

# Raumfahrt- produktsicherung

## Brennverhaltenstest für die Auswahl von Raumfahrtmaterialien



**DLR**

Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.  
in der Helmholtz-Gemeinschaft



# **Raumfahrt- produktsicherung**

## **Brennverhaltenstest für die Auswahl von Raumfahrtmaterialien**



**DLR**

**Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.**  
in der Helmholtz-Gemeinschaft



Deutsche Übersetzung

Herausgeber Deutsches Zentrum  
für Luft- und Raumfahrt e.V.  
  
Qualitäts- und Produktsicherung  
Nationales ECSS-Sekretariat

Anschrift Porz-Wahnheide  
Linder Höhe  
D-51147 Köln

Technische Bearbeitung Dr.-Ing. Andreas K. Jain

Telefon (0 22 03) 6 01 - 2954  
Telefax (0 22 03) 6 01 - 32 35  
E-Mail Andreas.Jain@dlr.de

Redaktion Ruth Opperbeck

Telefon (0 22 03) 6 01 - 21 99  
Telefax (0 22 03) 6 01 - 32 35  
E-Mail Ruth.Opperbeck@dlr.de

Preis 15 €

Englische Originalausgabe

Herausgeber ESA Publications Division  
ESTEC, Postfach 299  
2200AG Noordwijk  
Niederlande

## **Vorwort**

Diese Norm gehört zu einer Reihe von ECSS-Normen, die sich auf das Management, die Technik (Engineering) und die Produktsicherung bei Projekten und Anwendungen der Raumfahrt beziehen. ECSS ist ein Gremium, in dem die Europäische Raumfahrtagentur ESA, nationale Raumfahrtagenturen sowie europäische Industrieverbände mit dem Ziel zusammenarbeiten, einheitliche Normen zu erstellen und zu pflegen.

Diese Norm legt Anforderungen als Ziele fest, die zu erreichen sind, und gilt nicht hinsichtlich der Organisation und Durchführung der erforderlichen Arbeiten.

Bei der Erarbeitung dieser Norm wurde die Normenreihe ISO 9000 berücksichtigt.

Diese Norm wurde auf der Basis des ESA-Dokuments PSS-01-721 und unter Berücksichtigung des Testverfahrens ZZU.0336.028 der RKK/Energia (Moskau) erstellt, vom Technischen Ausschuss der ECSS geprüft und vom ECSS-Lenkungsgremium verabschiedet.



## Inhaltsverzeichnis

		Seite
<b>Vorwort</b>	.....	<b>i</b>
<b>Einleitung</b>	.....	<b>1</b>
<b>1</b>	<b>Anwendungsbereich</b> .....	<b>3</b>
<b>2</b>	<b>Normative Verweisungen</b> .....	<b>5</b>
<b>3</b>	<b>Begriffe und Abkürzungen</b> .....	<b>7</b>
3.1	Begriffe.....	7
3.2	Abkürzungen.....	7
<b>4</b>	<b>Testverfahren</b> .....	<b>10</b>
4.1	Vorbedingungen.....	10
4.2	Testmethoden.....	11
<b>5</b>	<b>Qualitätssicherung</b> .....	<b>32</b>
5.1	Allgemeines .....	32
5.2	Aufzeichnungen .....	32
5.3	Nichtkonformität .....	32
5.4	Kalibrierung .....	32
5.5	Rückverfolgbarkeit.....	32
<b>Anhang A (informativ) Herstellung und Qualifikation von chemischen Zündern</b> .....		<b>34</b>
<b>A.1</b>	<b>Allgemeines</b> .....	<b>34</b>
<b>A.2</b>	<b>Sicherheitsanforderungen</b> .....	<b>34</b>
<b>A.3</b>	<b>Reagenzien und Geräte</b> .....	<b>34</b>
<b>A.4</b>	<b>Zerkleinern der Zündermischung</b> .....	<b>37</b>
<b>A.5</b>	<b>Wägen des Zündergemisches</b> .....	<b>37</b>
<b>A.6</b>	<b>Wasserzugabe</b> .....	<b>37</b>
<b>A.7</b>	<b>Strangpressen</b> .....	<b>38</b>
<b>A.8</b>	<b>Nachbehandlung, Zuschneiden und Wägen der Zünder</b> .....	<b>39</b>
<b>A.9</b>	<b>Zertifizierung der Zünder</b> .....	<b>39</b>
<b>A.10</b>	<b>Entsorgung der Abfälle</b> .....	<b>40</b>
<b>A.11</b>	<b>Verpackung und Lagerung</b> .....	<b>40</b>
<b>Literaturhinweise</b> .....		<b>41</b>

**Bilder**

Bild 1:	Schematische Darstellung der Ausrüstung zur Bestimmung des Sauerstoffindex.....	18
Bild 2:	Rahmen zum Spannen der Probe .....	19
Bild 3:	Probenhalter .....	20
Bild 4:	Probenhalter .....	21
Bild 5:	Proben aus thermoplastischen Polymer-Materialien.....	22
Bild 6:	Anordnung zum Brennverhaltenstest von Leiterisolationen bei erhitztem Leiter und einer Sauerstoffkonzentration von 25 %.....	24
Bild 7:	Gesamtanordnung des modifizierten Brenners und Dimensionierung der Flammenhöhe .....	27
Bild 8:	Gesamtanordnung der Geräte für den Brennverhaltenstest.....	28

**Tabellen**

Tabelle 1:	Beschreibung der Testausrüstung (nach Bild 6).....	25
------------	--	----



## Einleitung

Nichtmetallische Materialien sind grundsätzlich entflammbar, wobei der Grad, bis zu dem dies zutrifft, sowohl von den chemischen Eigenschaften des Materials selbst als auch von der Umgebung abhängt, in der er eingesetzt wird. In der geschlossenen Umgebung eines bemannten Raumfahrzeugs kann dies zu einer Gefährdung für die Besatzung führen. Dies macht es erforderlich, das Materialverhalten genauer zu untersuchen.



---

## 1 Anwendungsbereich

Diese Norm legt ein Mehrfachtestverfahren zur Bestimmung des Brennverhaltens von nichtmetallischen Materialien bei festgesetzten, genau kontrollierten Bedingungen fest. Das Testverfahren umfasst sowohl Einzel- als auch konfigurierte Materialien. Diese Norm beschreibt eine Testreihe, deren Ergebnisse eine Beurteilung der Eignung von Materialien für den Einsatz in Mannschaftsräumen von Raumfahrzeugen ermöglichen. Die Ergebnisse lassen Schlussfolgerungen hinsichtlich der Entflammbarkeit der Materialien wie auch hinsichtlich der Flammenausbreitungseigenschaften zu.



## 2 Normative Verweisungen

Die folgenden normativen Dokumente enthalten Festlegungen, die durch Verweisung in diesem Text Bestandteil dieser ECSS-Norm sind. Bei datierten Verweisungen gelten spätere Änderungen oder Überarbeitungen dieser Publikationen nicht. Anwender dieser ECSS-Norm werden jedoch gebeten, die Möglichkeit zu prüfen, die jeweils neuesten Ausgaben der nachfolgend angegebenen normativen Dokumente anzuwenden. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe der in Bezug genommenen Publikation.

ECSS-P-001	Glossar
ECSS-Q-20	Raumfahrtproduktsicherung – Qualitätssicherung
ECSS-Q-20-09	Raumfahrtproduktsicherung – Nichtkonformitäts-Kontrollsysteme
ECSS-Q-70	Raumfahrtproduktsicherung – Materialien, mechanische Teile und Prozesse
DIN 50050-1	Prüfung von Werkstoffen – Brennverhalten von Werkstoffen – Kleiner Brennkasten
ISO 6941:1984	Textilien – Brennverhalten – Messung der Flammenausbreitungseigenschaften vertikal angeordneter Proben



### 3 Begriffe und Abkürzungen

#### 3.1 Begriffe

Für die Anwendung dieser Norm gilt neben den Begriffen nach ECSS-P-001 und ECSS-Q-70 folgender Begriff.

##### **Entflammbarkeit**

Maß für die Entzündbarkeit eines Materials.

#### 3.2 Abkürzungen

In dieser Norm werden folgende Abkürzungen verwendet.

##### **Formelzeichen**

$C_{lim}$

##### **Bedeutung**

Sauerstoffindex: Grenzwert der Sauerstoffkonzentration in einem Sauerstoff-Stickstoff-Gemisch, bei dem ein Material bei Kantenbeflammung von unten noch brennen kann

r.m.s.

Quadratischer Mittelwert (r.m.s.)







## **4 Testverfahren**

### **4.1 Vorbedingungen**

#### **4.1.1 Gefahren, Gesundheitsschutz und Sicherheitsvorkehrungen**

Besondere Aufmerksamkeit muss dem Gesundheitsschutz und den Sicherheitsvorkehrungen gewidmet werden. Folgendes ist zu beachten.

- a) Gefahren für Besatzung, Ausrüstung und Materialien müssen überwacht und möglichst gering gehalten werden.
- b) Der Umgang mit gefährlichen Substanzen und Gegenständen muss von anderen Arbeiten getrennt durchgeführt werden.
- c) Gegenstände sowie Bedienungseinrichtungen müssen so angeordnet sein, dass die Besatzung keinen Gefährdungen (z. B. durch Verbrennung, elektrischen Schlag, scharfe Kanten, spitze Gegenstände oder giftige Dämpfe) ausgesetzt ist.
- d) In den Anweisungen zur Bedienung, Lagerung, Montage, Wartung und Reparatur, zum Transport und Testen müssen geeignete Warnhinweise gegeben werden; gefährliche Gegenstände und persönliche Schutzausrüstung sind eindeutig zu kennzeichnen.

#### **4.1.2 Probenvorbereitung**

##### **4.1.2.1 Probenart und -zahl**

Es muss eine ausreichende Anzahl von Proben des zu untersuchenden Materials mit der für den bestimmungsgemäßen Einsatz geltenden Mindestdicke zum Testen eingereicht werden (Probenzahl siehe einzeln).

##### **4.1.2.2 Reinigung**

Reinigung und sonstige Behandlungen der Probe müssen wie beim entsprechenden Endprodukt vor dem Einbau in das Raumfahrzeug erfolgen. Eine weitere Reinigung oder andere Behandlungen sind nicht zulässig.

##### **4.1.2.3 Behandlung und -lagerung**

Verunreinigungen der Probe beim Umgang damit müssen (z. B. durch Verwendung geeigneter Schutzhandschuhe) vermieden werden. Sie sind in einer auf Reinheit kontrollierten Umgebung bei einer Temperatur von  $(22 \pm 3) ^\circ\text{C}$  und einer relativen Luftfeuchte von  $(55 \pm 10) \%$  zu lagern. Beschichtete Oberflächen sind mit Hilfe von Polyethylen- oder Polypropylenfolie oder -platten vor Berührung zu schützen. Durch Verpacken der so geschützten Werkstücke in sauberem, staub- und fusselfreiem Material können mechanische Schädigungen verhindert werden.

Materialien mit begrenzter Lebensdauer sind mit ihrer Lagerbeständigkeit und dem Herstellungsdatum oder, falls unbekannt, mit dem Lieferdatum zu kennzeichnen.

##### **4.1.2.4 Identifikation**

Wenn Materialien zum Testen eingereicht werden, müssen eine eindeutige Bezeichnung des Materials sowie Angaben zur Art oder Verarbeitung des Materials mitgeliefert werden.

### 4.1.3 Anlagen

#### 4.1.3.1 Sauberkeit

Der Arbeitsbereich muss sauber und staubfrei sein. Zur Vermeidung einer Verunreinigung der Proben durch Feuchtigkeit, Öl oder Staub muss die zur Belüftung verwendete Luft gefiltert werden.

#### 4.1.3.2 Umgebungsbedingungen

- a) **Testverfahren:** Wenn nicht anders festgelegt, vorzugsweise wie für die Lagerung im Klimaraum (siehe unten).
- b) **Lagerungstemperatur:** Siehe Abschnitt 4.1.2.3. Entweder in einem Klimaraum oder durch Verwendung von mit Silikat-Gel oder einer gesättigten Salzlösung gefüllten Exsikkatoren.

**ANMERKUNG:** Eine gesättigte Calciumnitratlösung ergibt bei Testtemperatur eine Feuchte von etwa 51 %.

#### 4.1.3.3 Besondere Hilfsmittel

Sauerstoff- und Stickstoffquellen (Mindestreinheit 99,9 %).

### 4.1.4 Ausrüstung

#### 4.1.4.1 Testausrüstung

Es sind geeignete Testgeräte zu verwenden, die die im einzelnen Testverfahren festgelegten Anforderungen erfüllen.

#### 4.1.2.2 Besondere Geräte

Siehe einzelne Testverfahren.

## 4.2 Testverfahren

### 4.2.1 Kategorien

Diese Norm beschreibt vier Verfahren, die sich in zwei Kategorien unterteilen lassen:

- **Materialtests**  
Hier handelt es sich um Tests, mit denen die grundsätzliche Eignung eines Materials bzw. sein Brennverhalten unter den ungünstigsten Testbedingungen (z. B. hinsichtlich Umgebung, Anwendung oder Dicke) ermittelt werden soll. Zwei Tests bilden für die meisten nichtmetallischen Materialien (Tests 1 und 2) die Grundlage für die Annahme, sie unterscheiden sich jedoch stark in den dabei erzielten Ergebnissen. Die Wahl des Verfahrens ist projektspezifisch und vertraglich festzulegen. Test 3 gilt für Materialien zur Leiterisolation. Materialien, die die Anforderungen dieser Tests erfüllen, dürfen mit den verfahrensbedingten Einschränkungen als für die allgemeine Anwendung geeignet angesehen werden.

- **Konfigurationstest**

Materialien, die die Anforderungen des jeweiligen Materialtests nicht erfüllen, müssen im eingebauten Zustand getestet werden. Materialien, die den Test bestehen, dürfen mit den verfahrensbedingten Einschränkungen für bestimmte Zwecke eingesetzt werden. Für Materialien, die diesen Test nicht bestehen, muss ein Antrag auf Abweichung gestellt werden. Dies gilt zum Beispiel für:

- entflammbare Klebstoffe, die zum Verkleben nicht entflammbarer Flächen verwendet werden, oder
- entflammbare Beschichtungen, die dünn auf eine nicht entflammbare Leiterplatte aufgebracht werden.
- 

- **Zusatztests**

Zusatztests dürfen in Hinblick auf die Bestimmung von Eigenschaften wie Flamm- und Brennpunkt oder Verbrennungswärme durchgeführt werden. Hier ist von Fall zu Fall zu entscheiden.

## 4.2.2 Materialtests

### 4.2.2.1 Test 1: Test des Brennverhaltens bei Kantenbeflammung (Senkrecht-Methode)<sup>1)</sup>

#### a) Anwendungsbereich

Zweck dieses Tests ist, das Brennverhalten von im Standardformat zum Test eingereichten Materialien zu bestimmen, die von unten der Einwirkung einer Zündquelle ausgesetzt werden. Dieser Test ist im Allgemeinen auf Material von Nutzlasten der NASA (z. B. Raumstation, STS) anwendbar. Stehen die Materialien nicht im Standardformat zur Verfügung, so muss der in Abschnitt 4.2.3 beschriebene Test durchgeführt werden.

#### b) Probenvorbereitung

Die Proben sind nach einer Sichtprüfung auf Einschnitte, Abriebstellen oder sonstige Mängel wie folgt vorzubereiten:

1. Folien, Gewebe, Platten und Verbundstoffe müssen im Anlieferungszustand getestet werden. Die Proben müssen auf die Form von Rechtecken mit Kantenlängen von mindestens 300 mm × 64 mm zugeschnitten werden. Schaumstoffe und voluminöse Materialien müssen in der im Einbauzustand gegebenen Dicke getestet werden und dieselben Mindestmaße besitzen.
2. Primer, Überzüge, Anstrichstoffe und Selbstklebestreifen müssen auf die vorgesehenen Grundmaterialien aufgebracht werden, falls diese bekannt sind. Beschichtungsstoffe müssen in der dem üblichen Gebrauch entsprechenden Dicke aufgebracht und wie vorgeschrieben nachbehandelt werden. Steht das vorgesehene Grundmaterial nicht zur Verfügung, so müssen die Beschichtungsstoffe auf Platten aus Aluminium mit den Maßen 300 mm × 60 mm × 0,075 mm aufgebracht werden.
3. Die einzelnen Proben müssen vor dem Test bei  $(22 \pm 3) ^\circ\text{C}$  und einer relativen Luftfeuchte von  $(55 \pm 10) \%$  24 Stunden klimatisiert werden.

#### c) Testbedingungen: Druck und Gasgemisch

Testdruck und Testgasgemisch müssen so festgelegt werden, dass sie dem in einem Raumfahrzeug vorhandenen gefahrenträchtigsten Gasgemisch entsprechen.

---

<sup>1)</sup> Entspricht Prüfung 1 in NASA-Dokument STD 6001.

**d) Testausrüstung und Geräte**

- **Kammer:** Das Innenvolumen der Testkammer muss eine vollständige Verbrennung der getesteten Probe sicherstellen. Es muss deshalb mindestens 250 l betragen; die Kammer muss so konstruiert sein, dass eine sichere Bedienung möglich ist. Zur Beobachtung und Aufzeichnung muss die Kammer mit einem Sichtfenster ausgestattet sein. Eine Innenraumbelichtung sollte eingebaut sein. Für Gaszufuhr, Be- und Entlüftung und Zündstrom müssen geeignete Öffnungen vorhanden sein. Organische Materialien, die für den Bau der Kammer verwendet werden, müssen so beschaffen sein, dass sie in die Kammer praktisch kein Gas abgeben.
- **Druckmessgerät:** Es ist ein Druckmessgerät zu verwenden, mit dem der Druck auf 10 hPa genau gemessen werden kann.
- **Probenhalter:** Proben von ausreichender Steifigkeit oder Proben auf Grundmaterialien von ausreichender Steifigkeit, die sich bei Einwirkung einer Wärmequelle nicht verformen oder schrumpfen, dürfen mit Hilfe einer einfachen Klemme gehalten werden. Sonstige Proben müssen in einen Rahmen gespannt werden. Der Probenhalter muss so beschaffen sein, dass er möglichst wenig Wärme von der Probe aufnimmt und so das Ergebnis möglichst wenig beeinflusst.
- **Zündquelle:** Die Zündung der Probe muss mittels einer regelbaren Energiequelle erfolgen. Diese muss aus einem Stück Chromnickel-Draht bestehen, der AWG 20 (American Wire Gauge) entspricht, einen spezifischen Nennwiderstand von  $2,3 \Omega/m$  besitzt und so lang ist, dass er mindestens dreimal um einen Feststoffzünder<sup>2)</sup> o. ä. gewickelt werden kann. Der Nenndurchmesser dieses Zünders muss 3 mm und die Länge 32 mm betragen. Die Flammentemperatur beträgt  $(1100 \pm 100) ^\circ C$ , die Brenndauer muss  $(25 \pm 5) s$  betragen. Der Zünder muss mit Hilfe einer regelbaren Gleichstromquelle aktiviert und 6 mm von der Probenunterkante entfernt angeordnet werden.

**e) Ermittlung der Flammenausbreitungsgeschwindigkeit**

Zur Bestimmung der Flammenausbreitung zwischen den auf dem Probenhalter aufgebrachten Markierungen ist die Flammenausbreitungsgeschwindigkeit mit einer manuell betätigten Stoppuhr zu ermitteln und aufzuzeichnen. Die Uhr muss beim ersten sichtbaren Anzeichen von Verbrennung gestartet werden und gestoppt werden, sobald die Flamme aufhört, sich weiter aufwärts zu bewegen. Gegebenenfalls kann auch die Gesamtbrenndauer aufgezeichnet und die Probe entfernt werden, um die gesamte Länge der Brennstrecke direkt oder durch Subtraktion zu ermitteln. Dabei ist darauf zu achten, dass die Brennlänge wegen Rußrückständen im oberen Bereich nicht als zu groß ermittelt wird.

**f) Verfahren vor dem Test**

Vor jeder Messreihe ist die Gasversorgung wie folgt zu kalibrieren:

1. Die Druckregler an den Sauerstoff- und Stickstoff-Zuleitungen sind auf 0,17 MPa bis 0,21 MPa einzustellen. Das Sauerstoff-Ventil an der Testkammer ist zu schließen und das Ventil für die Stickstoffzufuhr zu öffnen. Die Zufuhr ist so einzustellen, dass sich am Messgerät ein Durchfluss von 100 ml/min ergibt. Wenn ausschließlich Stickstoff einströmt, sollte die Anzeige des Messgeräts 0 % betragen. Dazu ist der Nullwert entsprechend einzustellen.
2. Der Vorgang ist mit abgestellter Stickstoffzufuhr und geöffneter Sauerstoffzufuhr zu wiederholen. Das Messgerät sollte 100 % anzeigen. Ist dies nicht der Fall, so ist der Regler am Gerät so einzustellen, dass 100 % erreicht werden.
3. Die Schritte 1) und 2) sind falls notwendig zu wiederholen.

<sup>2)</sup> Geeignete Zünder können von der NASA-Prüfstelle White Sands bezogen werden. In Anhang A ist zusätzlich ein Verfahren zur Herstellung geeigneter Zünder angegeben.

Anstelle des oben beschriebenen Verfahrens dürfen auch Flaschen mit kalibrierten Gasen verwendet werden, die das ungünstigste Gasgemisch nachbilden.

g) **Testverfahren**

1. Stickstoff- und Sauerstoffzufuhr sind so einzustellen, dass das gewünschte Testgasgemisch erzeugt wird (Schritt f).
2. Die Probe ist wie vorgesehen in der Kammer anzuordnen.
3. Der Zünder ist auf den Chromnickel-Draht zu wickeln und zwischen den Elektroden in der Kammer anzuordnen.
4. Der Druck in der Kammer ist auf unter 1400 Pa abzusenken.
5. Die Kammer ist mit dem Testgasgemisch zu füllen.
6. Die Probe ist mindestens drei Minuten lang dem Testgasgemisch auszusetzen.
7. Die Bildaufzeichnung ist zu starten.
8. Der Zünder ist unter Strom zu setzen, bis er zündet; danach ist der Strom sofort abzuschalten.
9. Es ist festzuhalten, ob die Probe nicht brennbar, selbstverlöschend ist oder weiter brennt.
10. Einzelheiten des Brennverhaltens (z. B. Art und Farbe der Flamme, Rauchentwicklung, brennendes Abtropfen, Spritzen, Glimmen) sind zu notieren.
11. Der in der Kammer entstandene Höchstdruck ist aufzuzeichnen.

h) **Annahmekriterien**

Materialien gelten als nicht brennbar oder selbstverlöschend, wenn der verbrannte Bereich sich um weniger als 150 mm in die Probe hinein ausdehnt, wobei die Probe in der der Anwendung entsprechenden Mindestdicke vorliegt und die Brenndauer 10 Minuten nicht überschreiten darf. Von der Probe dürfen weder Funken oder Spritzer ausgehen, noch dürfen brennende Bestandteile von ihr abtropfen. Es müssen mindestens drei Proben getestet werden. Versagt eine der Proben, gilt der Test als insgesamt nicht bestanden.

i) **Testergebnisse**

Folgendes ist im Testbericht anzugeben:

- Vollständige Beschreibung der getesteten Proben einschließlich Handelsname, Hersteller, chemische Zusammensetzung, Maße, Testgasgemisch und Angaben der Verarbeitung.
- Brenndauer, Brennlänge und Flammenausbreitungsgeschwindigkeit. Die bei Schritt g) gemachten Beobachtungen zur Art der Flamme und Sauerstoffgehalt am Ende des Tests. Liegt dieser Wert mehr als 20 % unter dem des ursprünglichen Testgasgemischs, so muss ein erneuter Test mit einer größeren Testkammer durchgeführt werden.

#### 4.2.2.2 Test 2: Genormtes Verfahren zur Bestimmung des Grenzwerts der Sauerstoffkonzentration (Sauerstoffindex) bei der Verbrennung von Polymermaterialien<sup>3)</sup>

##### a) Anwendungsbereich

Dieses Verfahren ist für die Bestimmung des Sauerstoffindex ( $C_{lim}$ ) während der Verbrennung von zu testenden Materialien heranzuziehen. Die Anwendbarkeit dieses Tests ist vertraglich zu vereinbaren.

- Der Sauerstoffindex ist als der Volumenanteil des im Stickstoff-Sauerstoff-Gemisch enthaltenen Sauerstoffs definiert, bei dem bei Verbrennung von Polymermaterialien das Material bei Kantenbeflammung von unten noch brennen kann.
- Der Sauerstoffindex muss eine vergleichende Beurteilung des Brennverhaltens von Polymermaterialien und eine Bewertung des Feuerwiderstandes dieser Materialien ermöglichen.
- Der Sauerstoffindex sollte als ein Hauptmerkmal für die von Materialien ausgehende Brandgefahr angesehen und folglich berücksichtigt werden, wenn deren Einsatz in einer Umgebung mit schwankendem Sauerstoffgehalt erwogen wird.

##### b) Beschreibung der Ausrüstung

Der Sauerstoffindex während der Verbrennung von Polymermaterialien wird mit einem Gerät nach Bild 1 ermittelt. Dieses Gerät soll folgendes umfassen:

- Senkrecht angeordneter Testzylinder aus Quarzglas, mit einem Innendurchmesser von 75 mm und einer Höhe von 370 mm (1 in Bild 1). Er trägt an seinem unteren Ende einen Zylinder aus demselben Material und mit gleichem Innendurchmesser, jedoch mit einer Höhe von 70 mm. Dieser ist mit Glaskugeln von 3 mm bis 5 mm Durchmesser gefüllt, die dazu dienen, das Gasgemisch gleichmäßig im Zylinder zu verteilen (5 in Bild 1).
- Probenhalter (2 in Bild 1), mit dem die Probe an der Oberkante senkrecht in der Mitte des Testzylinders gehalten wird. Zum Halten von Gewebe- oder Folienproben wird ein Rahmen verwendet (Bild 2).
- Gasbrenner mit einem Kupferrohr (Innendurchmesser 2,5 mm), das axial durch den kleinen Zylinder und die Glaskugeln geschoben wird (4 in Bild 1). Die Flammentemperatur beträgt 850 °C, die Flammenhöhe 25 mm und der Gasdruck  $(17 \pm 2)$  kPa.
- Funkenzünder aus zwei isolierten Elektroden, die auf beiden Seiten des Gasbrennerrohrs angeordnet werden (7 in Bild 1).
- Analysatoreinheit mit parametrischem Detektor, die, aus einer Mischkammer und einem Sauerstoff-Gasanalysator bestehend, in der Zuleitung für das Sauerstoff-Stickstoff-Gemisch (10 in Bild 1) angeordnet wird. Messbereiche: 0 % bis 25 % und 0% bis 100 % Genauigkeit:  $\pm 0,1$  %.
- Druckminderer, Durchflussmesser und ein Absperrventil in der Brenngaszuleitung (9 in Bild 1).
- Stoppuhr.

Für die Durchführung der Tests ist ein geeigneter Dunstabzug einzusetzen.

<sup>3)</sup> Basiert auf Prüfverfahren ZZU.0336.028 der RKK/Energia (Moskau).

c) **Proben**

Zusätzlich zu den unter Schritt b) angegebenen Punkten ist Folgendes zu beachten:

- Bedingungen für die Herstellung von Proben aus duroplastischen Materialien, die beim Brennen nicht schmelzen:
  - Die Materialien müssen in Stabform mit einem Querschnitt von  $(4 \pm 1) \text{ mm} \times (10 \pm 1) \text{ mm}$  und einer Länge von  $(200 \pm 5) \text{ mm}$  vorliegen.
  - Bei Tests an Geweben und Folien, Leder und Kunstleder müssen die Proben die vorgesehene Dicke haben,  $(50 \pm 1) \text{ mm}$  breit und  $(200 \pm 5) \text{ mm}$  lang sein. Die Proben müssen während des Tests in einen Metallrahmen (siehe Bild 4) eingespannt werden.
  - Bei Tests an Fasern, die sich beim Brennen weder verformen noch schmelzen, werden die Proben durch Flechten dieser Fasern hergestellt, wobei die entstehenden Zöpfe  $(200 \pm 5) \text{ mm}$  lang sein und eine längenbezogene Masse von  $(5 \pm 0,3) \text{ g/m}$  haben müssen.
- Bedingungen für die Herstellung von Proben aus thermoplastischen Materialien, die beim Brennen schmelzen:
  - Die Proben in Stabform mit einem Querschnitt von  $(4 \pm 1) \text{ mm} \times (10 \pm 1) \text{ mm}$  und einer Länge von  $(200 \pm 5) \text{ mm}$  werden mit einem Glasfasergeflecht umhüllt (siehe Bild 5).
  - Um Proben aus schmelzenden Folienmaterialien herzustellen, ist eine Rechteckprobe mit einer Kantenlänge von 200 mm und einer Masse von  $(8 \pm 1) \text{ g}$  zu entnehmen. Die Probe ist zusammenzurollen und mit Glasfasergeflecht zu umhüllen, so dass sich ein Probenstab ergibt. Die Masse der Glasfasern darf 1,6 g (20 % der Probenmasse) nicht überschreiten.
- Tests an Beschichtungen metallischer Oberflächen (Grundierungen, Überzüge aus Anstrichstoffen, Lacken und Email) müssen an Proben durchgeführt werden, die repräsentativ für einen Teil des betreffenden Gegenstands im eingebauten Zustand sind; dabei ist ein Probenhalter nach Bild 3 zu verwenden.

d) **Vorbereitung der Testausrüstung**

1. Die Zufuhr von Stickstoff und Sauerstoff ist so einzustellen, dass die für das Gasgemisch festgelegte Zusammensetzung durch Regeln der Druckminderventile erzielt werden kann. Die Zusammensetzung des Gasgemisches ist mit Hilfe des Gasanalysators zu überprüfen.
2. In den Testzylinder (1) ist ein den Festlegungen entsprechendes Gemisch aus Sauerstoff und Stickstoff so strömen zu lassen, dass der mit einem Durchflussmesser zu überwachende Durchfluss  $(442 \pm 44) \text{ cm}^3/\text{s}$  beträgt, wodurch sich im Zylinder (1) eine volumetrische Strömungsgeschwindigkeit des Gemisches von durchschnittlich  $(10 \pm 1) \text{ cm/s}$  ergibt. Der Sauerstoffgehalt des Gasgemisches ist mit Hilfe des Gasanalysators zu überwachen.
3. Der Gasbrenner ist zu zünden und der Durchfluss des Brenngases mit Hilfe des Durchflussmessers auf  $(0,03 \text{ bis } 0,05) \text{ l/min}$  einzustellen.
4. Nach der Überprüfung der einwandfreien Funktion des Gasbrenners ist erst die Zufuhr des Brenngases, dann diejenige des Stickstoff-Sauerstoff-Gemisches zu unterbrechen.



e) **Testverfahren**

- Die Tests sind bei normaler Raumtemperatur durchzuführen.
- Die Probe muss in den entsprechenden Probenhalter eingespannt und in senkrechter Stellung in den Testzylinder eingebracht werden, so dass die Probenunterkante einen Abstand von 10 mm zum Brenner hat und dass die Längsachse der Probe mit der des Gasbrennerrohrs übereinstimmt.
- Das Gasgemisch ist für mindestens 30 s in die Anordnung strömen zu lassen.
- Der Gasbrenner ist zu entzünden und das Brenngas mit Hilfe des Durchflussmessers auf (0,03 bis 0,05) l/min einzustellen.
- Sobald die Probe mit gleichmäßiger Geschwindigkeit brennt, jedoch spätestens 60 s nachdem die Zündflamme die Probe entzündet hat, ist die Zufuhr Brenngases zum Brenner zu unterbrechen; die Brenndauer ist zu messen. Während die Probe brennt, sind Zusammensetzung und Strömungsgeschwindigkeit des Gasgemisches konstant zu halten.
- Brennt die Probe auf ihrer gesamten Länge oder beträgt die Brenndauer mindestens 120 s, so muss der Test mit einer geringeren Sauerstoffkonzentration wiederholt werden.
- Ist der zu erwartende Sauerstoffindex nicht bekannt, so ist der erste Test ausschließlich unter Verwendung von Luft durchzuführen. Brennt die Probe in Luft nicht, so muss ein zweiter Test mit einer Sauerstoffkonzentration von 30 % bis 35 % vorgenommen werden.
- Für jeden Test muss eine neue Probe verwendet werden.
- In den nachfolgenden Tests muss die Sauerstoffkonzentration des Gasgemisches variiert werden, bis die Differenz der Konzentrationen, bei denen die Probe brennt oder selbstverlöschend ist, nicht höher als 1 % ist.

f) **Ergebnisse**

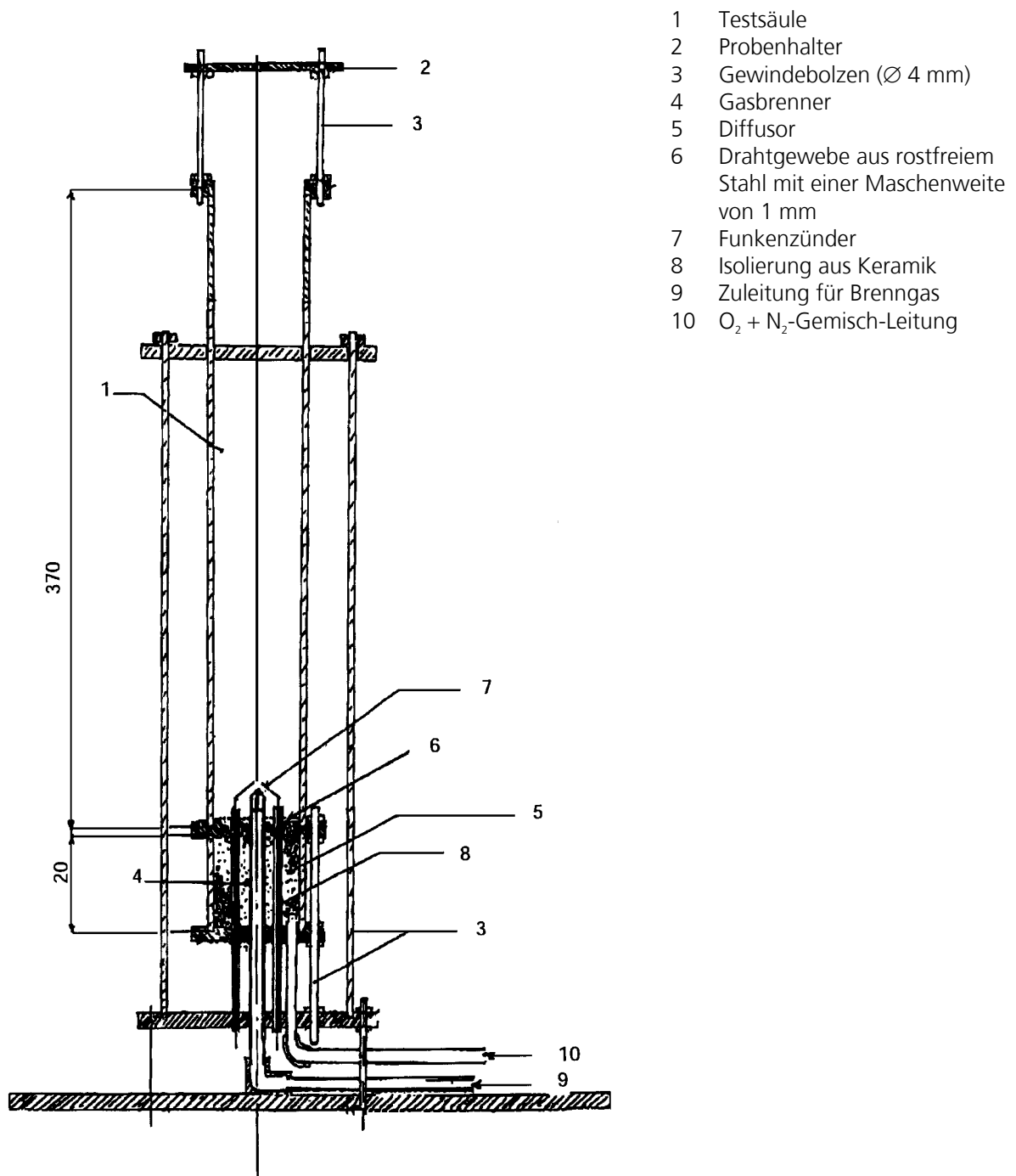
- Der Sauerstoffindex wird als prozentualer Anteil ausgedrückt und nach folgender Gleichung bestimmt:

$$C_{\text{lim}} = \frac{\sum_{i=1}^n C_{\text{lim},i}}{n}$$

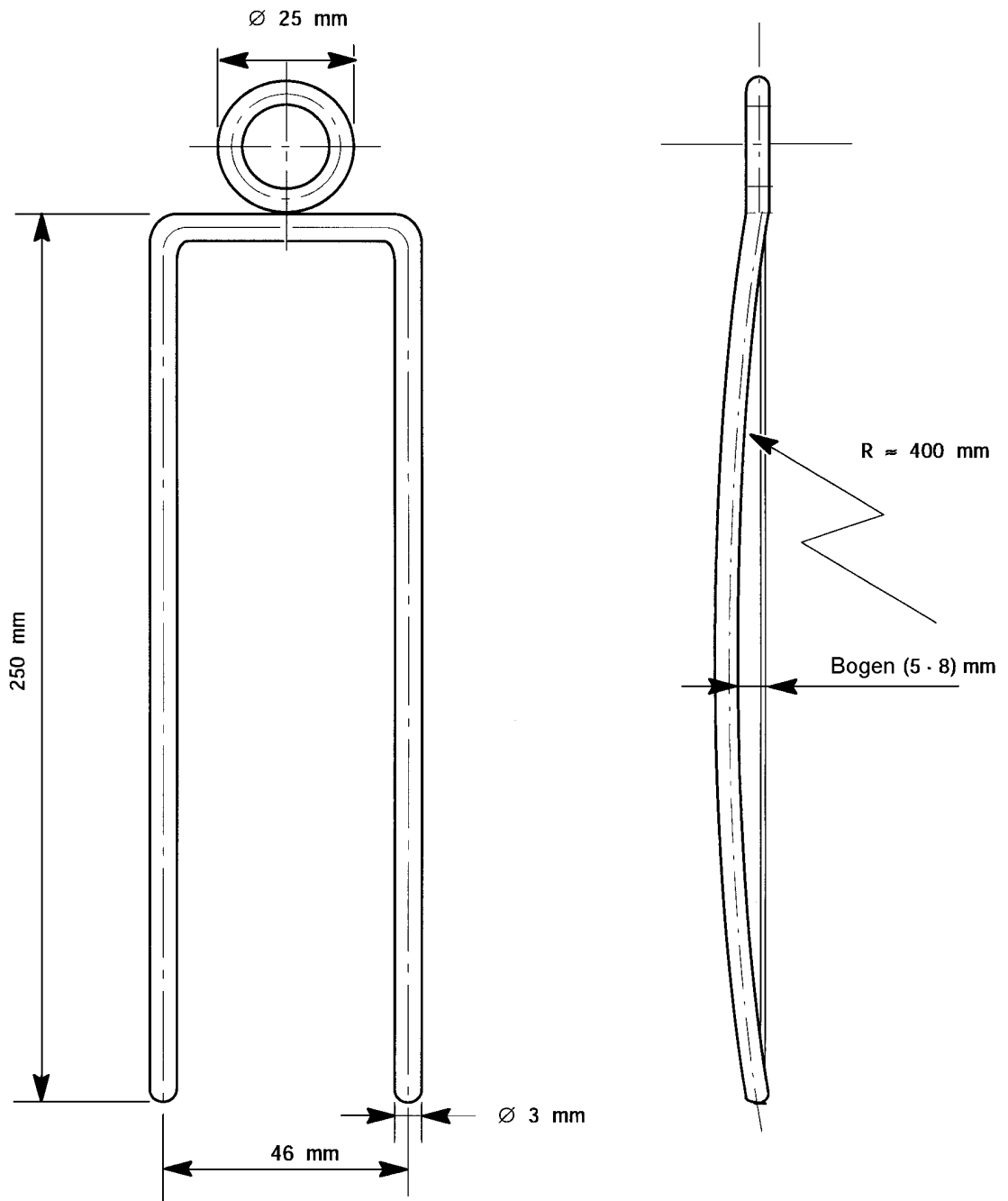
Er stellt das arithmetische Mittel der aus allen Messungen ermittelten Konzentrationsgrenzwerte ( $C_{\text{lim},i}$ ) dar.

Der Test ist an mindestens fünf Proben durchzuführen.

- Die Ergebnisse der Tests sind in einem Bericht festzuhalten. Dieser Bericht muss folgende Angaben enthalten:
  - Handelsname und chemische Zusammensetzung des Materials sowie Herstellungsdatum - falls bekannt;
  - Name des Herstellers;
  - Kurzbeschreibung der Probe (z. B. Größe, Dicke);
  - der in jedem Test ermittelte Grenzwert der Sauerstoffkonzentration und Mittelwert aus allen Tests;
  - Datum des Tests.



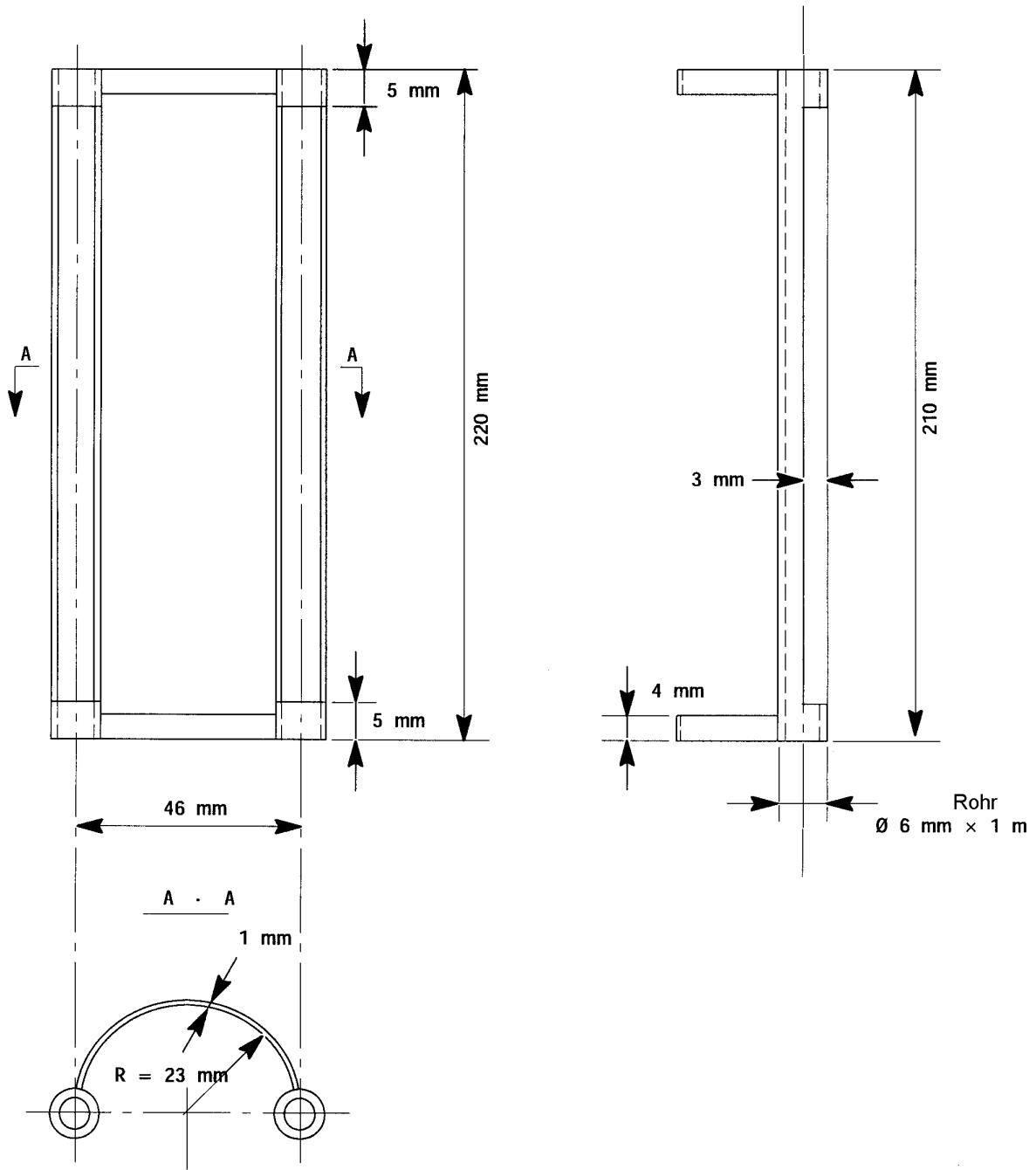
**Bild 1: Schematische Darstellung der Ausrüstung zur Bestimmung des Sauerstoffindex**



Spannrahmen: Drahtdurchmesser 3 mm

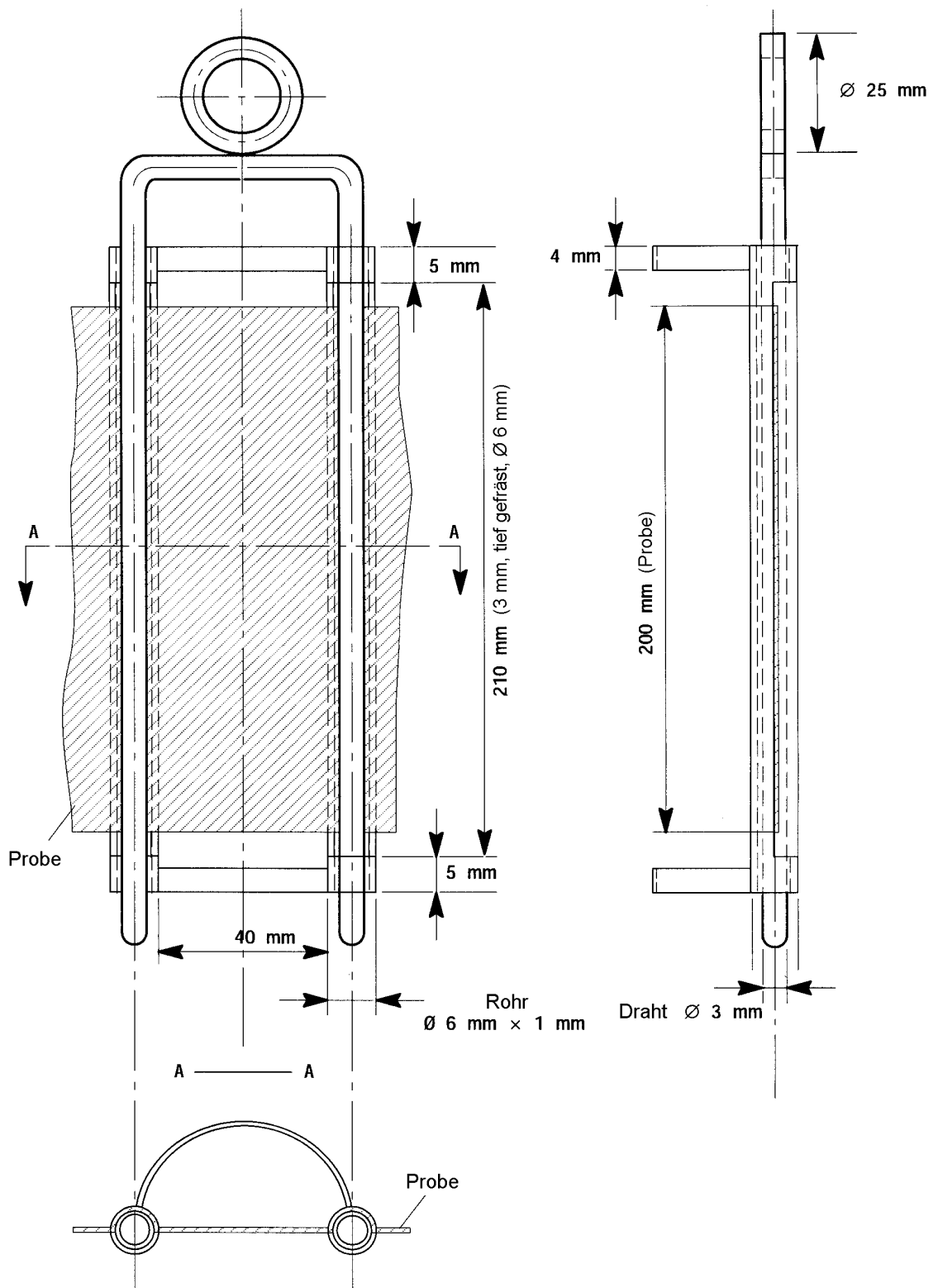
Darstellung nicht maßstabgerecht.

**Bild 2: Rahmen zum Spannen der Probe**



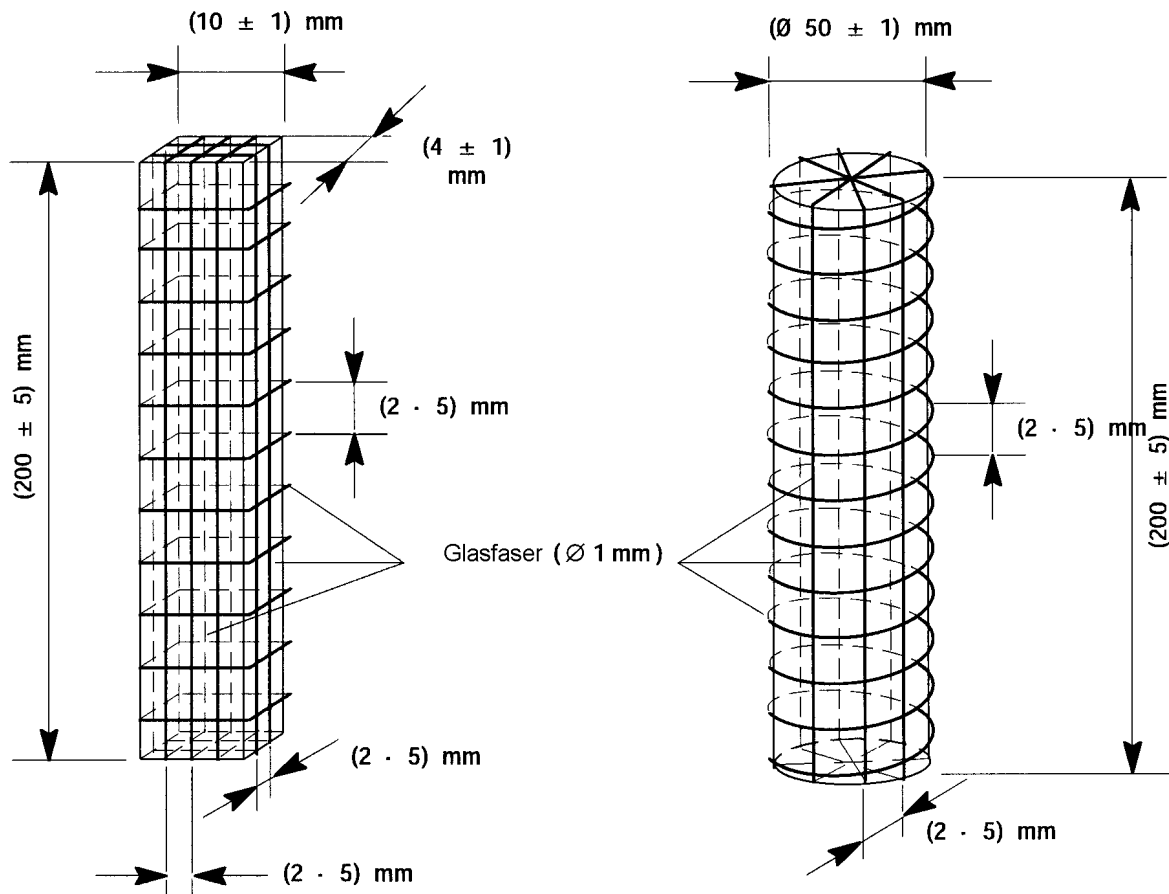
Darstellung nicht maßstabgerecht.

**Bild 3: Probenhalter**



Darstellung nicht maßstabgerecht.

**Bild 4: Probenhalter**



Darstellung nicht maßstabsgerecht.

**Bild 5: Proben aus thermoplastischen Polymer-Materialien**

#### 4.2.2.3 Test 3: Brennverhaltenstest von Leiterisolation

a) **Anwendungsbereich**

Dieser Test dient zur Prüfung des Brennverhaltens von Leiterisolation. Sie gilt für die Isolation von Kupferdraht der Stärken AWG 20 bis AWG 10 und für den Einsatz bei Normaldruck und einer Umgebung mit einer Sauerstoffkonzentration von höchstens 25 %.

b) **Probenvorbereitung**

Die Proben aus isoliertem Draht müssen frei von Einschnitten, Abriebstellen oder sonstigen Mängeln sein, was durch Sichtprüfung festzustellen ist. Sie müssen mit den in Abschnitt 4.1.2.4 beschriebenen Angaben zur Beschreibung des Materials geliefert werden. Von ein und derselben Drahtspule müssen nacheinander fünf Probekörper von jeweils einem Meter Länge geschnitten und nach einem für die zu testende Isolation geeigneten Verfahren von Fremdstoffen und Rückständen befreit und gereinigt werden. Die Probekörper müssen vor dem Test mindestens 16 Stunden lang bei einer relativen Luftfeuchte von  $(55 \pm 10) \%$  und einer Temperatur von  $(22 \pm 3) \text{ }^\circ\text{C}$  klimatisiert werden.

An beiden Enden des Probekörpers ist die Isolation auf einer Länge von etwa 25 mm zu entfernen, danach sind der Widerstand des Leiters und die Umgebungstemperatur zu messen; anschließend ist der Probekörper entsprechend Abschnitt f) in den Brennkasten einzubringen.

c) **Testbedingungen: Druck und Gasmisch**

Testdruck und Gasmisch müssen von der Projektleitung festgelegt werden und dem in einem Raumfahrzeug vorhandenen gefahrenträchtigsten Gasmisch entsprechen.

d) **Geräte**

- **Brennkasten:** Der Brennkasten muss ein Innenvolumen von mindestens 250 l besitzen und DIN 50050-1 entsprechen, wobei die Höhe entsprechend ISO 6941: 1984 zu modifizieren ist (siehe Bild 6). Als weitere Abweichungen sind Anschlüsse zur gleichmäßigen Versorgung mit Testgasgemisch, eine Einrichtung zur Verteilung des Testgasgemisches im Innenraum des Brennkastens zur Vermeidung starker Strömungen, Anschlüsse für Luft und Brenngas, Stromversorgung sowie ein Probenhalter, mit der die Probe in einem Winkel von 75° zur Waagerechten unter leichter Spannung gehalten werden kann, vorzusehen.
- **Stromversorgung:** Als externe Stromversorgung ist eine 100-A-Gleichstromquelle zu verwenden. Die Stromversorgung muss mit je einem Spannungs- und Strommesser ausgerüstet sein, die eine Messung des Spannungsabfalls über die Länge des Leiters und des durch diesen fließenden Stroms auf zwei Dezimalstellen erlaubt.
- **Widerstandsmesser:** Mit dem Widerstandsmesser müssen Widerstände unter 100  $\Omega$  auf 0,01  $\Omega$  gemessen werden können.
- **Brenner:** Der Brenner muss ein Bunsen- oder Tirrill-Gasbrenner (Bild 7) sein, bei dem die Öffnung für die Luftzufuhr auf 9,5 mm vergrößert wurde.
- **Flammentemperatur:** Die Flammentemperatur muss im Abstand von 35 mm vom Ende des Brennerrohrs ( $1\ 100 \pm 100$ ) °C betragen. Diese Temperatur lässt sich mit handelsüblichem Brenngas (Mindestreinheit 85 %) und Druckluft mittels einer Flamme von 75 mm Höhe mit einem (blauen) Flammenkern von 25 mm Höhe erzielen.
- **Brenneranordnung:** Der Brenner muss senkrecht zum Probekörper und in einem Winkel von 30° zur Waagerechten angeordnet werden (siehe Bild 8).
- **Spannung des Leiters:** Der Probekörper muss, entsprechend Bild 8, durch Anhängen eines Gewichtsstücks unter Spannung gehalten werden, dessen Masse so zu wählen ist, dass der Leiter nicht übermäßig gedehnt wird und an Proben verschiedener Größe und Steifigkeit angepasst werden kann.
- **Bildaufzeichnung:** Von allen Tests sind Fotos herzustellen, die aufbewahrt werden müssen. Eine Stoppuhr ist so anzuordnen, dass sie von der Kamera erfasst wird.



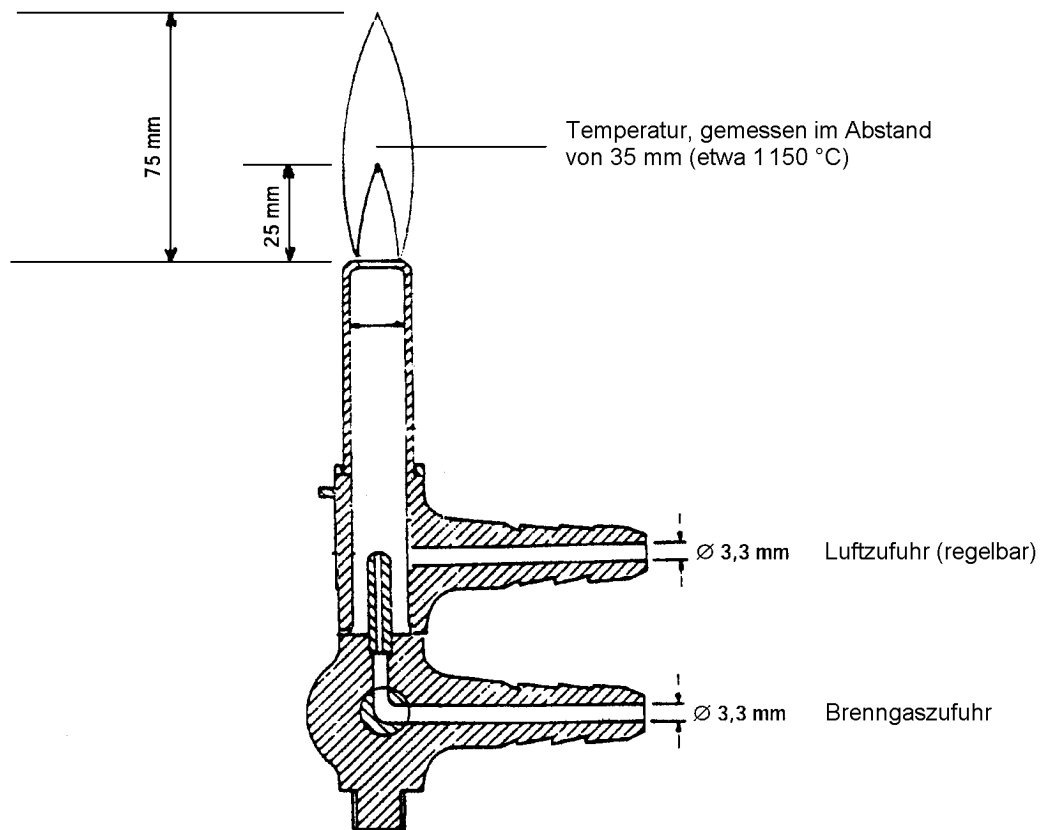


**Tabelle 1: Beschreibung der Testanordnung (nach Bild 6)**

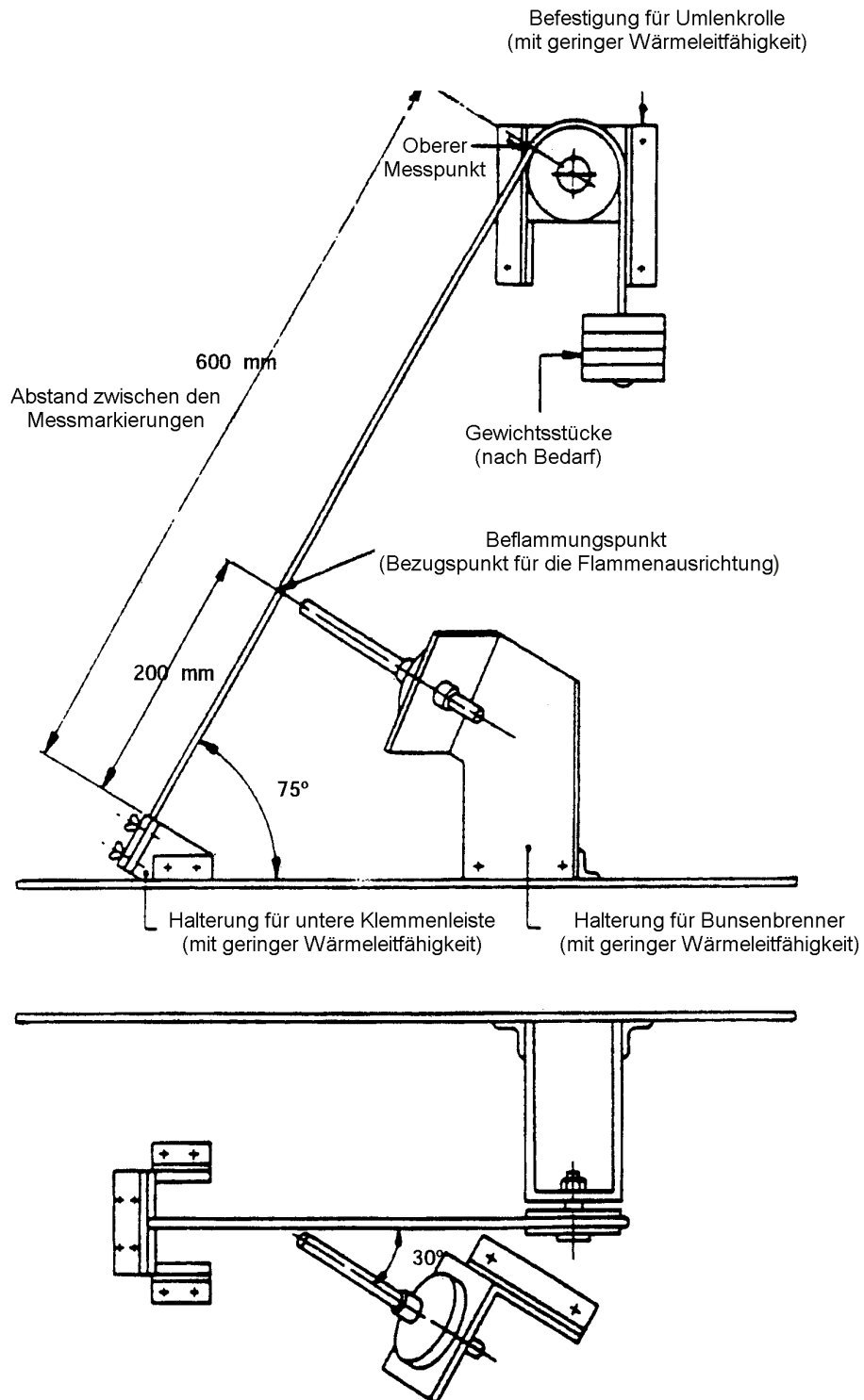
Lfd. Nr.	Bezeichnung	Bemerkungen
1	Brennkasten	Nach DIN 50050-1; Volumen = 250 l
2	Anschlussstück	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Zum Öffnen/Schließen der Ausgangsöffnung von Nr. 1</li> <li>• Ausgerüstet mit Anschlüssen                             <ul style="list-style-type: none"> <li>- zur Probenahme bei Gasen</li> <li>- zur Messung der Sauerstoffkonzentration</li> </ul> </li> </ul>
3	Absperrventil V1	zum Öffnen/Schließen der Sauerstoff-Messleitung
4	Verteiler	zur Verteilung des Testgasgemisches
5	Absperrventil V2	zum Öffnen/Schließen der Zuleitung für Gasgemisch
6	Brenngaszuleitung	für Zufuhr von Brenngas/Luft zum Brenner
7	Durchführung	zum Anlegen der elektrischen Spannung an die Einzelprobe
8	Proben- und Brennerbaugruppe	60°-Test Brenner: 90° senkrecht zur Probekörperachse und 30° zur Waagerechten
9	Brenner	Bunsen- oder Tirrill-Brenner nach Bild 7 Flammenlänge: 75 mm Kernflammenlänge: 25 mm Temperatur: (1 100 ± 100) °C zu messen: 35 mm über dem Brenner Gas/Luft extern: Brenngas/Luft
10	Zünder	Elektrisch, Bauart mit Dauerfunkenabgabe
11	Halterung	z. B. für <ul style="list-style-type: none"> <li>• Probenhalter</li> <li>• Brenner</li> <li>• Zünder</li> <li>• elektrische Anschlüsse</li> <li>• Ausführung wie in Bild 8.</li> </ul> Die Halterung hat keinen Einfluss auf die Verteilung des Testgasgemisches.
12	Versorgung mit Testgasgemisch	Gasgemisch aus Stickstoff und Sauerstoff (25 % V/V) Option 1: Zufuhr des hergestellten Gasgemisches Option 2: Einheit zum Mischen der in getrennten Flaschen befindlichen Gase und Messung der Sauerstoffkonzentration (siehe Objekt 14)
13	Durchflussmesser	Messbereich: 2 l/min bis 25 l/min
14	Sauerstoff-Messeinheit	(wahlweise)
15	Stromversorgung	Muss in der Lage sein, Gleichstrom (z. B. 0 A bis 100 A) gleichmäßig so zu liefern, dass die Leitertemperatur auf den gewünschten Wert gebracht werden kann
16	Messung der Temperatur des Leiters	Messinstrumente: <ul style="list-style-type: none"> <li>• Leiterwiderstand (Gleichstrom-Widerstandsmessbrücke mit 4 Anschlüssen, die in mΩ auf 0,01mΩ genau misst)</li> <li>• Spannungsmesser, auf 1 mV genau</li> <li>• Strommesser, auf 10 mA genau</li> </ul>

e) **Verfahren vor dem Test**

1. Die Probe wird vorübergehend in die vorgesehene Position gebracht und die Lage des Brenners relativ zur Probe eingestellt.  
**ANMERKUNG:** Dazu ist es sinnvoll, einen Gegenstand zu verwenden, der in das Brennerrohr gesteckt werden kann, so dass er um 35 mm über dieses hinausragt. Dieser Gegenstand berührt die Probe, wenn der Brenner korrekt eingestellt ist.
2. Die Probe ist zu entfernen, die Tür des Brennkastens zu schließen, die Entlüftung des Kastens zu öffnen und der Sauglüfter einzuschalten.
3. Nachdem sichergestellt wurde, dass die Gleichstromversorgung abgeschaltet ist, sind die Stromversorgung und die Messinstrumente einzuschalten.
4. Die Ventile der Durchflussmesser für Brenngas und Luft sind zu schließen.
5. Das Hauptventil für die Brenngaszufuhr ist zu öffnen und der Durchfluss auf etwa 0,35 l/min einzustellen.
6. Das Ventil ist zu schließen und der Brennkasten fünf Minuten lang zu entlüften.
7. Das Ventil ist erneut zu öffnen und der Brenner zu zünden; die Luftzufuhr ist dabei auf etwa 6 l/min einzustellen. Flammenhöhe und -temperatur sind zu überprüfen, und die Gaszufuhr ist gegebenenfalls entsprechend nachzuregulieren.
8. Es ist zu prüfen, ob sich der Brenner wiederholt an- und ausstellen lässt.
9. Der Brenner ist auszustellen, die Entlüftung des Brennkastens zu schließen und der Abzug abzuschalten.
10. Die Ventile für die Stickstoff- und Sauerstoffzufuhr sind zu öffnen, der Durchfluss auf 25 l/min und die Sauerstoffkonzentration auf die für das Testgasgemisch geforderte Konzentration einzustellen.
11. Die Gaszufuhr ist abzustellen. Die Ausrüstung ist nun einsatzbereit.



**Bild 7: Gesamtanordnung des modifizierten Brenners und Dimensionierung der Flammenhöhe**



**Bild 8: Gesamtanordnung der Geräte für den Brennverhaltenstest**

f) **Testverfahren**

1. **Anordnung der Probe:** Eine der vorbereiteten Proben ist entsprechend Bild 8 im Brennkasten anzuordnen. Der Leiter wird mit Hilfe der Klemmenleiste an der linken Unterseite der Anordnung befestigt und ist dann über die Umlenkrolle rechts oben zu legen und mit einem Gewichtsstück zu beschweren, um die Probe gespannt zu halten. Das andere Ende wird elektrisch verbunden, um den Stromkreis zu schließen.
2. **Testgasgemisch:** Die Entlüftung ist zu öffnen und der Sauglüfter einzuschalten. Die Ventile für die Sauerstoff- und Stickstoffzufuhr sind zu öffnen, und der Brennkasten ist zehn Minuten lang durch Ausblasen mit 25 l/min mit diesen Gasen zu spülen. Der Durchfluss ist dann auf 2,5 l/min herabzusetzen und während des Vorheizens sowie der Zündung und Verbrennung der Probe bei diesem Wert zu halten.
3. **Vorwärmen des Leiters:** An den Leiter ist ein Gleichstrom ( $I$ ) anzulegen, und der Spannungsabfall ( $V$ ) ist zu messen. Aus den Stromstärke- und Spannungswerten ist der Widerstand ( $R_T$ ) des Leiters bei erhöhter Temperatur wie folgt zu berechnen:

$$R_T = \frac{V}{I}$$

Die Temperatur ( $T$  in °C) des Leiters ist aus der Veränderung seines Widerstands nach folgender Gleichung zu berechnen, die auf der Änderung des spezifischen Widerstandes von Kupfer in Abhängigkeit von der Temperatur beruht:

$$R_T = \left\{ \frac{(T - 20)}{250} + 1 \right\} \times R_{20},$$

wobei  $R_{20}$  der zuvor bei Raumtemperatur (20 °C) gemessene Widerstand ist. Der Strom ist so einzustellen, dass sich die Temperatur bei der den Angaben des Herstellers entsprechenden maximalen Betriebstemperatur des Leiters stabilisiert.

Diese Temperatur ist (auf  $\pm 3$  %) fünf Minuten lang aufrechtzuerhalten, bevor die Flamme gezündet wird. Bis zum Abschluss des Tests darf die Stromstärke nicht verändert werden.

4. **Beflammung:** Die Probe ist für einen Zeitraum von 15 s zu beflammen, sofort danach ist der Brenner auszustellen.
5. **Abschluss des Tests:** Nach dem Verlöschen der Flamme ist die entsprechende Zeit zu notieren, der Strom für weitere 60 s fließen zu lassen und die Probe zu beobachten. Erscheint keine weitere Flamme, so ist der Strom abzuschalten, das Ventil für die Sauerstoffzufuhr zu schließen und der Brennkasten zu entlüften.
6. Bricht die Probe, ist der Test ungültig.

 g) **Annahmekriterien**

Vor der Beflammung darf weder ein spontanes Entflammen noch Einreißen der Isolierung auftreten noch darf sich die Isolierung vom Leiter gelöst haben. Während der Zündung und der Verbrennung dürfen sich keine brennenden Tropfen oder Partikel bilden. Nach dem Löschen der Brennerflamme muss der Probekörper innerhalb von zehn Sekunden und innerhalb einer Gesamtbrennlänge von 150 mm aufhören zu brennen, wobei die Brennlänge vom unteren bis zum oberen Rand der abgebrannten Länge des Probekörpers unter Einschluss der vom Brenner selbst verursachten Beschädigungen zu messen ist.

 h) **Testergebnisse**

Testergebnisberichte müssen folgende Angaben enthalten:

- Gesamtbeschreibung der Probe mit Angabe des Typs, des Herstellers und der von diesem festgelegten maximalen Betriebstemperatur.
- Ergebnisse der Tests einschließlich eines gegebenenfalls festgestellten Nachbrennens, der Brennlänge und der Beobachtungen hinsichtlich der Bildung von brennenden Partikeln.
- Sauerstoffkonzentration, Beflammungsdauer, zu Testbeginn festgestellter Widerstand des Leiters, Stromstärke und Leitertemperatur bei Abschluss des Tests.

### 4.2.3 Test 4: Test im eingebauten Zustand

#### a) Anwendungsbereich

Dieser Test dient zur Bestimmung des Brennverhaltens von Materialien, die auf dieselbe Art und Weise in Konfigurationen wie in der Qualifikation und den nachfolgend erstellten Raumfahrzeug-Modellen eingesetzt werden. Sie dient dazu festzustellen, ob beim Einsatz von Materialien, die den grundlegenden Materialtest nicht bestanden haben, eine Entflammungsgefahr besteht.

#### b) Probenanordnung

- Die Probe muss für die Konfiguration, in der die vorliegenden Materialien eingesetzt werden sollen, bzw. den Einbauzustand repräsentativ sein.
- Die Probe muss die Materialien im Einbauzustand und im Verarbeitungszustand, die dem vorgesehenen Einsatz entsprechen, enthalten. Metallische Materialien müssen für die zu verwendende Legierung repräsentativ sein. Teure Bauteile dürfen simuliert werden, das Grundmaterial, die Geometrie und die Masse der Bauteile müssen jedoch dem vorgesehenen Einsatz entsprechen. Ein Beispiel für eine derartige Simulation ist die Verwendung von fehlerhaften oder qualitativ minderwertigen elektronischen Bauteilen anstelle von einsatzfähigen.

#### c) Testdruck und Gasmisch

Wie in den Systemanforderungen festgelegt.

#### d) Testausstattung und Geräte

Siehe Abschnitt 4.2.2.1 d).

Die Zündung muss entweder durch elektrische Überlastung (bei ungünstigsten Bedingungen) oder durch Anwendung einer offenen Flamme erfolgen.

#### e) Verfahren vor dem Test

Es gilt Abschnitt 4.2.2.1 f), jedoch mit folgender Ergänzung:

- Vor dem Test muss eine Feuergefahrenanalyse durchgeführt werden, in der die kritischen Teile der Probe und die Anordnung des Zünders oder gegebenenfalls der elektrischen Zündschaltung ermittelt werden. Im letzteren Fall müssen die Werte für Stromstärke und Spannung festgelegt werden, die für die zu erwartenden ungünstigsten Versagensbedingungen repräsentativ sind.
- Fotos der Probe müssen die Position des Zünders vor und nach jedem Test zeigen.

#### f) Testverfahren

Hier ist das in Abschnitt 4.2.2.1 g) angegebene Verfahren anzuwenden oder elektrischer Strom so an die festgelegte Schaltung anzulegen, dass es zur Zündung kommt.

#### g) Annahmekriterien

Die Testergebnisse sollten zeigen, dass sich die Flamme nicht auf angrenzende Materialien ausbreiten kann und dass sich weder Spritzer oder Tropfen bilden noch heiße oder brennende Partikel lösen. Kann dieser Nachweis erbracht werden, so darf das Material als annehmbar für den Einsatz in der getesteten Konfiguration angesehen werden.

#### h) **Testergebnisse**

Im Testbericht ist Folgendes anzugeben:

- Beschreibung und Maße der getesteten Baugruppe;
- technische Bezeichnung aller in der Probe verwendeten Materialien;
- Herstellerbezeichnung aller Materialien;
- Masse und Fläche nichtmetallischer Materialien;
- Brennverhalten;
- Art der Flammenausbreitung innerhalb der Probe (Baugruppe);
- Sauerstoffkonzentration bei Abschluss des Tests;
- Bewertung der Auswirkung von Feuer auf die Konfigurationsprobe und Angabe, ob das Material für bestimmte Anwendungen als annehmbar angesehen wird oder nicht.

## **5 Qualitätssicherung**

### **5.1 Allgemeines**

Anforderungen zur Qualitätssicherung siehe ECSS-Q-20.

### **5.2 Aufzeichnungen**

Die Aufzeichnungen zur Qualitätssicherung (z. B. Protokolle) sind entsprechend den für das Projekt geltenden Vertragsbedingungen oder mindestens zehn Jahre lang aufzubewahren und müssen mindestens folgende Angaben enthalten:

- 1 Exemplar der endgültigen Dokumentation;
- Fehlerberichte und gegebenenfalls Korrekturmaßnahmen (falls zutreffend);
- 1 Exemplar des Prüf- und Testberichtes mit Angabe des jeweiligen Verfahrens.

### **5.3 Nichtkonformität**

Über alle im Zusammenhang mit dem Test festgestellten Nichtkonformitäten muss entsprechend den Anforderungen an die Qualitätssicherung entschieden werden; siehe ECSS-Q-20-09.

### **5.4 Kalibrierung**

Vergleichsnormale und alle Teile der Messausrüstung sind zu kalibrieren. Jeder vermutete oder tatsächliche Gerätefehler muss in einem Projekt-Nichtkonformitätsbericht aufgezeichnet werden, so dass sich frühere Ergebnisse überprüfen lassen um zu ermitteln, ob eine erneute Prüfung und ein nochmaliges Testen erforderlich sind. Der Kunde muss über die Nichtkonformitäten im Einzelnen informiert werden.

### **5.5 Rückverfolgbarkeit**

Während des gesamten Prozesses von der Eingangsprüfung bis zum Endtest muss Rückverfolgbarkeit einschließlich der Testausstattung und des eingesetzten Personals sichergestellt werden.





## **Anhang A (informativ)**

### **Herstellung und Qualifikation von chemischen Zündern<sup>4)</sup>**

#### **A.1 Allgemeines**

Dieser Anhang legt ein Verfahren zur Herstellung, Zertifizierung und Lagerung der nach dieser Norm zu verwendenden chemischen Zünder fest.

#### **A.2 Sicherheitsanforderungen**

Personen, die an der Herstellung dieser Zünder beteiligt sind, müssen mit den geltenden Sicherheitsbestimmungen für den Umgang mit den dabei verwendeten Materialien und Geräten vertraut sein.

#### **A.3 Reagenzien und Geräte**

##### **A.3.1 Hexamethylentetramin (HMT)**

Hexamethylentetramin muss von 98 %iger Reinheit, analysenrein sein und in Pulverform vorliegen. Es muss zum Schutz gegen Feuchtigkeit ordnungsgemäß verpackt und gelagert werden.

##### **A.3.2 Natriummetasilicat**

Natriummetasilicat muss wasserfrei, von 98 %iger Reinheit, analysenrein sein und als Granulat vorliegen. Es muss zum Schutz gegen Feuchtigkeit ordnungsgemäß verpackt und gelagert werden.

##### **A.3.3 Gummiarabikum**

Gummiarabikum muss in Pulverform vorliegen.

##### **A.3.4 Hammermühle**

Dient zum Zerkleinern der Trockenbestandteile des Zündergemisches.

##### **A.3.5 Handschuhkasten**

Ein Handschuhkasten mit einem Temperatur- und Luftfeuchtemesser wird beim Zerkleinern von Probenmengen der Trockenbestandteile benötigt.

##### **A.3.6 Beutel**

Dienen zur Lagerung der zerkleinerten Trockenbestandteile.

##### **A.3.7 Sieb 040**

Wird zum Sieben der zerkleinerten Trockenbestandteile benötigt.

---

<sup>4</sup> Entsprechend Dokument ISO/CD 14624-1 (in Vorbereitung; gemeinsames Vorhaben von ISO/TC 20/SC 14 und ECSS).

**A.3.8 Dunstabzug**

Wird beim Zerkleinern der Trockenbestandteile und beim Zubereiten der Zündermasse eingesetzt. Die Luftgeschwindigkeit des Abzugs muss größer als 30 m/s sein.

**A.3.9 Atemmaske mit organischem Filter**

Eine Atemmaske ist beim Zerkleinern des HMT zu tragen.

**A.3.10 Entionisiertes Wasser**

Wird zum Mischen der Trockenbestandteile bei der Herstellung der Zündermasse benötigt.

**A.3.11 250-ml-Bürette**

Dient dazu, das entionisierte Wasser der Zündermischung nach und nach zuzusetzen.

**A.3.12 Elektrischer Hochleistungsmixer**

Dient zum Mischen der Zündermasse.

**A.3.13 Spatel**

Dient während des Mischens zum Abschaben der an den Innenwänden des Mischbehälters haftenden Zündermasse.

**A.3.14 Kunststoffschalen**

Mit Maßen von ungefähr 7,6 cm × 38 cm × 0,15 cm dienen die Schalen zur Aufnahme der extrudierten Zündermasse und zu deren Lagerung während der Trocknung.

**A.3.15 Förderband**

Dient zum Bewegen der Kunststoffschalen mit konstanter Geschwindigkeit, ohne dass der Zündermassenstrang gedehnt wird noch zu dick werden kann.

**A.3.16 Strangpresse**

Dient zum Strangpressen der Zündermasse in die Kunststoffschalen.

**A.3.17 Schneidwerkzeug**

Dient zum Zuschneiden des Zünders auf Länge.

**A.3.18 Etagentrockner**

Dienen zur Aufnahme der Kunststoffschalen mit der Zündermasse beim Trocknen.

**A.3.19 Exsikkator und Trockenmittel**

Diese stellen die richtige Feuchte während der Trocknung und Lagerung der Zünder sicher.

### **A.3.20 Waage**

Dient zum Wägen der getrockneten Zünder.

### **A.3.21 Gewellter Halter aus Kunststoff**

Dient zum Halten des getrockneten Zünders beim Schneiden auf die gewünschte Länge.

### **A.3.22 Zertifizierte Atemluft**

Wird bei der Zertifizierung der Zünder benötigt.

### **A.3.23 Spannungsquelle**

Spannungsquelle mit 15 A (r.m.s.) zum Einsatz bei der Zertifizierung der Zünder.

### **A.3.24 Chromnickel-Draht, 90 mm**

Blankdraht, 90 mm lang, mit einem spezifischen Nennwiderstand von  $2,3 \Omega/m$  zum Einsatz bei der Zertifizierung der Zünder.

### **A.3.25 Geeichter Messstab**

Dient zur Messung der Länge von Zünder und Zündflammenhöhe bei der Zertifizierung.

### **A.3.26 Testkammer**

Die Testkammer (oder Dunstabzug) dient zum Einsatz bei der Zertifizierung der Zünder.

### **A.3.27 Geeichte Stoppuhr**

Dient zur Bestimmung der Brenndauer der Zünder bei der Zertifizierung.

### **A.3.28 Pinsel mit weichen Borsten**

Dient zum Reinigen der Zünderspule zwischen den Zertifizierungen einzelner Zünder.

### **A.3.29 Kunststoffbehälter**

Dient zur Lagerung der Zünder.

### **A.3.30 Gewelltes Verpackungsmaterial aus Schaumstoff**

Dient zum Verpacken der Zünder während der Lagerung.

#### A.4 Zerkleinern der Zündermischung

- a) Um ein homogenes Gemisch zu erhalten, müssen die Ausgangsstoffe außer Gummiarabikum mit Hilfe einer Hammermühle zerkleinert werden.
- b) Das Natriummetasilicat muss in einem Handschuhkasten zerkleinert werden. Dazu sind die Hammermühle, der zu zerkleinernde Stoff und sonstige erforderliche Werkzeuge in den Handschuhkasten einzubringen. Am Auslass der Mühle ist mit Hilfe von Klebeband ein Beutel zum Auffangen des zerkleinerten Stoffes zu befestigen. Zusätzlich ist ein Sieb 040 im Inneren der Hammermühle einzubauen. Der Handschuhkasten ist abzudichten und vor dem Zerkleinern des Materials etwa vier Stunden lang oder so lange, bis die Luftfeuchte innerhalb des Kastens weniger als 10 % beträgt, mit trockener Luft auszublasen.
- c) Der Stoff ist zu zerkleinern. Der Beutel ist von der Hammermühle abzunehmen, dicht zu verschließen und in einen weiteren Beutel zu geben (siehe unter f)).
- d) Die Hammermühle ist vor jedem Wechsel des zu zerkleinernden Stoffes zu reinigen.
- e) Hexamethylentetramin muss unter einem Dunstabzug zerkleinert werden. Dabei muss die erzeugte Luftgeschwindigkeit 30 m/s überschreiten, und die Bedienungsperson muss eine Atemmaske mit organischen Filtern tragen. Es ist dasselbe Verfahren anzuwenden wie beim Zerkleinern von Natriummetasilicat (siehe unter b)).
- f) Nach dem Zerkleinern sind alle Stoffe getrennt voneinander in zwei jeweils ineinander gezogenen und verschlossenen Beuteln aufzubewahren. Die Beutel sind mit dem Inhalt zu kennzeichnen.

#### A.5 Wägen des Zündergemisches

- a) Um ein Gemisch von 400 g herzustellen, sind die folgenden Mengen an festen Bestandteilen miteinander zu vermischen:  
(280,8 ± 0,2) g Hexamethylentetramin;  
(105,2 ± 0,2) wasserfreies Natriummetasilicat;  
(14,0 ± 0,2) g Gummiarabikum.
- b) Bei anderen Mengen muss das Gemisch aus (70,2 ± 0,1) % Hexamethylentetramin, (26,3 ± 0,1) % Natriummetasilicat und (3,5 ± 0,1) % Gummiarabikum bestehen.
- c) Erst am Tag der Zünderherstellung sind die entsprechenden Mengen der Bestandteile zu wägen und gründlich zu durchmischen.

## A.6 Wasserzugabe

- a) 200 ml entionisiertes Wasser mit Raumtemperatur sind in eine 250-ml-Bürette zu geben.
- b) Die Bürette ist zu öffnen, und etwa 10 ml entionisiertes Wasser sind in die Mischschüssel eines elektrischen Hochleistungsmixers zu geben.
- c) Das trockene Zündergemisch ist in die Mischschüssel zu geben und gleichmäßig in dieser zu verteilen.
- d) Der Mixer ist auf niedrige Geschwindigkeit einzustellen und einzuschalten, und das entionisierte Wasser ist langsam zum Gemisch zuzugeben. Anfangs ist das Gemisch sehr dünnflüssig. Während das Natriummetasilicat das Wasser absorbiert, wird es jedoch dickflüssiger und erreicht schließlich pastöse Konsistenz. Dies kann in Abhängigkeit von den gegebenen Umgebungsbedingungen 20 bis 30 Minuten dauern. Während des Mischvorgangs muss die Innenwand der Mischschüssel mit einem Spatel abgeschabt werden.
- e) Bei Erreichen der richtigen Konsistenz beginnt das Gemisch, sich von der Schüsselwand abzulösen. Sobald dies der Fall ist, ist die Wasserzugabe zu beenden, da eine übermäßige Wasserzugabe dazu führt, dass das Gemisch für das Strangpressen zu nass wird. Üblicherweise sind dem Gemisch 190 ml bis 200 ml entionisiertes Wasser zuzugeben.

## A.7 Strangpressen

- a) Für das Strangpressen sind drei Personen erforderlich. Eine Person muss die Kunststoffschalen auf das Förderband stellen, eine Person ist für die Steuerung zuständig, indem sie die Geschwindigkeiten von Förderband und Strangpresse regelt und die extrudierte Zündermasse zwischen den Schalen durchschneidet, die dritte Person schließlich muss die Schalen vom Förderband nehmen und auf Etagentrockner stellen.
- b) Nach dem Einschalten des Förderbandes ist dessen Spannung so einzustellen, dass sich ein gleichmäßiger Bandlauf ergibt. Außerdem ist sicherzustellen, dass für ein Gemisch von 400 g ungefähr 75 Kunststoffschalen in der Nähe des Förderbandanfangs bereitstehen. Für eine größere Menge können mehr Schalen erforderlich sein. Das Förderband ist abzuschalten.
- c) Die Strangpresse ist zusammenzubauen und mit der Zündermasse zu befüllen.
- d) Sobald das Strangpressen beginnt, ist das Förderband einzuschalten, und eine Bedienungsperson muss die Schalen auf das Förderband stellen, während die Zündermasse die Strangpresse verlässt. Die Geschwindigkeit von Förderband und Strangpresse ist so zu regeln, dass die extrudierte Zündermasse gerade und ungedehnt austritt. Zwischen den Schalen ist der Strang so durchzuschneiden, dass die Schalen einzeln auf die Etagentrockner gestellt werden können.
- e) Nachdem die gesamte Zündermasse in die Kunststoffschalen extrudiert wurde und diese auf die Etagentrockner gestellt wurden, sind alle Geräte zu reinigen.

## A.8 Nachbehandlung, Zuschneiden und Wägen der Zünder

- a) Nach dem Strangpressen sind die Schalen mit Inhalt in einem gut belüfteten Raum (bei einer relativen Luftfeuchte von weniger als 20 %) zu lagern. Nach etwa 24 h bis 28 h sollten die Zünder zum Schneiden trocken genug sein.
- b) Alle Zünderstränge in den Kunststoffschalen sind auf eine Länge von  $(28,6 \pm 3,2)$  mm zuzuschneiden und dann unter den in Absatz a) angegebenen Bedingungen für weitere 24 h bis 28 h zu trocknen, bis sie sich bei Berührung trocken anfühlen.
- c) weniger als 15 %) einzubringen und dabei direkt auf das Trockenmittel zu legen.
- d) Nach Ablauf von etwa sieben Tagen sind dem Exsikkator zehn Zünder zu entnehmen und zu wägen. Nach den Festlegungen muss die Masse der Zünder jeweils 0,190 g bis 0,240 g betragen. Liegt die Masse von acht der zehn Zünder innerhalb dieses Bereichs, so ist der Trocknungsvorgang abgeschlossen, und die Zünder können zertifiziert werden. Wiegen mehr als zwei Zünder über 0,240 g, so ist die Trocknung der Zünder fortzusetzen.
- e) Ist nach Absatz d) eine längere Trocknungszeit erforderlich, so sind nach einer Wartezeit von etwa 24 h bis 48 h zusätzlich zehn Zünder auszuwählen. Entsprechen acht davon den geltenden Festlegungen, so können die Zünder zertifiziert werden. Aufgrund der schwankenden Bedingungen in Exsikkatoren kann dieser Prozess bis zu zwei Wochen oder länger dauern.

## A.9 Zertifizierung der Zünder

- a) Sämtliche im Exsikkator befindlichen Zünder sind zu wägen. Wiegt ein Zünder weniger als 0,190 g, so ist er wegen zu geringer Masse zu verwerfen. Wiegt der Zünder mehr als 0,240 g, so darf er zur Erfüllung der Anforderungen auf 25,4 mm zugeschnitten werden. Wird die festgelegte Masse dabei nicht erreicht, so ist der Zünder zu verwerfen. Das Zuschneiden und Wägen der Zünder muss in einer trockenen Umgebung (bei einer relativen Luftfeuchte von weniger als 20 %) erfolgen, da die Zünder Wasser absorbieren, wenn sie einer höheren Luftfeuchte ausgesetzt werden. Außerdem müssen die Zünder während der Nachbehandlung ihre runde Form behalten, um in die Zündspule hineinzupassen. Deshalb sind die Zünder zum Zuschneiden in einen gewellten Halter aus Kunststoff zu legen.
- b) Für die Zertifizierung einer Losmenge von 400 g ist eine Stichprobe von 20 Zündern zu nehmen. Handelt es sich um ein größeres Los, so muss die Probengröße entsprechend erhöht werden. Für alle Zünder sind die größte Flammentemperatur und Flammenhöhe sowie die Brenndauer zu ermitteln. Dabei muss jeder Zünder eine Flammentemperatur von  $(1\ 100 \pm 90)$  °C entwickeln und die Flamme  $(25 \pm 5)$  s lang eine größte Flammenhöhe von  $(6,5 \pm 0,65)$  cm aufweisen.
- c) Die Zünder müssen in zertifizierter Atemluft bei Atmosphärendruck getestet werden. Die Temperatur ist mit einem Thermoelement vom Typ S zu messen, das mit einem Draht von 0,81 mm Durchmesser ausgerüstet ist, der mittig in einer Höhe von 25,5 mm über der Spitze des Zünders anzuordnen ist. Um den Zünder zu aktivieren, muss an diesem eine Spannungsquelle mit einer Leistung von 15 A (r.m.s.) über einen 0,90 mm dicken Chromnickel-Draht angelegt werden. Der Draht muss einen spezifischen Nennwiderstand von  $2,3\ \Omega/\text{m}$  haben und ausreichend lang sein, um dreimal in gleichmäßigem Abstand um den Zünder gelegt werden zu können. Zusätzlich gilt, dass die Länge der Zuleitungen zur Chromnickel-Drahtspule 32 mm nicht überschreiten darf, um ein ordnungsgemäßes Zünden des Zünders sicherzustellen. In der Testkammer muss ein Messstab zur Messung der Flammenhöhe vorhanden sein.
- d) Vor Beginn der Zertifizierung ist sicherzustellen, dass sich die Zuleitungen des Thermoelements nicht berühren und dass dieses ordnungsgemäß kalibriert ist.

- e) Zur Zertifizierung sind mit jedem der 20 ausgewählten Zünder folgende Schritte durchzuführen:
1. Der Zünder ist in die Chromnickel-Drahtspule zu stecken.
  2. Die Testkammer ist mit zertifizierter Atemluft unter Atmosphärendruck zu setzen.
  3. Die Stromversorgung des Zünders ist einzuschalten. Sobald die Zündung erfolgt ist, ist die Stromversorgung abzuschalten.
  4. Die (am Thermoelement abgelesene) Flammentemperatur, die Brenndauer und die Flammenhöhe sind aufzuzeichnen. Die Zeit vom Moment der Zündung bis zum Moment des Erlöschens der Flamme (Brenndauer) muss mit Hilfe einer geeichten Stoppuhr ermittelt werden. Die Flammenhöhe ist durch Messung der maximalen Höhe der Flamme über der Spitze zu bestimmen.
  5. Die Stabilisierung der Testkammer ist zu ermöglichen. Bevor der nächste Zünder eingeführt wird, ist die Drahtspule mit Hilfe einer Bürste mit weichen Borsten von Ascherückständen zu befreien.
- f) Die Charge gilt als für den Einsatz annehmbar, wenn nicht mehr als einer von 20 getesteten Zündern in der Erfüllung der festgelegten Kriterien (siehe Absatz b)) versagt. Sobald die Charge getestet und zertifiziert ist, müssen der durchschnittliche Höchstwert der Flammentemperatur und die durchschnittliche Verbrennungsdauer sowie deren Standardabweichungen berechnet werden.

## A.10 Entsorgung der Abfälle

Die Entsorgung aller bei der Herstellung, Nachbehandlung oder Wägung der Zünder anfallenden Abfälle einschließlich ganzer Chargen im Versagensfall muss gemäß den geltenden Umweltbestimmungen zum Umgang mit gefährlichen Stoffen erfolgen.

## A.11 Verpackung und Lagerung

- a) Die Zünder sind in einem Kunststoffbehälter zwischen Schichten aus mindestens 3,2 mm dickem gewelltem Verpackungsmaterial aus Schaumstoff zu verpacken und dabei jeweils in die Rillen des Verpackungsmaterials zu legen, und zwar in folgender Reihenfolge:
1. Verpackungsmaterial mit der Rillenseite nach oben;
  2. eine Lage Zünder;
  3. Verpackungsmaterial mit der Rillenseite nach unten.

Die Schritte 1) bis 3) sind zu wiederholen, bis der jeweilige Packbehälter voll ist. Bei Beachten dieser Reihenfolge liegen die Zünderlagen jeweils zwischen zwei Lagen Verpackungsmaterials, so dass ein Verrutschen der Zünder während der Lagerung oder des Transports der Behälter weitgehend vermieden wird. Zur Absorption überschüssiger Feuchtigkeit, die die Funktion der Zünder beeinträchtigen könnte, sind Trockenmittelpackungen auf die Zünder in den Behälter zu legen.

- b) Um bei längerer Lagerung Wasserabsorption zu vermeiden, sind die verpackten Zünder in einen Exsikkator mit einem die Farbe verändernden Trockenmittel oder einen Feuchteindikator sonstiger Art zu legen. Die Zünder dürfen für unbestimmte Zeit gelagert werden, vorausgesetzt, dass das Trockenmittel in regelmäßigen Abständen ausgetauscht oder die relative Feuchte im Exsikkator unter 18 % gehalten wird.



## Literaturhinweise

NASA STD 6001	Flammability, Odor and Off-gassing compatibility Requirements and Test Procedures for Materials That Support Combustion
ZZU.0336.028	Standard test method for the determination of the oxygen concentration limit during the combustion of polymer materials (englische Übersetzung des russischen Originaltitels)
ISO/CD 14624-1	Space systems — Test Method for Upward Flammability of Materials



Verbesserungsvorschlag für ECSS-Dokument		
<b>1. Nummer des Dokuments</b> ECSS-Q-70-21A	<b>2. Datum des Dokuments</b> 4. Oktober 1999	<b>3. Titel des Dokuments</b> Brennverhaltenstest für die Auswahl von Raumfahrtmaterialien
<b>4. Empfohlene Verbesserung:</b> (Abschnitte/Unterabschnitte angeben und geänderten Text und/oder geänderte grafische Darstellung aufnehmen, ggf. weitere Seiten ergänzen)		
<b>5. Begründung</b>		
<b>6. Antragsteller</b>		
Name:	Organisation:	
Adresse:	Telefon:	<b>7. Datum der Vorlage:</b>
	Fax:	
	E-Mail:	
<b>8. Zu senden an ECSS-Sekretariat</b>		
Name: W. Kriedte ESA-TOS/QR	Adresse: ESTEC, P.O. Box 299 2200 AG Noordwijk Niederlande	Telefon: +31-71-565-3952 Fax: +31-71-565-6839 E-Mail: Werner.Kriedte@esa.int

**Anmerkung:** Der Antragsteller sollte Angaben zu den Punkten 4, 5, 6 und 7 machen.

Die englische Fassung dieses Formulars ist erhältlich als Word- und Wordperfect-Vordruck im Internet unter <http://www.ecss.nl/>