

Optimierung der Schnittstelle: Zapfventil / Tankstutzen

Untersuchungsbericht (in Kurzfassung und anonymisiert)

Unter Koordination des Umweltbundesamtes und verschiedener Kraftfahrzeug-, Zapfventil-, Zapfsystem- sowie eines Kraftstoffversorgungssystemherstellers wurden Messungen an im Jahr 2000 marktüblichen Tankeinfüllstutzen von Kraftfahrzeugtanks durchgeführt. Zusätzlich wurden Messungen an optimierten neu entwickelten Tankeinfüllstutzen durchgeführt.

Die Untersuchungen haben gezeigt, dass durch Optimierungsmaßnahmen beim Tankeinfüllstutzen eine weitere Reduzierung der Restemissionen möglich ist.

In dieser Kurzfassung des Berichtes sind die wesentlichen Randbedingungen und Messergebnisse dargestellt.

Bau und Betrieb

Fachbereich
Dampf- und Drucktechnik

Westendstraße 199
D-80686 München
Telefon:(0 89) 57 91-18 96
Telefax:(0 89) 57 91-18 07
www.tuevs.de
E-mail Peter.Szalata
@tuevs.de

München, 28.05.02
BB-DDB-MUC/sz
Abschlussbericht kurz
anonym.doc

Das Dokument besteht aus:
11 Seiten

TÜV Süddeutschland
Bau und Betrieb GmbH
Aufsichtsratsvorsitzender:
Karsten Puell
Geschäftsführer:
Roland Ayx (Sprecher)
Friedrich Hecker
Sitz: München
Amtsgericht München
HRB 96 869

1	Begriffsbestimmungen.....	2
2	Zweck der Untersuchungen, untersuchte Bauteile.....	3
2.1	Ausgangssituation	3
2.2	Untersuchte Bauteile	3
3	Angewandte Messverfahren.....	4
3.1	Statistischer Fehler bei der Emissionsermittlung.....	4
3.2	Basis- und Restemission	4
3.3	Flüssigkeitsvolumen	4
3.4	Gasvolumen.....	4
3.5	Druck	4
3.6	Dampfdruck	4
4	Vergleich des angewandten Messverfahrens	4
5	Ermittlung der Betankungsemissionen mit unterschiedlichen Einfüllstutzen und Zapfventilen	5
5.1	Verwendetes Gasrückführungssystem	5
5.2	Durchführung der Versuche.....	5
5.3	Ermittelte Emissionen	5
6	Emissionen bei unterschiedlichen Gasrückführungssystemen und Anlaufverhalten	6
6.1	Verwendete Gasrückführungssysteme	6
6.2	Durchführung der Versuche.....	6
6.3	Ermittelte Restemissionen und Drücke.....	6
7	Diskussion der Ergebnisse.....	7
7.1	Dampfdruck	7
7.2	Verwendetes Gasrückführungssystem:	8
7.3	Optimierungsmaßnahmen	8
7.3.1	Verbesserungen am Einfüllstutzen	8
7.3.2	Änderung im Anlaufverhalten des Kraftstoffvolumenstromes.	8
7.4	Darstellung der Emissionsverbesserung	8
7.4.1	Emissionsreduzierung durch Optimierung des Tankeinfüllstutzens.....	8
7.4.2	Emissionsreduzierung durch Verbesserungen bei der Zapfsäulensteuerung.....	11
8	Aussichten und Empfehlungen.....	11

1 Begriffsbestimmungen

Die in Bezug auf Gasrückführungssysteme verwendeten Fachausdrücke sind im VdTÜV Merkblatt 908 und in der VDI Richtlinie 4205 Blatt 1 erläutert.

Weitere Begriffe:

Standardtank:

Als Standardtank werden in diesem Bericht jene bezeichnet, bei denen die Einfüllstutzen der Serienproduktion der Baureihen des Jahres 2000 entsprechen.

Optimierte Version:

Als Tanks in optimierter Version werden jene Tanks bezeichnet, bei denen ein vom Kraftfahrzeughersteller modifizierter Einfüllstutzen verwendet wurde.

Basisemission:

Die bei der Betankung ohne Gasrückführung in die Umgebung gelangende Kohlenwasserstoffemission.

Restemission:

Die bei der Betankung mit Gasrückführung in die Umgebung gelangende Kohlenwasserstoffemission.

Wirkungsgrad:

Der prozentuale Anteil der durch die Gasrückführung erfassten Kohlenwasserstoffe gegenüber der Basisemission der jeweiligen Zapfventil- / Einfüllstutzenkombination.

Emissionsanteil:

Der prozentuale Anteil der in die Umgebung gelangende Kohlenwasserstoffemission gegenüber der durchschnittlichen Sättigungskonzentration der Kraftstoffdämpfe von 1000 mg/l.

2 Zweck der Untersuchungen, untersuchte Bauteile

2.1 Ausgangssituation

Durch die Novellierung der 21. BImSchV von 1992 wurden die Betreiber von Tankstellen aufgefordert, Zapfsäulen erstmalig mit Gasrückführungssystemen auszustatten. Die an Tankstellen eingesetzten Gasrückführungssysteme bedürfen einer Systemzulassung (Zertifizierung), um eingesetzt werden zu können. Die ersten im Jahre 1992 infolge der Novellierung der 21. BImSchV zertifizierten Gasrückführungssysteme erreichten einen durchschnittlichen Wirkungsgrad von etwa 81 %. Die Wirkungsgrade schwankten je nach Fahrzeug von 69% bis 91%. Höhere Wirkungsgrade waren seinerzeit aufgrund der unterschiedlichen Tankstutzengeometrie der verschiedenen Fahrzeugtypen und der möglichen breiten Variation von Zapfventilen in der Praxis nicht zu erreichen.

Vor diesem Hintergrund wurde auf Initiative einiger Kraftfahrzeughersteller und des TÜV vom Umweltbundesamt ein Arbeitskreis zur Optimierung der Schnittstelle Zapfventil/Tankstutzen 1998 ins Leben gerufen. In diesem Arbeitskreis sind Vertreter aller in diesem Zusammenhang betroffenen Kreise (Fahrzeug-, Zapfventil- und Zapfsäulenhersteller, Zulieferindustrie, Zertifizierungsstellen und Umweltbundesamt) vertreten. Die Ergebnisse des Arbeitskreises flossen in einen Untersuchungsauftrag an den TÜV Süddeutschland ein, mit dem Ziel durch Messungen aufzuzeigen, inwieweit Optimierungen der Schnittstelle „Zapfventil-/Tankstutzen“ durch Veränderungen der einzelnen Komponenten zu erreichen sind.

2.2 Untersuchte Bauteile

Es sollte untersucht werden, in wieweit Optimierungen bei den Tankeinfüllstutzen am Kraftfahrzeug, dem Zapfventil sowie bei der Zapfsäule dazu führen, die Restemissionen weiter zu reduzieren.

Die Messungen wurden an Tanks aus der Serienproduktion des Jahres 2000 mit den standard Einfüllstutzen und optimierten Einfüllstutzen vorgenommen

Um zapfsäulenseitige Verbesserungen auszutesten, stellte ein Zapfsäulenhersteller eine 2-Produkt Serienzapfsäule aus der Produktion 2000 zur Verfügung. In dieser Zapfsäule war ein drehzahlgesteuertes und ein ventilgesteuertes Gasrückführungssystem vorhanden. Das Anlaufverhalten des Kraftstoffvolumenstromes war mittels einer elektronischen Steuerung durch Proportionalventile in der Kraftstoffleitung einstellbar.

3 Angewandte Messverfahren

3.1 Statistischer Fehler bei der Emissionsermittlung

Der mittlere Fehler eines Messwertes beträgt 5,5 mg/l.

3.2 Basis- und Restemission

Die Ermittlung der Betankungsemissionen im Rahmen dieses Messprogramms erfolgt durch Adsorption der emittierten Kohlenwasserstoffe auf Aktivkohle und gravimetrischer Auswertung.

3.3 Flüssigkeitsvolumen

Die Flüssigkeitsvolumenbestimmung erfolgte über die Volumenanzeige der verwendeten Zapfsäule.

3.4 Gasvolumen

Das zurückgeführte Dampf-/Luftvolumen wurde mit einem Balgengaszähler gemessen.

3.5 Druck

Zur Druckmessung wurde der Fahrzeugtank mit einem Druckaufnehmer ausgestattet. Der Druckaufnehmer war am Hochpunkt des Tankes angeschlossen.

3.6 Dampfdruck

Der Dampfdruck des bei den Messungen vorliegenden Kraftstoffes wurde gemäß DIN 51754 , nach Reid bei 38 °C bestimmt.

4 Vergleich des angewandten Messverfahrens

Die Ermittlung der Betankungsemissionen im Rahmen dieses Messprogramms erfolgt durch Adsorption der emittierten Kohlenwasserstoffe auf Aktivkohle und anschließender gravimetrischer Auswertung. Die Kohlenwasserstoffe werden mit Hilfe eines Boots an der Entstehungsstelle abgesaugt.

Um die Zuverlässigkeit dieser Messmethode zu belegen, wurden Vergleichsmessungen mit einem anderen Verfahren durchgeführt. Die Ergebnisse der beiden Messverfahren stimmen im Rahmen der Messgenauigkeiten überein.

5 Ermittlung der Betankungsemissionen mit unterschiedlichen Einfüllstutzen und Zapfventilen

5.1 Verwendetes Gasrückführungssystem

Die Untersuchungen erfolgten mit einem drehzahlgesteuerten Gasrückführungssystem.

5.2 Durchführung der Versuche

Die Versuche wurden mit den Standardeinfüllstutzen sowie den optimierten Varianten an den Versuchstanks der beteiligten Fahrzeughersteller durchgeführt. Es wurde der standardmäßige direkte Anlauf (Stufe 1 siehe Nr. 6.2) eingestellt.

5.3 Ermittelte Emissionen

Die ermittelten Emissionsmengen sind Mittelwerte aus 2 unmittelbar hintereinander durchgeführten Einzelmessungen. Der statistische mittlere Fehler je Mittelwert wurde in einer separaten Untersuchung bestimmt er beträgt 5,5 mg/l. Für den errechneten Wirkungsgrad in % ergibt sich damit ein mittlerer Fehler von $\pm 0,7\%$.

Mit Zapfventil 1	Standard		Optimierung 1		Optimierung 2	
	20 l/min	40 l/min	20 l/min	40 l/min	20 l/min	40 l/min
Tank A						
Wirkungsgrad in %	89,5	91,7	91	93,5		
Verbesserung in %			1,5	1,8		
Tank B						
Wirkungsgrad in %	85,7	85,9	87,3	88,5	87,5	88,3
Verbesserung in %			1,6	2,6	1,8	2,4
Tank C						
Wirkungsgrad in %	85,1	85,4	89,2	86,4		
Verbesserung in %			4,1	1,0		
Tank D						
Wirkungsgrad in %	91,3	89	92,9	89,6		
Verbesserung in %			1,6	0,6		

Mit Zapfventil 2	Standard		Optimierung	
	20 l/min	40 l/min	20 l/min	40 l/min
Tank A				
Wirkungsgrad in %	90,9	94,8	90,7	92,6
Verbesserung in %			-0,2	-2,2
Tank B				
Wirkungsgrad in %	86,1	86,7	87,4	89,2
Verbesserung in %			1,3	2,5
Tank C				
Wirkungsgrad in %	86,2	91,3	88,3	90,0
Verbesserung in %			2,1	-1,3
Tank D				
Wirkungsgrad in %	93,8	94,6	93,5	94,4
Verbesserung in %			-0,3	-0,2

6 Emissionen bei unterschiedlichen Gasrückführungssystemen und Anlaufverhalten

6.1 Verwendete Gasrückführungssysteme

Es wurde ein drehzahl- und ein ventilgesteuertes Gasrückführungssystem verwendet.

6.2 Durchführung der Versuche

Durch eine integrierte elektronische Steuerung und einem Proportionalventil in der Kraftstoffförderleitung zwischen Pumpe und Zapfventil wurde das Anlaufverhalten des Flüssigkeitsvolumenstromes in 3 Stufen eingestellt.

Stufe 1: direkter Anlauf; Stufe 2: gedämpfter Anlauf; Stufe 3: stark gedämpfter Anlauf

Der Kraftstoffvolumenstrom war konstant 40 l/ min.

Mit den 4 Standardtanks wurden die Restemission für jede der 3 Anlaufcharakteristika ermittelt. Die festgestellten Restemissionen sind die Mittelwerte aus 3 Betankungen.

Der Gegendruck im Tank wurde im 1 sec.-Takt aufgezeichnet.

6.3 Ermittelte Restemissionen und Drücke

<u>Versuche mit dem Zapfventil 1</u>	drehzahlgesteuert			ventilgesteuert		
	Anlauf Stufe 1	Anlauf Stufe 2	Anlauf Stufe 3	Anlauf Stufe 1	Anlauf Stufe 2	Anlauf Stufe 3
A-Standardtank						
Restemission [mg/l]	69	57	57	63	52	59
Veränderung [mg/l]		- 12	- 12		- 11	- 4
max. Druck im Tank [mbar]	2,1	1,8	1,7	2,2	2,0	1,8
B-Standardtank						
Restemission [mg/l]	129	134	119	168	161	136
Veränderung [mg/l]		+ 5	- 10		- 7	- 32
max. Druck im Tank [mbar]	1,0	0,8	0,6	1,3	1,1	1,2
C-Standardtank						
Restemission [mg/l]	164	165	162	145	150	148
Veränderung [mg/l]		+ 1	- 2		+ 5	+ 3
max. Druck im Tank [mbar]	3,8	3,6	3,0	3,8	3,1	3,5
D-Standardtank						
Restemission [mg/l]	107	93	75	82	87	95
Veränderung [mg/l]		- 14	- 32		+ 5	+ 13
max. Druck im Tank [mbar]	7,5	6,8	6,0	7,8	7,8	7,5
Durchschnittliche Änderung gegenüber Anlauf Stufe 1 [mg / l]		- 5	- 14		- 2	- 5

<u>Versuche mit dem Zapfventil 2</u>	drehzahlgesteuert			ventilgesteuert		
	Anlauf Stufe 1	Anlauf Stufe 2	Anlauf Stufe 3	Anlauf Stufe 1	Anlauf Stufe 2	Anlauf Stufe 3
A-Standardtank						
Restemission [mg/l]	31	23	41	37	23	33
Veränderung [mg/l]		- 8	+ 10		- 14	- 4
<i>max. Druck im Tank [mbar]</i>	2,4	1,9	1,9	2,3	2,2	1,9
B-Standardtank						
Restemission [mg/l]	110	119	101	108	119	113
Veränderung [mg/l]		+ 9	- 9		+ 11	+ 5
<i>max. Druck im Tank [mbar]</i>	1,5	1,2	1,0	1,3	1,1	1,1
C-Standardtank						
Restemission [mg/l]	113	120	104	73	75	66
Veränderung [mg/l]		+ 7	- 9		+ 2	- 7
<i>max. Druck im Tank [mbar]</i>	2,8	3,0	2,9	3,4	3,0	2,8
D-Standardtank						
Restemission [mg/l]	42	24	44	50	55	49
Veränderung [mg/l]		- 18	+ 4		+ 5	- 1
<i>max. Druck im Tank [mbar]</i>	5,2	4,6	5,0	5,8	5,7	5,3
<i>Durchschnittliche Änderung gegenüber Anlauf Stufe 1 [mg/l]</i>		- 2,5	+ 1		- 1	- 1

7 Diskussion der Ergebnisse

7.1 Dampfdruck

Der Dampfdruck bei den Versuchen war etwa gleich. Die unterschiedlichen Dampfdrücke bei Sommer- und Winterkraftstoff wurden durch die etwas höhere Kraftstofftemperatur bei den Versuchen mit Sommerkraftstoff ausgeglichen.

Dampfdrücke des Versuchskraftstoffes

	Winterkraftstoff	Sommerkraftstoff
Dampfdruck bei 38°C nach Reid	0,76 bar	0,6 bar
Kraftstofftemperatur	12-13°C	18-19 °C
Dampfdruck bei Kraftstofftemperatur	0,31 bar	0,28 bar

7.2 Verwendetes Gasrückführungssystem:

Das für die Versuche verwendete Gasrückführungssystem ist bei Tankstellen in Deutschland sehr häufig eingebaut. Nach DGMK - Bericht 550-01 waren 1999 in Hamburg 33 % der Zapfsäulen mit der bei den Messungen verwendeten Gasrückführungspumpe ausgerüstet. Nahezu alle Zapfsäulen in Deutschland sind mit dem Zapfventil 1 ausgerüstet.

Die Messungen mit diesen Systemen spiegeln daher den realen Zustand gut wieder.

Das in Deutschland selten vorzufindende Zapfventil 2 wurde in das Messprogramm mit aufgenommen, um Vergleichswerte zu erhalten.

7.3 Optimierungsmaßnahmen

7.3.1 Verbesserungen am Einfüllstutzen

Die Einfüllstutzen der KFZ wurden derart optimiert, dass das Kraftstoffdampf-/Luftgemisch aus dem Fahrzeugtank besser in den Ansaugspalt des Gassaugers geleitet wird.

Die Kraftfahrzeughersteller B und D integrierten verschiedene Stauscheiben im Einfüllstutzen. Bei den Kraftfahrzeugherstellern C und A wurden Strömungsumlenkungen im Einfüllstutzen eingebaut.

Bei den Betankungsvorgängen wirkten sich die Optimierungsmaßnahmen nicht nachteilig auf die Bedienung aus.

7.3.2 Änderung im Anlaufverhalten des Kraftstoffvolumenstromes.

Das geänderte Anlaufverhalten führte dazu, dass Druckspitzen in den ersten 5 s der Betankung nicht auftraten. Im Standardfall in Stufe 1 haben sich allerdings keine Druckspitzen gezeigt, die erhebliche Emissionen hervorrufen können. Das ist vermutlich auf die weitgehend optimale Bauform der Versuchstanks zurückzuführen.

7.4 Darstellung der Emissionsverbesserung

7.4.1 Emissionsreduzierung durch Optimierung des Tankeinfüllstutzens

Die ermittelten Restemissionen wurden den am jeweiligen System festgestellten Basisemissionen gegenübergestellt und der Wirkungsgrad ermittelt.

Ein Vergleich der Basisemissionen zeigt, dass hier Unterschiede bis zu 26% vorliegen.

Für eine neutrale Beurteilung der Systeme ist es daher sinnvoll einen einheitlichen Orientierungswert anzunehmen.

Der statistische Fehler bei der Ermittlung der Basis- und Restemission beträgt 5,5 mg/l.

Vergleich der ermittelten Basisemissionen

Versuchstank	Betankungs- volumenstrom l/min	Zapfventil 1 Basisemission [mg/l]	Zapfventil 2 Basisemission [mg/l]
A standard	40	877	869
A standard	20	846	878
A optimiert	40	870	880
A optimiert	20	833	894
B standard	40	893	981
B standard	20	846	988
B optimiert	40	917	988
B optimiert	20	846	991
C standard	40	877	947
C standard	20	847	996
C optimiert	40	864	998
C optimiert	20	812	1020
D standard	40	877	943
D standard	20	853	946
D optimiert	40	859	936
D optimiert	20	839	939
Mittelwerte		860	950

Bei Zapfventil-/Tankeinfüllstutzenkombinationen mit einer hohen Basisemission errechnet sich bei vergleichbarer Absaugleistung ein besserer Wirkungsgrad. Das spiegelt aber nicht den Nutzen des Systems wider. Als Beurteilungsmaßstab wird daher im Folgenden die Sättigungskonzentration von 1000 mg/l verwendet. Der als Emissionsanteil bezeichnete Wert stellt den prozentualen Anteil der nicht erfassten und damit emittierten Kohlenwasserstoffe gegenüber der Sättigungskonzentration dar.

Um eine leichtere Übersicht über die Verbesserungsmaßnahmen zu erhalten sind in der folgenden Tabelle die Mittelwerte der Restemissionen aus den Betankungen mit den Füllvolumenströmen 20 l/min und 40 l/min angegeben. Die Betankung an öffentlichen Tankstellen erfolgt erfahrungsgemäß mit einem durchschnittlichen Füllvolumenstrom von 30 bis 35 l/min. Der durchschnittliche Füllvolumenstrom ist abhängig von der Förderleistung der Kraftstoffpumpe und dem Tankverhalten der Kunden. Der hier angenommene Durchschnittswert von 30 l/min liegt in einem in der Praxis üblichen Bereich.

Aufgrund des statistischen Fehlers von ± 5.5 mg/l bei der Ermittlung der Restemission ergibt sich beim Emissionsanteil ein Fehler von $\pm 0,55\%$.

Emissionsanteile beim Zapfventil 1

	Standard Einfüllstutzen	Einfüllstutzen mit Optimierung
Tank A		
Restemission mg/l	81	66
Emissionsanteil %	8,1 %	6,6 %
Veränderung in %		- 1,5
Tank B		
Restemission in mg/l	124	106
Emissionsanteil %	12,4 %	10,6
Veränderung in %		- 1,8
Tank C		
Restemission in mg/l	127	103
Emissionsanteil %	12,7	10,3
Veränderung in %		- 2,4
Tank D		
Restemission in mg/l	85	74
Emissionsanteil %	8,5	7,4
Veränderung in %		- 1,1
Durchschnittlicher Emissionsanteil		8,7 % ± 0,55%
Durchschnittliche Verbesserung		1,7 % ± 0,55%

Emissionsanteile beim Zapfventil 2

	Standard Einfüllstutzen	Einfüllstutzen mit Optimierung
Tank A		
Restemission mg/l	63	74
Emissionsanteil %	6,3	7,4
Veränderung in %		+ 1,1
Tank B		
Restemission in mg/l	134	116
Emissionsanteil %	13,4	11,6
Veränderung in %		- 1,8
Tank C		
Restemission in mg/l	110	110
Emissionsanteil %	11,0	11,0
Veränderung in %		0
Tank D		
Restemission in mg/l	55	57
Emissionsanteil %	5,5	5,7
Veränderung in %		+ 0,2
Durchschnittlicher Emissionsanteil		8,9 % ± 0,55%
Durchschnittliche Verbesserung		0,13 % ± 0,55%

Die Optimierungsmaßnahmen an den Einfüllstutzen aller beteiligten Fahrzeughersteller führen in Zusammenhang mit dem 1 Zapfventil in allen Fällen zu Verbesserungen. Im Durchschnitt wurde eine Verbesserung von 1,7 % ± 0,55% erreicht. Mit dem 2 Zapfventil ergab sich keine Verbesserung.

7.4.2 Emissionsreduzierung durch Verbesserungen bei der Zapfsäulensteuerung

Vergleich der Mittelwerte aus den Versuchen

	Drehzahlgesteuert			Ventilgesteuert		
	Stufe 1	Stufe2	Stufe 3	Stufe 1	Stufe2	Stufe 3
Zapfventil 1						
Restemission [mg/l]	117	112	103	115	113	110
Emissionsanteil	11,7%	11,2%	10,3%	11,4%	11,3%	11,0%
Veränderung		- 0,5%	- 1,4%		- 0,2%	- 0,5%
Zapfventil 2						
Restemission [mg/l]	74	72	73	67	68	65
Emissionsanteil	7,4%	7,2%	7,3%	6,7%	6,8%	6,5%
Veränderung		- 0,2%	- 0,1%		0,1%	- 0,2%

Durch einen gedämpften Anlauf der Gasrückförpumppe lässt sich die Emission bei Verwendung des Zapfventils 1 um bis zu 1,4 % reduzieren. Eine Emissionsreduzierung bei Einsatz des Zapfventils 2 konnte nicht festgestellt werden.

Unter Beachtung des statistischen Fehlers, der bei $\pm 0,55\%$ liegt, zeigt sich aufgrund einer modifizierten Zapfsäulensteuerung keine Verbesserung des Wirkungsgrades.

8 Aussichten und Empfehlungen

Die Untersuchungen zeigen, dass gegenüber dem Anfang der 90er Jahre ermittelten Wirkungsgrad von 81 % eine gewaltige Verbesserung auf 88 % mit den untersuchten Standard - Tankeinfüllstutzen aus dem Jahr 2000 vorlag.

Durch Optimierungsmaßnahmen an den Tankeinfüllstutzen der im Jahr 2000 üblichen Fahrzeuge und dem Anlaufverhalten der Kraftstoffpumpe ist es möglich den Wirkungsgrad weiter zu verbessern. Die Verbesserung kann in einer Größenordnung von 1,2 bis 2,3 %- Punkten liegen.

Aufgrund der Messergebnisse ist vorzugsweise die Optimierung der Tankstutzen zu empfehlen, denn durch Änderung des Anlaufverhaltens beim Flüssigkeitsvolumenstrom konnte nur bei einigen Fahrzeugtanks ein positiver Effekt festgestellt werden.

Von den Fahrzeugherstellern wurden die Einfüllstutzen für die bei den Versuchen eingesetzten Zapfventiltypen optimiert. Es sollten nun nur solche Zapfventile verwendet werden, die ähnlich konstruiert sind, wie die bei diesen Versuchen. Insbesondere sind die charakteristischen Werte bei den Bauteilen die einen Einfluss auf die Gasrückführung haben, einzuhalten.