

Experimentelle Untersuchungen zum
Brandverhalten von Gasinstallationen,
Gasfeuerstätten und Gasgeräten in
Wohngebäuden

T 2634/1

T 2634/1

Dieser Forschungsbericht wurde mit modernsten Hochleistungskopierern auf Einzelanfrage hergestellt.

Die in dieser Forschungsarbeit enthaltenen Darstellungen und Empfehlungen geben die fachlichen Auffassungen der Verfasser wieder. Diese werden hier unverändert wiedergegeben, sie geben nicht unbedingt die Meinung des Zuwendungsgebers oder des Herausgebers wieder.

Die Originalmanuskripte wurden reprototechnisch, jedoch nicht inhaltlich überarbeitet. Die Druckqualität hängt von der reprototechnischen Eignung des Originalmanuskriptes ab, das uns vom Autor bzw. von der Forschungsstelle zur Verfügung gestellt wurde.

© by Fraunhofer IRB Verlag

Vervielfältigung, auch auszugsweise,
nur mit ausdrücklicher Zustimmung des Verlages.

Fraunhofer IRB Verlag

Fraunhofer-Informationszentrum Raum und Bau

Postfach 80 04 69
70504 Stuttgart

Nobelstraße 12
70569 Stuttgart

Telefon (07 11) 9 70 - 25 00
Telefax (07 11) 9 70 - 25 08

E-Mail irb@irb.fraunhofer.de

www.baufachinformation.de

**Forschungs- und Versuchslabor
des Lehrstuhls für Haustechnik und Bauphysik
der Technischen Universität München**

Prof. Dr.-Ing. Dieter Ostertag

Forschungslabor für Haustechnik
der Techn. Universität München
Karl-Benz-Straße 15
D-85221 Dachau
Tel. 08131/ 2 00 40
Fax 08131/ 2 00 00
Lehrstuhl:
Tel. 089/ 2105 2475

8. November 1993

Forschungsbericht Nr. 88/310

H. Neuhauser, D. Ostertag

**Schlußbericht über experimentelle Untersuchungen zum
Brandverhalten von Gasinstallationen, Gasfeuer-
stätten und Gasgeräten in Wohngebäuden**

Briefanschrift der Auftraggeber: Deutsches Institut für Bautechnik
Reichpietschufer 74-76
10785 Berlin

Deutscher Verein des Gas- und Wasserfaches e.V.
Postfach 5240
65727 Eschborn

Auftrag vom: 22.12.1988
Aktenzeichen DIBt: IV 1-5-575/89

Dieser Teilbericht umfaßt 70 Seiten, 17 Anlagen und 1 Anlagenband.
Der Anlagenband enthält die in Diagrammform dargestellten Versuchsergebnisse.

Kurzfassung

Neuhauser, H.; Ostertag, D.:

Brandverhalten von Gasinstallationen, Gasfeuerstätten und Gasgeräten in Wohngebäuden.

Bauteile der häuslichen Gasinstallation müssen betriebs- und brandsicher sein. Bei Brandeinwirkung dürfen keine so großen Undichtigkeiten an Geräten, Bauteilen oder Leitungen entstehen, daß es zu einer gefährdenden Freisetzung von Gas kommt. Untersucht wurden Einzelteile eines Gasregelblocks, Gasregelblöcke, Gasthermen, Bauteile der häuslichen Gasinstallation, Leitungen und Leitungsverbindungen bei Brandbeanspruchung entsprechend der Einheits-Temperatur-Zeit-Kurve (ETK) sowie bei gleichmäßiger Temperaturerhöhung mit einem Temperaturanstieg von 10 K/min bei Versuchen in Brandversuchsöfen sowie durchschnittlich 5 K/min bei Versuchen in einem Elektroofen. Die experimentellen Untersuchungen zeigten, daß der Großteil der Bauteile, Leitungen und Leitungsverbindungen sich als sehr lange beständig erwies, während bei den Geräten das Versagen wesentlich früher festgestellt wurde.

Summary

Neuhauser, H.; Ostertag, D.:

Fire properties of gas installations, gas fires and gas-fired-appliances in residential buildings.

Components for domestic gas installation must be safe to use and fire resistant. In the event of a fire, no leaks should be caused on appliances, components or pipes which are so large that a hazardous escape of gas results. Individual parts of a gasection, gasections, wall-hung central heating boilers, components of domestic gas installations, pipes and pipe connectors were examined when exposed to fire in accordance with the standard heating curve and with an even increase in temperature of 10 K/min for tests in fire test furnaces and on average 5 K/min for tests in an electric furnace. The experimental tests showed that the majority of the components, pipes and pipe connectors proved to be very resistant whilst the appliances suffered failures a great deal earlier.

Récapitulation

Neuhauser, H.; Ostertag, D.:

Comportement aux incendies des installations à gaz, des équipements de chauffage au gaz et des appareils à gaz dans des immeubles d'habitation.

Les composants des installations à gaz domestiques doivent présenter la sécurité requise en matière d'exploitation et de résistance aux incendies. Dans le cas d'un incendie, les appareils, composants ou conduites ne devront pas faire l'objet d'inétanchéités telles que l'on en arrive à un dégagement de gaz risquant de devenir dangereux. Dans cet exposé, les auteurs ont étudié des pièces constitutives d'un bloc gaz individuel, des différents blocs gaz et des chaudières murales gaz, des composants d'une installation à gaz domestique, des conduites et des assemblages de conduites, dans le cas d'une sollicitation par le feu, conformément à la courbe standard de la température en fonction du temps, ainsi que dans le cas d'un accroissement régulier de la température comportant une croissance de la température de 10 K/min, dans le cadre d'essais effectués dans des fours d'expérimentation d'incendies, et de 5 K/min en moyenne, au cours d'essais entrepris dans un four électrique. Les études expérimentales ont fait apparaître que la majeure partie des composants, des pièces, des conduites ainsi que des raccordements de conduites étaient résistants à très long terme, tandis que, dans le cas des appareils, la défaillance pouvait être constatée sensiblement plus tôt.

Inhaltsverzeichnis

1. Allgemeines	8
2. Versuchseinrichtungen und Meßsysteme	10
2.1. Meßapparatur	10
2.2. Muffelofen	12
2.3. Kleinprüfstand	12
2.4. Brandversuchshaus	15
3. Einzelteiluntersuchungen am Gasregelblock Typ A.....	16
3.1. Funktionsweise des Gasregelblocks.....	16
3.2. Versuchsergebnisse.....	17
3.2.1. Anschluß Gaseingang	17
3.2.2. Gasdruckmeßschraube.....	18
3.2.3. Dichtringverschraubung.....	18
3.2.4. Durchführung Strömungsschalter.....	19
3.2.5. Feder Hauptgasventil.....	19
3.2.6. Hauptgasventil.....	20
3.2.7. Hauptregelventil	21
3.2.8. Äußere Undichtigkeiten durch Dichtungen zwischen den Gehäuseteilen.....	23
3.2.9. Strömungsschalter	24
3.2.10. Luftleitung Membranpumpe.....	26
3.3. Diskussion der Ergebnisse.....	27
4. Gasregelblöcke.....	29
4.1. Gasregelblock Typ A bei ETK-Beanspruchung	29
4.2. Gasregelblock Typ B	30
4.2.1. Gasregelblock Typ B bei ETK-Beanspruchung	31
4.2.2. Gasregelblock Typ B im Muffelofen	32
4.2.3. Funktionserhalt der Magnetventile	32
4.3. Gasregelblock Typ C	33
4.3.1. Gasregelblock Typ C bei ETK-Beanspruchung	34
4.3.2. Gasregelblock Typ C im Muffelofen	34
5. Gas-Kombi-Kesselthermen.....	35
5.1. Therme Typ A	35
5.1.1. Therme Typ A bei ETK-Beanspruchung	35
5.1.2. Therme Typ A bei $\Delta\vartheta = 10 \text{ K/min}$	36

5.2. Therme Typ B	37
5.2.1. Therme Typ B bei ETK-Beanspruchung	37
5.2.2. Therme Typ B bei $\Delta\vartheta = 10 \text{ K/min}$	38
6. Bauteile in der Gasinstallation	40
6.1. Isolierstück	40
6.2. Hauptabsperrhahn mit integriertem Isolierstück	41
6.3. Gasfilter	41
6.4. Zählerdruckregler	42
6.4.1. Zählerdruckregler Typ A	43
6.4.2. Zählerdruckregler Typ B	44
6.5. Gaszähler	45
6.6. Gas-Kugelhahn	46
6.7. Gas-Anschlußkugelhahn	47
6.8. Gassteckdose	47
6.9. Gasschlauchleitung	48
6.9.1. Ganzmetallgasschlauch	48
6.9.2. Gasschlauchleitung mit gasführendem Schlauch aus Kunststoff	49
7. Thermisch selbstschließende Bauteile	50
7.1. Ventile	50
7.1.1. Regulärer Einbau	50
7.1.2. Einbau entgegengesetzt der Fließrichtung des Gases	51
7.1.3. Regulärer Einbau mit Gegendruck	51
7.2. Gas-Anschlußkugelhahn	53
7.3. Gassteckdose	54
8. Leitungsverbindungen	55
8.1. Gewindeverbindungen	55
8.1.1. Gewindeverbindung mit Hanf	55
8.1.2. Gewindeverbindung mit Dichtband	56
8.1.3. Gewindeverbindung ohne Dichtmittel	56
8.2. Flachdichtende Rohrverschraubung	56
8.2.1. Dichtung mit erhöhter Temperaturbeständigkeit	56
8.2.2. Dichtung ohne erhöhte Temperaturbeständigkeit	57
8.3. Konisch dichtende Verschraubung	58
8.4. Langgewinde	58

8.5. Glattrohrverbindung.....	59
8.5.1. Glattrohrverbindung mit erhöhter Temperaturbeständigkeit.....	59
8.5.2. Glattrohrverbindung ohne erhöhte Temperaturbeständigkeit	59
8.6. Flanschverbindungen.....	60
8.6.1. Dichtung mit erhöhter Temperaturbeständigkeit.....	60
8.6.2. Dichtung ohne erhöhte Temperaturbeständigkeit.....	60
8.7. Kupferlötverbindungen	61
8.7.1. Hartgelötet	61
8.7.2. Weichgelötet	62
9. Eingebaute Leitungen.....	63
9.1. Gewinderohre	65
9.1.1. Geschweißt.....	65
9.1.2. Gewindeverbindung.....	66
9.1.3. Langgewinde	67
9.1.4. Glattrohrverbindung	67
9.2. Kupferleitung.....	68
9.2.1. Hartgelötet	68
9.2.2. Vergleich hartgelötet/weichgelötet.....	69
10. Literatur.....	70
Lichtbilder	Anlagen 1 - 17

Symbolverzeichnis

p	Pa	Druck (im Einzelfall bar)
\dot{Q}_{\min}	m^3/h	minimal meßbarer Volumenstrom
\dot{Q}_{\max}	m^3/h	maximal meßbarer Volumenstrom
t	min	Zeit
Δt	s	Zeit zwischen zwei Impulsen
$V_{\text{pro Zeigerumdrehung}}$	m^3	Volumen pro Zeigerumdrehung
\dot{V}	m^3/h	Volumenstrom
ϑ	K	Brandraumtemperatur
ϑ_0	K	Temperatur der Probekörper vor Versuchsbeginn
$\vartheta_{\text{Bauteil}}$	$^{\circ}C$	Bauteiltemperatur
$\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}}$	$^{\circ}C$	Bauteiloberflächentemperatur
$\vartheta_{\text{Brandraum}}$	$^{\circ}C$	Brandraumtemperatur
$\vartheta_{\text{im Gasregelblock}}$	$^{\circ}C$	Temperatur im Gasregelblock
$\vartheta_{\text{in der Therme}}$	$^{\circ}C$	Temperatur in der Therme
ϑ_{Ofen}	$^{\circ}C$	Temperatur im Muffelofen
$\vartheta_{\text{Rohroberfläche}}$	$^{\circ}C$	Temperatur der Rohroberfläche

1. Allgemeines

Bauteile der häuslichen Gasinstallation müssen betriebs- und brandsicher sein. Bei Brandeinwirkung dürfen keine so großen Undichtigkeiten an Geräten, Bauteilen oder Leitungen entstehen, daß es zu einer gefährdenden Freisetzung von Gas kommt.

Das Forschungsvorhaben "Brandsicherheit von Gasinstallationen, Gasfeuerstätten und Gasgeräten in Wohngebäuden" soll Auskunft darüber geben, wie die marktgängigen Bauteile der Gasinstallation sich bei Brandeinwirkung verhalten.

Die Versuchsaufbauten wurden unter Beachtung der technischen Regeln für Gasinstallationen DVGW-TRGI'86 [1] und dem Handbuch zu den technischen Regeln für Gasinstallationen [2] durchgeführt.

Da Wohnungsbrände in ihrem Temperaturanstieg stark variieren können, wurden die Versuche mit unterschiedlichen Temperaturbeanspruchungen durchgeführt. In den meisten Fällen erfolgte die Temperaturerhöhung entsprechend der international anerkannten Einheits-Temperatur-Zeitkurve (ETK) nach DIN 4102, Teil 2 [3]. Diese hat zu Beginn des Versuchs einen raschen Temperaturanstieg, so daß hier die Trägheit des Versuchsstücks einen großen Einfluß auf den Versagenszeitpunkt des Bauteils hat. Deshalb wurde bei den Bauteilen, die bei ETK-Beanspruchung früh versagten, der Wiederholungsversuch bei einer langsamen, gleichmäßigen Temperaturerhöhung durchgeführt. Bei den Versuchen im Brandversuchssofen betrug der Temperaturanstieg 10 K/min, im Elektroofen stellte sich der Temperaturanstieg leistungsbedingt auf durchschnittlich ca. 5 K/min ein. Damit konnte die Versagenstemperatur der Versuchsstücke unabhängig von deren Masse, spezifischen Wärmekapazität, Wärmeleitfähigkeit, etc. mit ausreichender Genauigkeit bestimmt werden. Davon abweichend wurden bei den Einzelteiluntersuchungen am Gasregelblock alle Versuche im Elektroofen durchgeführt (Ausnahme Strömungsschalter).

Zur Absicherung der Ergebnisse wurden von jedem untersuchten Bauteil zwei Exemplare geprüft. Traten dabei unerklärliche Abweichungen auf, erfolgten weitere Untersuchungen.

Die Druckbeaufschlagung der Bauteile erfolgte aus sicherheitstechnischen Gründen mit Luft.

Folgende Herren wurden von den Auftraggebern gebeten, sich als Betreuer für das Forschungsvorhaben zur Verfügung zu stellen:

Cyris, Berlin

Günther, Holzkirchen

Neun, Eschborn

Wischerhoff, Düsseldorf

Wüst, Kiel

Während der Durchführung des Forschungsvorhabens wurden den o.g. Herren regelmäßig Zwischenergebnisse vorgestellt. Dabei erfolgte die Auswahl der Versuchsstücke sowie die Abstimmung des weiteren Vorgehens.

Der vorliegende Schlußbericht über die experimentellen Untersuchungen beschreibt die untersuchten Bauteile, die Versuchsdurchführung und die Meßergebnisse. Dabei erfolgt keine Bewertung bzgl. der Risiken der dabei auftretenden Leckagen.

Dieser Schlußbericht setzt sich aus einem Textteil, sowie einer Anlage mit Lichtbildern der Versuchsstücke und einem Anlagenband mit der Darstellung der Versuchsergebnisse in Diagrammform zusammen.

2. Versuchseinrichtungen und Meßsysteme

2.1. Meßapparatur

Aufgrund der unterschiedlichen Leckageströme in einem Bereich von wenigen l/h bis zu mehreren m³/h konnte die Messung nicht durch ein einzelnes Volumenstrommeßgerät mit ausreichender Genauigkeit erfaßt werden. Um einen weiten Meßbereich erfassen zu können, wurde die in Abb. 1 dargestellte Meßapparatur erstellt.

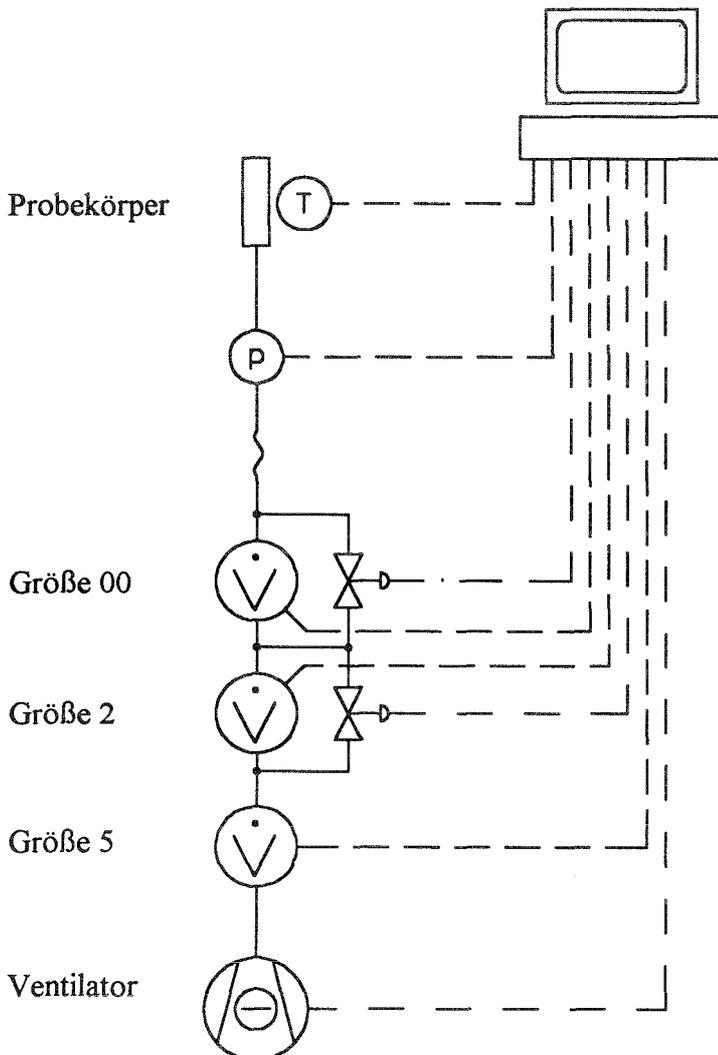


Abb. 1: Meßapparatur zur Bestimmung der Leckage

Zur Messung der Volumenströme wurden Experimentiergaszähler nasser Bauart mit den in Tabelle 1 angegebenen Kenndaten verwendet.

Tabelle 1: Kenndaten der Experimentiergaszähler nasser Bauart

Größe	\dot{Q}_{\min} [m ³ /h]	\dot{Q}_{\max} [m ³ /h]	Volumen pro Zeigerumdrehung [m ³]	Impulse pro Zeigerumdrehung
00	0,002	0,2	0,001	10
2	0,025	2,5	0,1	1000
5	0,15	15	1	1000

Bei Volumenströmen unter $\dot{V} = 0,2 \text{ m}^3/\text{h}$ wurden alle Experimentiergaszähler durchströmt. Stieg die Leckage über diesen Wert an, wurde der Bypass mit einem Kugelhahn über ein Magnetventil, welches über die Rechenanlage geschaltet wurde, geöffnet. Der Widerstand des Experimentiergaszählers reichte dabei aus, um ein weiteres Durchströmen zu verhindern. Ebenso wurde der Bypass des Experimentiergaszählers Größe 2 bei einem Volumenstrom von $2,5 \text{ m}^3/\text{h}$ geöffnet. Die Experimentiergaszähler waren mit Impulsgebern ausgestattet, die pro Zeigerumdrehung 10 (Größe 00) bzw. 1000 (Größe 2 und 5) Impulse abgaben. Zur Bestimmung des Volumenstroms wurde die Zeit zwischen zwei Impulsen bestimmt und damit nach folgender Formel berechnet:

$$\dot{V} = \frac{V_{\text{pro Zeigerumdrehung}}}{\Delta t * \text{Impulse}_{\text{pro Zeigerumdrehung}}} * 3600 \left[\frac{\text{m}^3}{\text{h}} \right]$$

mit Δt = Zeit zwischen zwei Impulsen

Die Meßapparatur hatte eine Grundleckage von ca. $\dot{V} = 0,002 \dots 0,003 \text{ m}^3/\text{h}$. Auf eine Beseitigung dieser Leckage wurde verzichtet, da der Meßbereich des Gaszählers Größe 00 erst bei $\dot{V} = 0,002 \text{ m}^3/\text{h}$ begann.

Bei den Versuchen im Muffelofen wurde bei der Ergebnisdarstellung vom gemessenen Volumenstrom die Grundleckage subtrahiert. Als Grundleckage wurde der gemessene Volumenstrom in den ersten Minuten des jeweiligen Versuchs eingesetzt. Bei allen sonstigen Versuchen erfolgte keine Volumenstromkorrektur, da durch den hohen Temperaturgradienten bei ETK-Beanspruchung sich die Luft in der ofenseitigen Zuleitung zum Versuchsstück ausdehnte und es somit zu einer Rückströmung kam. In den meisten Fällen egalisierte der rückströmende Volumenstrom die Grundleckage, so daß der gemessene Volumenstrom gleich Null war. Größere Rückströmungen ergaben sich bei großvolumigen Versuchsstücken und bei Vorhandensein von Kunststoffen in den Probekörpern. In den Diagrammen wurden gemessene Volumenströme, die durch Rückströmung entstanden, gleich Null gesetzt.

Vor dem Eintritt in den Ofen wurde der Versorgungsdruck mit einem Druckmeßgerät der Fa. Furness Controls LTD. (Mikromanometer FC 014) gemessen. Um diesen Druck konstant zu halten wurde die Drehzahl des Ventilators über die Rechenanlage geregelt. Als Prüfmedium wurde Luft verwendet.

2.2. Muffelofen

Bei den Versuchen im Muffelofen, Bauart M 1100/2 der Fa. Heraeus, wurde, wie in Abb. 2 dargestellt, der Prüfkörper in der Mitte des 225 x 215 x 300 mm (Breite x Höhe x Tiefe) großen Nutzraums positioniert, so daß die Abstände zur Ofenwand jeweils gleich groß waren. Die Temperaturmeßstellen (Mantelthermoelemente $\varnothing_a = 1$ mm) waren ca. 20 mm neben dem Prüfkörper angeordnet. Im Muffelofen stellte sich eine Temperaturerhöhung zu Beginn des Versuchs von ca. 6 K/min ein, die dann kontinuierlich bis auf ca. 3 K/min, bei einer Ofentemperatur von etwa $\vartheta_{\text{Ofen}} = 600$ °C, absank.

Die Messung der Bauteiloberflächentemperatur erfolgte, wenn bei den einzelnen Versuchsergebnisbeschreibungen keine anderen Angaben gemacht wurden, mit einem Mantelthermoelement $\varnothing_a = 1$ mm, dessen Spitze an der Bauteiloberfläche anlag.

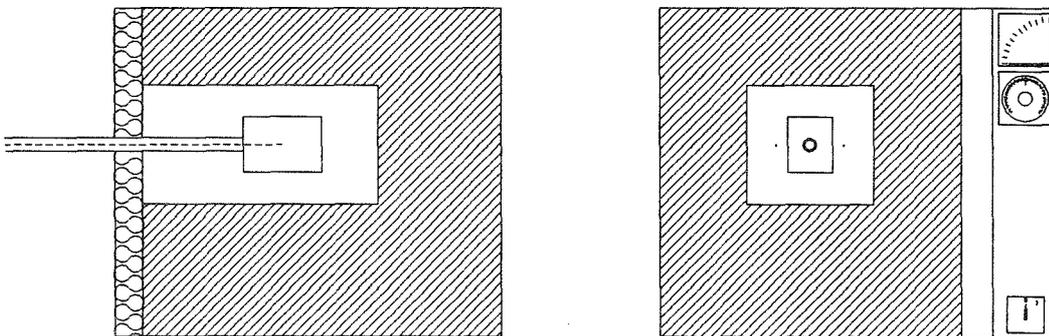


Abb. 2: Muffelofen M 1100/2

2.3. Kleinprüfstand

Das Verhalten von Bauteilen bei ETK-Beanspruchung wurde in einem Kleinprüfstand nach DIN 4102, Teil 8 [4] untersucht.

Bei diesen Versuchen wurde die Temperatur im Brandraum entsprechend der Einheits-Temperatur-Zeitkurve (ETK) nach DIN 4102, Teil 2 [3] erhöht.

Die Brandraumtemperatur berechnet sich bei der Einheits-Temperatur-Zeitkurve (ETK) nach der Formel:

$$\vartheta - \vartheta_0 = 345 \lg(8t + 1)$$

ϑ = Brandraumtemperatur in K

ϑ_0 = Temperatur der Probekörper bei Versuchsbeginn in K

t = Zeit in Minuten

Der zeitliche Verlauf ist in Abb. 3 dargestellt.

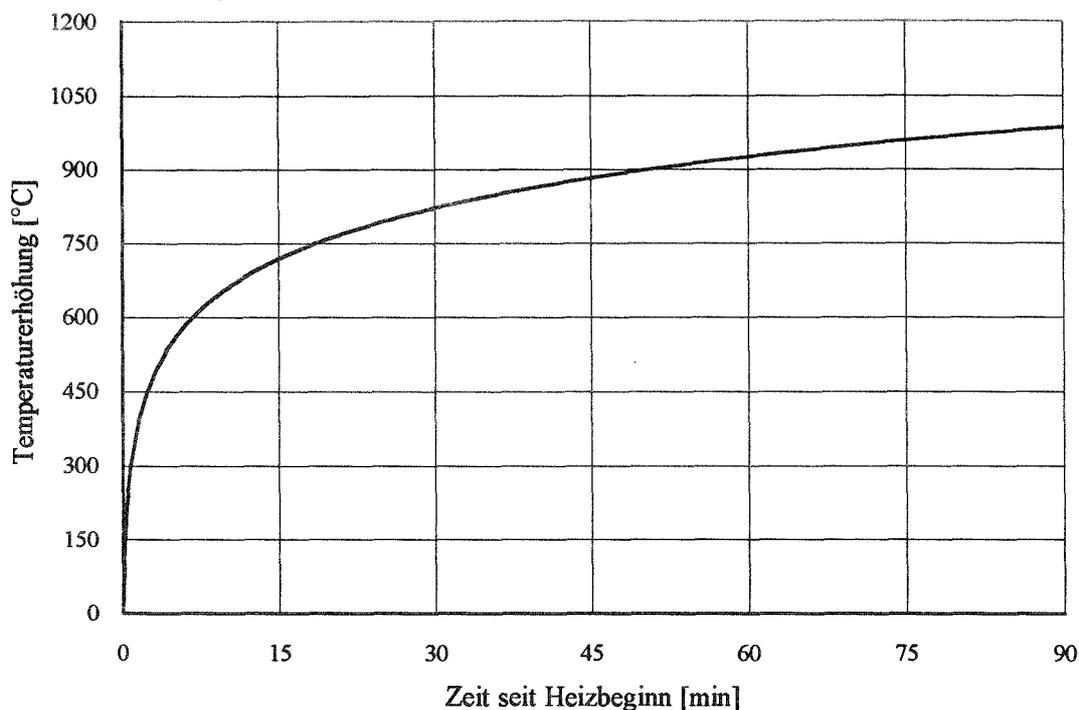


Abb. 3: Einheits-Temperatur-Zeitkurve nach DIN 4102, Teil 2

Um den Strahlungseinfluß der Ölbrennerflamme zu reduzieren, wurde, wie in Abb. 4 dargestellt, eine mit Bohrungen versehene 50 mm dicke Promaform 1260-Platte in den Ofen gesetzt. Der Prüfkörper befand sich ca. 300 mm vor dem Rauchgasabzug in Brandraummitte. Zur Messung der Brandraumtemperatur wurden zwei Mantelthermoelemente ($\varnothing_a = 3,2$ mm) mit Schutzrohr verwendet, die jeweils ca. 50 mm seitlich vom Prüfkörper angeordnet waren. Die Temperaturregelung erfolgte anhand des Mittelwerts aus diesen beiden Temperaturmeßstellen. Mit einem weiteren Mantelthermoelement ($\varnothing_a = 1$ mm) wurde die Oberflächentemperatur des Versuchsstücks gemessen. Hierzu wurde auf der Zuleitung, ca. 20 mm vor dem Versuchsstück, eine Tasche aus einem 0,2 mm dicken und 15 x 30 mm großen X5 CrNi 18 Blech durch Punktschweißung befestigt, in welcher das Thermoelement steckte (s. Abb. 5). Das Thermoelement befand sich auf der flammenabgewandten Seite.

An der Stelle, wo das Versuchsstück in den Ofen eingeführt wurde, wurde die Schamotte des Kleinprüfstands an dieser Stelle durch einen Gasbetonsturz ersetzt.

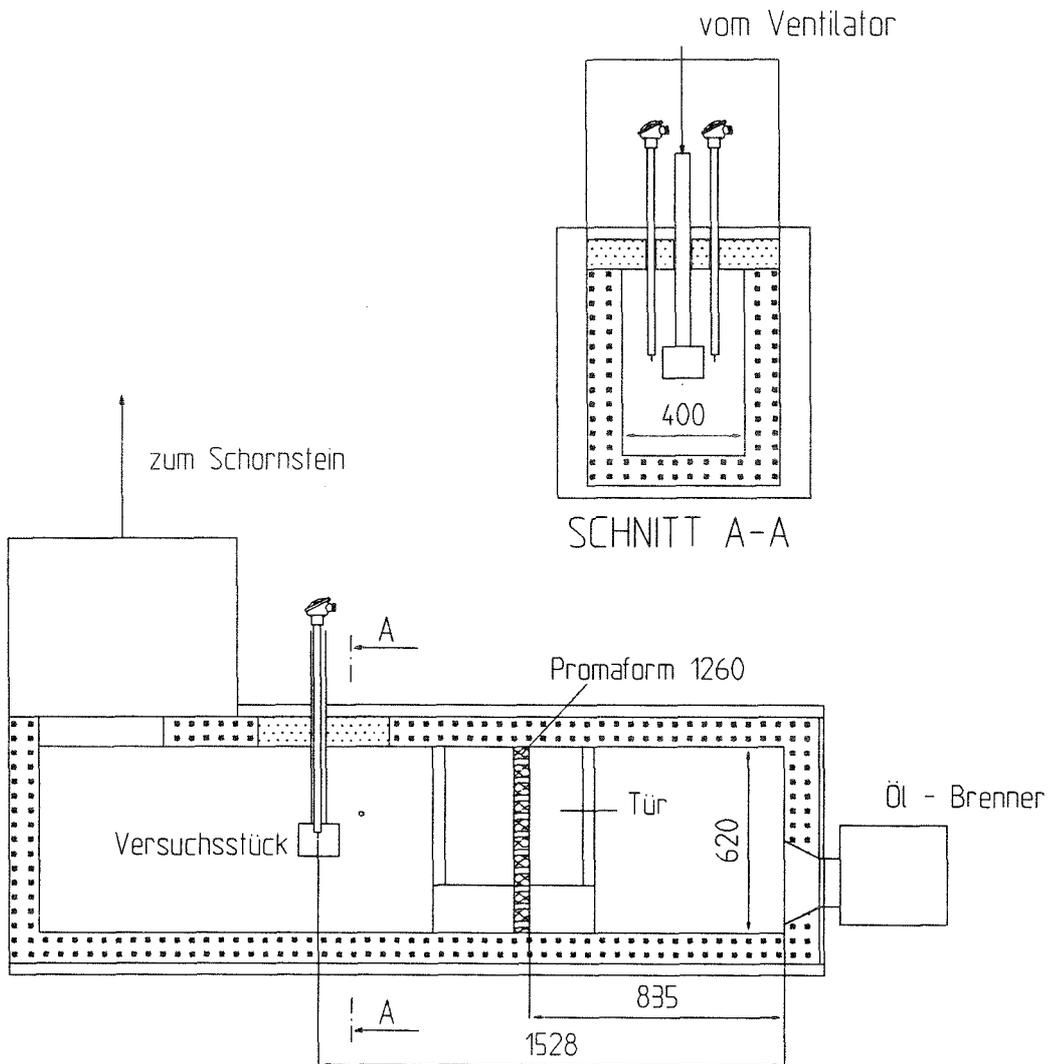


Abb. 4: Kleinprüfstand nach DIN 4102, Teil 8

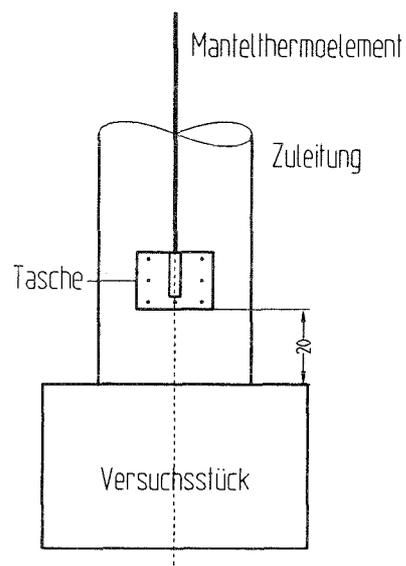


Abb. 5: Befestigung des Thermoelements zur Messung der Bauteiloberflächentemperatur

2.4. Brandversuchshaus

Größere Versuchsstücke und installierte Leitungen wurden im Brandversuchshaus des Lehrstuhls für Haustechnik und Bauphysik der TU München durchgeführt. Dieses hat eine lichte Brandraumgröße von 3000 x 3000 x 4000 mm (Breite x Höhe x Tiefe). Die Versuchsaufbauten sind bei den jeweiligen Ergebnisbeschreibungen erläutert.

menge freigegeben wird. Wenn innerhalb einer Sicherheitszeit keine Flamme entsteht, schaltet die Therme auf Störung. Wenige Sekunden nach der Operatoransteuerung wird die Membranpumpe (11) erregt. Je nach Schwingung der Membranpumpe wird über den im Gasregelblock eingebauten Servodruckregler (14) mehr oder weniger das Hauptregelventil (7) modulierend geöffnet.

Während eines Brandes im Raum kann die Therme entweder in oder außer Betrieb sein. Für den Fall, daß die Therme in Betrieb ist, wird der Gasregelblock vom Erdgas durchströmt und in der Regel dabei gekühlt. Durch den Brand wird auch der Raumthermostat, sofern diese Art der Regelung installiert und der Temperaturfühler im gleichen Raum ist, erwärmt, so daß die Elektronik den Gasregelblock schließt. Bei einer witterungsgeführten Vorlaufregelung befindet sich neben dem Vorlauftemperaturfühler ein Temperaturfühler (Außentemperaturfühler) außerhalb des Brandraums. Im Brandfall kann der Fall eintreten, daß die Therme nicht abschaltet, da der Temperaturanstieg im Vorlauf durch die Wärmeabgabe von Heizkörpern außerhalb des Brandraums begrenzt bleibt und am Außentemperaturfühler keine Erwärmung stattfindet. Genauso könnte ein möglicher vorzeitiger Ausfall der Elektronik ein Schließen des Gasregelblocks verhindern.

Äußere Undichtigkeiten treten durch thermisches Versagen von Bauteilen auf. Der kritischste Fall ist dabei der, daß keine Kühlung der Bauteile durch nachströmendes Gas stattfindet.

Zu einem unkontrollierten Gasaustritt kann es auch durch innere Undichtigkeiten des Gasregelblocks kommen, wenn die Therme außer Betrieb ist oder ein zu hoher Gasstrom austritt, so daß die Flammen am Brenner ausgelöscht werden.

Befindet sich die Therme in Betrieb und es treten keine plötzlichen Volumenstromschwankungen auf, dürfte das Gas abbrennen und zu keiner Explosionsgefahr führen.

Ausgehend von diesen Überlegungen wurden die Einzelteiluntersuchungen am Gasregelblock unter der Annahme durchgeführt, daß die Therme im Brandfall außer Betrieb ist, d.h., die Ventile des Gasregelblocks sind geschlossen.

Bis auf den Strömungsschalter wurden alle Einzelteiluntersuchungen im Muffelofen durchgeführt. Jedes Bauteil wurde zweimal geprüft. Traten dabei Abweichungen bei den Versuchsergebnissen auf, wurden weitere Versuche durchgeführt.

Der Druck am Versuchsstück wurde konstant auf 2200 Pa gehalten.

3.2. Versuchsergebnisse

3.2.1. Anschluß Gaseingang

Die Verbindung der Gasleitung zum Gasregelblock erfolgt über ein Anschlußstück, das am Gasregelblock mit zwei Schrauben angeflanscht wird. Im Flansch des Anschlußstücks befindet sich eine Nut, in die ein Dichtring eingelegt ist.

Zur Überprüfung der Dichtheit dieser Verbindung wurde der Gasregelblock durch eine Metallplatte ersetzt und damit abgedichtet. Schweißtropfen am Flansch des Anschlußstücks wurden vor dem Verschrauben abgefeilt.

Beim Versuch (Bild 1) trat während einer Bauteiloberflächentemperatur von $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 378 \text{ °C}$ bis $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 413 \text{ °C}$ eine vorübergehende Leckage von $\dot{V} = 0,003 \text{ m}^3/\text{h}$ auf. Sonst blieb das Bauteil bis zum Versuchsende ($\vartheta_{\text{Ofen}} = 731 \text{ °C}$) dicht. Bei der Bauteiloberflächentemperatur von $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 454 \text{ °C}$ war der Schmelzpunkt des Dichtrings bereits erreicht. Die Dichtung hing als Tropfen am Versuchsstück. Nach weiteren 10 Minuten ($\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 509 \text{ °C}$) begann die Dichtung zu glimmen und tropfte ab. Das Bauteil blieb trotzdem dicht.

Beim Wiederholungsversuch (Bild 2) trat bei der Bauteiloberflächentemperatur von $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 378 \text{ °C}$ bis 413 °C ebenfalls eine Leckage von $\dot{V} = 0,003 \text{ m}^3/\text{h}$ auf. Eine weitere Leckage war zwischen $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 487 \text{ °C}$ und 607 °C . Das Maximum der Leckage mit $\dot{V} = 0,01 \text{ m}^3/\text{h}$ war bei einer Bauteiloberflächentemperatur von $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 515 \text{ °C}$. In der 77. Minute ($\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 419 \text{ °C}$) konnten die ersten Schmelzerscheinungen des Dichtrings beobachtet werden, der bei $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 490 \text{ °C}$ zu glimmen begann.

Bei der Demontage zeigte sich in beiden Fällen, daß die Dichtung aufgequollen und geschmolzen war und sich über den gesamten Flanschquerschnitt verteilt hatte (Lichtbild 1).

Die Leckagen entstanden während der Schmelzphase des Dichtrings, solange die Schmelze noch relativ zäh war. Mit zunehmender Erweichung verteilte sich die Schmelze zwischen den beiden Flanschstücken und dichtete dadurch wieder ab.

3.2.2. Gasdruckmeßschraube

Hierzu wurde das Anschlußstück am Flansch zugeschweißt und von der anderen Seite druckbeaufschlagt. Die Oberflächentemperaturmessung erfolgte bei beiden Versuchen mit am Versuchsstück aufgelöteten Oberflächenthermoelementen. Der Sprung im Temperaturverlauf (Bild 3) bei der Bauteiloberflächentemperatur kam durch das Brüchigwerden der ofenseitigen Meßkabelummantelung zustande.

Bei diesem Bauteil traten, bis zum Versuchsabbruch bei einer Bauteiloberflächentemperatur von $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 690 \text{ °C}$ bzw. 700 °C , in beiden Fällen keine nachweisbaren Leckagen auf (Bild 3 und 4).

3.2.3. Dichtringverschraubung

Das in Abbildung 6 als Dichtringverschraubung (3) bezeichnete Bauteil besteht aus einer Aluminiumschraube und einer Dichtung aus Aramidfaser, gebunden mit NBR (Nitrilbutadien-Kautschuk).

Im Versuch wurde mit diesem Bauteil ein druckbeaufschlagtes Gewinderohr abgedichtet. Die Bauteiloberflächentemperaturmessung erfolgte bei diesen beiden Versuchen mit aufgelöteten Oberflächenthermoelementen am Gewinderohr, ca. 20 mm vor der Verschraubung.

Beim ersten Versuch (Bild 5) trat bei einer Bauteiloberflächentemperatur von $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 367 \text{ °C}$ eine kurzzeitige Leckage von $\dot{V} = 0,005 \text{ m}^3/\text{h}$ auf. Bei einer Ofentemperatur von $\vartheta_{\text{Ofen}} = 638 \text{ °C}$ riß das Gewinde der Aluminiumschraube aus, so daß der gesamte Querschnitt des Gewinderohres frei war und die Leckage sprunghaft auf über $\dot{V} = 15 \text{ m}^3/\text{h}$ (Meßbereichsmaximum) anstieg.

Der Sprung im Temperaturverlauf bei der Oberflächentemperatur kam entweder durch das Versagen einer Lötstelle am Oberflächenthermoelement oder durch das Brüchigwerden der ofenseitigen Meßkabelummantelung zustande.

Beim zweiten Versuch (Bild 6) trat die erste Leckage, mit einem Volumenstrom von $\dot{V} = 0,005 \text{ m}^3/\text{h}$, bei einer Bauteiloberflächentemperatur von $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 357 \text{ °C}$ bis 416 °C auf. Eine weitere Undichtigkeit ($\dot{V} = 0,003 \text{ m}^3/\text{h}$) konnte bei einer Bauteiloberflächentemperatur von $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 469 \text{ °C}$ bis 482 °C festgestellt werden. Bei der Bauteiloberflächentemperatur von $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 620 \text{ °C}$ ($\vartheta_{\text{Ofen}} = 637 \text{ °C}$) riß wieder das Gewinde der Aluminiumschraube.

Lichtbild 2 zeigt die am Ofenboden liegende Aluminiumschraube nach Versuchsabbruch. Deutlich zu erkennen ist dabei das ausgerissene Gewinde.

3.2.4. Durchführung Strömungsschalter

Das als "Durchführung Strömungsschalter" (s. Abb. 6) bezeichnete Bauteil ist am Gehäusedeckel des Gasregelblocks eingeschraubt. Durch dieses Bauteil geht ein Stift, über den beim Schalten des Strömungsschalters das Hauptgasventil geöffnet wird.

Zur Prüfung des Bauteils wurde auf ein Gewinderohr eine Stahlplatte geschweißt. In diese wurde ein Gewinde mit gleichem Durchmesser und gleicher Steigung wie am Gasregelblock geschnitten, in das das Versuchsstück eingeschraubt war.

Die Oberflächentemperaturmessung am Bauteil erfolgte mit einem aufgelöteten Oberflächenthermoelement am Gewinderohr, ca. 20 mm vor dem Versuchskörper.

Bei beiden Versuchen traten bis zum Versuchsabbruch ($\vartheta_{\text{Ofen}} = 680 \text{ °C}$) keine Undichtigkeiten am Bauteil auf (Bild 7 und 8). Allerdings konnte nach Abkühlung des Bauteils der Stift nicht mehr bewegt werden.

3.2.5. Feder Hauptgasventil

Mit diesem Versuch sollte qualitativ das Verhalten der Feder des Hauptgasventils bei thermischer Beanspruchung untersucht werden.

Hierzu wurde in einer entsprechenden Vorrichtung die Feder auf eine Länge von 22,5 mm vorgespannt. Dies entsprach der Federlänge im eingebauten Zustand im Gasregelblock bei geschlossenem Hauptgasventil. Die Spannkraft der Feder wurde mit einem Kraftaufnehmer "HBM Typ Z3H2" gemessen.

In beiden Fällen (Bild 9, Bild 10) ist eine Abnahme der Federkraft ab einer Ofentemperatur von $\vartheta_{\text{Ofen}} = 160 \text{ °C}$ bzw. $\vartheta_{\text{Ofen}} = 200 \text{ °C}$ festzustellen. Im zweiten Versuch, dargestellt in Bild 10, wurde die Federkraft auch während der Abkühlphase aufgezeichnet. Zur Beschleunigung dieses Prozesses kühlte man mit einem Ventilator. Es zeigte sich dabei, daß bei Abkühlung die Federkraft wieder anstieg.

Die Feder hatte vor dem Versuch ohne Belastung eine Länge von 61 mm. Nach dem Versuch hatte die Feder im unbelasteten Zustand eine Länge von 24,95 mm (gemessen mit Höhenmeßuhr). Legte man auf diese Feder ein Eichgewicht von 20 g, so drückte sie sich um 0,45 mm zusammen. 20 g entsprachen dem Gewicht des Hauptgasventiltellers.

3.2.6. Hauptgasventil

Zur Prüfung des Hauptgasventils wurde das Hauptregelventil aus dem Gasregelblock entfernt. Dadurch ist bei Versagen des Hauptgasventils der Gasweg freigegeben, wodurch die innere Undichtigkeit bestimmt werden konnte. Die Druckbeaufschlagung erfolgte aus Platzgründen im Muffelofen über die Dichtringverschraubung. Am Gaseingang wurde der Gasanschluß mit Dichtring angeflanscht, das Anschlußstück abgeschnitten und mit einem Stahlblech zugeschweißt.

Beim ersten Versuch wurde mit einem Mantelthermoelement $\varnothing_a = 1 \text{ mm}$ die Temperatur im Gasregelblock gemessen (Bezeichnung in Bild 11: Temperatur im Gasregelblock). Das Thermoelement wurde hierzu über die Ausgangsseite des Gasregelblocks eingeführt.

Während des Versuchs (Bild 11) traten mehrere kurzzeitige Leckagen auf. Diese waren bei einer Bauteiloberflächentemperatur von $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 371 \text{ °C}$ bis 379 °C ($\dot{V} = 0,0045 \text{ m}^3/\text{h}$), von $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 390 \text{ °C}$ bis 398 °C ($\dot{V} = 0,0049 \text{ m}^3/\text{h}$) und von $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 439 \text{ °C}$ bis 463 °C ($\dot{V} = 0,011 \text{ m}^3/\text{h}$). Ab $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 463 \text{ °C}$ begann eine weitere Leckage, die bei $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 473 \text{ °C}$ ein Maximum von $\dot{V} = 0,017 \text{ m}^3/\text{h}$ hatte, dann noch einmal kurz auf $\dot{V} = 0,002 \text{ m}^3/\text{h}$ bei $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 495 \text{ °C}$ absank. Anschließend stieg die Leckage auf ca. $\dot{V} = 5 \text{ m}^3/\text{h}$ an ($\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 516 \text{ °C}$).

Bei einer Bauteiloberflächentemperatur von $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 370 \text{ °C}$ traten am Muffelofenabzug Rauchschwaden aus. Sieben Minuten später kam es zu einer kleinen Verpuffung ($\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 423 \text{ °C}$). Drei Minuten nach der Verpuffung ($\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 448 \text{ °C}$) traten am Muffelofenabzug erneut Rauchschwaden aus. Über das Sichtfenster des Muffelofens konnten keine Beobachtungen mehr gemacht werden, da es zu diesem Zeitpunkt bereits verrußt war.

Beim Wiederholungsversuch (Bild 12) trat eine Leckage mit $\dot{V} = 0,014 \text{ m}^3/\text{h}$ bei einer Bauteiloberflächentemperatur von $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 349 \text{ }^\circ\text{C}$ bis $376 \text{ }^\circ\text{C}$ auf. Ein sprunghafter Anstieg der Leckage auf ca. $\dot{V} = 0,6 \text{ m}^3/\text{h}$ wurde bei einer Bauteiloberflächentemperatur von $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 415 \text{ }^\circ\text{C}$ gemessen. Anschließend stieg der gemessene Volumenstrom mit zunehmender Versuchsdauer kontinuierlich an. Bei einem Volumenstrom von $\dot{V} = 2,2 \text{ m}^3/\text{h}$ wurde der Versuch abgebrochen.

Die bei den Versuchen zuerst auftretenden Leckagen waren auf Undichtigkeiten am Anschluß Gaseingang zurückzuführen (s. Bilder 1 und 2).

Die auftretenden Hauptleckagen wurden durch die Zerstörung der Dichtungen am Hauptgasventilteller verursacht. Dies war zum einen die Dichtung auf dem Ventilteller zum Drehteil (in Abb. 6 Pos.-Nr. 28), sowie einer weiteren Dichtung (O-Ring (in Abb. 6 Pos.-Nr. 29)) zwischen vorgenanntem Drehteil und dem Gehäuse des Gasregelblocks. Bei der Demontage nach dem Versuch zeigte sich, daß der O-Ring nur noch teilweise vorhanden war. Eine Selbstheilung der Dichtung, wie dies beim Anschluß Gaseingang zu beobachten war, trat wegen der zu großen Spaltweite nicht auf.

In Lichtbild 3 kann man neben dem Ventilteller im Gehäuse auch die Reste des O-Rings erkennen.

3.2.7. Hauptregelventil

Hierzu wurde das Hauptgasventil aus dem Gasregelblock entfernt, so daß nach Versagen des Hauptregelventils die inneren Undichtigkeiten bestimmt werden konnten. Außerdem wurde das Bauteil 25 (Durchführung Strömungsschalter) durch eine Schraube mit Kupferdichtring ersetzt. Die Druckbeaufschlagung erfolgte aus Platzgründen im Muffelofen über die Dichtringverschraubung. Am Gaseingang wurde der Gasanschluß mit Dichtring angeflanscht, das Anschlußstück abgeschnitten und mit einem Stahlblech zugeschweißt.

Beim ersten Versuch (Bild 13) wurde mit einem Mantelthermoelement $\varnothing_a = 1 \text{ mm}$ die Temperatur im Gasregelblock gemessen (Bezeichnung in Bild 13: Temperatur im Gasregelblock). Das Thermolement wurde hierzu über die Ausgangsseite des Gasregelblocks eingeführt.

Dabei trat bei einer Bauteiloberflächentemperatur von $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 342 \text{ }^\circ\text{C}$ eine vorübergehende Leckage von $\dot{V} = 0,09 \text{ m}^3/\text{h}$ wegen des kurzzeitigen Öffnens des Hauptgasventils, sowie zwischen $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 386 \text{ }^\circ\text{C}$ und $411 \text{ }^\circ\text{C}$ von $\dot{V} = 0,005 \text{ m}^3/\text{h}$ durch Undichtigkeiten am Anschluß Gaseingang (s. Bilder 1 und 2) auf. Bei der Bauteiloberflächentemperatur von $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 421 \text{ }^\circ\text{C}$ stieg die Leckage schnell auf $\dot{V} = 2,9 \text{ m}^3/\text{h}$ an.

Der rapide Anstieg der Leckage kam durch das Schmelzen des Ventiltellers (Kunststoff) zustande. Die Demontage nach Abkühlung des Bauteils zeigte, daß der Ventilteller ein ca. \varnothing 10 mm großes Loch hatte (Lichtbild 4).

Im Wiederholungsversuch (Bild 14) kam es bei einer Bauteiloberflächentemperatur von $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 249 \text{ }^\circ\text{C}$ zu einem sprunghaften Anstieg der Leckage, mit einem Maximum von $\dot{V} = 6,1 \text{ m}^3/\text{h}$. Der Versuch wurde daraufhin sofort abgebrochen.

Die Demontage des Gasregelblocks zeigte, daß die Membran, welche das Ventil betätigt, noch in Ordnung war. Sie roch jedoch sehr stark nach Gummi und klebte am Gehäuse fest, konnte aber leicht gelöst werden. Am Ventilsitz konnten keine Schäden festgestellt werden. Das Filter Servodruckregler (Pos.-Nr. 13, Abb. 6) war geschmolzen und die Befestigungsschrauben, welche das Gehäuse der Regeleinheit mit dem Hauptgehäuse verbinden, konnten von Hand gelöst werden. Die Bauteile in der Regeleinheit des Gasregelblocks waren teilweise geschmolzen.

Bei einer erneuten Leckagemessung nach Zusammenbau des Gasregelblocks erwies sich dieser wieder als dicht und wurde nochmals im Muffelofen geprüft (Bild 15). Dieser Versuch mußte dann jedoch wegen eines Schadens an der Luftversorgung nochmals kurz unterbrochen werden. Da bis dahin keine Undichtigkeiten am Versuchsstück auftraten wurde auf eine Darstellung des Temperaturverlaufs bis zu diesem Zeitpunkt verzichtet. In Bild 15 sind deshalb die Meßwerte ab dem erneuten Versuchsstart dargestellt.

Hier trat eine erste Leckage von maximal $\dot{V} = 0,014 \text{ m}^3/\text{h}$ bei einer Bauteiloberflächentemperatur von $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 368 \text{ }^\circ\text{C}$ bis $382 \text{ }^\circ\text{C}$ auf. Ab $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 419 \text{ }^\circ\text{C}$ stieg die Leckage dann sprunghaft auf ca. $\dot{V} = 6 \text{ m}^3/\text{h}$ an. Zeitgleich mit dem sprunghaften Anstieg der Leckage konnten einzelne Flammen im Muffelofen beobachtet werden. Diese entstanden durch das Verbrennen von Kunststoffteilchen, welche aus dem Bauteilinneren herausgeblasen wurden.

Bei der Demontage zeigte sich, daß der Ventilteller des Hauptregelventils geschmolzen war. Die Membran war noch ganz, jedoch sehr spröde.

Die erste Leckage entstand am Anschluß Gaseingang. Die Hauptleckage wurde, wie die Demontage gezeigt hatte, durch das Schmelzen des Hauptregelventiltellers verursacht.

Ein weiterer Versuch sollte klären, wodurch die frühe Undichtigkeit des in Bild 14 dargestellten Versuchs verursacht wurde. Dazu wurde der Gasregelblock beim Auftreten einer Leckage sofort aus dem Ofen genommen und anschließend erst die Luftversorgung abgestellt. Das Ergebnis ist in Bild 16 dargestellt.

Die Leckage trat hier bei einer Bauteiloberflächentemperatur von $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 223 \text{ }^\circ\text{C}$ auf.

Bei der Demontage des Gasregelblocks zeigte sich, daß der Ventilteller nicht mehr ganz schloß und ein Ringspalt verblieb. Der Stift zwischen Teller und Ventilteller wird in einer Kunststoffbuchse geführt (in Abb. 6 nicht dargestellt). Der Kunststoff war während des Versuchs bereits erweicht, so daß der Stift durch die Verfestigung des Kunststoffs während der Abkühlung in der geöffneten Position verblieb.

Das Öffnen des Ventiltellers am Hauptregelventil kann nur durch die Ausdehnung des Gases (hier Luft) unterhalb der Membran in Verbindung mit der Verstopfung der Ausgleichsbohrung zustande gekommen sein.

3.2.8. Äußere Undichtigkeiten durch Dichtungen zwischen den Gehäuseteilen

Zur Bestimmung der äußeren Undichtigkeiten wurden das Hauptgas- und das Hauptregelventil ausgebaut. Ein Verbindungsstück, welches den Gasregelblock mit dem Brenner verbindet, wurde auf der Ausgangsseite des Gasregelblocks angeschraubt und durch Aufschweißen eines Stahlblechs abgedichtet. Die Druckbeaufschlagung erfolgte aus Platzgründen im Muffelofen über die Dichtringverschraubung. Am Gaseingang wurde der Gasanschluß mit Dichtring angeflanscht, das Anschlußstück abgeschnitten und mit einem Stahlblech zugeschweißt.

Beim ersten Versuch (Bild 17) trat bei einer Bauteiloberflächentemperatur von $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 349\text{ °C}$ bis 359 °C eine vorübergehende Leckage von $\dot{V} = 0,008\text{ m}^3/\text{h}$ auf. Ab einer Bauteiloberflächentemperatur von $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 370\text{ °C}$ begann eine erneute Leckage, die dann von $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 481\text{ °C}$ bis 511 °C stetig auf ca. $\dot{V} = 1,5\text{ m}^3/\text{h}$ anstieg.

Die Leckagen bis $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 481\text{ °C}$ sind teilweise auf Undichtigkeiten am Anschluß Gaseingang (s. Bilder 1 und 2) zurückzuführen.

Im Wiederholungsversuch (Bild 18) trat eine Undichtigkeit bei einer Bauteiloberflächentemperatur von $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 336\text{ °C}$ auf. Diese stieg dann bis zu einer Bauteiloberflächentemperatur von ca. $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 500\text{ °C}$ auf $\dot{V} = 1,5\text{ m}^3/\text{h}$ an.

Auch hier waren die ersten gemessenen Leckagen teilweise auf Undichtigkeiten am Anschluß Gaseingang zurückzuführen. Ab einer Bauteiloberflächentemperatur von $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 377\text{ °C}$ ($\vartheta_{\text{Ofen}} = 385\text{ °C}$) dürften die gemessenen Leckagen aber über die Dichtungen zwischen den Gehäuseteilen entwichen sein.

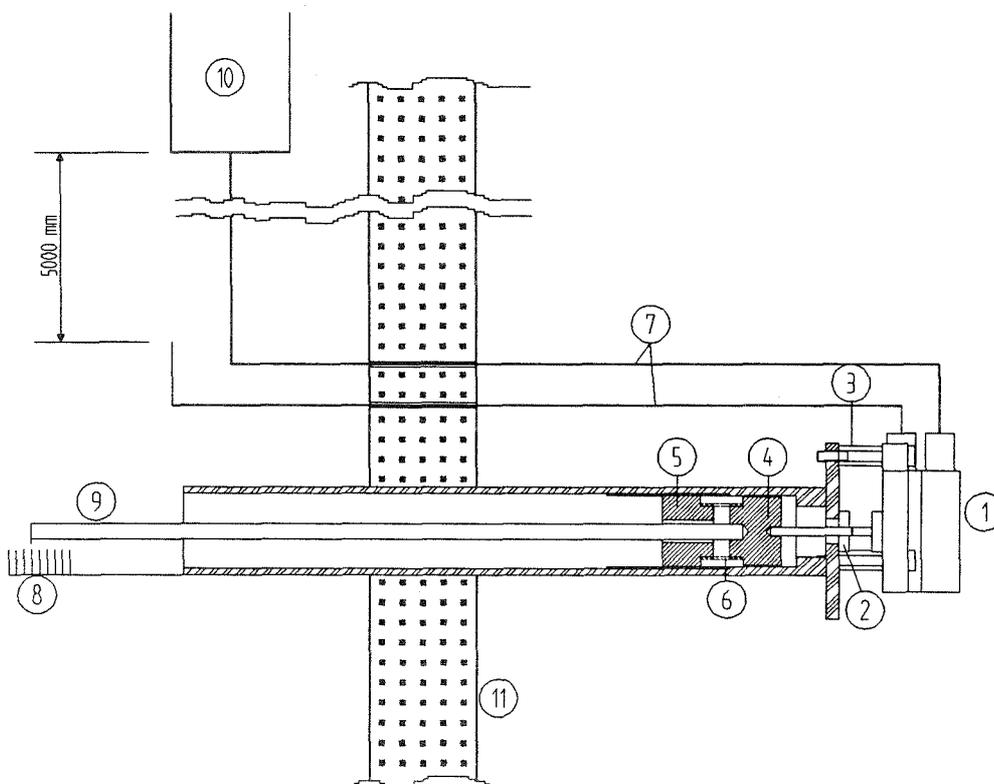
In beiden Fällen trat das Maximum der gemessenen Leckage bei ca. $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 500\text{ °C}$ auf.

Bei beiden Versuchen stieg die Temperatur an der Dichtung zwischen den Gehäuseteilen ab einer Ofentemperatur von $\vartheta_{\text{Ofen}} = 416\text{ °C}$ (erster Versuch) bzw. $\vartheta_{\text{Ofen}} = 315\text{ °C}$ (zweiter Versuch) über die Ofentemperatur an. Dies deutet darauf hin, daß sich an der Oberfläche der Dichtung exotherme Reaktionen abspielten.

3.2.9. Strömungsschalter

Der Versuchsaufbau zur Prüfung des Strömungsschalters in Abb. 7 zeigt die Situation bei geöffnetem Hauptgasventil. Der erforderliche Pumpendifferenzdruck zur Ansteuerung des Strömungsschalters (1) wurde durch einen in 5 m darüber angebrachten Wasserbehälter (10) simuliert. Die Vorspannung der Feder erfolgte über das Drehteil mit Außengewinde (5) wie im Gasregelblock. Bei Versagen des Strömungsschalters drückte die Feder das Drehteil (4) gegen den Anschlag. Gleichzeitig verschob sich der Draht (9), welcher mit dem Drehteil (4) verschraubt war. Diese Verschiebung konnte an der Längenmeßeinrichtung (8) beobachtet werden.

Die Versuche wurden im Brandversuchshaus durchgeführt.



- 1 Strömungsschalter
- 2 Durchführung Strömungsschalter
- 3 Distanzbuchse
- 4 Drehteil
- 5 Drehteil mit Außengewinde
- 6 Hauptgasventilfeder
- 7 Steuerleitungen (Kupferrohr)
- 8 Längenmeßeinrichtung
- 9 Draht
- 10 Wasserbehälter
- 11 Wand Brandversuchshaus

Abb. 7: Versuchsaufbau Strömungsschalter

Die Temperaturmessung der Brandraum- und der Bauteiloberflächentemperatur erfolgte bei allen Versuchen mit Mantelthermoelementen $\varnothing_a = 3,2$ mm, wobei die Thermoelemente zur

Messung der Brandraumtemperatur ca. 50 mm seitlich des Versuchsstücks positioniert waren.

Beim ersten Versuch (Bild 19) wurde die Temperaturerhöhung entsprechend der Schwelbrandkurve durchgeführt.

Der Temperaturanstieg im Brandraum bei der Schwelbrandkurve nach DIN 4102, Teil 11 [5] errechnet sich nach der Formel:

$$\vartheta - \vartheta_0 = 154 \sqrt[4]{t}$$

ϑ = Brandraumtemperatur in K

ϑ_0 = Temperatur der Probekörper vor Versuchsbeginn in K

t = Zeit in min

Dabei tropften beim ersten Versuch (Bild 19) bei einer Bauteiloberflächentemperatur von $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 207 \text{ °C}$ und einer Brandraumtemperatur von $\vartheta_{\text{Brandraum}} = 266 \text{ °C}$ die ersten Wassertropfen am Versuchskörper ab. Bei $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 213 \text{ °C}$ und $\vartheta_{\text{Brandraum}} = 268 \text{ °C}$ spritzte das Wasser aus dem Bauteil heraus. Dadurch kam es zur Abkühlung des Bauteils durch das nachströmende kalte Wasser. Bei einer Brandraumtemperatur von $\vartheta_{\text{Brandraum}} = 303 \text{ °C}$ trat eine kleine Verschiebung an der Längenmeßeinrichtung auf. Daraufhin wurde der Versuch abgebrochen. Es stellte sich jedoch heraus, daß der Strömungsschalter zu diesem Zeitpunkt nicht ganz geschlossen, sondern die Befestigungsfüße aus Kunststoff etwas nachgegeben hatten.

Der Wasseraustritt am Strömungsschalter war zwischen den beiden Gehäuseschalen. Hier öffnete sich zwischen den Verschraubungen der Gehäuseteile ein kleiner Spalt.

Das austretende Wasser spritzte auf die Temperaturmeßstelle "Brandraumtemperatur 1", wodurch es zum Abfall im Kurvenverlauf kam.

Beim zweiten Versuch (Bild 20) wurde in den ersten 30 Minuten die Temperaturerhöhung entsprechend der Schwelbrandkurve durchgeführt und anschließend um $\Delta\vartheta = 50 \text{ K/min}$ erhöht.

Dabei waren die ersten Wassertropfen am Versuchsstück bei einer Bauteiloberflächentemperatur von $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 166 \text{ °C}$ und einer Brandraumtemperatur von $\vartheta_{\text{Brandraum}} = 230 \text{ °C}$ zu beobachten. Ein stärkerer Wasseraustritt erfolgte bei $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 193 \text{ °C}$ und $\vartheta_{\text{Brandraum}} = 255 \text{ °C}$. Im weiteren Versuchsverlauf konnten kurzzeitig erhöhte Wasseraustritte beobachtet werden. Bis zum Versuchsende, bei einer Brandraumtemperatur von $\vartheta_{\text{Brandraum}} = 700 \text{ °C}$, blieb die Funktionstüchtigkeit des Strömungsschalters erhalten!

Der Wasseraustritt war wieder zwischen den beiden Gehäuseteilen.

Ein weiterer Versuch wurde bei einer Temperaturbeanspruchung nach ETK (DIN 4102, Teil 2) durchgeführt (Bild 21).

Die ersten Wassertropfen am Strömungsschalter konnten nach 2 Minuten 13 Sekunden ($\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 215 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Brandraum}} = 412 \text{ °C}$) beobachtet werden. Ab 3 Minuten 30 Sekunden ($\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 52 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Brandraum}} = 476 \text{ °C}$) spritzte das Wasser zwischen den beiden Gehäuseteilen heraus. Bis zum Versuchsende nach 11 Minuten 36 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 670 \text{ °C}$) blieb die Funktionstüchtigkeit des Strömungsschalters erhalten.

Beim Wiederholungsversuch (Bild 22) bei ETK-Beanspruchung spritzte das Wasser nach 1 Minute 30 Sekunden ($\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 212 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Brandraum}} = 365 \text{ °C}$) am Strömungsschalter heraus. Die Undichtigkeit trat wieder zwischen den beiden Gehäuseteilen auf. Bei einer Versuchsdauer von 4 Minuten 14 Sekunden versagte der Strömungsschalter. Dies war bei einer Brandraumtemperatur von $\vartheta_{\text{Brandraum}} = 517 \text{ °C}$ und einer Bauteiloberflächentemperatur von $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 230 \text{ °C}$. Letztere war kurze Zeit vorher noch auf $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 90 \text{ °C}$ abgesunken.

Das Versagen des Strömungsschalters war auf das Erweichen der Befestigungsfüße zurückzuführen. Dadurch verschob sich das Versuchsstück etwas, so daß der Stift des Strömungsschalters vom zweiten Stift, der das Hauptgasventil betätigt, abrutschte.

Der durchschnittliche Wasserverlust am Strömungsschalter lag bei allen Versuchen bei ca. 0,5 l/min.

Das Bauteil nach dem Versuch ist in Lichtbild 5 dargestellt. Dabei ist deutlich zu erkennen, daß der Strömungsschalter an den nicht durch nachströmendes Wasser gekühlten Bereichen bereits starke Schmelzerscheinungen aufweist. Die Mantelthermoelemente wurden vor dem Fotografieren nach oben gespreizt.

3.2.10. Luftleitung Membranpumpe

Die Verbindung zwischen Membranpumpe und Gasregelblock besteht aus einem Kupferrohr und einem ca. 50 mm langen Silikonschlauch. Bei Versagen dieser Verbindung würde der Gasdurchsatz im Betriebsfall auf die Zündgasmenge zurückgehen.

Um das thermische Verhalten des Schlauches bei verschiedenen Lastzuständen überprüfen zu können, wurde das Versuchsstück mit unterschiedlichen Drücken beaufschlagt. Mit den Gaszählern wurde der Versagenszeitpunkt bestimmt. Hierzu wurde der Schlauch ausgangsseitig mit einem Metallstopfen verschlossen. Die Druckbeaufschlagung erfolgte von der Ventilatorseite her über die Steuerleitungen aus Kupfer.

Der erste Versuch (Bild 23) wurde mit einem Druck von 1000 Pa durchgeführt. Bei der Ofentemperatur von $\vartheta_{\text{Ofen}} = 429 \text{ °C}$ versagte der Schlauch.

Beim zweiten Versuch (Bild 24) mit einem Druck von ebenfalls 1000 Pa lag die Versagertemperatur bei $\vartheta_{\text{Ofen}} = 450 \text{ °C}$.

Bei einem Druck von 4000 Pa (Bild 25) lag die Ofentemperatur zum Versagenszeitpunkt bei $\vartheta_{\text{Ofen}} = 378 \text{ }^\circ\text{C}$.

Alle Schläuche waren nach den Versuchen brüchig und hatten mehrere Risse (Lichtbild 6).

3.3. Diskussion der Ergebnisse

Für den Fall, daß die Therme außer Betrieb ist, sind sowohl das Hauptgasventil, als auch das Hauptregelventil geschlossen, d.h., bis zum Hauptgasventil steht der Gasdruck von 2200 Pa an. Ab einer Bauteiloberflächentemperatur von $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 415 \text{ }^\circ\text{C}$ treten die ersten bleibenden Undichtigkeiten an diesem Bauteil auf. Da das Hauptregelventil zu diesem Zeitpunkt ebenfalls keine Dichtigkeit mehr gewährleistet, ist der Gasweg bis zum Brenner frei. Das Gas würde dann dort unverbrannt austreten, eventuell über den Schornstein abziehen oder über die Strömungssicherung in den Brandraum gelangen. Der Volumenstrom könnte dabei auf über $\dot{V} = 5 \text{ m}^3/\text{h}$ ansteigen. Nach Versagen des Hauptgasventils treten auch bereits äußere Undichtigkeiten an den Dichtungen (ab $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 370 \text{ }^\circ\text{C}$) zwischen den Gehäuseteilen auf.

Ab einer Bauteiloberflächentemperatur von $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 620 \text{ }^\circ\text{C}$ würde die Leckage auf über $\dot{V} = 15 \text{ m}^3/\text{h}$ ansteigen, da dann das Gewinde der Aluminiumschraube an der Dichtringverschraubung ausreißt und ein freier Querschnitt von ca. 460 mm^2 verbleibt. Das dabei austretende Gas würde in den Aufstellraum gelangen.

Wenn die Therme im Augenblick des Brandes gerade Wärme erzeugt, strömt Gas durch den Gasregelblock und brennt am Brenner ab.

Die Therme kann bereits im Anfangsstadium des Brandes außer Betrieb gehen, wenn die voreingestellte Maximaltemperatur am Vorlaufthermostat oder am Raumthermostat erreicht wird. Dann kann man in der Folge wahrscheinlich mit den gleichen Versagenstemperaturen und Leckagen rechnen, wie wenn die Therme außer Betrieb ist.

Möglich ist auch, daß durch ein vorzeitiges Versagen des Strömungsschalters zwischen $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 230$ und $300 \text{ }^\circ\text{C}$ das Hauptgasventil schließt und dann wieder die Versagenstemperaturen und Leckagen wie bei abgeschalteter Therme auftreten. Die Versuche am Strömungsschalter zeigten jedoch, daß dies nicht unbedingt der Fall sein muß.

Bleibt der Strömungsschalter funktionsfähig, würden die vom Gas durchströmten Bauteile gekühlt werden, wenn die Gasversorgungsleitung nicht bereits über längere Strecken im Brandraum verläuft.

Bei einer Bauteiloberflächentemperatur von $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 420 \text{ }^\circ\text{C}$ schmilzt der Ventilteller des Hauptregelventils und der Gasvolumenstrom steigt an. Dabei könnte es zum Erlöschen der Brennerflammen kommen.

Zu äußeren Undichtigkeiten am Gasregelblock kommt es dann durch das Versagen der Dichtungen zwischen den Gehäuseteilen bei einer Bauteiloberflächentemperatur von ca. $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 370 \text{ °C}$ und nach Ausreißen der Aluminiumschraube bei ca. $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 620 \text{ °C}$.

4. Gasregelblöcke

4.1. Gasregelblock Typ A bei ETK-Beanspruchung

Die Prüfung des Gasregelblocks Typ A erfolgte im Brandversuchshaus, zeitgleich mit dem Strömungsschalter. Hierzu wurde der Gasregelblock, wie in Lichtbild 7 dargestellt, auf einen Gasbetonstein gestellt. Zur Brandraumtemperatur- (Abstand zum Versuchsstück ca. 20 mm) und Bauteiloberflächentemperaturmessung wurden Mantelthermoelemente $\varnothing_a = 3,2$ mm verwendet. Die Temperaturerhöhung erfolgte nach ETK.

Beim ersten Versuch (Bild 26) fehlte der in Lichtbild 7 dargestellte kleinere Gasbetonstein. Der Gasregelblock hing also frei an der Zuleitung.

Nach 6 Minuten 20 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 606$ °C, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 545$ °C) begann die Dichtung am Anschluß Gaseingang herauszuquellen und fiel dann teilweise ab. Die Leckage begann nach 7 Minuten 24 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 640$ °C, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 594$ °C), wobei sie kontinuierlich auf über $\dot{V} = 5$ m³/h anstieg. Nach 8 Minuten 32 Sekunden brach der Gasregelblock in der Nähe des Gassiebes ab ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 650$ °C, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 609$ °C). Dabei kam es zu keinem sprunghaften Anstieg des Volumenstroms, da aufgrund der Trägheit der Regeleinrichtung der Druck nicht schnell genug nachgeregelt werden konnte. Der Versuch wurde außerdem sofort abgebrochen, da bei dem freigewordenen Rohrquerschnitt und einem Versorgungsdruck von 2200 Pa der Meßbereich der Volumenstrommeßgeräte überschritten worden wäre.

Beim zweiten Versuch (Bild 27) wurde der in Lichtbild 7 dargestellte kleine Gasbetonstein untergelegt, um auszuschließen, daß es durch das Drehmoment am Gasanschluß zum vorzeitigen Versagen kam.

Bei einer Brandraumtemperatur von $\vartheta_{\text{Brandraum}} = 593$ °C und einer Bauteiloberflächentemperatur von $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 529$ °C (Versuchszeit: 6 Minuten 12 Sekunden) quoll die Dichtung am Anschluß Gaseingang heraus und fiel teilweise ab.

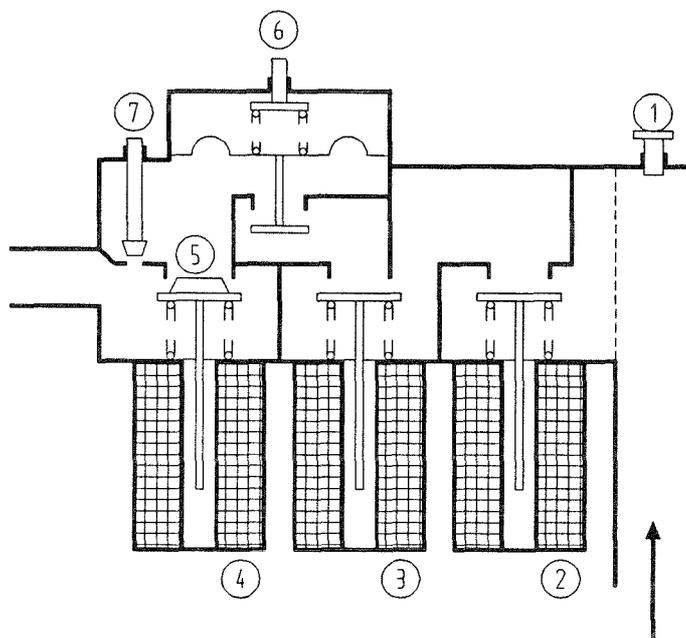
Nach 9 Minuten 30 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 664$ °C, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 629$ °C) stieg die Leckage stetig auf $\dot{V} = 6,6$ m³/h an. Ab Beginn der 11. Minute ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 670$ °C, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 637$ °C) war ein Glimmen der Dichtung und ein Spalt am Anschluß Gaseingang, zwischen Gasregelblock und dem Flansch des Anschlußrohres, zu erkennen. Die glühenden Teilchen der Dichtung wurden dabei herausgeblasen, d.h., daß hier eine äußere Undichtigkeit auftrat.

Nach dem Versuch war an der Dichtringverschraubung zwischen Schraube und Gehäuse ein größeres Loch. Das Gehäuse war hier so stark erweicht, daß der Versorgungsdruck ausreichte, um das Material aufzudrücken.

Bei Beginn der Leckagen mußte es sich in beiden Fällen um innere Undichtigkeiten gehandelt haben. Es waren nämlich auch anhand von Videoanalysen keine äußeren Beschädigungen am Gasregelblock erkennbar. Vergleicht man diese Ergebnisse mit den Einzelteiluntersuchungen am Hauptgasventil des Gasregelblocks, so zeigt sich, daß beim Versuch in Bild 11 der Volumenstrom in etwa mit diesen gleich war. Die Bauteiloberflächentemperatur lag dabei bei ca. $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 516 \text{ }^\circ\text{C}$. Daß die Bauteiloberflächentemperatur bei den ETK-Versuchen mit $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 594 \text{ }^\circ\text{C}$ bzw. $629 \text{ }^\circ\text{C}$ zum Versagenszeitpunkt höher lag, war auf die Trägheit des Gasregelblocks und der damit verzögerten Erwärmung im Inneren des Gasregelblocks zurückzuführen, die sich bei höherem Temperaturgradienten stärker auswirkt.

Nicht nachweisbar waren die geringen Leckagen am Anschluß Gaseingang, wie sie bei den Einzelteiluntersuchungen im Muffelofen auftraten (s. Bilder 1 und 2). Dies lag daran, daß sich die Luft in der ofenseitigen Zuleitung durch die Erwärmung ausdehnte und zu einer Rückströmung führte.

4.2. Gasregelblock Typ B



- | | | | |
|---|-------------------------------|---|--------------------------------|
| 1 | Meßstutzen Anschlußfließdruck | 5 | Regelventil |
| 2 | Magnetventil 1 | 6 | Einstellschraube max. Gasmenge |
| 3 | Magnetventil 2 | 7 | Einstellschraube Startgasmenge |
| 4 | Regelmagnet | | |

Abb. 8: Funktionsschema Gasregelblock Typ B

Bei Wärmeanforderung werden die beiden Magnetventile (Abb. 8: Pos. Nr. 2 und 3) gleichzeitig geöffnet. Das Regelventil (5) bleibt zunächst geschlossen. Über die Öffnung neben dem Regelmagnetventil strömt die Startgasmenge zum Brenner. Die Startgasmenge kann mit der Einstellschraube (7) angepaßt werden. Hat das Gas gezündet, öffnet nach 90 Sekun-

den das Regelventil (5) und gibt die entsprechende Gasmenge frei. Die Öffnung des Regelventils erfolgt mit dem Regelmagneten (4).

4.2.1. Gasregelblock Typ B bei ETK-Beanspruchung

Die Versuche wurden im Kleinprüfstand nach DIN 4102, Teil 8 und einem Versorgungsdruck von 2200 Pa durchgeführt.

Neben den Mantelthermoelementen zur Brandraumtemperaturmessung wurde ein Mantelthermoelement $\varnothing_a = 1$ mm auf der Gasausgangsseite des Gasregelblocks in das Bauteil gesteckt (Bezeichnung im Bild mit "Temperatur im Gasregelblock").

Beim ersten Versuch, dargestellt in Bild 28, lag nach 6 Minuten bereits eine Kunststoffschmelze am Boden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 605$ °C, $\vartheta_{\text{im Gasregelblock}} = 367$ °C). Nach 7 Minuten 30 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 641$ °C, $\vartheta_{\text{im Gasregelblock}} = 436$ °C) konnten Flammen am Gasausgang des Gasregelblocks beobachtet werden. Diese gingen ca. 15 Sekunden später wieder aus. Zu Beginn der 11. Minute ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 677$ °C, $\vartheta_{\text{im Gasregelblock}} = 513$ °C) waren am Gasausgang wieder Flammen sichtbar, die etwa 50 Sekunden später größer wurden. Nach 13 Minuten 30 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 730$ °C, $\vartheta_{\text{im Gasregelblock}} = 560$ °C) war in der Mitte des Gasregelblocks ein ca. 1 cm großes Loch zu erkennen, das im weiteren Versuchsverlauf größer wurde.

Ab der 7. Minute ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 605$ °C, $\vartheta_{\text{im Gasregelblock}} = 376$ °C), bis zum Versuchsende, tropften immer wieder Kunststoffteile ab. Nach 11 Minuten 43 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 678$ °C, $\vartheta_{\text{im Gasregelblock}} = 540$ °C) schmolzen die Stege am Gasregelblock, über die er mit Schrauben in der Gastherme befestigt wird.

Wie in Bild 28 dargestellt, begann die Leckage am Gasregelblock nach 9 Minuten 42 Sekunden, bei einer Brandraumtemperatur von $\vartheta_{\text{Brandraum}} = 678$ °C und einer Temperatur im Gasregelblock von $\vartheta_{\text{im Gasregelblock}} = 510$ °C. Die Leckage stieg dann kontinuierlich auf über $\dot{V} = 4$ m³/h an.

Beim zweiten Versuch (Bild 29) traten die ersten Schmelzerscheinungen an den Kunststoffteilen nach 5 Minuten 15 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 579$ °C, $\vartheta_{\text{im Gasregelblock}} = 285$ °C) auf. Nach 8 Minuten ($\vartheta_{\text{Ofen}} = 643$ °C, $\vartheta_{\text{im Gasregelblock}} = 411$ °C) waren Flammen am Ausgang des Gasregelblocks zu erkennen, die nach 90 Sekunden wieder ausgingen. Erneut Flammen am Ausgang konnten bei einer Brandraumtemperatur von $\vartheta_{\text{Brandraum}} = 685$ °C und einer Temperatur im Gasregelblock von $\vartheta_{\text{im Gasregelblock}} = 476$ °C (Zeit seit Versuchsbeginn: 10 Minuten 30 Sekunden) beobachtet werden. Diese gingen nach ca. 45 Sekunden wieder aus. Nach weiteren 45 Sekunden waren hier wieder einzelne Flammen sichtbar.

Bei einer Brandraumtemperatur von $\vartheta_{\text{Brandraum}} = 729$ °C und einer Temperatur im Gasregelblock von $\vartheta_{\text{im Gasregelblock}} = 557$ °C (14 Minuten 8 Sekunden) war in der Mitte des

Gasregelblocks ein Loch zu erkennen. Der Gasregelblock fiel nach einer Versuchszeit von 14 Minuten 15 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 730 \text{ °C}$) ab.

Wie Bild 29 zeigt, begann nach ca. 10 Minuten 10 Sekunden der Gasregelblock undicht zu werden. Die Brandraumtemperatur zu diesem Zeitpunkt war $\vartheta_{\text{Brandraum}} = 683 \text{ °C}$ und im Gasregelblock $\vartheta_{\text{im Gasregelblock}} = 472 \text{ °C}$. Die Leckage stieg anschließend kontinuierlich auf ca. $\dot{V} = 2,3 \text{ m}^3/\text{h}$ an, bis dann das Versuchsstück abfiel und damit der Volumenstrom sprunghaft anstieg. Zwischen 10 Minuten 48 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 687 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{im Gasregelblock}} = 479 \text{ °C}$) und 11 Minuten 15 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 693 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{im Gasregelblock}} = 490 \text{ °C}$) trat dabei noch eine Unstetigkeit im Kurvenverlauf auf.

Bei Beginn der Leckage waren dies bei beiden Versuchsstücken innere Undichtigkeiten, da im Kurvenverlauf der "Temperatur im Gasregelblock" die Steigung abnahm. Die Leckagen über $\dot{V} = 0,1 \text{ m}^3/\text{h}$ waren auf äußere Undichtigkeiten zurückzuführen, da sonst die Temperatur im Gasregelblock durch das Nachströmen kalter Luft abfallen hätte müssen.

4.2.2. Gasregelblock Typ B im Muffelofen

Das Verhalten des Gasregelblocks bei langsamer Temperaturerhöhung ist in Bild 30 dargestellt.

Der Versuch mußte nach 20 Minuten neu gestartet werden, da in der Luftversorgung eine Undichtigkeit auftrat. Da bis zu diesem Zeitpunkt das Bauteil dicht blieb, wurde der Versuch nach Beseitigung des Schadens sofort wieder gestartet.

Ab der 37. Minute begannen die Kunststoffe an den Magnetventilen zu schmelzen ($\vartheta_{\text{Ofen}} = 286 \text{ °C}$). Nach 59 Minuten 35 Sekunden ($\vartheta_{\text{Ofen}} = 408 \text{ °C}$) war eine Verpuffung und anschließend Flammen an den Kunststoffen der Magnete und am Ausgang des Gasregelblocks. In der 61. Minute erloschen die Flammen bereits wieder. Das Verbrennen der Kunststoffe führte zu starker Rußbildung im Ofen, so daß das Sichtfenster beschlagen wurde und keine weiteren Beobachtungen mehr möglich waren.

Bei einer Ofentemperatur von $\vartheta_{\text{Ofen}} = 472 \text{ °C}$ begann eine Leckage, die für 3 Minuten bei $\dot{V} = 0,05 \text{ m}^3/\text{h}$ lag. Anschließend stieg der Volumenstrom auf über $\dot{V} = 4,5 \text{ m}^3/\text{h}$ an.

Nach dem Versuch zeigte sich, daß der Gasregelblock wieder ein Loch im Gehäuse hatte (s. Lichtbild 8). Es war an der selben Stelle wie bei ETK-Beanspruchung.

Außerdem waren wieder die Ventilteller geschmolzen bzw. verbrannt.

4.2.3. Funktionserhalt der Magnetventile

Mit diesen Versuchen sollte geklärt werden, ab welcher Temperatur die Magnete an den Hauptgasventilen und der Magnet am Regelventil versagen. Hierzu wurden die Magnete am Hauptgasventil mit einem Trafo geöffnet. Mit einem weiteren Trafo wurde das Regelventil

angesteuert und so eingestellt, daß, vor allem beim Muffelofenversuch, der Volumenstrom niedrig war.

Der erste Versuch wurde im Brandversuchssofen bei ETK-Beanspruchung durchgeführt.

Zur Bauteiltemperaturmessung wurde in das Gehäuse des Gasregelblocks ein 5 mm tiefes Loch gebohrt, in dem ein Mantelthermoelement $\varnothing_a = 1$ mm steckte.

Der Volumenstrom nahm dabei zu Beginn des Versuches ab (Bild 31). Deshalb wurde am Trafo, der das Regelventil steuerte, nachgeregelt, wodurch der Volumenstrom, kurz nach 3 Minuten Versuchsdauer, anstieg. Nach 6 Minuten 53 Sekunden ($\vartheta_{\text{Ofen}} = 628$ °C, $\vartheta_{\text{Bauteil}} = 461$ °C) hatte eines der Hauptmagnetventile geschlossen, da der Volumenstrom abrupt auf Null abfiel. Ab der 11. Minute ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 659$ °C, $\vartheta_{\text{Bauteil}} = 548$ °C) konnte dann ein Anstieg der Leckage beobachtet werden. Die Demontage nach dem Versuch zeigte, daß die Ventilteller aus Kunststoff geschmolzen waren. Dadurch war eine innere Undichtigkeit mit einem $\dot{V} = 7$ m³/h möglich.

Der Gasregelblock Typ B im Muffelofen bei geöffneten Magnetventilen ist in Bild 32 dargestellt. Hier wurde versucht, den Volumenstrom niedrig zu halten, da sonst die Leistung des Muffelofens nicht ausreicht, um einen ähnlichen Temperaturanstieg zu erhalten, wie bei den übrigen Versuchen. Der unruhige Kurvenverlauf beim Volumenstrom war auf das ständige Nachregulieren des Regelmagneten mithilfe des Trafos zurückzuführen.

Nach etwa 54 Minuten 30 Sekunden ($\vartheta_{\text{Ofen}} = 286$ °C) hatte eines der Hauptgasventile geschlossen, da der Volumenstrom auf Null zurückging. Ab etwa der 81. Minute ($\vartheta_{\text{Ofen}} = 403$ °C) begannen die Kunststoffe am Gasregelblock zu brennen. Dadurch kam es zu den Unregelmäßigkeiten im Kurvenverlauf der Brandraumtemperatur.

Nach 86 Minuten 15 Sekunden ($\vartheta_{\text{Ofen}} = 465$ °C) begann eine Leckage mit einem Maximum von $\dot{V} = 5$ m³/h.

Nach der Abkühlung wurde am Bauteil eine Leckage von $\dot{V} = 5,4$ m³/h gemessen. Neben den inneren Undichtigkeiten traten an den Dichtungen zwischen den Gehäuseteilen und am Meßstutzen für den Anschlußfließdruck äußere Undichtigkeiten auf.

Das Nachregeln wurde wahrscheinlich erforderlich, da durch das Erweichen des Ventiltellers aus Kunststoff sich der Querschnitt am Regelventil verkleinerte.

4.3. Gasregelblock Typ C

Der Gasregelblock Typ C wird bei atmosphärischen Kesseln ohne modulierende Regelung verwendet. Bei Wärmeanforderung werden die beiden Gasventile elektrisch betätigt. Das erste Ventil wird dabei ganz geöffnet, während das zweite Ventil verzögert öffnet, um den Volumenstrom beim Zünden zu begrenzen.

4.3.1. Gasregelblock Typ C bei ETK-Beanspruchung

Beim Versuch unter ETK-Beanspruchung (Bild 33), konnten nach 8 Minuten 30 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 651 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 390 \text{ °C}$) Flammen am Versuchsstück beobachtet werden.

Gleichzeitig trat am Gasregelblock eine Undichtigkeit auf, wobei die Leckage auf über $\dot{V} = 10 \text{ m}^3/\text{h}$ anstieg.

Die aufgetretenen Leckagen waren größtenteils innere Undichtigkeiten. Eine Volumstrommessung bei verschlossenem Gasausgang ergab nach dem Versuch eine Leckage von $\dot{V} = 1,9 \text{ m}^3/\text{h}$. Die Undichtigkeiten traten dabei an den Dichtungen zwischen den Gehäuseteilen auf. Die Kunststoffe im Bauteilinneren und am Bauteil waren verbrannt bzw. geschmolzen.

4.3.2. Gasregelblock Typ C im Muffelofen

Zur Messung der Bauteiltemperatur wurde am Gasregelblock ein ca. 5 mm tiefes Loch gebohrt, in das ein Mantelthermoelement $\varnothing_a = 1 \text{ mm}$ gesteckt wurde.

In der 61. Minute ($\vartheta_{\text{Ofen}} = 294 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteil}} = 195 \text{ °C}$) begannen die Kunststoffe am Gasregelblock zu schmelzen (Bild 34).

Nach 55 Minuten ($\vartheta_{\text{Ofen}} = 260 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteil}} = 169 \text{ °C}$) und 58 Minuten ($\vartheta_{\text{Ofen}} = 287 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteil}} = 184 \text{ °C}$) traten jeweils kurzzeitige Undichtigkeiten von $\dot{V} = 0,006 \text{ m}^3/\text{h}$ und $\dot{V} = 0,011 \text{ m}^3/\text{h}$ auf. Ab einer Bauteiltemperatur von $\vartheta_{\text{Bauteil}} = 212 \text{ °C}$ stieg die Leckage bis zum Versuchsabbruch auf $\dot{V} = 1,7 \text{ m}^3/\text{h}$ an.

Nach Abkühlung des Gasregelblocks trat bei einer erneuten Leckagemessung nur noch ein Volumenstrom von $\dot{V} = 0,005 \text{ m}^3/\text{h}$ auf. Die Leckagen waren dabei an den Dichtungen zwischen den Gehäuseteilen (Nachweis mit Leckspray). Die Demontage ergab, daß die Membran und der Großteil der Kunststoffe im Gasregelblock noch in Ordnung waren.

Da sonst keine Schäden am Gasregelblock festgestellt werden konnten, wurde das gleiche Bauteil, jetzt aber mit verschlossenem Gasausgang, nochmals im Muffelofen geprüft.

Dabei (Bild 35) trat bei einer Bauteiltemperatur von $\vartheta_{\text{Bauteil}} = 366 \text{ °C}$ bis 384 °C eine Leckage von $\dot{V} = 0,011 \text{ m}^3/\text{h}$ auf. Ab einer Bauteiltemperatur von $\vartheta_{\text{Bauteil}} = 485 \text{ °C}$ stieg die Leckage dann kontinuierlich, bis zum Versuchsabbruch, auf $\dot{V} = 0,76 \text{ m}^3/\text{h}$ an.

Eine nochmalige Leckagemessung nach Abkühlung des Bauteils ergab ein $\dot{V} = 2,6 \text{ m}^3/\text{h}$. Die Leckagen waren an den Dichtungen der Gehäuseteile, sowie am Verschluß am Gasausgang. Bei der Demontage zeigte sich, daß die Kunststoffe im Gasregelblock (z.B. Ventilteller) verbrannt waren (Lichtbild 9).

5. Gas-Kombi-Kesselthermen

Bei den untersuchten Geräten handelte es sich um Gas-Kombi-Kesselthermen mit offener Verbrennungskammer zum Anschluß an einen Schornstein.

Um das Verhalten der Thermen bei unterschiedlicher Temperaturbeanspruchung zu untersuchen, wurde einmal eine Temperaturerhöhung nach der Einheits-Temperatur-Zeitkurve (ETK) [3] und beim zweiten Versuch eine gleichmäßige Temperaturerhöhung um $\Delta\vartheta = 10 \text{ K/min}$ vorgenommen.

Für die Versuche wurden die Gasthermen an einer Ofenwand aus Gasbetonsteinen im Brandversuchshaus mit dem beiliegenden Befestigungsmaterial und nach den Installationsempfehlungen des Herstellers befestigt. Abweichend hiervon erfolgte die Befestigung der Thermen anstatt der Kunststoffdübel, mit durch die Ofenwand gesteckten Gewindestangen.

Der "Gasanschluß" erfolgte von unten, wobei der mitgelieferte Absperrhahn mit eingebaut wurde.

Die Brandraumtemperaturmessung erfolgte mit sechs Thermoelementen $\varnothing_a = 3,2 \text{ mm}$, welche, wie teilweise in Lichtbild 10 dargestellt, seitlich der Therme angeordnet waren.

5.1. Therme Typ A

In der Therme des Typs A wird der Gasregelblock Typ A verwendet.

Neben der Brandraumtemperatur erfolgte zusätzlich eine Temperaturmessung in der Therme mit Mantelthermoelementen $\varnothing_a = 1 \text{ mm}$. Die Mantelthermoelemente wurden hierzu durch Bohrungen in der Ofenwand, in Höhe des Gasregelblocks, gesteckt.

5.1.1. Therme Typ A bei ETK-Beanspruchung

Die Mantelthermoelemente in der Therme waren in der Nähe des Kunststoffgehäuses an der Elektronikunterseite, bei den Luftleitungen Membranpumpe und am Vorrangumschaltventil positioniert. Mit einem weiteren Mantelthermoelement wurde die Oberflächentemperatur am Anschluß Gaseingang des Gasregelblocks gemessen.

Nach 2 Minuten 20 Sekunden tropften bereits die ersten Kunststoffe im rechten Teil der Therme (wo Vorrangumschaltventil) ab. Dies war bei einer Brandraumtemperatur von $\vartheta_{\text{Brandraum}} = 507 \text{ °C}$ (Bild 36) und der Temperatur in der Therme in diesem Bereich (Temperatur Vorrangumschaltventil) von $\vartheta_{\text{Vorrangumschaltventil}} = 322 \text{ °C}$ (Bild 37). Hier konnten auch die ersten vereinzelt Flammen nach 4 Minuten 7 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 549 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Vorrangumschaltventil}} = 337 \text{ °C}$) beobachtet werden, die nach unten aus der Therme herausschlugen. Ab der 8. Minute wurden die Flammen kräftiger ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 644 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{in der Therme}} = 359 \text{ °C}$).

Während der gesamten Versuchszeit tropften immer wieder Kunststoffteile unterschiedlicher Größe ab.

Nach 15 Minuten 45 Sekunden trat die erste Undichtigkeit auf ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 755 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{in der Therme}} = 555 \text{ °C}$), die aber bis einschließlich der 18. Minute ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 766 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 654 \text{ °C}$) nur kurzzeitig zweimal auf über $\dot{V} = 0,12 \text{ m}^3/\text{h}$ anstieg. Im weiteren Versuchsverlauf erhöhte sie sich dann kontinuierlich auf über $\dot{V} = 7,2 \text{ m}^3/\text{h}$.

Zeitgleich mit dem Anstieg der Leckage nach 18 Minuten, löste sich die Therme aus der oberen Befestigungsschiene und neigte sich zur Seite, bis sie an einem Thermoelement zur Brandraumtemperaturmessung anstand.

Nach 18 Minuten 40 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 779 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 690 \text{ °C}$) schlugen die Türen der Therme auf. Eine Minute später fiel die Therme dann ab. Die Aufzeichnungen wurden nach 19 Minuten abgebrochen, so daß ein eventuell weiterer Volumenanstieg, durch das Abfallen der Therme, nicht aufgezeichnet wurde.

5.1.2. Therme Typ A bei $\Delta\vartheta = 10 \text{ K/min}$

Bei diesem Versuch wurde die Temperatur gleichmäßig um $\Delta\vartheta = 10 \text{ K/min}$ erhöht. Lediglich zu Beginn des Versuchs war ein stärkerer Temperaturanstieg, da die Brennerleistung nicht weiter abgesenkt werden konnte.

Die Mantelthermoelemente in der Therme befanden sich an der Unterseite der Elektronik, zwischen Elektronik und Gasregelblock, zwischen Gasregelblock und Vorrangumschaltventil und an der Oberfläche des Vorrangumschaltventils.

Nach 17 Minuten 27 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 291 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{in der Therme}} = 210 \text{ °C}$) fielen die ersten geschmolzenen Kunststofftropfen auf der rechten Seite der Therme ab (Bild 38). Das Abfallen weiterer geschmolzener Kunststoffteile konnte während des gesamten Versuchs beobachtet werden.

Nachdem sich die untere Tür der Therme nach 32 Minuten 40 Sekunden etwas geöffnet hatte ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 443 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{in der Therme}} = 304 \text{ °C}$), stieg die Temperatur in der Therme stärker an. Ab der 37. Minute ging die obere Tür der Therme ständig auf und zu.

In der 45. Minute waren kurzzeitig einzelne kleinere Flammen auf der linken Seite der Therme zu beobachten ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 558 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{in der Therme}} = 475 \text{ °C}$).

Bei einer Brandraumtemperatur von $\vartheta_{\text{Brandraum}} = 570 \text{ °C}$ und einer mittleren Temperatur in der Therme von $\vartheta_{\text{in der Therme}} = 517 \text{ °C}$ begann die Therme nach 45 Minuten 32 Sekunden schlagartig zu brennen. Daraufhin stieg die Temperatur in der Therme über die Brandraumtemperatur an.

Die erste Leckage von maximal $\dot{V} = 0,013 \text{ m}^3/\text{h}$ trat zwischen der 41. und 42. Minute ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 517 \dots 537 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{in der Therme}} = 434 \dots 449 \text{ °C}$) auf. Nach 47 Minuten 12 Se-

kunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 598 \text{ }^\circ\text{C}$, $\vartheta_{\text{in der Therme}} = 704 \text{ }^\circ\text{C}$) begann die Leckage, mit einer Unstetigkeit nach 48 Minuten, auf über $\dot{V} = 12 \text{ m}^3/\text{h}$ anzusteigen.

In der 51. Minute, kurz nach Beendigung der Meßwertaufzeichnung, fiel die Therme ab.

Nach Abkühlung des Ofens lag die Dichtringverschraubung des Gasregelblocks an der gegenüberliegenden Ofenwand. Durch das Ausschmelzen dieses Bauteils kam es zum schnellen Anstieg des Volumenstroms.

Der Gasregelblock brach, wahrscheinlich beim Abfallen der Therme, zwischen Gassieb und Gehäuse auseinander. Das Gehäuse selbst war teilweise beschädigt.

Die kurzzeitige Leckage ab der 41. Minute war auf Undichtigkeiten am Anschluß Gaseingang, der Dichtringverschraubung und / oder am Absperrhahn zurückzuführen.

Der anschließende Volumenstromanstieg dürfte auf innere Undichtigkeiten durch Versagen der Kunststoffe an den Ventilen zurückzuführen sein, bis dann, nach der Unstetigkeit, die Schraube ausriß.

In Lichtbild 11 ist die abgefallene Therme nach dem Brandversuch dargestellt.

5.2. Therme Typ B

In der Therme des Typs B wird der Gasregelblock Typ B verwendet.

Neben der Brandraumtemperatur erfolgte zusätzlich die Temperaturmessung in der Therme mit Mantelthermoelementen $\varnothing_a = 1 \text{ mm}$. Die Mantelthermoelemente wurden hierzu durch Bohrungen in der Ofenwand, in der Höhe des Gasregelblocks, gesteckt. Sie wurden in der Nähe des Trafos, an der Elektronik, ca. 20 mm vor dem Elektronikasten und in der Nähe des Kaltwassereingangs der Therme positioniert. Mit einem weiteren Mantelthermoelement erfolgte eine Oberflächentemperaturmessung am Gaseingang des Gasregelblocks.

5.2.1. Therme Typ B bei ETK-Beanspruchung

Bereits nach 20 Sekunden öffnete sich die Kunststoffabdeckung der Therme, mit der die Bedienelemente abgedeckt waren. Bei einer Brandraumtemperatur von $\vartheta_{\text{Brandraum}} = 173 \text{ }^\circ\text{C}$ (1 Minute 39 Sekunden) (Bild 39) traten die ersten Verformungen an den Kunststoffteilen auf, die dann mit zunehmender Temperatur schmolzen und abfielen. Nach 1 Minute 30 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 417 \text{ }^\circ\text{C}$, $\vartheta_{\text{in der Therme}} = 237 \text{ }^\circ\text{C}$) waren die ersten Flammen auf der rechten Seite der Therme erkennbar. 9 Sekunden später fiel die ganze Thermenabdeckung ab ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 441 \text{ }^\circ\text{C}$, $\vartheta_{\text{in der Therme}} = 268 \text{ }^\circ\text{C}$). Der Grund hierfür lag in der Befestigung dieser Abdeckung am Gestell der Therme. Diese Befestigung erfolgte mit vier Metallbügeln. Die Metallbügel wiederum waren mit Kunststoffformteilen am Gestell befestigt. Nach dem Schmelzen des Kunststoffs löste sich dann der Metallbügel vom Gestell.

Nach dem Abfallen der Abdeckung stieg die Temperatur in der Therme sprunghaft an.

Nach 2 Minuten 32 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 480 \text{ }^\circ\text{C}$, $\vartheta_{\text{in der Therme}} = 378 \text{ }^\circ\text{C}$) löste sich der Elektronikkasten aus seiner Halterung und neigte sich zur Seite. 15 Sekunden später fiel der Elektronikkasten nach unten und blieb dabei an den Drähten der Leitungen hängen.

Während des weiteren Versuchsverlaufs gab es immer wieder Phasen, in denen die Flammen in der Therme stärker wurden, zwischenzeitlich aber auch wieder ausgingen.

Nach 10 Minuten 20 Sekunden begann die Leckage ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 691 \text{ }^\circ\text{C}$, $\vartheta_{\text{in der Therme}} = 685 \text{ }^\circ\text{C}$) kontinuierlich bis zu einem Maximum von $\dot{V} = 6,51 \text{ m}^3/\text{h}$ anzusteigen. Der Gasregelblock war nach dem Versuch zur Ofenseite hin geneigt (Lichtbild 12) und hatte am Gasanschluß und am Gehäusedeckel, oberhalb vom Gasanschluß, ein Loch. Außerdem war die Verbindung zwischen Gasregelblock und Brenner unterbrochen.

Zeitgleich mit dem Auftreten der Undichtigkeit intensivierte sich der Brand in der Therme. Dies dürfte auf die Sauerstoffzufuhr durch äußere Undichtigkeiten zurückzuführen sein.

Das Auftreten der Undichtigkeiten stimmte sowohl zeitlich, als auch bei der Brandraumtemperatur, ziemlich genau mit dem Versagen bei den Untersuchungen am Gasregelblock bei ETK-Beanspruchung überein (s. Bilder 28 und 29). Ausschlaggebend hierfür war das Abfallen der Abdeckung zu Beginn des Versuchs, so daß die Bauteile der Brandraumtemperatur ungeschützt ausgesetzt waren.

5.2.2. Therme Typ B bei $\Delta\vartheta = 10 \text{ K/min}$

Bei diesem Versuch wurde die Temperatur gleichmäßig um $\Delta\vartheta = 10 \text{ K/min}$ erhöht. Lediglich zu Beginn des Versuchs (Bild 40) kam es zu einem stärkeren Temperaturanstieg, da die Brennerleistung nicht weiter gesenkt werden konnte.

Nach 1 Minute 41 Sekunde ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 84 \text{ }^\circ\text{C}$, $\vartheta_{\text{in der Therme}} = 65 \text{ }^\circ\text{C}$) klappte die Kunststoffabdeckung, mit der die Bedienungselemente der Therme abgedeckt waren, nach unten. 28 Sekunden später ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 91 \text{ }^\circ\text{C}$, $\vartheta_{\text{in der Therme}} = 70 \text{ }^\circ\text{C}$) konnten die ersten Verformungen an den Kunststoffteilen beobachtet werden. Nach 5 Minuten fiel die Kunststoffabdeckung ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 115 \text{ }^\circ\text{C}$, $\vartheta_{\text{in der Therme}} = 109 \text{ }^\circ\text{C}$) ab. Im weiteren Versuchsverlauf tropften ständig geschmolzene Kunststoffteile ab. Bei einer Brandraumtemperatur von $\vartheta_{\text{Brandraum}} = 287 \text{ }^\circ\text{C}$ und einer mittleren Temperatur von $\vartheta_{\text{in der Therme}} = 257 \text{ }^\circ\text{C}$ (21 Minuten 30 Sekunden) tropften größere Stücke am Elektronikkasten ab. Eine Minute später ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 293 \text{ }^\circ\text{C}$, $\vartheta_{\text{in der Therme}} = 258 \text{ }^\circ\text{C}$) hing der Elektronikkasten an den Leitungen, ca. 100 mm unter der Therme. Er fiel dann in der 31. Minute ab ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 359 \text{ }^\circ\text{C}$, $\vartheta_{\text{in der Therme}} = 351 \text{ }^\circ\text{C}$). Nach 37 Minuten 53 Sekunden löste sich die Abdeckung der Therme aus ihrer Halterung und senkte sich um ca. 150 mm ab.

Bei einer Brandraumtemperatur von $\vartheta_{\text{Brandraum}} = 465 \text{ °C}$ und einer mittleren Temperatur in der Therme von $\vartheta_{\text{in der Therme}} = 432 \text{ °C}$, begann die Therme schlagartig zu brennen. Dadurch war in der Folge die Temperatur in der Therme höher als die Brandraumtemperatur.

Nach 42 Minuten 42 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 499 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{in der Therme}} = 589 \text{ °C}$) konnte eine Undichtigkeit gemessen werden, die dann auf ca. $\dot{V} = 4,7 \text{ m}^3/\text{h}$ anstieg. Mit dem Anstieg der Leckage ging eine Brandintensivierung an der Therme einher.

Das Gehäuse des Gasregelblocks hatte nach dem Versuch mehrere Löcher. Außerdem war die Verbindung zum Brenner unterbrochen.

6. Bauteile in der Gasinstallation

Die Versuche wurden, sofern in den Ergebnisbeschreibungen keine anderen Angaben gemacht wurden, im Kleinprüfstand nach DIN 4102, Teil 8 [4] durchgeführt. Die Temperaturerhöhung erfolgte nach der Einheits-Temperatur-Zeitkurve (ETK) (DIN 4102, Teil 2) [3].

Zur Abdichtung der Bauteile auf der Ausgangsseite des Prüfkörpers wurden Kappen oder Stopfen nach DIN 2950 [6] aufgeschraubt. Als Dichtmittel wurde eine in der Gasinstallation zulässige Dichtpaste mit Hanf als Dichtmittelträger verwendet

Bei den Versuchen wurde der Versorgungsdruck auf 5000 Pa konstant gehalten.

6.1. Isolierstück

Das im Versuch verwendete Isolierstück hatte die Nennweite 40. Zur Luftversorgung war auf der Eingangsseite ein Gewinderohr DIN 2440 - DN 40 - nahtlos [7] angeschweißt. Aus Platzgründen im Ofen wurde das Isolierstück auf der Ausgangsseite gekürzt und mit einer Kappe (DIN 2950) abgedichtet. Um das Isolierstück war ein Bitumenanstrich (Schutzanstrich) aufgetragen.

Beim ersten Versuch (Bild 41) begann nach 13 Minuten 20 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 720 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 528 \text{ °C}$) das Versuchsstück undicht zu werden. Die Leckage stieg bis zur 65. Minute ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 960 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 910 \text{ °C}$) auf $\dot{V} = 0,11 \text{ m}^3/\text{h}$ an und sank dann bis zum Versuchsabbruch auf $\dot{V} = 0,08 \text{ m}^3/\text{h}$ ab.

Nach 3 Minuten 30 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 523 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 175 \text{ °C}$) begann der Schutzanstrich auf der flammenzugewandten Seite zu schmelzen. Von der 6. ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 574 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 245 \text{ °C}$) bis zur 16. Minute ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 730 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 568 \text{ °C}$) brannte und tropfte der Schutzanstrich ab.

Der Wiederholungsversuch (Bild 42) hatte den Beginn der Leckage nach 13 Minuten 36 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 715 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 557 \text{ °C}$). Sie blieb bis zur 33. Minute ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 847 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 776 \text{ °C}$) nahezu konstant bei $\dot{V} = 0,008 \text{ m}^3/\text{h}$. Anschließend sank sie bis zur 45. Minute ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 897 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 850 \text{ °C}$) auf $\dot{V} = 0,0034 \text{ m}^3/\text{h}$ ab. Nach dem anschließenden Anstieg bis zur 51. Minute ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 919 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 884 \text{ °C}$) blieb die Leckage bis zum Versuchsabbruch konstant bei $\dot{V} = 0,016 \text{ m}^3/\text{h}$.

Bei einer Brandraumtemperatur von $\vartheta_{\text{Brandraum}} = 508 \text{ °C}$ und einer Bauteiloberflächentemperatur von $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 174 \text{ °C}$ begann der Schutzanstrich auf der flammenzugewandten Seite zu brennen. Während der Versuchszeit von 3 Minuten 50 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 525 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 211 \text{ °C}$) bis 14 Minuten 50 Sekunden

($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 731 \text{ }^\circ\text{C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 568 \text{ }^\circ\text{C}$) brannte der Schutzanstrich und tropfte ab.

Die Undichtigkeiten traten bei beiden Versuchsstücken an der Trennstelle (Lichtbild 13) auf. Das Isolationsmaterial war nach dem Versuch noch vorhanden, aber brüchig.

6.2. Hauptabsperrhahn mit integriertem Isolierstück

Bei dem untersuchten Bauteil handelte es sich um einen Kugelhahn mit Isolierstück für thermisch erhöhte Belastbarkeit, Nennweite DN 40.

Das Versuchsstück wurde ausgangsseitig mit einem Stopfen (DIN 2950) [6] abgedichtet. Der Absperrhahn befand sich in Offenstellung.

Nach 19 Minuten ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 769 \text{ }^\circ\text{C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 707 \text{ }^\circ\text{C}$) begann am Bauteil eine Undichtigkeit mit einem Volumenstrom von $\dot{V} = 0,007 \text{ m}^3/\text{h}$ (Bild 43). Bei einer Brandraumtemperatur von $\vartheta_{\text{Brandraum}} = 895 \text{ }^\circ\text{C}$ und einer Bauteiloberflächentemperatur von $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 874 \text{ }^\circ\text{C}$ (43 Minuten 36 Sekunden) stieg die Leckage rapide an. Sie überstieg dabei das Meßbereichsmaximum von $\dot{V} = 15 \text{ m}^3/\text{h}$.

Nach 8 Minuten ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 632 \text{ }^\circ\text{C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 506 \text{ }^\circ\text{C}$) konnten Flammen am Bauteil beobachtet werden.

Beim Wiederholungsversuch (Bild 44) trat zwischen der 26. und 43. Minute ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 771 \text{ }^\circ\text{C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 712 \text{ }^\circ\text{C}$ bzw. $\vartheta_{\text{Brandraum}} = 862 \text{ }^\circ\text{C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 808 \text{ }^\circ\text{C}$) ein Leckage von $\dot{V} = 0,003 \text{ m}^3/\text{h}$ auf. Nach 54 Minuten 36 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 907 \text{ }^\circ\text{C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 854 \text{ }^\circ\text{C}$) trat eine erneute Undichtigkeit am Versuchsstück auf, die dann 3 Minuten später ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 923 \text{ }^\circ\text{C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 866 \text{ }^\circ\text{C}$) rapide anstieg und dabei das Meßbereichsmaximum überstieg.

Zwischen der 11. und 18. Minute brannte das Bauteil ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 611 \text{ }^\circ\text{C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 526 \text{ }^\circ\text{C}$ bzw. $\vartheta_{\text{Brandraum}} = 708 \text{ }^\circ\text{C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 645 \text{ }^\circ\text{C}$).

Bei beiden Versuchen lag nach dem Versuch der Betätigungshebel auf dem Brandraumboden. Die Steuerwelle aus Messing (CuZn40Pb3) war bei beiden Versuchsstücken nicht mehr vorhanden. Hier trat auch die Undichtigkeit auf.

Das Versuchsstück mit den abgefallenen Teilen ist in Lichtbild 14 dargestellt.

6.3. Gasfilter

Das Anschlußgewinde am Gasfilter hatte die Größe Rp 1, so daß druckseitig ein Gewinderohr DN 25 verwendet wurde.

Bei der Temperaturbeanspruchung nach ETK, versagte das Bauteil nach 9 Minuten 26 Sekunden (Bild 45), bei einer Brandraumtemperatur von $\vartheta_{\text{Brandraum}} = 677 \text{ }^\circ\text{C}$ und einer

Bauteiloberflächentemperatur von $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 562 \text{ °C}$. Der Versuch wurde wegen des starken Anstiegs der Leckage zum Schutz der Volumenstrommeßeinrichtung daraufhin sofort abgebrochen.

Die Leckage trat zwischen dem Gehäuse und dem Gehäusedeckel (beides Aluminium) auf, wobei sich zwischen den Verschraubungen ein Spalt bildete (Lichtbild 15).

Nach 9 Minuten, bei einer Brandraumtemperatur von $\vartheta_{\text{Brandraum}} = 671 \text{ °C}$ und einer Bauteiloberflächentemperatur von $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 546 \text{ °C}$, waren Flammen am Bauteil zu erkennen.

Bei dem Versuch im Muffelofen wurde die Bauteiltemperatur gemessen. Hierzu wurde neben dem Rohranschluß ein 5 mm tiefes 1,2 mm Loch gebohrt, in das ein Mantelthermoelement ($\varnothing_a = 1 \text{ mm}$) gesteckt wurde.

Wie Bild 46 zeigt, trat nach 81 Minuten 18 Sekunden, bei einer Bauteiltemperatur von $\vartheta_{\text{Bauteil}} = 372 \text{ °C}$, eine Undichtigkeit auf, die allerdings nach weiteren 7 Minuten ($\vartheta_{\text{Bauteil}} = 411 \text{ °C}$) wieder unter der Nachweisgrenze lag. Das Maximum der Leckage betrug dabei $\dot{V} = 0,017 \text{ m}^3/\text{h}$. Diese Leckage kam durch das Schmelzen des Perbunandichtungs rings zwischen dem Gehäuse und dem Gehäusedeckel und anschließender erneuter Abdichtung, ähnlich wie beim Anschluß Gaseingang, zustande.

Nach 93 Minuten 36 Sekunden ($\vartheta_{\text{Bauteil}} = 435 \text{ °C}$) begann erneut eine Undichtigkeit am Bauteil, die nach weiteren 10 Minuten ($\vartheta_{\text{Bauteil}} = 491 \text{ °C}$) bis zum Versuchsabbruch kontinuierlich auf $\dot{V} = 1,3 \text{ m}^3/\text{h}$ anstieg.

Auch hier trat die Undichtigkeit wieder zwischen Gehäuse und Gehäusedeckel auf, wobei der Spalt diesmal kleiner war.

Die Unstetigkeiten im Temperaturverlauf der Brandraumtemperatur zwischen der 94. und 102. Minute waren auf das Brennen des Bauteils zurückzuführen.

6.4. Zählerdruckregler

Bei den Zählerdruckreglern wurden zwei unterschiedliche Fabrikate untersucht. Die Zählerdruckregler waren ohne Gasmangelsicherung.

Bei Ausführung mit Gasmangelsicherung wird, nach Angaben der Hersteller, lediglich ein zusätzlicher Ventilteller eingebaut. Der Aufbau ist sonst identisch.

Zur Prüfung des Regelverhaltens der Zählerdruckregler war am Ausgang ein Rohr angeschraubt, welches wieder aus dem Brandraum geführt wurde. Mit einem Absperrhahn konnte dieses Rohr, zur Feststellung äußerer Undichtigkeiten am Probekörper, verschlossen werden. Wie bei allen anderen Versuchen erfolgte eine Druckmessung am Rohr vor Eintritt in den Ofen und hier zusätzlich am Ausgang des Rohres, vor dem Absperrhahn.

Die Dichtung der Verschraubung am Eingang des Zählerdruckreglers wurde, auf Empfehlung der Stadtwerke, bei welchen die Gaszähler gekauft wurden, durch eine andere, von den Stadtwerken mitgelieferte Dichtung, ersetzt. Am Ausgang blieb die Originaldichtung des Herstellers.

6.4.1. Zählerdruckregler Typ A

Der Druck nach dem Regler betrug vor Versuchsbeginn 2427 Pa, bei einem Versorgungsdruck von 5000 Pa.

Der Druckverlauf während des Versuchs vor und nach dem Zählerdruckregler wurde in Bild 47 dargestellt. Dabei zeigte sich, daß der Druck nach dem Regler in den ersten 2 Minuten 24 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 492 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 156 \text{ °C}$) auf 1905 Pa abnahm und dann sprunghaft auf über 4900 Pa anstieg. Zwischen der 12. ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 704 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 555 \text{ °C}$) und der 19. Minute ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 770 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 664 \text{ °C}$) stellte sich nach dem Zählerdruckregler ein höherer Druck als vor dem Zählerdruckregler ein. Dies war auf das Vergasen der Kunststoffe im Zählerdruckregler zurückzuführen, da gleichzeitig ein Rückströmen an den Gaszählern beobachtet werden konnte.

Nach 4 Minuten wurde der Absperrhahn geschlossen, so daß der Volumenstrom auf Null zurückging (Bild 48).

Die erste nachweisbare Leckage von $\dot{V} = 0,04 \text{ m}^3/\text{h}$ trat nach 25 Minuten 21 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 821 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 727 \text{ °C}$) auf.

Nach 42 Minuten 26 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 897 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 822 \text{ °C}$) fiel das Verbindungsstück zwischen Gaszähler und Anschlußrohr nach einem Knall ab. Daraufhin wurde der Versuch sofort abgebrochen. Nach Reparatur des Schadens und erneuter Volumenstrommessung wurde bereits bei Druckerhöhung der zulässige Volumenstrommeßbereich überschritten.

Die hohe Leckage trat am Gehäuse der SollwertEinstellung auf, wo ein Teil des Gehäuses fehlte (Lichtbild 16).

Zwischen der 10. ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 679 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 516 \text{ °C}$) und 30. Minute ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 845 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 759 \text{ °C}$) waren kleine gelbe Flammen am Kopf des SollwertEinstellgehäuses erkennbar.

Beim Wiederholungsversuch betrug der Druck zu Beginn des Brandversuchs nach dem Zählerdruckregler 2517 Pa (Bild 49). Er sank in den ersten 2 Minuten 36 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 454 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 143 \text{ °C}$) auf 1877 Pa ab und stieg dann abrupt auf ca. 4950 Pa an.

Der Absperrhahn wurde nach 5 Minuten 30 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 579 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 294 \text{ °C}$) geschlossen (Bild 50). Nach 15 Minuten ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 740 \text{ °C}$,

$\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 569 \text{ °C}$) trat die erste nachweisbare Leckage am Versuchsstück auf. Diese stieg dann ab der 20. Minute ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 762 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 618 \text{ °C}$) bis zum Versuchsabbruch nach 25 Minuten 24 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 819 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 692 \text{ °C}$) auf $\dot{V} = 0,56 \text{ m}^3/\text{h}$ an.

Die Leckage trat wieder am Gehäuse der SollwertEinstellung auf, wobei diesmal an der Abdeckkappe am Kopf des Gehäuses ein kleines Loch in Form eines Halbmonds mit einem Durchmesser von ca. 3 mm war.

Zwischen der 10. ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 676 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 457 \text{ °C}$) und der 21. Minute ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 783 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 641 \text{ °C}$) konnten kleine gelbe Flammen am Kopf der SollwertEinstellung beobachtet werden.

Bei beiden Versuchen konnte die Verschraubung am Ausgang nur schwer gelöst werden. Die Dichtung war nicht mehr vorhanden. Eingangsseitig lies sich die Verschraubung leicht aufschrauben; die Dichtung war noch vorhanden, jedoch brüchig.

6.4.2. Zählerdruckregler Typ B

Bei Versuchsbeginn betrug der Druck nach dem Regler 2240 Pa (Bild 51), bei geöffnetem Absperrhahn und einem Versorgungsdruck von 5000 Pa. Er blieb die ersten 96 Sekunden nahezu konstant ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 464 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 106 \text{ °C}$) und stieg dann in den folgenden 92 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 484 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 195 \text{ °C}$) auf 4933 Pa an. Zeitgleich erhöhte sich der Volumenstrom von anfangs $\dot{V} = 0,33 \text{ m}^3/\text{h}$ auf $\dot{V} = 0,45 \text{ m}^3/\text{h}$ (Bild 52). Daraufhin sank der Druck bis zu einer Versuchszeit von 5 Minuten 12 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 581 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 304 \text{ °C}$) auf 19 Pa ab. Parallel hierzu reduzierte sich der Volumenstrom durch das Bauteil (Bild 52). Anschließend stieg der Druck, mit einzelnen Unstetigkeiten, wieder an, wobei sich dies auch im Volumenstrom widerspiegelte.

Nach 8 Minuten ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 640 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 450 \text{ °C}$) wurde der Absperrhahn geschlossen, um die äußeren Undichtigkeiten festzustellen.

Der Zählerdruckregler begann nach 14 Minuten 36 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 734 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 624 \text{ °C}$) undicht zu werden, wobei die Leckage bei $\dot{V} = 0,008 \text{ m}^3/\text{h}$ lag. Nach weiteren 5 Minuten ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 784 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 687 \text{ °C}$) stieg der Volumenstrom auf $\dot{V} = 0,15 \text{ m}^3/\text{h}$ an. Dieser nahm dann ab der 35. Minute ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 862 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 786 \text{ °C}$) auf $\dot{V} = 0,008 \text{ m}^3/\text{h}$ ab. Nach genau 46 Minuten, bei einer Brandraumtemperatur von $\vartheta_{\text{Brandraum}} = 908 \text{ °C}$ und einer Bauteiloberflächentemperatur von $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 841 \text{ °C}$, stieg die Leckage sprunghaft an. Der Versuch wurde daraufhin sofort abgebrochen.

Der sprunghafte Anstieg des Volumenstroms war auf das Ausreißen der Verschraubung an der SollwertEinstellfeder zurückzuführen (Lichtbild 17).

Beim Wiederholungsversuch betrug der Druck nach dem Regler zu Beginn des Versuchs 2191 Pa (Bild 53). Er fiel in den ersten 108 Sekunden auf 2143 Pa ab ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 486 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 167 \text{ °C}$) und stieg anschließend bis 3 Minuten 48 Sekunden auf 4942 Pa (Maximum) an.

Der Volumenstrom (Bild 54) stieg parallel zum Druck von anfangs $\dot{V} = 0,3 \text{ m}^3/\text{h}$ auf $\dot{V} = 0,42 \text{ m}^3/\text{h}$ an.

Anschließend fiel der Druck ab und erreichte nach 6 Minuten 48 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 607 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 404 \text{ °C}$) ein Minimum von 8,8 Pa, bei weiterhin konstantem Druck von 5000 Pa vor dem Zählerdruckregler. Zeitgleich sank der Volumenstrom.

Eine Minute später ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 642 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 468 \text{ °C}$) stieg der Druck deutlich an. Mit 120 Sekunden Zeitverzögerung trat der Anstieg im Volumenstrom auf ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 676 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 551 \text{ °C}$).

Nach 10 Minuten 15 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 681 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 561 \text{ °C}$) wurde der Absperrhahn am Ausgang geschlossen. Daraufhin stieg der Druck nach dem Bauteil an und der Volumenstrom sank unter die Nachweisgrenze.

Nach 14 Minuten 55 Sekunden begann am Bauteil eine äußere Undichtigkeit aufzutreten ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 740 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 681 \text{ °C}$).

Der sprunghafte Anstieg nach 17 Minuten 30 Sekunden, bei einer Brandraumtemperatur von $\vartheta_{\text{Brandraum}} = 750 \text{ °C}$ und einer Bauteiloberflächentemperatur von $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 720 \text{ °C}$ mit einer Leckage von $\dot{V} = 0,15 \text{ m}^3/\text{h}$, war auf die Zerstörung der Meßeinrichtung nach einem Druckstoß im Bauteil zurückzuführen.

Die Undichtigkeit trat wieder an der Verschraubung zur Sollwerteneinstellung auf.

6.5. Gaszähler

Durch die Erwärmung des großen Luftvolumens im Balgengaszähler kam es zu einer starken Rückströmung, welche von der Volumenstrommeßeinrichtung nicht aufgenommen werden konnte. Deshalb wurde bei der Luftversorgung vor dem Eintritt in den Ofen ein T-Stück eingebaut, an welchem zusätzlich ein Absperrhahn angeschraubt war. Bei Versuchsbeginn war der Absperrhahn geöffnet, so daß die rückströmende Luft aus dem Versuchstück abströmen konnte. Es wurde versucht, den durch den Absperrhahn abströmenden Volumenstrom so niedrig wie möglich zu halten. Hierzu war ein ständiges Nachregulieren am Absperrhahn erforderlich, wodurch es zu den Schwankungen im Kurvenverlauf in den Diagrammen kam.

Die Oberflächentemperaturmessung erfolgte am Blechgehäuse des Gaszählers.

Beim ersten Versuch (Bild 55) kam es ab der 10. Minute ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 667 \text{ }^\circ\text{C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 516 \text{ }^\circ\text{C}$) zu einer starken Rückströmung.

Ab der 36. Minute war der Volumenstrom unter die Nachweisgrenze abgesunken. Zu diesem Zeitpunkt war der Absperrhahn nur noch leicht geöffnet. Der verbleibende Spalt wurde wahrscheinlich durch die Verfestigung der Kunststoffe aus dem Versuchsstück verlegt. In der 47. Minute wurde der Absperrhahn dann geschlossen. Hierzu war ein höherer Kraftaufwand nötig.

Am Bauteil traten bis zum Versuchsabbruch keine nachweisbaren äußeren Undichtigkeiten auf.

Nach 2 Minuten 13 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 448 \text{ }^\circ\text{C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 264 \text{ }^\circ\text{C}$) begann das Zählwerk am Gaszähler zu Schmelzen und fiel nach 3 Minuten 20 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 494 \text{ }^\circ\text{C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 310 \text{ }^\circ\text{C}$) ab.

Beim Wiederholungsversuch (Bild 56) wurde der Absperrhahn nach 32 Minuten ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 849 \text{ }^\circ\text{C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 797 \text{ }^\circ\text{C}$) geschlossen. Bis zum Versuchsende traten am Bauteil keine nachweisbaren äußeren Undichtigkeiten auf.

Nach 2 Minuten 40 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 493 \text{ }^\circ\text{C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 377 \text{ }^\circ\text{C}$) begann das Zählwerk zu schmelzen und fiel nach 5 Minuten 16 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 577 \text{ }^\circ\text{C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 450 \text{ }^\circ\text{C}$) ab.

In einem weiteren Versuch wurde der Druckverlauf im Gaszähler bei verschlossenem Ein- und Ausgang gemessen (Bild 57). Der Druck im Bauteil wurde mit einem Überdruckaufnehmer Typ 11 der Fa. Hottinger Baldwin Meßtechnik aufgenommen und über dazugehörige Meßverstärker mit EDV aufgezeichnet. Dabei stieg der Druck im Bauteil bis 7 Minuten 24 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 637 \text{ }^\circ\text{C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 534 \text{ }^\circ\text{C}$) auf 2,591 bar an und sank daraufhin abrupt ab. Dabei hatte das Gehäuse am Falz, wo die beiden Gehäuseteile verbunden waren, aufgemacht (Lichtbild 18).

6.6. Gas-Kugelhahn

Das Versuchsstück war ein Gaskugelhahn der Größe DN 25.

Während des Versuchs befand sich der Kugelhahn in Offenstellung. Am Ausgang wurde ein Stopfen (schwarz) eingeschraubt.

Am Bauteil trat nach 47 Minuten ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 914 \text{ }^\circ\text{C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 864 \text{ }^\circ\text{C}$) ein sprunghafter Anstieg der Leckage auf (Bild 58). Der Versuch wurde daraufhin zum Schutz der Meßeinrichtung sofort abgebrochen, wobei der Volumenstrom zu diesem Zeitpunkt bei $\dot{V} = 5,98 \text{ m}^3/\text{h}$ lag.

Zum schnellen Anstieg der Leckage kam es durch das Schmelzen des Gehäuses auf der dem Betätigungshebel abgewandten Seite (Lichtbild 19).

Beim Wiederholungsversuch wurde die Bauteiloberflächentemperatur auf der flammenzugewandten Seite gemessen. Dabei trat nach 45 Minuten ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 904 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 883 \text{ °C}$) eine Leckage auf, die nach 47 Minuten 7 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 910 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 890 \text{ °C}$) rasch anstieg (Bild 59). Auch hier wurde der Versuch daraufhin sofort abgebrochen. Die Leckage lag vor Abbruch des Versuchs bei $\dot{V} = 7,2 \text{ m}^3/\text{h}$.

Das Gehäuse war wieder auf der dem Betätigungshebel abgewandten Seite geschmolzen.

6.7. Gas-Anschlußkugelhahn

Der Gasanschlußkugelhahn mit arretierbarer "Zu"-Stellung war bei der Therme Typ A im Zubehör. Die Prüfung erfolgte im Muffelofen in der Offenstellung. Ausgangsseitig wurde ein Stopfen eingeschraubt.

Zur Messung der Bauteilinnentemperatur wurde über die Zuleitung ein Mantelthermoelement $\varnothing_a = 1 \text{ mm}$ bis zum Versuchsstück geschoben.

Bei einer Bauteiloberflächentemperatur von $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 422 \text{ °C}$ bis 476 °C trat eine Leckage mit einem Maximum von $\dot{V} = 0,005 \text{ m}^3/\text{h}$ auf (Bild 60). Eine weitere Leckage, mit einem Maximum von $\dot{V} = 0,0045 \text{ m}^3/\text{h}$, war bei einer Bauteiloberflächentemperatur von $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 502 \text{ °C}$ bis 543 °C . Anschließend blieb das Bauteil, bis zum Versuchsabbruch bei einer Bauteiloberflächentemperatur von $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 689 \text{ °C}$, dicht.

Nach Abkühlung des Bauteils konnte der Kugelhahn in beide Richtungen gedreht werden, wobei hier dann eine Undichtigkeit auftrat.

6.8. Gassteckdose

Die Gassteckdose hatte einen Anschluß DN 15. Deshalb wurde auch die ofenseitige Zuleitung in der gleichen Größe ausgeführt. Die Verbindung Zuleitung/Gassteckdose erfolgte mit einem Winkel DIN 2950 - 90 - $\frac{1}{2}$ v [6], so daß der Gassteckdosenanschluß, wie in der Installationsanweisung des Herstellers angegeben, nach unten zeigte. Die Gewindeverbindungen wurden mit einer für die Gasinstallation zugelassenen Dichtpaste und Hanf als Dichtmittelträger abgedichtet.

Das Bauteil blieb bis zur 56. Minute ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 933 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 886 \text{ °C}$) dicht (Bild 61). Daraufhin stieg die Leckage rasch an, so daß der Versuch aus Sicherheitsgründen bei einem Volumenstrom von $\dot{V} = 1,5 \text{ m}^3/\text{h}$ abgebrochen wurde.

Bei einer erneuten Leckagemessung nach dem Versuch lag sie bei $\dot{V} = 1,4 \text{ m}^3/\text{h}$. Dabei trat sowohl eine innere Undichtigkeit, als auch eine äußere Undichtigkeit am Gewinde auf. Nach Abdichtung am Gewinde sank die Leckage auf $\dot{V} = 0,05 \text{ m}^3/\text{h}$.

Das Gewinde der Gassteckdose war teilweise geschmolzen, so daß es dort zu den äußeren Undichtigkeiten kam (Lichtbild 20).

Beim Wiederholungsversuch trat nach 13 Minuten 30 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 718 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 674 \text{ °C}$) eine Undichtigkeit auf (Bild 62). Diese stieg bis 52 Minuten 25 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 923 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 885 \text{ °C}$) kontinuierlich auf $\dot{V} = 0,016 \text{ m}^3/\text{h}$ an. Anschließend erhöhte sich die Leckage sprunghaft, so daß bei einem Volumenstrom von $\dot{V} = 2,1 \text{ m}^3/\text{h}$ der Versuch abgebrochen wurde.

Nach Abkühlung des Bauteils lag der Volumenstrom bei $\dot{V} = 4 \text{ m}^3/\text{h}$. Die Hauptleckage trat an einem Loch im Gehäuse der Gassteckdose auf. Nach Abdichtung dieses Loches war eine innere Undichtigkeit und eine weitere äußere Undichtigkeit am Gewinde nachweisbar. Diese betrug zusammen $\dot{V} = 0,4 \text{ m}^3/\text{h}$.

Auch hier war das Gewinde bereits teilweise geschmolzen.

6.9. Gasschlauchleitung

6.9.1. Ganzmetallgasschlauch

Zur Prüfung der Gasschlauchleitung nach DIN 3383, Teil 1 [8] wurden diese mit dem Normstecker mit Kunststoffgriff an der Gassteckdose angeschlossen und gemeinsam im Kleinversuchsstand geprüft. Der Versuchsaufbau war dabei wie bei der Gassteckdosenprüfung. Ausgangsseitig wurde der Gasschlauch mit einem Stopfen abgedichtet.

Der gasführende Schlauch war aus Edelstahl (Werkstoffnummer laut Hersteller: 1.4571), der Schutzschlauch ebenfalls aus Edelstahl, mit der Werkstoffnummer 1.4301.

Nach 13 Minuten 18 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 715 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 662 \text{ °C}$) begann das Bauteil undicht zu werden (Bild 63). Der Volumenstrom stieg im Anschluß bis zur 33. Minute ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 855 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 802 \text{ °C}$) auf $\dot{V} = 0,005 \text{ m}^3/\text{h}$ an. Anschließend erhöhte sich die Leckage sprunghaft auf $\dot{V} = 0,1 \text{ m}^3/\text{h}$. In den nächsten 20 Minuten sank die Leckage kontinuierlich auf $\dot{V} = 0,07 \text{ m}^3/\text{h}$ ab, bevor sie dann, bei einer Brandraumtemperatur von $\vartheta_{\text{Brandraum}} = 923 \text{ °C}$ und einer Bauteiloberflächentemperatur von $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 886 \text{ °C}$, sprunghaft auf über $\dot{V} = 15 \text{ m}^3/\text{h}$ (Maximum des Meßbereichs) nach 53 Minuten 20 Sekunden anstieg.

Nach Abkühlung des Bauteils zeigte sich, daß das Gehäuse der Gassteckdose ein Loch mit einer Größe von ca. 150 mm^2 hatte (Lichtbild 21).

Nach 4 Minuten 15 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 547 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 370 \text{ °C}$) hatte sich der Kunststoffgriff des Gasschlauches bereits abgelöst und begann nach ca. 5 Minuten 50 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 589 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 471 \text{ °C}$) zu brennen.

Beim Wiederholungsversuch (Bild 64) war das Thermoelement zur Messung der Bauteiloberflächentemperatur zu Beginn des Versuchs ausgefallen, so daß auf eine Darstellung verzichtet wurde. Das Bauteil blieb bis zur 40. Minute ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 883 \text{ °C}$) dicht und der Volumenstrom stieg anschließend sprunghaft auf $\dot{V} = 0,15 \text{ m}^3/\text{h}$ an. Der Versuch wurde daraufhin sofort abgebrochen, um die Schadensstelle ermitteln zu können.

Bei der Leckagemessung nach Abkühlung des Bauteils wurde ein Volumenstrom von $\dot{V} = 0,34 \text{ m}^3/\text{h}$ ermittelt. Die Hauptleckage war dabei am Übergang vom Anschlußstück zum Gasschlauch. Eine weitere Undichtigkeit war am Gewinde der Gassteckdose.

Nach 5 Minuten 30 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 580 \text{ °C}$) konnten kleine Flammen am Anschluß Schlauch/Gassteckdose beobachtet werden. 30 Sekunden später ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 595 \text{ °C}$) rutschte der Kunststoffgriff des Schlauches an diesem nach unten.

6.9.2. Gasschlauchleitung mit gasführendem Schlauch aus Kunststoff

Dieser Schlauch unterscheidet sich zu den Ganzmetallschläuchen lediglich im gasführenden Schlauch. Nach Herstellerangabe besteht er aus einem hochwertigen Kunstkauschuk.

Bei ETK-Beanspruchung (Bild 65) begann das Versuchsstück nach 4 Minuten 55 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 560 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 483 \text{ °C}$) undicht zu werden. Die Leckage stieg bis zum Versuchsabbruch, nach 8 Minuten ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 644 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 616 \text{ °C}$), auf $\dot{V} = 0,5 \text{ m}^3/\text{h}$ an.

Zu den Undichtigkeiten kam es durch das Schmelzen des gasführenden Kunststoffschlauchs.

In einem zweiten Versuch wurde der Schlauch im Muffelofen geprüft. Hierzu wurde lediglich der Schlauch in den Ofen gelegt. Die Gassteckdose und das Kupplungsstück befanden sich außerhalb des Ofens.

Die Undichtigkeit am Versuchsstück trat bei einer Ofentemperatur von $\vartheta_{\text{Ofen}} = 329 \text{ °C}$ auf (Bild 66). Zu diesem Zeitpunkt waren an der Abluftöffnung des Ofens Rauchschwaden zu erkennen. Die Leckage war dabei etwa $\dot{V} = 0,32 \text{ m}^3/\text{h}$.

Bei einer Leckagemessung nach Abkühlung des Versuchsstücks, betrug der Volumenstrom $\dot{V} = 1,5 \text{ m}^3/\text{h}$. Auch hier war wieder der gasführende Kunststoffschlauch geschmolzen.

7. Thermisch selbstschließende Bauteile

Diese Bauteile schließen bei Überschreitung einer bestimmten Temperatur und unterbinden den weiteren Gasdurchfluß.

7.1. Ventile

Die Prüfung erfolgte an Bauteilen unterschiedlicher Größe und unterschiedlicher Auslösetemperatur.

Bei diesem Bauteil wird bei Überschreitung einer bestimmten Temperatur ein Schließkörper (Kugel) durch eine vorgespannte Feder in eine speziell ausgebildete Schließvorrichtung geschossen und der Gasdurchfluß unterbunden.

Zur Prüfung wurde am Ausgang eine Kappe oder ein Stopfen, je nach Ausbildung des Anschlusses (Außen- oder Innengewinde), mit einer 3 mm Bohrung aufgeschraubt. Das Ventil wurde senkrecht im Brandversuchsofen positioniert und zwar so, daß beim Lösen der Kugel aus der Schließvorrichtung die Schwerkraft ein Wiederöffnen begünstigen würde.

Die Größe der Leitung im Brandversuchsofen zur Luftversorgung war jeweils entsprechend der Größe des Versuchsstücks.

Zur Messung der Bauteiloberflächentemperatur wurde auf dem Bauteil mittels Punktschweißung ein Blech befestigt, in das ein Mantelthermoelement $\varnothing_a = 1$ mm eingesteckt wurde.

7.1.1. Regulärer Einbau

Beim regulären Einbau drückt der Versorgungsdruck in der Gasleitung den Schließkörper nach der Auslösung zusätzlich gegen die Schließvorrichtung. Der Versorgungsdruck wurde konstant auf 2200 Pa gehalten.

Im ersten Versuch hatte das Ventil die Größe DN 10 und eine Auslösetemperatur von 70 °C.

Wie Bild 67 zeigt, schloß das Ventil nach 1 Minute 9 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 344$ °C, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 111$ °C). Bis zum Versuchsabbruch nach 90 Minuten konnte keine Leckage nachgewiesen werden.

Beim zweiten Versuch, mit einem Bauteil der Größe DN 25 und einer Auslösetemperatur von 70 °C, schloß der Schließkörper nach 1 Minute 20 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 388$ °C, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 122$ °C) (Bild 68). Auch hier traten bis zum Versuchsabbruch nach 90 Minuten keine nachweisbaren Leckagen auf.

Bei einem weiteren Versuch mit einer Bauteilgröße DN 20 und einer Auslösetemperatur von 105 °C, sowie einem höherem Volumenstrom vor dem Schließen, schloß der Schließ-

körper nach 1 Minute 49 Sekunden, bei einer Bauteiloberflächentemperatur von $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 143 \text{ °C}$ und einer Brandraumtemperatur von $\vartheta_{\text{Brandraum}} = 417 \text{ °C}$. Auch hier waren bis zum Versuchsabbruch nach 90 Minuten keine Leckagen nachweisbar (Bild 69).

7.1.2. Einbau entgegengesetzt der Fließrichtung des Gases

Dieser Versuch sollte zeigen, was bei falschem Einbau passieren könnte. In diesem Fall drückt der Gasdruck der Schließrichtung des Schließkörpers entgegen.

Geprüft wurde ein Ventil der Größe DN 20 mit einer Auslösetemperatur von 105 °C . Der Versorgungsdruck betrug 5000 Pa .

Im Versuch schloß die Kugel nach 1 Minute 40 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 395 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 181 \text{ °C}$) (Bild 70). Nach 30 Minuten ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 835 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 793 \text{ °C}$) trat am Bauteil eine Undichtigkeit auf, die bis zum Versuchsabbruch nach 61 Minuten ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 946 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 913 \text{ °C}$) auf $\dot{V} = 0,39 \text{ m}^3/\text{h}$ anstieg.

7.1.3. Regulärer Einbau mit Gegendruck

Schließt das Ventil im Brandfall und erfolgt keine Gasentnahme, so steigt durch die Temperaturerhöhung auch der Druck in der Leitung nach dem Ventil. Dabei ist der Fall am kritischsten, daß die Leitung nicht in Räume weitergeht, in denen noch kein Brand stattfindet, z.B. die Abzweigleitung zu einer Therme und Brand in diesem Raum. Dadurch wird der Druck in der Gasleitung nach dem Ventil höher als vor dem Ventil, so daß der Schließkörper aus der Schließvorrichtung gedrückt werden könnte. Vor dem Ventil kann weiterhin der Versorgungsdruck angenommen werden, da durch das normalerweise größere Leitungsvolumen der Druckanstieg wesentlich geringer ist. Nach einer Einbauempfehlung des Herstellers sollte sogar in jedem Raum, bei Eintritt in den Raum, ein thermisch auslösendes Ventil eingebaut werden. In diesem Fall käme es dann zu kaum einer Erwärmung des Gases vor dem Ventil.

Für diese Versuche wurde deshalb am Ausgang des Ventils ein ca. 4 Liter fassender Behälter angebaut, der sich ebenfalls im Brandraum befand.

Beim ersten Versuch erfolgte keine Volumenstrommessung und auch keine Druckbeaufschlagung. Gemessen wurden neben der Brandraum- und Bauteiloberflächentemperatur die Oberflächentemperatur am Behälter, sowie der Druck im Behälter mit einem Überdruckaufnehmer (Typ 11, Fa. Hottinger Baldwin Meßtechnik).

Der Versuch wurde mit einem Ventil der Größe DN 20 und der Auslösetemperatur 70 °C durchgeführt. Nach 1 Minute 30 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 409 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 186 \text{ °C}$) schloß das Ventil. Unmittelbar danach stieg der Druck im Behälter an (Bild 71). Nach 5 Minuten 48 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 597 \text{ °C}$,

($\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 520 \text{ °C}$) und einem Überdruck im Behälter von 0,65 bar, kam es zum Druckabbau durch Öffnung des Ventils.

Um bei den weiteren Versuchen die Leckage nach dem Öffnen des Ventils messen zu können, wurde auf den Behälter ein Rohr geschweißt, welches aus dem Brandraum herausgeführt und mit einem Kugelhahn abgesperrt werden konnte. Zur Messung der Leckagen am Ventil nach dem Druckabbau im Behälter wurde die Volumenstrommessung nach Öffnen des Kugelhahns in Betrieb genommen. Diese Maßnahme war zum Schutz der Meßeinrichtung erforderlich, da bei einem plötzlichen Druckabbau es zu einem Druckstoß kommen würde. Der Versorgungsdruck wurde bei diesen Versuchen nach Inbetriebnahme der Meßeinrichtung auf 2200 Pa eingestellt.

Beim ersten Versuch mit diesem Versuchsaufbau und einem DN 20 Ventil mit einer Auslösetemperatur von 105 °C , schloß die Kugel nach 1 Minute 40 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 430 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 172 \text{ °C}$). Anschließend stieg der Druck im Behälter bis auf 1,637 bar an (34 Minuten 48 Sekunden) ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 864 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 809 \text{ °C}$) (Bild 72). Der Druck fiel daraufhin schlagartig ab.

Die sofort begonnene Leckagemessung bei geöffnetem Kugelhahn mußte bereits beim Hochfahren des Ventilators abgebrochen werden, da der Volumenstrom über den zulässigen Meßbereich anstieg ($\dot{V} = 15 \text{ m}^3/\text{h}$).

Bei der Demontage des Versuchsstücks zeigte sich, daß der Schließkörper aus der Schließvorrichtung durch den hohen Behälterdruck herausgeschossen wurde und dabei die Schließfeder zusammenstauchte. Dadurch war in etwa der gleiche Querschnitt im Ventil frei wie vor der thermischen Auslösung.

Bei einem weiteren Versuch mit einem DN 20 Ventil und einer Auslösetemperatur von 105 °C , war das Schließen nach 1 Minute 42 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 409 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 169 \text{ °C}$). Zeitgleich stieg der Druck im Behälter an (Bild 73). Nach Erreichen eines Maximums von 0,92 bar ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 616 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 511 \text{ °C}$) nach 6 Minuten 36 Sekunden, fiel der Druck ab und betrug 80 Sekunden später 0,71 bar ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 639 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 560 \text{ °C}$). Daraufhin stieg der Druck im Behälter erneut bis zur 15. Minute an (Behälterdruck = 0,85 bar) ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 720 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 689 \text{ °C}$). In der Folge nahm er dann wieder ab, bis er nach 28 Minuten 24 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 831 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 815 \text{ °C}$), bei einem Behälterdruck von 0,65 bar, schlagartig abfiel.

30 Sekunden später wurde der Kugelhahn geöffnet und die Volumenstrommessung gestartet.

Wie Bild 74 zeigt, ist ab der 30. Minute ein kurzzeitiger Volumenstromanstieg erkennbar. Dieser ist auf das Hochfahren des Ventilators zurückzuführen und stellt keine Undichtigkeit

am Versuchsstück dar. Bis zum Versuchsende nach 90 Minuten konnten keine Undichtigkeiten am Bauteil nachgewiesen werden.

Bei einem Ventil der Größe DN 20, Auslösetemperatur 70 °C schloß die Kugel nach 1 Minute 14 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 385 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 129 \text{ °C}$). Daraufhin stieg der Druck im Behälter an (Bild 75). Nach 7 Minuten ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 621 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 488 \text{ °C}$) fiel der Druck (Maximum = 0,96 bar) im Behälter ab. 36 Sekunden später wurde der Kugelhahn geöffnet und die Volumenstrommessung gestartet. Der im Anschluß auftretende Volumenstrom (Bild 76) war teilweise durch den Start der Volumenstrommessung bedingt. Im weiteren Versuchsverlauf traten zwischenzeitlich kleinere Undichtigkeiten auf.

Bei einem weiteren Versuch mit einem DN 20 Ventil und Auslösetemperatur 70 °C war das Schließen des Ventils nach 1 Minute 29 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 415 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 132 \text{ °C}$). In der Folge stieg der Druck bis auf 0,69 bar nach 7 Minuten ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 611 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 478 \text{ °C}$) an und fiel anschließend auf Null ab (Bild 77). Ab der 16. Minute wurde die Volumenstrommessung gestartet und erst 90 Sekunden später der Kugelhahn geöffnet.

Nach Start des Ventilators stieg auch der Druck im Behälter, d.h., daß das Ventil weiterhin offen war.

Der Start der Volumenstrommessung bedingt den ersten Anstieg des Volumenstroms in Bild 78. Nach Öffnen des Kugelhahns, nach 16 Minuten 30 Sekunden, war eine Leckage von ca. $\dot{V} = 0,004 \text{ m}^3/\text{h}$. Diese stieg ab 29 Minuten 10 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 834 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 819 \text{ °C}$) bis zu einem maximalen Volumenstrom von $\dot{V} = 0,007 \text{ m}^3/\text{h}$ nach 31 Minuten 51 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 853 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 836 \text{ °C}$) an. Daraufhin nahm die Leckage wieder ab. Ab der 51. Minute ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 917 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 909 \text{ °C}$) bis zum Versuchsabbruch lagen die Undichtigkeiten am Bauteil unterhalb der Nachweisgrenze.

7.2. Gas-Anschlußkugelhahn

Die Gasanschlußkugelhähne hatten eine Ansprechtemperatur für thermisches Auslösen von 70 °C.

Beim ersten Versuch wurde die Größe DN 25 in Durchgangsform geprüft. Das Schließen erfolgte nach 1 Minute 43 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 424 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 79 \text{ °C}$). Bis zum Versuchsabbruch konnten keine Leckagen nachgewiesen werden (Bild 79).

Nach 2 Minuten 20 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 464 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 99 \text{ °C}$) war das Kunststoffformteil zum Öffnen und Schließen des Ventils bereits geschmolzen. In der 19. Minute ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 758 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 612 \text{ °C}$) lagen diverse Teile (Schließfeder, Formteile) am Boden.

Beim zweiten Versuch mit einem Gasanschlußkugelhahn der Größe DN 15 in Eckform schloß das Versuchsstück nach 51 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 289 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 103 \text{ °C}$). Bis zum Versuchsabbruch nach 90 Minuten traten keine nachweisbaren Undichtigkeiten am Versuchsstück auf (Bild 80).

Nach einer Minute ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 317 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 109 \text{ °C}$) fiel das Kunststoffformteil zum Öffnen und Schließen des Kugelhahns ab. Bei einer Brandraumtemperatur von $\vartheta_{\text{Brandraum}} = 642 \text{ °C}$ und einer Bauteiloberflächentemperatur von $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 429 \text{ °C}$ (nach 8 Minuten 30 Sekunden) fielen Teile am Kugelhahn ab (Wellensicherungsring, Distanzscheibe). Eine Minute später ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 655 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 466 \text{ °C}$) fiel die Schließfeder und eine transparente Flüssigkeit tropfte ab.

Nach 10 Minuten 30 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 673 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 503 \text{ °C}$) waren Flammen am Ausgang des Kugelhahns.

Das Bauteil mit den abgefallenen Teilen ist in Lichtbild 22 dargestellt.

7.3. Gassteckdose

Die Gassteckdose mit einer thermisch selbstschließenden Vorrichtung unterscheidet sich von den normalen Gassteckdosen durch einen Schließmechanismus, welcher bei Überschreitung der Auslösetemperatur von 70 °C schließt.

Im Versuch war kein Gasschlauch angeschlossen, so daß zu Beginn des Versuchs das Bauteil dicht war. Auch der Schließzeitpunkt konnte nicht ermittelt werden.

Bis zur Versuchszeit von 45 Minuten 30 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 902 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 890 \text{ °C}$) blieb das Bauteil dicht (Bild 81). 2 Minuten später ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 907 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 905 \text{ °C}$) stieg die Leckage dann schnell an. Der Versuch wurde daraufhin abgebrochen, da der Meßbereich ($\dot{V} = 15 \text{ m}^3/\text{h}$) überschritten worden wäre.

Die hohe Leckage war durch das Abfallen der Gassteckdose bedingt. Das Versuchsstück war am Anschlußgewinde (Eingang) abgebrochen (Lichtbild 23).

Von 8 Minuten 25 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 646 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 596 \text{ °C}$) bis 12 Minuten 30 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 707 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 677 \text{ °C}$) konnten gelbe Flammen am Bauteil beobachtet werden.

8. Leitungsverbindungen

Bei den Untersuchungen unterschiedlicher Leitungsverbindungen in der häuslichen Gasinstallation wurden bei den Versuchen mit Stahlrohren Gewinderohre nach DIN 2440 - DN 40 - nahtlos [7] verwendet. Die Versuche wurden, sofern in den Ergebnisbeschreibungen keine anderen Angaben gemacht wurden, im Kleinprüfstand nach DIN 4102, Teil 8 [4] bei ETK-Beanspruchung (DIN 4102, Teil 2) [3] und einem Versorgungsdruck von 5000 Pa durchgeführt. Sofern bei den Versuchsbeschreibungen keine anderen Angaben gemacht wurden, wurde bei den Gewindeverbindungen eine für Gasinstallationen zulässige Dichtpaste mit Hanf als Dichtmittelträger verwendet.

8.1. Gewindeverbindungen

8.1.1. Gewindeverbindung mit Hanf

Zur Überprüfung der Dichtheit von Gewindeverbindungen wurde auf das Gewinderohr ein Whitworth-Rohrgewinde nach DIN 2999, Teil 1 [9] geschnitten und mit einer Kappe nach DIN 2950 [6] verschlossen. Als Dichtungsmaterial wurde eine für die Gasinstallation zulässige Dichtpaste mit Hanf als Dichtmittelträger verwendet. Die Kappe wurde mit einer Rohrzanze angezogen und anschließend wieder um 45° zurückgedreht.

Beim ersten Versuch mit einer schwarzen Kappe (Bild 82) trat in der 31. Minute bei einer Brandraumtemperatur von $\vartheta_{\text{Brandraum}} = 846 \text{ °C}$ und einer Bauteiloberflächentemperatur von $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 774 \text{ °C}$ eine Undichtigkeit an der Gewindeverbindung auf. Sie erreichte zwischen der 43. und 48. Minute ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 895 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 834 \text{ °C}$ und $\vartheta_{\text{Brandraum}} = 909 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 854 \text{ °C}$) ein Maximum von $\dot{V} = 0,012 \text{ m}^3/\text{h}$. Anschließend fiel die Leckage wieder auf unter $\dot{V} = 0,01 \text{ m}^3/\text{h}$ ab.

Der zweite Versuch (Bild 83) mit einer verzinkten Kappe hatte den Beginn der Leckage bei einer Brandraumtemperatur von $\vartheta_{\text{Brandraum}} = 872 \text{ °C}$ und einer Bauteiloberflächentemperatur von $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 807 \text{ °C}$ (36. Minute). Ab 46 Minuten 20 Sekunden, bei einer Leckage von $\dot{V} = 0,004 \text{ m}^3/\text{h}$, sank er Volumenstrom wieder ab und stieg dann ab der 53. Minute ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 924 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 868 \text{ °C}$) auf durchschnittlich ca. $\dot{V} = 0,005 \text{ m}^3/\text{h}$ an.

Beim Versuch mit der verzinkten Kappe waren dort ab der 58. Minute ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 944 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 887 \text{ °C}$) einzelne kugelförmige, glühende Punkte erkennbar. Eine Minute später konnten Flammen an der Kappe beobachtet werden.

8.1.2. Gewindeverbindung mit Dichtband

Bei diesen Versuchen wurde als Dichtmittel ein Dichtband ("Teflonband") verwendet. Die Kappe wurde mit einer Rohrzange angezogen und anschließend wieder um 45° zurückgedreht.

An der Gewindeverbindung (Bild 84) trat nach 22 Minuten 54 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 800 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 722 \text{ °C}$) eine Undichtigkeit auf, die bis zu 50. Minute ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 912 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 861 \text{ °C}$) auf $\dot{V} = 0,076 \text{ m}^3/\text{h}$ anstieg. Anschließend sank die Leckage bis zum Versuchsende auf $\dot{V} = 0,03 \text{ m}^3/\text{h}$ ab.

Im Wiederholungsversuch (Bild 85), mit einer etwas dickeren Dichtmittelschicht, begann das Bauteil nach 29 Minuten 42 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 847 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 781 \text{ °C}$) undicht zu werden. Das Maximum der Leckage ($\dot{V} = 0,056 \text{ m}^3/\text{h}$) trat in der 80. Minute ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 989 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 955 \text{ °C}$) auf. Bis zum Ende des Versuchs sank die Leckage dann auf $\dot{V} = 0,03 \text{ m}^3/\text{h}$ ab.

8.1.3. Gewindeverbindung ohne Dichtmittel

Bei einem Vergleichsversuch (Bild 86) ohne Dichtmittel, wobei die Kappe nicht zurückgedreht wurde, trat die Undichtigkeit in der 27. Minute, bei einer Brandraumtemperatur von $\vartheta_{\text{Brandraum}} = 831 \text{ °C}$ und einer Bauteiloberflächentemperatur von $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 749 \text{ °C}$, auf. Die Leckage hatte ihr Maximum ($\dot{V} = 0,038 \text{ m}^3/\text{h}$) nach 47 Minuten ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 914 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 852 \text{ °C}$) und sank anschließend auf ca. $\dot{V} = 0,025 \text{ m}^3/\text{h}$ ab. Dieser Volumenstrom blieb dann bis zum Versuchende in etwa konstant.

8.2. Flachdichtende Rohrverschraubung

8.2.1. Dichtung mit erhöhter Temperaturbeständigkeit

Für die Versuche wurde eine "Rohrverschraubung DIN 2950 - 330 - 1½ - v" [6] verwendet. Das Versuchsstück hatte beidseitig ein Innengewinde und wurde auf der Ausgangsseite mit einem Stopfen (schwarz) abgedichtet. Die eingelegte Dichtung bestand, nach Angabe des Firmenprospekts, aus Aramid und hochwertigem Kautschuk. Die zulässigen Betriebstemperaturen für Gasarmaturen, Gasgeräte und Gasleitungen sind bis 150 °C angegeben. Außerdem hat die Dichtung eine DVGW-Zulassung für Gaszählerverschraubungen für Umgebungstemperaturen bis 650 °C.

Wie Bild 87 zeigt, traten bei diesem Versuch lediglich Leckagen unter $\dot{V} = 0,003 \text{ m}^3/\text{h}$ ab der 56. Minute ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 937 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 898 \text{ °C}$) auf. Der Volumenstromanstieg in der 88. Minute war nicht auf Undichtigkeiten am Bauteil zurückzuführen, sondern auf den Ausfall des Frequenzumformers zur Regelung des Ventilators.

Während des Versuchs konnten ab der 50. Minute Rauchschwaden an der Verschraubung beobachtet werden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 926 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 882 \text{ °C}$). Bei einer Brandraumtemperatur von $\vartheta_{\text{Brandraum}} = 941 \text{ °C}$ und einer Bauteiloberflächentemperatur von $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 901 \text{ °C}$, nach 57 Minuten, waren blaue Flammen am Bauteil. Fünf Minuten später ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 961 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 921 \text{ °C}$) erloschen diese wieder. Zwischen der 66. ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 960 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 927 \text{ °C}$) und 77. Minute ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 982 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 947 \text{ °C}$) brannte das Versuchsstück erneut.

Beim Wiederholungsversuch (Bild 88) trat ab der 19. Minute, bei einer Brandraumtemperatur von $\vartheta_{\text{Brandraum}} = 780 \text{ °C}$ und einer Bauteiloberflächentemperatur von $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 671 \text{ °C}$, eine Leckage von $\dot{V} = 0,004 \text{ m}^3/\text{h}$ auf.

Ab der 55. Minute ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 934 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 860 \text{ °C}$) waren Rauchschwaden am Versuchsstück und ab der 76. Minute ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 894 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 932 \text{ °C}$) brannte das Bauteil.

Die Dichtung war nach dem Versuch in beiden Fällen schwarz (Farbe vor dem Versuch: rot) (Lichtbild 24).

8.2.2. Dichtung ohne erhöhte Temperaturbeständigkeit

Bei diesem Versuch erfolgte die Zuleitung mit einem Gewinderohr DIN 2440 - DN 25 - nahtlos. In die Rohrverschraubung DIN 2950 - 330 - 1 v war eine Gummidichtung mit einer Temperaturbeständigkeit, nach Herstellerangabe, von -25 °C bis 80 °C eingelegt. Die ausgangsseitige Abdichtung erfolgte mit einem Stopfen (schwarz).

Beim ersten Versuch (Bild 89) begann das Versuchsstück nach 12 Minuten 30 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 713 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 611 \text{ °C}$) undicht zu werden. Die Leckage betrug dabei $\dot{V} = 0,004 \text{ m}^3/\text{h}$ und stieg bis zum Versuchsende auf $\dot{V} = 0,008 \text{ m}^3/\text{h}$ an.

Zwischen der 11. Minute ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 681 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 561 \text{ °C}$) und der 12. Minute ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 692 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 585 \text{ °C}$) waren am Versuchsstück Flammen zu erkennen.

Beim zweiten Versuch (Bild 90) wurde die Dichtung 24 Stunden vor Versuchsbeginn eingebaut. Die Undichtigkeit am Bauteil trat nach 9 Minuten 25 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 681 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 556 \text{ °C}$) auf und lag bei $\dot{V} = 0,033 \text{ m}^3/\text{h}$. Sie stieg in den nächsten 7 Minuten ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 765 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 688 \text{ °C}$) auf $\dot{V} = 0,055 \text{ m}^3/\text{h}$ an und sank anschließend, bis etwa zur 48. Minute ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 920 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 867 \text{ °C}$), wieder auf ca. $\dot{V} = 0,01 \text{ m}^3/\text{h}$ ab. Bis zum Versuchsende war dann eine Leckagezunahme auf $\dot{V} = 0,017 \text{ m}^3/\text{h}$ zu beobachten.

Die Unstetigkeiten im Kurvenverlauf nach 44 bzw. 48 Minuten waren auf den Ausfall des Frequenzumformers, der den Ventilator regelt, zurückzuführen.

Auch bei diesem Versuch konnten nach 10 Minuten ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 683 \text{ }^\circ\text{C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 571 \text{ }^\circ\text{C}$) Flammen am Versuchsstück beobachtet werden.

Bei der Demontage zeigte sich in beiden Fällen, daß sich die Dichtung zersetzt hatte. Die verbliebenen Staubreste waren teilweise in den Gewindegängen der Verschraubung.

8.3. Konisch dichtende Verschraubung

Die Versuche wurden mit der Verschraubung DIN 2950 - 340 - 1½ v durchgeführt. Ausgangsseitig wurde mit einem Stopfen (schwarz) abgedichtet.

Beim ersten Versuch (Bild 91) trat ab der 60. Minute ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 947 \text{ }^\circ\text{C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 890 \text{ }^\circ\text{C}$) eine nachweisbare Leckage auf, die bis zum Versuchsende kontinuierlich auf $\dot{V} = 0,007 \text{ m}^3/\text{h}$ anstieg.

Der Wiederholungsversuch (Bild 92) hatte den Beginn der Undichtigkeit nach 61 Minuten, bei einer Brandraumtemperatur von $\vartheta_{\text{Brandraum}} = 950 \text{ }^\circ\text{C}$ und einer Bauteiloberflächentemperatur von $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 899 \text{ }^\circ\text{C}$. Auch hier stieg die Leckage bis zum Versuchsende an und erreichte dabei einen Volumenstrom von $\dot{V} = 0,004 \text{ m}^3/\text{h}$.

Nach Abkühlung der Versuchsstücke konnte bei beiden eine Leckage von $\dot{V} = 0,035 \text{ m}^3/\text{h}$ gemessen werden. Die Undichtigkeiten waren dabei an der Überwurfmutter. An den Gewindeverbindungen am Ein- und Ausgang konnte mit Hilfe des Lecksprays keine Undichtigkeit festgestellt werden.

8.4. Langgewinde

Das verwendete Versuchsstück war ein Langgewinde DIN 2981 - 1½ - M2 - P4 - v [10]. Dabei handelte es sich um ein geschweißtes, verzinktes Stahlrohr nach DIN 2441 [11] mit Gegenmutter und Muffe aus Temperguß verzinkt nach DIN 2950 [6], beide auf einer Seite rechtwinklig zur Gewindeachse gedreht und Innengewinde angesenkt.

Die Muffe am Langgewinde wurde mit einem Stopfen (schwarz) abgedichtet. Zur Verbindung des Langgewindes mit der Zuleitung der Luftversorgung wurde eine Muffe verwendet. Alle Verbindungen wurden gehanft.

Beim ersten Versuch (Bild 93) trat bei einer Brandraumtemperatur von $\vartheta_{\text{Brandraum}} = 790 \text{ }^\circ\text{C}$ und einer Bauteiloberflächentemperatur von $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 700 \text{ }^\circ\text{C}$, nach 19 Minuten, eine geringe Undichtigkeit auf. In der 61. Minute sank die Leckage kurzzeitig unter die Nachweisgrenze und stieg dann bis zum Versuchsende auf $\dot{V} = 0,004 \text{ m}^3/\text{h}$ an.

Beim Wiederholungsversuch (Bild 94) hatte das Bauteil ab 9 Minuten 30 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 677 \text{ }^\circ\text{C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 477 \text{ }^\circ\text{C}$) eine Undichtigkeit, wobei die Leckage

maximal auf $\dot{V} = 0,006 \text{ m}^3/\text{h}$ stieg. Ab der 75. Minute ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 982 \text{ }^\circ\text{C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 917 \text{ }^\circ\text{C}$) sank die Leckage unter die Nachweisgrenze ab.

In beiden Fällen war der Hanf in der angesenkten Dichtkammer zwischen Gegenmutter und Muffe nach dem Versuch noch vorhanden, allerdings sehr brüchig.

8.5. Glattrohrverbindung

Bei den untersuchten Bauteilen handelte es sich um lösbare Rohrverbindungen für metallene Gasleitungen (Glattrohrverbindung) nach DIN 3387, Teil 1 [12].

8.5.1. Glattrohrverbindung mit erhöhter Temperaturbeständigkeit

Das untersuchte Bauteil ist nach Herstellerangabe für Temperaturen von $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ bis $60 \text{ }^\circ\text{C}$ und bis $650 \text{ }^\circ\text{C}$ bei 30 Minuten geeignet.

Das Versuchsteil hatte bei diesem Versuch ausgangsseitig ein Innengewinde und wurde hier mit einem Stopfen (schwarz) abgedichtet.

Bei diesem Bauteil (Bild 95) trat nach 38 Minuten 48 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 882 \text{ }^\circ\text{C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 797 \text{ }^\circ\text{C}$) eine Undichtigkeit auf, die dann bis zum Versuchsende kontinuierlich auf $\dot{V} = 0,004 \text{ m}^3/\text{h}$ anstieg.

Die Demontage des Bauteils nach dem Versuch zeigte, daß der Graphitdichtring des Bauteils noch vorhanden war (Lichtbild 25).

8.5.2. Glattrohrverbindung ohne erhöhte Temperaturbeständigkeit

Bei dieser Ausführung ist das Bauteil für Temperaturen von $-20 \text{ }^\circ\text{C}$ bis $60 \text{ }^\circ\text{C}$ geeignet. Auf der Ausgangsseite wurde ein mit einer Kappe abgedichtetes Gewinderohr eingebaut.

Bei ETK-Beanspruchung des Bauteils im ersten Versuch (Bild 96) trat nach 9 Minuten 54 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 674 \text{ }^\circ\text{C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 515 \text{ }^\circ\text{C}$) eine Undichtigkeit auf, die bis zur 17. Minute ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 757 \text{ }^\circ\text{C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 684 \text{ }^\circ\text{C}$) auf $\dot{V} = 1,46 \text{ m}^3/\text{h}$ anstieg.

Der zweite Versuch (Bild 97) hatte den Beginn der Leckage nach genau 11 Minuten ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 697 \text{ }^\circ\text{C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 520 \text{ }^\circ\text{C}$). Auch hier stieg der Volumenstrom anschließend an und betrug kurz nach Abschaltung des Brenners $\dot{V} = 1,8 \text{ m}^3/\text{h}$.

In beiden Fällen konnten die Rohre nach dem Versuch an der Glattrohrverbindung bewegt und die Überwurfmutter am Bauteil von Hand gelöst werden. Die Dichtungen waren verkohlt und staubförmig (Lichtbild 26).

Bei langsamer Temperaturerhöhung im Muffelofen (Bild 98) trat bei einer Bauteiloberflächentemperatur von $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 339 \text{ }^\circ\text{C}$ eine Leckage auf, die in den nächsten 6 Minuten auf $\dot{V} = 0,03 \text{ m}^3/\text{h}$ ($\vartheta_{\text{Ofen}} = 450 \text{ }^\circ\text{C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 372 \text{ }^\circ\text{C}$) anstieg. Anschlie-

End fiel die Leckage bis zur 100. Minute auf $\dot{V} = 0,0035 \text{ m}^3/\text{h}$ ($\vartheta_{\text{Ofen}} = 464 \text{ }^\circ\text{C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 393 \text{ }^\circ\text{C}$) ab. Daraufhin stieg sie kontinuierlich an und erreichte ab einer Bauteiloberflächentemperatur von $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 479 \text{ }^\circ\text{C}$ einen Volumenstrom von $\dot{V} = 1,4 \text{ m}^3/\text{h}$. Bis zum Versuchsabbruch stieg die Leckage weiter auf $\dot{V} = 1,9 \text{ m}^3/\text{h}$ an.

Auch bei diesem Versuch waren, nach Abkühlung des Bauteils, die Rohre locker in der Verschraubung. Die Überwurfmutter am Versuchsstück konnten von Hand gelöst werden. Die Dichtungen waren verkohlt und staubförmig.

8.6. Flanschverbindungen

Die Versuche wurden mit Vorschweißflanschen nach DIN 2635 [13] durchgeführt. Dieser Flansch steht zwar nicht in der DVGW-TRGI'86 [1] unter dem Punkt 3.2.6.2 "Lösbare Verbindungsarten", er wurde aber wegen seiner 8 - Lochverschraubung gewählt, die bei Balgengaszählern dieser Größe üblich sind.

Der Gegenflansch wurde mit einem aufgeschweißten Klöpperboden abgedichtet, die Schrauben mit einem Drehmoment von 80 Nm angezogen.

Die Messung der Bauteiloberflächentemperatur erfolgte am Flansch im Bereich der Dichtung.

8.6.1. Dichtung mit erhöhter Temperaturbeständigkeit

Die untersuchte Dichtung bestand nach Prospektangaben des Herstellers aus Aramidfaser, die mit NBR (Nitrilbutadien-Kautschuk) gebunden waren. Sie ist für den Einsatz bei $650 \text{ }^\circ\text{C}$ für 30 Minuten geeignet.

Bei ETK-Beanspruchung zeigte sich (Bild 99), daß nach 49 Minuten ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 914 \text{ }^\circ\text{C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 840 \text{ }^\circ\text{C}$) eine Leckage auftrat, die bis zum Versuchsende auf $\dot{V} = 0,07 \text{ m}^3/\text{h}$ anstieg.

Bei der Untersuchung im Muffelofen (Bild 100) konnte bis zum Versuchsabbruch nach 4 Stunden 18 Minuten bei einer Bauteiloberflächentemperatur von $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 801 \text{ }^\circ\text{C}$ keine Undichtigkeit nachgewiesen werden.

Bei der Demontage zeigte sich, daß die Dichtung nach beiden Versuchen kleine Risse und sich schwarz verfärbt hatte (Farbe vor Versuch: grün) (Lichtbild 27).

8.6.2. Dichtung ohne erhöhte Temperaturbeständigkeit

Nach Angabe der Stadtwerke, welche die Dichtung zur Verfügung stellten, bestand diese aus Ibenulit und enthielt keine Faserstoffe.

Bei ETK-Beanspruchung (Bild 101) begann die Dichtung nach 16 Minuten 50 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 774 \text{ }^\circ\text{C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 439 \text{ }^\circ\text{C}$) undicht zu werden. Die Leckage stieg in

den folgenden 4 Minuten 30 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 791 \text{ }^\circ\text{C}$, $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 549 \text{ }^\circ\text{C}$) kontinuierlich auf $\dot{V} = 1,4 \text{ m}^3/\text{h}$ an. Anschließend stieg die Leckage sprunghaft an. Gleichzeitig konnte am Bauteil beobachtet werden, daß einzelne Teile der Dichtung vom Flansch weggeblasen wurden.

Bei langsamer Temperaturerhöhung im Muffelofen trat die Undichtigkeit (Bild 102) bei einer Bauteiloberflächentemperatur von $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 382 \text{ }^\circ\text{C}$ auf. In der Folge stieg die Leckage kontinuierlich an, bis bei einer Bauteiloberflächentemperatur von $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 501 \text{ }^\circ\text{C}$ der Volumenstrom sprunghaft anstieg. Die auftretende Leckage überstieg dabei den Meßbereich von $\dot{V} = 15 \text{ m}^3/\text{h}$.

Bei der Demontage zeigte sich in beiden Fällen, daß die Dichtung teilweise fehlte. Der noch verbliebene Rest war sehr brüchig und zerfiel bei Berührung.

8.7. Kupferlötverbindungen

Zur Überprüfung der Dichtheit von Kupferlötverbindungen wurde ein Kupferrohr (DIN 1786 - 22 x 1) [14] mit einer Kappe nach DIN 2856 (Kapillarlötfittings) [15] verschlossen. Das verwendete Lot war Hart- bzw. Weichlot.

Bei weiteren Versuchen wurde die Kappe durch ein T-Stück ersetzt, deren Ausgänge mit Stopfen durch Hartlötung verschlossen wurden. An das T-Stück wurde ein Gewicht mit einer Masse von 10 kg gehängt um das Verhalten der Lötverbindung bei Zugbeanspruchung überprüfen zu können.

8.7.1. Hartgelötet

Keine Undichtigkeiten am Bauteil traten bei dem Versuch ohne Gewicht (Bild 103) und ETK-Beanspruchung über 90 Minuten auf.

Bei den Versuchen mit Gewicht löste sich beim ersten Versuch (Bild 104) nach 20 Minuten ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 774 \text{ }^\circ\text{C}$; $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 704 \text{ }^\circ\text{C}$) das Lötfitting vom Rohr ab. Somit war der gesamte Rohrquerschnitt frei, so daß die Leckage sprunghaft anstieg. Um die Meßeinrichtung nicht zu zerstören, wurde der Versuch sofort abgebrochen.

Beim Wiederholungsversuch (Bild 105) löste sich das Lötfitting bei einer Brandraumtemperatur von $\vartheta_{\text{Brandraum}} = 756 \text{ }^\circ\text{C}$ und einer Bauteiloberflächentemperatur von $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 694 \text{ }^\circ\text{C}$ nach 16 Minuten 22 Sekunden. Die Folge war wieder ein sprunghafter Anstieg der Leckage.

Der Hersteller des Hartlots gibt den Schmelzbereich von $650 \text{ }^\circ\text{C}$ bis $810 \text{ }^\circ\text{C}$ und den Arbeitsbereich mit $710 \text{ }^\circ\text{C}$ an.

8.7.2. Weichgelötet

Bei der weichgelöteten Kappe (ohne Gewicht) trat während der 90 Minuten Versuchsdauer bei ETK-Beanspruchung keine Leckage auf (Bild 106).

Mit Gewicht löste sich das Lötfitting bereits nach 1 Minute 15 Sekunden (Bild 107) vom Rohr ab. Die Temperatur im Brandraum betrug zu diesem Zeitpunkt $\vartheta_{\text{Brandraum}} = 362 \text{ }^\circ\text{C}$, die auf der Bauteiloberfläche $\vartheta_{\text{Bauteiloberfläche}} = 253 \text{ }^\circ\text{C}$.

9. Eingebaute Leitungen

Die Prüfung von eingebauten Gewinderohren (DIN 2440) [7] und von Installationsrohren aus Kupfer (DIN 1786) [14] erfolgte im Brandversuchshaus des Lehrstuhls. Hierzu wurde auf die Seitenwände des Ofens eine 220 mm dicke Betonplatte als Decke aufgelegt, die brandraumseitig mit 30 mm dicken Promatect L -Platten beplankt war. Die Beplankung diente zum Schutz der Betonplatte, damit mehrere Versuche mit einer Deckenplatte durchgeführt werden konnten, wobei die Beplankung jedesmal erneuert wurde. Ein Versuch erfolgte ohne Beplankung. Dabei bog sich die Betonplatte in der Mitte um ca. 80 mm durch.

An den Rohrbefestigungen und -durchführungen wurde die Beplankung ausgeschnitten und an den Rohrdurchführungen Mantelrohre eingebaut.

Die Größe des Mantelrohrs war von der durchgeführten Leitungsgröße abhängig. Bei DN 40 Rohren war das Mantelrohr DN 50, beim DN 25 Rohr DN 40. Der Spalt zwischen den Rohren wurde brandraumseitig mit einer Keramikschnur abgedichtet.

Der Versuchsaufbau zur Prüfung von Gewinderohren ist in Abb. 9 und Abb. 10 dargestellt.

Die Befestigung der Rohre erfolgte mit Schraubrohrscheiben mit Gummieinlage und Gewindedemuffe M 8, die über Gewindestangen an der Decke mit Metalldübeln verschraubt waren.

Die Brandraumtemperaturmessung wurde mit 6 Mantelthermoelementen $\varnothing_a = 3,2$ mm durchgeführt. Zur Bestimmung der Bauteiloberflächentemperaturen wurden bei einem Teil der Versuche 0,2 mm dicke X5 CrNi 18 Bleche mittels Punktschweißung aufgebracht, in denen Mantelthermoelemente $\varnothing_a = 1$ mm steckten. Die Befestigung der Bleche an den Kupferrohren erfolgte mit einem Draht.

Da nur eine Volumenstrommeßeinrichtung zur Verfügung stand, konnte während des Versuchs nur an einem Rohr die Leckage gemessen werden. Bei den Versuchen mit ETK-Bearbeitung wurde deshalb nach 90 Minuten Versuchsdauer die Brandraumtemperatur konstant gehalten und anschließend die Volumenstrommessung an den anderen Rohren durchgeführt. Bei der Temperaturerhöhung um $\Delta\vartheta = 10$ K/min, wurde die Temperatur ab einer Brandraumtemperatur von $\vartheta_{\text{Brandraum}} = 920$ °C konstant gehalten und die Leckagen der anderen Rohre gemessen. Bei der Ergebnisdarstellung wurde bei diesen Rohren die Brandraumtemperatur, die in diesen Fällen gleich der Bauteiloberflächentemperatur war und die gemessene Leckage angegeben. Auf die Darstellung in einem eigenen Diagramm wurde verzichtet.

Der Versorgungsdruck war bei allen Versuchen auf 5000 Pa eingestellt.

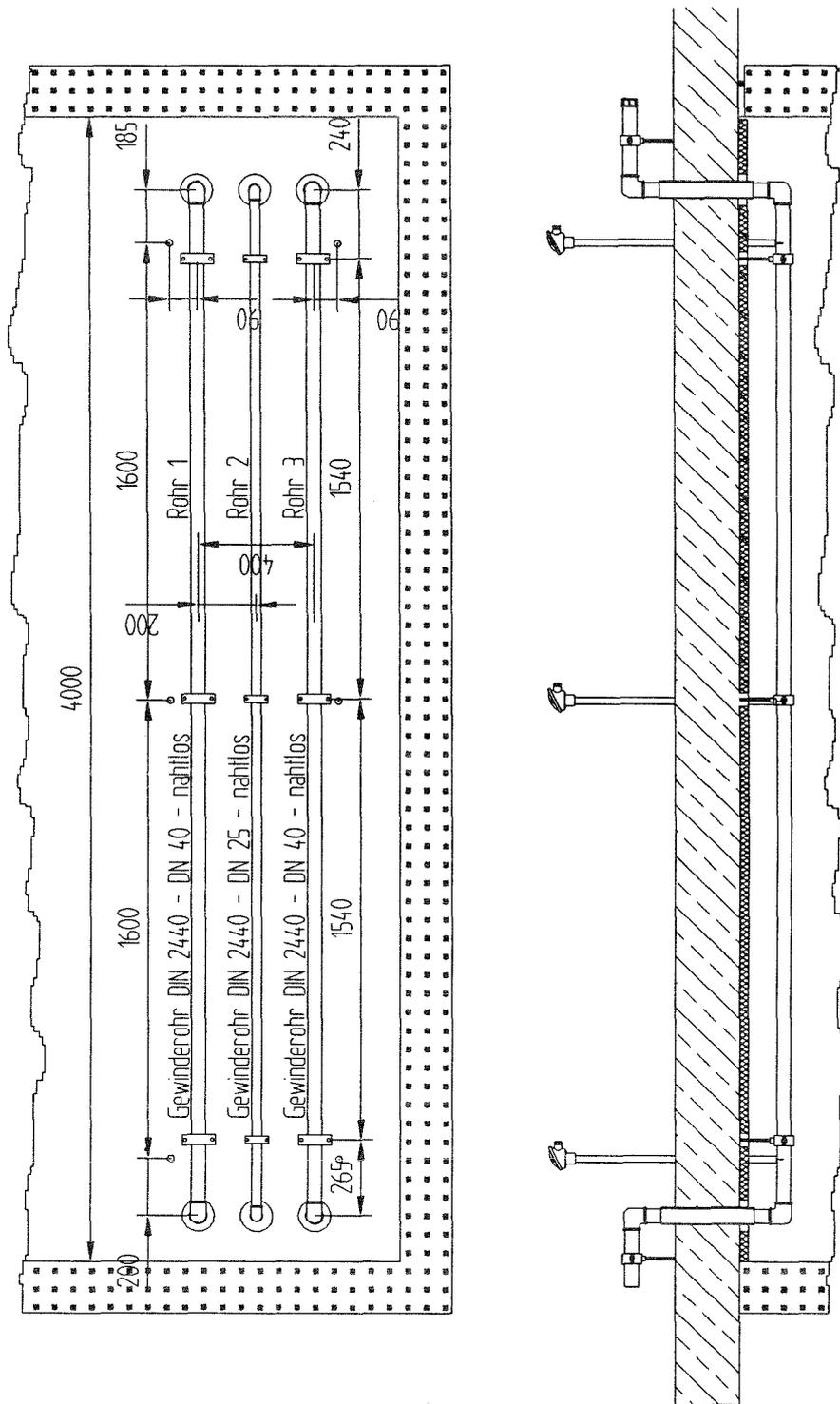


Abb. 9: Versuchsaufbau zur Prüfung von eingebauten Leitungen

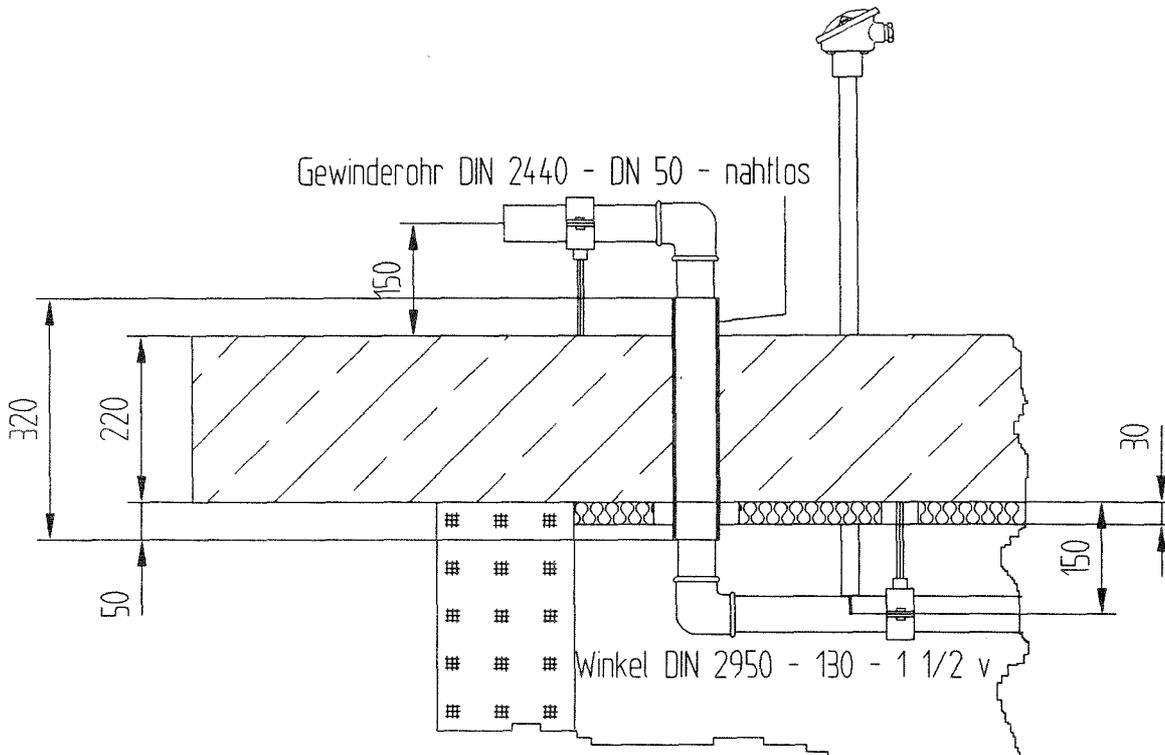


Abb. 10: Detail Durchführung

9.1. Gewinderohre

9.1.1. Geschweißt

Für die Versuche wurden Gewinderohre DIN 2440 - DN 40 - nahtlos [7] verwendet. Hierzu wurde ofenseitig an den Übergängen, bei den Deckendurchbrüchen, ein Rohrbogen eingeschweißt (elektrisch mit Stabelektroden).

Beim ersten Versuch, mit einer Temperaturbeanspruchung nach ETK und ohne Bepflanzung, riß die mittlere Rohrschelle an der Rohreinspannung nach 12 Minuten 30 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 671 \text{ °C}$) aus. Während des Versuchs bog sich das Rohr ca. 80 mm durch.

Nach 90 Minuten ETK und der anschließend konstant gehaltenen Brandraumtemperatur von $\vartheta_{\text{Brandraum}} = 1005 \text{ °C}$ konnte bei der Dichtheitsprüfung keine Leckage nachgewiesen werden.

Bei der Temperaturerhöhung $\Delta\vartheta = 10 \text{ K/min}$ riß die mittlere Rohrschelle an der Rohreinspannung bei einer Brandraumtemperatur von $\vartheta_{\text{Brandraum}} = 550 \text{ °C}$ aus. Die Leckagemessung nach Erreichen der Brandraumtemperatur von $\vartheta_{\text{Brandraum}} = 920 \text{ °C}$ zeigte, daß keine nachweisbaren Undichtigkeiten auftraten. Das Rohr bog sich zu diesem Zeitpunkt ca. 200 mm durch.

Die Verformungen am geschweißten Gewinderohr sind in Lichtbild 28 (rechtes Rohr) dargestellt.

9.1.2. Gewindeverbindung

Untersucht wurde die Gewindeverbindung nach DIN 2999, Teil 1 [9] an einem Gewinderohr DIN 2440 - DN 40 - nahtlos und einem Gewinderohr DIN 2440 - DN 25 - nahtlos. Die Gewindeverbindung war ofenseitig am Durchbruch mit einem Winkel DIN 2950 - 90 - 1½ v [6] bzw. beim DN 25 Rohr mit einem Winkel DIN 2950 - 90 - 1 v ausgeführt.

Beim ersten Versuch, ohne Beplankung der Betonplatte, traten die in Bild 108 dargestellten Leckagen am Rohr DN 40 auf.

In der 39. Minute, bei einer Brandraumtemperatur von $\vartheta_{\text{Brandraum}} = 880 \text{ °C}$ und einer Rohroberflächentemperatur von $\vartheta_{\text{Rohroberfläche}} = 847 \text{ °C}$, begann das Bauteil an den Gewindeverbindungen undicht zu werden und die Leckage stieg, bis zum Abbruch der Volumenstrommessung an diesem Rohr, auf $\dot{V} = 0,18 \text{ m}^3/\text{h}$ an.

Bei diesem Rohr riß die mittlere Rohrschelle an der Verschraubung der Rohrbefestigung nach 11 Minuten 30 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 648 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Rohroberfläche}} = 563 \text{ °C}$) aus und bog sich um ca. 80 mm durch.

Die Volumenstrommessung am Rohr DN 25 ergab nach 90 Minuten ETK und weiteren 5 Minuten zum Umbau der Volumenstrommeßeinrichtung, bei einer Brandraumtemperatur von $\vartheta_{\text{Brandraum}} = 1005 \text{ °C}$, eine Leckage von $\dot{V} = 0,070 \text{ m}^3/\text{h}$.

Dieses Rohr bog sich zwischen den Rohrschellen jeweils um ca. 20 mm durch. Alle drei Rohrschellen hielten während des gesamten Versuchs, wobei sich die Schraub-Rohrschellen dehnten.

Bei einem weiteren Versuch trat an den Gewindeverbindungen (DN 40) keine nachweisbare Leckage auf. Die Leckagemessung erfolgte nach 90 Minuten ETK bei einer Brandraumtemperatur von $\vartheta_{\text{Brandraum}} = 1005 \text{ °C}$.

Auch bei diesem Versuch riß die Rohrschelle an der Verschraubung der Rohrbefestigung nach 9 Minuten 30 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 673 \text{ °C}$). Die Durchbiegung des Rohres betrug ab der 75. Minute ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 980 \text{ °C}$) ca. 220 mm.

Die Leckagen am Gewinderohr DN 40 bei einer Temperaturerhöhung um $\Delta\vartheta = 10 \text{ K}/\text{min}$ sind in Bild 109 dargestellt. Nach 73 Minuten 54 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 902 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Rohroberfläche}} = 897 \text{ °C}$) traten an den Gewindeverbindungen Undichtigkeiten mit einem Volumenstrom von $\dot{V} = 0,008 \text{ m}^3/\text{h}$ auf. Ab der 76. Minute wurde die Leckage an den anderen Rohren gemessen, so daß erst wieder ab der 100. Minute, bei einer Brandraumtemperatur von $\vartheta_{\text{Brandraum}} = 920 \text{ °C}$, die Undichtigkeiten an diesem Rohr gemessen wurde. Sie betrug zu diesem Zeitpunkt $\dot{V} = 0,018 \text{ m}^3/\text{h}$.

Bei dem Gewinderohr DN 25 lagen die Undichtigkeiten, gemessen bei konstantgehaltener Temperatur von $\vartheta_{\text{Brandraum}} = 920 \text{ °C}$ ab der 76. Minute, in der 100. Minute, unter der Nachweisgrenze.

In Lichtbild 28 sind die Verformungen am geschraubten Rohr DN 40 (Links) und Rohr DN 25 (Mitte) dargestellt.

9.1.3. Langgewinde

Hierzu wurde zwischen den ersten beiden Rohrschellen ein Langgewinde DIN 2981 - 1½ - M2 - P4 - v [10] eingebaut. Alle Verbindungen am Langgewinde wurden gehanft. An den Betonplattendurchgängen wurden Rohrbögen eingeschweißt.

Nach 13 Minuten riß die mittlere Rohrschelle an der Verschraubung der Rohreinspannung aus ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 723 \text{ °C}$). Die größte Durchbiegung am Rohr trat ab der 76. Minute auf ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 980 \text{ °C}$) und betrug ca. 200 mm.

Nach 90 Minuten ETK und anschließender Konstanthaltung der Brandraumtemperatur bei $\vartheta_{\text{Brandraum}} = 1005 \text{ °C}$, erfolgte in der 95. Minute die Leckagemessung an diesem Bauteil. Dabei konnte eine Leckage von $\dot{V} = 0,011 \text{ m}^3/\text{h}$ festgestellt werden.

Bei einer erneuten Leckagemessung, nach Abkühlung des Bauteils, war ein Volumenstrom von $\dot{V} = 0,195 \text{ m}^3/\text{h}$ nachweisbar. Die Undichtigkeiten traten an allen gehanften Verbindungen auf, wobei die größte an der Gegenmutter war.

Lichtbild 29 zeigt die Durchbiegung des Rohres mit Langgewinde (linkes Rohr) während des Versuchs.

9.1.4. Glattrohrverbindung

Die Glattrohrverbindung nach DIN 3387, Teil 1 [12] der Größe DN 40 mit temperaturbeständiger Dichtung, wurde zwischen den ersten beiden Rohrschellen eingebaut. An den Deckendurchgängen wurden Rohrbögen eingeschweißt.

Dabei war zwischen der 61. ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 947 \text{ °C}$) und 65. Minute ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 958 \text{ °C}$) (Bild 110) eine Undichtigkeit mit einem maximalen Volumenstrom von $\dot{V} = 0,0037 \text{ m}^3/\text{h}$.

Das Bauteil konnte die durch Erwärmung auftretenden Längenänderungen kompensieren, so daß die Durchbiegung auf ca. 20 mm begrenzt blieb. Im Gegensatz zu den anderen Versuchen mit DN 40 Rohren riß die mittlere Rohrschelle nicht aus (Lichtbild 29, mittleres Rohr).

9.2. Kupferleitung

9.2.1. Hartgelötet

Der Versuchsaufbau zur Prüfung von hartgelöteten Rohrverbindungen bei eingebauten Kupferleitungen war ähnlich dem bei Stahlleitungen. Ein Unterschied bestand darin, daß nur zwei Rohre eingebaut wurden, nämlich ein Rohr DIN 1786 - SF-Cu - 22 x 1 [14] und ein Rohr DIN 1786 - SF-CU - 35 x 1,5. Die Bögen an den Durchführungen durch die Betonplatte wurden mit "Bogen DIN 2856 - 5002 a - 22 bzw. 35" [15] hartgelötet ausgeführt.

Als Mantelrohr bei der Deckendurchführung wurde beim 35er Rohr ein DN 40 und beim 22er Rohr ein DN 25 Gewinderohr nach DIN 2440 [7] verwendet. Der verbleibende Spalt zwischen diesen beiden Rohren wurde brandraumseitig mit einer Keramikschnur ausgestopft.

Bei der Temperaturerhöhung nach ETK trat bei dem 35er Rohr nach 21 Minuten 45 Sekunden ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 790 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Rohroberfläche}} = 780 \text{ °C}$) eine Undichtigkeit auf, die bis zum Versuchsende in etwa konstant bei $\dot{V} = 0,005 \text{ m}^3/\text{h}$ blieb (Bild 111).

Eine Leckagemessung am 22er Rohr nach 90 Minuten ETK war nicht möglich, da in der 92. Minute die Deckenplatte neben der Betonplatte einstürzte.

Bei der Leckagemessung am 22er Rohr nach Abkühlung des Brandraums war der Volumenstrom bei $\dot{V} = 0,018 \text{ m}^3/\text{h}$ ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 92 \text{ °C}$). Da am 35er Rohr bei ähnlicher Brandraumtemperatur ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 95 \text{ °C}$) die auftretende Undichtigkeit bei $\dot{V} = 0,012 \text{ m}^3/\text{h}$ lag, kann davon ausgegangen werden, daß die Leckagen auch während des Brandversuchs ähnlich waren.

Nach Abkühlung des Ofens wurde mit einem Leckspray festgestellt, daß die Undichtigkeiten an den Lötverbindungen auftraten.

Die maximale Durchbiegung an den Rohren zwischen den Rohrschellen betrug beim 35er Rohr ca. 50 mm und beim 22er Rohr ca. 90 mm. Ein Ausreißen der Rohrschellen trat nicht auf (Lichtbild 30).

Bei der Temperaturerhöhung um $\Delta\vartheta = 10 \text{ K}/\text{min}$ trat beim 35er Rohr eine Leckage nach 72 Minuten (Bild 112) ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 840 \text{ °C}$, $\vartheta_{\text{Rohroberfläche}} = 837 \text{ °C}$) auf. Sie stieg bis zur 83. Minute auf $\dot{V} = 0,0035 \text{ m}^3/\text{h}$ an.

Ab der 83. Minute wurde die Brandraumtemperatur konstant auf ca. 920 °C gehalten und die Leckage am 22er Rohr gemessen. Sie lag jedoch unterhalb der Nachweisgrenze.

Die größte Durchbiegung trat wieder am 22er Rohr mit ca. 130 mm auf, wobei es sich S-förmig, mit den Rohrschellen als Stützpunkten, verbog.

In Lichtbild 31 sind die Verformungen an den Mantelrohren der Deckendurchführung dargestellt.

9.2.2. Vergleich hartgelötet/weichgelötet

Zum Vergleich von eingebauten Kupferleitungen mit Hart- und Weichlötung bei ETK-Belastung, wurde an einer 115 mm dicken verputzten Ziegelwand der in Lichtbild 32 dargestellte Leitungsaufbau installiert.

Die Abbildung zeigt den fast fertigen Versuchsaufbau, bevor die Wand vor das Brandversuchshaus gestellt wurde. Durch die Bohrungen wurden Mantelthermoelemente $\varnothing_a = 3,2$ mm zur Messung der Brandraumtemperatur gesteckt. Die Thermoelementsitze befand sich in der gleichen Ebene wie die Rohre. Während des Versuchs mußten die oberen Mantelthermoelemente wegen der starken Durchbiegung der Rohre etwas zurückgezogen werden.

Die Versuche wurden mit Rohren DIN 1786 - SF-Cu - 22 x 1 und KapillarlötfitTINGS DIN 2856 durchgeführt. Am weichgelöteten Kupferrohr erfolgte die Leckagemessung bei einem Versorgungsdruck von 5000 Pa.

Zur Befestigung der Rohre wurden durch die Wand Gewindestangen M 8 gesteckt und beidseitig mit einer Mutter und beigelegter Scheibe arretiert. Auf die Gewindestange wurde eine Schraubrohrschele mit Gummieinlage zur Befestigung der Rohre geschraubt.

Bei den weichgelöteten Rohren trat nach 15 Minuten ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 745$ °C) eine Undichtigkeit von $\dot{V} = 0,05$ m³/h auf, die in der 22. Minute ($\vartheta_{\text{Brandraum}} = 796$ °C) auf $\dot{V} = 0,07$ m³/h anstieg (Bild 113). Bis zum Abbruch der Leckagemessung am weichgelöteten Rohr nach 90 Minuten, stieg der Volumenstrom kontinuierlich auf $\dot{V} = 0,08$ m³/h an.

Im Anschluß an 90 Minuten ETK, bei Konstanthaltung der Brandraumtemperatur auf $\vartheta_{\text{Brandraum}} = 1010$ °C, erfolgte die Leckagemessung an der hartgelöteten Leitung. Der gemessene Volumenstrom betrug dabei $\dot{V} = 0,004$ m³/h.

Beim Umbau der Volumenstrommeßeinrichtung konnten die Rohre in den LötfitTINGS gedreht werden. Das weichgelötete Rohr lies sich sogar am Übergangsnippel von der Meßeinrichtung auf das Kupferrohr (außerhalb des Ofens) drehen.

Bei einer erneuten Leckagemessung am weichgelöteten Rohr war die Leckage nach 107 Minuten und einer Brandraumtemperatur von weiterhin $\vartheta_{\text{Brandraum}} = 1010$ °C auf $\dot{V} = 0,265$ m³/h angestiegen. Dabei traten aber auch Undichtigkeiten am Übergangsnippel auf.

Die horizontal verlaufenden Rohre bogen sich während des Versuchs um ca. 300 mm durch, während die vertikalen Rohre nahezu unverformt blieben (Lichtbild 33).

10. Literatur

- [1] DVGW-TRGI'86: *Technische Regeln für Gasinstallationen*, 1. unveränderter Nachdruck, ZfGW-Verlag, Frankfurt (Main) 1987
- [2] Wüst, H., Zingrefe, H.: *Handbuch zu den technischen Regeln für Gasinstallationen*, DELIWA-Verein e.V., Hannover 1987
- [3] DIN 4102, Teil 2: *Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Bauteile; Begriffe, Anforderungen und Prüfungen*, September 1977
- [4] DIN 4102, Teil 8: *Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Kleinprüfstand*, Mai 1986
- [5] DIN 4102, Teil 11: *Brandverhalten von Baustoffen und Bauteilen; Rohrummantelungen, Rohrabschottungen, Installationsschächte und -kanäle sowie Anschlüsse ihrer Revisionsöffnungen; Begriffe, Anforderungen und Prüfungen*, Dezember 1985
- [6] DIN 2950: *Tempergußfittings*, April 1983
- [7] DIN 2440: *Stahlrohre; Mittelschwere Gewinderohre*, Juni 1978
- [8] DIN 3383, Teil 1: *Gasschlauchleitungen und Gasanschlußarmaturen; Sicherheits-Gasschlauchleitungen; Sicherheits-Gasanschlußarmaturen*, Juni 1990
- [9] DIN 2999, Teil 1: *Whitworth-Rohrgewinde für Gewinderohre und Fittings; Zylindrisches Innengewinde und kegeliges Außengewinde; Gewindemaße*, Juli 1983
- [10] DIN 2981: *Stahlfittings mit Gewinde; Langgewinde*, August 1982
- [11] DIN 2441: *Stahlrohre; Schwere Gewinderohre*, Juni 1978
- [12] DIN 3387, Teil 1: *Lösbare Rohrverbindungen für metallene Gasleitungen; Glattrohrverbindungen*, Januar 1991
- [13] DIN 2635: *Vorschweißflansche; Nenndruck 40*, März 1975
- [14] DIN 1786: *Installationsrohre aus Kupfer; nahtlosgezogen*, Mai 1980
- [15] DIN 2856: *Kapillarlötfittings; Anschlußmaße und Prüfungen*, Februar 1986

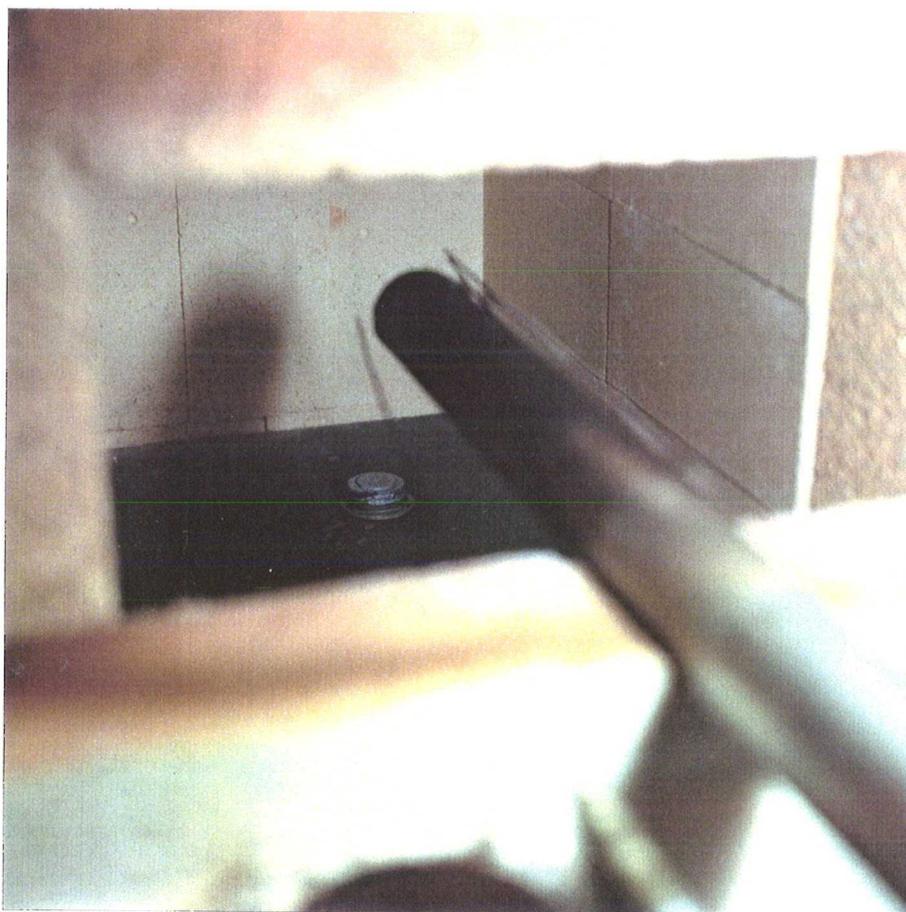
Lichtbild 1:

Anschluß Gaseingang

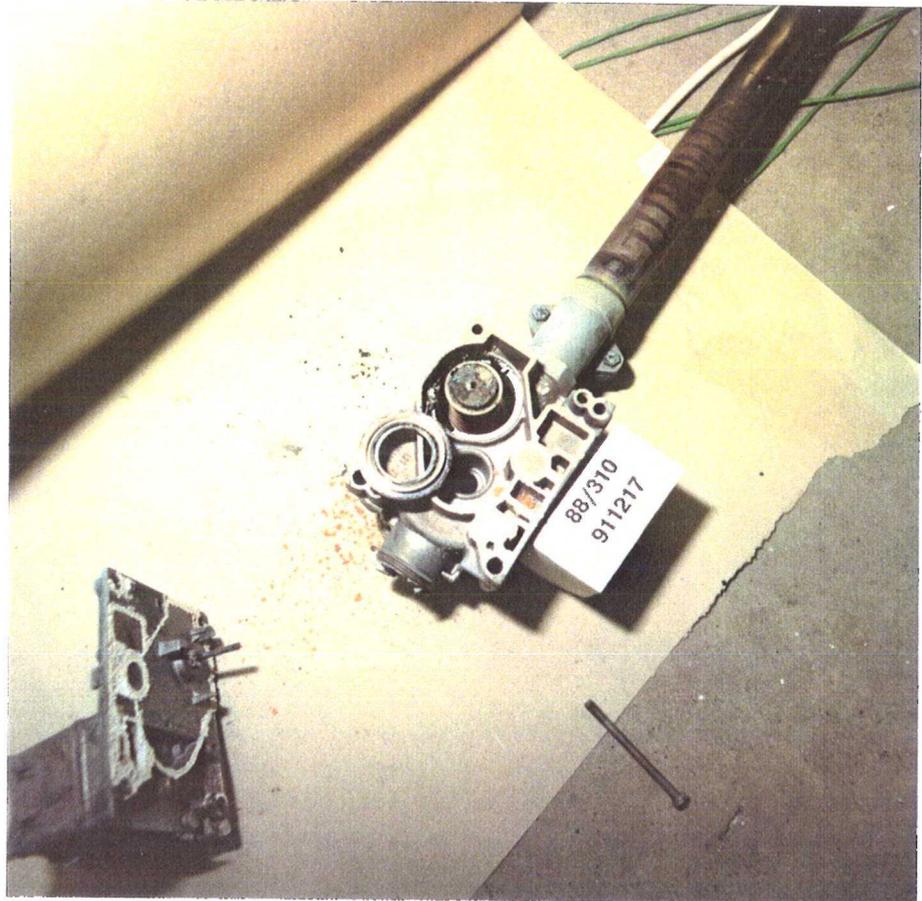


Lichtbild 2:

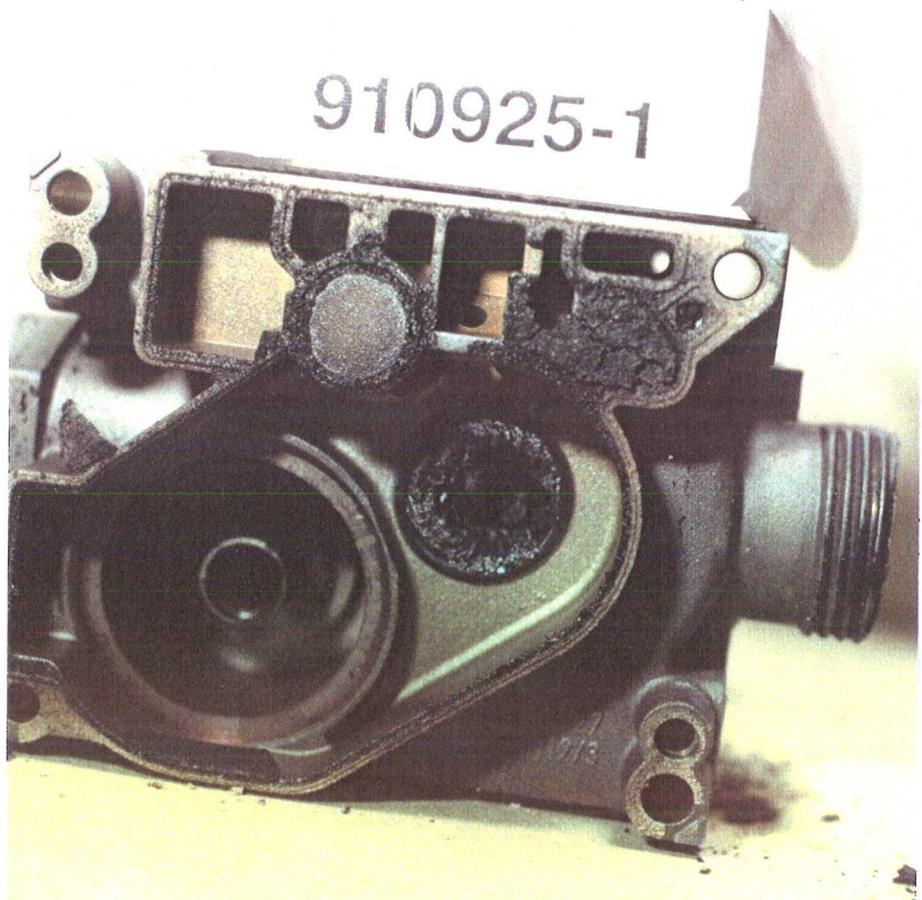
Dichtringverschraubung



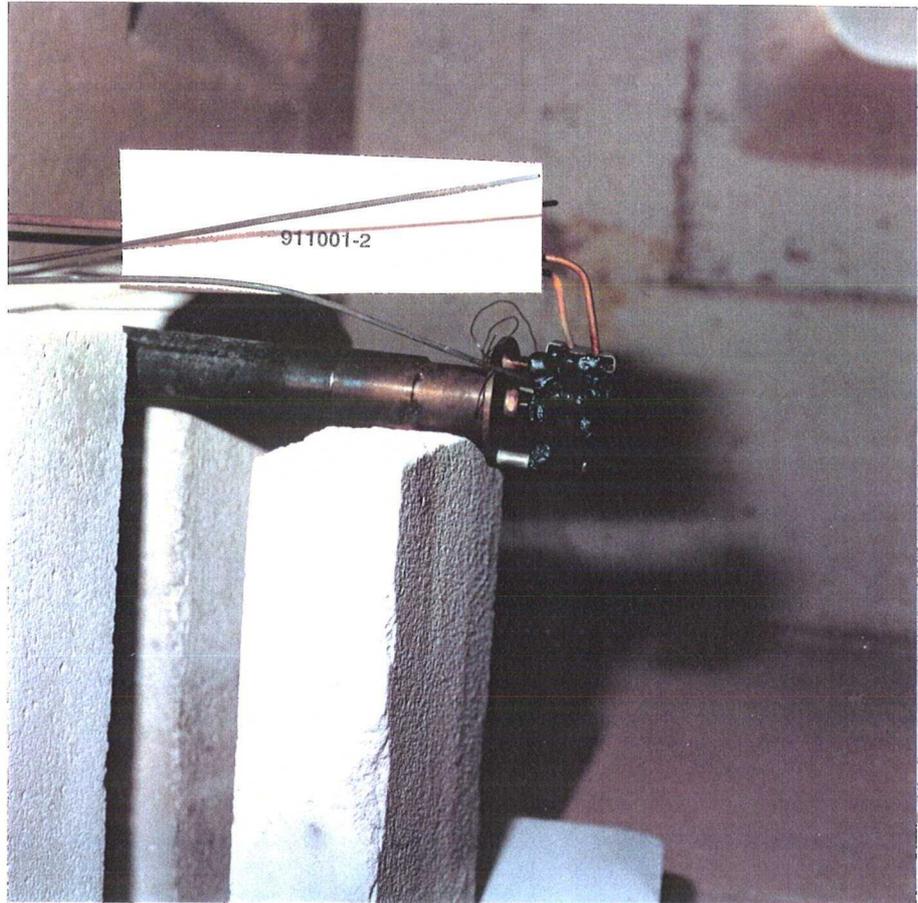
Lichtbild 3:
Hauptgasventil



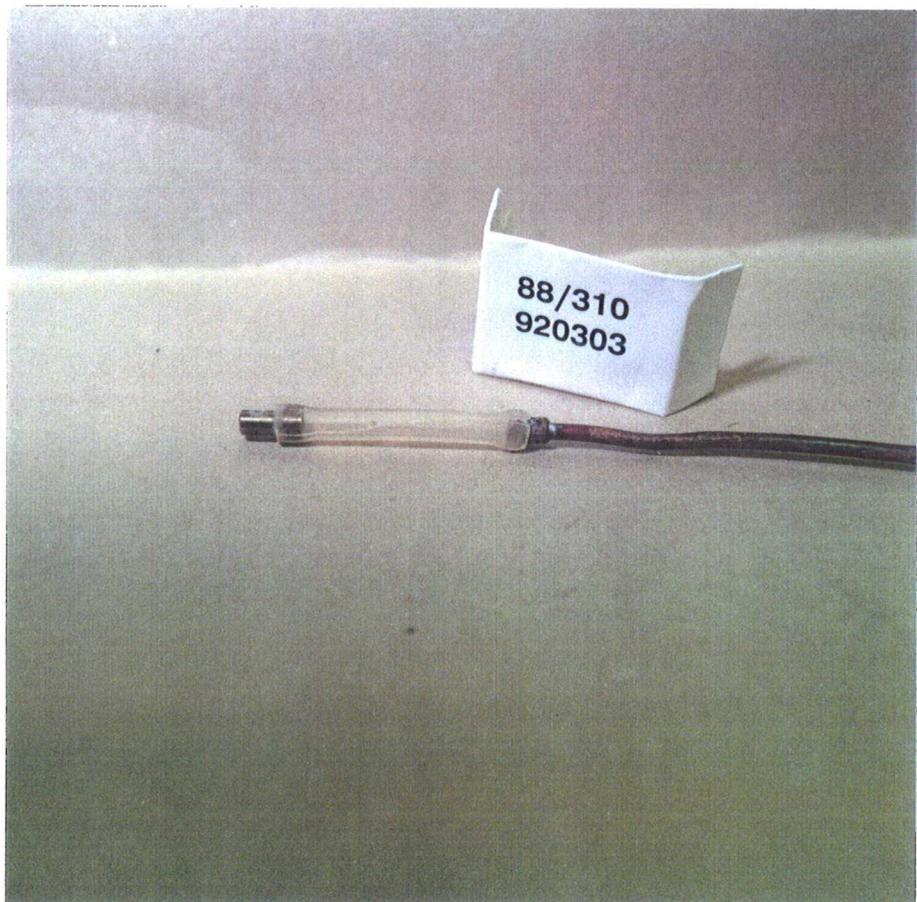
Lichtbild 4:
Hauptregelventil



Lichtbild 5:
Strömungsschalter

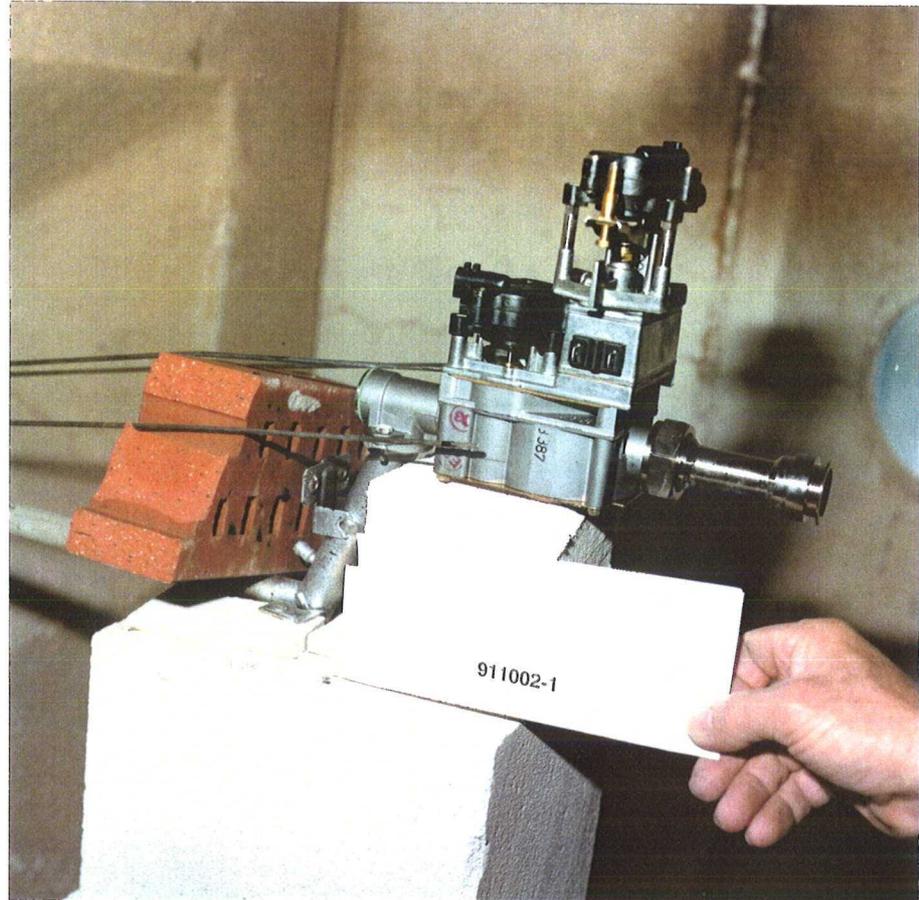


Lichtbild 6:
Luftleitung Membran-
pumpe



Lichtbild 7:

Versuchsaufbau Gasregelblock Typ A

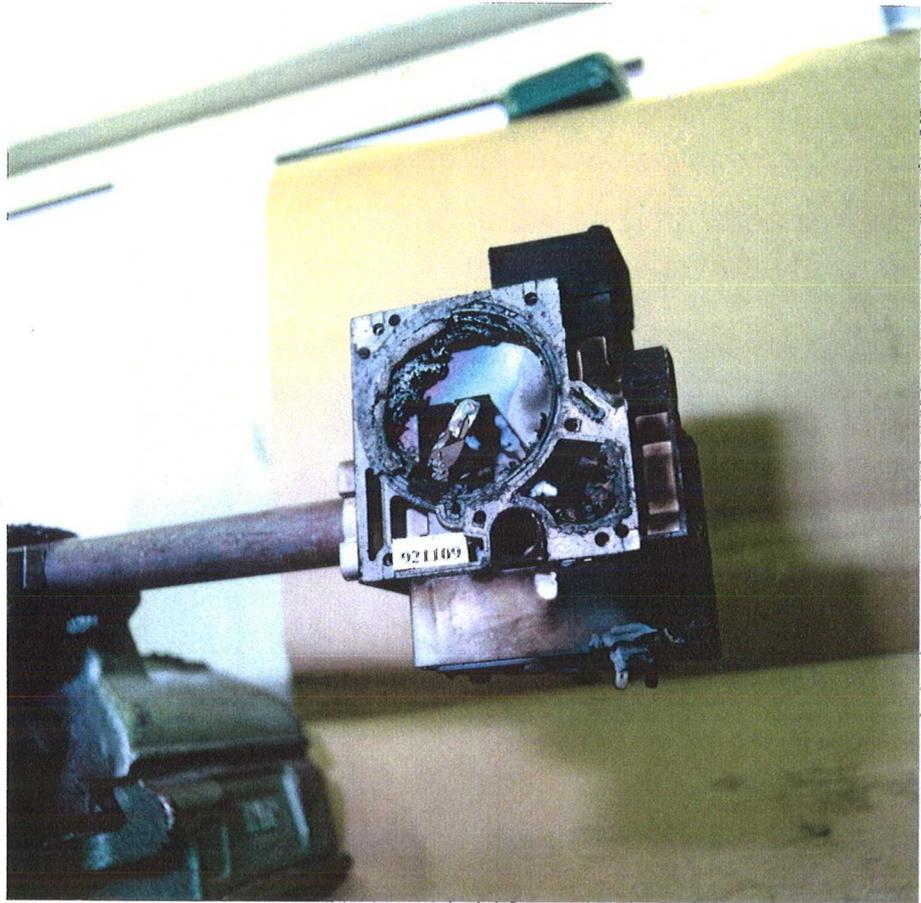


Lichtbild 8:

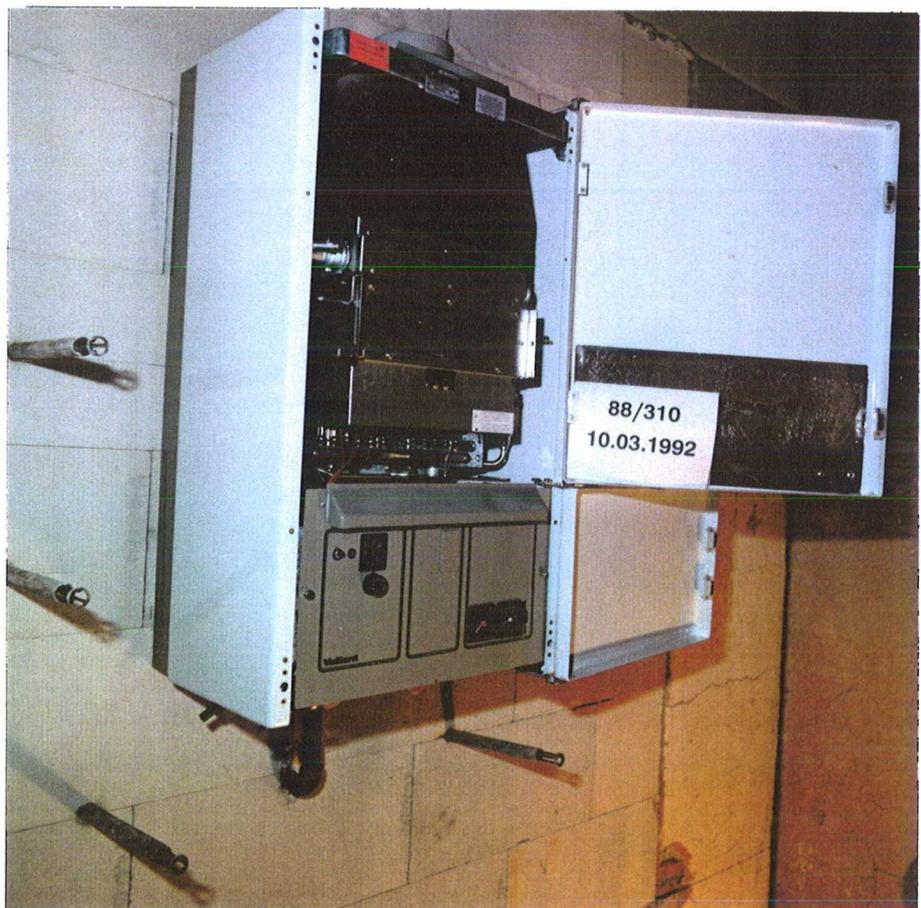
Gasregelblock Typ B



Lichtbild 9:
Gasregelblock Typ C



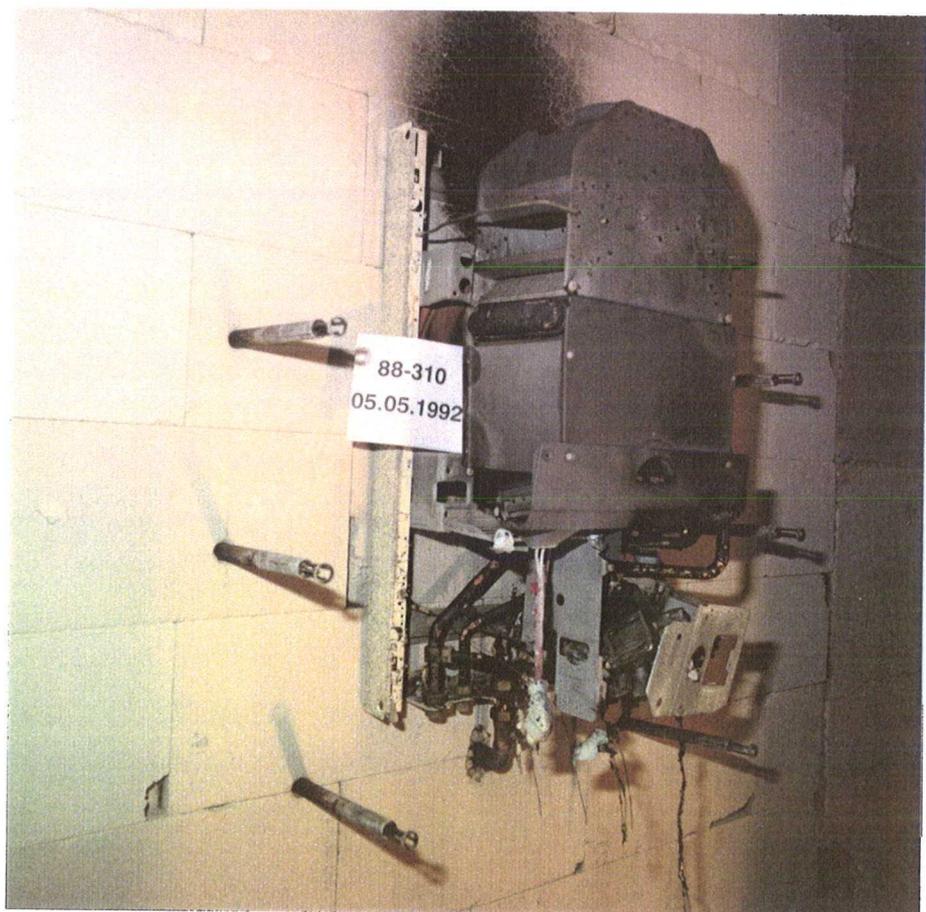
Lichtbild 10:
Versuchsaufbau Ther-
men



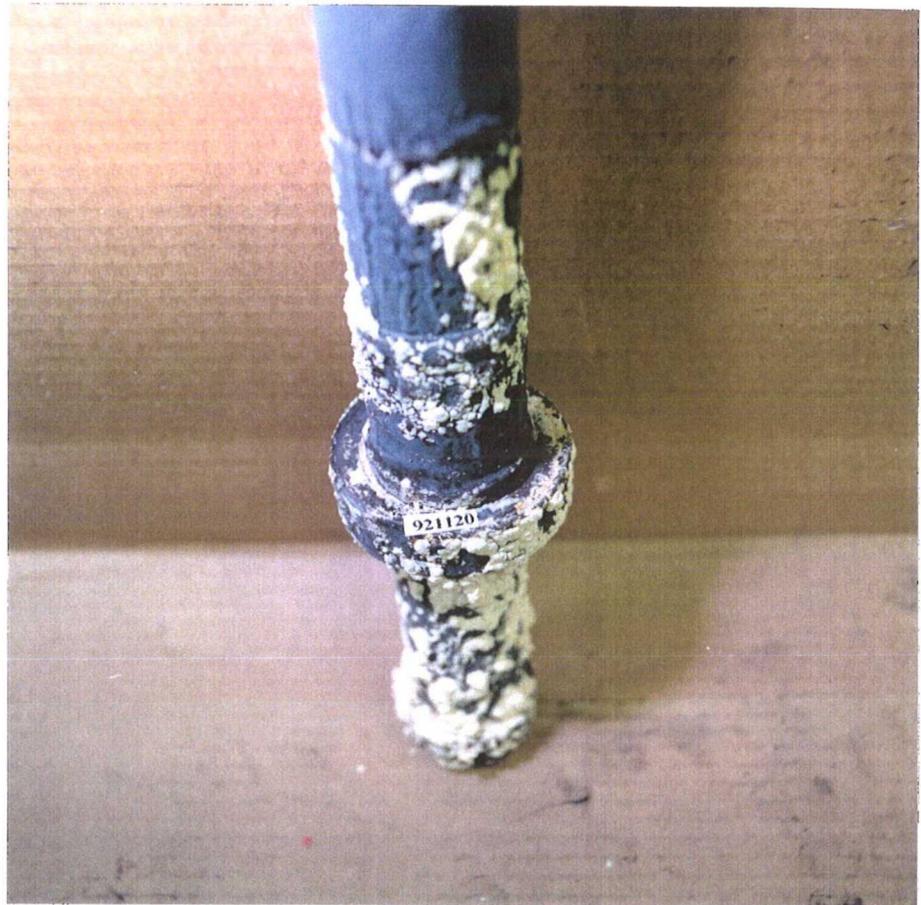
Lichtbild 11:
Therme Typ A



Lichtbild 12:
Therme Typ B



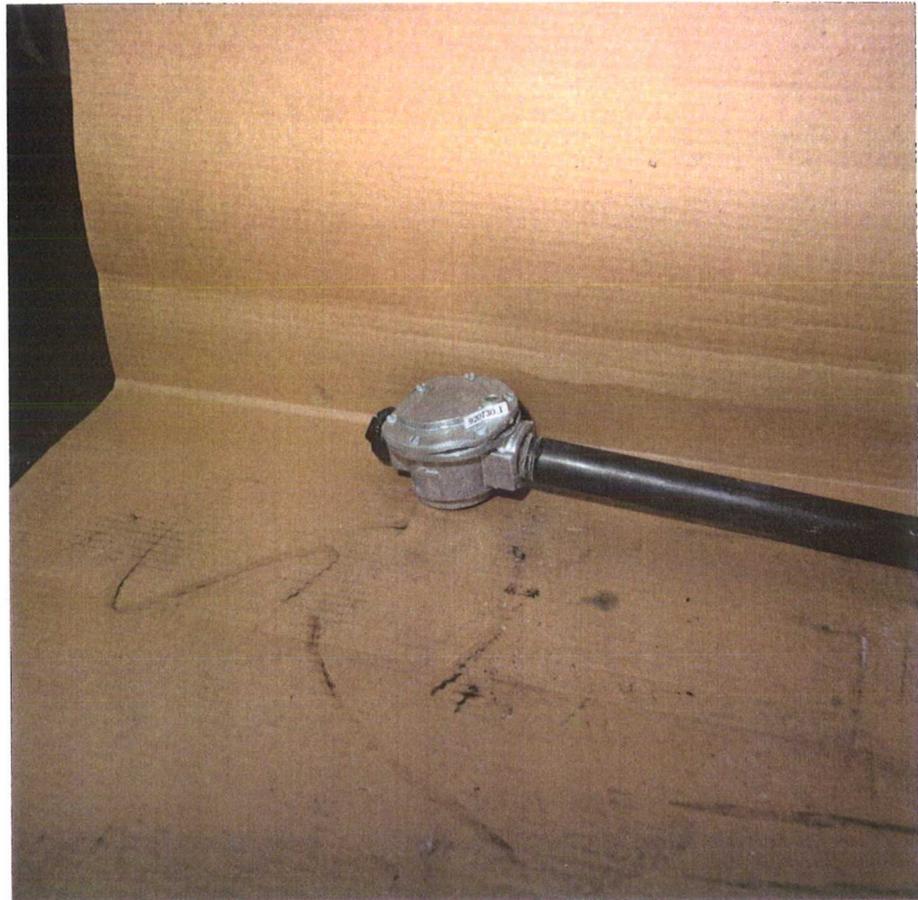
Lichtbild 13:
Isolierstück



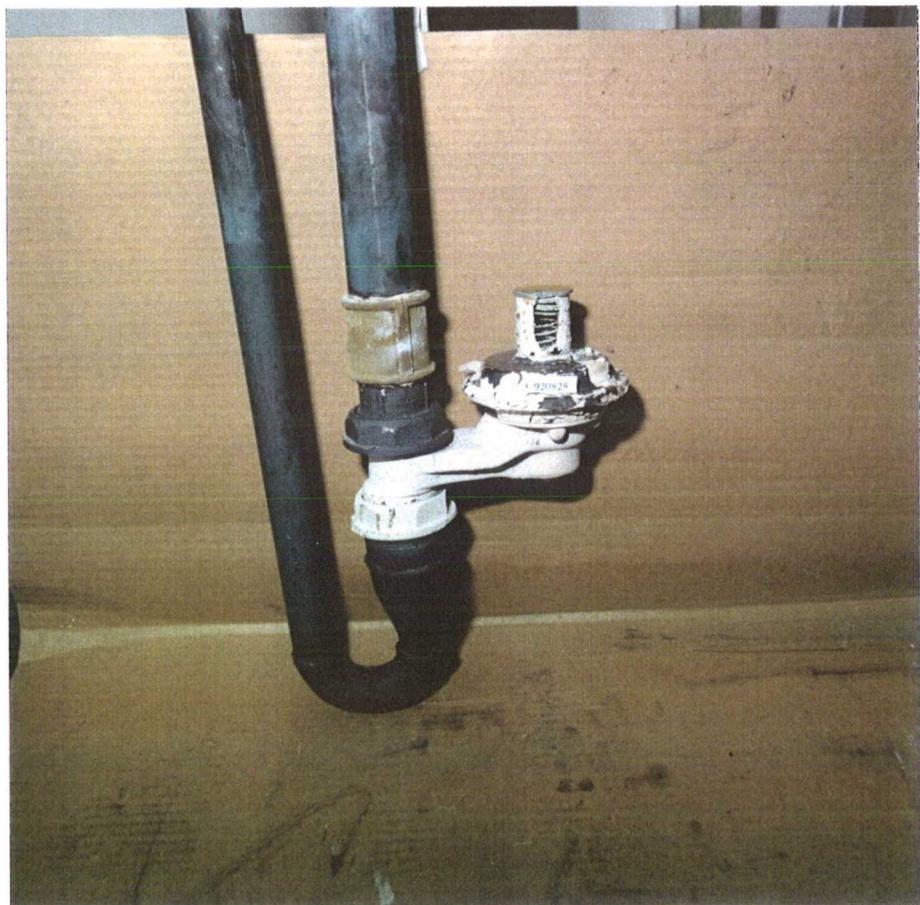
Lichtbild 14:
Hauptabsperrhahn mit
integriertem Isolier-
stück



Lichtbild 15:
Gasfilter



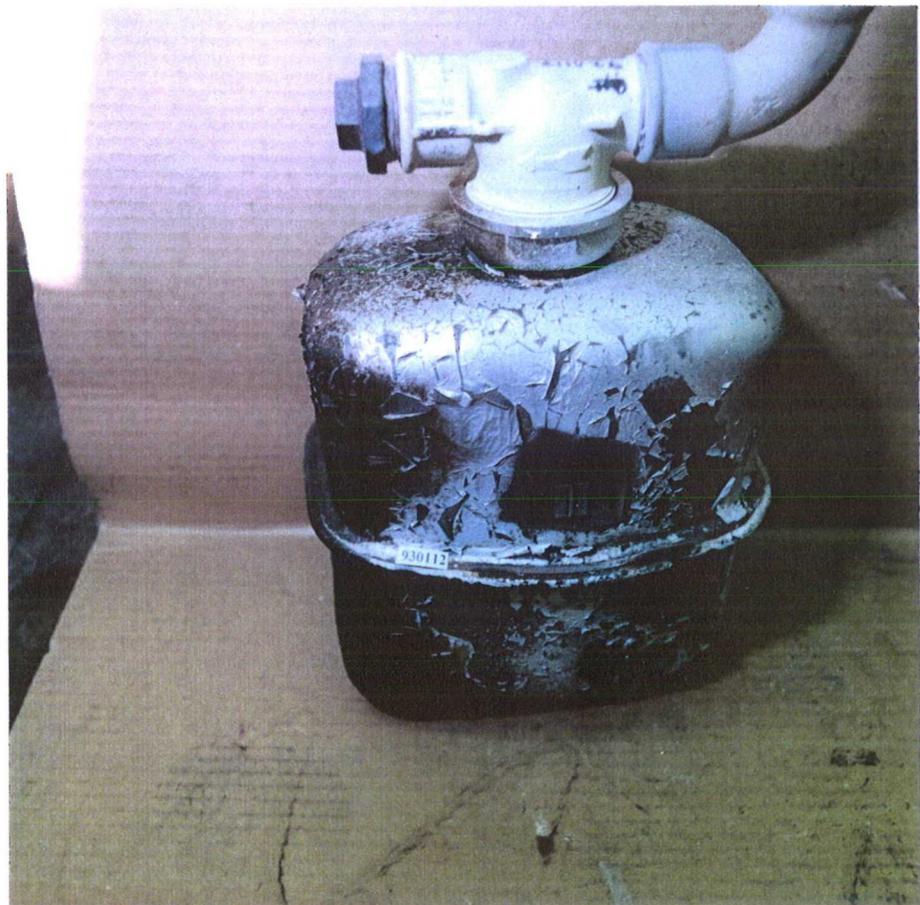
Lichtbild 16:
Zählerdruckregler
Typ A



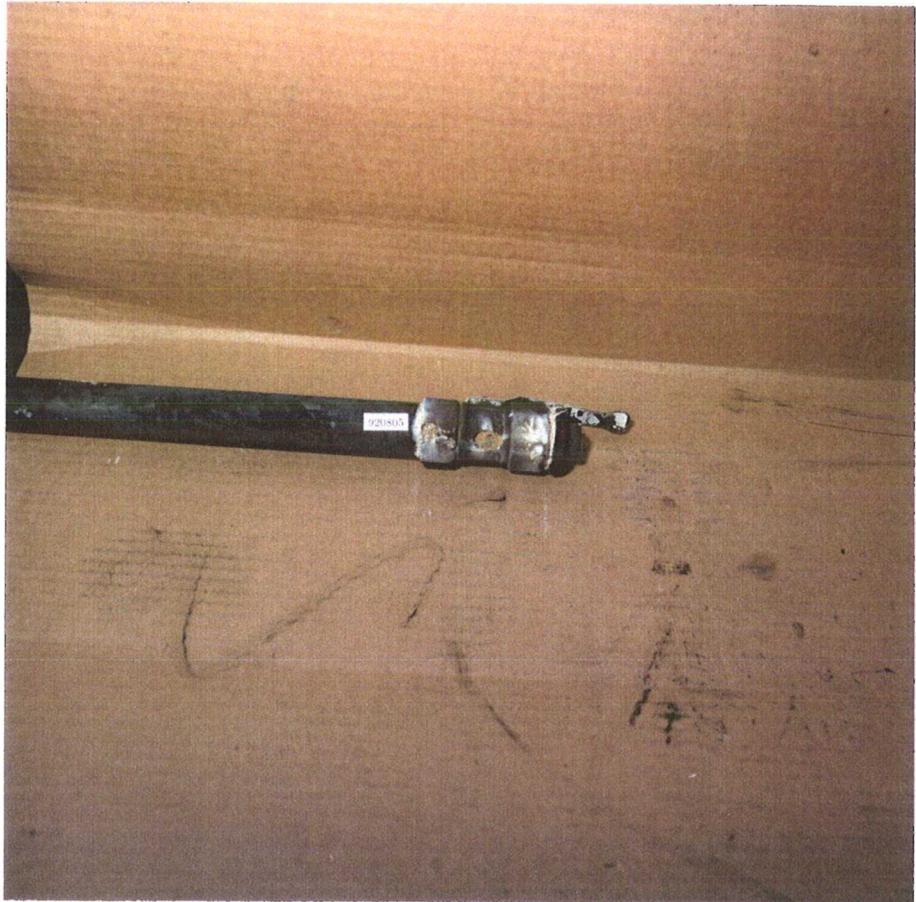
Lichtbild 17:
Zählerdruckregler
Typ B



Lichtbild 18:
Gaszähler



Lichtbild 19:
Gas-Kugelhahn



Lichtbild 20:
Gassteckdose



Lichtbild 21:

Gassteckdose mit Anschlußschlauch



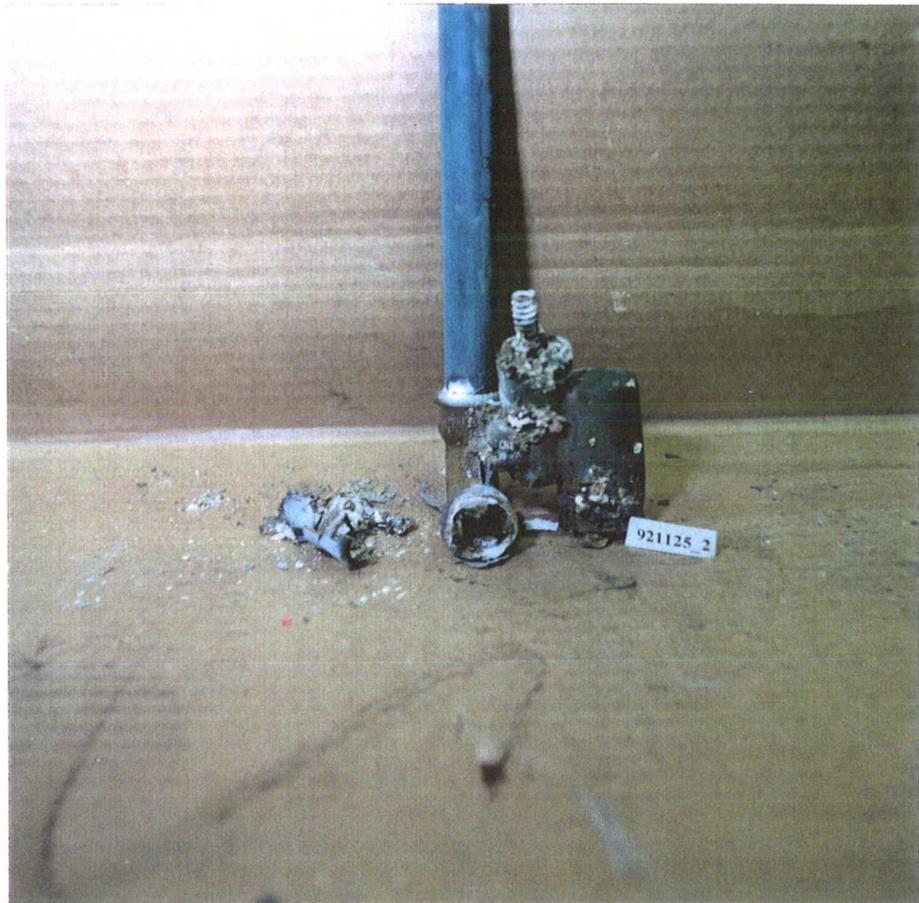
Lichtbild 22:

Gasanschlußkugelhahn mit thermisch auslösender Schließvorrichtung



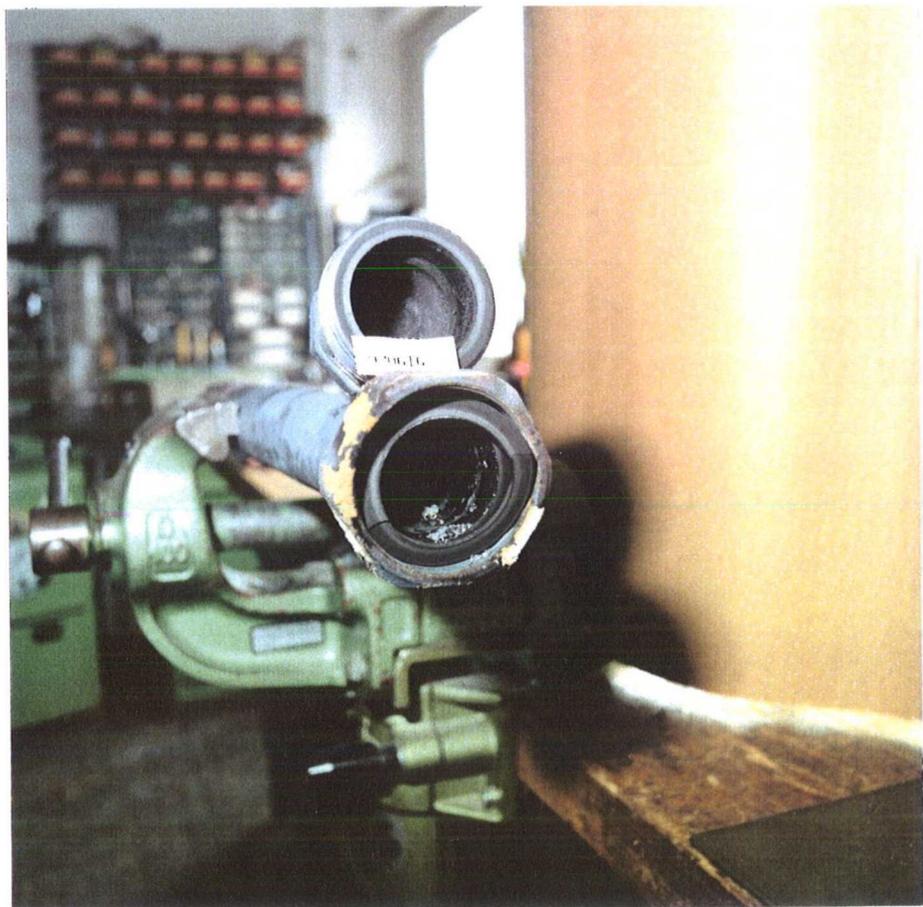
Lichtbild 23:

Gassteckdose mit
thermisch auslösender
Schließvorrichtung



Lichtbild 24:

Flachdichtende Rohr-
verschraubung mit
Dichtung mit erhöhter
Temperaturbeständig-
keit



Lichtbild 25:

Glattrohrverbindung
mit erhöhter Tempera-
turbeständigkeit



Lichtbild 26:

Glattrohrverbindung
ohne erhöhte Tempera-
turbeständigkeit



Lichtbild 27:

Flanschverbindung mit
Dichtung mit erhöhter
Temperaturbeständig-
keit



Lichtbild 28:

Eingebaute Leitungen
(Gewinderohre DIN
2440)



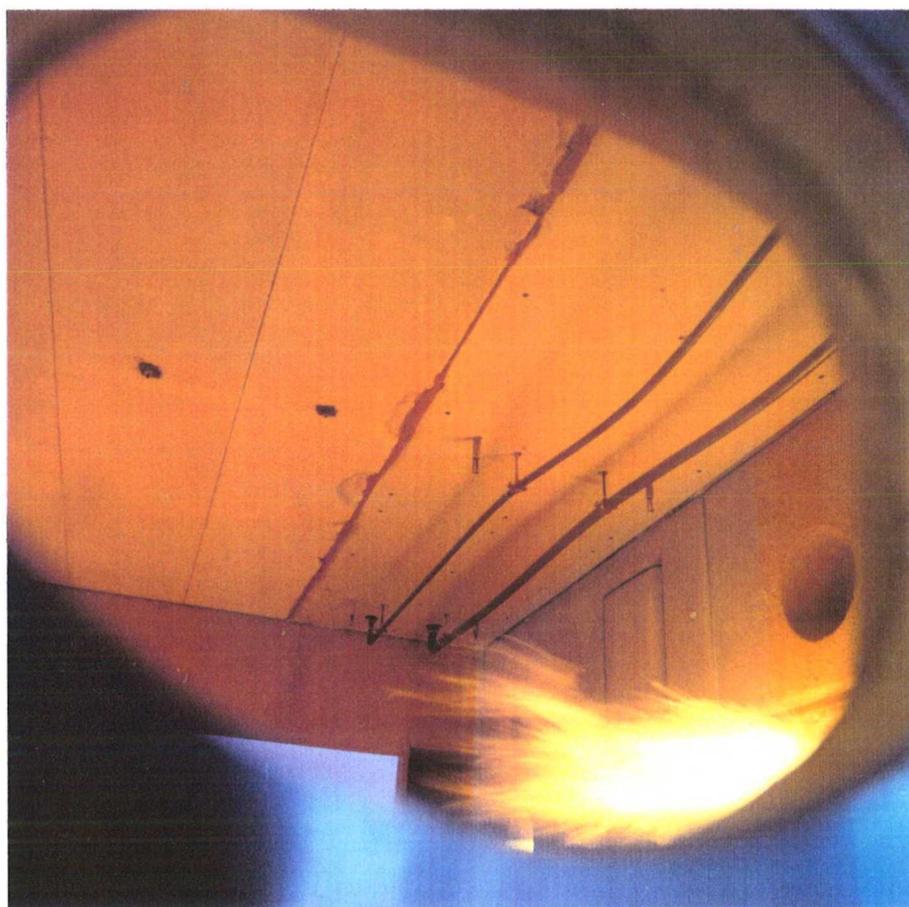
Lichtbild 29:

Eingebaute Leitungen
(Gewinderohre DIN
2440) mit Langgewin-
de und Glattrohrver-
bindung



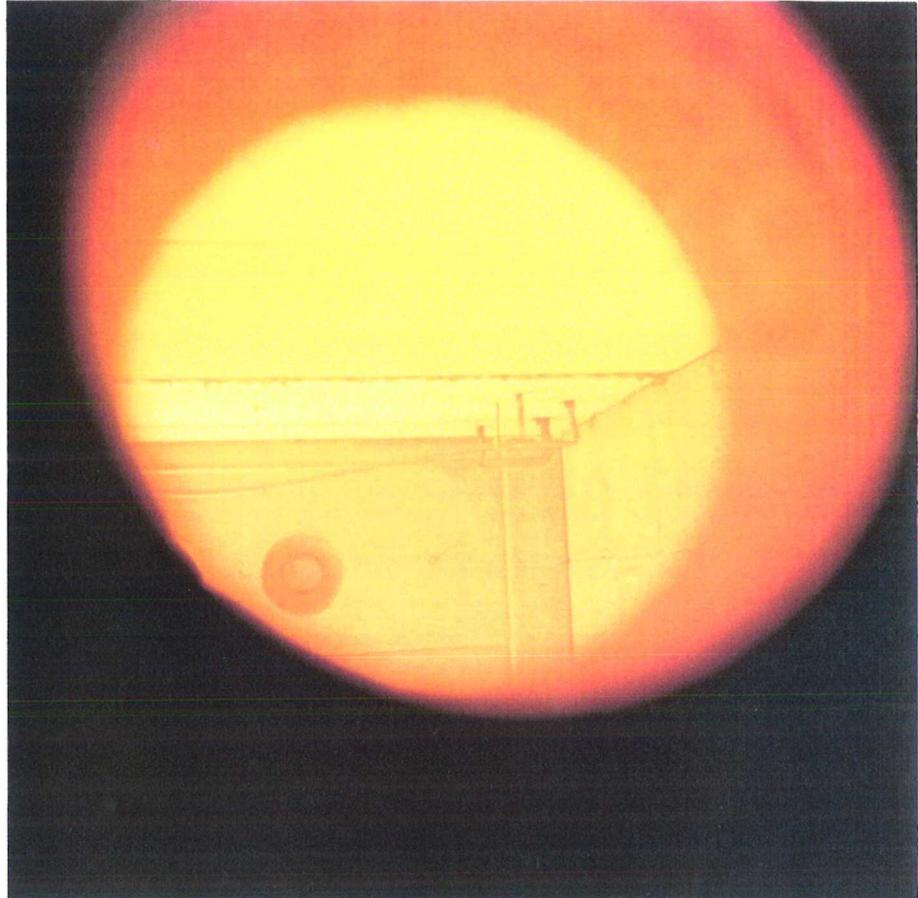
Lichtbild 30:

Eingebaute Kupferlei-
tungen



Lichtbild 31:

Verformungen der
Kupferleitungen an der
Deckendurchführung



Lichtbild 32:

Versuchsaufbau zum
Vergleich von weich-
und hartgelöteten
Installationsrohren aus
Kupfer



Lichtbild 33:

Verformungen der
weich- und hartgelöte-
ten Installationsrohre
aus Kupfer

