

## **Abschlussbericht**

Zukunftsweisende Gasgeräte

-

Kontinuierliche Abgasabführung von  
Gaswärmepumpen mit Brennwertgeräten

DVGW – F & E – Vorhaben  
(Projektnummer G 5/02/09)  
Auftrags-Nr. 152699

von

Dipl.-Ing. Sabine Feldpausch-Jägers  
Dipl.-Ing. Eren Tali  
Dipl.-Ing. Frank Burmeister

Essen, 27. September 2010

**Gaswärme-Institut e. V. Essen**

Hafenstraße 101 · 45356 Essen · Tel. 0201 3618-269 · Fax 0201 3618-238  
e-mail: [fueftkontakt@gwi-essen.de](mailto:fueftkontakt@gwi-essen.de)

## Inhalt

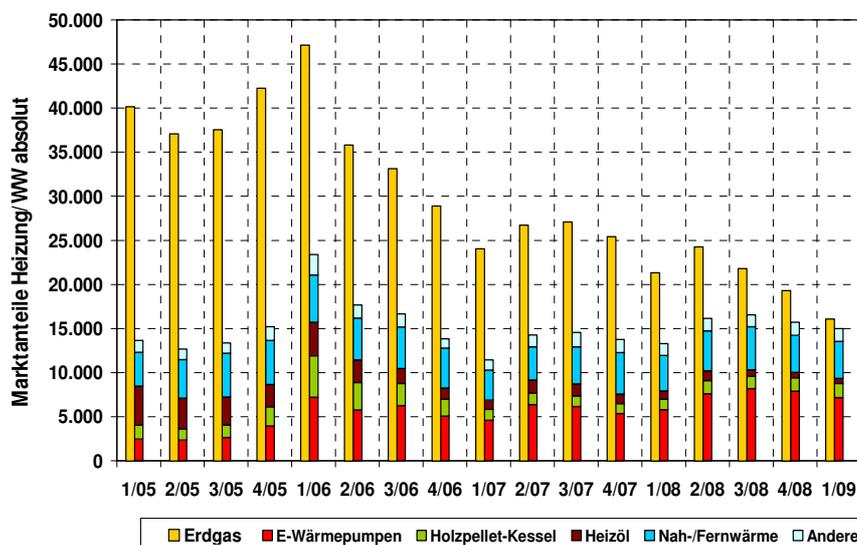
<b>1</b>	<b>HINTERGRUND</b> .....	<b>4</b>
<b>2</b>	<b>ZIELSETZUNG</b> .....	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>REGELWERKE BEZÜGLICH GWP UND BWK IN DEUTSCHLAND, ÖSTERREICH, SCHWEIZ</b> .....	<b>7</b>
3.1	EN 12309-1 .....	8
3.2	EN 12309-2 .....	9
3.3	DVGW-VP 120 .....	9
3.4	DIN EN 677 .....	10
3.5	SVGW G 206.....	11
3.6	SVGW G 207.....	11
3.7	ÖVGW PG 363.....	11
3.8	Angabe zu Kaskadenprüfungen in den Niederlanden .....	11
3.9	Angaben des Engler-Bunte-Instituts zu Kaskadenprüfungen .....	12
<b>4</b>	<b>ANALYSE DER KASKADENSPEZIFISCHEN REGELWERKSANFORDERUNGEN</b> .	<b>13</b>
4.1	EN 13384-2 .....	13
4.2	DVGW G 600, Technische Regel für Gasinstallationen (TRGI).....	14
4.3	DVGW G 635.....	14
<b>5</b>	<b>PRÜFUNGEN VON KASKADENANLAGEN</b> .....	<b>16</b>
5.1	Beispiel einer Prüfung einer Kaskadenanlage aus vier BWK .....	17
5.2	Beispiel einer Prüfung einer Kaskadenanlage aus GWP und BWK.....	19
<b>6</b>	<b>STRÖMUNGSSIMULATIONEN</b> .....	<b>21</b>
6.1	Simulationsergebnisse der Geräteanordnung 1 .....	21
6.2	Simulationsergebnisse der Geräteanordnung 2 .....	25
6.3	Simulationsergebnisse der Geräteanordnung 3 .....	30
6.4	Simulationsergebnisse der Geräteanordnung 4 .....	33
6.5	Simulationsergebnisse der injektorartigen Abgaszusammenführung .....	35
6.6	Zusammenfassung der Simulationsergebnisse.....	45
<b>7</b>	<b>ÜBERTRAGBARKEIT AUF NEUE GASTECHNOLOGIEN</b> .....	<b>46</b>

7.1	Bedingungsliste für das neue Regelwerk .....	46
7.2	Grobstruktur des neuen Regelwerkes.....	50
7.3	Technische Spezifikation .....	51
<b>8</b>	<b>AUSLEGUNG VON ABGASABFÜHRUNGEN .....</b>	<b>52</b>
8.1	Berechnungssoftware Kesa-Aladin .....	52
<b>9</b>	<b>ZUSAMMENFASSUNG .....</b>	<b>58</b>
<b>10</b>	<b>LITERATURHINWEISE.....</b>	<b>62</b>
	<b>Anhang.....</b>	<b>63</b>

## 1 Hintergrund

Die Bundesregierung hat zusammen mit 26 anderen EU-Ländern Ende 2008 eine Verringerung der klimaschädlichen Treibhausgase von 20 % bis zum Jahr 2020 beschlossen. Das betrifft vor allem die Emissionen von CO<sub>2</sub>, das bei der Verbrennung aller fossilen Brennstoffe entsteht. Hauptverursacher ist mit fast 40 % die Gebäudewärmeversorgung. Über 35 % der CO<sub>2</sub>-Emissionen sind dem Gebäudebestand zuzurechnen. Während die Industrie die CO<sub>2</sub>-Minderungs- und Energieeinsparpotenziale größtenteils bereits erschlossen hat und im Verkehrsbereich die spezifischen Verbräuche deutlich gesenkt werden konnten, liegen die Potenziale im Gebäudebestand noch weitestgehend brach. Vor dem Hintergrund wachsender Herausforderungen für die europäische und nationale Energie- und Umweltpolitik gewinnt die Erschließung dieser hohen brachliegenden Potenziale an Bedeutung. Die neue Bundesregierung hat im Koalitionsvertrag festgelegt, das CO<sub>2</sub>-Gebäudesanierungsprogramm wirkungsvoller auszugestalten, um die derzeitige Sanierungsquote zu steigern. Laut BDH (Bundesindustrieverband Haus-, Energie- und Umwelttechnik e.V.) entsprechen nur ca. 13 % der deutschen Heizungssysteme dem Stand der Technik und kombinieren damit hohe Effizienz mit erneuerbaren Energien [1].

Energieeffizienz ist in Zeiten steigender Energiepreise und des Klimaschutzes zu einem zentralen Qualitätsmerkmal von Wohnhäusern geworden. Die Kunden setzen vermehrt „regenerative Heiztechnologien“ ein, z. B. Elektrowärmepumpen oder Holzpelletkessel, wohingegen die Anschlussdichte von mit Erdgas versorgten Häusern in den letzten fünf Jahren deutlich zurückgegangen ist. (siehe Abbildung 1-1)



**Abbildung 1-1: Entwicklung der Marktanteile verschiedener Energieträger im Neubau (Quelle: E.ON Ruhrgas)**

Insbesondere durch die neuen „Wärme Gesetze“ auf Bundesebene und im Land Baden-Württemberg bekommt die Einbindung von regenerativen Energien in der häuslichen Wärmeversorgung eine immer stärkere Bedeutung. In dem EEWärme-Gesetz „Erneuerbare-Energien-Wärme-Gesetz“ hat die Bundesregierung bereits seit Anfang 2008 vorgeschrieben, dass die Wärmeversorgung bei Neubauten, für die ab 1. April 2008 die Bauunterlagen erstmalig eingereicht wurden, zu mindestens 20 Prozent über erneuerbare Energien wie Sonnenenergie, Erdwärme und Wärmepumpen oder Biomasse gedeckt werden müssen. Baden-Württemberg hat als erstes Bundesland ein zusätzliches Gesetz verabschiedet, das auch den Bauherren bei Sanierung von Altbauten den Einsatz erneuerbarer Energien vorschreibt. Wer ab 2010 eine neue Heizung einbaut, muss ein Zehntel des Bedarfs aus erneuerbaren Energien decken oder ersatzweise das Haus so isolieren, dass der Wärmebedarf entsprechend sinkt [2].

Mittlerweile sind neue Gastechnologien entwickelt und zur Marktreife geführt worden. Als eine Möglichkeit einen Beitrag zu einem schonenden Umgang mit den vorhandenen Umweltressourcen zu leisten, nämlich die Einbindung von Umweltwärme, wird hier der Einsatz von Gaswärmepumpen und  $\mu$ KWK-Anlagen angesehen. Erste Produkte stehen kurz vor der Markteinführung.

Ein wesentliches Instrument für die Energieeinsparung ist der Energieausweis für Gebäude, der durch das in Kraft treten der Novelle der Energieeinsparverordnung (EnEV) zum 1. Oktober 2007 eingeführt wurde. Auf Basis des bedarfsorientierten Energieausweises können Hauseigentümern sinnvolle und zielführende Maßnahmen zur Verbesserung der energetischen Qualität objektiv empfohlen werden. Angesichts der hohen Energiepreise und der damit verbundenen starken Steigerung der Nebenkosten für Eigentümer und Mieter sind die energetischen Modernisierungen des Bestandes auf Basis der durch den Energieausweis ausgelösten Beratung von besonderer Aktualität. Ziel der neuen Energieeinsparverordnung EnEV 2009 ist es, den Energiebedarf für Heizung und Warmwasser im Gebäudebereich um 30 % zu senken. Weiterhin sind in der Bundes-Immissionsschutz-Verordnung (BImSchV) verschärfte Abgasverlust-Grenzwerte festgelegt worden.

## **2 Zielsetzung**

Für den häuslichen Bereich werden zurzeit Gaswärmepumpen mit kleinen Heizleistungen bis 10 kW entwickelt. In vielen Anwendungsfällen kann es – insbesondere im Gebäudebestand -

erforderlich werden, diese Heizsysteme mit handelsüblichen Brennwertkesseln zu kombinieren, um Spitzenlasten abzudecken.

Da bezüglich einer Kaskadierung von Gaswärmepumpen mit Brennwertkessel kein Regelwerk vorhanden ist bzw. bestehendes Regelwerk nur anlehungsweise angewendet werden kann, herrscht sowohl bei Herstellern als auch bei Anlagenplanern eine große Unsicherheit hinsichtlich eines Sicherheitskonzeptes und der Auslegung der Abgasabführung.

Im Rahmen einer Studie sollten folgende Punkte behandelt werden:

- Recherche bezüglich möglicher Anforderungen an die Funktionalität und das Sicherheitskonzept von Kaskadenanlagen bestehend aus Gaswärmepumpe und Brennwertkessel
- Auslegung von Abgasleitungen für exemplarisch ausgewählte Gaswärmepumpensysteme mit einem Zusatzheizgerät
- Ableitung von Ergänzungsvorschlägen für das Regelwerk

### 3 Regelwerke bezüglich GWP und BWK in Deutschland, Österreich, Schweiz

Tabelle 1 zeigt die relevanten harmonisierten und nationalen Normen und Richtlinien, die für eine EG- Baumusterprüfung nach GGR- Richtlinie herangezogen werden. Ausgenommen sind dabei die Normen, die ausschließlich für einzelne Bauteile, wie z. B. Flammenüberwachungseinrichtungen für Gasgeräte oder automatische Absperrventile für Gasbrenner und Gasgeräte gelten. Auch die für Brennwertkessel zutreffenden Normen sind in Tabelle 1 enthalten.

**Tabelle 1: Normen und Richtlinien zur EG-Baumusterprüfung von Gaswärmepumpen**

Nummer	Titel	Gültigkeit
EN 12309-1	Gasbefeuerte Absorptions- und Adsorptions-Klimageräte und/ oder Wärmepumpengeräte mit einer Nennwärmebelastung nicht über 70 kW- Teil 1: Sicherheit	  
EN 12309-2	Gasbefeuerte Absorptions- und Adsorptions-Klimageräte und/ oder Wärmepumpengeräte mit einer Nennwärmebelastung nicht über 70 kW- Teil 2: Rationelle Energieanwendung	  
EN 15502-1 Entwurf	Heizkessel für gasförmige Brennstoffe - Teil 1: Allgemeine Anforderungen und Prüfungen	  
EN 483	Heizkessel des Typs C mit einer Nennwärmebelastung kleiner 70 kW	  
EN 297	Heizkessel der Art B mit atmosphärischen Brennern, mit einer Nennwärmebelastung kleiner als oder gleich 70 kW	  
EN 677	Besondere Anforderungen an Brennwertkessel mit einer Nennwärmebelastung kleiner oder gleich 70 kW	  
DVGW VP 120	Gasbetriebene Adsorptions- Heizgeräte	
DIN 33830-1/-2/-3/-4	Anschlussfertige Heiz- Absorptionswärmepumpen	
DIN 33831-1/-2/-3/-4	Anschlussfertige Heiz- Wärmepumpen mit verbrennungsmotorisch angetriebenen Verdichtern	
SVGW G207	Prüfung von Wasser/Wasser- und Sole/Wasser- Gaswärmepumpen Begriffe, Prüfbedingungen und-verfahren	
SVGW G206	Prüfung von Luft-/Wasser- Gaswärmepumpen	
ÖVGW PG363	Wärmepumpen für gasförmige Brennstoffe	

### **3.1 EN 12309-1**

Die Norm 12309-1 (10/1999) enthält umfangreiche Bedingungen bezüglich der Sicherheit von Ab- und Adsorptionswärmepumpen. Sie ersetzt DIN 33830-2.

Diese Norm gilt für Geräte mit Abgasabführung der Typen B<sub>12</sub>, B<sub>12BS</sub>, B<sub>13</sub>, B<sub>13BS</sub>, B<sub>14</sub>, B<sub>22</sub>, B<sub>23</sub>, C<sub>12</sub>, C<sub>13</sub>, C<sub>32</sub> und C<sub>33</sub> und für Geräte zur Aufstellung im Freien.

In Bezug auf die Abgasabführung sind hier nachfolgend in Abbildung 3-1 die Anforderungen an die Dichtheit des Abgasweges und eine einwandfreie Abgasabführung zitiert:

#### **6.1.2 Dichtheit des Abgasweges und einwandfreie Abgasabführung**

##### **6.1.2.1 Geräte der Typen B<sub>12</sub> und B<sub>13</sub>**

Bei Prüfung des Geräts unter den in 7.3.1.2.1 angegebenen Bedingungen dürfen die Abgase ausschließlich an der Abgasrohrmündung austreten.

##### **6.1.2.2 Geräte vom Typ B<sub>14</sub>**

Bei Prüfung des Geräts unter den in 7.3.1.2.2 angegebenen Bedingungen dürfen die Abgase ausschließlich an der Abgasrohrmündung austreten.

##### **6.1.2.3 Geräte der Typen B<sub>22</sub> und B<sub>23</sub>**

Bei Prüfung des Geräts unter den in 7.3.1.2.3 angegebenen Bedingungen dürfen die Abgase ausschließlich an der Abgasrohrmündung austreten.

##### **6.1.2.4 Geräte der Typen C<sub>12</sub>, C<sub>13</sub>, C<sub>32</sub> und C<sub>33</sub>**

Bei Prüfung des Geräts unter den in 7.3.1.2.4 angegebenen Bedingungen darf die Luftleckrate den Wert von 0,25 m<sup>3</sup>/h pro kW Wärmebelastung bzw. das Maximum von 10 m<sup>3</sup>/h nicht überschreiten.

#### **Abbildung 3-1: Auszug aus EN 12309-1**

Neben diesen Betriebsanforderungen werden Prüfbedingungen zur Abgasabführung (Kap. 7.1.6.2) genannt sowie Anforderungen zur Betriebssicherheit in Bezug auf die Dichtheit des Abgasweges und einer einwandfreien Abgasabführung (Kap. 7.3.1.2).

### 3.2 EN 12309-2

Die Norm EN 12309-2(06/2000) ersetzt – wie schon Teil 1 – die DIN 33830-2. Sie enthält keine Angaben über Anforderungen an die Abgasabführung gasbefuerter Adsorptions- und Adsorptions-Wärmepumpengeräte.

### 3.3 DVGW-VP 120

Die vorläufige Prüfgrundlage VP 120 (Technische Regel von 08/2003) des DVGW-Regelwerkes legt zusätzlich zur EN 12309 Teil 1 und Teil 2 Anforderungen für Adsorptions-Heizgeräte für Warmwasserheizungsanlagen mit einer maximalen Wärmebelastung von 70 kW fest und gilt ergänzend zu den eben genannten Normen. Die Anwendung dieser Prüfgrundlage auf andere Adsorptionsgeräte ist sinngemäß möglich.

Sie gilt für den Bau, die Funktionsanforderungen und die Aufstellbedingungen für Adsorptionsheizgeräte mit folgenden Randbedingungen:

- Maximale Wärmebelastung (bezogen auf den Gasdurchlass): 70 kW
- Brennstoff: Brenngase nach dem DVGW- Arbeitsblatt G 260
- Maximale Heizwassertemperatur: 105 °C
- Maximaler Druck Heizkreis
- Maximaler Druck Brauchwasser (sofern eingebaut)
- Geräteaufbau: entsprechend den Ausführungen gemäß EN 483 bzw. EN 297
- Abweichend von der EN 12309- 1 gelten folgende Ausführungen:

(C<sub>12x</sub>, C<sub>13x</sub>, C<sub>32x</sub>, C<sub>33x</sub>, C<sub>53x</sub>, C<sub>62</sub>, C<sub>62x</sub>, C<sub>63x</sub>, C<sub>82x</sub>, C<sub>83</sub>, C<sub>83x</sub>, B<sub>32</sub>, B<sub>33</sub>)

In dem Kapitel Bauanforderungen und speziell Überwachungseinrichtungen wird für die Verbrennungsluftversorgung folgendes gefordert:

Zitat: Die Verbrennungsluftversorgung muss überwacht werden. Die Überwachung muss mindestens den Anforderungen in EN 483:2000-06 genügen.

Für den Abgasweg gelten folgende Anforderungen:

Zitat: „Wenn abgasführende Teile aus Kunststoff verwendet werden, muss – entsprechend der Temperaturklasse – ein Sicherheitstemperaturbegrenzer (STB) entsprechend DIN 3440-1984/07 vorgesehen werden, es sei denn die höchstzulässige Temperatur wird unter keinen Umständen erreicht.

Die anwendbaren Anforderungen an die Abgasüberwachung der EN 677:1998-08 müssen erfüllt werden.

In Bezug auf die Dichtheit des Verbrennungskreislaufs werden die Anforderungen in EN 483:2000-06 genannt.“

### 3.4 DIN EN 677

Diese europäische Norm gilt für gasbefeuerte Zentralheizungskessel, die vom Hersteller als „Brennwertkessel“ bezeichnet werden:

- der Typen B (ausgenommen Geräte ohne Gebläse) und C,
- die mit einem oder mehreren gasförmigen Brennstoffen der drei Gasfamilien betrieben werden und
- deren Nennwärmeleistung gleich oder kleiner ist als 70 kW.

Diese Europäische Norm gilt nur für die Baumusterprüfung.

Sie vervollständigt oder modifiziert die Kesselnormen EN 297, EN 483 und EN 625, nachfolgend „Kesselnormen“ genannt, auf die auch normativ verwiesen wird. Sie legt zusätzliche Anforderungen für Brennwertkessel fest.

Hinsichtlich der Abgasabführung werden folgende Anforderungen gestellt:

Zitat zu den Bauanforderungen in Kap. 4.3: Überwachung der Abgastemperatur:

„Wenn das Abgasabführungssystem aus Werkstoffen besteht, die erwartungsgemäß von der Wärme der Abgase beeinflusst werden, oder wenn es dafür vorgesehen ist, an Abgasleitungen (einschließlich Dichtungen) angeschlossen zu werden, die erwartungsgemäß von der Wärme der Abgase beeinflusst werden, muss der Kessel mit einer Einrichtung ausgerüstet sein, die verhindert, dass die Abgastemperatur die vom Hersteller angegebene, höchstzulässige Betriebstemperatur überschreitet.

Der Abgastemperaturbegrenzer darf nicht einstellbar sein und darf nicht ohne Werkzeug zugänglich sein.

Wenn das Abgasabführungssystem nicht mit dem Kessel geliefert wird, darf der Abgastemperaturbegrenzer mit der Auflage beigelegt werden, dass er vom Installateur einzubauen ist. Die Montage muss gut definiert sein.“

Zitat zu den Funktionsanforderungen in Kap. 5.4: Abgastemperatur:

„Wenn der Kessel mit einer Einrichtung zur Begrenzung der maximalen Abgastemperatur ausgerüstet ist, darf die Abgastemperatur unter den Bedingungen von 6.4 die vom Kesselhersteller angegebene höchstzulässige Betriebstemperatur der Werkstoffe des Abgasabführungssystems und der Ableitungen nicht überschreiten. Das Ansprechen dieser Einrichtung muss eine Sicherheitsabschaltung mit gesperrter Verriegelung herbeiführen.“

Zitat zum Prüfverfahren in Kap. 6.4: Abgasabführung:

„Der Kessel wird nach den allgemeinen Prüfbedingungen der Kesselnormen installiert und mit einem der seiner Kesselkategorie entsprechenden Normprüfgase bei Nennwärmebelastung betrieben. Kessel des Typs B werden an ein 1 m langes Prüfrohr angeschlossen

und Kessel des Typs C werden mit der kürzesten vom Hersteller angegebenen Abgasleitung verbunden. Der Temperaturregler des Kessels wird außer Betrieb gesetzt. Falls vorhanden, bleibt der Abgastemperaturbegrenzer in Betrieb. Die Abgastemperatur wird schrittweise erhöht und zwar entweder durch Steigerung des Gasdurchflusses oder durch andere Mittel, die einen Anstieg der Temperatur bewirken (z. B. durch Entfernen von Einbauten) wie vom Hersteller festgelegt. Es wird geprüft, ob die Anforderungen von Kap. 5.4 erfüllt werden.“

### **3.5 SVGW G 206**

Unter dem Kapitel Aufstellen und Anschließen des Gerätes ist unter 6.3.2, (Abgasrohr), folgendes aufgeführt:

Zitat: „Das Abgasrohr der Wärmepumpe muss von der Abgasanlage der Prüfeinrichtung entkoppelt an diese angeschlossen werden (Zugunterbrecher). Zusätzlich sind das Abgasrohr der Wärmepumpe und die Teile der Abgasanlage der Prüfeinrichtung thermisch zu isolieren, die sich im klimatisierten Prüfraum befinden.

Die Abgastemperatur wird unmittelbar am Abgasaustrittsstutzen des Gerätes erfasst.“

### **3.6 SVGW G 207**

Die Abgastemperatur wird unmittelbar am Abgasaustrittsstutzen des Gerätes erfasst.

In Bezug auf die Abgasabführung enthalten die schweizerischen Regelwerke keine weiteren Angaben, sondern Verweise auf EN 12309-1.

### **3.7 ÖVGW PG 363**

Die Prüfrichtlinie PG 363 (01/2008) der österreichischen Vereinigung für das Gas- und Wasserfach enthält Anforderungen und Prüfungen für die Zuerkennung der ÖVGW-Qualitätsmarke von Gaswärmepumpen für gasförmige Brennstoffe und ist in Verbindung mit der PG 300 (Gasgeräte) anzuwenden. In PG 300 werden Angaben über die Sicherung gegen Abgasaustritt, Abgas- und Verbrennungsluftförderung, zur Abgastemperatur und über die Ermittlung der Werte für die Abgasabführung gemacht. Kaskadenartige Zusammenführungen von Abgasströmen werden jedoch nicht erwähnt. In Bezug auf die sicherheitstechnischen Anforderungen wird auf EN 12309-1 verwiesen.

### **3.8 Angabe zu Kaskadenprüfungen in den Niederlanden**

Auf die Anfrage bei einem niederländischen Kesselhersteller bezüglich der Prüfung von Kaskadenanlagen in den Niederlanden erhielten wir folgende Antwort:

„Wie schon mitgeteilt, gibt es in Holland keine speziellen Anforderungen, bei uns wird auch nicht nachgefragt ob eine Kaskadenzertifizierung existiert! Bei einer Kaskadenanfrage

machen wir eine Berechnung ob die Anlage funktioniert, wenn ja dann ist alles in Ordnung. Bei Überdruckkaskaden wird immer Merkblatt G 635 mit aufgenommen.

Also in Deutschland ist man weiter.“

Auch wird nach Aussagen von Kiwa Nederland eine Kaskadenanlage von Fall zu Fall gemessen oder berechnet.

### **3.9 Angaben des Engler-Bunte-Instituts zu Kaskadenprüfungen**

Auf die Anfrage beim Engler-Bunte-Institut in Karlsruhe in Bezug auf die Prüfung von Kessel-Kaskaden bekamen wir folgende Prüfhinweise:

Zitat: „Die einzelnen Geräte werden so aufgestellt, dass eine hydraulische Einbindung aller Geräte in das System möglich ist. Üblicherweise erfolgt dies mit zwei Sammelrohren, in die die Vorlaufströme bzw. Rücklaufströme einmünden. Die Geräte haben üblicherweise auch getrennte Umwälzpumpen und müssen im Grunde genommen auch hydraulisch getrennt werden, wenn sie nicht im Betrieb sind.

Das gleiche gilt auch für die Luftzufuhr und Abgasabführung: Auch hier wird aus einem Sammelrohr Verbrennungsluft für alle Geräte entnommen, die Abgasströme münden ebenfalls wieder in ein Sammelrohr. Dieses Sammelrohr muss üblicherweise so ausgelegt sein, dass die Zuluftgeschwindigkeit nicht zu groß wird, wenn alle Geräte im Betrieb sind. Der Abgasstrom im Abgasrohr kann bis zu 8 m/s betragen. Die Geräte sollten zweckmäßigerweise nahezu identisch oder zumindest gleichartig sein, damit das ganze System nicht zu kompliziert wird. Sie müssen nicht unbedingt die gleiche Leistung besitzen, das Funktionsprinzip sollte bei allen identisch sein. Es ist in jedem Fall notwendig, die einzelnen Geräte auch strömungsmäßig z. B. durch motorische Abgasklappen zu trennen.“

In Bezug auf eine Kaskade aus Gaswärmepumpe und Heizkessel lautet die Antwort:

Zitat: „Bisher haben wir nur Kaskaden mit gleichartigen Geräten geprüft. Kaskaden mit derartig unterschiedlichen Geräten sind nach meiner Vorstellung etwas eigenartig, da der Zusammenbau einen gewissen komplizierten Aufwand erfordert“.

#### 4 Analyse der kaskadenspezifischen Regelwerksanforderungen

In Bezug auf die Abgasabführung sind sowohl für die Gaswärmepumpen als auch für die Brennwertkessel folgende Normen und technischen Regeln zu berücksichtigen:

**Tabelle 2: Normen und technische Regeln zu Abgasabführungen**

Bezeichnung	Titel
<b>DIN EN 13384-1; (08/2008)</b>	Abgasanlagen; Wärme- und strömungstechnische Berechnungsverfahren; Teil 1: Abgasanlagen mit einer Feuerstätte
<b>DIN EN 13384-2; (07/2009)</b>	Abgasanlagen; Wärme- und strömungstechnische Berechnungsverfahren; Teil 2: Abgasanlagen mit mehreren Feuerstätten
<b>DIN EN 13384-3; (03/2006)</b>	Abgasanlagen; Wärme- und strömungstechnische Berechnungsverfahren; Teil 3: Verfahren für die Entwicklung von Diagrammen und Tabellen für Abgasanlagen mit einer Feuerstätte
<b>EN 1443; (06/2003)</b>	Abgasanlagen; Allgemeine Anforderungen
<b>DVGW G 600; (04/2008)</b>	TRGI 2008: Technische Regel für Gasinstallationen
<b>DVGW G 635; (01/2001)</b>	Technische Mitteilungen: Gasgeräte für den Anschluss an ein Luft-Abgas-System für Überdruckbetrieb (standardisiertes Verfahren)
<b>DVGW G 636; (01/2001)</b>	Technische Mitteilungen: Gasgeräte für den Anschluss an ein Luft-Abgas-System für Unterdruckbetrieb (standardisiertes Verfahren)

##### 4.1 EN 13384-2

Für die Dimensionierung und die Überprüfung der sicheren Abgasabführung von mehrfach belegten Abgasanlagen gibt es jedoch in EN 13384 Teil 2 Berechnungsmethoden für die wärme- und strömungstechnischen Eigenschaften von mehrfach belegten Abgasanlagen. Im Abschnitt 14 Kaskadenschaltungen wird auf die einzuhaltenden Bedingungen und die Berechnung der Abgasanlage eingegangen. Das komplexe Berechnungsverfahren zu solchen Kaskadenanlagen wird am besten mit Hilfe eines Computer-Programms, wie beispielsweise von Kesa-Aladin angewendet. Diese Norm dient zur Unterstützung der Ausführungsnormen für mehrfach belegte Abgasanlagen. Die jeweilige Ausführungsnorm legt Grenzen und sicherheitstechnische Anforderungen in Zusammenhang mit der Planung, der Errichtung, Inbetriebnahme und der Wartung mehrfach belegter Abgasanlagen fest.

Folgende Bedingungen müssen erfüllt werden:

1. Bedingungen für den Massenstrom
2. Bedingung für den minimalen Unterdruck oder den maximalen Überdruck
3. Bedingung für den maximalen Unterdruck oder den minimalen Überdruck
4. Temperaturbedingung

Bei Überdruck-Abgasanlagen gilt EN 13384-2 nur dann, wenn alle nicht in Betrieb befindlichen Feuerstätten sicher abgesperrt werden können, um einen Abgasrückfluss zu verhindern.

#### **4.2 DVGW G 600, Technische Regel für Gasinstallationen (TRGI)**

Die DVGW G 600, TRGI 2008 „Technische Regel für Gasinstallationen“ enthält Anforderungen an die Abgasabführung, sowohl allgemeine Anforderungen als auch speziell für eine gemeinsame Abgasanlage. An eine gemeinsame Abgasanlage dürfen nur Gasgeräte der gleichen Art, z. B. nur C-Geräte angeschlossen werden. Mehrere Gasfeuerstätten dürfen an eine gemeinsame Abgasanlage nur angeschlossen werden, wenn [3, Kap. 10.3.3]:

- durch die Beschaffenheit und Bemessung die einwandfreie Ableitung der Abgase für jeden Betriebszustand sichergestellt ist,
- die Übertragung von Abgasen zwischen den Aufstellräumen oder ein Austritt von Abgasen über nicht in Betrieb befindliche Feuerstätten ausgeschlossen ist.

Weiterhin gilt für die Abgasabführung der Gasgeräte Art C:

- Zuführung der Verbrennungsluft aus dem Freien
- Luft-Abgassysteme mit CE-Kennzeichnung oder allgemeiner baurechtlicher Zulassung
- Abgasausgang über Dach im Abstand von 0,40 m, wenn  $Q_{ges} < 50 \text{ kW}$
- Abstand der Mündung zu Fenstern, Dachaufbauten, brennbaren Baustoffen 1 m hoch oder 1,5 m entfernt
- standardisierte Anschlussmöglichkeit in DVGW G 635 (Überdruckbetrieb)

In der TRGI wird keine Kaskadenanlage aus Gasgeräten erwähnt.

#### **4.3 DVGW G 635**

Dieses DVGW-Merkblatt (01/2001) regelt die Voraussetzungen und die Kennzeichnung von Gasgeräten in standardisierter Ausführung zum Anschluss an ein mehrfach belegtes Luft-

Abgas-System für Überdruckbetrieb. In diesem Merkblatt geht es um Gasgeräte der Art C<sub>4</sub> (Gasfeuerstätten mit Verbrennungsluftzu- und Abgasabführung zum Anschluss an ein Luft-Abgas-System (LAS)), die EN 483 oder bei Brennwertnutzung EN 677 entsprechen. Für den Anschluss an ein LAS-System müssen in Bezug auf die Abgasabführung folgende Kriterien erfüllt sein:

Der minimale Strömungswiderstand bei Stillstand des Gerätes muss folgenden Werten entsprechen:

**Tabelle 3: Minimale Strömungswiderstände nach DVGW G 635**

Gasgerät nach	Volumenstrom [l/s]	Min. Strömungswiderstand [Pa]
DIN EN 483	6	10
herkömmlich	8	20
DIN EN 483 und 677	2	10
mit Brennwertnutzung	3	20

Für Luft-Abgas-Systeme, die mit Überdruck betrieben werden, gilt: es müssen alle angeschlossenen Gasgeräte für einen Betrieb mit Überdruck geeignet sein.

Der maximale Förderdruck des Verbrennungsluft- oder Abgasgebläses muss  $\geq 150$  Pa plus den Strömungswiderstand der Einrichtung gegen Rückströmung sicherstellen.

Der maximale Förderdruck des Verbrennungsluft- oder Abgasgebläses muss  $\geq 100$  Pa betragen bei einer Drehzahl, die der kleinsten stationären Teillast entspricht.

Der maximale Betriebsdruck des Verbrennungsluft- oder Abgasgebläses muss den gesamten Strömungswiderstand im Verbindungsstück auf der Luft- und Abgasseite bis zum Eintritt in das Luft-Abgas-System plus den planmäßigen Betriebsdruck (maximal 50 Pa) decken.

Um sicherzustellen, dass Abgas nicht in unzulässiger Menge in ein nicht betriebenes Gasgerät überströmt, sind zwei Möglichkeiten aufgeführt:

- Verwendung von Einrichtungen gegen Rückströmung. Dieses Merkblatt enthält Anforderungen an die Einrichtungen gegen Rückströmungen, im Anhang ist ein Prüfplan für diese Rückströmeinrichtungen aufgeführt. Diese Einrichtungen müssen mit dem Gasgerät geprüft und zertifiziert sein.
- Durchlaufende Ventilatoren der Gasgeräte.

Die Gasgeräte müssen in Abgaswertegruppen eingeteilt werden, die auch in der Installationsanleitung sowie auf einem Zusatzschild des Gasgerätes angegeben werden. Den Abgaswertegruppen liegen Heizwasser- und Abgastemperaturen sowie Ventilator-drehzahlen (geregelt und ungeregelt) zugrunde. Die Angabe der Abgaswertegruppe ist für die Bemessung der Abgasanlage notwendig.

## 5 Prüfungen von Kaskadenanlagen

Gaswärmepumpen im kleinen Leistungsbereich bis 10 kW für den häuslichen Bereich stehen kurz vor der Markteinführung bzw. haben gerade den Markteintritt geschafft. Daher besteht zukünftig die Möglichkeit einer kombinierten Installation einer Gaswärmepumpe und eines Brennwertkessels, welcher zur Abdeckung von Spitzenlasten dient. Dies kann in kalten Wintern oder bei einem großen Warmwasserbedarf der Fall sein. Es können verschiedene Anordnungen der Geräte im Aufstellungsraum auftreten. Die Möglichkeiten sind in Abbildung 5-1 dargestellt.

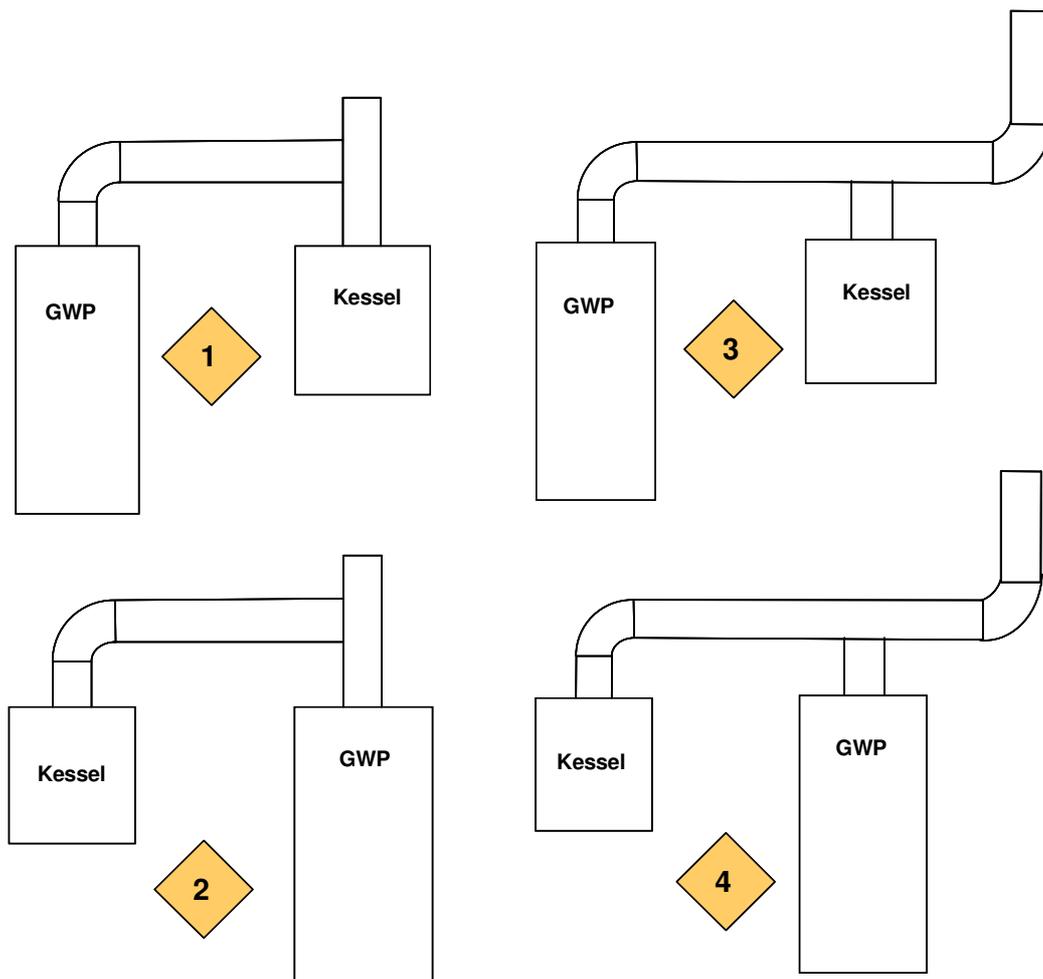


Abbildung 5-1: Möglichkeiten von Kaskaden aus Gaswärmepumpe und Brennwertkessel

Folgende Ziele sollten bei diesen Installationen erreicht werden:

- Vereinfachung der Abgasabführung: Gemeinsame Abführung aller auftretenden Abgasströme über ein handelsübliches Abgasleitungssystem – bevorzugte Betriebsweise: beide Gasgeräte raumluftunabhängig
- Einbindung in bestehende Gebäudestruktur: Nutzung von (vorhandenen) "Standardsystemen", Kombination aus Gaswärmepumpe mit Brennwertkesseln, auch von unterschiedlichen Herstellern

Eine einwandfreie Abgasabführung muss für jeden Betriebsfall zu jeder Zeit möglich sein. Insbesondere sind die Betriebsfälle, bei denen ein sehr geringer bzw. ein maximaler Abgasmassenstrom vorliegt, von Interesse, beispielsweise wenn ausschließlich die Gaswärmepumpe bei Minimallast betrieben wird.

Eine Kombination von Gaswärmepumpe und Brennwertkessel soll folgende Bedingungen erfüllen:

*Abgaszusammenführung:*

- Bei geringen Druckverlusten sicheres Zusammenführen der Teilströme aus der Gaswärmepumpe und dem Brennwertkessel
- Anschluss an eine Abgasleitung in doppelt-konzentrischer Ausführung
- Vermeidung von Stau und auch Rückstrom von Abgasen in andere Anlagenteile
- keine Strömungs- bzw. Mischungsbehinderung durch Kondenswasser
- Einbindung in bestehende Gebäudestruktur: Nutzung von (vorhandenen) "Standardsystemen", Kombination aus Gaswärmepumpe mit Brennwertkesseln, auch

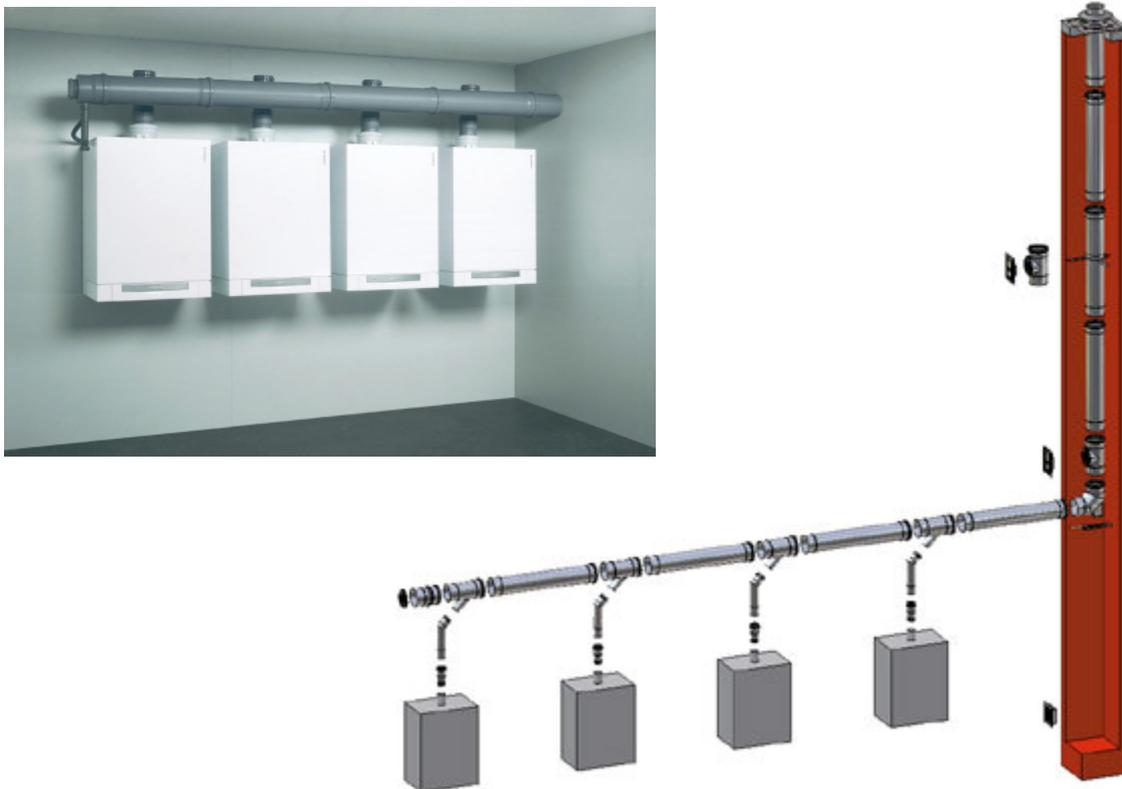
*Abgasleitung:*

- Die Abführung der Abgase nach der Zusammenführung erfolgt über ein handelsübliches, doppelt-konzentrisches System. Im Ringspalt wird die gesamte von der Anlage (Gaswärmepumpe und Spitzenlastkessel) benötigte Verbrennungsluft dem System aus der Umgebung zugeführt (raumluftunabhängiger Betrieb).
- Anfallendes Kondenswasser soll ungehindert abfließen können.
- Es werden verschiedene Leitungslängen berücksichtigt. Andere Durchmesser können in weiteren Schritten berücksichtigt werden.

### 5.1 Beispiel einer Prüfung einer Kaskadenanlage aus vier BWK

Die Prüfstelle des Gaswärme-Instituts hat Erfahrung mit Prüfungen an Kaskadenanlagen. Beispielsweise wurden bei einer Prüfung einer Kaskade bestehend aus vier Heizkesseln (Abbildung 5-2) folgende Fragestellungen nachgeprüft bzw. Anforderungen gestellt:

- Sind drei große Brennwertkessel und ein kleiner Kessel als Kaskade angeschlossen, wird der ungünstigste Installationsfall überprüft:  
Zuerst der Kessel mit der geringeren Leistung, daran anschließend die Kessel mit größerer Leistung. Die großen Kessel werden alle mit Volllast betrieben. Zündet der kleine Kessel bei diesem Betriebszustand?
- Erfolgt eine sichere Abgasabführung über Dach oder tritt ein Abgasrückstau auf? Messung des Drucks im Abgasrohr!
- Es darf kein Abgas durch eines der anderen Geräte austreten!
- Startversuche bei Teil- und Volllast bei max. Gegendruck. Dabei wird auf eine vollständige Verbrennung (CO-Emissionen) und Abgasrückströmungen geachtet!
- Funktioniert die Modulation?
- Welche Abgastemperaturen treten auf? Tritt Kondensation auf, wenn ja, wo? Sind feuchteunempfindliche Abgasanlagen erforderlich?
- Im Fall einer Überdruckanlage werden die Anforderungen in DVGW Arbeitsblatt G 635 berücksichtigt.
- Für eine Kaskadenanlage sind witterungsgeführte Regler für die kaskadierende Betriebsweise sowie systemzertifizierte und zugelassene Abgaskomponenten für Überdruck-Kaskadenschaltungen erforderlich.

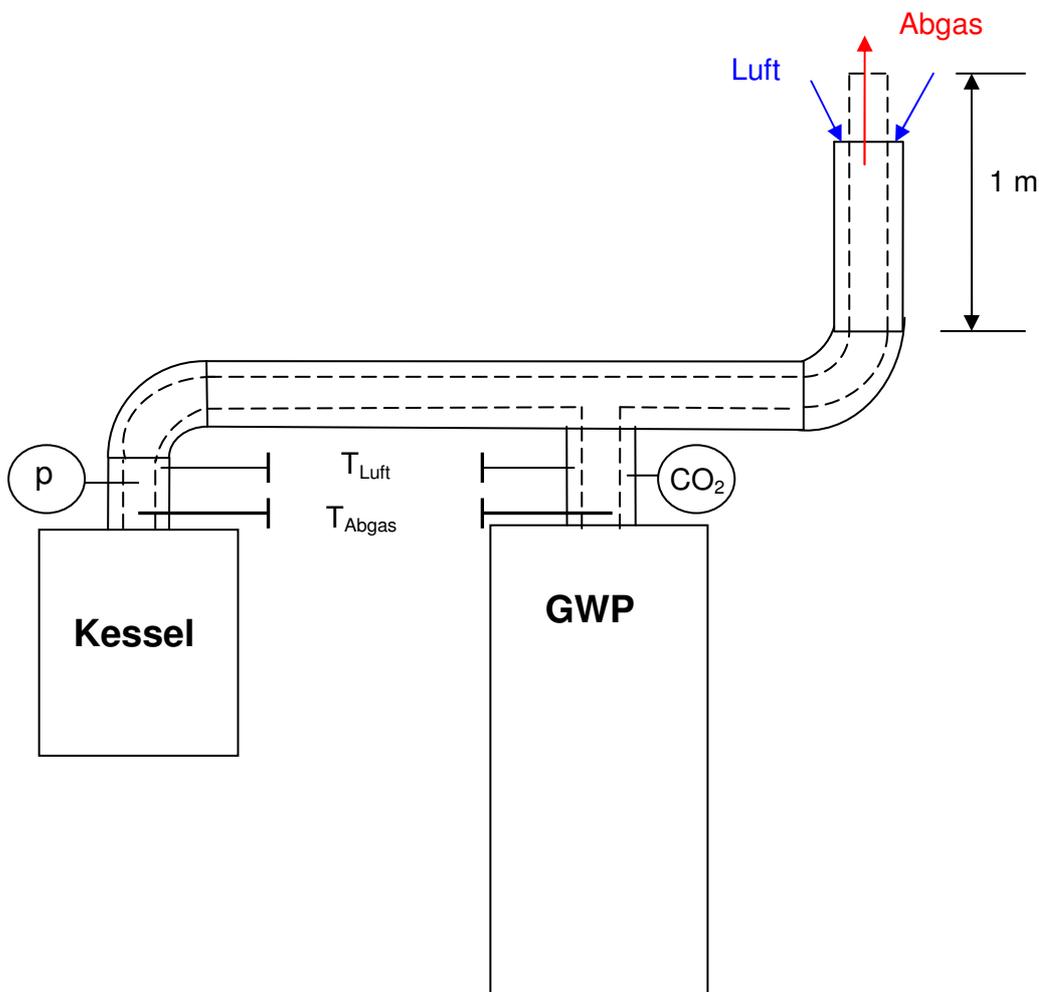


**Abbildung 5-2: Beispiel einer Brennwert-Kaskade**

Für die Prüfung einer Kaskade, bestehend aus mehreren Heizkesseln, fehlt ebenfalls ein Regelwerk, auf das der Prüfer sich beziehen kann. Auch hierfür wäre Handlungsbedarf notwendig.

## 5.2 Beispiel einer Prüfung einer Kaskadenanlage aus GWP und BWK

Für den Betrieb einer Laboranlage hat die Prüfstelle des Gaswärme-Instituts eine Kaskade aus einer Absorptions-Gaswärmepumpe und einem Gas-Brennwertkessel unter Berücksichtigung der Regelwerke EN 12309 und DVGW G 635 geprüft. Den Prüfaufbau zeigt Abbildung 5-3.



**Abbildung 5-3: Prüfaufbau einer Kaskade aus GWP mit BWK**

Es wurden folgende Messdaten aufgenommen:

- Abgastemperatur jeder Feuerstelle
- Verbrennungslufttemperatur jeder Feuerstelle

- Druck im Abgasrohr der Gaswärmepumpe
- CO<sub>2</sub>-Gehalt in der Verbrennungsluft (zur Überprüfung von Abgasrückströmungen)
- CO-Emissionen der Feuerstätten zur Kontrolle der Verbrennungsgüte

Versuchsparameter:

- Abdeckung des Abgasrohres in unterschiedlichen Größen zur Simulation verschiedener Abgasrohrängen
- Teil- und Volllast bei beiden Geräten sowie der minimale und maximale Abgasmassenstrom

Sowohl die Gaswärmepumpe als auch der Brennwertkessel wurden raumluftunabhängig betrieben, d. h. die Brennkammer ist geschlossen. Die Verbrennungsluft wurde bei dieser Prüfung bei beiden Geräten über den Ringspalt um das 1 m lange Abgasrohr dem Aufstellraum entnommen. Der Brennwertkessel war mit einer Rückströmsicherung ausgerüstet. An der ohne Rückströmsicherung ausgerüsteten Gaswärmepumpe wurde ein ca. 5 %-tiger CO<sub>2</sub>-Gehalt in der Verbrennungsluft des Gasbrenners festgestellt, was auf eine Abgasrückströmung schließen lässt.

In der Praxis wird die Betriebsweise so sein, dass die Gaswärmepumpe die Anlage führt. Sinken die Systemtemperaturen aufgrund einer hohen Wärmeanforderung, wird der Brennwertkessel zugeschaltet, der dann in modulierender Betriebsweise die benötigte Zusatzenergie liefert. Die Regelungslogik beider Gasgeräte muss kaskadenfähig sein.

## 6 Strömungssimulationen

Für den kaskadenartigen Betrieb einer Gaswärmepumpe mit einem Brennwertkessel gibt es verschiedene Möglichkeiten von Kaskaden-Installationsarten mit gemeinsamen Abgasabführungen, die in Abbildung 5-1 bereits dargestellt sind.

Mit Hilfe von numerischen Simulationen wurden diese Abgasabführungsmöglichkeiten hinsichtlich ihrer Funktionalität untersucht. Die Simulationsberechnungen wurden mit dem kommerziellen CFD-Programm FLUENT durchgeführt. Folgende Annahmen sind getroffen worden:

- Die Strömung wird als inkompressibel betrachtet ( $Ma \ll 1$ ).
- Bei den betrachteten dreidimensionalen Strömungen handelt es sich um stationäre Strömungen, und aufgrund der Temperaturänderungen in Strömungsrichtung besitzen diese temperaturabhängige Stoffwerte.
- Der Wärmeaustausch aufgrund von Oberflächen- und Gasstrahlung wird vernachlässigt; die Wärmeübertragung erfolgt durch Konvektion und Leitung.
- Das Abgas setzt sich vereinfachend aus den Komponenten  $CO_2$ ,  $H_2O$ ,  $N_2$  und  $O_2$  zusammen.
- Das System wird drucklos betrachtet, d. h. eine Druckerhöhung durch Gebläse etc. bleibt unberücksichtigt.

Berechnungsangaben:

- Betriebsweise: Bei Wärmeanforderung geht zunächst die GWP in Betrieb ( $Q_{min} = 2,5$  kW und  $Q_{max} = 8,1$  kW) und anschließend bei Bedarf schaltet sich der Kessel hinzu ( $Q_{min} = 2,7$  kW und  $Q_{max} = 14,0$  kW).
- Bei den Simulationen wurde der kritische Fall (GWP: Mindest- und Vollast, Kessel: außer Betrieb) untersucht.
- Abgasrohrquerschnitt = 80 mm, Material: Kunststoff
- Mantelrohrquerschnitt = 125 mm, Material: Edelstahl
- Abgastemperatur der GWP = 80 °C und 30 °C
- Aufstellraum und Umgebungstemperatur = 15 °C
- Abgasrohrlänge nach der Zusammenführung = 1,2 m (s. Abbildung 5-3: Prüfaufbau)

### 6.1 Simulationsergebnisse der Geräteanordnung 1

Zunächst wurde die Abgaszusammenführung der Anordnung 1 simuliert. Die für die Simulation verwendeten Maße sind in Abbildung 6-1 dargestellt. Abbildung 6-2 gibt Massenströme, Abgas- und Verbrennungslufttemperaturen der GWP im Mindestlastbetrieb an.

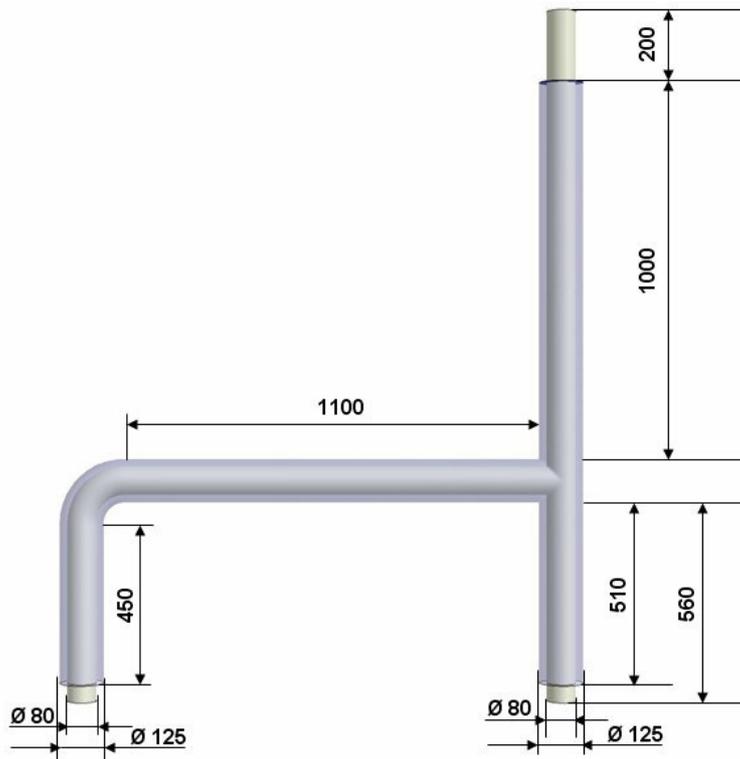


Abbildung 6-1: Darstellung der Abguszusammenführung in den Anordnungen 1 und 2

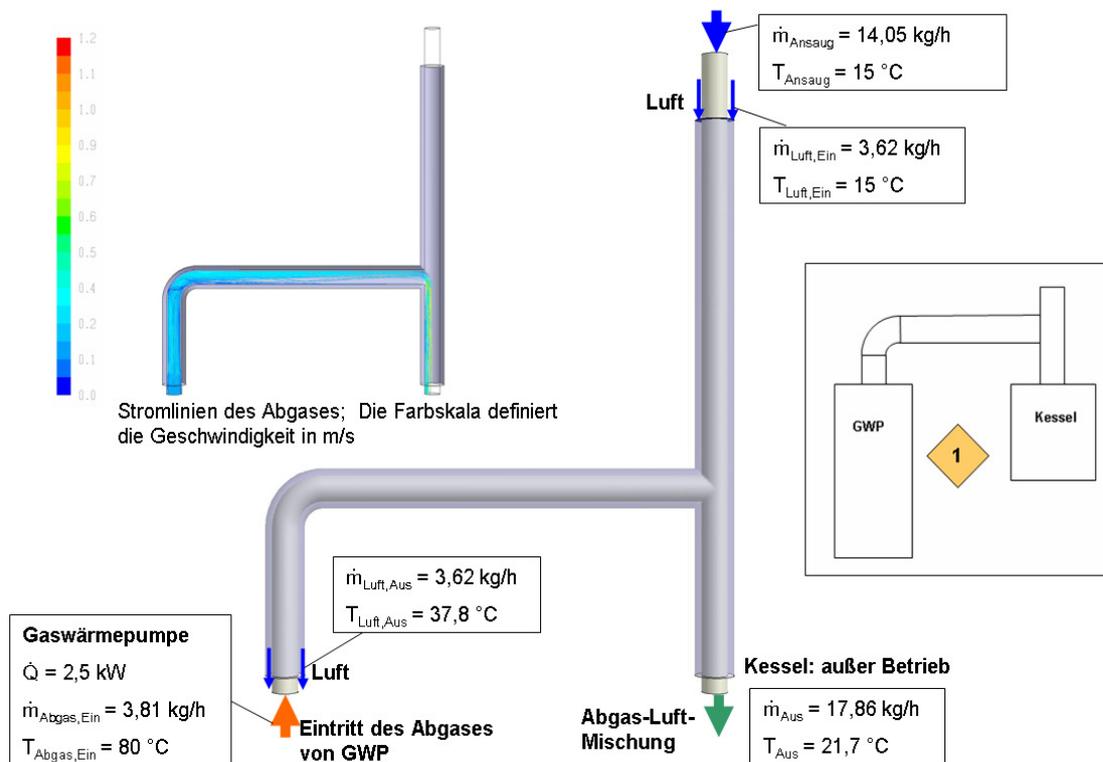


Abbildung 6-2: GWP im Mindestlastbetrieb; Massenströme und Temperaturen; Anordnung 1

Die Gaswärmepumpe wurde zunächst im Mindestlastbetrieb simuliert, der Kessel blieb außer Betrieb. Abbildung 6-2 gibt die Massenströme sowie Abgas- und Verbrennungslufttemperaturen der GWP im Mindestlastbetrieb für die Anordnung 1 an. Der Geschwindigkeitsverlauf des Abgases in Abbildung 6-3 sowie die Temperaturverteilung in Abbildung 6-4 zeigen eine Strömung der Abgase in Richtung Kessel.

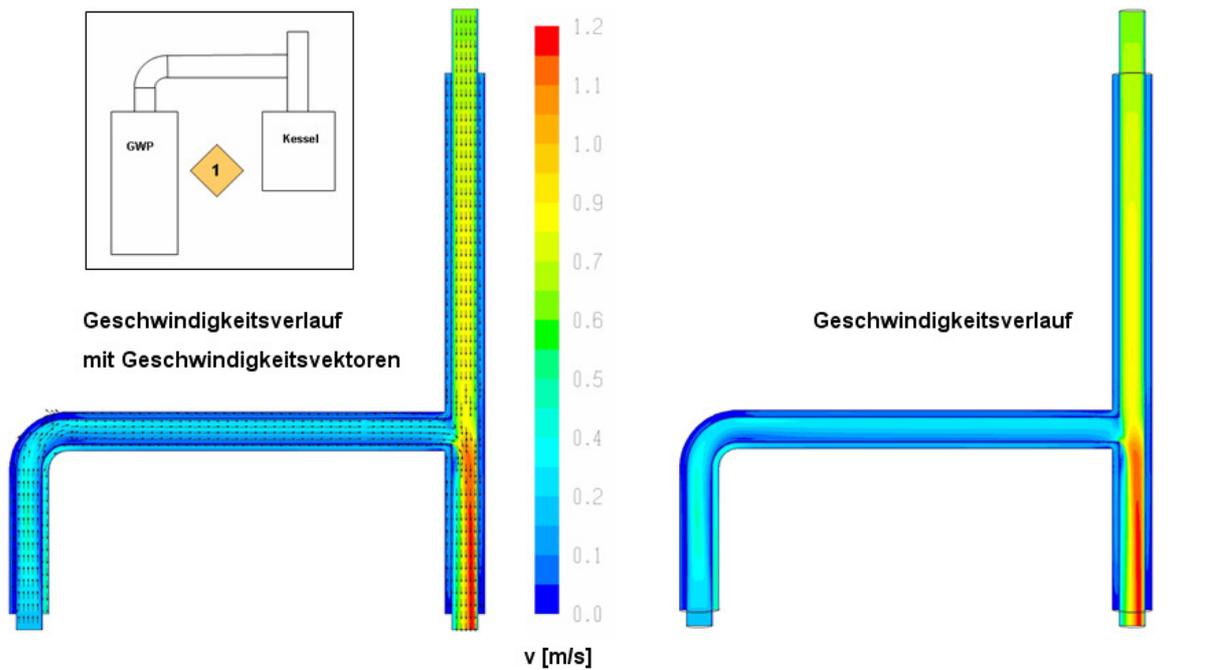


Abbildung 6-3: GWP im Mindestlastbetrieb; Geschwindigkeitsverteilung, Anordnung 1

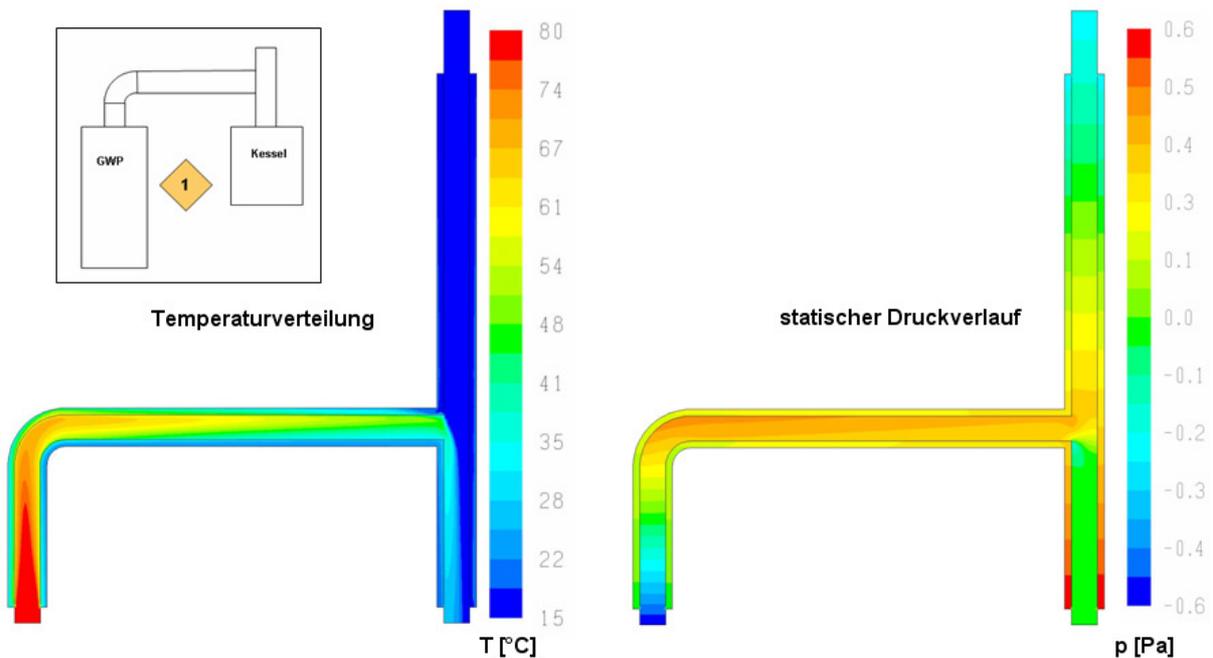
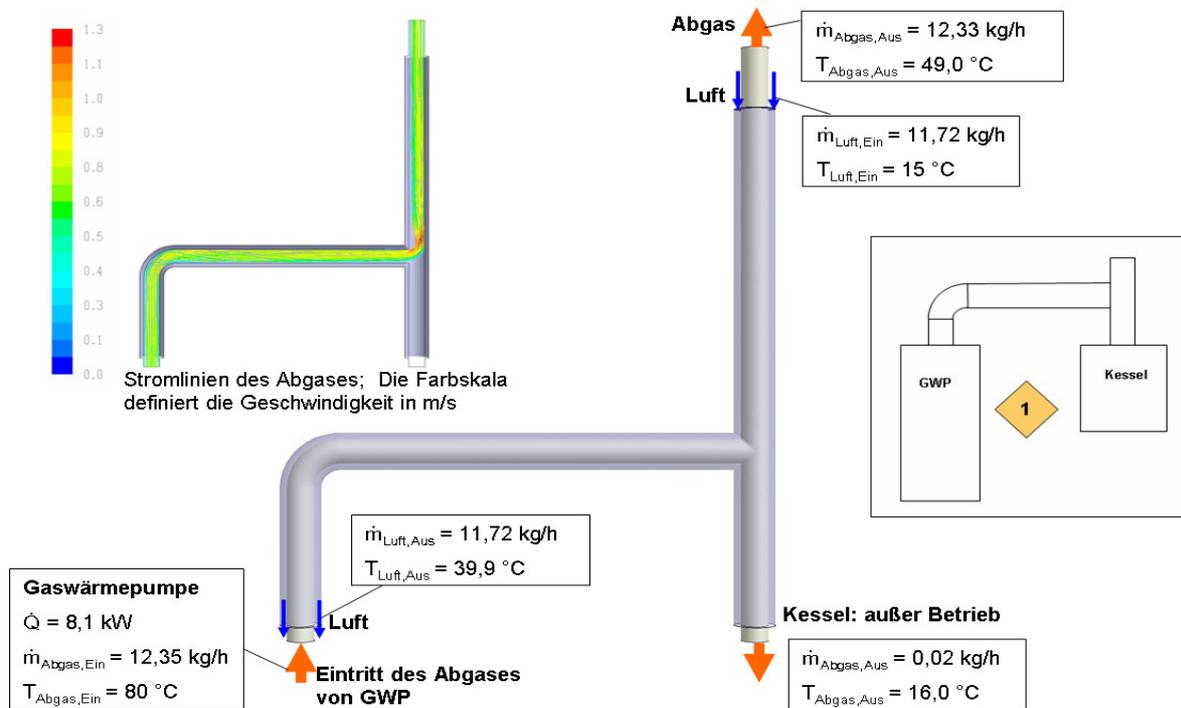


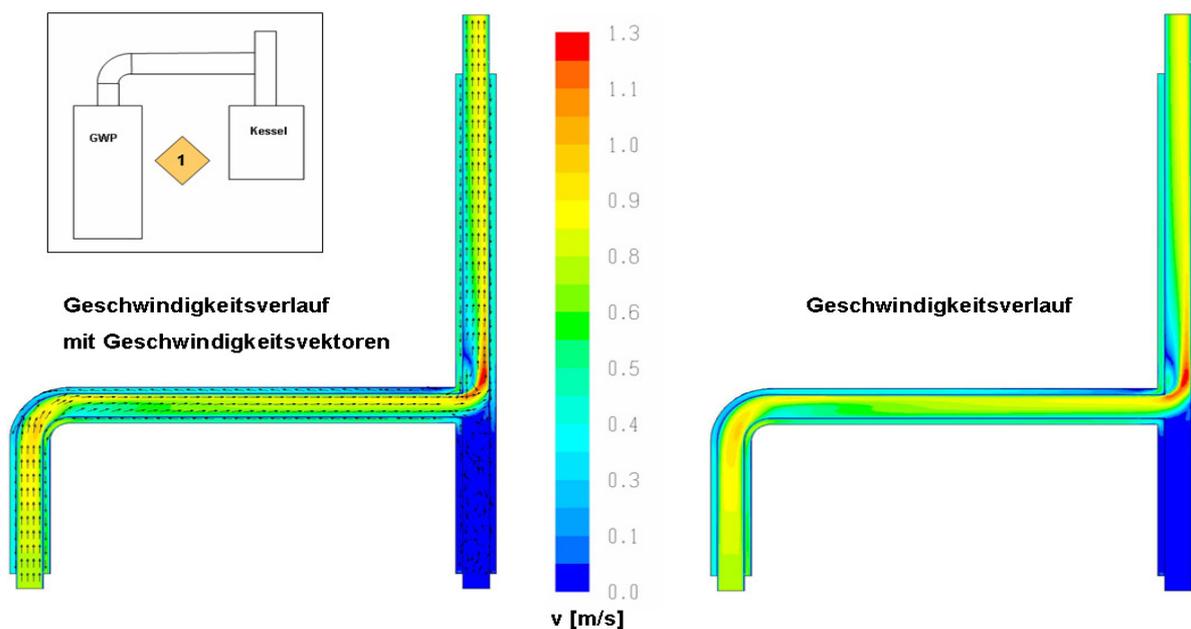
Abbildung 6-4: GWP im Mindestlastbetrieb; Temperatur- und Druckverlauf, Anordnung 1

Abbildung 6-5 gibt die Massenströme, sowie Abgas- und Verbrennungslufttemperaturen der bei Volllast betriebenen GWP und ausgeschaltetem Kessel für die Anordnung 1 an.



**Abbildung 6-5: GWP im Volllastbetrieb; Massenströme und Temperaturen; Anordnung 1**

Abbildung 6-6 und Abbildung 6-7 zeigen den Geschwindigkeitsverlauf des Abgases sowie den Temperatur- und Druckverlauf der mit Volllast betriebenen GWP. Das Abgas strömt nicht vollständig nach oben.



**Abbildung 6-6: GWP im Volllastbetrieb; Geschwindigkeitsverteilung; Anordnung 1**

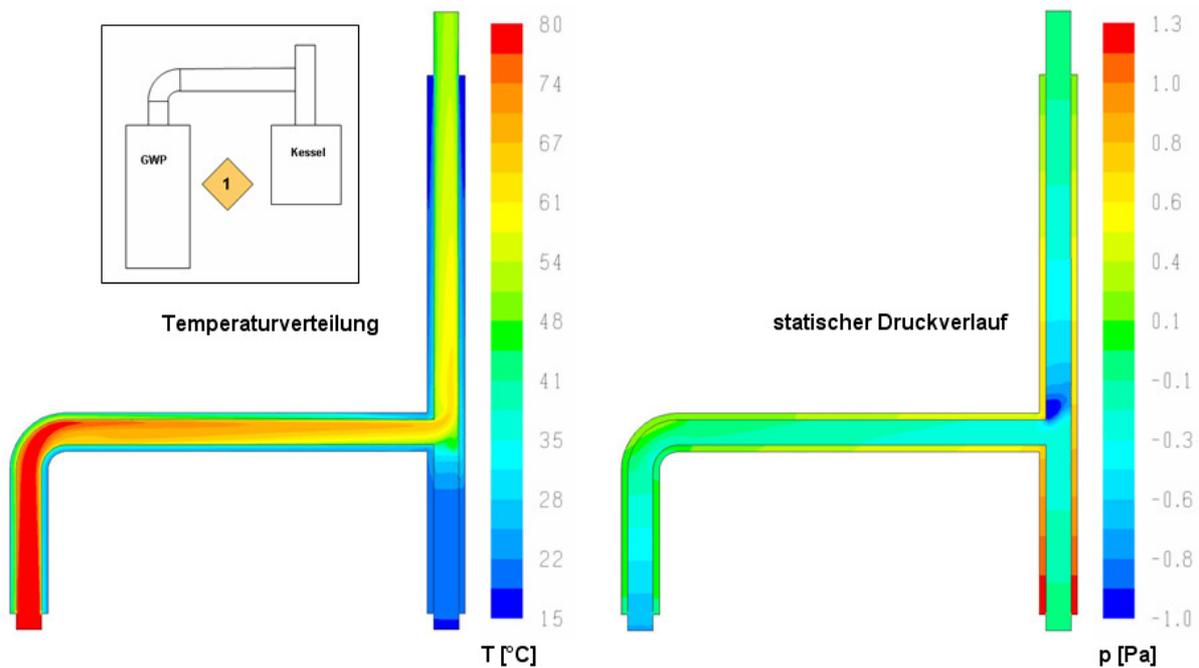


Abbildung 6-7: GWP im Vollastbetrieb; Temperatur- und Druckverlauf, Anordnung 1

## 6.2 Simulationsergebnisse der Geräteanordnung 2

Bei der zweiten Anordnung sind die Gasgeräte vertauscht worden. Die Maße der Abgasrohre entsprechen den in Abbildung 6-1 angegebenen Werten. Die Massenströme und die Abgastemperaturen der mit kleinster Leistung betriebenen GWP gibt Abbildung 6-8 wieder.

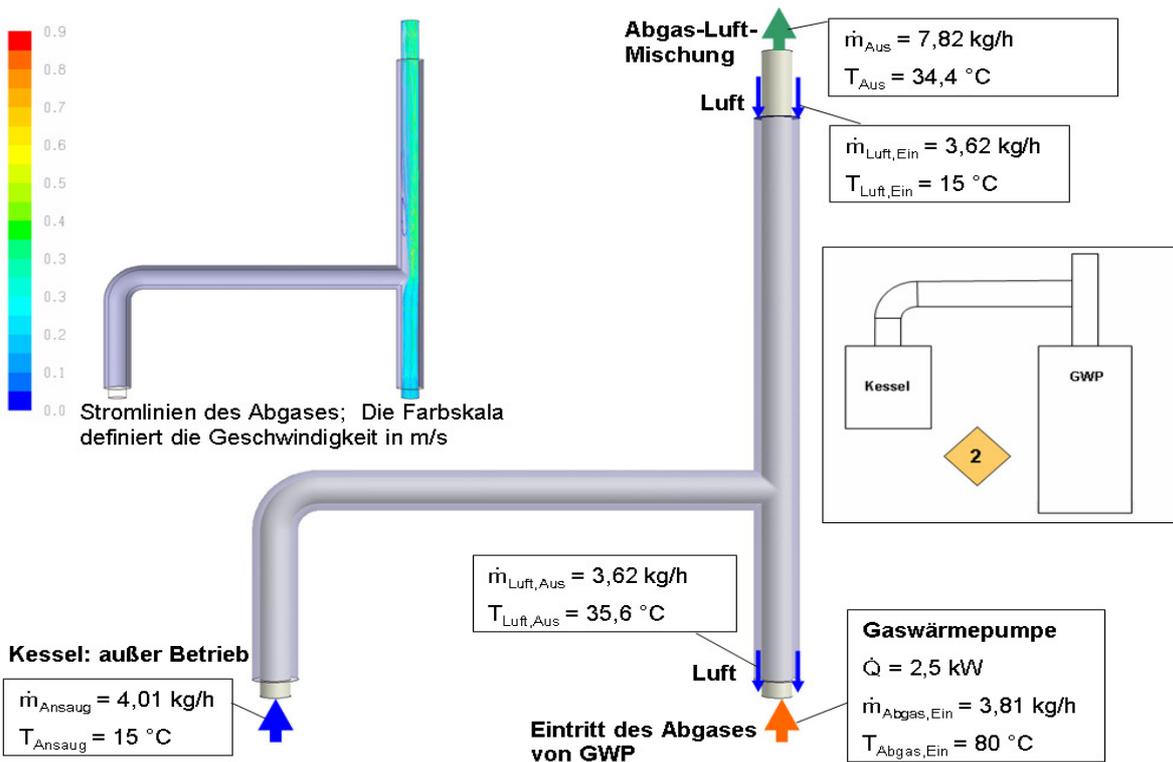


Abbildung 6-8: GWP im Mindestlastbetrieb; Massenströme und Temperaturen; Anordnung 2

Der Kessel blieb außer Betrieb; die GWP lief im Mindestlastbetrieb. Der Geschwindigkeitsverlauf des Abgases in Abbildung 6-9 sowie die Temperaturverteilung und der statische Druckverlauf in Abbildung 6-10 zeigen eine optimale Abführung der Abgase.

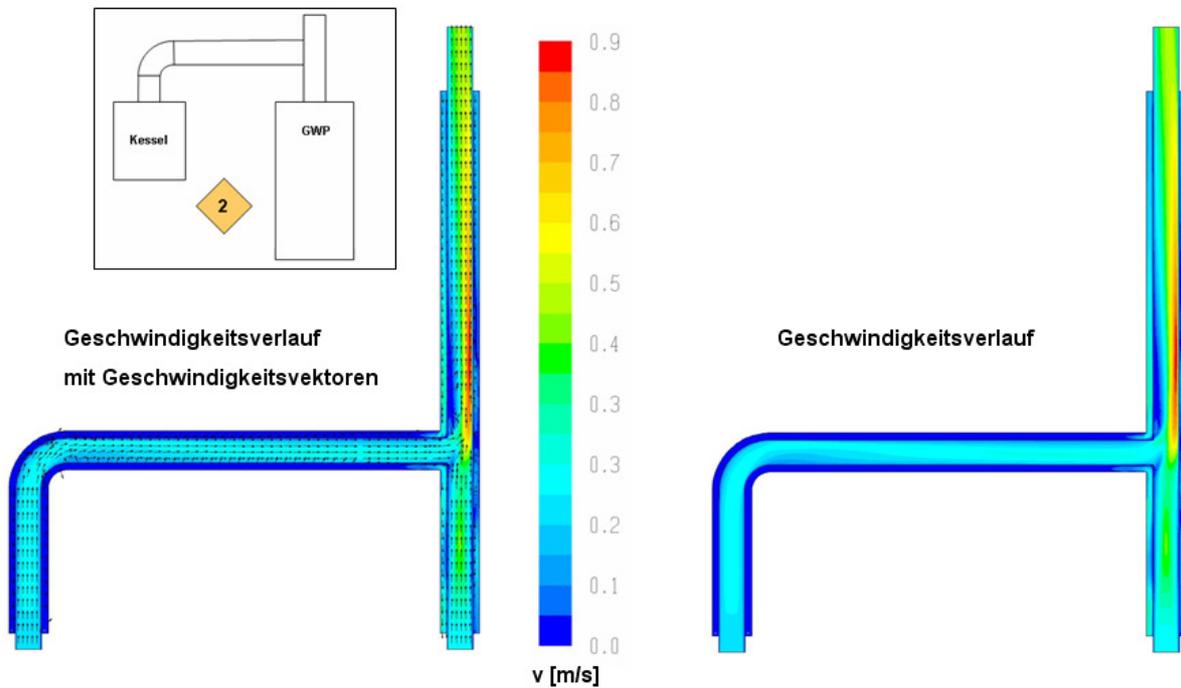


Abbildung 6-9: GWP im Mindestlastbetrieb; Geschwindigkeitsverteilung; Anordnung 2

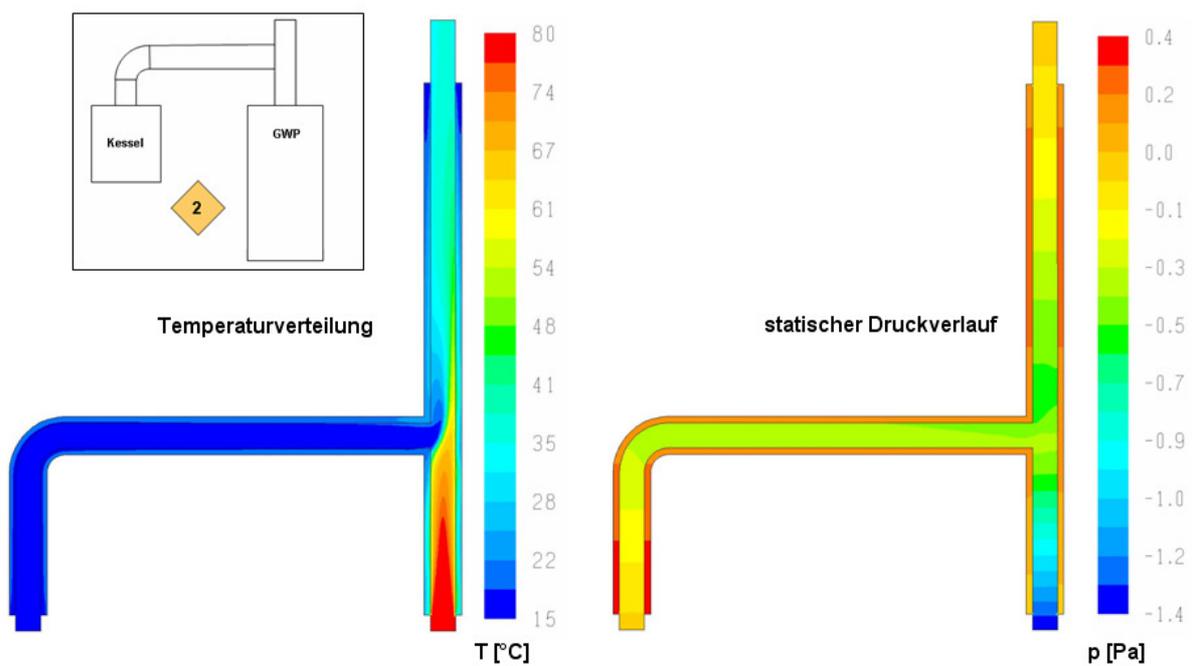
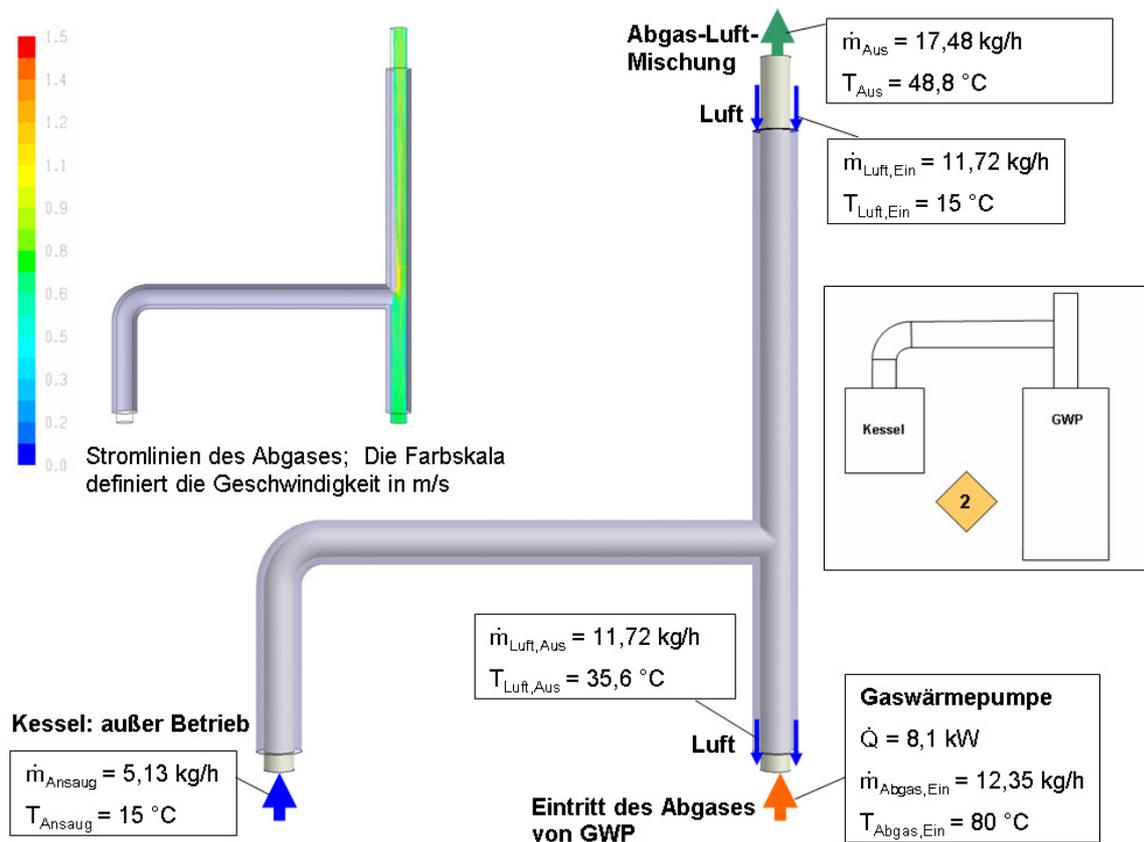


Abbildung 6-10: GWP im Mindestlastbetrieb; Temperatur- und Druckverlauf; Anordnung 2

Abbildung 6-11 gibt die Massenströme sowie Abgas- und Verbrennungslufttemperaturen der bei Volllast betriebenen GWP bei ausgeschaltetem Kessel für die Anordnung 2 an. Die im linken Teil abgebildeten Stromlinien verdeutlichen eine einwandfreie Abführung der Abgase; es strömt kein Abgas in Richtung Kessel.



**Abbildung 6-11: GWP im Volllastbetrieb; Massenströme und Temperaturen; Anordnung 2**

Mit den gleichen Versuchsparametern wie in Abbildung 6-8, jedoch mit einer Abgasrohrlänge von 2,5 m, wurde die Gaswärmepumpe zunächst im Mindestlastbetrieb (Abbildung 6-12) simuliert. Die links im Bild dargestellten Stromlinien des Abgases zeigen, dass die gesamte Abgasmenge in Richtung Kessel strömt. Der Widerstand der 2,5 m langen Abgasleitung ist größer als im Verbindungsstück, so dass diese geringe Abgasmenge eher in Richtung Kessel strömt. Wird die Gaswärmepumpe mit Volllast betrieben, wird das Abgas auch bei 2,5 m Abgasrohrlänge einwandfrei nach oben abgeführt. Dies zeigen die Daten in Abbildung 6-13.

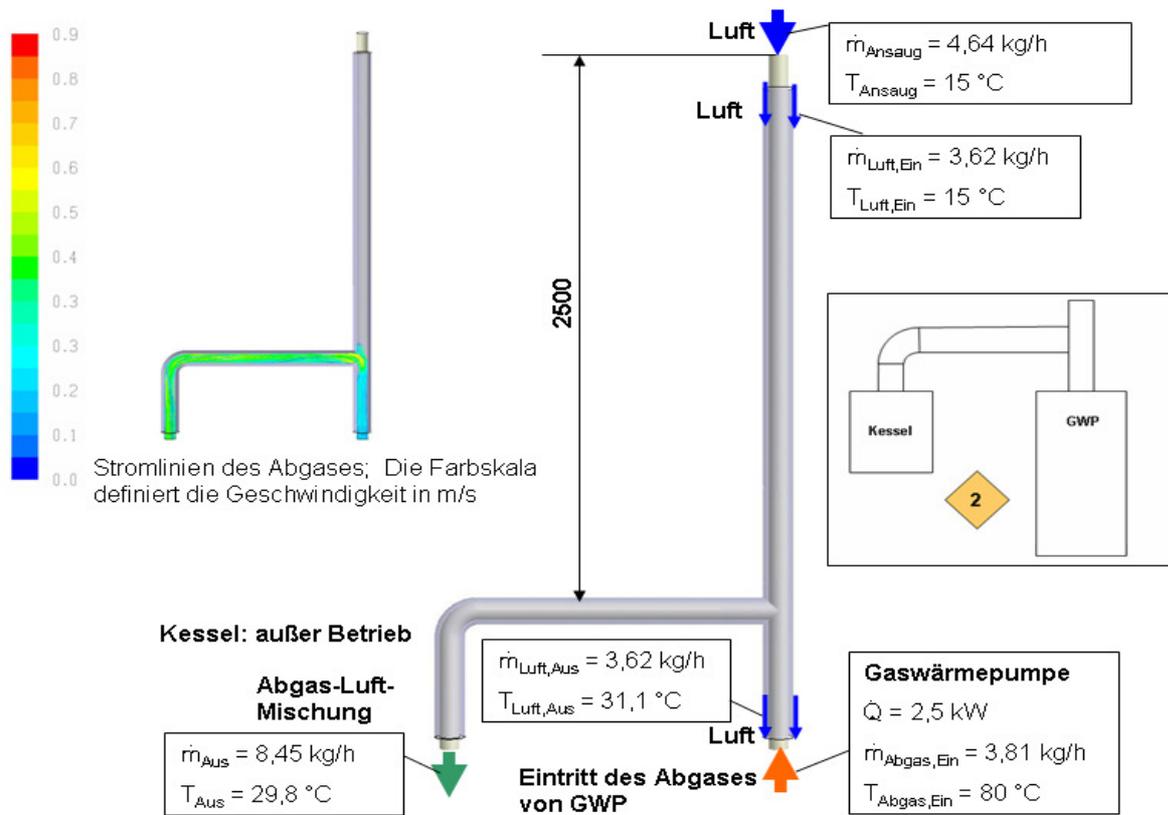


Abbildung 6-12: GWP im Mindestlastbetrieb; Massenströme und Temperaturen; Anordnung 2  
Abgasrohrlänge 2,5 m

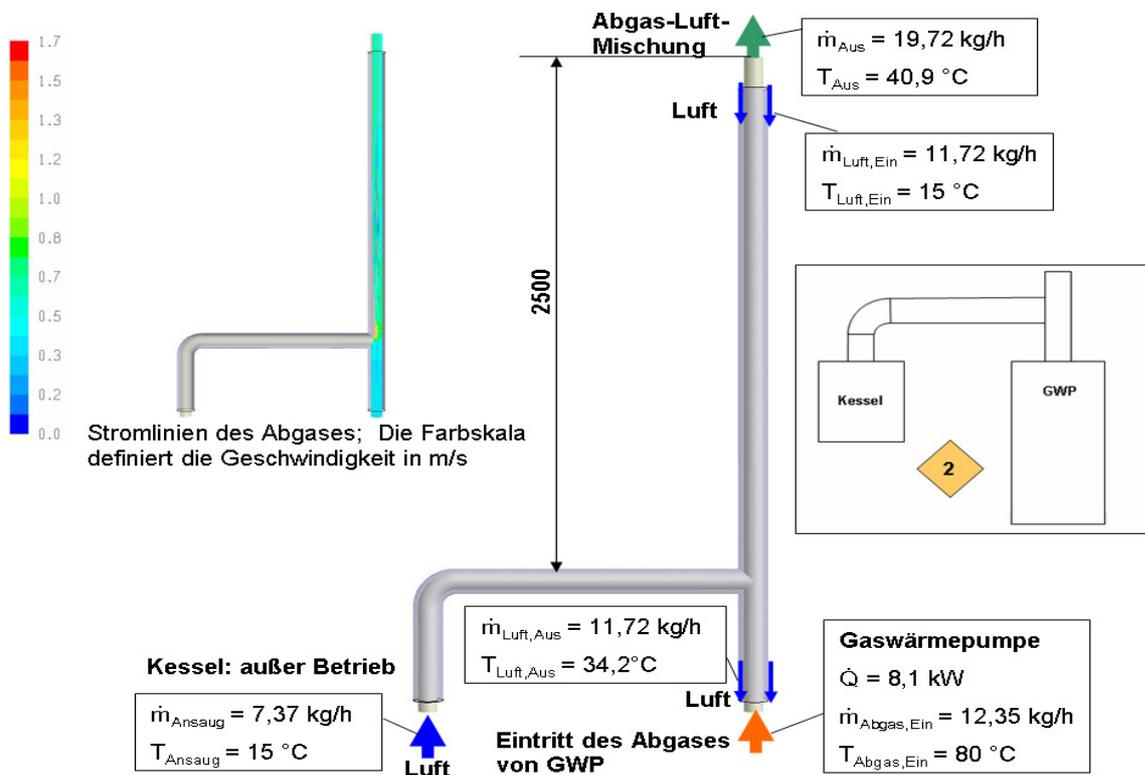
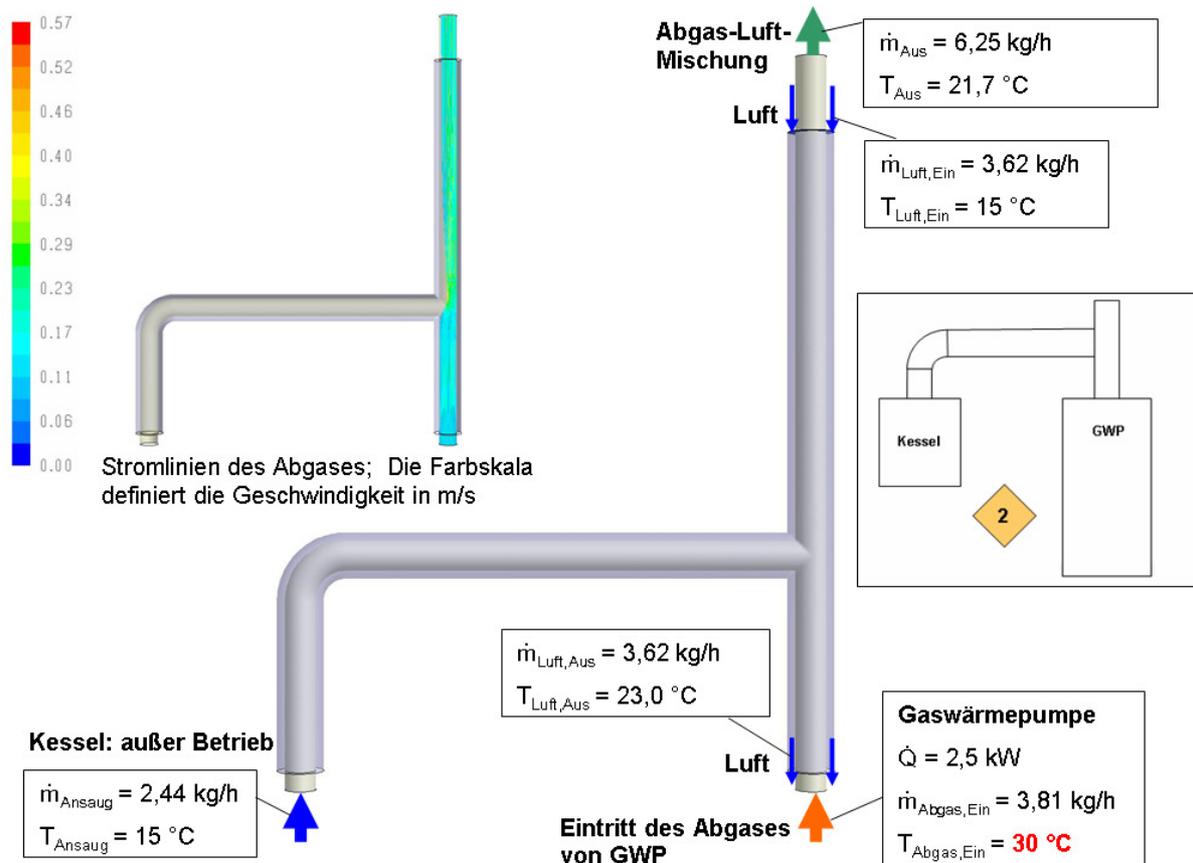
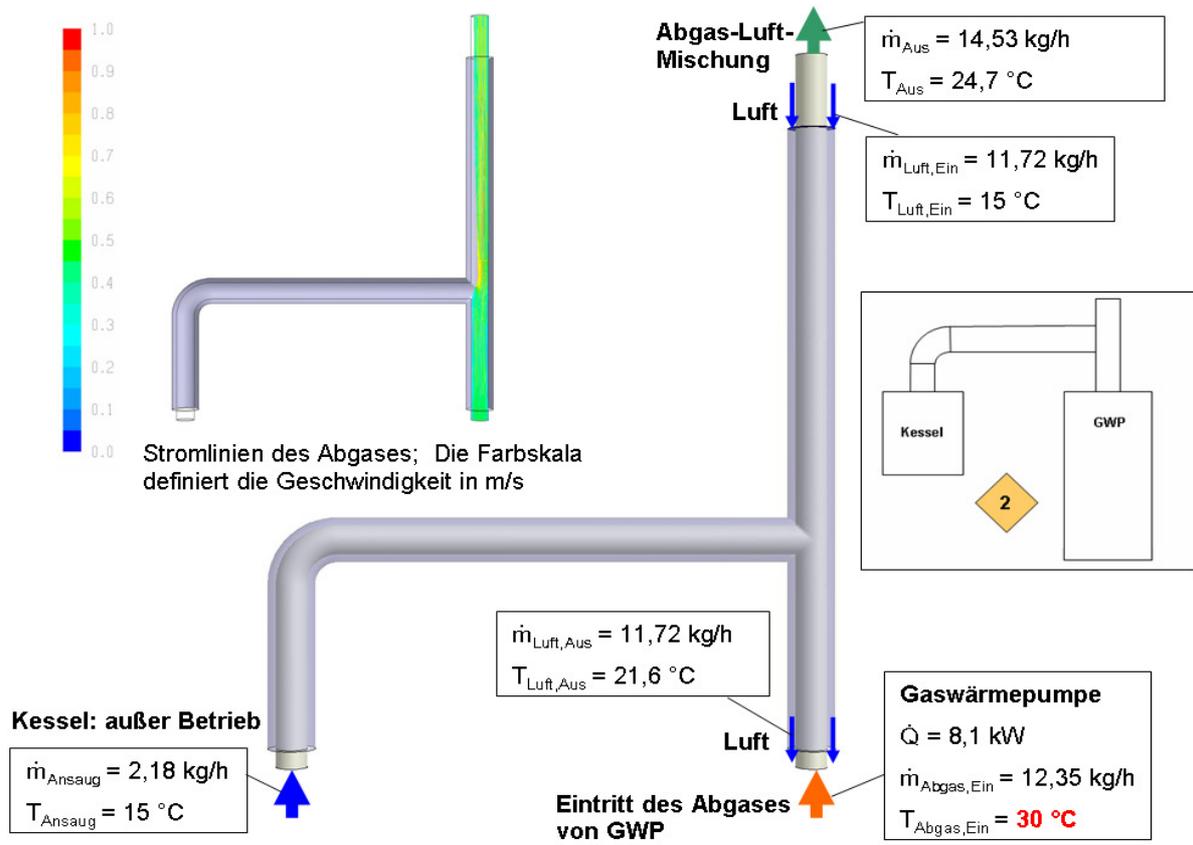


Abbildung 6-13: GWP im Volllastbetrieb; Massenströme und Temperaturen; Anordnung 2  
Abgasrohrlänge 2,5 m

Um den Einfluss der Abgaseintrittstemperatur zu untersuchen, wurde die Versuchsanordnung 2 mit den gleichen Versuchsparametern wie in Abbildung 6-8, mit der 1,2 m langen Abgasrohrlänge, jedoch mit einer Abgaseintrittstemperatur von 30 °C simuliert. Sowohl im Mindestlastbetrieb (Abbildung 6-14) als auch bei der mit Volllast betriebenen Gaswärmepumpe wird das Abgas vollständig abgeführt (Abbildung 6-15).



**Abbildung 6-14: GWP im Mindestlastbetrieb; Massenströme und Temperaturen; Anordnung 2 Abgasrohrlänge 1 m; Abgastemperatur 30 °C**



**Abbildung 6-15: GWP im Volllastbetrieb; Massenströme und Temperaturen; Anordnung 2  
Abgasrohrlänge 1 m; Abgastemperatur 30 °C**

### 6.3 Simulationsergebnisse der Geräteanordnung 3

Eine weitere simulierte Kaskaden-Installationsart ist in Abbildung 6-16 aufgeführt. Die Abgasströme des Kessels und der Gaswärmepumpe werden zunächst in einem waagerechten Verbindungsstück zusammengeführt und dann senkrecht abgeleitet. In Anordnung 3 ist die GWP am Ende der Abgasleitung installiert. Der Kessel bleibt außer Betrieb. Die Strömungssimulation der Abgase der bei Minimallast betriebenen Gaswärmepumpe, die Massenströme sowie die Abgas- und Verbrennungslufttemperaturen gibt Abbildung 6-17 wieder. Am Verlauf der Stromlinien ist zu erkennen, dass eine geringe Abgasmenge in Richtung Kessel strömt. Der Geschwindigkeitsverlauf der Abgasströmung, ebenso die Temperaturverteilung und der statische Druckverlauf in Abbildung 6-18 und Abbildung 6-19 machen ebenfalls eine geringe Abgasströmung in Richtung Kessel sichtbar.

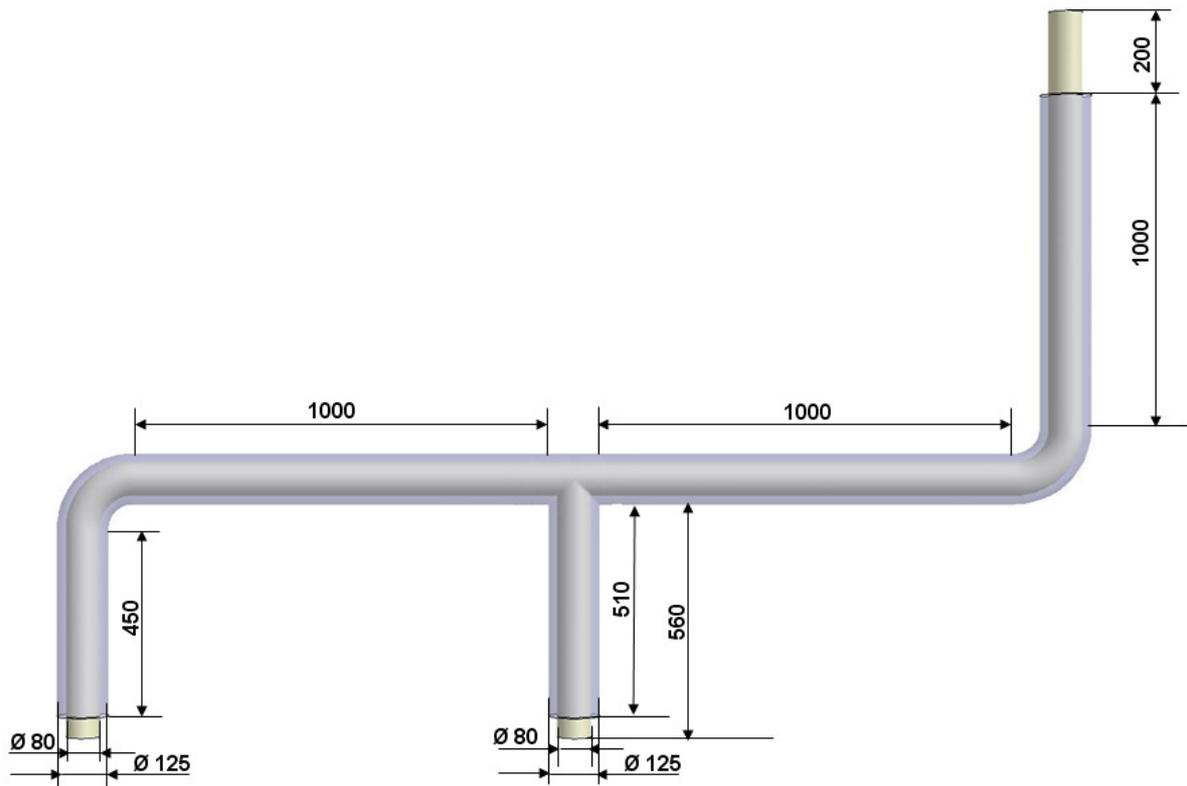


Abbildung 6-16: Darstellung der Abgaszusammenführung in den Anordnungen 3 und 4

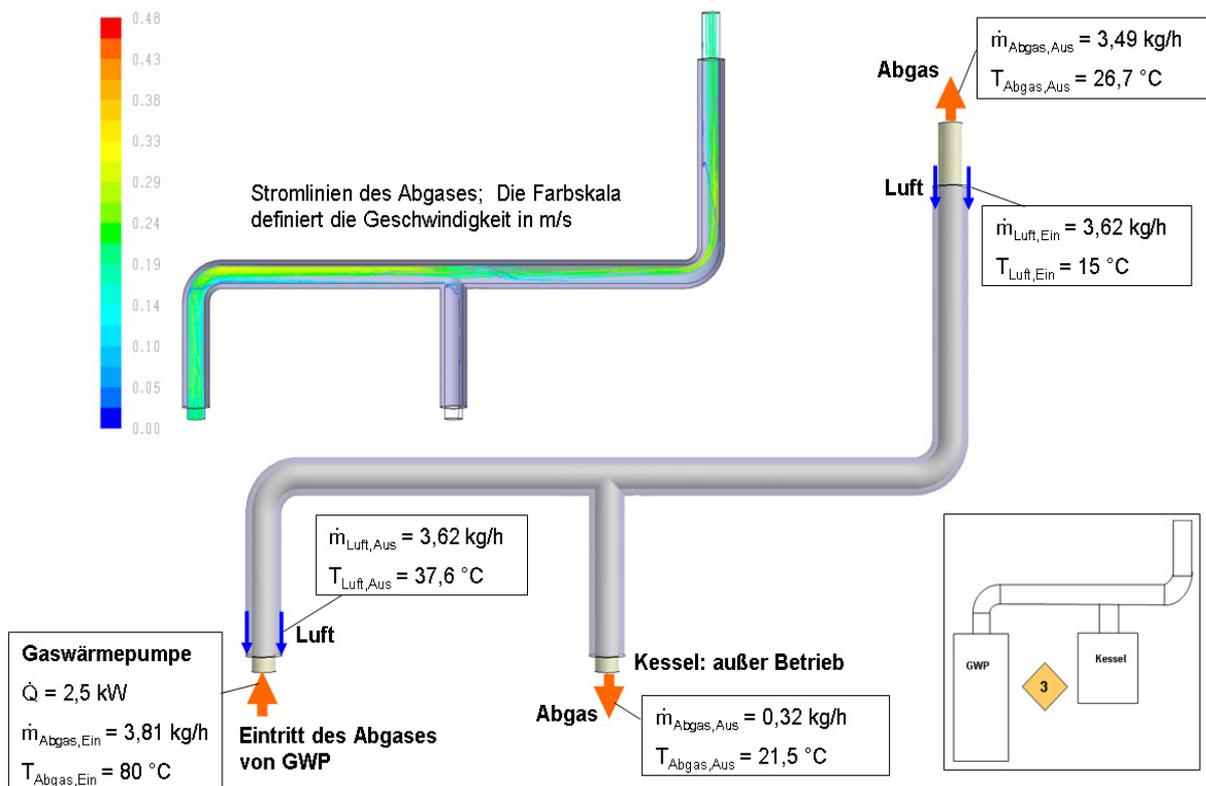


Abbildung 6-17: GWP im Mindestlastbetrieb; Massenströme und Temperaturen; Anordnung 3

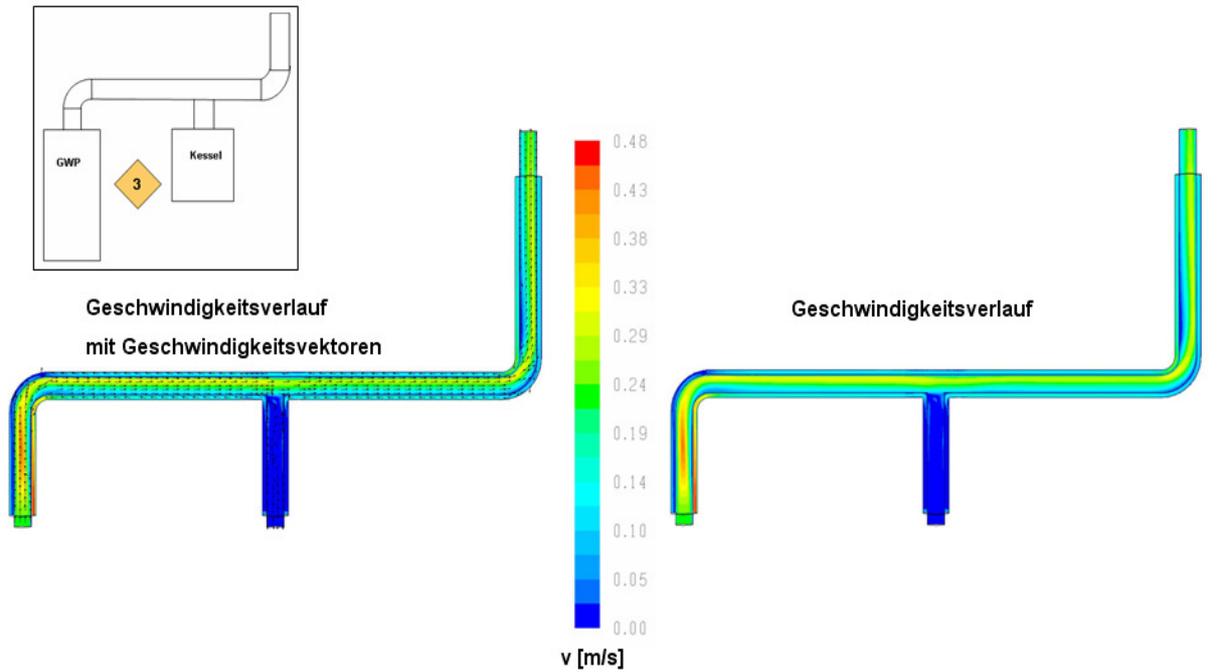


Abbildung 6-18: GWP im Mindestlastbetrieb; Geschwindigkeitsverteilung; Anordnung 3

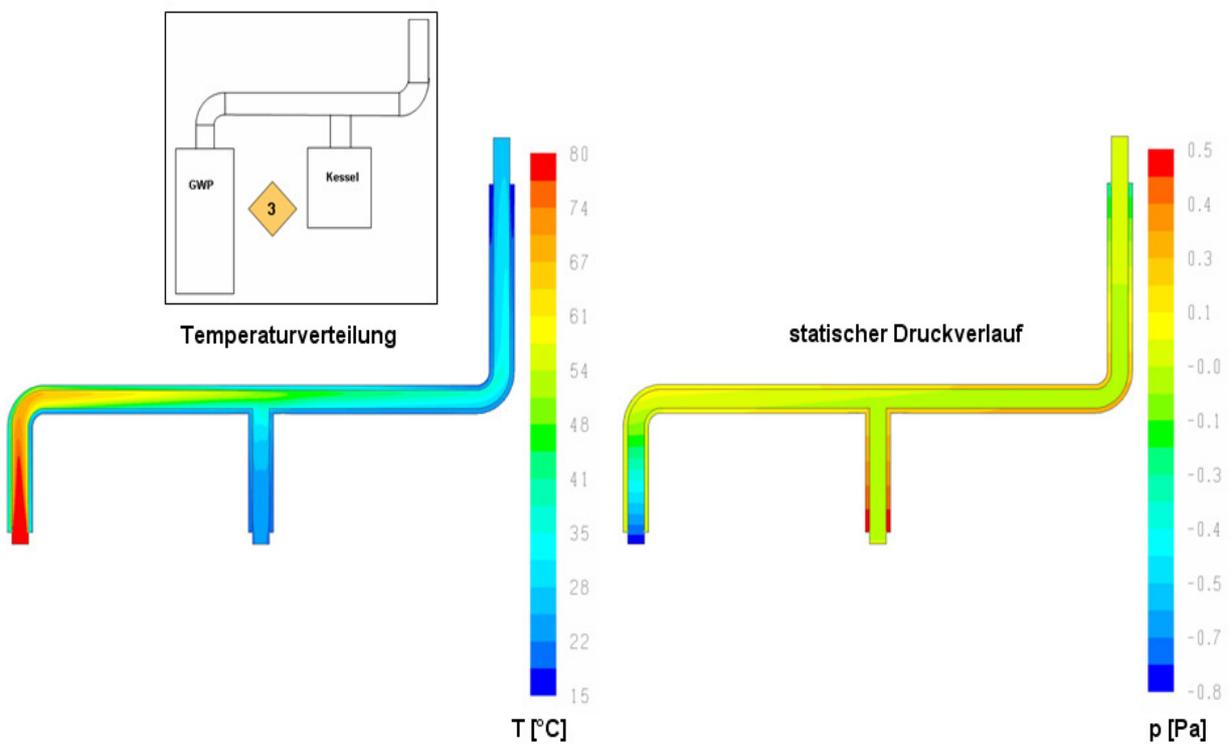


Abbildung 6-19: GWP im Mindestlastbetrieb; Temperatur- und Druckverlauf; Anordnung 3

Wird die Gaswärmepumpe mit Volllast betrieben, erfolgt eine nicht ganz vollständige Abgasabführung. Die Massenströme und Abgastemperaturen sowie die Stromlinien des Abgases für diesen Betriebszustand sind in Abbildung 6-20 dargestellt.

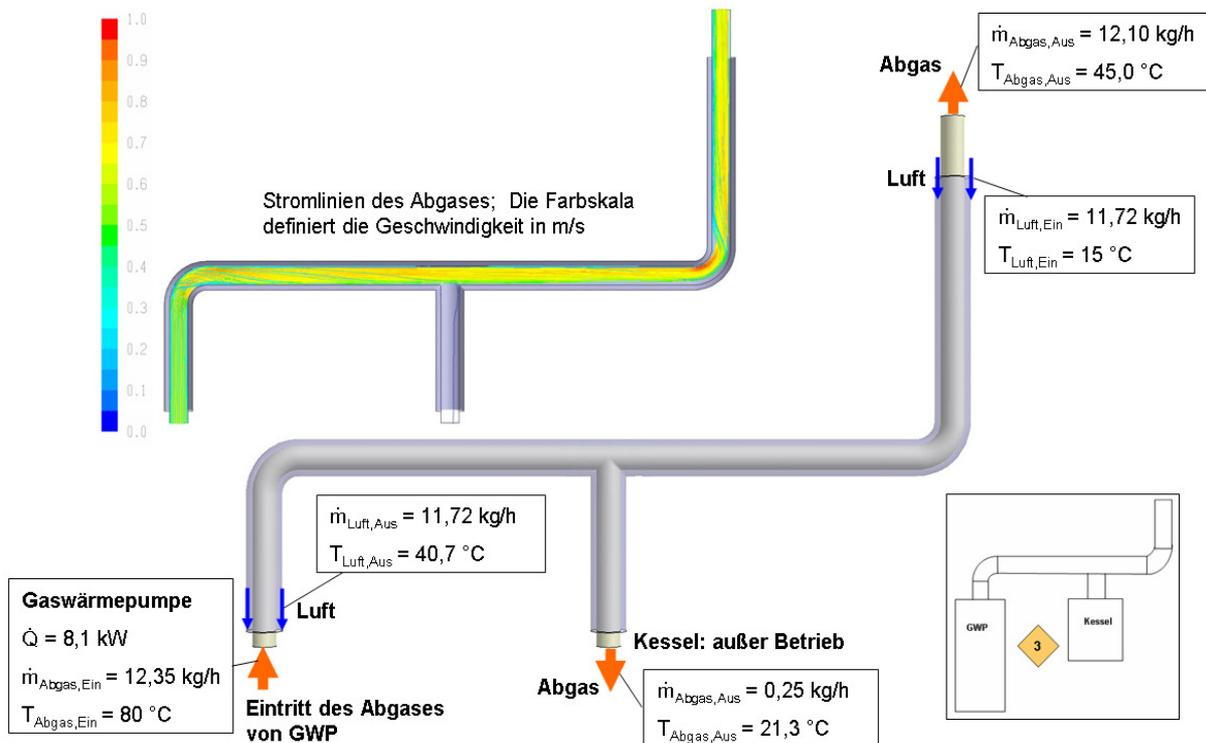


Abbildung 6-20: GWP im Volllastbetrieb; Massenströme und Temperaturen; Anordnung 3

#### 6.4 Simulationsergebnisse der Geräteanordnung 4

Bei der vierten Kaskadenanordnung sind zunächst der Heizkessel und dann die Gaswärmepumpe an ein gemeinsames waagerechtes Verbindungsstück installiert. Der zusammengeführte Abgasstrom wird danach senkrecht abgeführt. Der Kessel ist außer Betrieb, die GWP wird sowohl mit kleinster Leistung als auch mit Volllast betrieben. Die Massenströme und die Abgastemperaturen für beide Betriebsfälle sind in Abbildung 6-21 und Abbildung 6-22 aufgeführt. Im Mindestlastbetrieb erfolgt eine einwandfreie Abgasabführung. Wird die GWP mit Volllast betrieben, tritt eine Abgasrückströmung in Richtung Heizkessel auf, was nicht zulässig ist. Dies macht die Darstellung der Stromlinien des Abgases in Abbildung 6-22 deutlich.

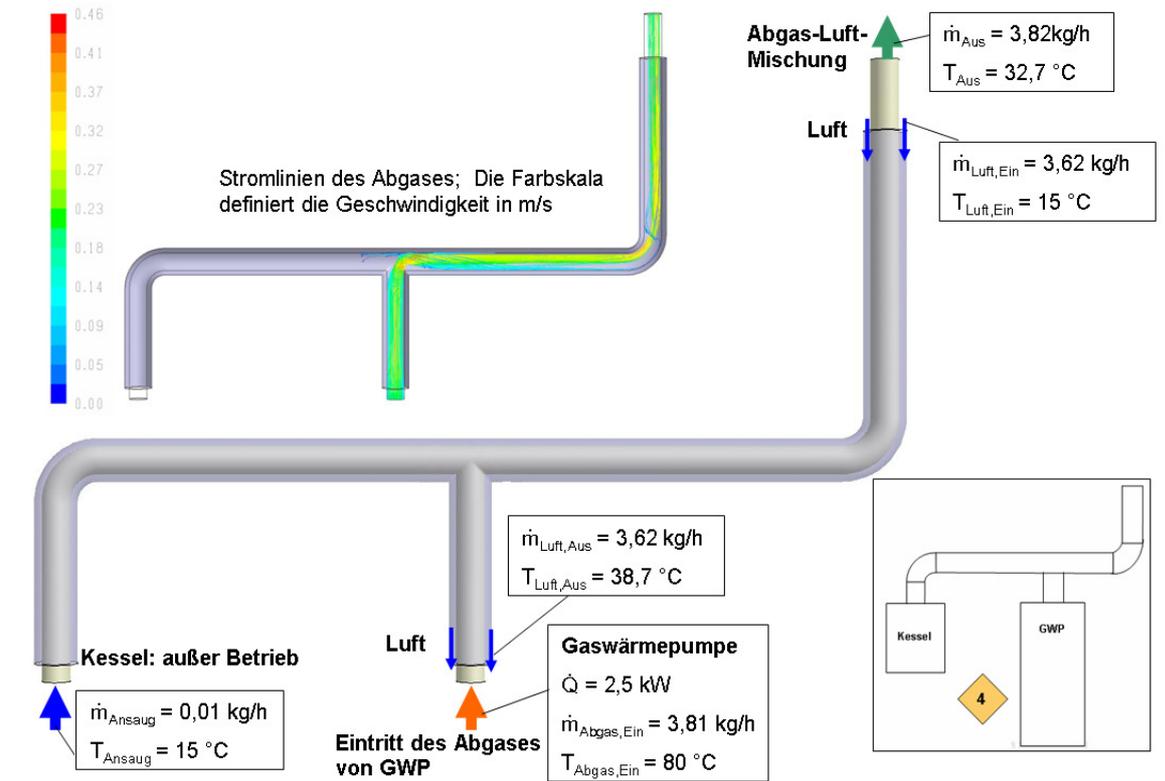


Abbildung 6-21: GWP im Mindestlastbetrieb; Massenströme und Temperaturen; Anordnung 4

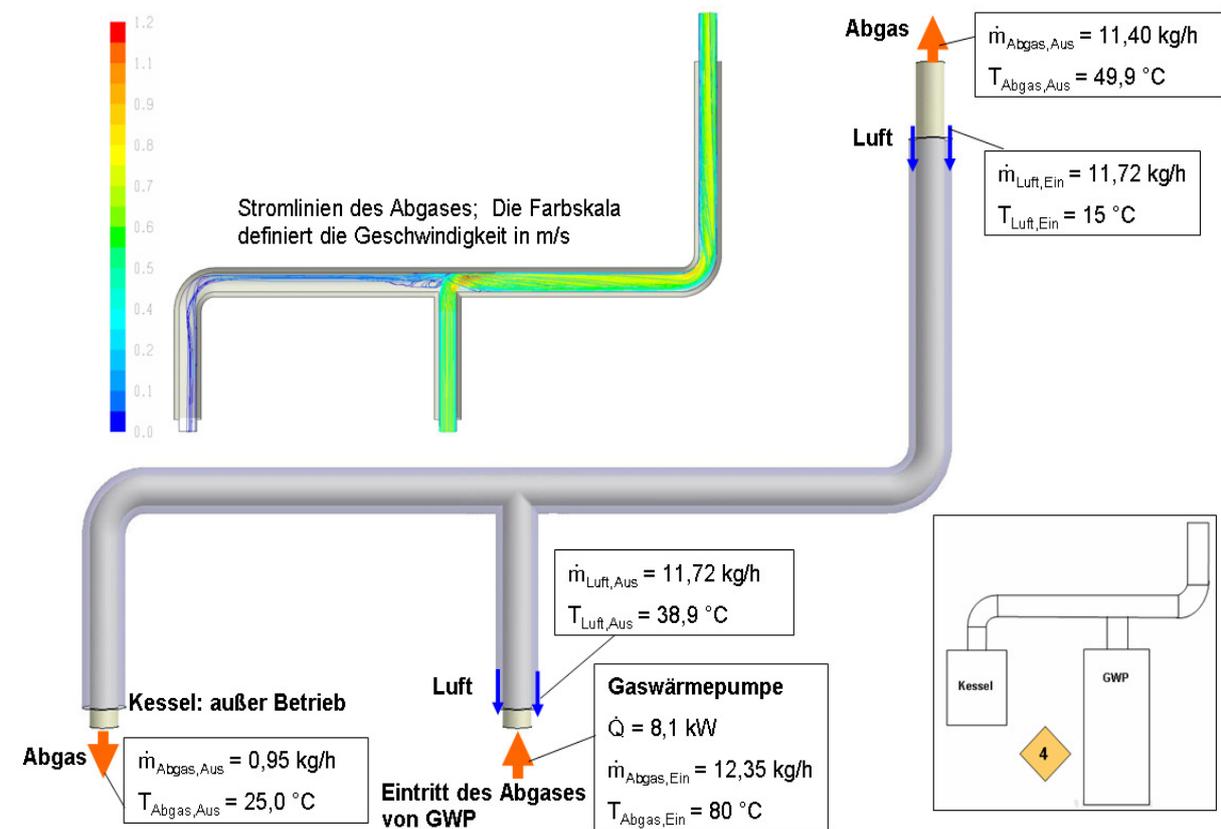


Abbildung 6-22: GWP im Volllastbetrieb; Massenströme und Temperaturen; Anordnung 4

## 6.5 Simulationsergebnisse der injektorartigen Abgaszusammenführung

Im Rahmen eines früheren DVGW – F & E – Vorhabens (Projektnummer G 5/01/05) über die Abgasabführung bei Brennstoffzellenheizanlagen wurden verschiedene Konzepte zur sicheren Abgasabführung zweier Abgasströme numerisch sowie experimentell untersucht. Auch in diesem Projekt stellte eine der wesentlichen Anforderungen – neben der sicheren Abführung der Abgase für alle Betriebszustände – die Rückströmsicherheit in einem solchen System dar. Die Erkenntnisse aus diesem Vorhaben wurden genutzt und die in Abbildung 6-23 dargestellte injektorartige Abgaszusammenführung entworfen.

Das Abgasrohr der Gaswärmepumpe hat einen Durchmesser von 40 mm. Es wird in einem speziellen Bauteil mit dem Abgasstrom des Heizkessels zusammengeführt, so dass das Abgas der Gaswärmepumpe senkrecht nach oben ausströmt und sich mit dem Abgasstrom des Heizkessels vermischt. Um die Anschlussfähigkeit an marktübliche Abgassysteme zu gewährleisten, z. B. doppelkonzentrische Abgassysteme (Luft-Abgas-System; LAS), die auch eine Vorwärmung der im Ringspalt angesaugten Verbrennungsluft ermöglichen, wurde hierbei ebenfalls ein doppelkonzentrisches Abgasrohr simuliert. Der Außendurchmesser der Verbrennungsluftleitung beträgt 125 mm. Das doppelkonzentrische Abgassystem hat sich bei der Brennwerttechnik bewährt und erhöht die Anlageneffizienz.

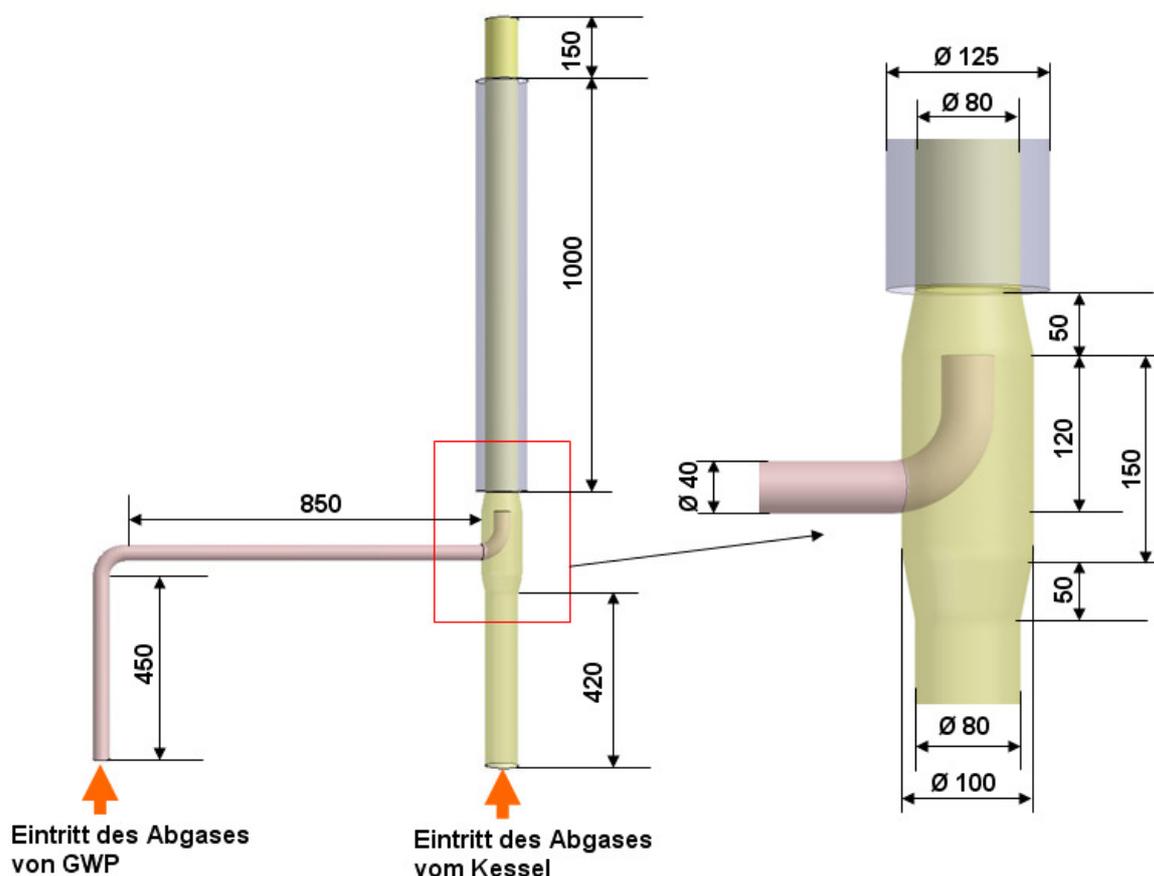
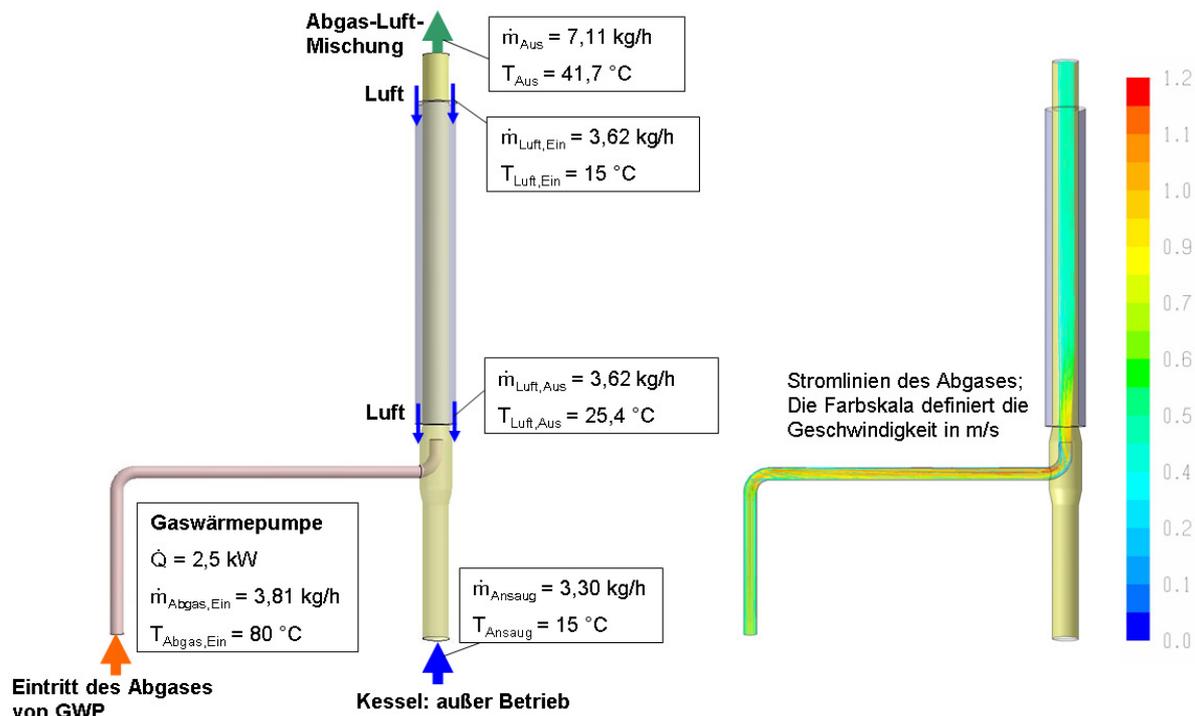


Abbildung 6-23: Darstellung der injektorartigen Abgaszusammenführung

Diese spezielle Abgasabführung wurde zunächst im Mindestlastbetrieb der Gaswärmepumpe und ausgeschaltetem Heizkessel simuliert.



**Abbildung 6-24: GWP im Mindestlastbetrieb; Massenströme und Temperaturen; injektorartige Abgaszusammenführung**

Die Strömungssimulation der Abgase der bei Minimallast betriebenen Gaswärmepumpe, die Massenströme sowie die Abgas- und Verbrennungslufttemperaturen gibt Abbildung 6-24 wieder. Am Verlauf der Stromlinien ist zu erkennen, dass die gesamte Abgasmenge in Richtung Abgasrohrmündung strömt. Der Geschwindigkeitsverlauf der Abgasströmung, ebenso die Temperaturverteilung und der statische Druckverlauf in den Abbildung 6-25 und Abbildung 6-26 machen ebenfalls eine einwandfreie Abgasabführung sichtbar.

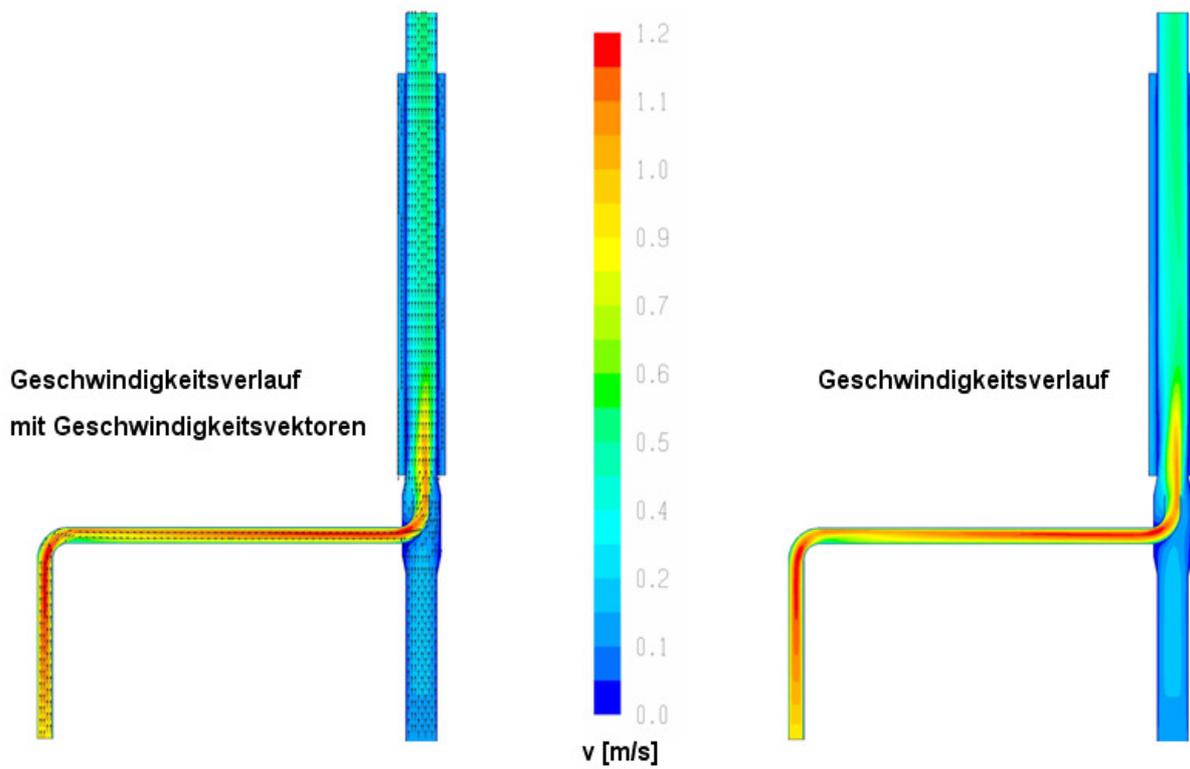


Abbildung 6-25: GWP im Mindestlastbetrieb; Geschwindigkeitsverteilung; injektorartige Abgaszusammenführung

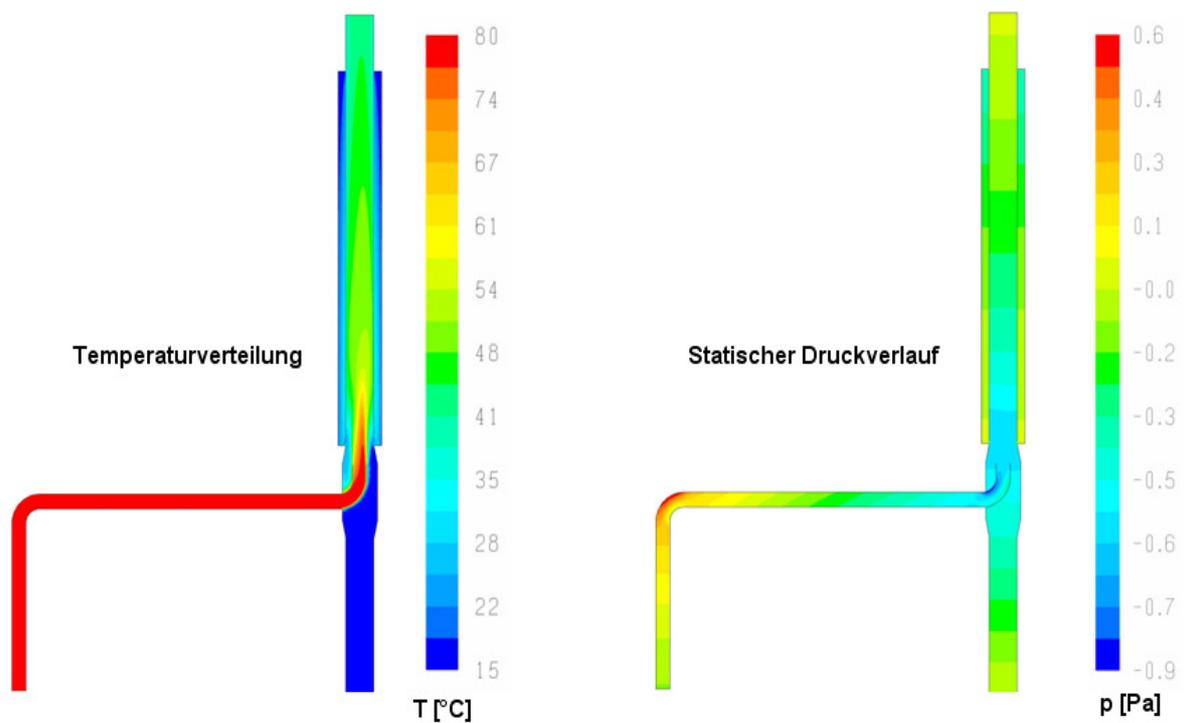
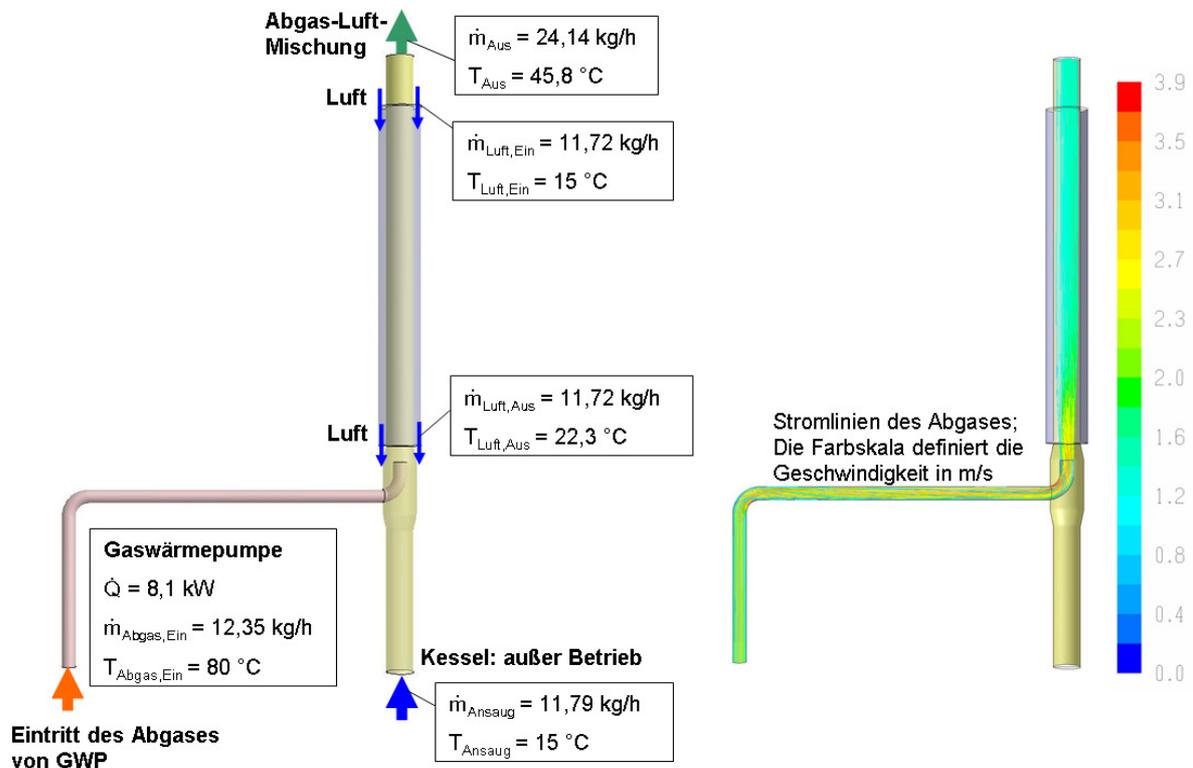


Abbildung 6-26: GWP im Mindestlastbetrieb; Temperatur- und Druckverlauf; injektorartige Abgaszusammenführung

Auch bei der mit Volllast betriebenen Gaswärmepumpe wird das Abgas vollständig abgeführt. Die Massenströme sowie die simulierten Stromlinien des Abgases in Abbildung 6-27 beweisen dies.



**Abbildung 6-27: GWP im Volllastbetrieb; Massenströme und Temperaturen; injektorartige Abgaszusammenführung**

Aufgrund der guten Simulationsergebnisse wurde die in Abbildung 6-23 dargestellte injektorartige Abgaszusammenführung mit Abgasrohrängen von 5, 10 und 20 m jeweils mit Mindest- und Volllastbetrieb simuliert. Bei allen Abgasrohrängen erfolgte eine zuverlässige Abgasabführung. Die Ergebnisse bei 20 m Länge geben für beide Betriebszustände Abbildung 6-28 und Abbildung 6-29 wieder.

Die gleiche Kaskadeninstallation mit 20 m Abgasrohränge wurde mit einer auf  $30 \text{ °C}$  reduzierten Abgaseingangstemperatur simuliert, sowohl für den Mindest- als auch für den Volllastbetrieb. Die Massenströme, Temperaturen und Stromlinien des Abgases zeigen Abbildung 6-30 und Abbildung 6-31. Die Abgasaustrittstemperaturen an der Mündung unterscheiden sich nur unwesentlich von denen bei  $80 \text{ °C}$  Abgaseintrittstemperatur ermittelten Werten.

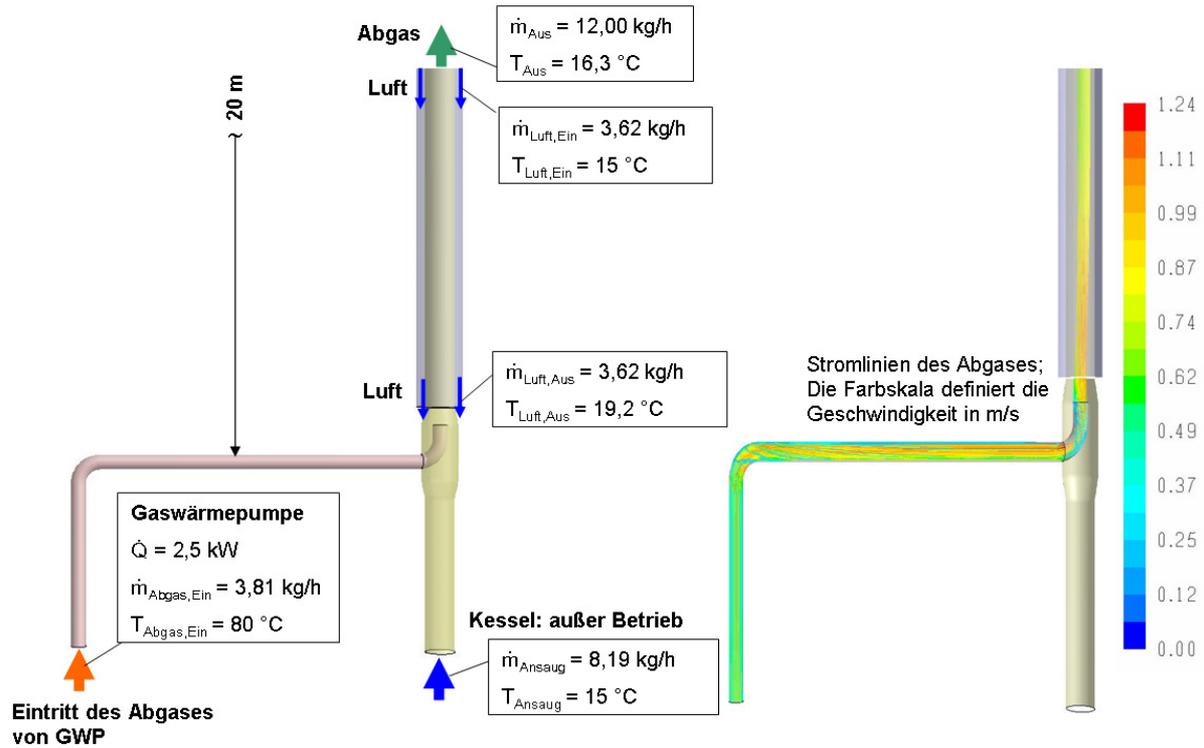


Abbildung 6-28: GWP im Mindestlastbetrieb; Massenströme und Temperaturen; injektorartige Abgaszusammenführung bei 20 m Abgasrohrlänge; Abgastemperatur 80 °C

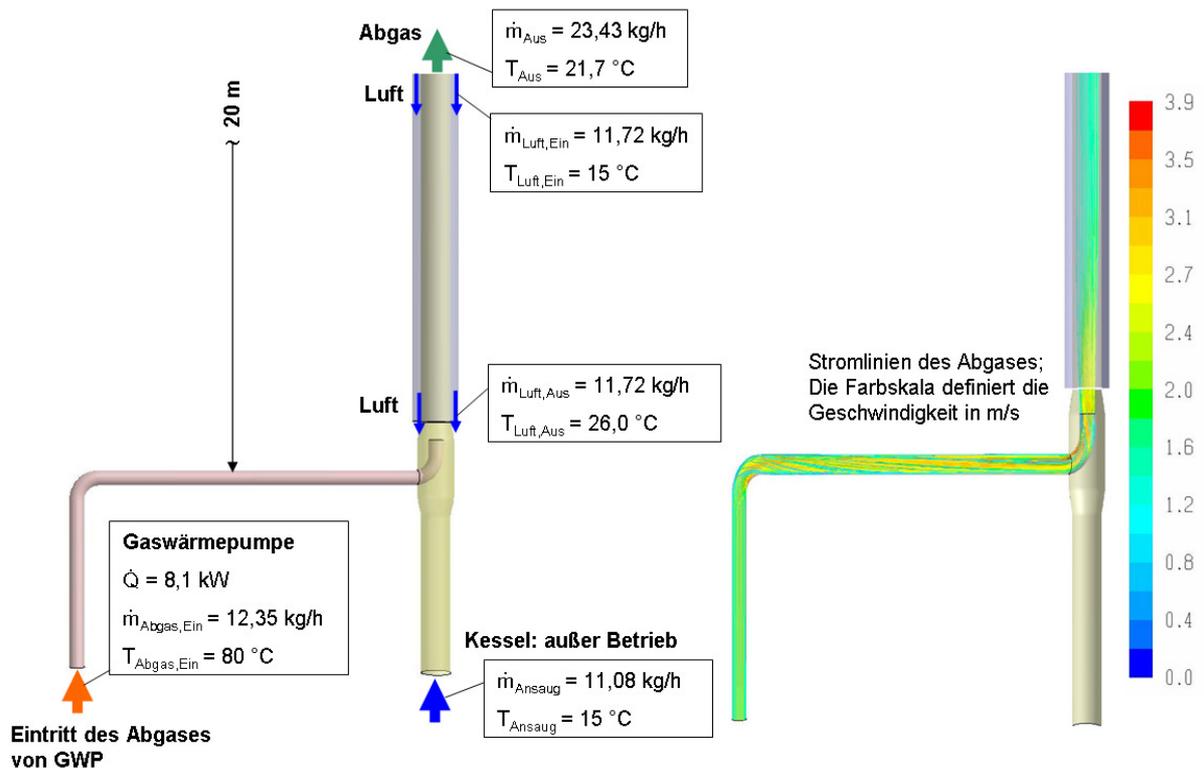


Abbildung 6-29: GWP im Volllastbetrieb; Massenströme und Temperaturen; injektorartige Abgaszusammenführung bei 20 m Abgasrohrlänge; Abgastemperatur 80 °C

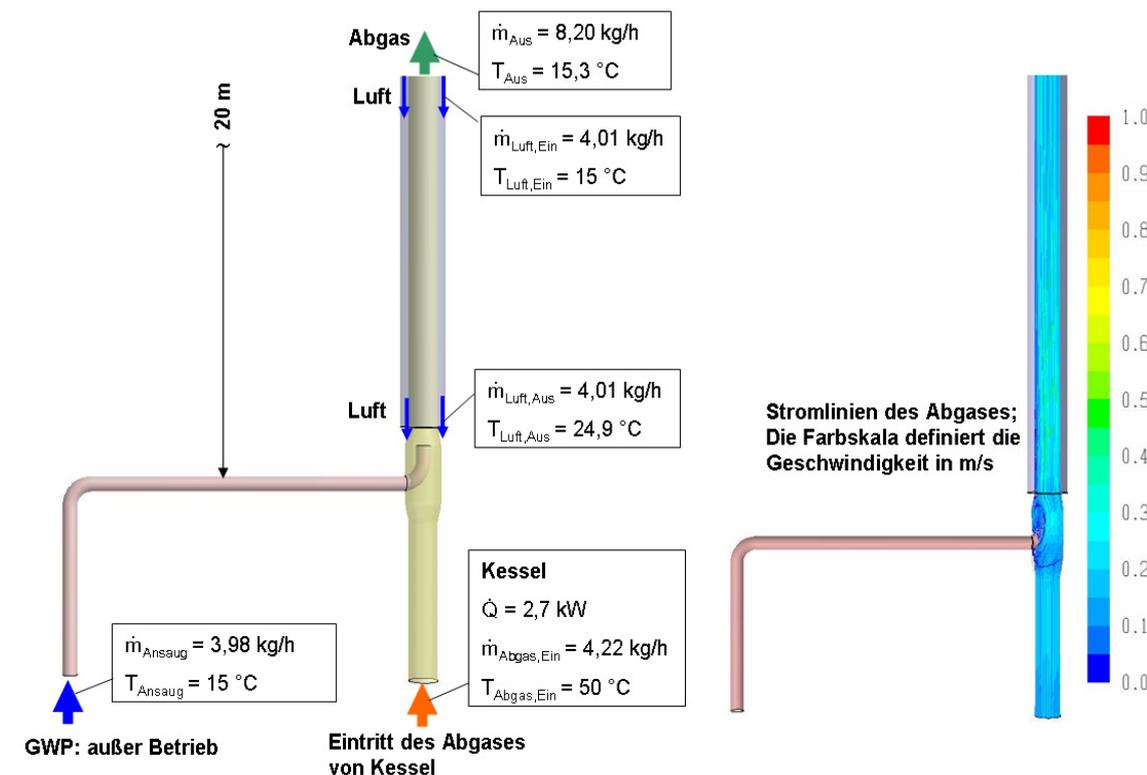


Aufgrund der mit der injektorartigen Abgaszusammenführung erzielten Ergebnisse wurden weitere Betriebszustände simuliert.

Berechnungsangaben:

- Betriebsweise:  
GWP:  $Q_{\min} = 2,5 \text{ kW}$  und  $Q_{\max} = 8,1 \text{ kW}$   
Kessel:  $Q_{\min} = 2,7 \text{ kW}$  und  $Q_{\max} = 14,0 \text{ kW}$
- Bei den Simulationen wurde die verschiedenen Fälle (GWP: außer Betrieb, Mindest- und Vollast, Kessel: Mindest- und Vollast) untersucht.
- Abgastemperatur der GWP =  $80 \text{ }^\circ\text{C}$
- Abgastemperatur des Kessels =  $50 \text{ }^\circ\text{C}$
- Aufstellraum und Umgebungstemperatur =  $15 \text{ }^\circ\text{C}$
- Abgasrohrlänge =  $20 \text{ m}$

Abbildung 6-32 und Abbildung 6-33 zeigen die Abgasmassenströme und Temperaturen sowie die Stromlinien des Abgases für den Fall, dass nur der Kessel in Betrieb ist, sowohl bei Mindest- als auch bei Vollast. Die Stromlinien sowie die Temperaturverteilung machen deutlich, dass in beiden Fällen keine Abgasrückströmungen in Richtung Gaswärmepumpe auftreten.



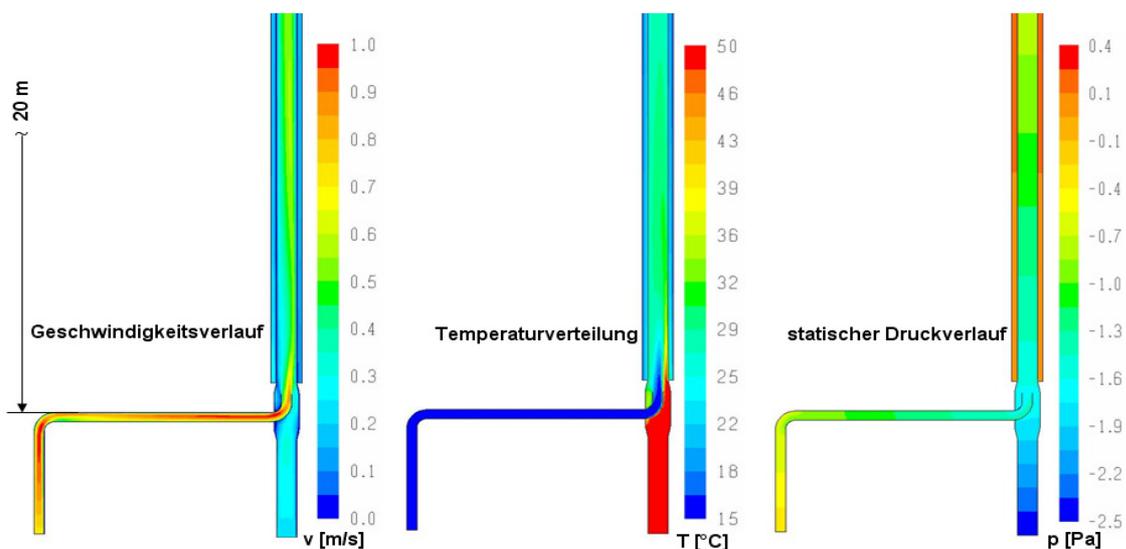


Abbildung 6-32: Kessel im Mindestlastbetrieb; injektorartige Abgaszusammenführung bei 20 m Abgasrohrlänge; Massenströme, Temperaturen, Geschwindigkeitsverlauf, statischer Druckverlauf

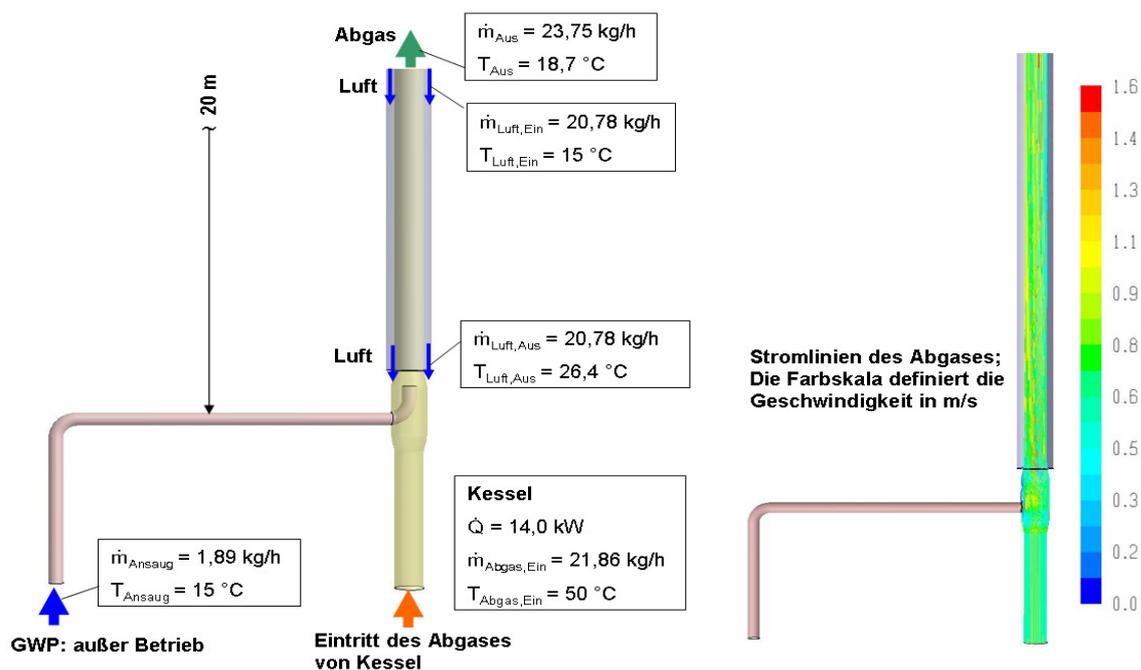
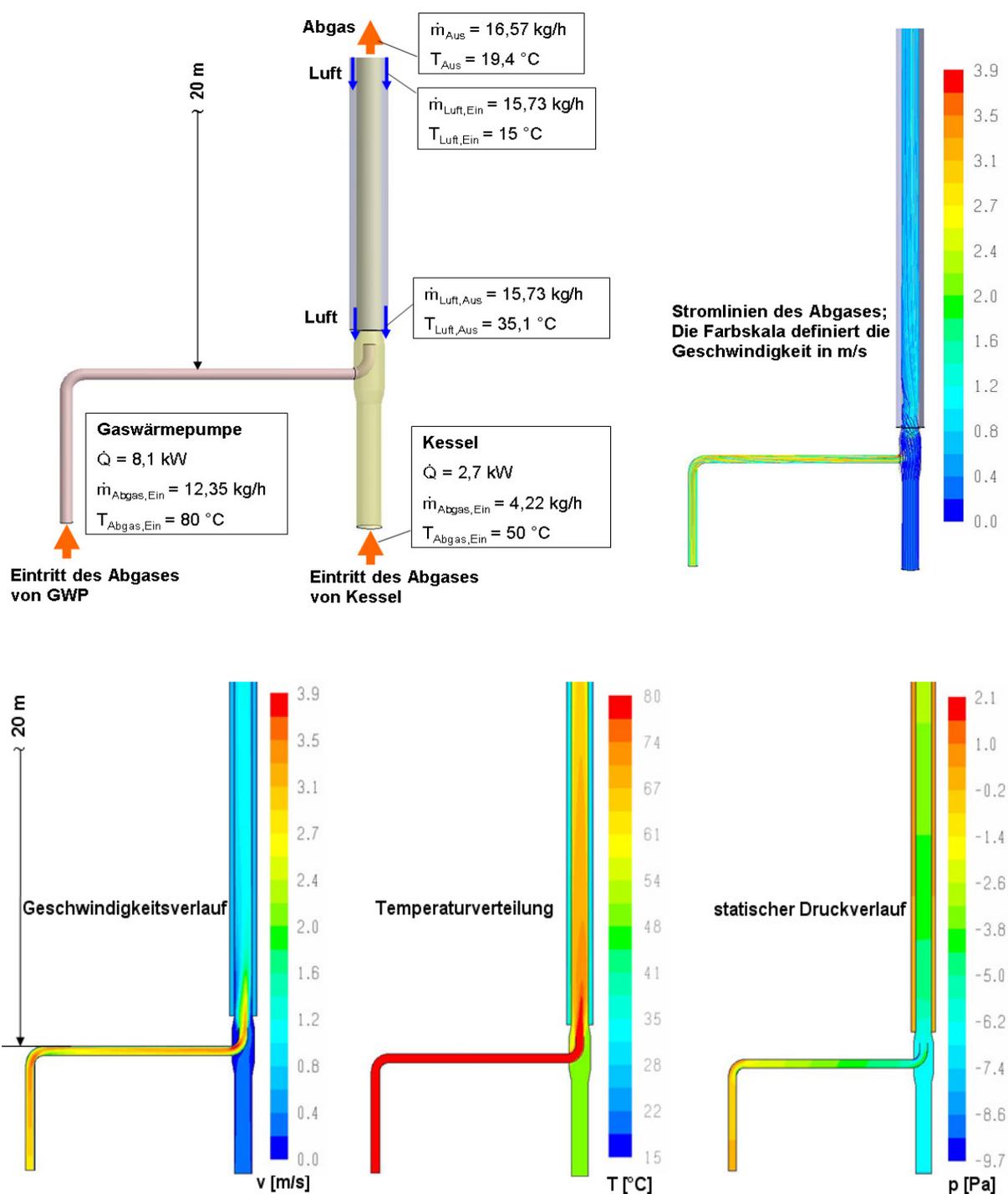


Abbildung 6-33: Kessel im Volllastbetrieb; Massenströme und Temperaturen; injektorartige Abgaszusammenführung bei 20 m Abgasrohrlänge; Abgastemperatur 50 °C

Eine vollständige Abgasabführung für den Fall, dass die Gaswärmepumpe mit Volllast und der Kessel mit Mindestlast betrieben werden, wurde mit einer weiteren Simulation überprüft. Die Abgasrohrlänge betrug 20 m, das Abgas trat mit 80 °C aus der Gaswärmepumpe und mit 50 °C aus dem Kessel aus. Die in Abbildung 6-34 aufgeführten Ergebnisse zeigen ebenfalls eine vollständige Abführung der Abgase.



**Abbildung 6-34: GWP im Volllastbetrieb, Kessel im Mindestlastbetrieb; injektorartige Abgaszusammenführung bei 20 m Abgasrohrlänge; Massenströme, Temperaturen, Geschwindigkeitsverlauf, statischer Druckverlauf**

Sind beide Gasgeräte mit Volllast in Betrieb, treten die maximal möglichen Abgasmassenströme auf. Die Simulationsergebnisse dieses Betriebszustandes bei einer Abgasrohrlänge von 20 m sind in Abbildung 6-35 dargestellt. Der untere Bildteil zeigt den Geschwindigkeitsverlauf, die Temperaturverteilung und den statischen Druckverlauf. Es

treten keine Abgasrückströmungen auf, das Abgas wird zuverlässig abgeführt. Der statische Druckverlauf und die Geschwindigkeit des Abgasmassenstroms sind im Vergleich zu den anderen Betriebszuständen hoch.

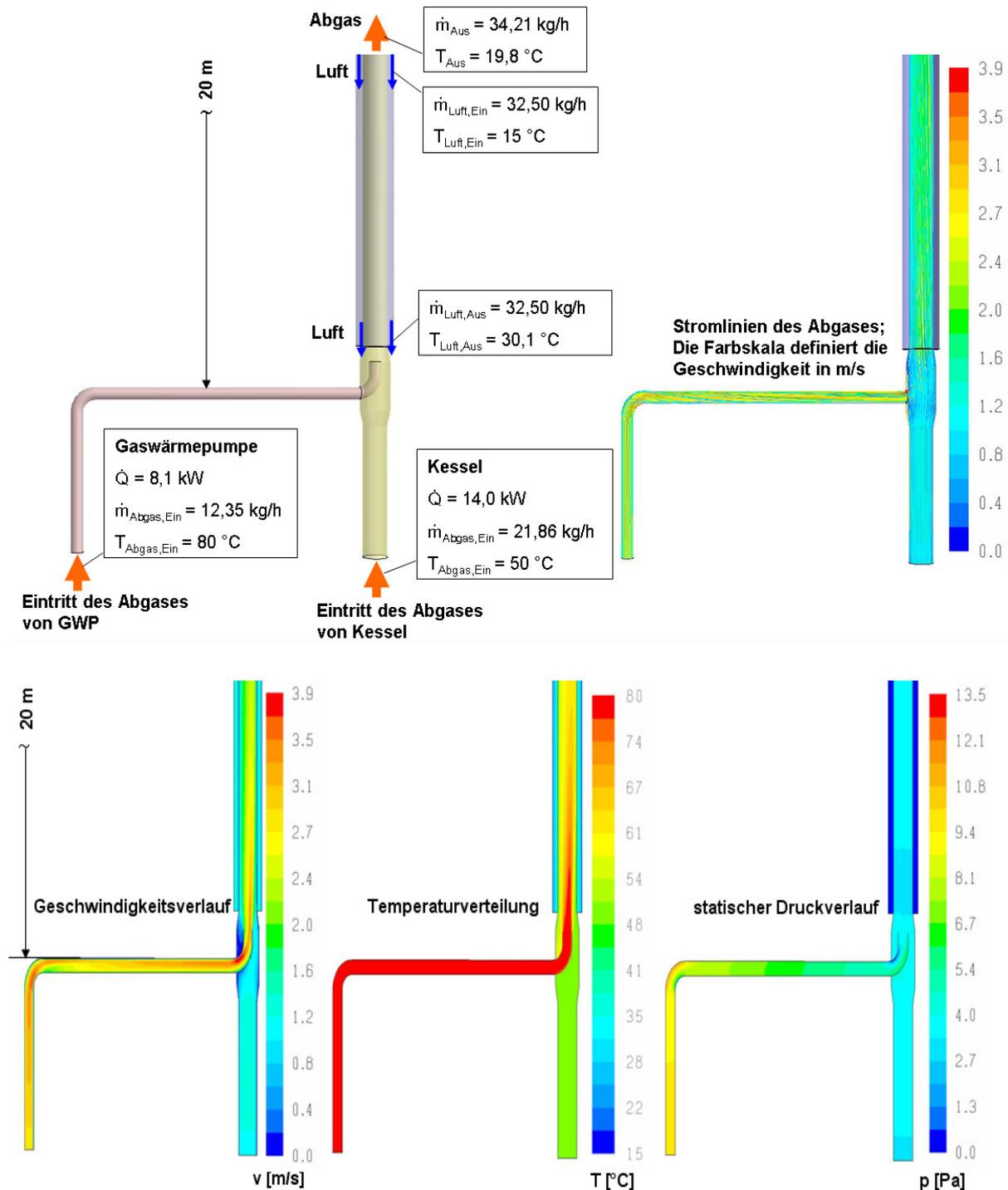


Abbildung 6-35: GWP und Kessel im Volllastbetrieb; injektorartige Abgaszusammenführung bei 20 m Abgasrohrlänge; Massenströme, Temperaturen, Geschwindigkeitsverlauf, statischer Druckverlauf

## 6.6 Zusammenfassung der Simulationsergebnisse

Die Simulationen haben folgendes ergeben:

- Die Kaskadenanordnungen 1 und 4 sind unzulässig, da Rückströmungen in Richtung des Heizkessels stattfinden.
- Bei der Anordnung 3 tritt eine sehr geringe Rückströmung auf ( $m = 0,32 \text{ kg/h}$  und  $m = 0,25 \text{ kg/h}$ ).
- Anhand der Simulationen wurde Anordnung 2 als optimale Abgasabführung mit einer Abgasrohrlänge von 1,2 m herausgestellt. Auch für eine Abgaseingangstemperatur von  $30 \text{ °C}$  konnte eine sichere Abgasabführung nachgewiesen werden. Die zusätzlich untersuchte Abgasrohrlänge von 2,5 m erwies sich jedoch nur bei Volllast als zuverlässig.
- Die injektorartige Abgaszusammenführung stellt eine zuverlässige Alternative dar. Bei allen Betriebszuständen wird sowohl bei der 1.2 m langen Abgasleitung als auch bei den Abgasrohrlängen 5, 10 und 20 m das Abgas zuverlässig abgeführt.
- Folgende weitere Betriebszustände weisen bei einer Abgasrohrlänge von 20 m eine vollständige Abgasabführung auf:
  - nur der Kessel ist bei Mindest- und Volllast in Betrieb,
  - GWP ist mit Volllast und Kessel mit Mindestlast in Betrieb
  - beide Gasgeräte sind bei Volllast in Betrieb

Aus den Simulationen kann die Erkenntnis gezogen werden, dass für eine sichere Abgasabführung bei einem Kaskadenbetrieb von einer Gaswärmepumpe mit einem Heizkessel eine Rückströmsicherung für jedes Gasgerät erforderlich ist. Dies gilt sowohl für raumluftab- als auch -unabhängige Betriebsweisen der Gasgeräte der Kaskade.

Die sichere Funktion des Kaskadensystems muss sowohl mit der Druckbedingung (ausreichender Unter-/Überdruck) als auch der Temperaturbedingung (ausreichend hohe Innenwandtemperatur an der Mündung zur Vermeidung von Kondensation/Eisbildung) erfüllt werden. Die Druckbedingung kann durch eine angepasste Auslegung der Gebläse erreicht werden. Die Simulationen zeigen, dass bei der längeren Abgasleitung eine Kondensation stattfindet, deswegen müssen erforderliche Maßnahmen wie Kondensatabführung und feuchteunempfindliche Materialien vorgenommen werden.

## 7 Übertragbarkeit auf neue Gastechnologien

Es wurde eine Analyse der Übertragbarkeit der recherchierten Regelwerksanforderungen auf die Kaskadierung von Gaswärmepumpen mit Brennwert-Heizgeräten vorgenommen. Hierbei standen die Anlagen- und Betriebssicherheit im Vordergrund.

Die Recherche ergab, dass es eine Regelwerkslücke zur Kaskadierung von Gasgeräten gibt, die auf jeden Fall geschlossen werden soll.

### 7.1 Bedingungsliste für das neue Regelwerk

Aus den Erfahrungen des Gaswärme-Instituts hinsichtlich der Prüfung von Kaskadenanlagen, den Strömungssimulationen, den Hinweisen des Engler-Bunte-Instituts, den Vorschlägen eines Gaswärmepumpenherstellers sowie der Diskussion der Projektbegleitgruppe lassen sich folgende Anforderungen bzw. Schutzziele erstellen:

- **Rückströmverhalten**

Es darf keine unzulässige Abgasrückströmung in ein nicht-betriebenes Gerät auftreten. Dies kann durch den Einbau einer Rückströmsicherung, wie beispielsweise eine Abgasklappe oder Ähnliches erfolgen. Es sind mechanisch und thermisch betriebene Abgasklappen verfügbar. Allerdings dürfen thermisch betriebene Klappen nur bei atmosphärischen Geräten verwendet werden. Eine Kontrolle auch unterhalb einer Rückströmsicherung, unabhängig von der Installationsart, ist durchzuführen. Eine Rückströmsicherung kann gefordert werden in Anlehnung an G 635, Anforderungen lt. Anhang bis 100 Pa Überdruck.

- **Dichtheit der Abgasleitung**

Es darf kein gefährlicher Überdruck in der Abgasleitung gegenüber den Aufstellräumen auftreten. Die Anforderungen können der MFeuV entnommen werden. Es dürfen auch nur bereits zugelassene Abgasleitungen verwendet werden. Die Überprüfung der Dichtheit erfolgt bei maximalem Überdruck.

- **Unterscheidung nach Gerätearten und Geräteaufstellung**

Es müssen die Gerätearten „beide Gasgeräte raumluftabhängig“ und „beide Gasgeräte raumluftunabhängig“ unterschieden werden. Bei raumluftabhängigen Geräten sowie bei raumluftunabhängigen Gasgeräten mit nicht verbrennungsluftumspülter Abgasabführung müssen Vorschriften für den Aufstellungsort und für die Verbrennungsluftversorgung beachtet werden. Dabei ist die Art des Aufstellraumes zu berücksichtigen:

- belüfteter Aufstellraum mit ständiger Öffnung ins Freie
- Aufstellraum, der zum Aufenthalt von Menschen bestimmt ist

Eventuell kann auf die Angaben in der TRGI zurückgegriffen werden.

- **Überprüfung der Belastung**

Kaskadengeräte müssen die Belastungsangaben auf dem Typenschild einhalten, sowohl bei Teillast als auch bei Volllast. Die Abweichung darf  $\pm 5\%$  betragen. Die Prüfung erfolgt bei maximalem Überdruck.

- **Überprüfung der Verbrennungshygiene**

Zur Überprüfung der Verbrennungshygiene werden die CO-Emissionen bei allen Belastungen gemessen. Die Prüfung erfolgt bei maximalem Überdruck.

Als weiterer Schadstoff wird zur Angabe der NO<sub>x</sub>-Klasse der NO<sub>x</sub>-Gehalt bestimmt.

- **Überprüfung der Brennstabilität und der Zündung**

Sicheres Zünden/Überzünden der Geräte in allen Kaskaden-Betriebszuständen, z. B. Startversuche eines Gerätes während des Betriebs des anderen Gerätes.

- **Überprüfung der Funktion und der Sicherheit**

Eine kaskadenartige Geräteanordnung kann als ein Gerät betrachtet werden. Bei besonderen Bedingungen wie z. B. Wind können die Prüfvorschriften nach EN 483 angewandt werden.

- **Forderung einer kaskadenfähigen Regelungslogik der Feuerstätten**

Wird eine Kaskade aus Geräten verschiedener Hersteller gebildet, stellt sich die Frage, wie die Regelungen funktionsfähig miteinander verknüpft werden können. Günstig wäre eine EIB-Bus-fähige Regelung in jedem Gasgerät. Vorteilhafter ist es sicherlich, wenn es sich um den gleichen Hersteller handelt.

Vorteil bei einer Kaskade mit Geräten des gleichen Herstellers ist die Durchführung aller erforderlichen Prüfungen bereits bei der Zertifizierung, wie z. B. die Windprüfung. Grundsätzlich müsste eine Mischung von Gasgeräten verschiedener Hersteller möglich sein, zumindest wenn beide Gasgeräte C6 - Geräte sind. Handelt es sich um C1 und oder C3 Geräte, ist eine Erstellung eines Gutachtens erforderlich.

- **Anforderungen bzgl. der Kondensatbildung**

Die EN 677 vervollständigt die Kesselnormen EN 297, 483 und 625 in Bezug auf zusätzliche Anforderungen für Brennwertkessel. Im Hinblick auf die Abgasabführung darf, wenn der Kessel mit einer Einrichtung zur Begrenzung der maximalen Abgastemperatur ausgerüstet

ist, die Abgastemperatur die vom Hersteller angegebene höchstzulässige Betriebstemperatur der Werkstoffe des Abgasabführungssystems und der Abgasleitungen nicht überschreiten. Die EN 677 gilt nur für Baumusterprüfungen.

Der Gaswärmepumpenhersteller hat ergänzend folgende Hinweise gegeben:

Konstruktiv muss die Abgasleitung für die Geräte geeignet sein. Die Abgasleitungen sind gemäß EN-Normen klassifiziert, z. B Kunststoffabgasanlagen nach EN 14471 siehe Tabelle 4.

**Tabelle 4: Charakteristik von Kunststoffabgasanlagen nach EN 14471**

<b>EN 14471 - T120 P1 O W 1 O50 I E L0</b>			<b>Leistungsmerkmale des Luft-/Abgassystems</b>
Temperaturklasse bezogen auf die thermischen Eigenschaften und Langzeittemperaturbeständigkeit bei thermischer Belastung	Temperaturklasse	T120	Die Temperaturbeständigkeit ist auf die maximalen Abgastemperaturen des Gerätes abgestimmt.
Druck; nach dieser Norm (EN 14471) sind nur die Klassen P, H und N1 vorgesehen, bezogen auf die Gasdichtheit	Gasdichtheitsklasse /Druckklasse	P1	Die Dichtheit ist für den Einsatz im Gebäude und im Freien nachgewiesen.
Rußbrandbeständigkeit; nach dieser Norm ist nur die Klasse O vorgesehen	Rußbrandbeständigkeitsklasse	O	Das Luft-/Abgassystem ist nicht rußbrandbeständig. Eine Rußbrandbeständigkeit ist nicht erforderlich.
Kondensationsbeständigkeit; nach dieser Norm ist nur Klasse W vorgesehen, bezogen auf die Beständigkeit gegenüber anfallenden Flüssigkeiten (Kondensat aus Abgas)	Kondensatbeständigkeitsklasse	W	Das Luft-/Abgassystem ist für den Brennwertbetrieb geeignet.
Korrosionswiderstand; nach dieser Norm sind nur die Klassen 1 oder 2 vorgesehen, bezogen auf Widerstandsfähigkeit gegenüber Prüfkondensat oder Kondensat aus Abgas	Korrosionswiderstandsklasse	1	Das Luft-/Abgassystem ist für den Brennwertbetrieb mit Vaillant Gas- und Ölbrennwertbetrieb geeignet.
Abstand zu brennbaren Baustoffen, bezogen auf die thermischen Eigenschaften	Abstand zu brennbaren Baustoffen	O50	Es ist kein Abstand der Luft-Abgasführung zu Bauteilen aus brennbaren Baustoffen erforderlich.
Einbauort, bezogen auf die Beständigkeit gegenüber Umwelteinflüssen		I	Der Einbauort der Luft-/Abgasführung (innerhalb oder außerhalb des Gebäudes) muss gemäß den Angaben in dieser Anleitung erfolgen.
Feuerwiderstand	Baustoffklasse/Brandverhalten	E	Die Klasse der Abgasrohre für das Brandverhalten nach EN 13501-1 ist normal entflammbar.
Außenschalen, bezogen auf die Beständigkeit gegenüber Umwelteinflüssen und auf die thermischen Eigenschaften	Feuerwiderstandsklasse	L0	Die Luft-/Abgassysteme weisen keine Feuerwiderstandsdauer auf. Die konzentrischen Luft-/Abgassysteme haben ein nichtbrennbares Außenrohr.

Die sichere Funktion kann versuchstechnisch als Gesamtsystem oder auch rechentechnisch auf Grundlage der EN 13384-2 mit einigen gerätetechnischen Ergänzungstests erfolgen. Die EN 13384-2 ist eine Dimensionierungsnorm und berücksichtigt nicht Sicherheitsaspekte.

Welche Informationen zur Berechnung einer Abgasanlage in Kaskadenschaltung erforderlich sind, kann aus Tabelle 5 entnommen werden.

**Tabelle 5: Notwendige Gerätedaten für die Auslegung einer Abgasleitung**

<b>Notwendige Gerätedaten für die Bemessung und Auswahl der Abgasanlage</b>	
<b>Für Geräte der Art B (raumluftabhängig):</b>	<b>Für Geräte der Art C (raumluftunabhängig):</b>
<b>Für die Auswahl des Abgasanlagentyps (Abgasleitungskennzeichnung):</b>	<b>Für die Auswahl des Abgasanlagentyps (Abgasleitungskennzeichnung):</b>
– Geräteart B2	– Geräteart C6..
– Brennstoffart: Gas	– Brennstoffart: Gas
– Max. Abgastemperatur	– Max. Abgastemperatur
– Kondensatableitung aus der Abgasanlage über das Gerät (max. zul. Wert)	– Kondensatableitung aus der Abgasanlage über das Gerät (max. zul. Wert)
<b>Für die Bemessung:</b>	<b>Für die Bemessung:</b>
– Geräteart B2..	– Geräteart C6..
– Brennstoffart: Gas	– Brennstoffart: Gas
– Max. und min. Belastung und zugehörige CO <sub>2</sub> -Gehalte	– Max. und min. Belastung und zugehörige CO <sub>2</sub> -Gehalte
– Min. Abgastemperaturen für max. und min. Belastung	– Min. Abgastemperaturen für max. und min. Belastung
– Min. Zug (für Unterdruckabgasleitungen) oder max. Förderdruck (für Überdruckabgasleitungen)	– Min. Zug (für Unterdruckabgasleitungen) oder max. Förderdruck (für Überdruckabgasleitungen) bei größter Nennleistung und kleinster Nennleistung
– Durchmesser und Form des Abgasanschlusses	– Durchmesser und Form des Abgasanschlusses
	– Min. und max. zul. Druckdifferenz zwischen Luftanschluss und Abgasanschluss (einschließlich Winddruck)
	– Max. zulässige Verbrennungslufttemperatur
	– Durchmesser und Form des Luftanschlusses
	<b>Für Terminal-Auslegung/Auswahl:</b>
	– Max. zulässige CO <sub>2</sub> -Konzentration in der Verbrennungsluft (Rezirkulation)
<b>Für Geräteanschluss/Verbindungsstück/Abgasleitungsanschluss-Auswahl:</b>	<b>Für Geräteanschluss/Verbindungsstück/Abgasleitungsanschluss-Auswahl und Luftanschluss:</b>
– Durchmesser und Form des Abgasanschlusses	Luftverbindungsrohr/Geräteanschluss-Auswahl
– Position/Höhe des Abgasanschlusses	– Durchmesser und Form des Abgasanschlusses
	– Position/Höhe des Abgasanschlusses
	– Durchmesser und Form des Luftanschlusses
	– Position/Höhe des Luftanschlusses

Bei nicht-systemgeprüften Anlagen ist es vor allem schwierig, das Geräteverhalten beim Anfahren gegen einen bereits vorhandenen Überdruck in der Abgasleitung und auch das

Teillastverhalten zu beurteilen. Daten für eine rechentechnische Beschreibung bzw. Tests durch die Baumusterprüfung liegen dazu in der Regel nicht vor.

## 7.2 Grobstruktur des neuen Regelwerkes

Zur besseren Übersicht wurde aus der Bedingungsliste die in Tabelle 6 aufgeführte Grobstruktur zusammengestellt.

**Tabelle 6: Grobstruktur des neuen Regelwerkes**

<b><u>Grobstruktur des neuen Regelwerkes</u></b>		
<b>Gasgeräte bis 70 kW NWB: Verbrennungsluftzufuhr</b>	<b><u>B-Geräte</u></b>	<b><u>C-Geräte</u></b>
	raumluftabhängig B <sub>2.2</sub> ; B <sub>2.3</sub> Verbrennungsluftversorgung und Aufstellbedingungen sowie Art des Aufstellraumes nach TRGI 2008, MFeuVO	raumluftunabhängig C <sub>1</sub> , C <sub>3</sub> , C <sub>4</sub> , C <sub>6</sub> ; LAS Aufstellbedingungen nach TRGI 2008, MFeuVO
<b>Sicherheitsanforderungen Rückströmsicherung</b>	ist erforderlich Anforderungen an die Rück. nach G 635 Kontrolle auch unterhalb der Rück.	ist erforderlich Anforderungen an die Rück. nach G 635 Kontrolle auch unterhalb der Rück.
<b>Dichtheit des Abgasweges</b>	Abgasaustritt ausschließlich an der Abgasrohrmündung (EN 12309-1)	Luftleckrate von 0,25 m <sup>3</sup> /kW WB bzw. maximal 10 m <sup>3</sup> /h (EN 12309-1) Prüfung bei maximalem Überdruck nur zugelassene Abgasleitungen
<b>Zündverhalten</b>	Zünd- und Überzündversuche, Startversuche	Zünd- und Überzündversuche, Startversuche in allen Betriebszuständen
<b>Verbrennungshygiene</b>	Überprüfung der CO-Emission: Prüfung bei allen Belastungen bei maximalem Überdruck nach EN 297	Überprüfung der CO-Emission: Prüfung bei allen Belastungen bei maximalem Überdruck nach EN 483
<b>Schadstoff NOx</b>	Zur Bestimmung der NOx-Klasse werden die NOx-Emissionen nach EN 297 bestimmt	Zur Bestimmung der NOx-Klasse werden die NOx-Emissionen nach EN 483 bestimmt
<b>Windeinflüsse an der Mündung</b>	Prüfung nach EN 297	Prüfung nach EN 483
<b>Regelungsanforderungen</b>	möglichst allgemeingültige Programmiersprache, z.B. EIB-fähig	möglichst allgemeingültige Programmiersprache, z.B. EIB-fähig
<b>Kondensatanforderungen</b>	Bauanforderungen zur Abführung des Kondenswassers nach EN 677	Bauanforderungen zur Abführung des Kondenswassers nach EN 677
<b>Belastungseinhaltung</b>	Abweichung der Angaben lt. Typenschild max. ± 5 % Überprüfung der Nennwärmeleistung bei Kondenswasserbildung (EN 677)	Abweichung der Angaben lt. Typenschild max. ± 5 % Überprüfung der Nennwärmeleistung bei Kondenswasserbildung (EN 677)
<b>Auslegung des Abgasweges</b>	Durchmesser Höhe Material Massenstrombedingung Temperaturbedingung Druckbedingung	Durchmesser innen und außen Höhe Material innen und außen Massenstrombedingung Temperaturbedingung Druckbedingung

### 7.3 Technische Spezifikation

In der abschließenden Sitzung der Projektbegleitgruppe wurde für die Erstellung eines neuen Regelwerkes in einem Arbeitskreis, an dem Vertreter des DVGW, des ZIV, der Prüfstellen, der Gasgerätehersteller und Vertreter der Initiative Gaswärmepumpe teilnehmen sollen, als Diskussionsgrundlage folgende technische Spezifikation (Tabelle 7) entworfen:

**Tabelle 7 Technische Spezifikation**

#### Technische Spezifikation

Geräteunabhängige Abgaskaskadierung für Bestand und Neubau

##### Anwendungsbereich:

- Gerätearten B<sub>2,2</sub>, B<sub>2,3</sub>, C<sub>1</sub>, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub>, C<sub>6</sub>;
- Gaswärmepumpen,
- $\mu$ -KWK-Geräte (Stirling-Heizgeräte),
- $\mu$ -KWKGeräte mit Otto- oder Diesel-Motoren (wenn ein kontinuierlicher Druck vorliegt),
- Brennstoffzellen

Ist in der Anlage ein Abgaswärmetauscher nachgeschaltet, gilt die technische Spezifikation erst hinter dem Abgaswärmetauscher.

##### Leistungsbereich: häusliche Anwendung:

Vorschlag: 70 kW Gasanschlussleistung, 11 kW elektrische Leistung

##### Sicherheitsanforderungen:

- Brandsicherheit
- Betriebssicherheit (Rückströmungssicherung ?)
- Startversuche und Zündversuche in allen Kaskadenbetriebszuständen (hierbei für Überdruck/Unterdruckanlagen die Arbeitsblätter G 635/G 636 beachten)
- Betrachtung der Kaskade als ein Gerät
- Aufstellungsregeln: gemäß TRGI 2008, MFeuV, MBauO
- Verbrennungshygiene: CO-Emissionen bei allen Belastungen, TA-Luft, Angabe der Emissionsklasse

##### Rahmen- und Auslegungsrandbedingungen:

- Auslegungsdaten:
  - Abgasdruck
  - kleinster Gegendruck, wenn alle Geräte in Betrieb sind
  - Durchmesser der Abgasrohre
  - maximal zulässige Höhe

Kombination von Gasgeräten unterschiedlicher Hersteller soll möglich sein:  
Abstimmung der Regelungen

## 8 Auslegung von Abgasabführungen

Mit einer handelsüblichen Berechnungssoftware sollte in Anlehnung an DIN EN 13384 („Abgasanlagen – wärme- und strömungstechnische Berechnungsverfahren – Teil 2“), eine Kaskadenanlage, bestehend aus Gaswärmepumpe und Brennwert-Heizkessel, feuerungstechnisch bemessen werden. Aufgrund der Erkenntnisse aus den Strömungssimulationen wurden die Berechnungen für die Anordnung drei der in Abbildung 5-1 dargestellten möglichen Kaskadenanordnungen durchgeführt. Die zweite Kaskadeninstallation ließ sich mit der Berechnungssoftware nicht abbilden.

Für diese Geräteanordnung wurden mehrere Abgasrohrdurchmesser mit den Rohrmaterialien Innenrohr Kunststoff – Außenrohr Edelstahl für jeweils 4 Betriebsarten betrachtet.

### 8.1 Berechnungssoftware Kesa-Aladin

Das Kesa-Aladin-Programm ist ein Programm zur Auslegung von Schornsteinen und Abgasanlagen. Dieses Programm beinhaltet neben einfach belegten Schornsteinen auch mehrfach belegte Schornsteine und Kaskadenanlagen. Die Berechnungsbedingungen in EN 13384 Teile 1 und 2 sind in diesem Programm zu Grunde gelegt worden.

Als Information werden bei der Konzeption einer Kaskadenanlage folgende Hinweise gegeben [4]:

Die feuerungstechnische Bemessung der Abgasanlage ist nicht durch den Anwendungsbereich der Norm EN 13384-2 abgedeckt, wenn eine oder mehrere der folgenden Bedingungen zutreffen:

- Die Abgasanlage wird planmäßig mit Überdruck betrieben.
- Bei der Berechnung von Luft-Abgas-Systemen (LAS) wird derzeit der Energieaustausch zwischen Abgas und Luft nach EN 13384-2 noch nicht berücksichtigt.
- Die Bemessung erfolgt ausdrücklich im Sinne eines bemessungstechnischen Gutachtens auf der Basis der angegebenen Norm unter zusätzlicher Berücksichtigung allgemein bekannter physikalischer Zusammenhänge und einschlägiger technischer Richtlinien.

Eine Vielzahl von Parametern wird bei der Berechnung berücksichtigt. Nachfolgend sind die wesentlichen Eingaben aufgeführt:

- Anzahl der Belegungen und Feuerstätten
- Anordnung der Gasgeräte

- Nennwärmeleistungsbereich
- Verbrennungsluftversorgung (raumlufatab- oder unabhängig)
- Luftzufuhr (z. B. aus Aufstellraum, über Dach )
- Zusätzliche Komponenten (z. B. Nebenluftvorrichtung, Rückströmsicherung)
- Umgebung der Anlage (z. B. Inland, Höhe über NN)
- Abgasklappen (ja/nein)
- Betriebsweise (Über- oder Unterdruckanlage, feuchte Betriebsweise)
- Verbindungsstück: Querschnittsform, Durchmesser, Material, wirksame Höhe, gestreckte Länge)
- Widerstände, Bögen, Einmündungen
- Verlauf im Gebäude/über Dach

Für die Berechnungen wurden die in Tabelle 8 aufgeführten Betriebsdaten angewendet.

**Tabelle 8: Betriebsdaten der Kaskadenanordnung 3**

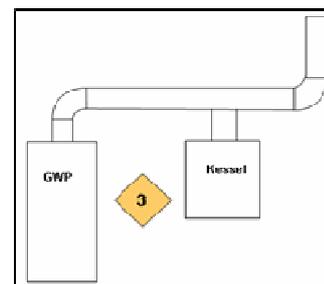
### Betriebsdaten

#### Anordnung 3

Erdgas  
raumlufunabhängig, Gegenstrom C3  
geodätische Höhe 150 m, Essen  
Umgebungslufttemperatur 15 °C  
Temp. An der Mündung "- 15 °C"  
mit Rückstromsicherungen

#### Feuerstätten

	Volllast	Teillast
<b>GWP</b>		
Bosch TT (als Kategorie GBW)		
Nennwärmeleistung	8,1 kW	2,5 kW
Feuerungswärmeleistung	8,1 kW	2,5 kW
CO <sub>2</sub> -Gehalt	10,20%	10,20%
Abgasmassenstrom	12,35 kg/h	3,81 kg/h
Abgastemperatur	80 °C	80 °C
notwendiger Förderdruck	10 Pa	10 Pa
Abgasstutzen	Rund 80 mm	
Luftbedarf Faktor Beta	0,9	
<b>BWK</b>		
Buderus Logamax Plus GB 162-15 80/60 °C		
Nennwärmeleistung	14 kW	2,7 kW
Feuerungswärmeleistung	14,4 kW	2,8 kW
CO <sub>2</sub> -Gehalt	9,20%	8,50%
Abgasmassenstrom	23,76 kg/h	5,04 kg/h
Abgastemperatur	63 °C	55 °C
notwendiger Förderdruck	85 Pa	85 Pa
Abgasstutzen	Rund 80 mm	
Luftbedarf Faktor Beta	0,9	



#### Betriebsarten:

GWP	BWK
1 Voll	Voll
2 Teil	Teil
3 Voll	aus
4 Teil	aus

#### Verlauf

Anteil im Freien	10%
Anteil im Kaltbereich	0%
Anteil im Warmebereich	90%
Höhe über Außenrohr	0,2 m
Gebäudekontakt	allseitig

Die Berechnungsergebnisse für die Durchmesser 60, 80, 100, 150 und 200 mm jeweils für die Abgasleitungslängen von 1,5, 5 und 10 m sind in den nachfolgenden Tabelle 9 bis Tabelle 13 zusammengestellt.

Tabelle 9: Ergebnisse für einen Innendurchmesser von 60 mm

Innen- durchmesser:	Abgasanlage			Verbindungsstücke							
	Bauart	Abgasltg	Verbrennungsluftltg	1 (GWP)	2 (BWK)	3 (GWP+BWK)					
60 mm	Querschnitt	rund 60 mm	rund 110 mm	rund 60 mm	rund 60 mm	rund 60 mm					
	Wärmedurchlasswiderstand	0 m²K/W	0 m²K/W	0 m²K/W	0 m²K/W	0 m²K/W					
	Dicke	1 mm	1,5 mm	1 mm	1 mm	1 mm					
	Innenwandmaterial	PE glatt	Edelstahl	PE glatt	PE glatt	PE glatt					
	Mittlere Rauigkeit	1 mm	1 mm	1 mm	1 mm	1 mm					
Druckbedingung			Wirksame Höhe 1,5 m			Wirksame Höhe 5 m			Wirksame Höhe 10 m		
<b>Betriebsarten:</b>			<b>mWc</b>	<b>mW</b>	<b>mWc-mW</b>	<b>mWc</b>	<b>mW</b>	<b>mWc-mW</b>	<b>mWc</b>	<b>mW</b>	<b>mWc-mW</b>
1 Voll	Voll	Feuerstätte 2 BWK	6,6	6,6	0	6,6	6,6	0	6,6	6,6	0
		Feuerstätte 1 GWP	2,3	3,7	-1,4	1,5	3,7	-2,2	2,9	3,7	-0,8
2 Teil	Teil	Feuerstätte 2 BWK	1,4	1,4	0	1,4	1,4	0	1,4	1,4	0
		Feuerstätte 1 GWP	1,1	1,2	-0,1	1,1	1,2	-0,1	1	1,2	-0,2
3 Voll	aus	Feuerstätte 2 BWK	6,6	6,6	0	6,6	6,6	0	6,6	6,6	0
		Feuerstätte 1 GWP	3,5	3,7	-0,2	3,4	3,7	-0,3	3,2	3,7	-0,5
4 Teil	aus	Feuerstätte 2 BWK	1,4	1,4	0	1,4	1,4	0	1,4	1,4	0
		Feuerstätte 1 GWP	1,2	1,2	0	1,1	1,2	-0,1	1,1	1,2	-0,1
<b>Betriebsdrücke bei Vollast</b>			<b>Achtung: Überdruck &gt; 50 Pa</b>								
<b>Temperaturbedingung</b>			tiob	tg	tiob-tg	tiob	tg	tiob-tg	Tiob	tg	tiob-tg
			-7,7	0	-7,7	-10,2	0	-10,2	-11,6	0	-11,6

Tabelle 10: Ergebnisse für einen Innendurchmesser von 80 mm

Innen- durchmesser:	Abgasanlage			Verbindungsstücke							
	Bauart	Abgasltg	Verbrennungsluftltg	1 (GWP)	2 (BWK)	3 (GWP+BWK)					
80 mm	Querschnitt	rund 80 mm	rund 125 mm	rund 80 mm	rund 80 mm	rund 80 mm					
	Wärmedurchlasswiderstand	0 m²K/W	0 m²K/W	0 m²K/W	0 m²K/W	0 m²K/W					
	Dicke	1 mm	1,5 mm	1 mm	1 mm	1 mm					
	Innenwandmaterial	PE glatt	Edelstahl	PE glatt	PE glatt	PE glatt					
	Mittlere Rauigkeit	1 mm	1 mm	1 mm	1 mm	1 mm					
Druckbedingung			Wirksame Höhe 1,5 m			Wirksame Höhe 5 m			Wirksame Höhe 10 m		
<b>Betriebsarten:</b>			<b>mWc</b>	<b>mW</b>	<b>mWc-mW</b>	<b>mWc</b>	<b>mW</b>	<b>mWc-mW</b>	<b>mWc</b>	<b>mW</b>	<b>mWc-mW</b>
1 Voll	Voll	Feuerstätte 2 BWK	6,6	6,6	0	6,6	6,6	0	6,6	6,6	0
		Feuerstätte 1 GWP	3,2	3,7	-0,5	2,9	3,7	-0,8	2,4	3,7	-1,3
2 Teil	Teil	Feuerstätte 2 BWK	1,4	1,4	0	1,4	1,4	0	1,4	1,4	0
		Feuerstätte 1 GWP	1,2	1,2	0	1,1	1,2	-0,1	1,1	1,2	-0,1
3 Voll	aus	Feuerstätte 2 BWK	6,6	6,6	0	6,6	6,6	0	6,6	6,6	0
		Feuerstätte 1 GWP	3,7	3,7	0	3,6	3,7	-0,1	3,5	3,7	-0,2
4 Teil	aus	Feuerstätte 2 BWK	1,4	1,4	0	1,4	1,4	0	1,4	1,4	0
		Feuerstätte 1 GWP	1,2	1,2	0	1,1	1,2	-0,1	1,1	1,2	-0,1
<b>Temperaturbedingung</b>			tiob	tg	tiob-tg	tiob	tg	tiob-tg	Tiob	tg	tiob-tg
			-3,8	0	-3,8	-7,5	0	-7,5	-9,6	0	-9,6

Tabelle 11: Ergebnisse für einen Innendurchmesser von 100 mm

Innen-durchmesser:		Abgasanlage			Verbindungsstücke						
		Bauart	Abgasltg	Verbrennungsluftltg	1 (GWP)	2 (BWK)	3 (GWP+BWK)				
100 mm	Querschnitt	rund100 mm	rund 150 mm	rund100 mm	rund100 mm	rund100 mm					
	Wärmedurchlasswiderstand	0 m²K/W	0 m²K/W	0 m²K/W	0 m²K/W	0 m²K/W					
	Dicke	1 mm	1,5 mm	1 mm	1 mm	1 mm					
	Innenwandmaterial	PE glatt	Edelstahl	PE glatt	PE glatt	PE glatt					
	Mittlere Rauigkeit	1 mm	1 mm	1 mm	1 mm	1 mm					
Druckbedingung		Wirksame Höhe 1,5 m			Wirksame Höhe 5 m			Wirksame Höhe 10 m			
Betriebsarten:		mWc	mW	mWc-mW	mWc	mW	mWc-mW	mWc	mW	mWc-mW	
1 Voll	Voll	Feuerstätte 2 BWK	6,6	6,6	0	6,6	6,6	0	6,6	6,6	0
		Feuerstätte 1 GWP	3,5	3,7	-0,2	3,4	3,7	-0,3	3,2	3,7	-0,5
2 Teil	Teil	Feuerstätte 2 BWK	1,4	1,4	0	1,4	1,4	0	1,4	1,4	0
		Feuerstätte 1 GWP	1,2	1,2	0	1,1	1,2	-0,1	1,1	1,2	-0,1
3 Voll	aus	Feuerstätte 2 BWK	6,6	6,6	0	6,6	6,6	0	6,6	6,6	0
		Feuerstätte 1 GWP	3,7	3,7	0	3,7	3,7	0	3,7	3,7	0
4 Teil	aus	Feuerstätte 2 BWK	1,4	1,4	0	1,4	1,4	0	1,4	1,4	0
		Feuerstätte 1 GWP	1,2	1,2	0	1,1	1,2	-0,1	1,1	1,2	-0,1
Temperaturbedingung		tiob	tg	tiob-tg	tiob	tg	tiob-tg	Tiob	tg	tiob-tg	
		-5,3	0	-5,3	-8,6	0	-8,6	-10,3	0	-10,3	

Tabelle 12: Ergebnisse für einen Innendurchmesser von 150 mm

Innen-durchmesser:		Abgasanlage			Verbindungsstücke						
		Bauart	Abgasltg	Verbrennungsluftltg	1 (GWP)	2 (BWK)	3 (GWP+BWK)				
150 mm	Querschnitt	rund150 mm	rund 200 mm	rund150 mm	rund150 mm	rund150 mm					
	Wärmedurchlasswiderstand	0 m²K/W	0 m²K/W	0 m²K/W	0 m²K/W	0 m²K/W					
	Dicke	1 mm	1,5 mm	1 mm	1 mm	1 mm					
	Innenwandmaterial	PE glatt	Edelstahl	PE glatt	PE glatt	PE glatt					
	Mittlere Rauigkeit	1 mm	1 mm	1 mm	1 mm	1 mm					
Druckbedingung		Wirksame Höhe 1,5 m			Wirksame Höhe 5 m (2,5 m auch!)			Wirksame Höhe 10 m			
Betriebsarten:		mWc	mW	mWc-mW	mWc	mW	mWc-mW	mWc	mW	mWc-mW	
1 Voll	Voll	Feuerstätte 2 BWK	6,6	6,6	0	6,6	6,6	0	6,6	6,6	0
		Feuerstätte 1 GWP	3,7	3,7	0	3,7	3,7	0	3,6	3,7	-0,1
2 Teil	Teil	Feuerstätte 2 BWK	1,4	1,4	0	1,4	1,4	0	1,4	1,4	0
		Feuerstätte 1 GWP	1,2	1,2	0	1,1	1,2	-0,1	1,1	1,2	-0,1
3 Voll	aus	Feuerstätte 2 BWK	6,6	6,6	0	6,6	6,6	0	6,6	6,6	0
		Feuerstätte 1 GWP	3,7	3,7	0	3,7	3,7	0	3,6	3,7	-0,1
4 Teil	aus	Feuerstätte 2 BWK	1,4	1,4	0	1,4	1,4	0	1,4	1,4	0
		Feuerstätte 1 GWP	1,2	1,2	0	1,1	1,2	-0,1	1,1	1,2	-0,1
Temperaturbedingung		tiob	tg	tiob-tg	tiob	tg	tiob-tg	Tiob	tg	tiob-tg	
		-7,7	0	-7,7	-10,2	0	-10,2	-10,9	0	-10,9	

mit Edelstahl das gleiche Ergebnis!

Lediglich bei dem Innendurchmesser von 150 mm zeigten die Berechnungsergebnisse für eine 1,5 m wirksame Höhe für alle Betriebsarten eine zulässige Abgasmassenstrombilanz. Ansonsten trat bei allen anderen Berechnungen zumindest für eine oder auch mehrere Betriebsarten eine negative Abgasmassenstrombilanz auf. Stichprobenartig wurde für die Berechnung des 150 mm Durchmessers bei 1,5 m Abgasrohrlänge das Innenrohrmaterial ebenfalls aus Edelstahl gewählt. Es ergaben sich keine Unterschiede in den Berechnungen. Weiterhin wurde die Berechnung beim 150 mm Durchmesser auch für eine wirksame Abgasrohrhöhe von 2,5 m durchgeführt, die die gleichen Ergebnisse wie für eine 5 m wirksame Höhe, nämlich eine negative Abgasmassenstrombilanz lieferte.

Tabelle 13: Ergebnisse für einen Innendurchmesser von 200 mm

Innen- durchmesser:	Abgasanlage			Verbindungsstücke		
	Bauart	Abgasltg	Verbrennungsluftltg	1 (GWP)	2 (BWK)	3 (GWP+BWK)
200 mm	Querschnitt	rund200 mm	rund 250 mm	rund200 mm	rund200 mm	rund200 mm
	Wärmedurchlasswiderstand	0 m²K/W	0 m²K/W	0 m²K/W	0 m²K/W	0 m²K/W
	Dicke	1 mm	1,5 mm	1 mm	1 mm	1 mm
	Innenwandmaterial	PE glatt	Edelstahl	PE glatt	PE glatt	PE glatt
	Mittlere Rauigkeit	1 mm	1 mm	1 mm	1 mm	1 mm

Druckbedingung			Wirksame Höhe 1,5 m			Wirksame Höhe 5 m			Wirksame Höhe 10 m		
Betriebsarten:			mWc	mW	mWc-mW	mWc	mW	mWc-mW	mWc	mW	mWc-mW
1 Voll	Voll	Abgasmassenstrom	6,6	6,6	0	6,6	6,6	0	6,6	6,6	0
		Feuerstätte 2 BWK	3,7	3,7	0	3,7	3,7	0	3,7	3,7	0
2 Teil	Teil	Feuerstätte 2 BWK	1,4	1,4	0	1,4	1,4	0	1,4	1,4	0
		Feuerstätte 1 GWP	1,2	1,2	0	1,1	1,2	-0,1	1,1	1,2	-0,1
3 Voll	aus	Feuerstätte 2 BWK	6,6	6,6	0	6,6	6,6	0	6,6	6,6	0
		Feuerstätte 1 GWP	3,7	3,7	0	3,7	3,7	0	3,6	3,7	-0,1
4 Teil	aus	Feuerstätte 2 BWK	1,4	1,4	0	1,4	1,4	0	1,4	1,4	0
		Feuerstätte 1 GWP	1,1	1,2	-0,1	1,1	1,2	-0,1	1,1	1,2	-0,1

Temperaturbedingung			tiob	tg	tiob-tg	tiob	tg	tiob-tg	Tiob	tg	tiob-tg
			-9,1	0	-9,1	-10,7	0	-10,7	-11,1	0	-11,1

Des Weiteren erfüllte keine der Berechnungen die Temperaturbedingung.

Im Kesa-Aladin-Programm wird folgender Hinweis zur Temperaturbedingung (Vereisung) gegeben:

Obwohl die Temperaturbedingung für die hier berechnete Abgasanlage nicht erfüllt ist, kann nicht davon ausgegangen werden, dass die Mündung der Abgasanlage tatsächlich vereist. Es gibt vielmehr eine Reihe von Faktoren, die nicht im rechnerischen Nachweis der EN 13384-2 berücksichtigt werden, welche die Eisbildung an der Mündung verhindern:

Durch Kondensation von Wasser in der Abgasanlage wird zusätzlich Wärme frei, welche die Abgastemperatur und damit die obere Innenwandtemperatur erhöht. Durch diese Kondensation wird dem Abgas Wasser entzogen, so dass das Abgas an der Mündung trockener ist als nach EN 13384-2 angenommen. Die Mündung kann also nicht vereisen, weil dass für die Eisbildung erforderliche Wasser bereits auskondensiert ist.

Bei Unterschreitung des Gefrierpunktes kann es statt zur Eisbildung zur Bildung von Schnee kommen, der sich nicht an der Mündung festsetzt, sondern hinausgeblasen wird.

Bei Abgasanlagen in Schächten von Gebäuden wird die Mündung durch vom Schacht bzw. vom Gebäude übertragene Wärme (zum Beispiel durch Strahlung) zusätzlich erwärmt.

Bei Gegenstromanlagen wird die im Ringspalt nach unten strömende Luft insbesondere bei Abgasanlagen mit einer wirksamen Höhe über 5 m im Gebäude stärker erwärmt als nach EN 13384-2 angenommen. Hierdurch wird der Wärmeverlust des Abgases verringert, so dass die Abgastemperatur und damit die obere Innenwandtemperatur höher liegen als nach EN 13384-2 errechnet wird.

Daher ist die Temperaturbedingung der EN 13384-2 nur bedingt geeignet, um zu beurteilen, ob die Mündung von Abgasanlagen vereist. Das Wirtschaftsministerium BW beispielsweise

hat sich dafür ausgesprochen, die Genehmigung für den Betrieb von Abgasleitungen auch dann zu erteilen (unter Vorbehalt, die Mündung im Falle tatsächlicher Vereisung nachträglich zu dämmen), wenn die Temperaturbedingung nach EN 13384-2 nicht erfüllt ist [4].

Als Fazit ergibt sich mit dem Kesa-Aladin-Programm für diese Geräteanordnung keine zulässige Abgasabführung.

## 9 Zusammenfassung

Die Bundesregierung hat im Koalitionsvertrag festgelegt, das CO<sub>2</sub>-Gebäudesanierungsprogramm wirkungsvoller auszugestalten, um die derzeitige Sanierungsquote zu steigern. Laut BDH (Bundesindustrieverband Haus-, Energie- und Umwelttechnik e. V.) entsprechen nur ca. 13 % der deutschen Heizungssysteme dem Stand der Technik und kombinieren damit hohe Effizienz mit erneuerbaren Energien [1]. Energieeffizienz ist in Zeiten steigender Energiepreise und des Klimaschutzes zu einem zentralen Qualitätsmerkmal von Wohnhäusern geworden. Die Kunden setzen vermehrt „regenerative Heiztechnologien“ ein, z. B. Elektrowärmepumpen oder Holzpelletkessel, wohingegen die Anschlussdichte von mit Erdgas versorgten Häusern in den letzten fünf Jahren deutlich zurückgegangen ist.

Insbesondere durch die neuen „Wärmegesetze“ auf Bundesebene und im Land Baden-Württemberg bekommt die Einbindung von regenerativen Energien in der häuslichen Wärmeversorgung eine immer stärkere Bedeutung. In dem EEWärme-Gesetz „Erneuerbare-Energien-Wärme-Gesetz“ hat die Bundesregierung bereits seit Anfang 2008 vorgeschrieben, dass die Wärmeversorgung bei Neubauten, für die ab 1. April 2008 die Bauunterlagen erstmalig eingereicht wurden, zu mindestens 20 Prozent über erneuerbare Energien wie Sonnenenergie, Erdwärme und Wärmepumpen oder Biomasse gedeckt werden müssen.

Mittlerweile sind neue Gasttechnologien entwickelt und zur Marktreife geführt worden. Als eine Möglichkeit einen Beitrag zu einem schonenden Umgang mit den vorhandenen Umweltressourcen zu leisten, nämlich die Einbindung von Umweltwärme, wird hier der Einsatz von Gaswärmepumpen und µKWK-Anlagen angesehen. Erste Produkte stehen kurz vor der Markteinführung.

Für den häuslichen Bereich werden zurzeit Gaswärmepumpen mit kleinen Heizleistungen bis 10 kW entwickelt. In vielen Anwendungsfällen kann es – insbesondere im Gebäudebestand - erforderlich werden, diese Heizsysteme mit handelsüblichen Brennwertkesseln zu kombinieren, um Spitzenlasten abzudecken. Zur Einbindung in die bestehende Gebäudestruktur ist die Möglichkeit einer Kombination aus Gaswärmepumpe mit Brennwertkesseln von unterschiedlichen Herstellern wichtig.

### Arbeitspunkt 1: Regelwerksrecherche

Im Rahmen dieser Studie wurde zunächst eine Recherche bezüglich möglicher Anforderungen an die Funktionalität und das Sicherheitskonzept von Kaskadenanlagen, bestehend aus Gaswärmepumpe und Brennwert-Heizgerät, durchgeführt.

Es wurden gerätespezifische Normen zu Gaswärmepumpen und Brennwertkesseln zusammengestellt und hinsichtlich der Vorschriften zur Abgasabführung recherchiert.

Weiterhin wurden Normen über Abgasanlagen allgemein sowie ergänzende technische Regeln des DVGW zu Gaswärmepumpen bzw. zum Anschluss von Gasgeräten an Luft-Abgas-Anlagen analysiert. Die Regelwerksrecherche ergab, dass es keine Normen bezüglich einer Kaskadierung gibt, sowohl nicht für nur eine Geräteart als auch für die Kombination von Gaswärmepumpen und Brennwertkessel, weder in Deutschland und den Niederlanden, als auch in Österreich und der Schweiz. Am Gaswärme-Institut wurde bisher eine Laboranlage geprüft. Bei dieser Prüfung sind im Wesentlichen die EN 12309-1 sowie die DVGW G 635 hinzugezogen worden. Die Erfahrungen aus dieser Prüfung, wie Prüfaufbau und Prüfbedingungen sind in diesem Bericht aufgeführt. Am Engler-Bunte-Institut und auch bei KIWA in den Niederlanden liegen noch keine Erfahrungen mit Kaskaden, bestehend aus derartig unterschiedlichen Gasgeräten, vor.

Die Teilnehmer der Projektbegleitgruppe waren sich einig, dass diese Regelwerkslücke geschlossen werden sollte. Aus Gründen der Dringlichkeit einigte man sich darauf, dies eher in Form einer DVGW-VP (Vorläufige Prüfgrundlage) vorzunehmen. Die VP soll im Rahmen eines Arbeitskreises erstellt werden, der sich aus Vertretern des DVGW, der Prüfstellen, der Gasgerätehersteller und der Initiative Gaswärmepumpe zusammensetzt.

Für die Prüfung einer Kaskade, bestehend aus mehreren Heizkesseln, fehlt ebenfalls ein Regelwerk, auf das der Prüfer sich beziehen kann. Auch hierfür ist Handlungsbedarf notwendig.

## **Arbeitspunkt 2: Auslegung von Abgasleitungen**

Der zweite Arbeitspunkt bestand aus der Auslegung von Abgasleitungen für exemplarisch ausgewählte Gaswärmepumpensysteme mit einem Zusatzheizgerät.

### **Strömungssimulationen**

Hierzu wurden mit Hilfe des kommerziellen CFD-Programm FLUENT numerische Simulationen von konstruktiv verschiedenen Abgasabführungsmöglichkeiten eines kaskadenartigen Betriebs einer Gaswärmepumpe mit einem Brennwertkessel hinsichtlich ihrer Funktionalität untersucht. Die Simulationsberechnungen wurden für den kritischen Fall GWP: Mindest- und Vollast, Kessel: außer Betrieb ohne Ventilatorunterstützung mit einem Abgasrohr von 1,2 m Länge und einer Abgastemperatur von 80 °C untersucht. Der Strömungsverlauf, die Temperaturverteilung sowie der statische Druckverlauf wurden dargestellt. Für die Anordnung 2 mit  $L=1,2$  m konnten sichere Abgasabführungen nachgewiesen werden. Auch für eine Abgaseingangstemperatur von 30 °C konnte eine sichere Abgasabführung nachgewiesen werden. Die zusätzlich untersuchte Abgasrohrlänge von 2,5 m erwies sich jedoch nur bei Vollast als zuverlässig.

Simulationen einer speziellen injektorartigen Abgaszusammenführung zeigten eine wirksamere Abführung der Abgasmassenströme.

Sowohl alle Betriebszustände bei der 1,2 m langen Abgasleitung als auch für die Abgasrohrängen 5, 10 und 20 m führen das Abgas zuverlässig ab. Die weiteren simulierten Fälle, d. h. das nur der Kessel bei Mindest- und Vollast, die GWP mit Vollast und der Kessel mit Mindestlast sowie beide Gasgeräte bei Vollast in Betrieb sind (Abgasrohrlänge 20 m), weisen eine vollständige Abgasabführung auf.

Für eine vollständige und sichere Abgasabführung bei Kaskadensystemen von Gaswärmepumpe und Heizkessel ist eine Rückströmsicherung für jedes Gasgerät erforderlich, da die Abgasrohrlänge in der Praxis üblicherweise mehr als 1,2 m beträgt. Dies gilt sowohl für raumluftab- als auch -unabhängige Betriebsweisen der Gasgeräte der Kaskade.

### **Kesa-Aladin-Berechnungssoftware**

Des Weiteren wurde mit der handelsüblichen Berechnungssoftware Kesa-Aladin in Anlehnung an DIN EN 13384 („Abgasanlagen – Wärme- und strömungstechnische Berechnungsverfahren – Teil 2“), eine Kaskadenanlage, bestehend aus Gaswärmepumpe und Brennwert-Heizkessel, feuerungstechnisch bemessen. Aufgrund der Erkenntnisse aus den Strömungssimulationen wurden die Berechnungen für die Anordnung 3 der in Abbildung 5-1 dargestellten möglichen Kaskadenanordnungen durchgeführt. Für diese Geräteanordnung wurden mehrere Abgasrohrdurchmesser mit den Rohrmaterialien Innenrohr Kunststoff – Außenrohr Edelstahl betrachtet. Die Berechnungen erfolgten für die Durchmesser 60, 80, 100, 150 und 200 mm jeweils für die Abgasleitungslängen von 1,5, 5 und 10 m bei 4 verschiedenen Betriebsarten.

Lediglich bei dem Innendurchmesser von 150 mm zeigten die Berechnungsergebnisse für die 1,5 m wirksame Höhe für alle Betriebsarten eine zulässige Abgasmassenstrombilanz. Ansonsten trat bei allen anderen Berechnungen zumindest für eine oder auch mehrere Betriebsarten eine negative Abgasmassenstrombilanz auf. Stichprobenartig wurde für die Berechnung des 150 mm Durchmessers bei 1,5 m Abgasrohrlänge das Innenrohrmaterial ebenfalls aus Edelstahl gewählt. Es ergaben sich bei den verschiedenen Materialien keine Unterschiede in den Berechnungen. Weiterhin wurde die Berechnung beim 150 mm Durchmesser auch für eine wirksame Abgasrohrhöhe von 2,5 m durchgeführt, die die gleichen Ergebnisse wie für 5 m wirksame Höhe, nämlich eine negative Abgasmassenstrombilanz, lieferte. Die Temperaturbedingung wurde bei keiner Berechnung eingehalten, die obere Innenwandtemperatur lag deutlich unter Null.

### **Arbeitspunkt 3: Übertragbarkeit auf neue Gastechnologien**

Es wurde eine Analyse der Übertragbarkeit der recherchierten Regelwerksanforderungen auf die Kaskadierung von Gaswärmepumpen mit Brennwert-Heizgeräten vorgenommen. Hierbei standen die Anlagen- und Betriebssicherheit im Vordergrund.

In der abschließenden Sitzung der Projektbegleitgruppe wurde für die Erstellung eines neuen Regelwerkes in einem Arbeitskreis, an dem Vertreter des DVGW, des ZIV, der Prüfstellen, der Gasgerätehersteller und Vertreter der Initiative Gaswärmepumpe teilnehmen sollen, als Diskussionsgrundlage folgende technische Spezifikation entworfen:

## **Technische Spezifikation**

Geräteunabhängige Abgaskaskadierung für Bestand und Neubau

### **Anwendungsbereich:**

- Gerätearten B<sub>2,2</sub>, B<sub>2,3</sub>, C<sub>1</sub>, C<sub>3</sub>, C<sub>4</sub>, C<sub>6</sub>;
- Gaswärmepumpen,
- $\mu$ -KWK-Geräte (Stirling-Heizgeräte),
- $\mu$ -KWKGeräte mit Otto- oder Diesel-Motoren (wenn ein kontinuierlicher Druck vorliegt),
- Brennstoffzellen

Ist in der Anlage ein Abgaswärmetauscher nachgeschaltet, gilt die technische Spezifikation erst hinter dem Abgaswärmetauscher.

### **Leistungsbereich:** (häusliche Anwendung)

### **Sicherheitsanforderungen:**

- Brandsicherheit
- Betriebssicherheit (Rückströmungssicherung ?)
- Startversuche und Zündversuche in allen Kaskadenbetriebszuständen (hierbei für Überdruck/Unterdruckanlagen die Arbeitsblätter G 635/G 636 beachten)
- Betrachtung der Kaskade als ein Gerät
- Aufstellungsregeln: gemäß TRGI 2008, MFeuV, MBauO
- Verbrennungshygiene: CO-Emissionen bei allen Belastungen, TA-Luft, Angabe der Emissionsklasse

### **Rahmen- und Auslegungsrandbedingungen:**

- Auslegungsdaten:
  - Abgasdruck
  - kleinster Gegendruck, wenn alle Geräte in Betrieb sind
  - Durchmesser der Abgasrohre
  - maximal zulässige Höhe

Kombination von Gasgeräten unterschiedlicher Hersteller soll möglich sein:  
Abstimmung der Regelungen

Für die zu erstellende VP lassen sich folgende Anforderungen bzw. Schutzziele formulieren:

## 10 Literaturhinweise

- [1] BDH (Bundesindustrieverband Haus-, Energie- und Umwelttechnik e.V.), Broschüre: „Effiziente Systeme und erneuerbare Energien“
- [2] Umweltministerium Baden-Württemberg, Erneuerbare-Wärmegesetz (EWärmeG) BW
- [3] DVGW-TRGI 2008: Technische Regel für Gasinstallationen, Arbeitsblatt G 600, April 2008
- [4] Kesa-aladin-Software, Bemessungs-Gutachten für Abgasanlagen auf der Basis von EN 13384-2
- [5] Abschlussbericht zum DVGW – F & E – Vorhaben (Projektnummer G 5/01/05); „Abgasabführung bei Brennstoffzellenheizanlagen“

## Anhang

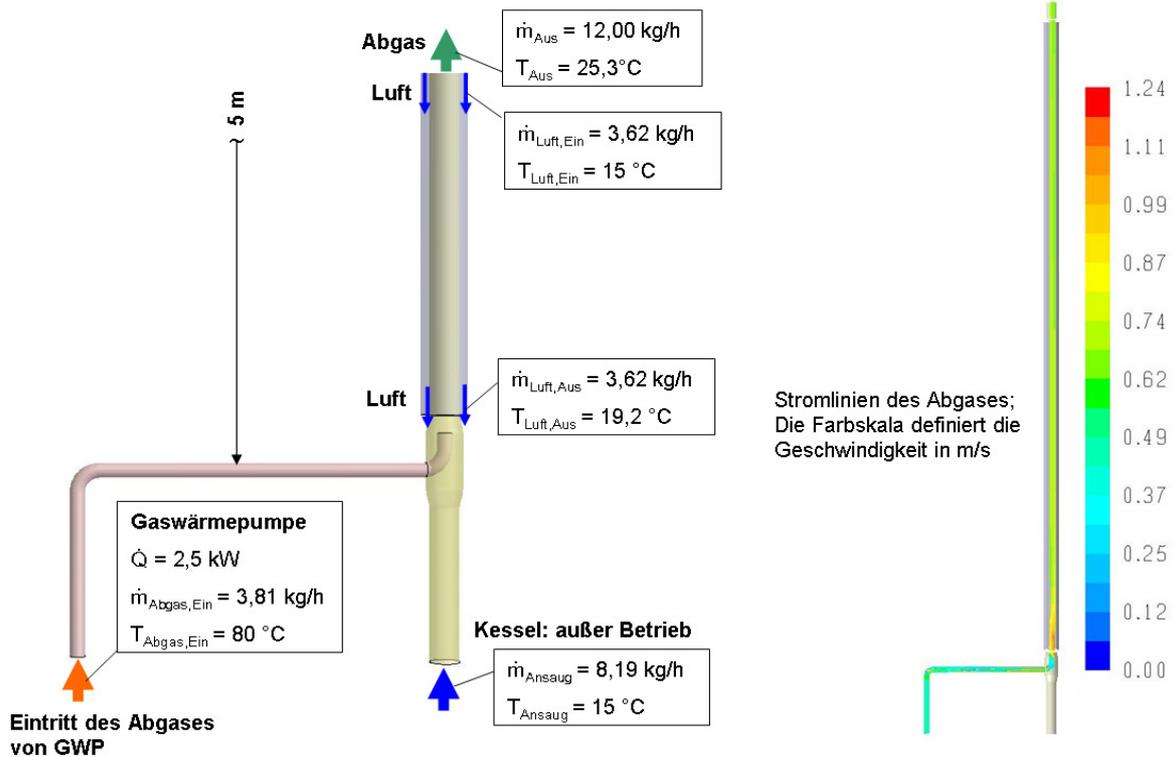


Abbildung A-1: GWP im Mindestlastbetrieb; Massenströme und Temperaturen; injektorartige Abgaszusammenführung bei 5 m Abgasrohrlänge; Abgastemperatur 80 °C

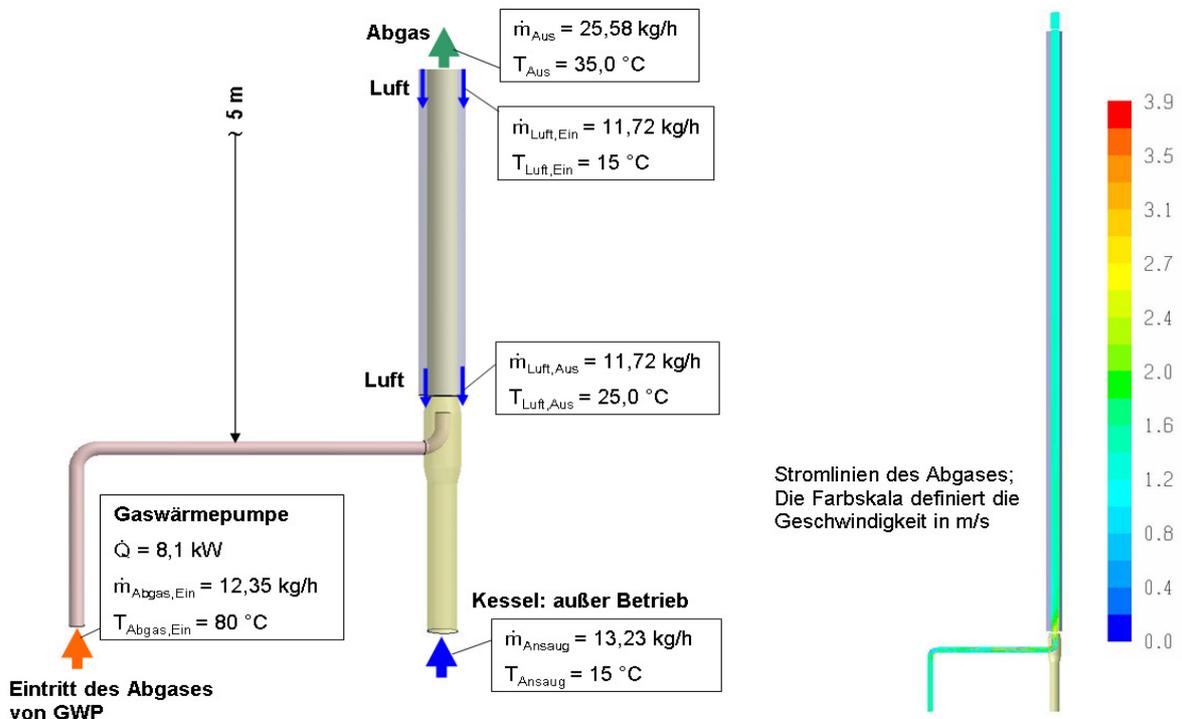


Abbildung A-2: GWP im Volllastbetrieb; Massenströme und Temperaturen; injektorartige Abgaszusammenführung bei 5 m Abgasrohrlänge; Abgastemperatur 80 °C

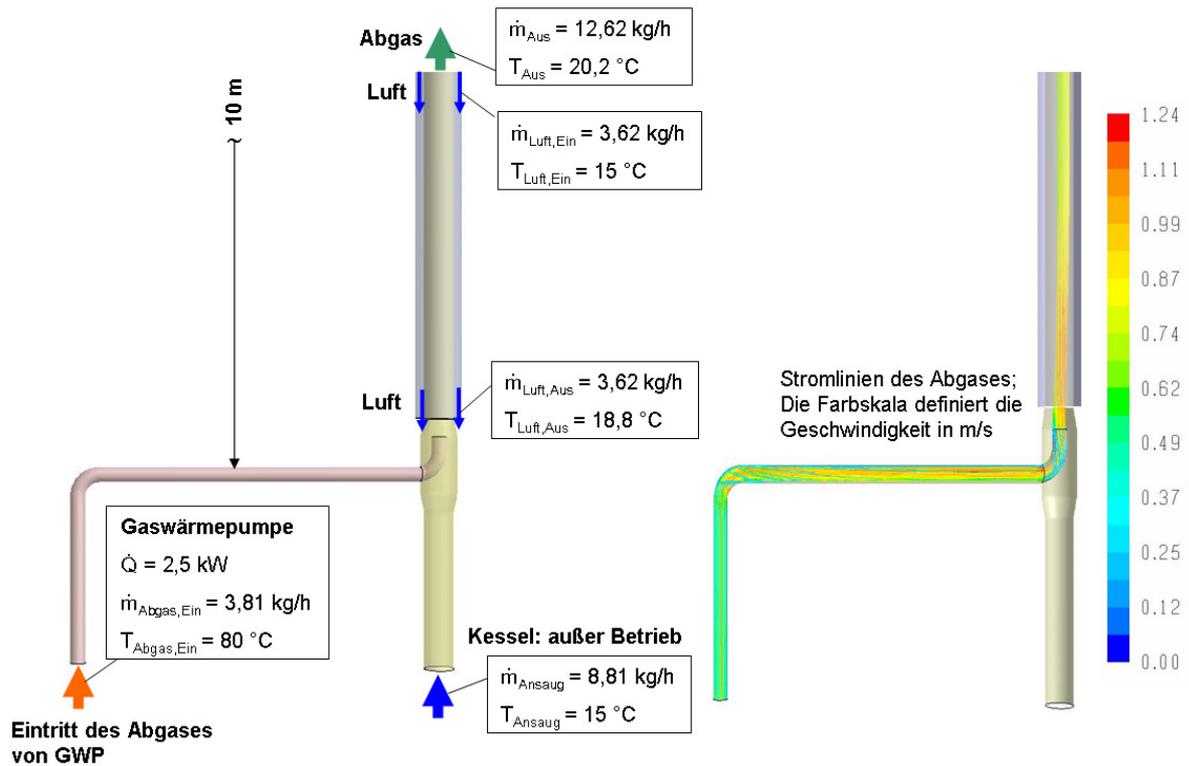


Abbildung A-3: GWP im Mindestlastbetrieb; Massenströme und Temperaturen; injektorartige Abgaszusammenführung bei 10 m Abgasrohrlänge; Abgastemperatur 80 °C

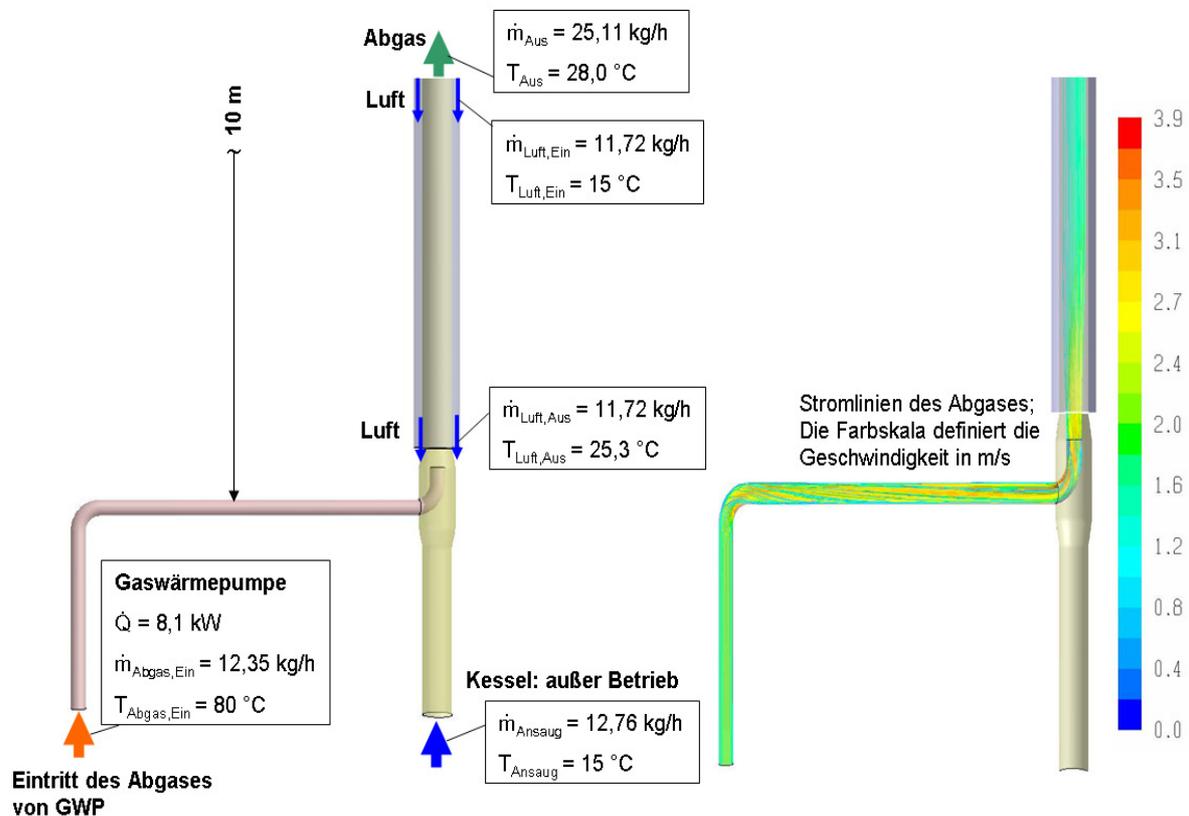


Abbildung A-4: GWP im Volllastbetrieb; Massenströme und Temperaturen; injektorartige Abgaszusammenführung bei 10 m Abgasrohrlänge; Abgastemperatur 80 °C