ein Energieverbundsystem mit Strom- und Wärmeexport, wobei nichtbenötigte Wärme in Form von Dampf an den Turbinen der Nachverbrennungseinrichtungen verstromt werden. Die exportierte Wärmemenge der zwei Fernwärmestationen wird durch den Wärmebedarf der Abnehmer vorgegeben, der Stromexport dagegen ist in der Höhe flexibel.

Durch das Projekt Wrasendampfkondensation wird zukünftig Wärme in Höhe von 33.288 MWh/a generiert, die ausschließlich aufgrund des niedrigen Temperaturniveaus in die Fernwärmeversorgung eingespeist werden kann. Hierdurch wird bei gleichbleibender Industrierußproduktion Dampf, der sonst in der Wärmeversorgung erforderlich wäre, zusätzlich in der Stromproduktion genutzt. In Summe wird somit der Energieexport in Form von Strom erhöht (11.786 MWh/a). Die Wärmemenge aus der Wrasendampfkondensation kann als Fernwärmegrundlast das ganze Jahr über abgegeben werden.

3.2.2 Kondensat (Menge und Qualität)

Die Kondensatmengen wurden kontinuierlich gemessen. Sie betragen über den Messzeitraum insgesamt 20.792 m³. Unter der Zugrundelegung einer Jahresverfügbarkeit von 95 % und einer im Messzeitraum ermittelten Verfügbarkeit von 86 % errechnet sich dadurch eine jährliche Kondensatmenge von 46.042 m³/a.

Der Frischwassereinsatz reduziert sich im Zeitraum der Messung (Mai-Oktober 2015) um ca. 20.792 m³.

Es wurden insgesamt drei Kondensatuntersuchungen durch die Fa. Anneco Institut für Umweltschutz GmbH & Co. KG durchgeführt. Die Ergebnisse sind in der nachfolgenden Abbildung zusammengefasst:

Kondensatuntersuchung:

Wrasen-Kondensat	09.06.2015	01.09.2015	03.09.2015
pH	5,1	4,6	4,6
Leitfähigkeit [mS]	0,449	0,291	0,270
Sulfat [mg/L]	97,5	64,1	61,7
Gesamt Schwefel [mg/kg]	62	66	84
Härte [°dH]	< 0,05	< 0,05	< 0,05

Abbildung 13: Messwerte der Kondensatuntersuchungen am 9.06., 10.06. und 03.09.2015

Die Analysenergebnisse des Wrasendampfkondensates entsprechen unseren Erwartungen, insbesondere zu den Parametern Härte und Leitfähigkeit. Das Kondensat kann im Produktionsprozess problemlos z. B. als Quenchwasser im Reaktor verarbeitet werden. Die Qualitätskriterien unserer Produkte werden durch diesen Kondensateinsatz nicht nachteilig beeinflusst.

3.2.3 Staub (Gesamtstaub, PM 10, PM 2.5), SOx, NOx, CO, Geruch

Die Emissionsmessungen erfolgten am 09. und 10. Juni 2015 sowie am 3. September 2015 jeweils im Abgas des Kessels E sowie des Perlereikamins 6/7. Ergänzend wurde die Wrasenabluft nach Kondensation, vor Einspeisung in die Verbrennungsluft der Kesselanlagen untersucht. Damit sollten die Messdaten für Sauerstoff, Kohlendioxid, Gesamtstaub und Geruch ermittelt werden.

Hierzu wurden folgende Untersuchungen durchgeführt:

- Messungen bei Betriebszustand ohne Wrasendampfkondensation (BZ0)
- Messungen bei Betriebszustand mit Wrasendampfkondensation (BZ1) und einer Rußsorte „1“
- Messungen bei Betriebszustand mit Wrasendampfkondensation (BZ2) und einer Rußsorte „2“

Zunächst wurden die Messungen bei dem Betriebszustand mit Wrasendampfkondensation (BZ1) und einer Rußsorte „1“ (Corax N121 Fahrstraße 6 und Corax N 339 Fahrstraße 7) am 9. Juni 2015 vorgestellt.

Massenkonzentrationen:

Perlerei 6/7 (BZ1)		Messung 1	Messung 2	Messung 3	Messung 4
09.06.2015		11:10 - 11:40	12:05 - 12:35	12:45 - 13:15	13:40 - 14:10
Sauerstoff	[Vol.-%]	16,0	16,1	16,0	16,3
Kohlendioxid	[Vol.-%]	3,0	3,0	3,0	2,8
Geruch	[GE/m ³] ^{***}	-	300	300	300
Kessel E (BZ1)		Messung 1	Messung 2	Messung 3	Messung 4
09.06.2015		11:10 - 11:40	12:05 - 12:35	12:45 - 13:15	13:40 - 14:10
Sauerstoff	[Vol.-%]	3,3	3,3	3,2	3,3
Kohlendioxid	[Vol.-%]	11,4	11,5	11,5	11,5
Gesamtstaub (Planfilter)	[mg/m ³] [*]	0,9	1,6	0,8	0,4
Gesamtstaub (Impaktor)	[mg/m ³] [*]	2,0	3,2	1,1	-
PM ₁₀	[mg/m ³] [*]	1,5	2,7	0,9	-
	[%]	76,1	83,7	78,7	-
PM _{2,5}	[mg/m ³] [*]	1,3	2,2	0,6	-
	[%]	64,6	70,2	55,7	-
Geruch	[GE/m ³] ^{***}	-	300	200	-
Wrasenabluft (BZ1)		Messung 1	Messung 2	Messung 3	Messung 4
09.06.2015		11:10 - 11:40	12:05 - 12:35	12:45 - 13:15	13:40 - 14:10
Geruch	[GE/m ³] ^{***}	-	3100	2400	3400

^{*}Volumenangaben bezogen auf 273 K, 1013 hPa, trockenes Abgas

^{***} Volumenangaben bezogen auf 293 K, 1013 hPa, feuchtes Abgas

Abbildung 14: Massenkonzentration Betriebszustand mit Wrasendampfkondensation (BZ1) und einer Rußsorte „1“

Die dritte Geruchsmessung am Kessel konnte aufgrund von Problemen in der Olfaktometrie nicht durchgeführt werden (siehe Ziffer 6.5).

Berücksichtigung der Messunsicherheit:

Perlerei 6/7:

Komponente	Einheit	Max. Messwert abzgl. erweiterte Messunsicherheit	Max. Messwert zzgl. erweiterte Messunsicherheit	Emissionsbegrenzung	Betriebszustand (Auslastung der Anlage)
Geruchsstoffe	[GE/m ³]*	240	380	-	Volllast

*bezogen auf 293 K, 1013 hPa, feuchtes Abgas

Abbildung 15: Geruchsstoffe Perlerei 6/7 Betriebszustand mit Wrasendampfkondensation (BZ1) und einer Rußsorte „1“

Kessel E:

Komponente	Einheit	Maximaler Messwert abzgl. erweiterte Messunsicherheit	Maximaler Messwert zuzügl. erweiterte Messunsicherheit	Emissionsbegrenzung	Betriebszustand (Auslastung der Anlage)
Staub	[mg/m ³]*	1,4	1,8	20	Volllast
Feinstaub PM 10	[mg/m ³]*	2,1	3,3	-	
Feinstaub PM 2,5	[mg/m ³]*	1,7	2,7	-	

*bezogen auf 273 K, 1013 hPa, trockenes Abgas

Komponente	Einheit	Max. Messwert abzgl. erweiterte Messunsicherheit	Max. Messwert zzgl. erweiterte Messunsicherheit	Emissionsbegrenzung	Betriebszustand (Auslastung der Anlage)
Geruchsstoffe	[GE/m ³]*	240	380	-	Volllast

*bezogen auf 293 K, 1013 hPa, feuchtes Abgas

Abbildung 16: Geruchsstoffe Kessel E Betriebszustand mit Wrasendampfkondensation (BZ1) und einer Rußsorte „1“

Wrasenabluft:

Komponente	Einheit	Max. Messwert abzgl. erweiterte Messunsicherheit	Max. Messwert zzgl. erweiterte Messunsicherheit	Emissionsbegrenzung	Betriebszustand (Auslastung der Anlage)
Geruchsstoffe	[GE/m ³]*	2680	4320	-	Volllast

*bezogen auf 293 K, 1013 hPa, feuchtes Abgas

Abbildung 17: Geruchsstoffe Kessel E Betriebszustand mit Wrasendampfkondensation (BZ1) und einer Rußsorte „1“

Nachfolgend sind die Messungen vom 10. Juni 2015 zum Betrieb ohne Wrasenkondensation BZ 0 bei gleicher Rußsorte „1“ (BZ 0 vom 10.06.2015; Rußsorte Corax N 121 an Fahrstraße 6 und Corax N 339 an Fahrstraße 7) zu finden.

Massenkonzentrationen:

Perlerei 6/7 (BZ0) 10.06.2015		Messung 1	Messung 2	Messung 3	
		09:45 - 10:15	10:30 - 11:00	11:07 - 11:37	
Sauerstoff	[Vol.-%]	16,4	16,4	16,3	-
Kohlendioxid	[Vol.-%]	2,9	2,8	2,9	-
Geruch	[GE/m ³] ^{***}	2000	1800	1300	-
Kessel E (BZ0) 10.06.2015		Messung 1	Messung 2	Messung 3	
		09:45 - 10:15	10:30 - 11:00	11:07 - 11:37	
Sauerstoff	[Vol.-%]	2,7	2,7	2,6	-
Kohlendioxid	[Vol.-%]	12,2	12,2	12,3	-
Gesamtstaub (Planfilter)	[mg/m ³]*	0,7	0,5	1,0	-
Gesamtstaub (Impaktor)	[mg/m ³]*	2,2	2,2	1,8	-
PM ₁₀	[mg/m ³]*	2,0	2,0	1,6	-
	[%]	90,6	90,7	88,5	-
PM _{2,5}	[mg/m ³]*	1,7	1,5	1,3	-
	[%]	80,2	69,4	69,0	-
Geruch	[GE/m ³] ^{***}	1300	1100	1100	-

*Volumenangaben bezogen auf 273 K, 1013 hPa, trockenes Abgas

*** Volumenangaben bezogen auf 293 K, 1013 hPa, feuchtes Abgas

Abbildung 18: Massenkonzentration Betriebszustand ohne Wrasendampfkondensation (BZ0) und einer Rußsorte „1“

Berücksichtigung der Messunsicherheit:

Perlerei 6/7:

Komponente	Einheit	Max. Messwert abzgl. erweiterte Messunsicherheit	Max. Messwert zzgl. erweiterte Messunsicherheit	Emissions- begrenzung	Betriebszustand (Auslastung der Anlage)
Geruchsstoffe	[GE/m ³]*	1550	2590	-	Volllast

*bezogen auf 293 K, 1013 hPa, feuchtes Abgas

Abbildung 19: Geruchsstoffe Perlerei 6/7 Betriebszustand ohne Wrasendampfkondensation (BZ0) und einer Rußsorte „1“

Kessel E:

Komponente	Einheit	Maximaler Messwert abzgl. erweiterte Messunsicherheit	Maximaler Messwert zzzgl. erweiterte Messunsicherheit	Emissions- begrenzung	Betriebszustand (Auslastung der Anlage)
Staub	[mg/m ³]*	0,8	1,2	20	Volllast
Feinstaub PM 10	[mg/m ³]*	1,8	2,2	-	
Feinstaub PM 2,5	[mg/m ³]*	1,5	1,9	-	

*bezogen auf 273 K, 1013 hPa, trockenes Abgas

Komponente	Einheit	Max. Messwert abzgl. erweiterte Messunsicherheit	Max. Messwert zzzgl. erweiterte Messunsicherheit	Emissions- begrenzung	Betriebszustand (Auslastung der Anlage)
Geruchsstoffe	[GE/m ³]*	1000	1680	-	Volllast

*bezogen auf 293 K, 1013 hPa, feuchtes Abgas

Abbildung 20: Geruchsstoffe Kessel E Betriebszustand ohne Wrasendampfkondensation (BZ0) und einer Rußsorte „1“

Am 3. September 2015 erfolgten dann die Messungen bei dem Betriebszustand mit Wrasendampfkondensation (BZ2) und einer Rußsorte „2“ (Rußsorte Corax N 115 an Fahrstraße 6 und Corax N 220 an Fahrstraße 7), die nachfolgend zu finden sind.

Massenkonzentrationen:

Perlerei 6/7 (BZ2)		Messung 1	Messung 2	Messung 3	
03.09.2015		10:40 - 11:10	11:15 - 11:45	11:50 - 12:20	
Sauerstoff	[Vol.-%]	18,3	18,3	18,3	
Kohlendioxid	[Vol.-%]	1,5	1,5	1,5	
Geruch	[GE/m ³] ^{***}	2200	1000	900	
Kessel E (BZ2)		Messung 1	Messung 2	Messung 3	
03.09.2015		10:40 - 11:10	11:15 - 11:45	11:50 - 12:20	
Sauerstoff	[Vol.-%]	3,3	3,3	3,3	
Kohlendioxid	[Vol.-%]	11,2	11,2	11,2	
Geruch	[GE/m ³] ^{***}	700	1000	1200	
Gesamtstaub (Planfilter)	[mg/m ³] [*]	0,5	0,5	1,8	
		09:30 - 10:30	10:31 - 11:31	11:32 - 12:32	
Gesamtstaub (Impaktor)	[mg/m ³] [*]	0,8	0,9	4,1	
PM ₁₀	[mg/m ³] [*]	0,6	0,6	3,1	
	[%]	73,3	72,4	77,1	
PM _{2,5}	[mg/m ³] [*]	0,5	0,5	2,4	
	[%]	56,0	59,2	59,9	
Wrasenabluft (BZ2)		Messung 1	Messung 2	Messung 3	
03.09.2015		10:40 - 11:10	11:15 - 11:45	11:50 - 12:20	
Geruch	[GE/m ³] ^{***}	6200	3700	4900	

*Volumenangaben bezogen auf 273 K, 1013 hPa, trockenes Abgas

*** Volumenangaben bezogen auf 293 K, 1013 hPa, feuchtes Abgas

Abbildung 21: Massenkonzentration Betriebszustand mit Wrasendampfkondensation (BZ2) und einer Rußsorte „2“

Berücksichtigung der Messunsicherheit:

Perlerei 6/7:

Komponente	Einheit	Max. Messwert abzgl. erweiterte Messunsicherheit	Max. Messwert zzgl. erweiterte Messunsicherheit	Emissions- begrenzung	Betriebszustand (Auslastung der Anlage)
Geruchsstoffe	[GE/m ³] [*]	1630	2970	-	Volllast

*bezogen auf 293 K, 1013 hPa, feuchtes Abgas

Abbildung 22: Geruchsstoffe Perlerei 6/7 Betriebszustand mit Wrasendampfkondensation (BZ2) und einer Rußsorte „2“

Kessel E:

Komponente	Einheit	Maximaler Messwert abzgl. erweiterte Messunsicherheit	Maximaler Messwert zzzgl. erweiterte Messunsicherheit	Emissions- begrenzung	Betriebszustand (Auslastung der Anlage)
Staub	[mg/m ³] [*]	1,6	2,0	20	Volllast
Feinstaub PM 10	[mg/m ³] [*]	2,4	3,8	-	
Feinstaub PM 2,5	[mg/m ³] [*]	1,9	2,9	-	

Komponente	Einheit	Max. Messwert abzgl. erweiterte Messunsicherheit	Max. Messwert zzzgl. erweiterte Messunsicherheit	Emissions- begrenzung	Betriebszustand (Auslastung der Anlage)
Geruchsstoffe	[GE/m ³] [*]	890	1620	-	Volllast

*bezogen auf 293 K, 1013 hPa, feuchtes Abgas

Abbildung 23: Geruchsstoffe Kessel E Betriebszustand mit Wrasendampfkondensation (BZ2) und einer Rußsorte „2“

Wrasenabluft:

Komponente	Einheit	Max. Messwert abzgl. erweiterte Messunsicherheit	Max. Messwert zzgl. erweiterte Messunsicherheit	Emissions- begrenzung	Betriebszustand (Auslastung der Anlage)
Geruchsstoffe	[GE/m ³]*	4590	8380	-	Volllast

*bezogen auf 293 K, 1013 hPa, feuchtes Abgas

Abbildung 24: Geruchsstoffe Kessel E Betriebszustand mit Wrasendampfkondensation (BZ2) und einer Rußsorte „2“

3.2.4 Beurteilung der Ergebnisse

Die Beurteilung der gewonnenen Messergebnisse für die Perlerei 6/7, den Kessel E und die Wrasenabluft führen zu den nachfolgenden Ergebnissen:

3.2.4.1 Perlerei 6/7:

Die im Abgas der Perlerei enthaltenen Gehalte an Stickstoffoxiden (300 mg/m³) und Schwefeldioxid (120 mg/m³) liegen auf einem deutlich geringeren Niveau als bei der Kesselanlage. Diese Gehalte führen in der Olfaktometrie zu keinen Beeinflussungen. Die olfaktometrischen Untersuchungen in der Abluft des Perlereikamins 6/7 (im Mittel 300 GE/m³ im Betriebszustand mit Wrasendampfkondensation und im Betriebszustand ohne Wrasendampfkondensation 1.700 GE/m³) jeweils bei gleicher Rußsorte, zeigen eine deutliche Geruchsminderung durch den Betrieb der Wrasendampfkondensation. Der Minderungsgrad (ermittelt nach DIN EN 13725) liegt im Mittel bei ca. 82 %.

3.2.4.2 Kessel E:

Die Verbrennungsabgase der Kesselanlagen enthalten relevante Gehalte an Stickstoffoxiden (500 mg/m³) und Schwefeldioxid (600 – 800 mg/m³). Bekannt ist, dass diese Komponenten in der Olfaktometrie zu Problemen bezüglich der Auswertung der Proben führen. Stickstoffoxide führen bei den Probanden zu Memory Effekten (scheinbare Verschiebung der Geruchsschwellen), Schwefeldioxid erzeugt bei den Probanden einen unangenehmen „Geschmack“. Aus diesem Grund wurden am 09.06.2015 nur zwei Geruchsproben der Kesselabgase olfaktometrisch untersucht.

Die olfaktometrischen Untersuchungen an der Kesselanlage werden durch die Schadstoffkomponenten Schwefeldioxid und Stickoxide dominiert. Somit sind Aussagen zu anderen Geruchskomponenten (insbesondere organische Komponenten) nicht möglich.

Weiterhin ist anzumerken, dass auf Grund der oben beschriebenen Problematik, die ermittelten Geruchskonzentrationen am Kessel (Verbrennungsabgase) immer mit einer erhöhten Streuung behaftet sind. Die erhaltenen Ergebnisse am Kessel mit und ohne Wrasenabluft liegen unter Berücksichtigung der o. g. Problematik auf einem vergleichbaren Niveau.

Die olfaktometrischen Untersuchungen zeigen, dass die Geruchsemissionen mit der Variation der produzierten Rußsorten schwanken können. So wird im Betriebszustand 2 mit Betrieb der Wrasendampfkondensation am Perlereikamin 6/7 ein höheres Geruchsemissionsniveau als im Betriebszustand 1 mit Wrasendampfkondensation gefunden. Entscheidend ist aber in beiden Fällen, dass der Großteil der Geruchsstoffe mit der Wrasenabluft nach Wrasendampfkondensation in die Nachverbrennung geführt und dort gemindert wird.

Dies konnte in beiden Fällen nachgewiesen werden. Auch im Betriebszustand 2 kann von einer Geruchsminderung in der Größenordnung analog zu Betriebszustand 1 ausgegangen werden.

Die Staubemissionswerte am Kessel E bewegen sich mit und ohne Wrasendampfkondensation auf einem vergleichbaren Niveau. In beiden Fällen wird der Grenzwert deutlich unterschritten.

Die erhaltenen Gesamtstaubergebnisse wurden gemäß VDI 2066, Blatt 1 als Netzmessung über den gesamten Messquerschnitt durchgeführt. Die Feinstaubmessungen erfolgten gemäß VDI 2066, Blatt 10 an einer repräsentativen Probenahmestelle im Messquerschnitt. Hierbei wird der gesammelte Staub in drei Fraktionen zerlegt, die einzeln gravimetrisch untersucht werden. Der hierbei ermittelte Gesamtstaubgehalt hat nur orientierenden Charakter und ist, wie in der Norm beschrieben, nicht mit dem Gesamtstaubergebnis gemäß VDI 2066, Blatt 1 vergleichbar.

Die Qualität der Wrasenabluft nach Kondensation, d.h. vor Einspeisung in die Verbrennungsluft der Kesselanlagen stellt sich wie folgt dar:

In der Wrasenabluft liegen die Gehalte an Stickstoffoxiden und Schwefeldioxid auf einem geringen Niveau. Diese Gehalte führen in der Olfaktometrie nicht zu Problemen. Die erhaltenen Ergebnisse liegen im Mittel bei 3.000 GE/m³ (BZ1) bzw. 5.000 GE/m³ (BZ2).

3.2.4.3 Werkstoffbeständigkeit / Foulingprozesses

Bei der Inspektion am 27. / 28. Mai 2015 wurden keine Korrosionsauffälligkeiten oder Schäden an den Rohrbündeln und dem Wrasenkondensator festgestellt. Die Rohrbündel zeigten sich schmutzig schwarz, aber ohne Auffälligkeiten. Die nachfolgenden Abbildungen 25 - 28 dokumentieren den Zustand des Wrasenkondensators.



Abbildung 25: Austrittsseite Wrasenkondensator, Foto vom 27.05.2015

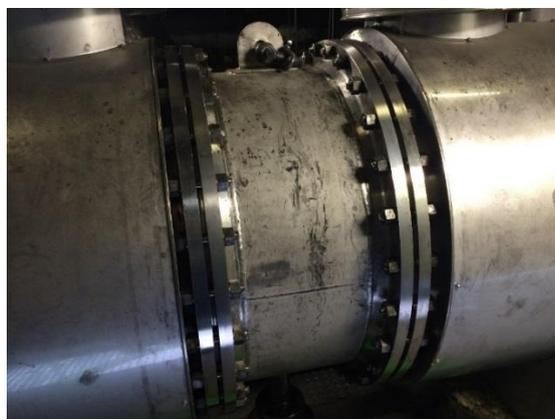


Abbildung 26: Zwischenstück Wrasenkondensator, Foto vom 27.05.2015



Abbildung 27: Austrittsseite des Kondensators, Foto vom 28.05.2015



Abbildung 28: Eintrittsseite des Kondensators, Foto vom 28.05.2015

Die Reinigung erfolgte in zwei Schichten an zwei Tagen. Dabei wurden 1.400 Rohre mit Hochdruckreiniger und Lanze behandelt. Die Anlage war nach 36 Stunden wieder betriebsbereit. Die nachfolgenden Bilder zeigen den Wrasenkondensator zum Zeitpunkt der letzten Überprüfung im November 2015. Es konnten keine Auffälligkeiten festgestellt werden, sodass ein jährlicher Inspektionsrhythmus möglich wird.

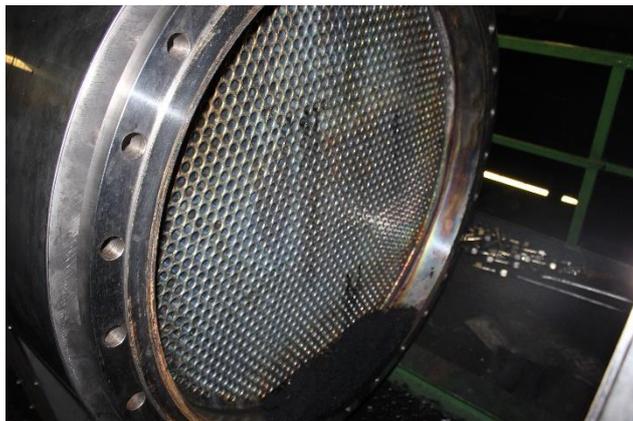


Abbildung 29: Austrittsseite des Kondensators, Foto vom 11.11.2015



Abbildung 30: Eintrittsseite des Kondensators, Foto vom 11.11.2015

Im Rahmen der Inspektion am 28. Mai 2015 wurde festgestellt, dass der Demister, der aus dem Werkstoff 1.4571 gefertigt wurde, aufgrund der aggressiven Partikelanteile im Kondensat beschädigt war. Das obere Teil des Demister war bereits in Teilen abgetragen und aufgelöst. Die nachfolgenden Abbildungen 31 und 32 zeigen den Demister zum Zeitpunkt der Inspektion am 28.05.2015.



Abbildung 31: Austrittsseite Demister, Foto vom 28.05.2015



Abbildung 32: Eintrittsseite Demister, Foto vom 28.05.2015

Der Demister wurde bei der nächsten planmäßigen Inspektion Ende Juli 2015 durch einen Demister aus dem Werkstoff C22 ausgetauscht. Die Ausgaben für den alten Demister betragen 850 €, der neue Demister wurde für 1.950 € beschafft. Die nachfolgenden Bilder zeigen den Demister zum Zeitpunkt der letzten Überprüfung im November 2015. Es konnten keine Auffälligkeiten festgestellt werden.



Abbildung 33: Eintrittsseite Demister, Foto vom 11.11.2015



Abbildung 34: Austritt Demister, Foto vom 11.11.2015



Abbildung 35: Austritt Demister (vergrößerter Bildausschnitt), Foto vom 11.11.2015

3.3 Umweltbilanz

In der Tabelle 5 ist auf Basis der Ergebnisse des durchgeführten Messprogramms die Umweltbilanz des Vorhabens in der Betriebseinheit Perlerei dargestellt.

	Projektziel	Erreichte Umweltleistung	Einsparung in % gegenüber Projektziel
Rückgewonnene Wärme aus der Abluft Produkttrocknung in MWh/a	32.000	33.288	104
Zusätzliche Stromerzeugung in MWh/a	11.330	11.786	104
Minderung der CO ₂ -Emissionen (zurückgewonne Abwärme) in t	6.500	6.757	104
Rückgewonnenes Wasser in m ³ /a	50.000	46.042	92
Reduzierung der Geruchseinheiten aus der Abluft Perlerei in GE/m ³	5.500	4.500	82

Tabelle 5: Umweltbilanz des Vorhabens

Wie die Tabelle Umweltbilanz aufzeigt, konnten die Projektziele in der Praxis erreicht werden. Geringe Abweichungen zum Projektziel haben sich nur in der Reduzierung der Geruchseinheiten und der Mengen des zurückgewonnenen Wassers ergeben.

Unter der Zugrundelegung einer Wärmemenge von 4 MW/h, von jährlichen Betriebsstunden in Höhe von 8.760 h und einer Verfügbarkeit von 95 % errechnet sich für 2016 eine Wärmemenge von 33.288 MWh/a. Bei einem CO₂-Äquivalent von 203 g CO₂ pro kWh Erdgas errechnet sich eine Einsparung von 6.757 t/a CO₂.

Die durchschnittliche Leistung der Wrasenkondensation hat sich bei 4 MW/h stabilisiert.

Durch die Einspeisung der beschriebenen zurückgewonnenen Wärmemenge in den Fernwärmeexport kann im Energieverbundsystem der DGW Dampf, welcher sonst die Fernwärme versorgen müsste in den Turbinen zusätzlich verstromt werden. Diese zusätzlich erzeugte Strommenge summiert sich auf ca. 11.786 MWh/a. Die Betrachtung über den Stromexport (zusätzlich generierter Strom) führt mit dem Emissionsfaktor von 584 g CO₂ / kWh zu einer CO₂-Einsparung von ca. 6.883 t CO₂/a.

Die Deutschen Gasrußwerke verfügen über ein Energieverbundsystem mit Strom- und Wärmeexport an Externe, wobei nichtbenötigte Wärmeströme an den Turbinen der Nachverbrennungseinrichtungen verstromt werden. Die exportierte Wärmemenge wird durch den Wärmebedarf der Abnehmer vorgegeben, der Stromexport dagegen ist in der Höhe flexibel.

Der Frischwassereinsatz reduziert sich um 46.042 m³/a (Perlwasser und Quenchwasser).

Die olfaktometrischen Untersuchungen in der Abluft des Perlereikamins 6/7 (im Mittel 300 GE/m³ in Betriebszustand mit Wrasendampfkondensation und im Betriebszustand ohne Wrasendampfkondensation 1.700 GE/m³) jeweils bei gleicher Rußsorte, zeigen eine deutliche Geruchsminderung durch den Betrieb der Wrasendampfkondensation. Der Minderungsgrad

(ermittelt nach DIN EN 13725) liegt im Mittel bei ca. 82 %. Die olfaktometrischen Untersuchungen in der Wrasenabluft liegen im Mittel je nach Rußsorte bei 3.000 GE/m³ bzw. 5.000 GE/m³.

3.4 Wirtschaftlichkeitsanalyse

Für die Wirtschaftlichkeitsanalyse werden nachfolgend die zuvor beschriebenen Einsparungen mit Preisen bewertet. Die Wassermengen reduzierten sich um hochgerechnet 46.042 m³/a und damit einhergehend reduzieren sich die Kanalwasserentnahmeentgelte um dauerhaft 2.302,10 €/a. Durch den zusätzlichen Verkauf der Energie konnten die Erlöse um 352.000 €/a gesteigert werden. Die zusätzlichen Energieerlöse resultieren aus dem Stromverkauf. Bei der DGW-eigenen Energieerzeugung wird der in den Nachverbrennungsanlagen erzeugte Dampf zunächst zu den Kondensationsturbinen geleitet. Die Turbinen sind so konzipiert, dass Dampfenahmen auf verschiedenen Druckniveaus möglich sind. Der entnommene Dampf wird u. a. genutzt, um die Energie für den Fernwärmeexport zur Verfügung zu stellen. Durch die Nutzung der Kondensationswärme aus der Wrasenkondensation wird der Fernwärme Energie zugeführt, die dann nicht mehr den Turbinen entnommen werden muss. Der so in den Turbinen verbleibende Dampf erzeugt Strom, der dann verkauft wird. Die Wrasenkondensation erzeugt Wärme auf einem relativ niedrigen Temperaturniveau, die für die ganzjährige Grundlast der Fernwärmeversorgung genutzt werden kann. Grundsätzlich ist jeder kontinuierliche Verbraucher auf niedrigem Temperaturniveau als Abnehmer geeignet.

Die ursprünglich geplanten Anschaffungskosten wurden um 10.860,80 € unterschritten und betragen 1.670.739,20 €. Die Kapitalrückflussdauer nach Durchführung der Erfolgskontrolle beträgt 6,4 Jahre unter Berücksichtigung der Finanzierungskosten, Abschreibungen und der stabilisierten Hochrechnung. Die nachfolgende dynamische Investitionsrechnung verdeutlicht diese Berechnung:

Wirtschaftlichkeitsrechnung												Projektnummer		Antragsteller			
Projekttitle												Puregas Condensation for District Heating		Standort		Dortmund	
Geschäftsjahr		2012	2013	2014	2015	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	Summe		
Periodennummer		0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11				
Investitionssumme ohne Bauzeitzinsen	T-EUR	0	0	1.572	99										1.671		
Bauzeitzinsen	T-EUR	0	0	36											36		
Projektrepaturen	T-EUR	0	0	0	0										0		
Inbetriebnahme	T-EUR	0	0	0	50										50		
PROJEKTAUFWAND	T-EUR	0	0	1.608	149										1.721		
Mehrmengen	MW/h/a			6,575	11,786	11,786	11,786	11,786	11,786	11,786	11,786	11,786	11,786	11,786	112,649		
Bruttoerlöse	EUR/kWh			0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032	0,032		
Erlösberichtigungen	EUR/kWh			0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000		
MEHRERLÖSE	T-EUR	210	377	377	377	377	377	377	377	377	377	377	377	377	3.605		
variable Kosten:																	
Einsatzstoffe	EUR/kWh			0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000			
Energien	EUR/kWh			0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000			
Packmittel	EUR/kWh			0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000			
Summe variable Kosten	EUR/kWh			0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000	0,000			
Summe variable Kosten	T-EUR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
DECKUNGSBEITRAG	T-EUR	210	377	377	377	377	377	377	377	377	377	377	377	377	3.605		
fixe Kosten:																	
Personal	T-EUR			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Abschreibungen	T-EUR			171	171	171	171	171	171	171	171	171	171	171	1.707		
Projektrepaturen	T-EUR	0	0	0	0										0		
Inbetriebnahme	T-EUR			0	50										50		
Instandhaltung	T-EUR			0	30	30	30	30	30	30	30	30	30	30	270		
Warenverbrauch	T-EUR			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Infrastruktur	T-EUR			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Subventionen (Abzugsposten)	T-EUR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
andere Kosten oder Einsparungen	T-EUR			-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-2	-23		
Summe fixe Kosten	T-EUR	0	0	0	219	198	198	198	198	198	198	198	198	198	2.004		
BRUTTOERGEBNIS	T-EUR	0	0	0	-8	179	179	179	1.600								
Vertrieb - Verwaltung, AT	T-EUR			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
allgemeine Unternehmenskosten	T-EUR			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
NETTOERGEBNIS	T-EUR	0	0	0	-8	179	179	179	1.600								
Veränderung des Umlaufvermögens	T-EUR			17	16	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-34		
Cash Flow (ohne Bauzeitzinsen)	T-EUR	0	0	-1.572	46	333	349	349	349	349	349	349	349	349	1.637		
kumulierter Cash Flow	T-EUR	0	0	-1.572	-1.526	-1.193	-843	-494	-144	205	554	904	1.253	1.637			
abgezinsten Cash Flow	T-EUR	0	0	-1.572	46	333	349	349	349	349	349	349	349	349	383		
kumuliert abgezinsten Cash Flow	T-EUR	0	0	-1.572	-1.526	-1.193	-843	-494	-144	205	554	904	1.253	1.637			
Kapitalrückflussdauer									6,4								

DCF-Rate	13,7 %
Kapitalrückflussdauer	6,4 Jahre

Vertrieb, Verwaltung, AT	0,0 %	der Erlöse
allgemeine Unternehmenskosten	0,0 %	der Erlöse
Lagervorrat Rohstoffe	1,0	Monate
Lagervorrat Fertigprodukte	1,0	Monate
Forderungen	1,0	Monate
Verbindlichkeiten	1,0	Monate
GB-spezifische Kapitalkosten (v.St.)	0,0 %	
Zinssatz für risikoloses Fremdkapital	4,6 %	

gerechnet von:
(Name)
(Abteilung)
(Telefon)
(Datum)

Tabelle 6: Amortisationsrechnung nach Erfolgskontrolle des Projekts

1. Die Kondensationswärme wird für das Fernwärmesystem (z. B. für die Versorgung Dortmunder Ortsteile) genutzt. Die durch die Kondensation entstandene Wärmemenge wird dem Wasserkreislauf der Fernwärmestation zugeführt. Das Kreislaufwasser wird von ca. 60°C auf 80-90°C erwärmt. Die weitere Temperaturerhöhung bis auf max. 135°C erfolgt wie bisher in zwei vorhandenen Heizkondensatoren durch Dampf aus den Kesselanlagen und der Produktion. Alternative Nutzungen in Nachbarbetrieben mit Wärmebedarf sind ebenfalls denkbar, derzeit aber nicht umsetzbar.
2. Die nicht kondensierbaren Abluftanteile aus dem Wrasendampfkondensator können im weitgehend getrockneten Zustand einer thermischen Behandlung zugeführt werden. In unserem Projekt wurden diese Abluftströme dem Verbrennungsluftsystem der Dampfkesselanlagen zugeführt. Hiermit konnte nahezu eine vollständige Elimination der Geruchsstoffe aus der bisherigen Wrasenabluft umgesetzt werden. Das anfallende Dampfkondensat wird jetzt gesammelt, dem Betriebswassersystem zugeführt und z. B. in den Furnaceruß-Reaktoren eingesetzt.
3. Bei der Auswahl des Werkstoffes für den Wrasendampfkondensator muss darauf geachtet werden, dass im Dauerbetrieb mit Carbon Black Ablagerungen gerechnet werden muss. Es ist bekannt, dass durch Carbon Black Anhaftungen korrosive Agenzien wie Halogen und auch Organika akkumuliert werden können. Hierdurch können Korrosionsvorgänge im Vorfeld nicht ausgeschlossen werden. Dies ist eine Besonderheit, die bei anderen Industriesektoren in dieser Konstellation nicht anzutreffen ist. Mit der Auswahl des Werkstoffes (Hastelloy C-22) können wir bisher zufrieden sein.

4. Übertragbarkeit

4.1 Erfahrungen aus der Praxiseinführung

Von der Planung bis zur Installation der Anlagenkomponenten war es von entscheidender Bedeutung, dass die beteiligten Personen in sehr engem Kontakt standen und so schnell, sicher und effektiv die Dinge vorantreiben konnten. Die handelnden Personen agierten mit hoher Kompetenz. Sich ergebende Schwierigkeiten (aggressive Partikelanteile im Kondensat) wurden direkt vor Ort diskutiert und bestmöglich gelöst.

Die Inbetriebnahme erfolgte nahezu störungsfrei und im zeitlich vorgegebenen Rahmen. Der Austausch des Demisters, aufgrund der aggressiven Partikelanteile im Kondensat, ist das einzig nennenswerte Ereignis. Mit der Wahl des neuen Werkstoffes C22 für den Demister konnte dieses Problem gelöst werden.

Wir gehen künftig von einem jährlichen Wartungsintervall beim Wrasendampfkondensator aus.

Die ausgekoppelte Wärme ist abhängig von der Höhe der Temperatur des Fernwärmerücklaufs und muss jeweils entsprechend angepasst und reguliert werden. Die Erfahrung hat gezeigt, dass durch Anpassung verfahrenstechnischer Parameter im Trocknungsprozess Optimierungen erreicht werden konnten.

4.2 Modellcharakter/Übertragbarkeit

Die vorliegende erstmalige großtechnische Demonstration umfasst zwei der sechs vorhandenen Produktionslinien. Die erfolgreiche Projektumsetzung an den zwei Projektlinien ermöglicht uns eine Übertragung auf die weiteren vier Produktionslinien, sofern wir Abnehmer für die dann zur Verfügung stehenden Wärmemengen finden. Um weitere Abnehmer zu finden, machen wir in Zusammenarbeit mit der Stadt Dortmund fortlaufend Werbung für die Ansiedlung neuer Betriebe mit entsprechendem Energiebedarf in der Nähe der Deutschen Gasrußwerke.

Zudem werden wir eine Veröffentlichung des Vorhabens mit der Effizienz-Agentur NRW in der Loseblattsammlung durchführen und hoffen auf reges Interesse an unserem Vorhaben.

Als weitere Anwender dieser technischen Innovation kommen in Deutschland zwei weitere Produktionsstandorte unserer Marktbegleiter in Köln und Hannover in Frage, in Europa umfasst das Potential insgesamt 15 Carbon Black-Produktionsstandorte.

Die Ergebnisse des Projektes sollten eine Übertragbarkeit auf die Aufarbeitung anderer Produkte insbesondere bei der Agglomeration (Verdichtung bzw. Granulierung) von staubenden, pulverförmigen Stoffen ermöglichen. Da die Agglomeration eine der vier Hauptprozessgruppen der mechanischen Verfahrenstechnik darstellt, wird das Potenzial für die Anwendbarkeit dieser innovativen, energieeffizienten Aufarbeitungstechnik als sehr hoch eingeschätzt. Wrasenemissionen mit hohem Wasserdampfanteil sind z.B. in der Holzwerkstoffherstellung (Spänetrocknung) oder der Trocknung von anorganischen Produkten wie der Kieselsäureherstellung anzutreffen.

5. Zusammenfassung

Einleitung

Die KG Deutsche Gasrußwerke GmbH & Co. (DGW) ist ein mittelständisches Unternehmen, welches seit 1936 in Dortmund Industrieruße nach dem Gasruß- und dem Furnace-Black-Verfahren herstellt. DGW produziert Carbon Blacks, die im Wesentlichen in der Reifenindustrie eingesetzt werden sowie Pigment Blacks, die u. a. für Druckfarben, Toner, Ink-Jet-Tinten und Lacke benötigt oder zur UV-Stabilisierung von Polyolefinen verwendet werden. Die Produktionskapazität liegt in der Furnace-Black-Anlage bei 120.000 t/a, im repräsentativen Produktionsjahr 2010 wurden insgesamt 118.000 Tonnen Carbon Black hergestellt und ausgeliefert. Der Exportanteil beträgt mehr als 30 %. Der Betrieb arbeitet kontinuierlich an 365 Tagen im Jahr und 24h pro Tag.

Carbon Black wird weltweit in sehr großen Mengen hergestellt (ca. 9 Mio. t/a) und vorwiegend (90 %) in der Gummiindustrie eingesetzt. Reifen und technische Gummiartikel enthalten Rubber Blacks als verstärkenden Füllstoff, um die unterschiedlichsten gummitechnischen Eigenschaften einzustellen. Ca. 10 % der produzierten Menge kommen als Pigment Blacks für Anwendungen in den Bereichen Kunststoffe, Druckfarben sowie Farben und Lacke zum Einsatz. Hier werden Eigenschaften wie UV-Beständigkeit, elektrische Leitfähigkeit und Farbstärke über die Pigment Black Qualität eingestellt. Carbon Blacks werden nach unterschiedlichen Herstellverfahren (Furnaceblack-, Gasruß-, Flammrußverfahren) produziert. In Bezug auf die weltweit produzierte Menge ist das Furnaceblack-Verfahren bei weitem das bedeutendste.

Da es sich hierbei um einen Hochtemperaturprozess und damit auch um ein sehr energieintensives Verfahren handelt, werden zwangsweise sehr hohe Mengen an CO₂ (ca. 280.000 t/a) emittiert. Das Furnaceruß-Verfahren arbeitet kontinuierlich, wobei als Rohstoffe flüssige aromatische Kohlenwasserstoffe (z. B. Steinkohlenteeröle) zum Einsatz kommen. Der flüssige Rohstoff wird in eine aus Erdgas und erhitzter Luft erzeugte Flamme eingesprüht. Die Reaktion findet in einem mit keramischem Material ausgekleideten Ofen (Furnace) statt.

Im Perlprozess (Konfektionierung) werden jährlich ca. 150.000 m³ filtriertes Kanalwasser verbraucht. Insgesamt werden im Furnacerußprozess jährlich ca. 850.000 m³ Kanalwasser eingesetzt. Diese Wassermengen gehen durch die Trocknung zurzeit über die beschriebenen Sammelkamine vollständig verloren. Hinzukommt, dass während der Trocknung das Perlhilfsmittel teilweise pyrolysiert wird und hierdurch bei der Konfektionierung des Carbon

Blacks Geruchsstoffe entstehen, die zeitweise als Belästigungen in der Nachbarschaft wahrnehmbar sind.

Vorhabenumsetzung

Die KG Deutsche Gasrußwerke GmbH & Co. plante auf Basis des bestehenden Furnaceruß-Prozesses eine erstmalige, großtechnische Modifizierung des Verfahrens vorzunehmen, in dem durch den Einbau von Energierückgewinnungsaggregaten (Wrasendampf-Kondensator) im Abgas der Trockentrommel der Perlerei eine Rückführung der bis dahin ungenutzten Abwärme in das örtliche Fernwärmenetz zu ermöglichen. Die nicht kondensierbaren Abluftanteile, die dann weitgehend im getrockneten Zustand vorliegen, sollten einer thermischen Behandlung zugeführt werden. Naheliegender war es, diese Abluftströme dem Verbrennungsluftsystem der Dampfkesselanlagen zuzuführen. Hiermit sollte eine vollständige Elimination der Geruchsstoffe aus der Wrasenabluft umgesetzt werden. Das anfallende Dampfkondensat sollte gesammelt dem Betriebswassersystem zugeführt und z. B. in den Furnaceruß-Reaktoren eingesetzt und damit die Frischwasserentnahme aus dem Kanal reduziert werden.

In der Betriebseinheit Perlerei (Konfektionierung) sollte bei zwei von sechs Furnaceruß-Fahrstraßen in die Leitung zwischen Wrasenfilter und Sammelkamin ein Wärmeaustauscher als Kondensator eingebaut werden, um die Energie der Wasserdampfemissionen zurück zu gewinnen. Die Auswahl von zwei Fahrstraßen leitete sich aus den technischen historisch gewachsenen Anlagenvoraussetzungen ab. Die Wrasenabläufe der zwei Produktionsanlagen wurden direkt hinter den Filteranlagen in einer Sammelleitung zur Ableitung der Emissionen zusammengeführt. Über diesen beschriebenen Weg kann Wärme mit einem niedrigen Temperaturniveau (80-90 °C) in den Wärmeexport integriert werden, die im Produktionsprozess nicht nutzbar wäre. Der neue Wrasenkondensator konnte räumlich sehr nahe an dieser Sammelleitung positioniert werden und somit eine sehr kurze Rohrleitungsführung realisiert werden.

Die Wrasendampfkondensation ist ein neuartiges Verfahren in der Aufarbeitung von Carbon Black, welches den Stand der Technik (siehe VDI Richtlinie 2580) deutlich übersteigt.

Ergebnisse

Insgesamt konnte das Vorhaben, nach leichten Verzögerungen zu Beginn des Projektes, erfolgreich durchgeführt werden. Technische Risiken in Form von Korrosionserscheinungen konnten durch gezielte Kontrolle im Bereich des Demisters erkannt und durch Anpassung der Werkstoffauswahl ausgeräumt werden. Die durchgeführte Erfolgskontrolle nach Inbetriebnahme der Anlage war sehr hilfreich für die Fördernehmerin, da über die Auswertungen in der Inbetriebnahmephase wesentliche Erkenntnisse hinsichtlich Schulungsbedarf des Bedienpersonals und des erforderlichen technischen Optimierungsbedarfs gewonnen wurden.

In der nachfolgenden Tabelle 8 ist auf Basis der Ergebnisse des durchgeführten Messprogramms zusammenfassend die Umweltbilanz des Vorhabens hochgerechnet auf ein Jahr dargestellt.

	Projektziel	Erreichte Umweltleistung	Einsparung in % gegenüber Projektziel
Rückgewonnene Wärme aus der Abluft Produkttrocknung in MWh/a	32.000	33.288	104
Zusätzliche Stromerzeugung in MWh/a	11.330	11.786	104
Minderung der CO ₂ -Emissionen (zurückgewonne Abwärme) in t	6.500	6.757	104
Rückgewonnenes Wasser in m ³ /a	50.000	46.042	92
Reduzierung der Geruchseinheiten aus der Abluft Perlerei in GE/m ³	5.500	4.500	82

Tabelle 8: Umweltbilanz des Vorhabens

Durch das Projekt Wrasendampfkondensation wird zukünftig Wärme in Höhe von 33.288 MWh/a generiert, die aufgrund des niedrigen Temperaturniveaus ausschließlich in die Fernwärmeversorgung eingespeist werden kann. Hierdurch wird bei gleichbleibender Industrierußproduktion Dampf, der sonst in der Wärmeversorgung erforderlich wäre, zusätzlich in der Stromproduktion genutzt. Die Wärmemenge aus der Wrasendampfkondensation kann als Fernwärmegrundlast das ganze Jahr über abgegeben werden. Die bisher dafür genutzte Hochtemperatur-Abwärme aus der thermischen Nachverbrennung kann nun zusätzlich zur Generierung von Strom genutzt werden. In Summe wird somit der Energieexport in Form von Strom erhöht (11.786 MWh/a).

Die 46.042 m³/a rückgewonnene Kondensatmenge wird im Produktionsprozess problemlos z.B. als Quenchwasser im Reaktor genutzt. Die Qualitätskriterien der Produkte werden durch die Wiederverwendung des Kondensats nicht nachteilig beeinflusst.

Im Vorfeld konnte das technische Risiko durch die Akkumulation von korrosiven Agenzien wie Halogen und Organika im Abgasstrom der Trockentrommel in der Perlerei nicht genau abgeschätzt werden. Im Praxisbetrieb konnte jedoch ein Werkstoff gefunden werden, der diesen Anforderungen standhält.

Die ursprünglich geplanten Anschaffungskosten wurden um 10.860,80 € unterschritten und betragen 1.670.739,20 €. Die Kapitalrückflussdauer nach Durchführung des Messprogramms beträgt 6,4 Jahre unter Berücksichtigung der Finanzierungskosten, Abschreibungen und der stabilisierten Hochrechnung. Rechnet man den Zuschuss mit ein beträgt die Kapitalrückflussdauer 5,5 Jahre.

Ausblick

Die erfolgreiche Projektdurchführung und die erzielten Ergebnisse des Projektes sollten eine Übertragbarkeit dieses Verfahrens bei der Agglomeration (Verdichtung bzw. Granulierung) von staubenden, pulverförmigen Stoffen in wässriger Phase ermöglichen. Da die Agglomeration eine der vier Hauptprozessgruppen der mechanischen Verfahrenstechnik darstellt, wird das Potenzial für die Anwendbarkeit dieser neuen Technik als sehr hoch eingeschätzt. Wrasenemissionen mit hohem Wasserdampfanteil sind z. B. in der Holzwerkstoffherstellung (Spänetrocknung) oder der Trocknung von anorganischen Produkten wie der Kieselsäureherstellung anzutreffen.

Als weitere Anwender dieser technischen Innovation kommen in Deutschland zwei weitere Produktionsstandorte unserer Marktbegleiter in Köln und Hannover in Frage, in Europa umfasst das Potential insgesamt 15 Carbon Black-Produktionsstandorte.

Die Anlage kann auf Wunsch, nach vorheriger terminlicher Abstimmung mit Herrn Dr. Jörg Kasproski, besichtigt werden.

Summary

Introduction

KG Deutsche Gasrußwerke GmbH & Co. (DGW) is a medium-sized company that manufactures industrial carbon black in Dortmund using the gas black and the furnace black process. DGW produces carbon blacks since 1936. Carbon blacks are used primarily in the tire industry (rubber blacks). Pigment blacks, which are used for UV stabilization of polyolefins for printing inks, toner, inkjet inks and colorants are also part of the portfolio. The production capacity in the furnace black plant is 120,000 t per year. In the representative year 2010 a total production of 118,000 tons of carbon black were manufactured and delivered. Exports account for more than 30%. The plant operates continuously 365 days a year and 24 hours a day.

Carbon Black is produced worldwide in very large quantities (about 9 million t per year) and is predominantly (90%) used in the rubber industry. Tires and technical rubber goods contain rubber blacks as reinforcing filler in order to gain the different mechanical rubber characteristics. Approximately 10% of the amount produced is used as pigment blacks for applications in plastics, printing inks, paints and colorants. Here properties such as UV resistance, electrical conductivity and color strength are determined by pigment black quality. Carbon Blacks are produced by different manufacturing processes (e.g. furnace black, gas black, lamp black process). In relation to the amount produced worldwide, the furnace black process is by far the most important one.

Since the Furnace Black process is a high-temperature process, and thus also a very energy-intensive one, compulsory very high amounts CO₂ are emitted (at DGW about 280,000 t per year). The furnace black process operates continuously. Liquid raw materials like aromatic hydrocarbons (eg. coal tar oil) are used. The oil is sprayed into a flame generated from natural gas and preheated air. The reaction takes place in a furnace lined with ceramic material.

150,000 m³ of filtered water taken from a canal is annually consumed in the pelletizing process. Approximately 850,000 m³ of water is in total taken from the canal for the furnace black process per year. This amount of water is currently completely evaporated in the drying process. Additionally to this the pelletizing agent is partially pyrolyzed during the drying process and thereby odorants are formed, which are sometimes perceived as odor nuisances in the neighborhood.

Project implementation

KG Deutsche Gasrußwerke GmbH & Co. was planning, a first-time, large-scale modification of the existing furnace black process by installing a energy recovery unit (purge gas condenser) in the exhaust gas of the drying process. In this way previously unused waste heat could be made reusable in the local district heating network. The non-condensable exhaust components which then remain in the dried exhaust gas should be supplied to a thermal treatment. It seemed obvious to supply these off gas stream into the combustion air system of the existing steam generators. Herewith a complete elimination of the odors from the drier exhaust should be reached. The resulting steam condensate should be collected and supplied to the process water system and finally injected into the furnace black reactors and thus reduces the fresh water consumption from the canal.

In the pelletizing unit, a heat exchanger should be installed as a condenser in the pipe between purge gas filter and exhaust stack where two of six production lines for historical reasons have their combined outlet. The exhaust gas from the two lines merge directly behind the filter systems. In this way the energy of the water vapor emissions can be recovered and integrated into a heat export at a low temperature level (80-90 °C), which otherwise could

not be used in the production process. The new condenser could be installed close to the existing piping and therefore only very short new piping had to be build. The purge gas condensation is a new method in the manufacturing process of carbon black, which clearly exceeds the state of the art in accordance with VDI Guideline 2580.

Project results

Finally the project was successfully implemented, after a slight delay at the beginning of the project. Technical risks of corrosion could be detected early through specific control in the area of the demister and could be eliminated by changing the material. The performed checks followed the start up phase were very helpful for subsidized company because the evaluations lead to significant findings regarding training requirements of operating personnel and necessary technical optimization.

Table 9 shows the environmental impact of the project based on the results of the measurement program projected for one year.

	Project objective	Enviromental performance reached	Realized Savings (%)
Recovered heat from drier exhaust MWh/a	32.000	33.288	104
Additional generation of electricity MWh/a	11.330	11.786	104
Reduction of CO ₂ -emission (recovered heat)	6.500	6.757	104
Recovered water m ³ /a	50.000	46.042	92
Reduction of odor units from pelletizing exhaust GE(ordor units)/m ³	5.500	4.500	82

Table 9: environmental impact of the project

With the new purge gas condensation heat in the amount of 33,288 MWh per year is generated that in the future can be fed into the district heating only due to the low temperature level. But that amount of heat can be delivered as a district heating base load all year round. In addition high-temperature steam which previously was required for the heat supply can now be used for the production of electricity. In total the energy export has increased by 11,786 MWh / a in relation to the same carbon black production.

An annual amount of 46,042 m³ recovered condensate is now easily used in the production process, for example, quench water in the reactor. The product quality is not adversely affected by this re-use of the condensate.

The technical risk due the accumulation of corrosive agents such as halogens and organics in the exhaust of the dryer could not be accurately estimated prior the final test. In operation, however, a material could be found which is chemically resistant.

The originally planned costs were undercut by € 10,860.80 and amounted € 1,670,739.20. The payback period after implementation of the measurement program is 6.4 years taking into account the financing costs, depreciation and a stabilized extrapolation. Taking the subsidies into account the payback period is reduced to 5.5 years.

Prospects

The successful implementation and the results of the project should allow transferability of this procedure in the agglomeration (compaction or granulation) of dusty, powdery substances in aqueous systems. Since the agglomeration is one of the four main process groups of mechanical process technology, the potential for the application of this new technology is considered very high. Emissions with a high water vapor content are e. g. in the wood industry (chipped wood drying) or the drying of inorganic products like the silica production.

Potential users of this technical innovation in Germany are two other production sites of our market companion in Cologne and Hanover. In Europe the potential comprises a total of 15 carbon black manufacturing sites.

The system can visited on request with regard to deadline. Please contact Dr. Jörg Kasproski.