

# ZAK Kempten

**Ergänzung zur „Studie zur Durchsatzerhöhung  
der Rauchgasreinigung hinter K1 im MHKW  
Kempten“ vom 23.04.2020**

## Erstellt durch:



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



06404 / 668 08 25



06404 / 65 81 65



[Sophie.Kreuz@ete-a.de](mailto:Sophie.Kreuz@ete-a.de)



0173 258 4244



06404 / 65 81 65



[andreas.wiedl@ete-a.de](mailto:andreas.wiedl@ete-a.de)

Lich, Februar 2021



**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

<b>1</b>	<b>Einleitung .....</b>	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>Lastfall-Definitionen .....</b>	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Neubewertung des Druckverlaufs.....</b>	<b>6</b>
3.1	Austausch der Quench.....	7
3.2	Verfahrensbeschreibung Strahlquench.....	8
3.2.1	Druckverlust Strahlquench.....	10
3.3	Anlagendruckverlust mit Strahlquench.....	11
3.4	Ertüchtigungsmaßnahmen Saugzug 2.....	12
<b>4</b>	<b>Zusammenfassung .....</b>	<b>14</b>
<b>5</b>	<b>Quellen.....</b>	<b>15</b>
<b>6</b>	<b>Anhang .....</b>	<b>15</b>
1	Bilanz/Druckverlauf Ausgangszustand RGR K1 mit neuer Rohrquench (100%) ....	15
2	Bilanz/Druckverlauf RGR K1 mit neuer Rohrquench (110%).....	15
3	Bilanz/Druckverlauf RGR K1 mit neuer Rohrquench (123%).....	15

## ABBILDUNGSVERZEICHNIS

ABBILDUNG 1: PLS-BILD K1 MIT $\Delta P$ -MESSUNG QUENCH.....	6
ABBILDUNG 2: SCHEMA STRAHLQUENCH GFK [2] .....	9
ABBILDUNG 3: ANSICHT STRAHLQUENCH GFK [2].....	10
ABBILDUNG 4: NEUER AUSLEGUNGS-BP SAUGZUG 1 .....	12
ABBILDUNG 5: NEUER AUSLEGUNGS-BP SAUGZUG 2 .....	13

## TABELLENVERZEICHNIS

TABELLE 1: GEGENÜBERSTELLUNG DER LASTFALLDEFINITIONEN .....	5
TABELLE 2: ÜBERSICHT QUENCHTYPEN.....	7
TABELLE 3: GEGENÜBERSTELLUNG UNTERDRÜCKE IM 123%-LASTFALL ZU DEN AUSLEGUNGSDRÜCKEN DER KOMPONENTEN .....	11

## 1 Einleitung

Mit Datum vom 23. April 2020 hat die ete.a GmbH im Auftrag der ZAK Energie eine Betrachtung der Rauchgasreinigungsanlage der Linie K1 vor dem Hintergrund einer ca. 10%-igen Leistungserhöhung, bezogen auf den in die Rauchgasreinigung eintretenden Volumenstrom, erstellt. In der Betrachtung aus April 2020 wurde der Status Quo der Rauchgasreinigung der Linie K1 am MHKW Kempten auf Basis der vorliegenden Betriebsdaten rückbilanziert und festgestellt, dass eine ca. 10%-ige Erhöhung durch die Auslegung der Rauchgasreinigung bzw. ihrer Komponenten abgedeckt sein wird.

Bezüglich der Saugzüge wurde festgestellt, dass die rechnerisch ermittelten Betriebspunkte noch innerhalb des typenspezifischen Ventilatorfeldes liegen, die vorhandenen Auslegungsreserven durch eine dauerhafte Leistungserhöhung aber praktisch ausgeschöpft werden. Als konkrete Maßnahme wurde die Ertüchtigung der Saugzüge aufgrund der ansteigenden Differenzdrücke sowie zu berücksichtigender Regelschwankungen empfohlen.

Im Zuge weiterer Konkretisierungsschritte wurde die geplante Leistungserhöhung für den Genehmigungsantrag auf die Erhöhung der Dampfmenge der Linie K1 bei 100% Dampfleistung von 37,8 t/h auf 42,0 t/h festgelegt. Für die kesselseitige Überprüfung der Leistungserhöhung wurde auf dieser Basis ein Bericht von der Fa. WEHRLE erstellt. Neben der dauerhaften Erhöhung der Dampferzeugerleistung auf 42,0 t/h, wurde auch eine Betrachtung zu kurzzeitigen Spitzen im Überlastbereich (+10% → 46,2 t/h), zum Abfangen feuerungsseitiger Regelschwankungen, angestellt.

Die damit ebenfalls einhergehende weitere Erhöhung des Rauchgasvolumenstromes wird in dieser vorliegenden Ergänzungsbetrachtung bewertet.

## 2 Lastfall-Definitionen

In der nachfolgenden Tabelle 1 werden die im WEHRLE-Bericht [1] sowie im ete.a-Bericht [3] verwendeten Lastfalldefinitionen gegenüber gestellt. Diese Gegenüberstellung ist notwendig, da im ete.a-Bericht vom April 2020 der Status Quo der Anlage mit „100% Last“ und die Leistungssteigerung mit „110% Last“ bezeichnet wurde, wohingegen im WEHRLE-Bericht der neue Betriebspunkt nach der Leistungssteigerung als „neuer 100%-Lastpunkt“ definiert wird.

**Tabelle 1: Gegenüberstellung der Lastfalldefinitionen**

	<b>WEHRLE [1]</b>	<b>ete.a</b>
Heutiger Betrieb	<u>LP 1</u> Dampfmenge: 37,80 t/h $\dot{V}_{\text{Kesselaustr.}} = 55.400 \text{ Nm}^3/\text{h f.}$ $\dot{V}_{\text{Kesselaustr.}} = 47.370 \text{ Nm}^3/\text{h tr.}$	<u>100 %</u>  $\dot{V}_{\text{Kesselaustr.}} = 55.398 \text{ Nm}^3/\text{h f.}$
Leistungssteigerung +10% (dauerhaft)	<u>LP 2</u> Dampfmenge: 42,00 t/h $\dot{V}_{\text{Kesselaustr.}} = 61.750 \text{ Nm}^3/\text{h f.}$ $\dot{V}_{\text{Kesselaustr.}} = 52.800 \text{ Nm}^3/\text{h tr.}$	<u>110 %</u>  $\dot{V}_{\text{Kesselaustr.}} = 60.938 \text{ Nm}^3/\text{h f.}$ $\dot{V}_{\text{Kesselaustr.}} = 52.041 \text{ Nm}^3/\text{h tr.}$
Überlastbereich (kurzzeitig)	<u>LP 3-A</u> Dampfmenge: 46,20 t/h <u>LP 3-B</u> Dampfmenge: 46,86 t/h $\dot{V}_{\text{Kesselaustr.}} = 68.100 \text{ Nm}^3/\text{h f.}$ $\dot{V}_{\text{Kesselaustr.}} = 58.230 \text{ Nm}^3/\text{h tr.}$ (beide LP: gleiche Abgasmenge)	<u>123 %</u>  $\dot{V}_{\text{Kesselaustr.}} = 68.226 \text{ Nm}^3/\text{h f.}$ $\dot{V}_{\text{Kesselaustr.}} = 58.265 \text{ Nm}^3/\text{h tr.}$

Im Folgenden wird auf die in der ete.a-Studie 04/2020 verwendeten Lastfalldefinitionen referenziert, da die Zusammenhänge dieser Ergänzung mit den Inhalten der ursprünglichen Studie weiter bestehen bleiben.

### 3 Neubewertung des Druckverlaufs

Auf Basis des im 100%-Lastfall ermittelten Druckverlaufes [3], welcher mittels vorhandener Betriebsdatenaufzeichnungen bestimmt wurde, erfolgte die Umrechnung anhand der Lasterhöhungen nach der Beziehung

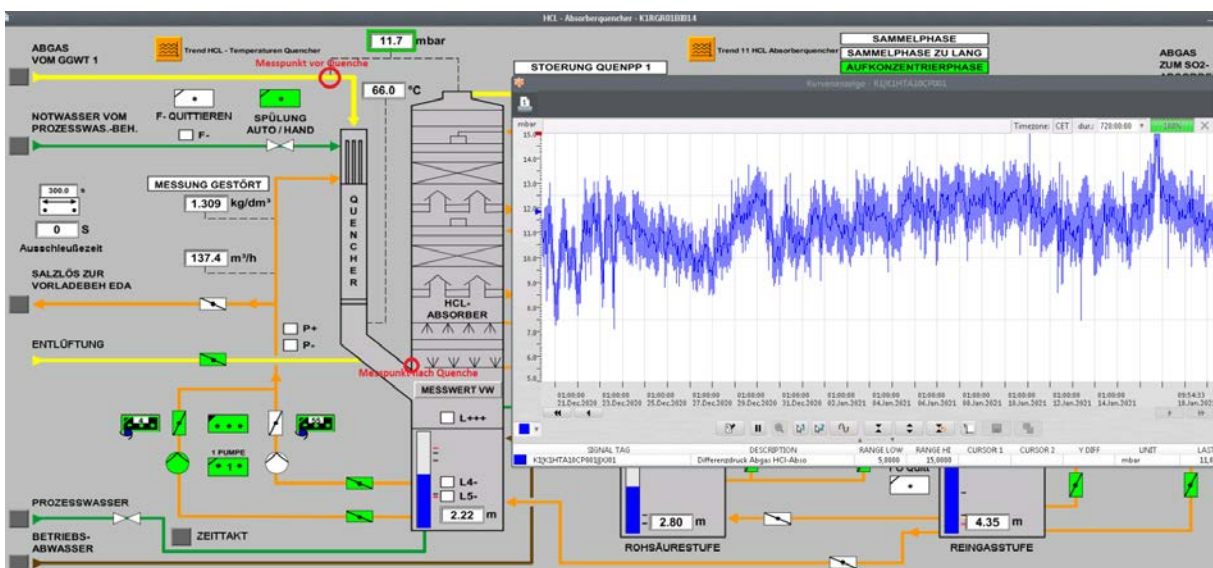
$$\Delta p \approx \dot{V}^2$$

Mit der zusätzlichen Bewertung des Spitzenlastfalls (123%) ergeben sich durch den resultierenden Druckverlauf im Anlagenabschnitt vor dem Saugzug 1 unzulässige Unterdrücke, so dass daraus die Erfordernis einer Druckverlustreduzierung in diesem Anlagenabschnitt erwächst.

Als die Komponente mit dem größten Minderungspotential wurde die Quench vor Eintritt in den HCl-Wäscher identifiziert. Im Bericht aus 04/2019 wurde der Druckverlust der Graphit-Pfeifenquench nach Rücksprache mit dem Hersteller (SGL Carbon) im Bereich von ca. 5 - 10 mbar, anteilig am Gesamtdruckverlust des HCl-Wäschers von insgesamt 22 mbar, abgeschätzt.

Durch zeitweise Änderung der Messleitung der Druckverlustmessung über den gesamten HCl-Wäscher (Quench + Waschkolonne) wurde der Druckverlust über die Quench im PLS erfasst und im Nennlastbetrieb im Durchschnitt mit ca. 11 - 12 mbar bestimmt.

Abbildung 1: PLS-Bild K1 mit  $\Delta p$ -Messung Quench



### 3.1 Austausch der Quench

Die Ausführung der Quench als Pfeifenquench weist bauartbedingt einen relativ großen Druckverlust auf. Aus der Übersicht über mögliche Quenchtypen in Tabelle 2 geht hervor, dass mit einer Umstellung auf eine Strahlquench der Druckverlust der Quench praktisch auf „0“ reduziert werden kann (Begründung siehe Abschnitt 3.2.1).

**Tabelle 2: Übersicht Quenchtypen**

Quench	Vorteile	Nachteile
<b>Pfeifenquench</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Hohe Turbulenz aufgrund engem Querschnitt und dadurch gute Vermischung zwischen Gas und Wasser → sehr kompakte Bauweise möglich</li> <li>• Graphit Bauweise (sehr beständig)</li> <li>• Keine Beschichtung erforderlich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sehr hoher Druckverlust (i.d.R. &gt; 10 mbar)</li> <li>• Schlecht bei hohen Staubkonzentrationen → Bildung von Ablagerungen</li> <li>• Die optimale Kühlleistung wird nur innerhalb eines sehr engen Lastbereiches erreicht. Gasmengen müssen stabil sein, Schwankungen sind nachteilig</li> <li>• Sehr teuer in der Investition</li> </ul>
<b>Venturiquench</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zerstäubung des Kühlwasser durch Venturi-Effekt und somit Erzeugung von feinen Wassertröpfchen → Hohe Kühlleistung → Gleichzeitig werden partikel- und gasförmige Schadstoffe abgeschieden</li> <li>• Bauweise in Stahl oder GFK möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Aufgrund der Querschnittsverengung zeigen Venturiquench einen relativ hohen Druckverlust</li> <li>• Je nach Ausführung ist ein hoher Korrosionsschutzaufwand erforderlich (Säurefeststeine, Beschichtung etc.)</li> <li>• Lastbereich limitiert, wenn auch nicht so stark wie bei Pfeifenquench</li> <li>• In der Rinne oberhalb der Venturi kommt es erfahrungsgemäß zu höherem Ablagerungsverhalten</li> </ul>
<b>Strahlquench</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Praktisch kein Druckverlust</li> <li>• Als Rohrquench zeichnet sich die Strahlquench durch eine sehr einfache Bauweise aus</li> <li>• Durch gezielte Schaltung der Düsen ist ein großer Regelbereich möglich</li> <li>• Bauweise in Stahl, Graphit oder GfK möglich</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Strahlquench bauen etwas höher aufgrund der erforderlichen Verdampfungsstrecke</li> <li>• Abscheidung von Feinstäuben begrenzt</li> </ul>

### 3.2 Verfahrensbeschreibung Strahlquench

Die nachfolgende Beschreibung bezieht sich auf die Bauart einer Strahlquench aus Material GfK:

Der heiße Rauchgasstrom wird der Quench zugeführt und hier die saure Kreisauflösung auf die Sättigungstemperatur gekühlt. Rauchgas und Quenchlösung werden im Gleichstrom von oben nach unten durch den Apparat geführt. Die Quench wird aus dem Sumpf des HCl-Absorbers gespeist. Die Quenchflüssigkeit wird in mehreren Ebenen eingespeist und über Flachstrahl- und Vollkegeldüsen verteilt.

Ein Teilstrom wird am Kopf des Apparates mit tangential angeordneten Düsen in Form eines Spül-/Kühlringes aufgegeben und läuft als Fallfilm an der Wand nach unten. Damit wird ein definierter Übergang trocken-feucht erreicht und der Apparat vor dem direkten Kontakt mit heißem Rauchgas geschützt.

Unter dem Spülring wird eine erste Ebene mit Flachstrahldüsen angeordnet. Für die Erreichung der Gassättigung wird darunter eine weitere Sprühebene positioniert, die aus Düsenlanzen mit Vollkegeldüsen besteht.

Weiterhin ist ein Anschluss der Flüssigkeitsversorgung an das Notwassersystem vorhanden, welches bei Ausführung an das bei ZAK vorhandene Notwassersystem der heutigen Quench angeschlossen wird.



Abbildung 2: Schema Strahlquench GfK [2]

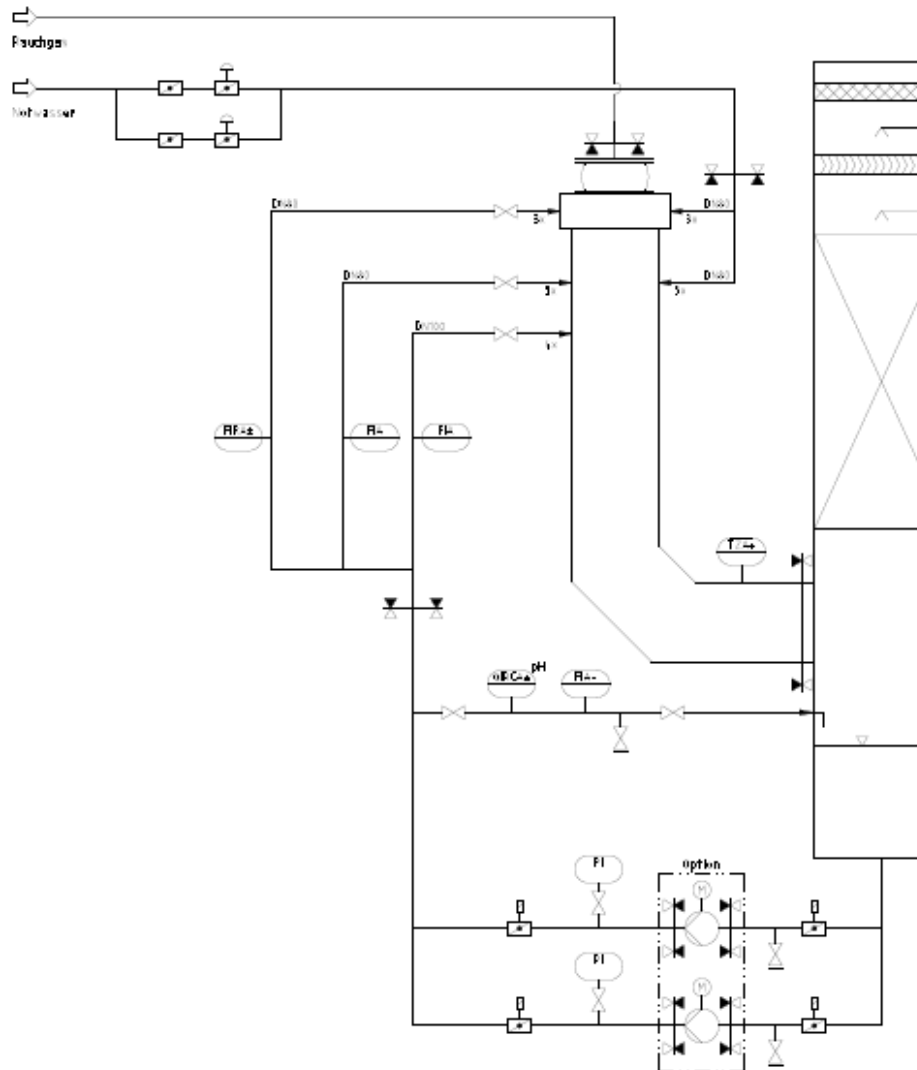
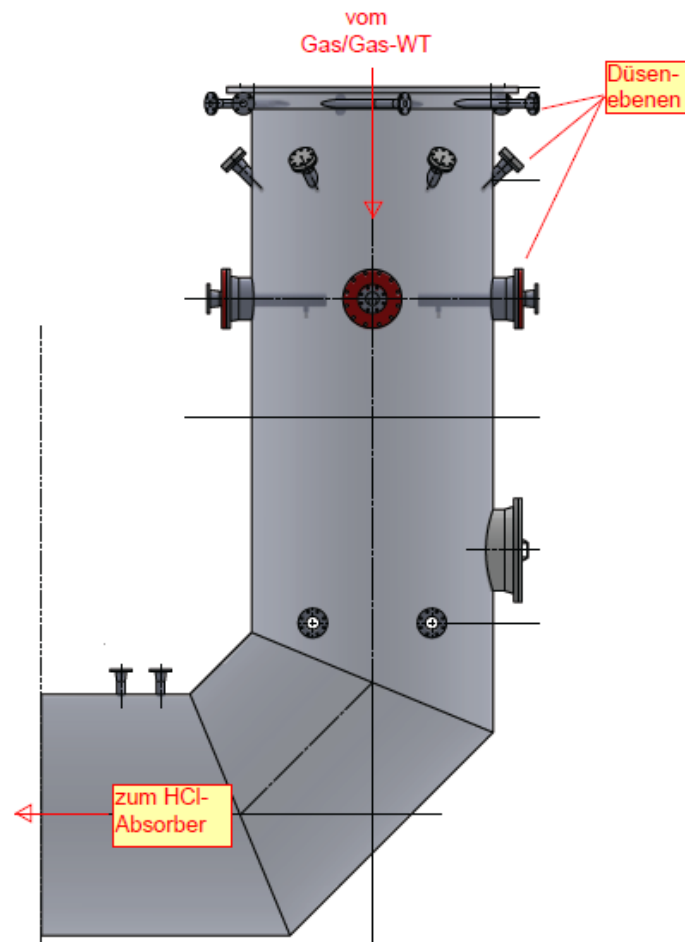


Abbildung 3: Ansicht Strahlquench GfK [2]



### 3.2.1 Druckverlust Strahlquench

Die eingebrachte Energie der Vollkegeldüsen (untere Düsenebene), die in Strömungsrichtung des Gases wirken, tritt ein Gasfördereffekt ähnlich einem Strahlwäscher ein. In Realität liegt je nach Auslegung der Düsen ein geringer "Druckgewinn" vor. Für die Druckverlustbewertung wird für einen konservativen Ansatz dieser Druckgewinn nicht berücksichtigt und der im Betrieb bei Nennlast bestimmte Druckverlust der vorhandenen Pfeifenquench in Höhe von 11 – 12 mbar um **10 mbar** reduziert.

### 3.3 Anlagendruckverlust mit Strahlquench

Der Austausch der vorhandenen Pfeifenquench gegen eine Strahlquench führt zu einer Druckverlustminderung, die konservativ mit 10 mbar angesetzt wird.

Für die Berechnung des Druckverlustverlaufs bei der vorgesehenen Lasterhöhung wurde als Basis zunächst der Ausgangszustand der Anlage mit der Druckverlustreduzierung von Quench/HCl-Absorber von ca. 22 mbar auf 12 mbar abgebildet (siehe Anlage 1) und auf dieser Basis die Druckverluste hochgerechnet.

Die Ergebnisse für die Lasterhöhung sind in Tabellenform und grafischem Druckverlauf in der Anlage 2 (110%) bzw. Anlage 3 (123%) dargestellt.

Die Gegenüberstellung der Ergebnisse mit den Auslegungsdrücken in Tabelle 3 zeigt, dass mit der Maßnahme des Quench-Austausches keine unzulässigen Unterdrücke bei Lasterhöhung vorliegen.

**Tabelle 3: Gegenüberstellung Unterdrücke im 123%-Lastfall zu den Auslegungsdrücken der Komponenten**

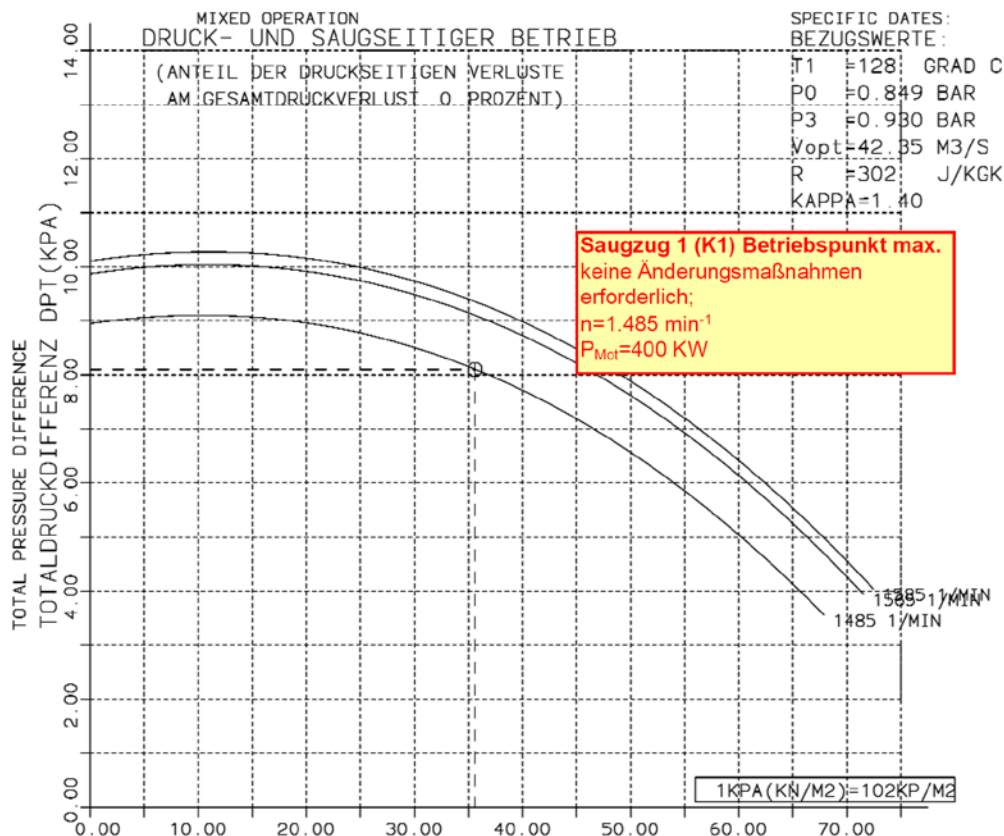
Komponente	Auslegungsdruck [mbar]	Berechnungsdruck 123% Lastfall mit Strahlquench [mbar]
E-Filter	-35	-14
Gas/Gas-WÜ1 (Rohgasseite)	-85	-26
Quench	neue Auslegung gemäß Anforderung	
HCl-Absorber	-50	-45
SO <sub>2</sub> -Absorber	-70	-62
Gas/Gas-WÜ1 (Reingasseite)	-85	-74
DaGaVo	-85	-81
Saugzug 1		
Gas/Gas- WÜ2 (Rohgasseite)	-75	-13
DaGaVo (DeNOx)	-60	-27
Mischerkanal, DeNOx-Reaktor	-60	-41
Gas/Gas- WÜ2 (Reingasseite)	-75	-54

Komponente	Auslegungsdruck [mbar]	Berechnungsdruck 123% Lastfall mit Strahlquench [mbar]
Kondensat-VW (WÜ)	-75	-68
Gewebefilter	-90	-85
Saugzug 2		

### 3.4 Ertüchtigungsmaßnahmen Saugzug 2

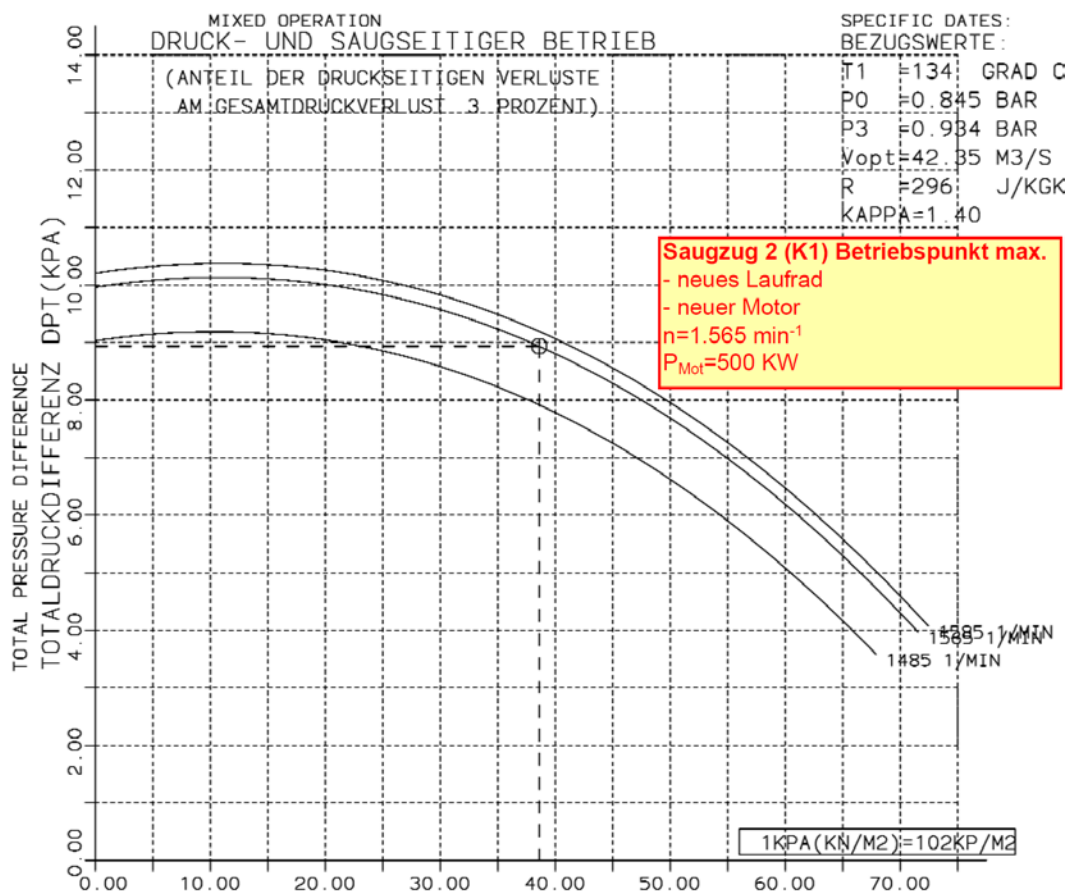
Eine Leistungssteigerung von Saugzug 1 ist aufgrund der o.g. Maßnahme zur Druckverlustreduzierung nicht erforderlich, wie der Eintrag des ermittelten max. Betriebspunktes, unter Berücksichtigung der Druckverlustreduzierung durch den Austausch der Quench in Abbildung 4 zeigt.

Abbildung 4: Neuer Auslegungs-BP Saugzug 1



Zur sicheren Abführung der Rauchgase wird jedoch eine Leistungssteigerung von Saugzug 2 erforderlich. Die Leistungssteigerung von Saugzug 2 wird durch eine Erhöhung der Nenn-drehzahl erreicht. Hierzu wird ein Austausch des Laufrades, des Antriebsmotors und Teile der Lagerung erforderlich. Der neue Auslegungs-Betriebspunkt von Saugzug 2 geht aus Ab-bildung 5 hervor.

Abbildung 5: Neuer Auslegungs-BP Saugzug 2



## 4 Zusammenfassung

Die Überprüfung der Druckverhältnisse im Rauchgasweg ergab für die zusätzlich definierte kurzzeitige Spitze im Überlastbereich (Dampfmenge: 46,2 t/h) unzulässige Druckverhältnisse im Bereich der nassen Rauchgasreinigung. Daraufhin wurden Überlegungen zur Druckverlustreduzierung angestellt. Der Druckverlust der vorhandenen Pfeifenquench liegt im heutigen Nennlastbetrieb im Bereich von ca. 11 - 12 mbar. Durch Austausch gegen eine Strahlquench, kann der Druckverlust um den Betrag der vorhandenen Pfeifenquench abgesenkt werden, weil die Strahlquench praktisch keinen Druckverlust besitzt, bedingt durch die Bauart („leeres Rohr“) und den Strahleffekt der eingebrachten Energie über die Flüssigkeitseindüsung. Für die Betrachtung des Druckverlustes wurde im Rahmen eines konservativen Ansatzes eine Reduzierung durch den Quench-Austausch eine Druckverlustminderung um 10 mbar angesetzt.

Mit dieser Maßnahme ergibt sich ein entsprechender Druckverlauf im Verlauf des Abgasweges, so dass keine unzulässigen Unterdrücke an einzelnen Komponenten der Rauchgasreinigungsanlage vorliegen.

Die höhere Rauchgasmenge des 123%-Spitzenlastfalls, in Verbindung mit dem ermittelten Druckverlusten, bestimmt den Leistungsbedarf von Saugzug 1 und 2. Der neue Auslegungsbetriebspunkt von Saugzug 1 erfordert unter Berücksichtigung der Druckverlustreduzierung durch den Austausch der Quench keine Änderungsmaßnahmen am Saugzug 1. Der neue Auslegungsbetriebspunkt von Saugzug 2 kann nach Prüfung durch den Hersteller mittels Austausch des Laufrades und Antriebsmotors in Verbindung mit einer Drehzahlerhöhung und verstärkter Lagerung realisiert werden.



## **5 Quellen**

- [1] WEHRLE-Bericht „ZAK Energie GmbH / Überprüfung Leistungserhöhung Ofenlinie 1 / WEHRLE Auftrag AU#10596“
  
- [2] RVT Process Equipment GmbH, Paul-Rauschert-Straße 6, 96349 Steinwiesen; beispielhafte Projektunterlage
  
- [3] ete.a GmbH; „Studie zur Durchsatzerhöhung der Rauchgasreinigung hinter K1 im MHKW Kempten“, April 2020

## **6 Anhang**

- 1 Bilanz/Druckverlauf Ausgangszustand RGR K1 mit neuer Rohrquench (100%)**
  
- 2 Bilanz/Druckverlauf RGR K1 mit neuer Rohrquench (110%)**
  
- 3 Bilanz/Druckverlauf RGR K1 mit neuer Rohrquench (123%)**

# 1 Bilanz/Druckverlauf Ausgangszustand RGR K1 mit neuer Rohrquench (100%)

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

1300

3500

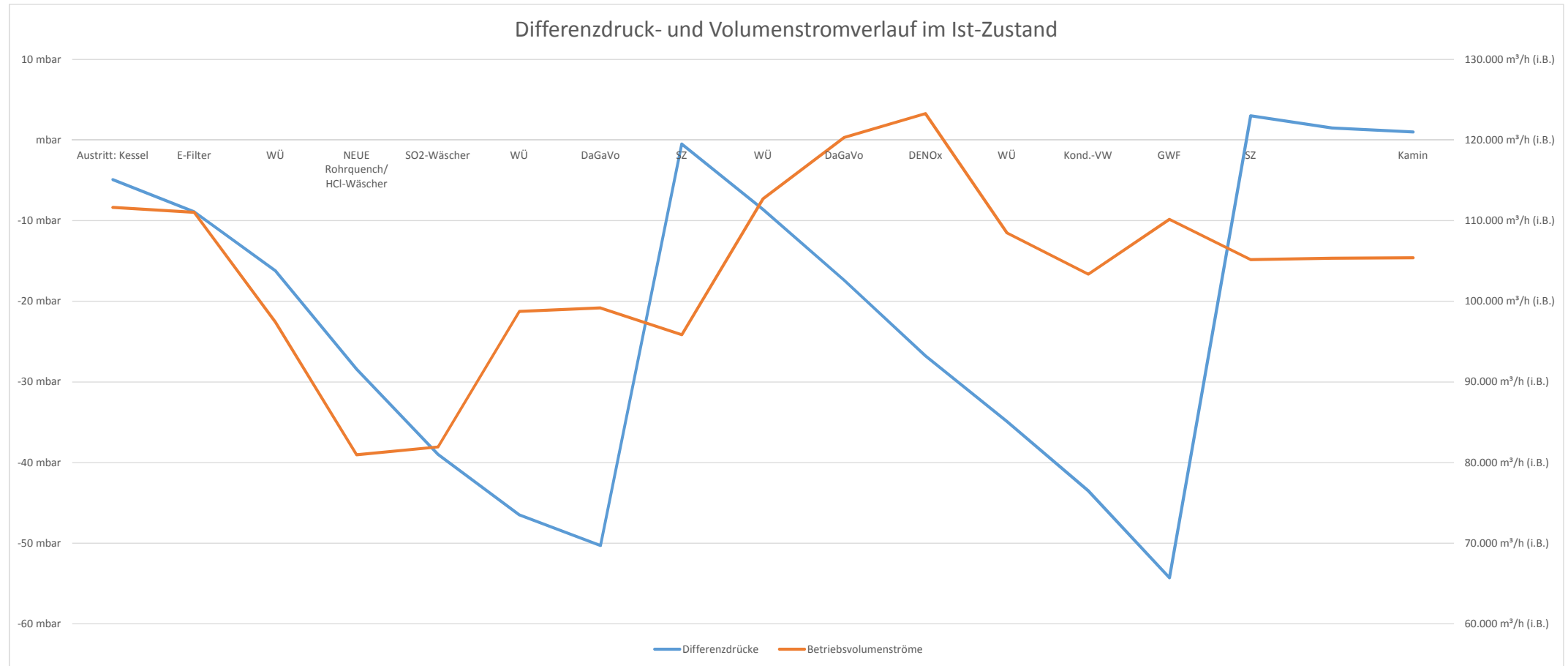
		Austritt: Kessel	E-Filter	WÜ	NEUE Rohrquench/ HCl-Wäscher	SO2-Wäscher	WÜ	DaGaVo	SZ	WÜ	DaGaVo	DENox	WÜ	Kond.-VW	GWF	SZ	Emi-Messung	Kamin
Zusammensetzung RG																		
Co2	12,0 Vol.-% tr.	10,25	10,25	10,25	9,60	9,60	9,60	9,60	9,60	9,60	9,60	9,65	9,65	9,65	9,78	9,78	9,78	9,78
N2	80,2 Vol.-% tr.	68,45	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	0,10	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
SO2	0,02 Vol.-% tr.	0,02	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
O2	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	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
	Nm³/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	Nm³/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/m³ 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/m³ 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	Nm³/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 H2O/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	m³/h	111648,26	111017,95	97420,29	80965,68	81927,83	98740,43	99166,47	95863,64	112719,61	120334,84	123269,18	108458,40	103351,69	110148,47	105169,19	105338,36	105394,87
Druckverlust	mbar	-4,90	-4,00	-7,30	-12,20	-10,60	-7,50	-3,80	49,80	-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	-28,40	-39,00	-46,50	-50,30	-17,40	-8,60	-17,40	-26,80	-34,90	-43,50	-54,30	3,00	1,50	1,00
Volumenstrom	m³/s	31,01	30,84	27,06	22,49	22,76	27,43	27,55	26,63	31,31	33,43	34,24	30,13	28,71	30,60	29,21	29,26	29,28

Umgebungsdruck Kempten

931 mbar



1 Bilanz/Druckverlauf Ausgangszustand RGR K1 mit neuer Rohrquench (100%)



## 2 Bilanz/Druckverlauf RGR K1 mit neuer Rohrquench (110%)

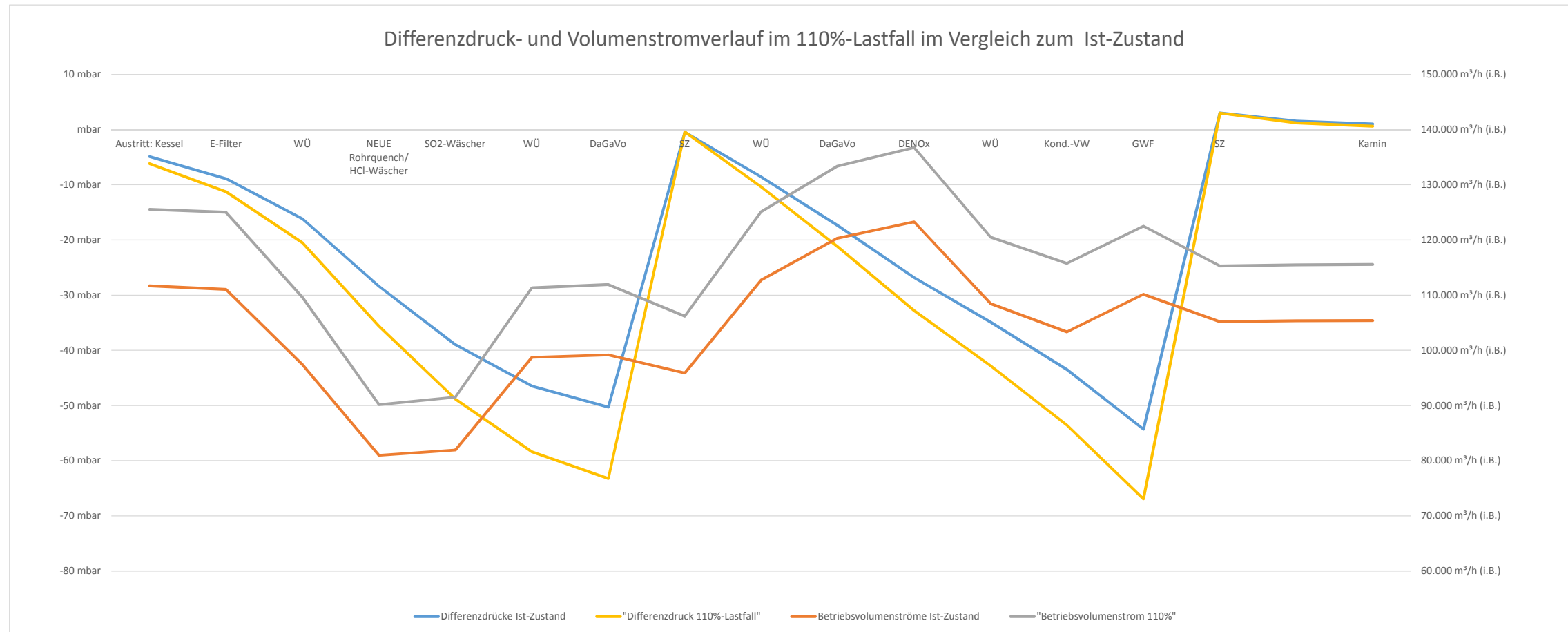
Annahme: Auf Grund der Austrittstemperatur am Wäscher ist von einem Feuchtegehalt von 20% am Wäscher auszugehen

1300

3500

		Austritt: Kessel	E-Filter	WÜ	NEUE Rohrquench/ HCl-Wäscher	SO2-Wäscher	WÜ	DaGaVo	SZ	WÜ	DaGaVo	DENOX	WÜ	Kond.-VW	GWF	SZ	Emi-Messung	Kamin
Zusammensetzung RG																		
Co2	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
N2	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
SO2	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
O2	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
	Nm³/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	Nm³/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/m³ 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/m³ 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	Nm³/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	70473,13	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 H2O/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	<b>629,36</b>	19,37	-1586,45	-538,81	79,89	180,88	<b>0,00</b>	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	4561,89	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/Nm³	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
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	4911,51	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	m³/h	125535,67	124997,86	109599,18	90154,88	91506,31	111304,34	111925,23	106193,21	125086,52	133368,93	136720,93	120527,04	115771,61	122484,25	115265,58	115488,52	115563,04
Differenz zu Ist-Zustand	m³/h	13887,41	13979,92	12178,89	9189,20	9578,48	12563,92	12758,77	10329,57	12366,92	13034,08	13451,75	12068,63	12419,92	12335,79	10096,39	10150,16	10168,17
Druckdifferenz alt	mbar ü	-4,90	-4,00	-7,30	-12,20	-10,60	-7,50	-3,80	49,80	-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	-28,40	-39,00	-46,50	-50,30	-0,50	-8,60	-17,40	-26,80	-34,90	-43,50	-54,30	3,00	1,50	1,00
Volumenstrom alt	m³/s	31,01	30,84	27,06	22,49	22,76	27,43	27,55	26,63	31,31	33,43	34,24	30,13	28,71	30,60	29,21	29,26	29,28
Druckdifferenz neu	mbar ü	<b>-6,19</b>	<b>-5,07</b>	<b>-9,24</b>	<b>-15,13</b>	<b>-13,22</b>	<b>-9,53</b>	<b>-4,84</b>	<b>62,80</b>	<b>-9,97</b>	<b>-10,81</b>	<b>-11,56</b>	<b>-10,00</b>	<b>-10,79</b>	<b>-13,35</b>	<b>69,90</b>	<b>-1,80</b>	<b>-0,60</b>
<b>Austrittsdruck neu</b>	<b>mbar</b>	<b>-6,19</b>	<b>-11,27</b>	<b>-20,50</b>	<b>-35,63</b>	<b>-48,85</b>	<b>-58,38</b>	<b>-63,23</b>	<b>-0,43</b>	<b>-10,40</b>	<b>-21,21</b>	<b>-32,77</b>	<b>-42,78</b>	<b>-53,57</b>	<b>-66,92</b>	<b>2,98</b>	<b>1,17</b>	<b>0,57</b>
RG-Volumenstrom	m³/s	<b>34,9</b>	<b>34,7</b>	<b>30,4</b>	<b>25,0</b>	<b>25,4</b>	<b>30,9</b>	<b>31,1</b>	<b>29,5</b>	<b>34,7</b>	<b>37,0</b>	<b>38,0</b>	<b>33,5</b>	<b>32,2</b>	<b>34,0</b>	<b>32,0</b>	<b>32,1</b>	<b>32,1</b>

## 2 Bilanz/Druckverlauf RGR K1 mit neuer Rohrquench (110%)



### 3 Bilanz/Druckverlauf RGR K1 mit neuer Rohrquench (123%)

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	NEUE Rohrquench/ HCl-Wäscher	SO2-Wäscher	WÜ	DaGaVo	SZ	WÜ	DaGaVo	DENOX	WÜ	Kond.-VW	GWF	SZ	Emi-Messung	Kamin	
Zusammensetzung RG																			
Co2	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	9,72	9,72	9,72	9,72	9,72
N2	80 Vol.-% tr.	68,20	68,20	68,20	63,73	63,73	63,73	63,73	63,73	63,73	63,73	64,01	64,01	64,01	64,72	64,72	64,72	64,72	64,72
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	0,00
SO2	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	0,00
O2	8 Vol.-% tr.	6,83	6,83	6,83	6,38	6,38	6,38	6,38	6,38	6,38	6,38	6,41	6,41	6,41	6,48	6,48	6,48	6,48	6,48
feuchte		14,60	14,60	14,60	20,20	20,20	20,20	20,20	20,20	20,20	20,20	19,85	19,85	19,85	18,96	18,96	18,96	18,96	18,96
	Nm³/h	9961,01	9961,01	9961,01	14748,81	14748,81	14748,81	14748,81	14748,81	14748,81	14748,81	14750,11	14750,11	14750,11	14753,61	14753,61	14753,61	14753,61	14753,61
Stationen RGR																			
Temperatur	°C	234,00	229,00	167,92	60,25	60,25	128,00	128,00	135,00	202,46	228,00	224,55	160,37	138,20	134,42	141,42	141,42	141,42	141,42
Volumenstrom	Nm³/h tr.	58265,10	58265,10	58265,10	58265,10	58265,10	58265,10	58265,10	58265,10	58265,10	58265,10	59565,10	59565,10	59565,10	63065,10	63065,10	63065,10	63065,10	63065,10
Enthalpie	kJ/kg	256,76	251,13	182,84	66,88	66,88	143,15	143,15	151,09	228,34	257,92	253,42	179,64	154,43	149,41	157,31	157,31	157,31	157,31
Dichte	kg/m³ 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	1,25
Dichte trocken	kg/m³ 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	1,35
Volumenstrom feucht	Nm³/h	68226,11	68226,11	68226,11	73013,91	73013,91	73013,91	73013,91	73013,91	73013,91	73013,91	74315,21	74315,21	74315,21	77818,71	77818,71	77818,71	77818,71	77818,71
m feucht	kg/h	86822,74	86822,74	86822,74	90671,65	90671,65	90623,22	90623,22	90623,22	90623,22	90623,22	92381,86	92381,86	92381,86	97116,66	97116,66	97116,66	97116,66	97116,66
m trocken	kg/h	78815,09	78815,09	78815,09	78815,09	78815,09	78815,09	78815,09	78815,09	78815,09	78815,09	80573,59	80573,59	80573,59	85308,04	85308,04	85308,04	85308,04	85308,04
Temp. Wasser zu	°C				60,00				20,00										
Energie RG	kW	5890,73	5757,57	4158,73	1520,79	1520,79	3277,71	3277,71	3462,57	5277,99	5981,85	6000,48	4218,23	3616,25	3694,21	3892,95	3892,95	3892,95	3892,95
cp RG feucht	kJ/kgK	1,04	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	1,02
Differenz Energie RG	kW	0,00	-133,15	-1598,84	-2637,94	0,00	1756,92	0,00	184,86	1815,42	703,86	18,64	-1782,25	-601,98	77,96	198,74	0,00	0,00	0,00
Wasserdampf	kg H2O/h	8007,66	8007,66	8007,66	11856,57	11856,57	11856,57	11856,57	11856,57	11856,57	11856,57	11857,61	11857,61	11857,61	11860,43	11860,43	11860,43	11860,43	11860,43
delta Massenstrom	kg/h	0,00	0,00	0,00	3848,91	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	0,00
Differenz zu Istzustand	kg/h				842,83														
Enthalpie Wasser zu	kW	0,00	0,00	0,00	268,59	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	0,00
Verdampfungswärme	kW	5310,52	5309,52	5227,56	7230,18	7230,18	7582,70	7582,70	7613,70	7830,35	7861,09	7859,70	7714,95	7628,13	7613,65	7643,45	7643,45	7643,45	7643,45
differenz Verdampfungswärme	kW	0,00	0,00	0,00	2347,08	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	0,00
Bilanz Wasser/ Rauchgasenthalpie			-133,15	-1598,84	-559,45	0,00	1756,92	0,00	184,86	1815,42	<b>703,86</b>	19,33	-1781,57	-601,31	79,77	200,55	<b>0,00</b>	0,00	0,00
Verdampfungsenthalpie	kJ/kg	2387,45	2387,00	2350,15	2195,29	2195,29	2302,33	2302,33	2311,74	2377,52	2386,86	2386,22	2342,28	2315,92	2310,98	2320,02	2320,02	2320,02	2320,02
trockenes RG	kW	5202,41	5088,23	3704,82	1314,02	1314,02	2811,52	2811,52	2967,54	4484,56	5065,41	5098,02	3613,98	3106,85	3197,99	3367,12	3367,12	3367,12	3367,12
	kJ/kg	237,63	232,41	169,22	60,02	60,02	128,42	128,42	135,55	204,84	231,37	227,78	161,47	138,81	134,96	142,09	142,09	142,09	142,09
	kg/Nm³	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	1,35
cp	kJ/kgK	1,04	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	1,02
	kW	5347,43	5226,55	3775,17	1321,93	1321,93	2850,63	2850,63	3011,40	4590,27	5202,42	5233,50	3679,06	3154,02	3245,03	3419,60	3419,60	3419,60	3419,60
Betriebsvolumenstrom	m³/h	138963,63	138527,90	123249,06	101871,64	103868,61	126779,97	127719,60	118775,68	140300,06	150070,93	154203,06	136276,18	131392,09	139096,78	128053,81	128359,80	128462,17	128462,17
Differenz zu Ist-Zustand	m³/h	27315,37	27509,95	25828,77	20905,95	21940,78	28039,55	28553,13	22912,04	27580,46	29736,08	30933,88	27817,78	28040,41	28948,32	22884,62	23021,44	23067,30	23067,30
Druckdifferenz alt	mbar ü	-4,90	-4,00	-7,30	-12,20	-10,60	-7,50	-3,80	49,80	-8,10	-8,80	-9,40	-8,10	-8,60	-10,80	57,30	-1,50	-0,50	-0,50
Austrittsdruck alt	mbar	-4,90	-8,90	-16,20	-28,40	-39,00	-46,50	-50,30	-0,50	-8,60	-17,40	-26,80	-34,90	-43,50	-54,30	3,00	1,50	1,00	1,00
Volumenstrom alt	m³/s	31,01	30,84	27,06	22,49	22,76	27,43	27,55	26,63	31,31	33,43	34,24	30,13	28,71	30,60	29,21	29,26	29,28	29,28
Druckdifferenz neu	mbar ü	-7,59	-6,23	-11,68	-19,31	-17,04	-12,36	-6,30	<b>80,00</b>	-12,55	-13,69	-14,71	-12,79	-13,90	-17,22	<b>88,70</b>	-2,23	-0,74	-0,74
<b>Austrittsdruck neu</b>	<b>mbar</b>	<b>-7,59</b>	<b>-13,82</b>	<b>-25,50</b>	<b>-44,82</b>	<b>-61,85</b>	<b>-74,22</b>	<b>-80,52</b>	<b>-0,52</b>	<b>-13,07</b>	<b>-26,76</b>	<b>-41,47</b>	<b>-54,25</b>	<b>-68,15</b>	<b>-85,38</b>	<b>3,32</b>	<b>1,10</b>	<b>0,35</b>	<b>0,35</b>
RG-Volumenstrom	m³/s	<b>38,6</b>	<b>38,5</b>	<b>34,2</b>	<b>28,3</b>	<b>28,9</b>	<b>35,2</b>	<b>35,5</b>	<b>33,0</b>	<b>39,0</b>	<b>41,7</b>	<b>42,8</b>	<b>37,9</b>	<b>36,5</b>	<b>38,6</b>	<b>35,6</b>	<b>35,7</b>	<b>35,7</b>	<b>35,7</b>

### 3 Bilanz/Druckverlauf RGR K1 mit neuer Rohrquench (123%)

