

ZAK Kempten

Studie zur Durchsatzerhöhung der Rauchgasreinigung hinter K1 im MHKW Kempten

Erstellt durch:



Dipl.-Ing. Sophie Kreuz
ete.a Ingenieurgesellschaft für Energie- und
Umwelttechnik & Beratung mbH



06404 / 668 08 25



06404 / 65 81 65



Sophie.Kreuz@ete-a.de

Lich, April 2020



Auftraggeber:

**ZAK Energie GmbH
Dieselstraße 20
87437 Kempten**

Auftragnehmer:

**ete.a Ingenieurgesellschaft für Energie- Umweltengineering & Beratung mbH
Hofgut Kolnhausen 12
35423 Lich**

Fon: +49 6404 65 81 64

Fax: + 49 6404 65 81 65

E-Mail: info@ete-a.de



INHALTSVERZEICHNIS

1	Einleitung	5
1.1	Aufgabenstellung.....	5
1.2	Aufbau der Rauchgasreinigung	5
2	Ermittlung des Status Quo	8
2.1	Datengrundlage.....	8
2.2	Rückbilanzierung des Status Quo.....	11
2.2.1	Volumenstrom am Kamin	11
2.2.2	Zuluftvolumenströme in die RGR und absolute Feuchte nach Wäscher	11
2.2.3	Rauchgasparameter im Eintritt in die Rauchgasreinigung	13
2.2.4	Gesamtbilanz Status Quo	14
3	Bilanzierung der Durchsatzerhöhung	16
3.1	Auswirkung der Durchsatzerhöhung auf die einzelnen Komponenten der RGR	18
3.1.1	Auslastung der Pfeifenquench.....	20
3.1.2	Auslastung der Saugzüge beim 110%-Lastfall	23
3.1.3	Situation im SO ₂ -Wäscher.....	33
4	Zusammenfassung	35
5	Quellen	37
6	Anhang	38

ABBILDUNGSVERZEICHNIS

ABBILDUNG 1: ANLAGENSHEMA MHKW KEMPTEN K1	6
ABBILDUNG 2: DIFFERENZDRUCK- UND BETRIEBSVOLUMENSTROMVERLAUF DER IST-SITUATION	14
ABBILDUNG 3: TYPENSCHILD SAUGZUG 1, RAUCHGASREINIGUNG K1 [2]	14
ABBILDUNG 4: TYPENSCHILD SAUGZUG 2, RAUCHGASREINIGUNG K1 [2]	15
ABBILDUNG 5: BETRIEBSPUNKTE DER SAUGZÜGE SZ 1 UND SZ 2 FÜR DEN STATUS QUO INNERHALB DER GEBLÄSEKENNLINIE [5]	15
ABBILDUNG 6: GEGENÜBERSTELLUNG DER DIFFERENZDRÜCKE UND DER VOLUMENSTRÖME.....	17
ABBILDUNG 7: AUSZUG AUS DEN AUSLEGUNGSDATEN; FA. NOELL 1996 [8]	18
ABBILDUNG 8: AUSSCHNITT QUENCHZEICHNUNG SGL CARBON FÜR DIE QUENCH K1 MHKW KEMPTEN	21
ABBILDUNG 9: PFEIFENQUENCH RGR MHKW KEMPTEN [2]	21
ABBILDUNG 10: DIFFERENZDRUCKENTWICKLUNG AM HCL-WÄSCHER GEMÄß BETRIEBSDATENERFASSUNG.....	22
ABBILDUNG 11: BETRIEBSPUNKTE DER SAUGZÜGE SZ 1 UND SZ 2 FÜR DEN STATUS QUO INNERHALB DER GEBLÄSEKENNLINIE [5] ..	24
ABBILDUNG 12: SAUGZUGKENNLINIE BEI UNTERSCHIEDLICHEN DREHZAHLEN FÜR DEN AM STANDORT KEMPTEN EINGESETZTEN SAUGZUG 1 [8]	27
ABBILDUNG 13: SAUGZUGKENNLINIE BEI UNTERSCHIEDLICHEN DREHZAHLEN FÜR DEN AM STANDORT KEMPTEN EINGESETZTEN SAUGZUG 2 [8]	28
ABBILDUNG 14: SAUGZUGKENNLINIE BEI UNTERSCHIEDLICHEN DREHZAHLEN FÜR DEN AM STANDORT KEMPTEN EINGESETZTEN SAUGZUG 1 BEI DER GEPLANTEN DURCHSATZERHÖHUNG [8]	31
ABBILDUNG 15: SAUGZUGKENNLINIE BEI UNTERSCHIEDLICHEN DREHZAHLEN FÜR DEN AM STANDORT KEMPTEN EINGESETZTEN SAUGZUG 2 BEI DER GEPLANTEN DURCHSATZERHÖHUNG [8]	32
ABBILDUNG 16: TROPFENABSCHIEDER SO ₂ -WÄSCHER RGR MHKW KEMPTEN [2]	33

TABELLENVERZEICHNIS

TABELLE 1: ZU GRUNDE GELEGTE PROZESSDATEN ZUR BILANZIERUNG STATUS QUO RAUCHGASREINIGUNG K1 [3]	8
TABELLE 2: ZUSAMMENFASSUNG DER RÜCKBILANZIERUNG DER PFEIFENQUENCH DURCH DIE FIRMA SGL CARBON [4]	20

1 Einleitung

Am Standort Ursulasried in Kempten werden vom Zweckverband für Abfallwirtschaft Kempten (ZAK) die Ofenlinien K1 (Müllheizkraftwerk, MHKW) und K3 (Holzheizkraftwerk, HHKW) betrieben. Durch die thermische Verwertung von Restmüll und Altholz in den beiden Ofenlinien K1 und K3 wird mittels Dampfturbinen elektrische Energie erzeugt sowie Abwärme in das ZAK-Fernwärmenetz eingespeist.

1.1 Aufgabenstellung

Gegenstand des vorliegenden Angebotes ist die Betrachtung einer Leistungserhöhung an der Verbrennungslinie K1 in Bezug auf die Auswirkungen und mögliche Konsequenzen auf die zugehörige Rauchgasreinigungsanlage, insbesondere unter Berücksichtigung der Auslastung der vorhandenen Saugzüge.

Unter der von ZAK angestrebten Leistungserhöhung (ca. 5 – 10%) ist in Bezug auf die Rauchgasreinigungsanlage eine prozentuale Erhöhung des trockenen Volumenstromes am Kesselaustritt bei gleichen Schadstoffkonzentrationen zu verstehen.

1.2 Aufbau der Rauchgasreinigung

Bei der an der Linie K1 installierten Rauchgasreinigung handelt es sich um ein mehrstufiges Verfahren bestehend aus einer Entstaubung, einer Rauchgaswäsche zur Minderung saurer Schadgase, einer katalytischen Entstickung und einer nachgeschalteten trockenen Stufe zur Minderung von Schwermetallen sowie Dioxinen und Furanen.

Die Entstaubung des Rauchgases erfolgt unmittelbar nach Eintritt in die Rauchgasreinigung mittels eines dreifeldrigen Elektrofilters.

Nach der Entstaubung erfolgt die Abscheidung der sauren Schadgase HCl, HF sowie SO₂ in einem zweistufigen Wäscher. Dabei wird in der ersten Stufe zunächst das Rauchgas mittels Quench auf Sättigungstemperatur abgekühlt. Zum Einsatz kommt dabei eine Pfeifenquench. Über eine große Anzahl parallel angeordneter Rohre findet im Gleichstrom ein Stoffaustausch zwischen Abgas und ablaufendem Wasser statt.

Im Anschluss erfolgt in der mit Wasser betriebenen Füllkörperstufe des HCl-Absorbers die Abscheidung der sauren Schadgase HCl- und HF aus dem Rauchgasstrom.

Kapitel 1: Einleitung

Die zweite Wäscherstufe stellt der mit Kalksteinmehl betriebene, zweistufige, basische SO₂-Absorber dar, in dem unter Bildung von Gips SO₂ aus dem Rauchgas abgeschieden wird.

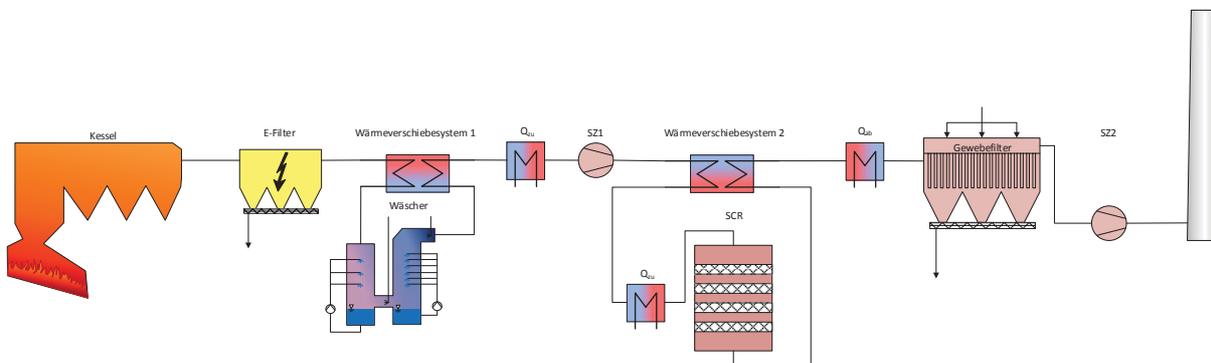
Zur Reduzierung des Einsatzes von Dampf zur Wiederaufheizung des Rauchgases nach Wäscher ist vor dem Wäscher ein Wärmeverschiebesystem als Gas-Gas-Wärmeübertrager im Kreuzgegenstrombetrieb installiert.

Dabei ist die Temperatur, die über dieses Wärmeverschiebesystem hinter Wäscher zu erreichen ist, stark abhängig vom Verschmutzungszustand des Economizers. Dieser ist bestimmend für die Eintrittstemperatur in die Rauchgasreinigung. Aus diesem Grunde ist dem Wärmeverschiebesystem ein Dampfgasvorwärmer (kurz DaGaVo) nachgeschaltet, der sowohl im Anfahrbetrieb als auch bei niedrigen Eintrittstemperaturen in die Rauchgasreinigung zur Anhebung der Rauchgastemperatur nach dem Wärmeverschiebesystem eingesetzt wird.

In der Regel wird auf diese Weise eine konstante Temperatur von 125 °C vor dem Saugzug 1 gefahren. Der Saugzug 1 dient zur Überwindung der Druckverluste aus Kessel, Entstaubung und Wäscherbetrieb und stellt den erforderlichen Unterdruck im Kessel sicher.

Der Saugzug 1 wird so betrieben, dass der Unterdruck im Kessel gewährleistet ist. Gleichzeitig wird der Saugzug 2 so betrieben, dass der Druck in dem Rauchgaskanal hinter Saugzug 1 auf einen Wert von etwa -0,5 mbar gegenüber Umgebungsdruck geregelt wird.

Abbildung 1: Anlagenschema MHKW Kempten K1



Hinter dem Saugzug 1 erfolgt die prozessbedingte Wiederaufheizung des Rauchgas für den Betrieb der selektiv katalytischen Entstickung (kurz SCR) bis auf eine Temperatur auf ca. 230 °C durch den Einsatz eines Wärmeverschiebesystems um den Katalysator herum sowie eines weiteren DaGaVos.

Unter Zugabe von NH₃ erfolgt die Umsetzung der Stickoxide zu Stickstoff und Wasser an den Katalysatorelementen.

Nach dem DeNox Prozess erfolgt die Absenkung der Rauchgastemperatur zunächst durch das Wärmeverschiebesystem sowie durch einen nachgeschalteten Kondensatvorwärmer.

Kapitel 1: Einleitung

Hier wird überschüssige Rauchgaswärme in das Kondensatsystem eingebunden, sodass die für den Einsatz von Aktivkohle im Flugstromadsorber anzustrebende Rauchgastemperatur von ca. 135 °C eingestellt wird.

Im Flugstromadsorber werden Aktivkohle zur Minderung von Schwermetallen insbesondere Quecksilber und Dioxinen/Furanen zusammen mit Inertmaterial wie z.B. Kalkhydrat in den Rauchgasstrom eingeblasen und am nachgeschalteten Gewebefilter wieder abgeschieden. Die Abscheidung findet dabei in der Flugphase sowie in dem sich bildenden Filterkuchen auf dem Filterschlauch statt. Die sich aufbauenden Filterkuchen werden kontinuierlich mittels Druckluft von den Filterschläuchen abgereinigt.

Auf Grund der geringen Beladung wird ein großer Teil des anfallenden Reststoffes am Gewebefilter rezirkuliert, um einen hohen Ausnutzungsgrad des eingesetzten Additives zu erreichen. Hinter dem Gewebefilter ist der Saugzug 2 angeordnet.

Dieser dient zur Überwindung der abgasseitigen Druckverluste der katalytischen Rauchgasreinigung und des Flugstromadsorbers. Dadurch wird erreicht, dass die gesamte Rauchgasreinigung im Unterdruck betrieben wird. [1]

2 Ermittlung des Status Quo

Zur Ermittlung des Status Quo wurden die Betriebsdaten der Rauchgasreinigung im Zeitraum von 2018 – 2019 ausgewertet.

Die Daten liegen als Stundenwerte vor.

Im Hinblick auf die zu treffenden Aussagen bezüglich der Steigerungsfähigkeit wurden die zur Verfügung gestellten Daten so aufbereitete, dass offensichtliche Stillstandszeiten sowie nicht plausible Daten (insbesondere Temperaturangaben) für die Bildung eines mittleren Ist-Wertes bereits ausgeschlossen wurden.

2.1 Datengrundlage

Für die Ermittlung des Status Quo wurden gemittelte Stundenwerte aus den vorliegenden Betriebsdaten, die im Rahmen der Emissionsmessung erhoben werden, und die für den internen Betrieb etwa zur Regelung der Rauchgasreinigung erhobenen Prozessgrößen betrachtet.

Die berücksichtigten Daten stammen aus dem Zeitraum 2018 – 2019.

Die zur Verfügung gestellten Daten wurden durch setzen von Filtern auf Lastfälle mit im Stundenmittel Rauchgastemperaturen von $>220^{\circ}\text{C}$ sowie einem Sauerstoffgehalt von $<10\%$ im Eintritt in die Rauchgasreinigung beschränkt. Diese Einschränkung wurde getroffen, um die Stillstandszeiten des betrachteten Zeitraumes sowie An- und Abfahrvorgänge aus der Datenauswertung auszuschließen.

Insgesamt wurde die Datenmenge dadurch von 8256 Stundenwerten auf 4103 Stundenwerte reduziert. Im Einzelnen werden damit die folgenden Prozessdaten aus den zur Verfügung gestellten Prozessdaten für die Bilanzierung berücksichtigt:

Tabelle 1: Zu Grunde gelegte Prozessdaten zur Bilanzierung Status Quo Rauchgasreinigung K1 [3]

zur Auswertung berücksichtigte Messungen

KKS	Bezeichnung	Einheit	Wert
K1HBK50CP001 XJ01	Rauchgas - Druck nach Eco	mbar	-4,2
K1HBK50CT001 XJ01	Rauchgas - Temperatur nach Eco	$^{\circ}\text{C}$	226,3
K1HNA40CF001 XJ01	Rauchgas - Durchfluss vor Saugzug 1 (ARA-	Nm^3/h	71.913,1
K1HNA90CF901 XJ01	Abgas - Volumenstrom vor Kamin (feucht)	Nm^3/h	52.107,4
K1HNA90CP901 XJ01	Abgas - Absolutdruck vor Kamin	mbar	934,9
K1HBK50CQ901a XJ01	Rauchgas - O_2 -Gehalt nach Eco Linie A/B	$\%\text{O}_2$	7,7
K1HNA90CQ901 XJ01	Abgas - Feuchte vor Kamin	$\%$	18,5
K1HBK10EE601 XJ01	Rauchgas - Feuerraum Rechts/Links Druck	mbar	-0,5



Studie zur Durchsatzerhöhung der Rauchgasreinigung hinter K1 im MHKW Kempten



23. April 2020
Rev. 0
Seite 9 von 40

Kapitel 2: Ermittlung des Status Quo

K1HBK50CF901 XJ01	Rauchgas - Durchfluss nach Eco	Nm ³ /h	-86,5
K1HLB00CF901 XJ01	Summe Verbrennungsluft	m ³ /h	60.076,4
K1HNA01CP001c XJ01	Dr Abgas nach Kessel	mbar	-4,9
K1HTA40CP002 XJ01	Differenzdruck GGWT 1 Rohg.	mbar	7,3
K1HTA10CP001 XJ01	Differenzdruck Abgas HCl-Abso	mbar	22,2
K1HTD01CT901nF XJ01	Temp Quencher 2oo3	°C	64,0
K1HTA40CP001 XJ01	Differenzdruck GGWT 1 Reig.	mbar	7,5
K1HTD20CP001 XJ01	Differenzdruck SO ₂ -Absorber	mbar	10,6
K1HNA40CT001b XJ01	Temperatur Rauchgas nach DAGAVO	°C	125,0
K1HNA40CF901nF XJ01	Durfl vor Saugzug 1 - Korr	m ³ /h	70.155,1
K1HNA40CP001 XJ01	Dr Abgas vor Saugzug 1	mbar	-63,3
K1HNA40CT001nF XJ01	Temp hinter ADAGAVO Reingas	°C	124,2
K1HTA40CP001 XJ01	Differenzdruck GGWT 1 Reig.	mbar	7,5
K1HNA50CP001 XJ01	Dr Abg hi Saugzug 1	mbar	-0,5
K1HNA50CT001 XJ01	Temp vor GGWT 2 Rohgas	°C	133,6
K1HNC10CS001 XJ01	Drehzahl Saugzug 1	U/min	1.321,7
K1HSA01CT001 XJ01	Temp hinter GGWT 2 Rohgas	°C	198,3
K1HSA03CT901nF XJ01	Temp Abgas vor Reaktor 2oo3	°C	189,0
K1HSA05CT951 XJ01	Temp Abgas hinter Reaktor 2oo3	°C	224,0
K1HSD10CT001 XJ01	Temp SCR-Katalysator	°C	224,3
K1HSD10CT002 XJ01	Temp OXI-Katalysator	°C	228,6
K1HSD10CT003 XJ01	Temp nach WT-DAGAVO	°C	229,0
K1HNA60CQ001 ZJ01	O ₂ Reingas hi KAT	Vol%	8,7
K1HSA01CT001 XJ01	Temp hinter GGWT 2 Rohgas	°C	198,3
K1HSA02CP001 XJ01	DiffDr Trägergasgebläse ABG	mbar	39,9
K1HNA55CP001 XJ01	DiffDr Bypassklappe vor Denox	mbar	29,5
K1HNA55CP002 XJ01	DiffDr Bypassklappe hinter Denox	mbar	25,5
K1HSA03CT901nF XJ01	Temp Abgas vor Reaktor 2oo3	°C	189,0
K1HSD10CT002 XJ01	Temp OXI-Katalysator	°C	228,6
K1HNA60CT901 XJ01	Temperatur Rauchgas nach Vorwärmer 3	°C	135,1
K1HNA60CT001 XJ01	Temp Abgas hinter GGWT 2 Reingas	°C	134,2
K1HRD10CP001 XJ01	Differenzdruck Gewebefilter	mbar	10,8
K1HRD11CT001 XJ01	Temp1 Trichter Kammer 1	°C	134,4
K1HRD11CT002 XJ01	Temp2 Trichter Kammer 1	°C	134,9
K1HRD11CT003 XJ01	Temp3 Trichter Kammer 1	°C	133,4
K1HRD12CT001 XJ01	Temp1 Trichter Kammer 2	°C	133,4
K1HRD12CT002 XJ01	Temp2 Trichter Kammer 2	°C	134,1
K1HRD12CT003 XJ01	Temp3 Trichter Kammer 2	°C	133,3
K1HNA70CP001 XJ01	Dr hi FlstrAdso	mbar	-54,2
K1HNA70CT001 XJ01	Temp Abgas hinter Flugstromadsorber	°C	133,2
K1HNC20CS001 XJ01	Drehzahl Saugzug 2	U/min	1.301,2

** Wert aus PLS ist NICHT plausibel und wurde nicht für die Bilanzierung verwendet



Kapitel 2: Ermittlung des Status Quo

Zusätzlich wurden zur Vervollständigung der Drucksituation am Saugzug 2 der Druck hinter Saugzug 2 sowie zur Überprüfung der Drucksituation am Saugzug 1 der Unterdruck vor Saugzug 1 über ein mobiles Messgerät an vorhandenen Stutzen ermittelt.

Dabei wurde auf Grund dieser Messungen festgelegt, dass von einer Druckerhöhung nach SZ 2 von 3 mbar auszugehen ist und dass der im PLS geschriebene Unterdruck auf Grund der Abweichungen der beiden Messungen um 3 mbar nach oben zu korrigieren ist.

Diese Anpassungen werden für die Erstellung der Bilanz des Istzustandes entsprechend berücksichtigt.

2.2 Rückbilanzierung des Status Quo

Für die Ermittlung des Status Quo wurden für die Komponenten der Rauchgasreinigung nach Kessel Massen- und Energiebilanzen erstellt und die einzelnen Ergebnisse im Rahmen einer Gesamtbilanz der Rauchgasreinigung betrachtet.

Ausgehend von den gemessenen Rauchgasparametern am Kamin wurden die Bilanzierungen über die Komponenten hinweg bis zum Kesselaustritt zurückgerechnet.

2.2.1 Volumenstrom am Kamin

Ausgehend von dem Betriebsvolumenstrom am Kaminaustritt, sowie der ermittelten Rauchgasfeuchte, der Rauchgastemperatur und des Druckes ergibt sich der normierte, trockene Volumenstrom nach

$$\dot{V}_{i.N.tr.} = \frac{\dot{V}_{Kamin} * p_{Kamin} * T_{Norm}}{p_{Norm} * T_{Kamin}} * (100\% - c(H_2O)_{Kamin})$$

zu

$$\dot{V}_{i.N.tr.} = 52.110 \text{ m}^3/h \text{ (im Mittel über den betrachteten Zeitraum)}$$

am Kamin. Dieser Volumenstrom wird auch so für die Emissionsmessung aus den am Kamin gemessenen Daten ermittelt. In der anlageneigenen Beschreibung wird dieser Wert jedoch als „Abgas - Volumenstrom vor Kamin (feucht)“ angegeben. Diese Bezeichnung ist jedoch nicht zutreffend und wurde in der Tabelle 1 abgeändert.

Es wird im Weiteren ohne zusätzliche Anpassungen der aus dem Emissionsrechner ausgegebene Wert mit der KKS-Nummer K1HNA90CF901 für den normierten, trockenen Volumenstrom am Kamin berücksichtigt.

2.2.2 Zuluftvolumenströme in die RGR und absolute Feuchte nach Wäscher

Da es keine Erfassung der im Prozess zugeführten Zuluftvolumenströme gibt, diese aber prozessbedingt sowohl bei der DeNox-Einheit im Rahmen der Ammoniakverdüsung als auch am Gewebefilter bei der Additivdosierung und der Abreinigung der Filterschläuche zu berücksichtigen sind, wurden für diese Größen unter Berücksichtigung der Rauchgasfeuchte folgender Ansatz gewählt:

Ausgehend von der gemessenen Sättigungstemperatur im Wäscher sowie der Eintrittstemperatur in den Wäscher lässt sich die absolute Feuchte rechnerisch bestimmen, die das Abgas

Kapitel 2: Ermittlung des Status Quo

nach Wäscher aufweist. Die Abweichung zu dem am Kamin gemessenen Wert der absoluten Abgasfeuchte lässt die rechnerische Bestimmung eines Gesamtzuluftvolumenstroms zu. Dabei entspricht die über die kontinuierlichen Messungen abzuleitende Sättigungstemperatur in der Quench von ca. 64 °C einer absoluten Rauchgasfeuchte von etwa 24,4 %. Dem gegenüber steht eine über die Emissionsmessung erfasste absolute Feuchte am Kamin von ca. 18,5 %. Der sich daraus rechnerisch ergebende Zuluftvolumenstrom läge gemäß einer Verdünnungsrechnung bei einer mittleren absoluten Feuchte der Zuluft von 0,5 % nach der Formel

$$\dot{V}_{Zuluft} = \frac{\dot{V}_{Kamin} * (Feuchte_{Kamin} - Feuchte_{Wäscher})}{(Feuchte_{Zuluft} - Feuchte_{Wäscher})}$$

bei 24,7 % des Gesamtvolumenstroms, der am Kamin gemessen wird.

Dieser Wert erscheint sowohl dem Anlagenbetreiber als auch der ete.a auf Grund der langjährigen Erfahrung mit entsprechenden Rauchgasreinigungsanlagen als deutlich zu hoch.

Aus diesem Grunde wurde die Temperaturmessung am Wäscher kritisch hinterfragt.

Nach Angaben des Betreibers liegen die Werte bei Vor-Ort-Messungen der Abschlämmung aus dem SO₂-Wäschersumpf durchgehend bei 60 °C, während die kontinuierliche Messung, die dem System zu entnehmen ist aus dem HCl-Wäscher stammt, wo auf Grund der hohen Salzsäurefrachten die eigentliche Sättigungstemperatur noch nicht erreicht ist.

Somit wird für die weitere Betrachtung von einer Sättigungstemperatur von 60 °C im Wäscher ausgegangen, was einer rechnerischen absoluten Feuchte nach Wäscher von 20 % entspricht.

Demnach kann ein Zuluftvolumenstrom von insgesamt ca. 4.800 m³/h _{i.N.} rechnerisch ermittelt werden, der für die weitere Bilanzierung des Status Quos auf Grundlage von Erfahrungen mit anderen Anlagen wie folgt aufgeteilt wird:

- Zuluft DeNox-Anlage: 1.300 m³/h _{i.N.}
- Zuluft Gewebefilter: 3.500 m³/h _{i.N.}

Neben der Zuluftsituation kann über die Feuchte nach Wäscher sowie dem Ansatz der Verdampfungskühlung in der Ersten Wäscherstufe die Eintrittsfeuchte des Rauchgases nach Kessel ermittelt werden. Ausgehend von einer Abgastemperatur von 60°C im Wäscher und einer Eintrittstemperatur von ca. 160°C nach dem Wärmeübertrager ergibt sich entsprechend des Mollier-Diagrammes eine Eintrittsfeuchte des Rauchgases in den Wäscher und damit aus dem Kessel von ca. 14,6 % absoluter Feuchte.

2.2.3 Rauchgasparameter im Eintritt in die Rauchgasreinigung

Ausgehend von den bestimmten Zuluftvolumenströmen sowie den Temperaturmessdaten wurden nachfolgende Rauchgasparameter im Eintritt in die Rauchgasreinigung für die Bilanzierung festgelegt:

Volumenstrom \dot{V} = 47.310 m³/h (i.N.tr.) (Rückrechnung aus Messdaten)

Absolute Feuchte = 14,6 % (ermittelt über Mollier-Diagramm)

Eintrittstemperatur T = 226 °C

Dabei wurde die Rauchgastemperatur für die Betrachtung bewusst mit 226 °C etwa 10 K höher angesetzt als im mittleren Betrieb, um den Zustand zum Ende der Reisezeit zu berücksichtigen. Das zur Verfügung gestellte Datenmaterial wurde zu diesem Zweck in Bezug auf die Eintrittstemperaturen durch Einsatz eines Filters auf Datensätze reduziert, bei denen die Eintrittstemperatur größer als 220 °C war. Die korrespondierenden neuen Mittelwerte der gemessenen Differenzdrücke der einzelnen Komponenten liegen dabei ebenfalls durchgehend über den Mittelwerten der ursprünglichen Gesamtdatensätze.

2.2.4 Gesamtbilanz Status Quo

Die Übersicht über die gesamten Daten der Bilanzierung des Staus Quos ist in der Tabelle im Anhang 1 zusammengefasst.

In der Abbildung 2 sind der Verlauf der Differenzdrücke und der Betriebsvolumenströme über die Rauchgasreinigung hinweg für die Ist-Situation dargestellt.

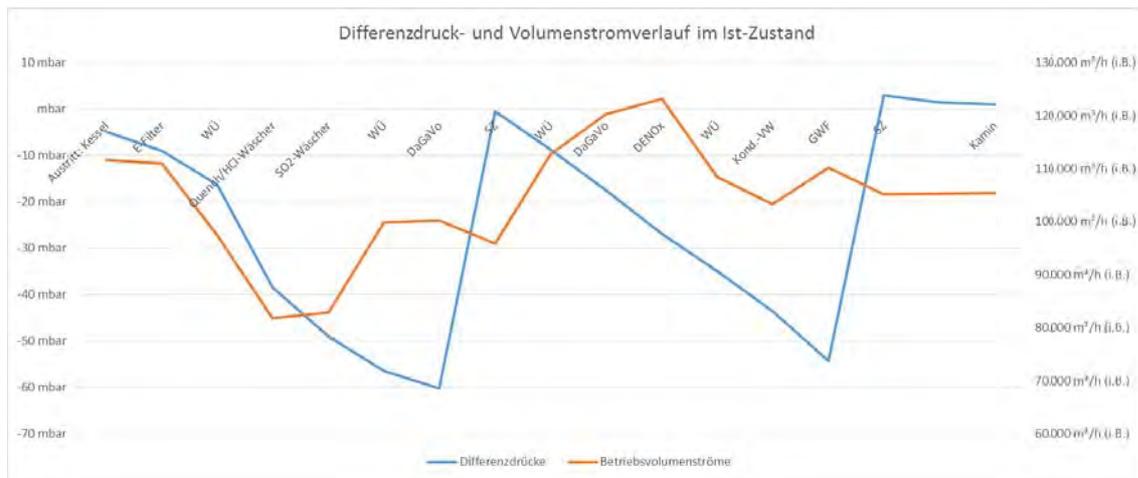


Abbildung 2: Differenzdruck- und Betriebsvolumenstromverlauf der Ist-Situation

Mit den Daten für den Status Quo kann auch die Auslastung der beiden installierten Saugzüge im derzeitigen Betrieb sowie mögliche Reserven ermittelt werden.

Bei den Saugzügen handelt es sich um baugleiche Gebläse des Typs 52572 KKK 81000 der Firma Piller.

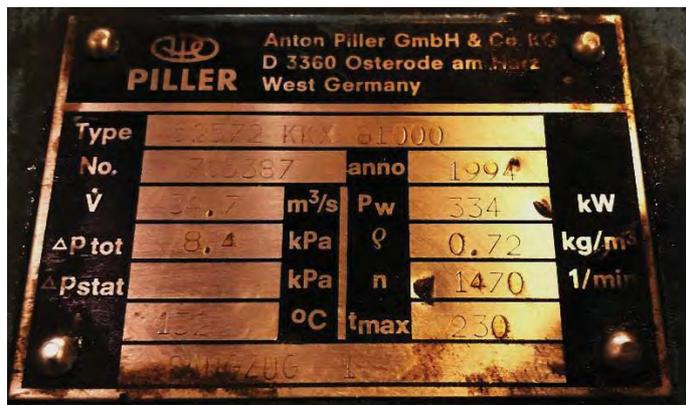


Abbildung 3: Typenschild Saugzug 1, Rauchgasreinigung K1 [2]

Kapitel 3: Bilanzierung der Durchsaterhöhung

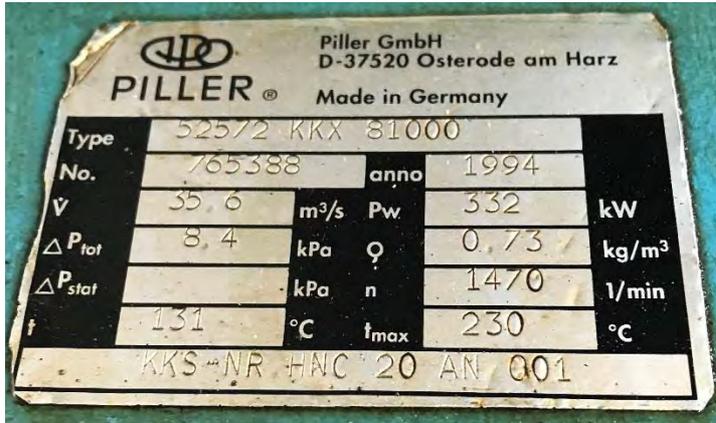


Abbildung 4: Typenschild Saugzug 2, Rauchgasreinigung K1 [2]

Dazu wird die Kennlinie der Saugzüge aus der Anlagendokumentation des Betreibers zu Grunde gelegt.

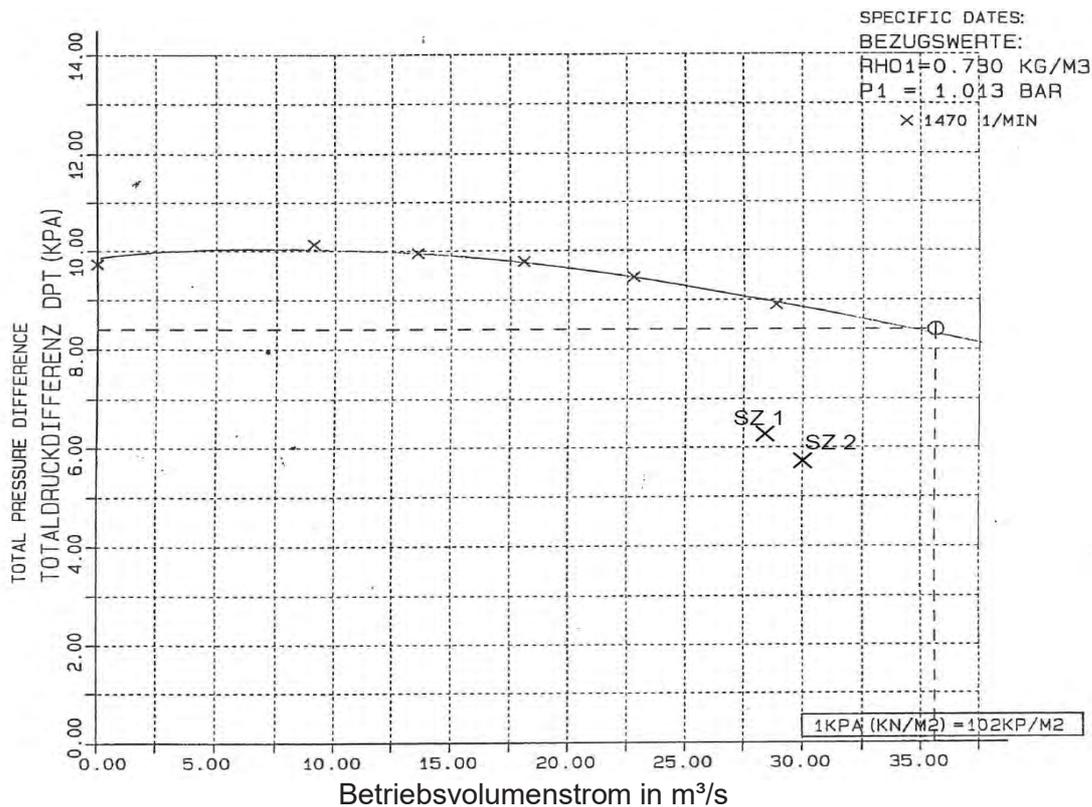


Abbildung 5: Betriebspunkte der Saugzüge SZ 1 und SZ 2 für den Status Quo innerhalb der Gebläsekennlinie [5]

Die ermittelten Betriebspunkte der beiden Saugzüge liegen für den mittleren Betrieb unterhalb der typenspezifischen Gebläsekennlinie. Demzufolge sind für den normalen Betrieb ausreichende Reserven für die beiden Saugzüge auch bei Lastschwankungen vorhanden.

3 Bilanzierung der Durchsatzerhöhung

Entsprechend der Rücksprache mit dem Betreiber wird eine Durchsatzerhöhung für die Rauchgasreinigung betrachtet, die einer Zunahme des Eintrittsvolumenstroms von +10 % entspricht.

Für diesen 110%-Volumenstromlastfall wurde im Weiteren die Annahme einer nochmals um 14 K erhöhten Eintrittstemperatur in die Rauchgasreinigung festgelegt, um eine etwaige Minderung der Wärmeaufnahme im ECO zu berücksichtigen.

Die Bilanzierung erfolgt demnach mit einer Eintrittstemperatur von 240 °C nach Eco.

Über das tatsächlich zu erwartende Verhalten des Kessels, das durch die Firma Wehrle als Kesselbauer bewertet wird, lagen bis zu dem Zeitpunkt der Erstellung dieses Berichtes keine berechneten Daten aus entsprechenden Bilanzierungen vor, sodass der oben beschriebene konservative Ansatz für die Bilanzierung gewählt wurde.

Im Anhang 2 sind die Ergebnisse der Bilanzierung eines 110-% Lastfalls tabellarisch zusammengefasst.

Dabei wurden die zu einzelnen Differenzdrücke über die Komponenten ausgehend von den Werten aus der Ist-Bilanz über den Ansatz

$$p_{neu} = p_{alt} * \left(\frac{V_{neu}}{V_{alt}} \right)^2$$

berechnet.

Eine Ausnahme stellt der Differenzdruck über die Quench/HCl-Wäscher dar. Hier wurde konservativ auch nach Rücksprache mit dem Quenchlieferanten (siehe dazu Kapitel 3.1.1) ein Wert von 29 mbar angesetzt. Modifikationen der Quench wurden dabei zunächst nicht berücksichtigt.

Kapitel 3: Bilanzierung der Durchsaterhöhung

In Abbildung 6 werden sowohl die geänderten Volumenströme als auch die sich rechnerisch ergebenden Druckdifferenzen der einzelnen Rauchgasreinigungskomponenten in den beiden bilanzierten Betriebsfällen gegenübergestellt.

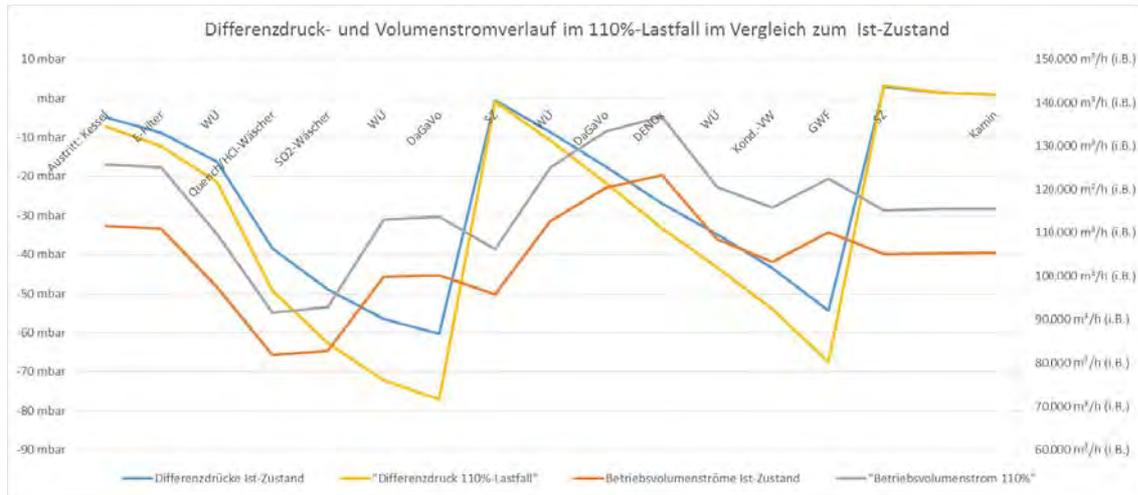


Abbildung 6: Gegenüberstellung der Differenzdrücke und der Volumenströme

3.1 Auswirkung der Durchsatzerhöhung auf die einzelnen Komponenten der RGR

Grundsätzlich ist nach der vorliegenden Anlagendokumentation davon auszugehen, dass alle in der Rauchgasreinigung verbauten Komponenten auf einen 110%-Lastfall mit einem feuchten Volumenstrom von ca. 69.600 m³/h ausgelegt wurden.

1.3 AUSLEGUNGSDATEN

Rauchgasdaten nach Kessel

- Last	%	100	110
- Abgastemperatur nach Kessel	°C	max. 220	max. 220
- Abgasvolumenstrom, feucht	m ³ /h i.N.	60.550	69.605
- Druck	mbar	-4	-5
- Auslegungsunterdruck Kessel	mbar	-20	
- Abgaszusammensetzung:			
O ₂ (i.N., f.)	Vol.-%	8,52	
CO ₂ (i.N., f.)	Vol.-%	9,07	
H ₂ O (i.N., f.)	Vol.-%	12,01	
N ₂ (i.N., f.)	Vol.-%	70,33	
Schadstoffe (i.N., f.)	Vol.-%	0,07	

Abbildung 7: Auszug aus den Auslegungsdaten; Fa. Noell 1996 [8]

Demgegenüber steht der für den rechnerischen Ansatz berücksichtigte trockene Volumenstrom nach Eco von ca. 52.100. Bei einer absoluten Feuchte von 14,6 % entspricht dies einem feuchten Volumenstrom von ca. 61.000 m³/h.

Dieser liegt damit unter dem genannten Volumenstrom aus den Auslegungsunterlagen, sodass in einer ersten Abschätzung genügend Reserven der einzelnen Komponenten angenommen werden können.

Darüber hinaus wurde im Unterschied zum Auslegungszustand die Betriebstemperatur des Katalysators in der Vergangenheit von ca. 300°C auf 230°C herabgesetzt. Dadurch wurde der Betriebsvolumenstrom am Katalysator und damit die Durchströmungsgeschwindigkeit der Katalysatorelemente reduziert. Dies resultiert in einem etwas geringeren Druckverlust gegenüber dem Auslegungszustand. Auf dieser Basis stellt eine Volumenstromerhöhung um 10 % zwar eine geringfügig Druckzunahme gegenüber dem Ausgangszustand dar ohne dass jedoch ein



Kapitel 3: Bilanzierung der Durchsatzerhöhung

kritische Situation für den Katalysatorbetrieb als solchen erreicht wird. Die Stickoxidminderung sollte dadurch nicht in relevantem Maße beeinflusst werden.

Im Weiteren soll die Auswirkung der Durchsatzerhöhung auf Basis der rechnerisch ermittelten Daten auf einzelne Komponenten der Rauchgasreinigung betrachtet werden, die als Engpass für die Durchsatzerhöhung angenommen werden können.

3.1.1 Auslastung der Pfeifenquench

Die installierte Pfeifenquench kann aus zwei Gründen eine limitierende Größe für die Lasterhöhung darstellen:

- Generelle Begrenzung des Durchsatzes in Folge der Bauform
- Überhöhter Druckverlust, der zur Überlastung des zugehörigen Saugzuges führt

Beide Aspekte wurden dem Anlagenbauer SGL Carbon als Lieferant der Pfeifenquench auf Basis der rechnerisch ermittelten Eintrittsvolumenströme zur Prüfung vorgelegt.

Die Rückmeldung des Anlagenbauers wird im Folgenden zusammengefasst:

Die verbaute Quench bietet ausreichende Auslegungsreserven, sodass der erhöhte Volumenstrom die Funktionalität des Bauteils nicht beeinträchtigt.

Es erfolgte eine Bilanzierung der Quench inkl. des HCl-Wäschers (auf Basis der vorliegenden Wäscherzeichnungen) durch den Anlagenbauer zur Verifizierung der durch die ete.a bilanzierten Druckverluste über die erste Wäscherstufe. Die ermittelte Größenordnung konnte bestätigt werden, es ist nicht von einer deutlichen Zunahme des Druckverlustes durch die Durchsatzerhöhung an der Quench laut Hersteller auszugehen.

Tabelle 2 fasst die rechnerischen Ergebnisse der Bilanz der SGL Carbon zusammen.

Tabelle 2: Zusammenfassung der Rückbilanzierung der Pfeifenquench durch die Firma SGL Carbon [4]

	Gemessen	Berechnet auf Basis Betriebswerte	Scale-Up auf Basis der Betriebswerte
Betriebsvolumenstrom	98947,8 m ³ /h (56100 m ³ /h i.N.)	100000 m ³ /h (56697 m ³ /h i.N.)	115000 m ³ /h (65201 m ³ /h i.N.)
Druckverlust	23 mbar (inkl. Wäscher)	Wäscher: 10 – 15 mbar Druckverlust der Quenche muss im Bereich 5-10 mbar betragen, sodass in Summe 23 mbar Druckverlust gemessen werden	Wäscher: 13 – 18 mbar Druckverlust der Quenche wird voraussichtlich im Bereich 10-15 mbar betragen Summe Druckverlust Quenche + Wäscher wird ca. 29 mbar betragen

Darüber hinaus ergab die Prüfung der Quenchzeichnung, dass entsprechend einer schriftlichen Bemerkung die verbaute Pfeifenquench ein anderes Kronen-Design aufweist als auf der Zeichnung dargestellt.

Kapitel 3: Bilanzierung der Durchsatzerhöhung

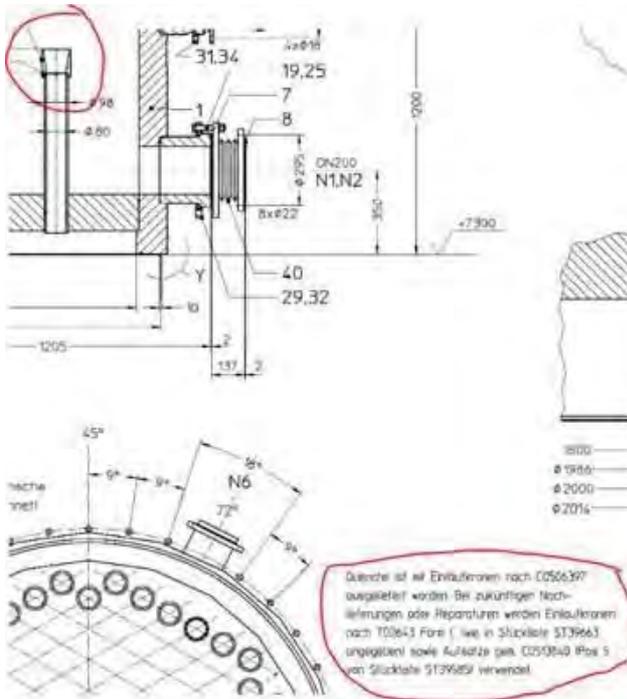


Abbildung 8: Ausschnitt Quenzzeichnung SGL Carbon für die Quench K1 MHKW Kempten

Nach Angaben des Anlagenbauers bedeutet dies, dass keine Kappen auf den Überlaufkronen verbaut sind. Ohne Kappen verursachen die Überlaufkronen einen höheren Druckverlust. Im Rahmen einer Umsetzung der Durchsatzerhöhung sollte demnach geprüft werden, ob tatsächlich diese Ausführung des Pfeifenquench so vorliegt, wie sie derzeit der Dokumentation bzw. der Zeichnung zu entnehmen ist und bei tatsächlichem Fehlen im Sinne einer Reduzierung des Differenzdruckes die Nachrüstung der durch den Lieferanten angesprochenen Kappen angestrebt werden.



Abbildung 9: Pfeifenquench RGR MHKW Kempten [2]

Kapitel 3: Bilanzierung der Durchsatzerhöhung

Gleichzeitig wurden die vorliegenden Betriebsdaten hinsichtlich der Differenzdrucksituation am HCl-Wäscher bei unterschiedlichen Volumenströmen untersucht.

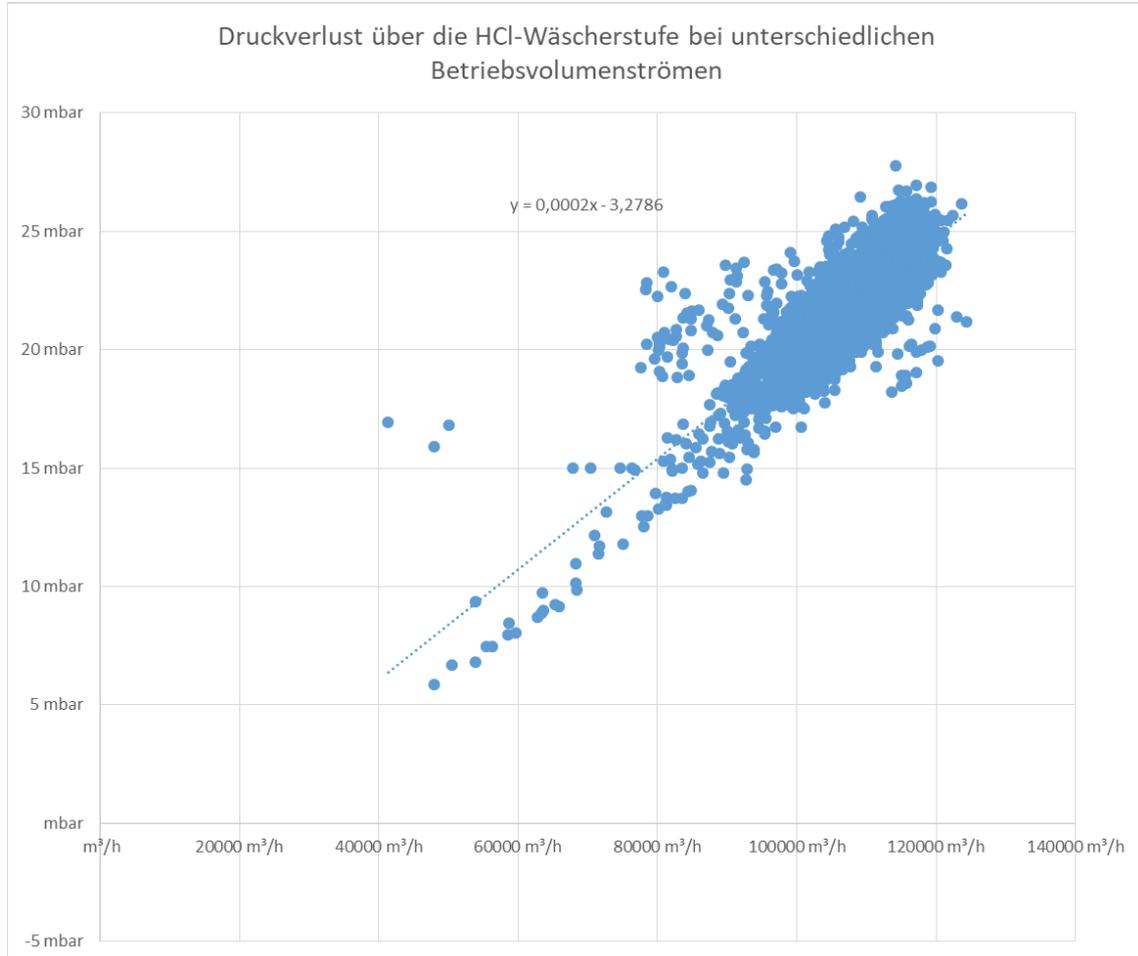


Abbildung 10: Differenzdruckentwicklung am HCl-Wäscher gemäß Betriebsdatenerfassung

Abbildung 10 zeigt, dass die Zunahme des Differenzdruckes linear verläuft und auch bei großen Volumenströmen keine exponentielle Zunahme aus den Betriebsdaten entnommen werden kann. Der zu Grunde gelegte Betriebsvolumenstrom bezieht sich auf den Zustand des Rauchgases am Eintritt in die Rauchgasreinigung und wurde aus den Betriebsdaten bei einer angenommenen Rauchgasfeuchte von 14,6 % nach Kessel berechnet.

3.1.2 Auslastung der Saugzüge beim 110%-Lastfall

Die Beurteilung der Auslastungssituation der Saugzüge (kurz SZ) erfolgt an Hand der Saugzug-Kennlinie.

In der Abbildung 11 sind die neuen Betriebspunkte der beiden Saugzüge wie auch die Betriebspunkte der Ist-Situation in die Kennlinie eingetragen.

Dabei fällt auf, dass die Betriebspunkte zwar noch unterhalb der Kennlinie liegen und damit grundsätzlich dieser berechnete Betriebszustand mit den heute eingebauten Saugzügen gefahren werden kann, dass aber entsprechend der vorgegebenen Kennlinie kaum Reserven für etwaige zusätzliche Lastschwankungen vorhanden sind.

Kapitel 3: Bilanzierung der Durchsatzerhöhung

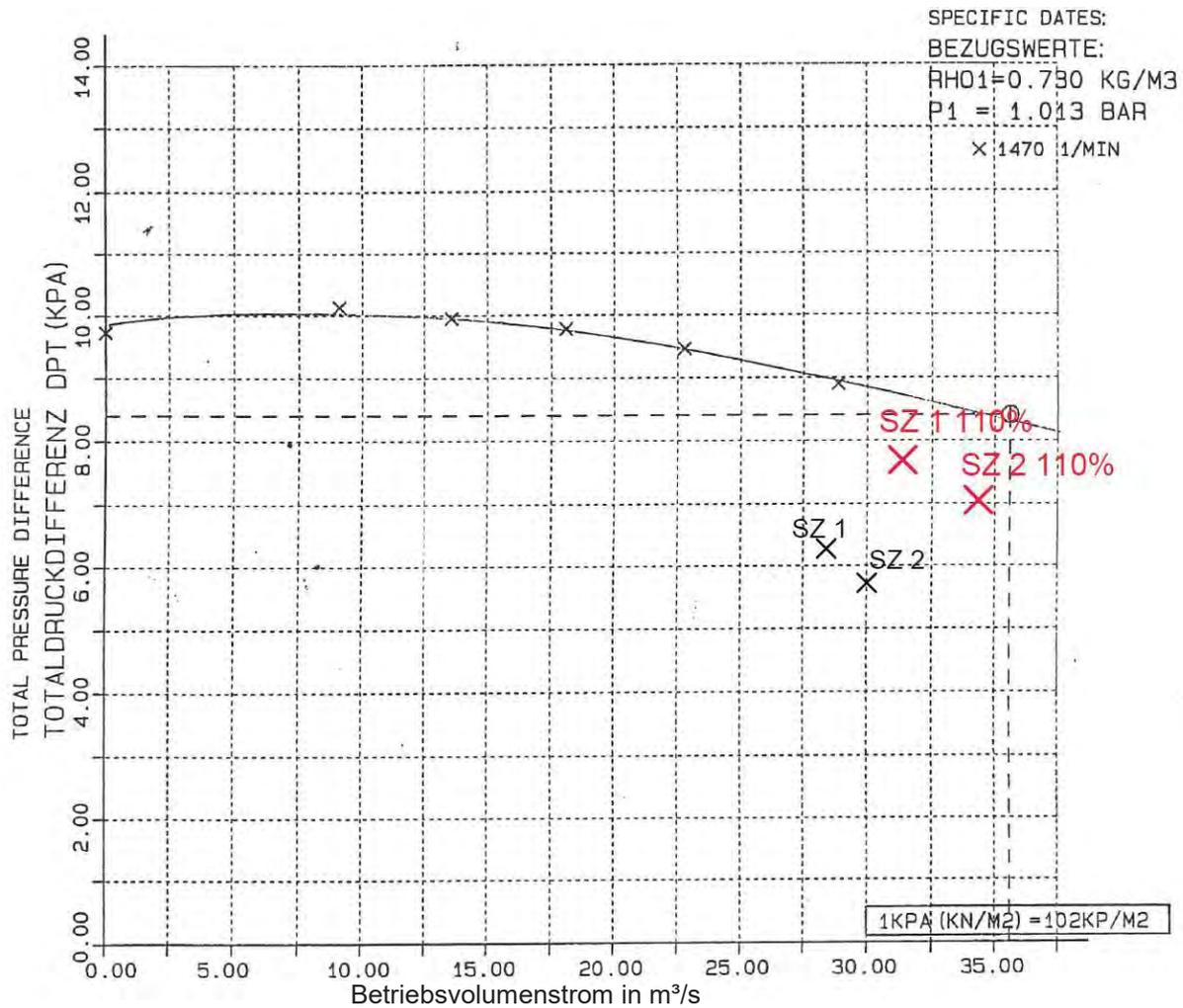


Abbildung 11: Betriebspunkte der Saugzüge SZ 1 und SZ 2 für den Status Quo innerhalb der Gebläsekennlinie [5]

Dies gilt insbesondere für den SZ 1. Der Abstand des rechnerisch ermittelten Betriebspunktes zu Gebläsekennlinie beträgt weniger als 10 mbar. In der Regel wird empfohlen für einen Dauerbetrieb für den jeweiligen Betriebspunkt mindestens 5 mbar-10 mbar Abstand zur Gebläsekennlinie einzuhalten.

Für den SZ 2 ergibt sich aus dem Diagramm eine geringfügige Reserve, sodass für den Gesamtbetrieb erwogen werden könnte, durch eine Anpassung der Fahrweise des SZ 2 den SZ 1 gegebenenfalls zu entlasten.

Insgesamt sollte der tatsächliche Betrieb der Saugzüge bei den rechnerisch ermittelten Betriebsdaten möglich sein, wobei noch vorhandene Auslegungsreserven in diesem Fall ausgeschöpft werden. Es ist jedoch zu berücksichtigen, dass Lastschwankungen in dieser Betrachtung nicht vollumfänglich berücksichtigt werden können. Insbesondere die Einzelauswertung der Drehzahlentwicklungen der Saugzüge legt nahe zur Sicherstellung des Anlagenbetriebes



Kapitel 3: Bilanzierung der Durchsatzerhöhung

bei Lastschwankungen Maßnahmen zur Leistungssteigerung der Saugzüge bei der Umsetzung der geplanten Lastanhebung vorzusehen.

Durch das Betriebspersonal wurde im Rahmen des Startgespräches angegeben, das es in der Vergangenheit bei erhöhten Rauchgasvolumenströme insbesondere am SZ 2 zu Problemen gekommen sei. Da im 100%-Lastbetrieb der SZ 2 gemäß der Gebläsekennlinie eigentlich über ausreichende Reserven verfügt, wird empfohlen auch die jeweilige Regelung der beiden Saugzüge als mögliche Ursache für die Probleme für zu überprüfen.

Vor dem Hintergrund der Rückmeldungen aus der Anlage wurden sowohl die Betriebsdaten der Anlage als auch die berechneten Daten der bilanzierten Durchsatzerhöhung der Firma Piller als Hersteller der eingesetzten Saugzüge vorgelegt. Durch den Hersteller wurde an Hand der ihm vorgelegten Daten zu Betrieb und Aufstellungsort die Auslegung überprüft sowie die Kennlinie für die verbauten Saugzüge neu erstellt (siehe Abbildung 12: Saugzugkennlinie bei unterschiedlichen Drehzahlen für den am Standort Kempten eingesetzten Saugzug 1 [8]Abbildung 12 und Abbildung 13).

Dabei konnte durch den Hersteller festgehalten werden, dass die in der Anlagendokumentation enthaltene Kennlinie mit den neu erstellten Kennlinien gut übereinstimmt und somit für die Beurteilung der Saugzüge zu Grunde gelegt werden kann.

Berechnung SZ 1 Istzustand [8]

1 Radial-fan type 52572 KXX 81000

Data SZ 1

<i>Conveyed medium</i>	<i>Gas</i>	
<i>Elevation over sea level</i>	<i>700</i>	<i>m</i>
<i>Ambiant pressure at installation height ..</i>	<i>931.89</i>	<i>mbar</i>
<i>Mass flow</i>	<i>74371.0</i>	<i>kg/h</i>
<i>Volume flow at operation</i>	<i>104461.492</i>	<i>m³/h</i>
<i>Density at 0 deg.c / 1013.2 mbar</i>	<i>1.240</i>	<i>kg/m³</i>
<i>Volume flow</i>	<i>29.017</i>	<i>m³/s</i>
<i>Inlet pressure</i>	<i>866.09</i>	<i>mbar</i>
<i>Suction temperature</i>	<i>133.5</i>	<i>C°</i>
<i>Density at operation</i>	<i>0.712</i>	<i>kg/m³</i>
<i>Total pressure difference</i>	<i>6.76</i>	<i>kPa</i>



Kapitel 3: Bilanzierung der Durchsatzerhöhung

<i>Static pressure difference</i>	6.66	kPa
<i>Total pressure difference at density 1.2 kg/m³</i>	11.45	kPa
<i>Efficiency grade</i>	84.3	%
<i>Shaft performance</i>	226.7	KW
<i>Shaft performance at density 1.2 kg/m³</i>	383.7	KW
<i>Fan speed</i>	1330	r.p.m

1 Radial-fan type 52572 KXX 81000

Data SZ 2

<i>Conveyed medium</i>	Gas	
<i>Elevation over sea level</i>	700	m
<i>Ambiant pressure at installation height ...</i>	931.89	mbar
<i>Mass flow</i>	79882.0	kg/h
<i>Volume flow at operation</i>	111706.539	m ³ /h
<i>Density at 0 deg.c / 1013.2 mbar</i>	1.250	kg/m ³
<i>Volume flow</i>	31.030	m ³ /s
<i>Inlet pressure</i>	878.89	mbar
<i>Suction temperature</i>	141.0	deg.c
<i>Density at operation</i>	0.715	kg/m ³
<i>Total pressure difference</i>	5.84	kPa
<i>Static pressure difference</i>	5.71	kPa
<i>Total pressure difference at density 1.2 kg/m³</i>	9.85	kPa
<i>Efficiency grade</i>	85.6	%
<i>Shaft performance</i>	207.1	KW
<i>Shaft performance at density 1.2 kg/m³</i>	349.0	KW
<i>Fan speed</i>	1260	r.p.m

Kapitel 3: Bilanzierung der Durchsaterhöhung

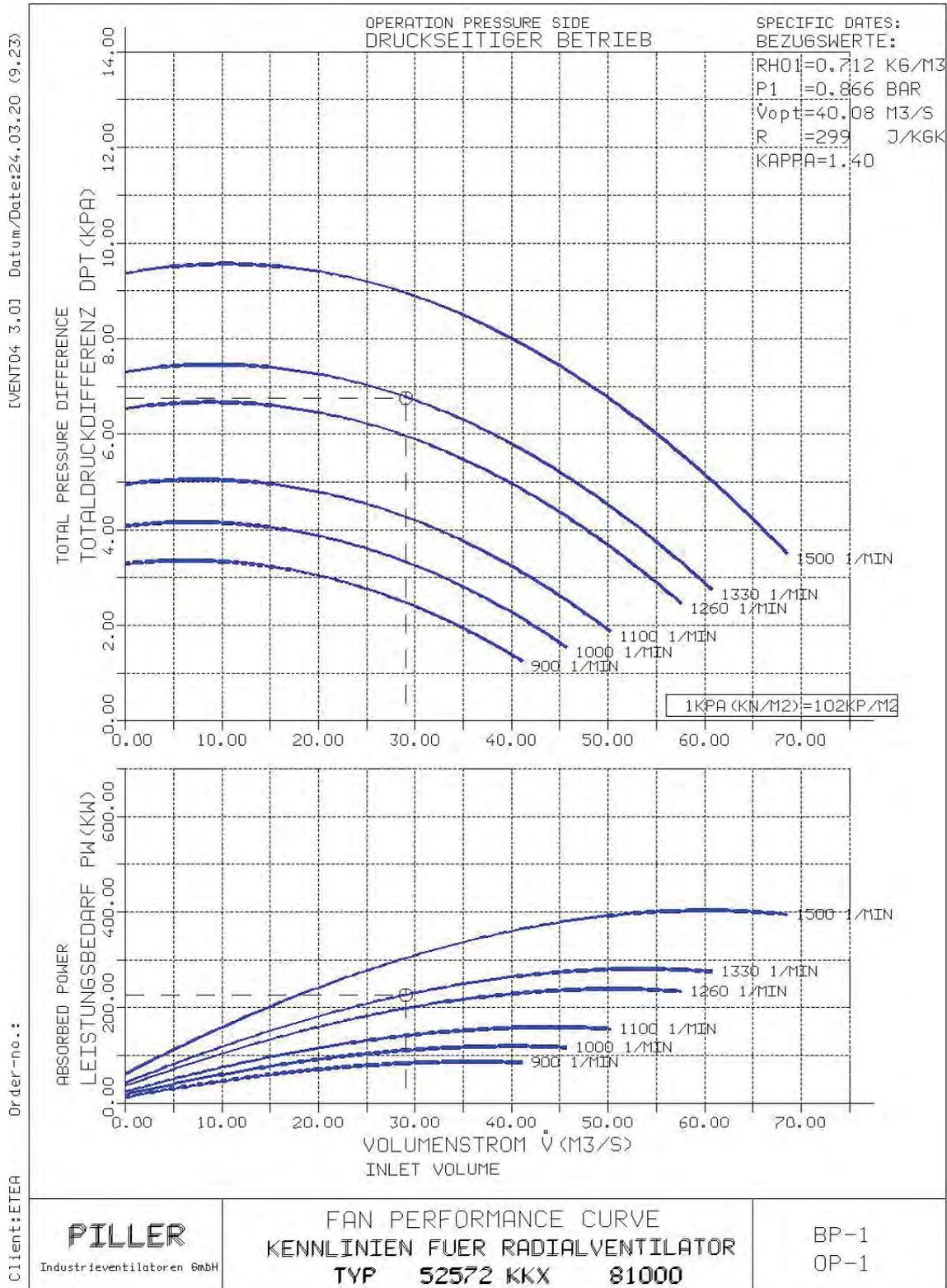


Abbildung 12: Saugzugkennlinie bei unterschiedlichen Drehzahlen für den am Standort Kempten eingesetzten Saugzug 1 [8]

Kapitel 3: Bilanzierung der Durchsaterhöhung

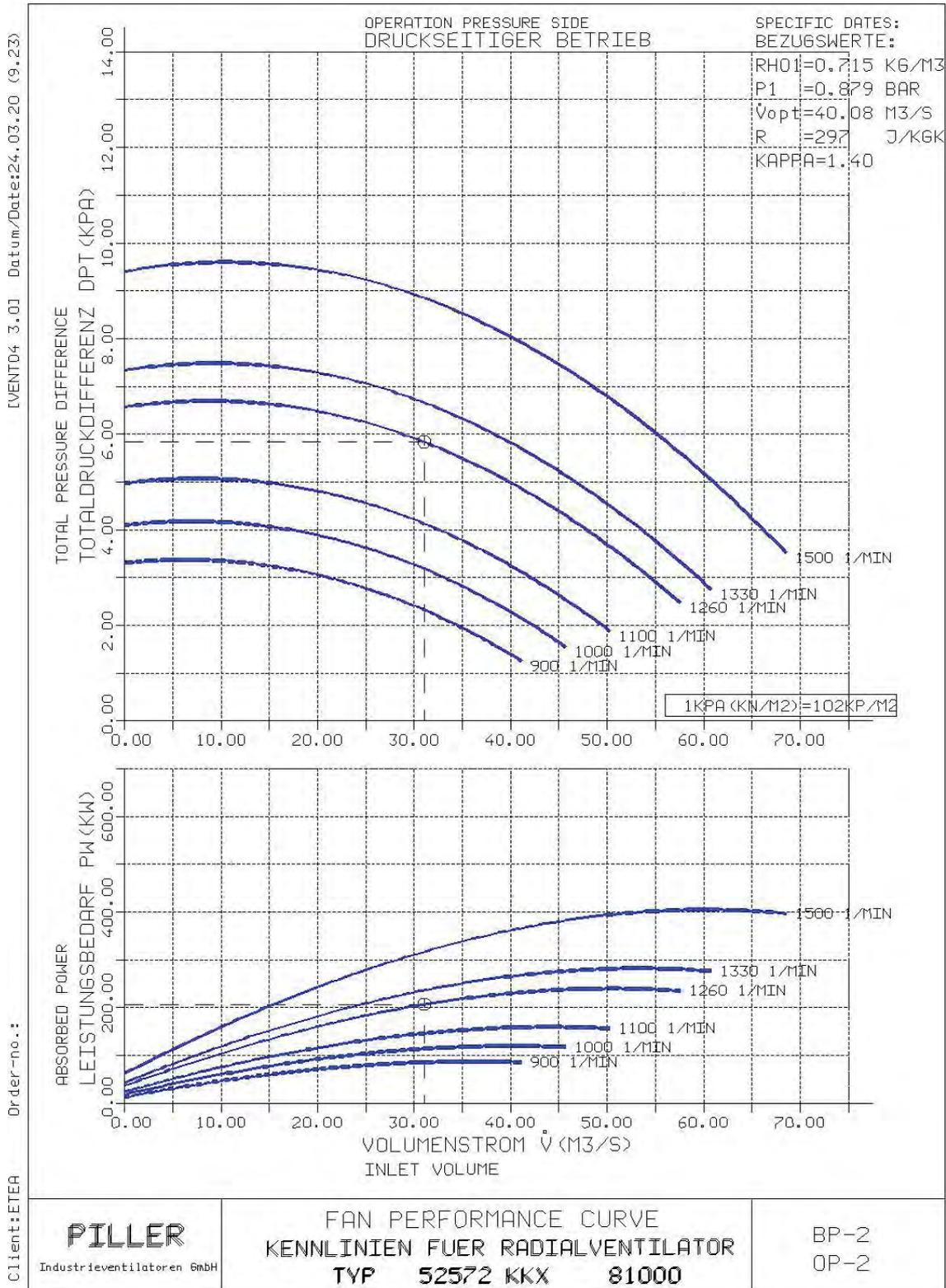


Abbildung 13: Saugzugkennlinie bei unterschiedlichen Drehzahlen für den am Standort Kempten eingesetzten Saugzug 2 [8]



Kapitel 3: Bilanzierung der Durchsatzerhöhung

Für den betrachteten Betriebszustand sieht der Hersteller für die Saugzüge ausreichende Reserven.

Die Prüfung der Eignung der eingebauten Saugzüge für die geplante Durchsatzerhöhung ergab folgende Ergebnisse [8]:

1 Radial-fan type 52572 KKK 81000

Operation pressure side	SZ 1 Durchsatzerhöhung	
Conveyed medium	Gas	
Elevation over sea level	700	m
Ambiant pressure at installation height ..	931.89	mbar
Mass flow	81373.0	kg/h
Volume flow at operation	116942.375	m ³ /h
Density at 0 deg.c / 1013.2 mbar	1.240	kg/m ³
Volume flow	32.484	m ³ /s
Inlet pressure	849.61	mbar
Suction temperature	135.0	deg.c
Density at operation	0.696	kg/m ³
Total pressure difference	8.28	kPa
Static pressure difference	8.13	kPa
Total pressure difference at density 1.2 kg/m ³	14.35	kPa
Efficiency grade	84.3	%
Shaft performance	308.9	KW
Shaft performance at density 1.2 kg/m ³	534.9	KW
Fan speed	1485	r.p.m

1 Radial-fan type 52572 KKK 81000

Operation pressure side	SZ 2 Durchsatzerhöhung	
Conveyed medium	Gas	
Elevation over sea level	700	m
Ambiant pressure at installation height	931.89	mbar



Kapitel 3: Bilanzierung der Durchsatzerhöhung

<i>Mass flow</i>	87407.0	kg/h
<i>Volume flow at operation</i>	124073.969	m ³ /h
<i>Density at 0 deg.c / 1013.2 mbar</i>	1.250	kg/m ³
<i>Volume flow</i>	34.465	m ³ /s
<i>Inlet pressure</i>	866.34	mbar
<i>Suction temperature</i>	141.2	deg.c
<i>Density at operation</i>	0.704	kg/m ³
<i>Total pressure difference</i>	7.27	kPa
<i>Static pressure difference</i>	7.09	kPa
<i>Total pressure difference at density 1.2 kg/m³</i>	12.43	kPa
<i>Efficiency grade</i>	85.6	%
<i>Shaft performance</i>	284.8	KW
<i>Shaft performance at density 1.2 kg/m³ ...</i>	487.1	KW
<i>Fan speed</i>	1410	r.p.m

Auf Basis dieser Daten ergeben sich für die Leistungserhöhung folgende Betriebspunkte innerhalb der geltenden Kennlinien (siehe Abbildung 14 und Abbildung 15) [8].

Aus Herstellersicht sind für die neuen, berechneten Betriebspunkte die Saugzüge im 110 %-Lastfall noch fahrbar. Die ursprünglich projektierte Drehzahl wird nicht überschritten und die jeweilige Leistung der Motoren mit jeweils 400kW sollte auch noch auskömmlich sein.

Unter Berücksichtigung zusätzlich auftretender Lastschwankungen wird auch von Seiten des Herstellers zu entsprechenden Ertüchtigungsmaßnahmen an den Saugzügen geraten.



Kapitel 3: Bilanzierung der Durchsaterhöhung

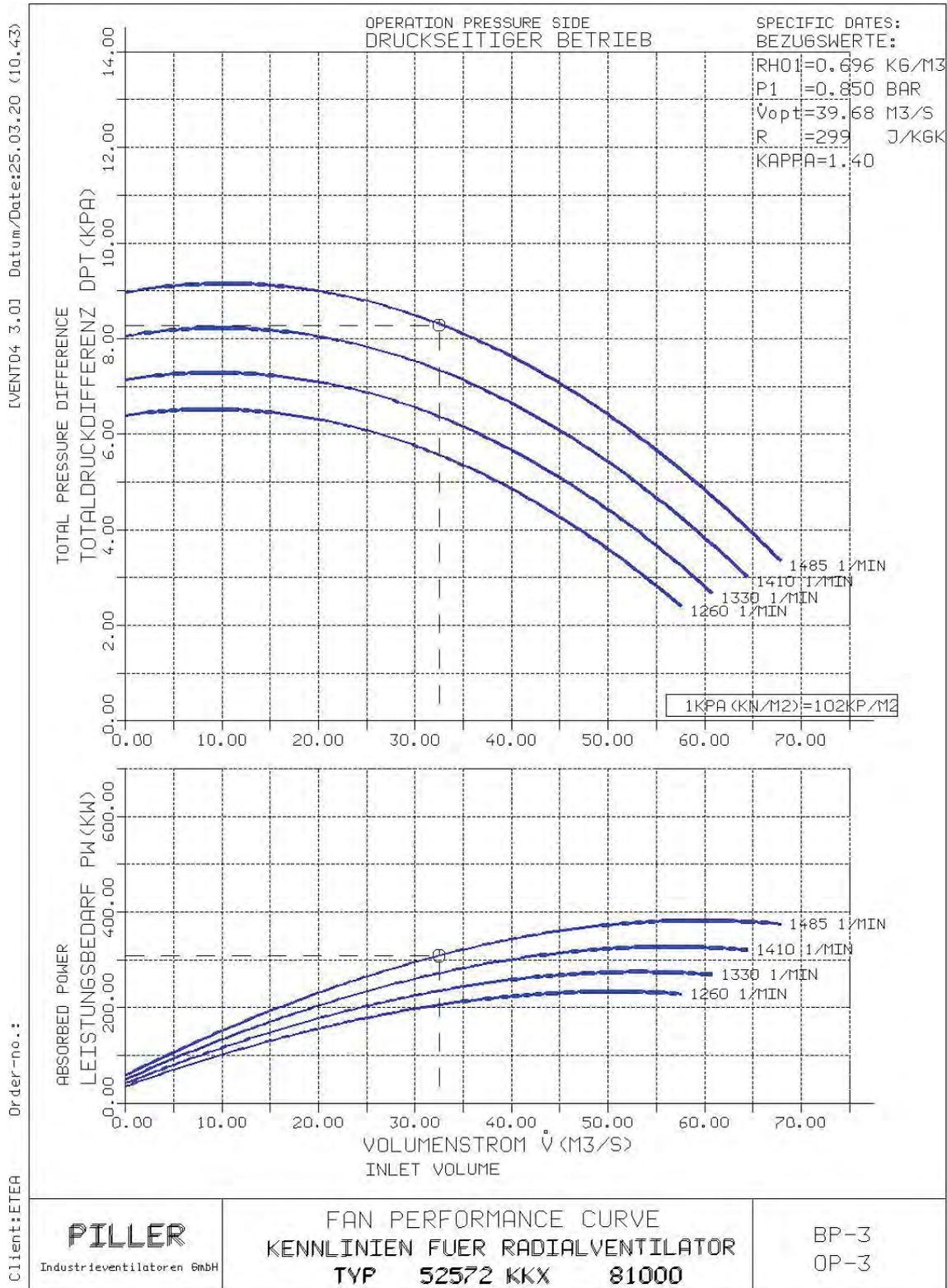


Abbildung 14: Saugzugkennlinie bei unterschiedlichen Drehzahlen für den am Standort Kempten eingesetzten Saugzug 1 bei der geplanten Durchsaterhöhung [8]

Kapitel 3: Bilanzierung der Durchsatzerhöhung

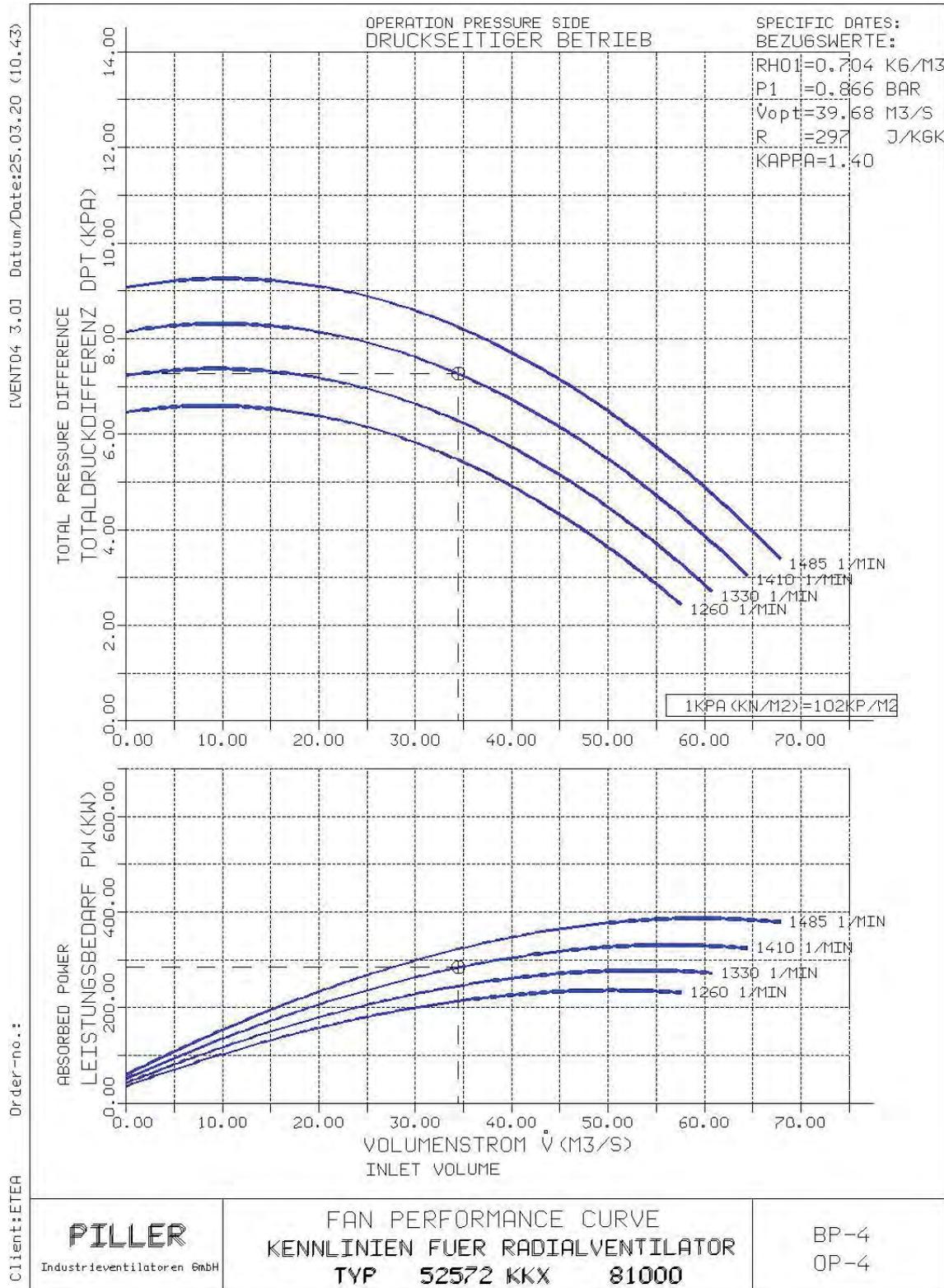


Abbildung 15: Saugzugkennlinie bei unterschiedlichen Drehzahlen für den am Standort Kempten eingesetzten Saugzug 2 bei der geplanten Durchsatzerhöhung [8]

3.1.3 Situation im SO₂-Wäscher

Grundsätzlich liegen der ete.a Erfahrungen aus anderen Anlagen vor, nach denen eine Erhöhung des Betriebsvolumenstroms in einem Sprühwäscher ohne Verschlechterung der Abscheidebedingung erfolgen kann. Für die Abscheidung kann die höhere spezifische Gasgeschwindigkeit im Wäscher sogar von Vorteil sein, da die im Gegenstrom eingebrachten Tröpfchen der verwendeten Suspension in geringerem Maße agglomerieren.

Infolge dieser Erfahrung und nach Aussage des Betriebspersonals zur Kapazitätssituation der zugehörigen Dosiereinrichtungen ist zunächst für den Abscheideprozess selbst keine signifikante Änderung durch die Durchsatzerhöhung zu erwarten.

Entsprechend der gestiegenen Frachten steigen rechnerisch die Verbräuche der Additive und die Menge an zu behandelndem Mengen aus dem Abscheideprozess.

Lediglich die Situation am heute verbauten Tropfenabscheider (kurz TAS) im Kopf des SO₂-Wäschers sollte im Detail betrachtet werden.



Abbildung 16: Tropfenabscheider SO₂-Wäscher RGR MHKW Kempten [2]

Laut Betriebspersonal ist bekannt, dass der verbaute Tropfenabscheider im oberen Bereich des SO₂-Wäschers bei großen Volumenströmen zu Anhaftungen bis hin zum Zusetzen neigt. In diesem Fall kann der Druckverlust entsprechend stark ansteigen, was bei der betrachteten Situation an den Saugzügen zu Problemen führen kann.

Es wird daher empfohlen, eine Verbesserung der Abreinigung des TAS zu prüfen.



Kapitel 3: Bilanzierung der Durchsatzerhöhung

Sollte dies konstruktiv nicht möglich sein und das Problem des Verblockens des TAS weiter bestehen, sollte eine alternative Einbauform zur Tropfenabscheidung mit entsprechender Abreinigungstechnik erwogen werden. Bei einem Austausch des TAS ist der heutige Differenzdruck über die TAS als Kriterium für die Auswahl einer neuen Anlage mit zu berücksichtigen.

4 Zusammenfassung

Auf Basis der zur Verfügung gestellten Betriebsdaten sowie der Anlagendokumentation wurde der Status Quo der Rauchgasreinigung der Linie K1 am MHKW Kempten rückbilanziert. Diese Bilanz wurde als Grundlage für die Ermittlung des Betriebszustandes einer Durchsatzerhöhung auf 110 %-Volumenstromdurchsatz als Folge einer Leistungserhöhung am Kessel genommen.

Die rechnerisch ermittelten Ergebnisse wurden den Auslegungswerten der einzelnen Komponenten gegenübergestellt.

Dabei konnte festgehalten werden, dass die gesamte Rauchgasreinigung auf einen 110%-Lastfall ausgelegt wurde. Der für die Auslegung zu Grunde gelegte Volumenstrom ist dabei deutlich größer als derjenige, der sich für die durch die ete.a erstellte 110%-Lastfall Bilanz im Mittel ergibt.

Damit sollten die verbauten Komponenten wie Wärmeverschiebesysteme, Wäscher, Katalysator sowie der Flugstromadsorber formal für den geplanten, 10% größeren Volumenstrom geeignet sein.

In einem weiteren Schritt wurden die rechnerisch ermittelten Differenzdrücke mit den Gebläsekennlinien der beiden installierten Saugzüge verglichen.

Für beide Saugzüge liegen die rechnerisch ermittelten Betriebspunkte noch innerhalb des typenspezifischen Kennfeldes, es ist jedoch zu berücksichtigen, dass der empfohlene Abstand zur Gebläsekennlinie von 5-10 mbar nur knapp eingehalten werden kann. Damit würden durch eine dauerhafte Durchsatzerhöhung die vorhandenen Reserven der Saugzüge ausgeschöpft werden. Unter Berücksichtigung von zusätzlich auftretenden Lastschwankungen wird die Erhöhung der Saugzüge auf den erhöhten Volumenstrom und die steigenden Differenzdrücke deutlich empfohlen.

Vor dem Hintergrund der Rückmeldung des Betriebspersonals, dass es bereits bei der heutigen Fahrweise zu gelegentlichen Auslastungsproblemen mit den Saugzügen, insbesondere dem SZ 2 kommt, ohne dass dies über die Gebläsekennlinie zu erklären ist, wird zusätzlich empfohlen, auch die Saugzugregelung bei Umsetzung der Durchsatzerhöhung zu überprüfen und ggf. zu modifizieren.

Neben den Saugzügen wurden als mögliche Engpässe für eine Leistungserhöhung der Rauchgasreinigung die Quench sowie die Tropfenabscheider am SO₂-Wäscher näher betrachtet.

Für die heute eingesetzte Pfeifenquench konnte über den Hersteller SGL Carbon der gewählte rechnerisch Ansatz zur Ermittlung des Differenzdrucks für die Bilanzierung als zutreffend bestätigt werden. Die Quench wird nach Aussage des Herstellers derzeit eher bei einer mittleren

Kapitel 4: Zusammenfassung

Last betrieben, sodass die geplante Durchsatzerhöhung zu keiner exponentiellen Erhöhung des Differenzdruckes führt. Darüber hinaus wurde durch den Hersteller die Information weitergegeben, dass es für die laut Dokumentation vorliegende Ausführung der Pfeifenquench ein Potential zur Reduzierung des Differenzdruckes gibt, indem andere Kronen auf den Pfeifenköpfen zum Einsatz kommen. Es wird empfohlen zu prüfen, ob diese Maßnahme seit Bau der Anlage bereits umgesetzt wurde. Sollte dies nicht der Fall sein, wird diese Maßnahme als sinnvoller Schritt im Hinblick auf die Durchsatzerhöhung empfohlen.

Der im Kopf des SO₂-Wäschers angeordnete Tropfenabscheider wurde bei der Begehung der Anlage als möglicher Engpass für eine Leistungserhöhung angesprochen. Bei hohen Rauchgasvolumenströmen kommt es nach Angaben des Betriebspersonals wiederkehrend zu Verblockungen. Hier wird empfohlen über zusätzliche Reinigungseinrichtungen die Verbesserung der Abreinigungssituation anzustreben. Alternativ wäre der Wechsel auf ein anderes System zur Tropfenabscheidung denkbar, wobei der Differenzdruck über den Tropfenabscheider als Auswahlkriterium mit zu berücksichtigen ist.

Zusammenfassend kann festgestellt werden, dass auf Basis der rechnerischen Bilanzierung sowie der Überprüfung der Komponenten an Hand der vorhandenen Anlagendokumentation die Rauchgasreinigung auch mit einem auf 110% gesteigerten Rauchgasvolumenstrom betrieben werden können sollte, wenn entsprechende Maßnahmen zur Ertüchtigung der Saugzüge sowie des Tropfenabscheiders nach SO₂-Wäschers berücksichtigt werden.

5 Quellen

- [1] Noell-KRC Energie- und Umwelttechnik GmbH; Betriebsanleitung MHKW Kempten: Anlagen- und Betriebsbeschreibung; 01.07.1996
- [2] ete.a; Anlagenbesichtigung RGR des K1 MHKW Kempten am 11.01.2019, Kempten
- [3] Betriebsdaten MHKW Kempten 2018/2019
- [4] SGL Carbon; Informationen zur Quench, 02/2020 sowie 04/2020
- [5] Piller GmbH; Kennlinie für Gebläse Typ 52572 KKK 81000; Osterode/Harz;
- [6] Prozessdaten zum Probetrieb Lasterhöhung 40t/42t; 01/2020
- [7] Noell-KRC Energie- und Umwelttechnik GmbH; Betriebsanleitung MHKW Kempten: Auslegungsdaten; 01.07.1996
- [8] Korrespondenz mit Fa. Piller zur Saugzugsituation vom 24.03.2020 und 25.03.2020



6 Anhang

Anhang 1: Bilanz Status Quo Rauchgasreinigung K1

Anhang 2: Bilanz 110%-Lastfall Rauchgasreinigung K1



Validierung / Konzeptalternative zur NO_x-Reduzierung im HHKW Kempten K3



Kapitel 6: Anhang

Anhang 1: Bilanz Satus Quo Rauchgasreinigung K1

Annahme: Auf Grund der Austrittstemperatur am Wäscher (60°C über Einzelmessungen ermittelt) ist von einem Feuchtegehalt von 20% am Wäscher auszugehen 1300 3500

		Austritt: Kessel	E-Filter	WÜ	Quench/HCl-Wäscher	SO ₂ -Wäscher	WÜ	DaGaVo	SZ	WÜ	DaGaVo	DENox	WÜ	Kond.-VV	GWF	SZ	Emi-Messung	Kamin
Zusammensetzung RG																		
Co2	12,0 Vol.-% tr.	10,25	10,25	10,25	9,60	9,60	9,60	9,60	9,60	9,60	9,60	9,65	9,65	9,65	9,78	9,78	9,78	9,78
N2	80,2 Vol.-% tr.	68,45	68,45	68,45	64,13	64,13	64,13	64,13	64,13	64,13	64,13	64,47	64,47	64,47	65,32	65,32	65,32	65,32
HCl	0,12 Vol.-% tr.	0,11	0,11	0,11	0,10	0,10	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO ₂	0,02 Vol.-% tr.	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
O ₂	7,7 Vol.-% tr.	6,58	6,58	6,58	6,16	6,16	6,16	6,16	6,16	6,16	6,16	6,19	6,19	6,19	6,28	6,28	6,28	6,28
feuchte		14,60	14,60	14,60	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	20,00	19,57	19,57	19,57	18,50	18,50	18,50	18,50
	Nm ³ /h	8088,13	8088,13	8088,13	11827,50	11827,50	11827,50	11827,50	11827,50	11827,50	11827,50	11828,80	11828,80	11828,80	11832,30	11832,30	11832,30	11832,30
Stationen RGR																		
Temperatur	°C	230,00	225,00	160,54	60,03	60,03	125,00	125,00	133,50	200,82	228,00	224,00	160,37	136,00	134,00	141,00	141,00	141,00
Volumenstrom	Nm ³ /h tr.	47310,00	47310,00	47310,00	47310,00	47310,00	47310,00	47310,00	47310,00	47310,00	47310,00	48610,00	48610,00	48610,00	52110,00	52110,00	52110,00	52110,00
Enthalpie	kJ/kg	252,33	246,69	174,71	66,59	66,59	139,56	139,64	149,27	226,25	257,71	252,47	179,42	151,75	148,61	156,49	156,49	156,49
Normdichte feucht	kg/m ³ feucht	1,27	1,27	1,27	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,25	1,25	1,25	1,25
Normdichte trocken	kg/m ³ trocken	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35
Volumenstrom feucht	Nm ³ /h	55398,13	55398,13	55398,13	59137,50	59137,50	59137,50	59137,50	59137,50	59137,50	59137,50	60438,80	60438,80	60438,80	63942,30	63942,30	63942,30	63942,30
m feucht	kg/h	70472,84	70472,84	70472,84	73478,92	73478,92	73478,92	73439,64	73439,64	73439,64	73439,64	75197,58	75197,58	75197,58	79930,51	79930,51	79930,51	79930,51
m trocken	kg/h	70340,30	63970,80	63970,80	63970,80	63970,80	63970,80	63970,80	63970,80	63970,80	63970,80	65728,61	65728,61	65728,61	70461,17	70461,17	70461,17	70461,17
Temp. Wasser zu	°C				60,00			20,00										
Wasserdampf	kg H ₂ O/h	6502,04	6502,04	6502,04	9508,13	9508,13	9508,13	9508,13	9508,13	9508,13	9508,13	9509,17	9509,17	9509,17	9511,99	9511,99	9511,99	9511,99
delta Massenstrom	kg/h	0,00	0,00	0,00	3006,08	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,05	1,05	1,05	2,81	2,81	0,00	0,00
Enthalpie Wasser zu	kW	0,00	0,00	0,00	209,77	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Verdampfungswärme	kW	4311,45	4309,98	4230,79	5797,10	5797,10	6069,83	6069,83	6100,41	6276,89	6304,04	6302,74	6186,98	6109,78	6104,64	6128,60	6128,60	6128,60
differenz Verdampfungswärme	kW	0,00	0,00	0,00	1832,81	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,69	0,68	0,67	1,81	1,81	0,00	0,00
Bilanz Wasser/ Rauchgasenthalpie			-107,87	-1365,80	-371,03	0,00	1365,96	-1,39	181,75	1467,09	607,02	24,75	-1437,62	-537,89	137,40	165,38	0,00	0,00
Verdampfungsenthalpie	kJ/kg	2387,13	2386,32	2342,47	2194,92	2194,92	2298,18	2298,18	2309,76	2376,58	2386,86	2386,10	2342,28	2313,05	2310,42	2319,49	2319,49	2319,49
Betriebsvolumenstrom	m ³ /h	111648,26	111017,95	97420,29	81872,76	82856,72	99869,53	100305,39	95863,64	112719,61	120334,84	123269,18	108458,40	103351,69	110148,47	105169,19	105338,36	105394,87
Druckdifferenz	mbar	-4,90	-4,00	-7,30	-22,20	-10,60	-7,50	-3,80	59,80	-8,10	-8,80	-9,40	-8,10	-8,60	-10,80	57,30	-1,50	-0,50
Austrittsdruck	mbar ü	-4,90	-8,90	-16,20	-38,40	-49,00	-56,50	-60,30	-0,50	-8,60	-17,40	-26,80	-34,90	-43,50	-54,30	3,00	1,50	1,00
Volumenstrom	m ³ /s	31,01	30,84	27,06	22,74	23,02	27,74	27,86	26,63	31,31	33,43	34,24	30,13	28,71	30,60	29,21	29,26	29,28
Umgebungsdruck Kempten		931	mbar															



Validierung / Konzeptalternative zur NO_x-Reduzierung im HHKW Kempten K3



Kapitel 6: Anhang

Anhang 2: Bilanz 110%-Lastfall Rauchgasreinigung K1

Annahme: Auf Grund der Austrittstemperatur am Wäscher ist von einem Feuchtegehalt von 20% am Wäscher auszugehen

Zuluft
1300

Zuluft
3500

		Austritt: Kessel	E-Filter	WÜ	Quench/HCl-Wäscher	SO ₂ -Wäscher	WÜ	DaGaVo	SZ	WÜ	DaGaVo	DENox	WÜ	Kond.-VW	GWf	SZ	Emi-Messung	Kamin
Zusammensetzung RG																		
Co ₂	12 Vol.-% tr.	10,25	10,25	10,25	9,58	9,58	9,58	9,58	9,58	9,58	9,58	9,62	9,62	9,62	9,74	9,74	9,74	9,74
N ₂	80 Vol.-% tr.	68,20	68,20	68,20	63,73	63,73	63,73	63,73	63,73	63,73	63,73	64,04	64,04	64,04	64,83	64,83	64,83	64,83
HCl	0,12 Vol.-% tr.	0,11	0,11	0,11	0,10	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO ₂	0,02 Vol.-% tr.	0,02	0,02	0,02	0,02	0,02	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
O ₂	8 Vol.-% tr.	6,83	6,83	6,83	6,38	6,38	6,38	6,38	6,38	6,38	6,38	6,42	6,42	6,42	6,49	6,49	6,49	6,49
feuchte		14,60	14,60	14,60	20,20	20,20	20,20	20,20	20,20	20,20	20,20	19,81	19,81	19,81	18,82	18,82	18,82	18,82
	Nm ³ /h	8906,72	8906,72	8906,72	13187,76	13187,76	13187,76	13187,76	13187,76	13187,76	13187,76	13189,06	13189,06	13189,06	13192,56	13192,56	13192,56	13192,56
Stationen RGR																		
Temperatur	°C	240,00	235,00	167,92	60,25	60,25	128,00	128,00	135,00	202,46	228,00	224,15	160,37	138,20	134,01	141,01	141,01	141,01
Volumenstrom	Nm ³ /h tr.	52098,20	52098,20	52098,20	52098,20	52098,20	52098,20	52098,20	52098,20	52098,20	52098,20	53398,20	53398,20	53398,20	56898,20	56898,20	56898,20	56898,20
Enthalpie	kJ/kg	263,54	257,89	182,84	66,88	66,88	143,15	143,15	151,09	228,34	257,92	252,90	179,60	154,40	148,83	156,73	156,73	156,73
Dichte	kg/m ³ feucht	1,27	1,27	1,27	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,24	1,25	1,25	1,25	1,25
Dichte trocken	kg/m ³ trocken	#NAME?	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35
Volumenstrom feucht	Nm ³ /h	61004,92	61004,92	61004,92	65285,96	65285,96	65285,96	65285,96	65285,96	65285,96	65285,96	66587,26	66587,26	66587,26	70090,76	70090,76	70090,76	70090,76
m feucht	kg/h	77633,24	77633,24	77633,24	81074,78	81074,78	81031,47	81031,47	81031,47	81031,47	81031,47	82790,11	82790,11	82790,11	87524,91	87524,91	87524,91	87524,91
m trocken	kg/h	#NAME?	70473,13	70473,13	70473,13	70473,13	70473,13	70473,13	70473,13	70473,13	70473,13	72231,64	72231,64	72231,64	76966,08	76966,08	76966,08	76966,08
Temp. Wasser zu	°C				60,00			20,00										
Energie RG	kW	5410,52	5291,09	3718,56	1359,83	1359,83	2930,79	2930,79	3096,08	4719,36	5348,71	5367,40	3780,26	3240,79	3318,87	3497,95	3497,95	3497,95
cp RG feucht	kJ/kgK	1,05	1,04	1,03	1,00	1,00	1,02	1,02	1,02	1,04	1,04	1,04	1,03	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02
Differenz Energie RG	kW	0,00	-119,43	-1572,53	-2358,73	0,00	1570,96	0,00	165,29	1623,27	629,36	18,68	-1587,13	-539,48	78,09	179,07	0,00	0,00
Wasserdampf	kg H ₂ O/h	7160,11	7160,11	7160,11	10601,64	10601,64	10601,64	10601,64	10601,64	10601,64	10601,64	10602,69	10602,69	10602,69	10605,50	10605,50	10605,50	10605,50
delta Massenstrom	kg/h	0,00	0,00	0,00	3441,53	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,05	1,05	1,05	2,81	2,81	0,00	0,00
Differenz zu Istzustand	kg/h				435,45													
Enthalpie Wasser zu	kW	0,00	0,00	0,00	240,16	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Verdampfungswärme	kW	4748,27	4748,51	4674,27	6464,92	6464,92	6780,13	6780,13	6807,85	7001,57	7029,06	7027,63	6898,46	6820,82	6806,47	6833,19	6833,19	6833,19
differenz Verdampfungswärme	kW	0,00	0,00	0,00	2098,66	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,69	0,68	0,67	1,81	1,81	0,00	0,00
Bilanz Wasser/ Rauchgasenthalpie			-119,43	-1572,53	-500,24	0,00	1570,96	0,00	165,29	1623,27	629,36	19,37	-1586,45	-538,81	79,89	180,88	0,00	0,00
Verdampfungsenthalpie	kJ/kg	2387,36	2387,48	2350,15	2195,29	2195,29	2302,33	2302,33	2311,74	2377,52	2386,86	2386,14	2342,28	2315,92	2310,43	2319,50	2319,50	2319,50
trockenes RG	kW	4774,47	4672,22	3312,70	1174,94	1174,94	2513,94	2513,94	2653,45	4009,91	4529,27	#NAME?	3239,82	2785,19	2876,34	3028,91	3028,91	3028,91
	kJ/kg	243,90	238,67	169,22	60,02	60,02	128,42	128,42	135,55	204,84	231,37	227,36	161,47	138,81	134,54	141,67	141,67	141,67
	kg/Nm ³	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	#NAME?	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35	1,35
cp	kJ/kgK	1,05	1,04	1,03	1,00	1,00	1,02	1,02	1,02	1,04	1,04	1,04	1,03	1,02	1,02	1,02	1,02	1,02
	kW	#NAME?	4803,09	3375,60	1182,01	1182,01	2548,91	2548,91	2692,67	4104,43	4651,78	4682,88	3298,16	2827,48	2918,49	3075,96	3075,96	3075,96
Betriebsvolumenstrom	m ³ /h	125535,67	124997,86	109599,18	91573,80	92981,87	113131,47	113779,47	106201,42	125096,51	133379,96	136732,70	120537,77	115782,31	122496,11	115177,23	115399,49	115473,79
Differenz zu Ist-Zustand	m ³ /h	13887,41	13979,92	12178,89	9701,04	10125,16	13261,94	13474,08	10337,77	12376,90	13045,12	13463,51	12079,36	12430,62	12347,65	10008,05	10061,13	10078,92
Druckdifferenz alt	mbar ü	-4,90	-4,00	-7,30	-22,20	-10,60	-7,50	-3,80	59,80	-8,10	-8,80	-9,40	-8,10	-8,60	-10,80	57,30	-1,50	-0,50
Austrittsdruck alt	mbar	-4,90	-8,90	-16,20	-38,40	-49,00	-56,50	-60,30	-0,50	-8,60	-17,40	-26,80	-34,90	-43,50	-54,30	3,00	1,50	1,00
Volumenstrom alt	m ³ /s	31,01	30,84	27,06	22,74	23,02	27,74	27,86	26,63	31,31	33,43	34,24	30,13	28,71	30,60	29,21	29,26	29,28
Druckdifferenz neu	mbar ü	-6,19	-5,07	-9,24	-29,00	-13,35	-9,62	-4,89	76,87	-9,98	-10,81	-11,57	-10,00	-10,79	-13,36	70,70	-1,80	-0,60
Austrittsdruck neu	mbar	-6,19	-11,27	-20,50	-49,50	-62,85	-72,48	-77,37	-0,50	-10,47	-21,29	-32,85	-42,86	-53,65	-67,01	3,69	1,89	1,29
RG-Volumenstrom	m ³ /s	34,9	34,7	30,4	25,4	25,8	31,4	31,6	29,5	34,7	37,0	38,0	33,5	32,2	34,0	32,0	32,1	32,1