

	DIN IEC 60079-20-2 (VDE 0170-20-2)	DIN
	Diese Norm ist zugleich eine VDE-Bestimmung im Sinne von VDE 0022. Sie ist nach Durchführung des vom VDE-Präsidium beschlossenen Genehmigungsverfahrens unter der oben angeführten Nummer in das VDE-Vorschriftenwerk aufgenommen und in der „etz Elektrotechnik + Automation“ bekannt gegeben worden.	VDE
<div>ICS 29.260.20</div> <div>Einsprüche bis 2009-03-31</div> <div>Vorgesehen als Ersatz für DIN EN 50281-2-1 (VDE 0170/0171-15-2-1):1999-11 und DIN EN 61241-2-2 (VDE 0170/0171-15-2-2):1996-04</div> <div>Entwurf</div> <div>Explosionsfähige Atmosphäre – Teil 20-2: Untersuchungsverfahren – Verfahren zur Bestimmung der Mindestzündtemperatur von Staub (IEC 31J/157/CD:2008)</div> <div>Explosive atmospheres – Part 20-2: Material characteristics – Combustible dusts test methods (IEC 31J/157/CD:2008)</div> <div>Anwendungswarnvermerk</div> <div>Dieser Norm-Entwurf mit Erscheinungsdatum 2009-01-05 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.</div> <div>Weil die beabsichtigte Norm von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfes besonders zu vereinbaren.</div> <div>Stellungnahmen werden erbeten</div> <div><ul style="list-style-type: none">– vorzugsweise als Datei per E-Mail an dke@vde.com in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden– oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE, Stresemannallee 15, 60596 Frankfurt am Main.</div> <div>Die Empfänger dieses Norm-Entwurfs werden gebeten, mit ihren Kommentaren jegliche relevante Patentrechte, die sie kennen, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.</div> <div>Gesamtumfang 111 Seiten</div> <div>DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE</div>		

Beginn der Gültigkeit

Diese Norm gilt ab ...

Inhalt

	Seite
1 Anwendungsbereich	7
1.1 Verfahren zur Bestimmung der Mindestzündtemperaturen von Staub	7
1.2 Verfahren zur Bestimmung des elektrischen Widerstandes von Staubschichten	7
1.3 Verfahren zur Bestimmung der Mindestzündenergie von Staub/Luft Gemischen	7
2 Normative Verweisungen	8
3 Begriffe	8
4 Methoden zur Ermittlung der Mindestzündtemperaturen von Staub	9
4.1 Methode A: Staubschicht auf einer erhitzten Oberfläche bei einer konstanten Temperatur	9
4.2 Verfahren B: Staubwolke in einem Ofen bei einer konstanten Temperatur	14
5 Verfahren zur Bestimmung des elektrischen Widerstandes von Staubschichten	16
5.1 Untersuchungsapparatur	16
5.2 Prüfmuster	16
5.3 Untersuchungsverfahren	17
5.4 Untersuchungsbericht	17
6 Methode zur Bestimmung der Mindestzündenergie von Staub/Luft-Gemischen	18
6.1 Untersuchungsapparatur	18
6.2 Prüfprobe	20
6.3 Ablauf	20
6. 22	
Anhang A (normativ) Verfahren A – Bauausführung einer Heizplatte und Messung der Temperaturverteilung an der Oberfläche	24
Anhang B (normativ) Konstruktion eines Ofens für konstante Temperatur	30
Anhang C (informativ) Prüfverfahren zur Messung der Zündtemperaturen von Staubablagerungen	41
Anhang D (informativ) Beispiele für funkenenerzeugende Systeme	44
Anhang E (normativ) Gerät für Zündprüfungen von elektrischen Stromkreisen in Staubumgebungen	49
Anhang F (informativ) Signifikanz der Mindestzündenergie	51
Anhang G (normativ) Gerät für Zündprüfungen von elektrischen Stromkreisen in Staubumgebungen	52
Bild 1 – Testzelle	18
Bild 2 – Stromkreis Diagramm	18
Bild A.1 – Zeichnung der heißen Platte (Verfahren A) (Zeichnung nicht maßstäblich)	25
Bild A.2 – Ringe zum Formen der Schichten (Verfahren A)	26
Bild A.3 – Typische Temperatur/Zeit-Kurven bei Entzündung auf der heißen Platte (Verfahren A)	27
Bild A.4 – Messung der Oberflächentemperatur (Verfahren A, Anhang A)	28

	Seite
Bild A.5 – Typische Oberflächentemperaturverteilung (Verfahren A)	29
Bild B.1 – Ofen, Montagezeichnung (Verfahren B)	31
Bild B.2 – Kieselglas-Rohr (Verfahren B)	32
Bild B.3 – Glas-Adapter und Staubvorratsgefäß (Verfahren B).....	33
Bild B.4 – Ofengehäuse, rostfreier Stahl, 20 SWG, nahtlos (Verfahren B)	34
Bild B.5 – Oberer und unterer Deckel (Verfahren B)	35
Bild B.6.....	36
Bild B.7	37
Bild B.8.....	38
Bild B.9 – Ofenstativ (Verfahren B).....	39
Bild B.10 – Staubeinblassystem (Verfahren B)	40
Bild C.1 – Schema zur Messung der Zündtemperatur von Staubablagerungen.....	43
Bild C.2 – Methode zur Herstellung kegelförmiger Staubablagerung	43
Bild D.1 – Muster für den Prüfbericht	46
Bild D.2 – Gerät zur Bestimmung der Mindestzündenergien von Staub (schematisch) – Auslösung durch Hilfsfunken mit Drei-Elektroden-System	47
Bild D.3 – Gerät zur Bestimmung der Mindestzündenergien von Staub (schematisch) — Auslösung durch Elektrodenbewegung.....	47
Bild D.4 – Gerät zur Bestimmung der Mindestzündenergien von Staub (schematisch) – Auslösung durch Spannungsanstieg.....	48
Bild D.5 – Gerät zur Bestimmung der Mindestzündenergien von Staub (schematisch) – Ansteuerüberträger im Entladekreis.....	48
Bild E.1 – Aufbau des Prüfgeräts.....	50
Bild E.2 – Position des Funkenprüfgeräts im Explosionsgefäß.....	50
Bild G.1 – Installation des Prüfgeräts	53
Bild G.2 – Position des Funkenprüfgeräts im Explosionsgefäßs.....	53
 Tabelle B.1:–Stückliste des Apparates (Verfahren B)	 30
Tabelle C.1 – Typische Hitzeelementtemperaturen bei verschiedenen Energieeingaben.	42
Tabelle C.2 – Beispiele für Zündtemperaturen von Ablagerungen	42
Tabelle F.1 – Zündfähigkeiten der verschiedenen Typen der elektrostatischen Entladung	51

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 31J/157/CD:2008 „Explosive atmospheres – Part 20-2: Material characteristics – Combustible dusts test methods“ (CD, en: Committee Draft) ist unverändert in diesen Norm-Entwurf übernommen worden. Dieser Norm-Entwurf enthält eine noch nicht autorisierte deutsche Übersetzung.

Um Zweifelsfälle in der Übersetzung auszuschließen, ist die englische Originalfassung des CD entsprechend der diesbezüglich durch die IEC erteilten Erlaubnis beigefügt. Die Nutzungsbedingungen für den deutschen Text des Norm-Entwurfes gelten gleichermaßen auch für den englischen IEC-Text.

Das internationale Dokument wurde vom SC 31J „Classification of hazardous areas and installation requirements“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet und den nationalen Komitees zur Stellungnahme vorgelegt.

Die IEC und das Europäische Komitee für Elektrotechnische Normung (CENELEC) haben vereinbart, dass ein auf IEC-Ebene erarbeiteter Entwurf für eine Internationale Norm zeitgleich (parallel) bei IEC und CENELEC zur Umfrage (CDV-Stadium) und Abstimmung als FDIS (en: Final Draft International Standard) bzw. Schluss-Entwurf für eine Europäische Norm gestellt wird, um eine Beschleunigung und Straffung der Normungsarbeit zu erreichen. Dokumente, die bei CENELEC als Europäische Norm angenommen und ratifiziert werden, sind unverändert als Deutsche Normen zu übernehmen.

Da der Abstimmungszeitraum für einen FDIS bzw. Schluss-Entwurf prEN nur 2 Monate beträgt, und dann keine sachlichen Stellungnahmen mehr abgegeben werden können, sondern nur noch eine „JA/NEIN“-Entscheidung möglich ist, wobei eine „NEIN“-Entscheidung fundiert begründet werden muss, wird bereits der CD als DIN-Norm-Entwurf veröffentlicht, um die Stellungnahmen aus der Öffentlichkeit frühzeitig berücksichtigen zu können.

Auf internationaler Ebene wurden die Publikationen IEC 61241-2-1, IEC 61241-2-2 und IEC 61241-2-3 zusammengefasst. Die IEC 61241-2-3 wurde jedoch europäisch nicht übernommen. Hierfür existiert aber die DIN EN 13821 zum gleichen Thema. In welcher Form dieses internationale Projekt europäisch übernommen wird, ist noch nicht geklärt.

Für diesen Norm-Entwurf ist das nationale Arbeitsgremium K 235 „Errichten elektrischer Anlagen in explosionsgefährdeten Bereichen“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Änderungen

Gegenüber DIN EN 50281-2-1 (VDE 0170/0171-15-2-1):1999-11 und DIN EN 61241-2-1 (VDE 0170/0171-15-2-2):1996-04 wurden folgende Änderungen vorgenommen:

- a) Zusammenfassung der DIN EN 50281-2-1 (VDE 0170/0171 Teil 15-2-1): 1999-11, der DIN EN 61241-2-2 (VDE 0170/0171 Teil 15-2-2):1996-04 und der DIN EN 13821: 2003-03.
- b) Änderung des Titels.
- c) Änderung der Benummerung.

Nationaler Anhang NA (informativ)

Zusammenhang mit Europäischen und Internationalen Normen

Für den Fall einer undatierten Verweisung im normativen Text (Verweisung auf eine Norm ohne Angabe des Ausgabedatums und ohne Hinweis auf eine Abschnittsnummer, eine Tabelle, ein Bild usw.) bezieht sich die Verweisung auf die jeweils neueste gültige Ausgabe der in Bezug genommenen Norm.

Für den Fall einer datierten Verweisung im normativen Text bezieht sich die Verweisung immer auf die in Bezug genommene Ausgabe der Norm.

Eine Information über den Zusammenhang der zitierten Normen mit den entsprechenden Deutschen Normen ist in Tabelle NA.1 wiedergegeben.

Tabelle NA.1

Europäische Norm	Internationale Norm	Deutsche Norm	Klassifikation im VDE-Vorschriftenwerk
–	IEC 60050	a)	–
EN 60079-14:2008	IEC 60079-14:2007	DIN EN 60079-14 (VDE 0165-1):2009-xx ^{b)}	VDE 0165-1
–	ISO 565:1990	DIN ISO 565:1998	–
–	ISO 4225:1994	DIN ISO 4225:1996	–
a) Internationales Elektrotechnisches Wörterbuch – Deutsche Ausgabe, im Rahmen der Datenbankanwendung DIN-TERM zu beziehen über Beuth Verlag.			
b) Druck in Vorbereitung.			

Nationaler Anhang NB (informativ)

Literaturhinweise

DIN EN 60079-14 (VDE 0165-1), *Elektrische Betriebsmittel für gasexplosionsgefährdete Bereiche – Teil 14: Elektrische Anlagen für gefährdete Bereiche (ausgenommen Grubenbaue)*.

DIN ISO 565:1998, *Analysensiebe – Metalldrahtgewebe, Lochplatten und elektrogeformte Siebfolien – Nennöffnungsweiten*.

DIN ISO 4225:1996, *Luftbeschaffenheit – Allgemeine Gesichtspunkte – Begriffe*.

Explosionsfähige Atmosphäre – Teil 20-2: Untersuchungsverfahren – Verfahren zur Bestimmung der Mindestzündtemperatur von Staub

Einleitung

Diese Norm beschreibt die Verfahren zur Bestimmung von drei Merkmalen brennbarer Stäube.

Das erste beschreibt Verfahren zur Bestimmung der Mindestzündtemperatur von Staub. Diese sind:

- Verfahren A: Staubschicht auf einer beheizten Oberfläche von konstanter Temperatur (4.1);
- Verfahren B: Staubwolke in einem Ofen bei konstanter Temperatur (4.2).

Verfahren A legt die Mindestzündtemperatur einer **Staubschicht** auf einer vorgeschriebenen heißen Oberfläche fest.

Verfahren B legt die Mindestzündtemperatur einer **Staubwolke** innerhalb eines vorgeschriebenen heißen Ofens fest.

Die Untersuchungsverfahren sind von allgemeiner Natur und können für Vergleichszwecke benutzt werden; jedoch können für bestimmte industrielle Situationen weitere Untersuchungen notwendig werden.

Die Verfahren zur Bestimmung der Zündtemperaturen sind nicht geeignet für Sprengstoffe, z. B. Schießpulver, Dynamit oder Gemische von Substanzen, die sich unter Umständen ähnlich verhalten.

Im Zweifelsfall kann ein Hinweis auf das Vorliegen einer Gefahr infolge von Sprengstoffeigenschaften dadurch erhalten werden, dass eine sehr kleine Menge des Staubes auf eine 400 °C oder höher erhitzte Oberfläche entfernt vom Bediener aufgebracht wird.

Das zweite ist zur Bestimmung der elektrischen Leitfähigkeit von Staubablagerungen anzuwenden.

Das Verfahren ist nicht geeignet für Sprengstoffe, z. B. Schießpulver, Dynamit oder Gemische von Substanzen, die sich unter Umständen ähnlich verhalten. Im Zweifelsfall kann ein Hinweis auf das Vorliegen einer Gefahr infolge von Sprengstoffeigenschaften dadurch erhalten werden, dass eine sehr kleine Menge des fraglichen Staubes auf die auf 400 °C erhitzte Oberfläche der im Anhang beschriebenen Apparatur aufgebracht wird.

Die Prüfung zum Sprengstoffverhalten wird nicht immer die Brisanz des Staubes offen legen, daher kann eine Gefahrenunterschätzung eintreten.

ANMERKUNG Zur Sicherung der Gesundheit des Bedieners, der die Prüfung durchführt, sollten Vorsichtsmaßnahmen gegen Brandrisiko, Explosionen und/oder deren Auswirkungen, einschließlich toxischer Wirkungen von Bränden, getroffen werden.

Dieses Prüfverfahren ist anwendbar für die Konstruktion und Anwendung von elektrischen Betriebsmitteln zur Verwendung in Bereichen mit entzündbarem Staub.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil von IEC 60079-20 beschreibt die Prüfverfahren zur Bestimmung der Eigenschaften von brennbaren Stäuben.

1.1 Verfahren zur Bestimmung der Mindestzündtemperaturen von Staub

Es gibt zwei Verfahren zur Bestimmung der Mindestzündtemperaturen von Staub.

Diese Verfahren sind nicht geeignet für den Gebrauch mit Substanzen, die Sprengstoffeigenschaften besitzen.

Verfahren A (4.1) ist geeignet zur Bestimmung der minimalen Temperatur einer vorgeschriebenen heißen Oberfläche, die zur Zersetzung und/oder zur Zündung einer auf sie aufgetragenen Staubschicht definierter Dicke führt. Dieses Verfahren ist besonders relevant für Industrieanlagenteile, bei denen Staub auf heißen Oberflächen in dünnen Schichten der Atmosphäre ausgesetzt sind.

Verfahren B (4.2) ist geeignet zur Bestimmung der Mindesttemperatur einer vorgeschriebenen heißen Oberfläche, die zur Zündung einer Wolke aus Staub oder anderem feinteiligen Material führt. Dieses Untersuchungsverfahren ist vorgesehen als ergänzendes Verfahren zur Bestimmung der Mindestzündtemperatur einer Staubschicht nach Verfahren A dieser Norm.

ANMERKUNG 1 zu Verfahren B Weil sich, bedingt durch den Versuchsablauf im Ofen, eine kurze Verweilzeit der Staubpartikel im Ofen ergibt, ist das Untersuchungsverfahren besonders geeignet für Industrieanlagenteile, bei denen Staub in Form von Wolken kurzzeitig auftritt. Das Untersuchungsverfahren arbeitet im Kleinmaßstab, und die Ergebnisse sind nicht notwendigerweise repräsentativ für alle industriellen Bedingungen.

ANMERKUNG 2 zu Verfahren B Dieses Verfahren ist nicht geeignet für Stäube, die über einen Zeitraum, der länger als die Zeitdauer der Untersuchung ist, Schwelgase aus Staubablagerungen entwickeln können.

1.2 Verfahren zur Bestimmung des elektrischen Widerstandes von Staubschichten

Dies gibt ein Verfahren an, durch Anwendung von Wechselstrom den elektrischen Widerstand einer Staubschicht zu bestimmen. Es ist gedacht für Design, Konstruktion, Prüfung und Gebrauch von elektrischen Apparaturen für die Verwendung in der Gegenwart von brennbarem Staub benutzt zu werden.

Dieses Verfahren ist nicht geeignet für den Gebrauch mit bekannten Sprengstoffen oder Substanzen, die Sprengstoffeigenschaften besitzen.

1.3 Verfahren zur Bestimmung der Mindestzündenergie von Staub/Luft Gemischen

Dieser Abschnitt beschreibt ein Verfahren zur Bestimmung der Mindestzündenergie von Staub/Luft Gemischen durch einen elektrisch gebildeten Wechselstrom-Funken. Die in dieser Norm beschriebenen Verfahren erlauben entweder, Zündenergien zu vergleichen mit Zündenergien von anderen Stäuben, um die relative Gefahr einzuschätzen bezüglich der Entzündung durch eine elektrische oder elektrostatische Entladung oder erlauben eine direkte Bestimmung der Gefahr eines speziellen Stromkreises in einem festgelegten Staubumfeld. Entscheidungen können dann hinsichtlich der Eignung eines elektrischen Geräts zur Installation in Bereichen, in denen brennbarer Staub auftritt, getroffen werden.

Das Verfahren ist nicht geeignet für den Gebrauch mit bekannten Sprengstoffen, Schießpulver, Dynamit oder Sprengstoffen, die keinen Sauerstoff zur Verbrennung benötigen; luftentzündliche Substanzen oder Substanzen oder Gemische, die sich unter bestimmten Umständen ähnlich verhalten. Wo Zweifel bestehen, ob es eine Gefahr durch Sprengstoffeigenschaften gibt, kann ein Hinweis eingeholt werden, indem man eine sehr kleine Menge des fraglichen Staubes auf eine erhitzte Oberfläche des Geräts platziert, das in 4.1 erläutert wird, und auf 400 °C erhitzt.

ANMERKUNG Es sollten Maßnahmen getroffen werden, um die Gesundheit des Personals, das die Prüfungen durchführt, vor Gefährdungen durch giftige Substanzen zu schützen, die beim Aufbau der Prüfapparatur entstehen können, sowie durch Feuer, Explosion und/oder Beeinträchtigungen, auch toxischer, durch Verbrennungsprozesse.

Anhang B dieses Abschnittes enthält eine Beratung über die Wichtigkeit der Mindestzündenergie mit Berücksichtigung zu elektrostatischen Entladungen.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden zitierten Dokumente sind für die Anwendung dieses Dokuments erforderlich. Bei datierten Verweisungen gilt nur die in Bezug genommene Ausgabe. Bei undatierten Verweisungen gilt die letzte Ausgabe des in Bezug genommenen Dokuments (einschließlich aller Änderungen).

IEC 60050(301,302,303) *International Electrotechnical Vocabulary*

- Chapter 301, *General terms on measurements in electricity*
- Chapter 302, *Electrical measuring instruments*
- Chapter 303, *Electronic measuring instruments*

ISO 565, *Test sieves – Metal wire cloth, perforated metal plate and electroformed sheet – Nominal sizes of openings*

ISO 4225, *Air quality – General aspects – Vocabulary*

IEC 60079-14, *Explosive Atmospheres – Part 14: Electrical Installations design, selection and erection*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieser Norm gelten die folgenden Begriffe:

3.1

Staub

kleine Feststoffpartikel in der Atmosphäre, die sich aufgrund ihres Eigengewichtes absetzen, aber noch für einige Zeit in der Atmosphäre erhalten bleiben (einschließlich Staub und Grieb nach den Festlegungen in ISO 4225).

3.2

Brennbarer Staub

Staub, der in Luftgemischen brennbar ist.

ANMERKUNG 1 Gemische von brennbarem Staub in der Luft sind nur innerhalb bestimmter Konzentrationsgrenzwerte brennbar.

ANMERKUNG 2 Brennbare Stäube können durch äußere Zündquellen entzündet werden und bei Umgebungstemperatur weiterbrennen, aber spontan entzünden sie sich nur oberhalb ihrer Mindestzündtemperaturen.

3.3

Entzündung

Im Untersuchungsverfahren ist als Entzündung zu werten, wenn:

- ein Druckanstieg von mindestens 0,2 bar über einem beliebigem Druck durch einen Zündfunken entsteht, gemessen in einem geschlossenen Gefäß (z. B. 20 l Kugel); oder
- eine Flamme, die sich mindestens 6 cm von der Funkenposition ausbreitet, in einem offenen Rohr (z. B. Hartmann Rohr) beobachtet wird.

3.4

Zündverzögerungszeit

Zeit zwischen der Staubverwirbelung und dem Eintreten der Funkenentladung.

3.5

Entzündung einer Staubschicht

Als Entzündung ist zu werten, wenn ein Glühbrand oder eine Flamme im Material ausgelöst wird oder wenn eine Temperatur von 450 °C oder höher oder ein Temperaturanstieg von 250 K oder mehr über die heiße Oberfläche während der Prüfung gemessen wurde.

3.6

Mindestzündtemperatur einer Staubschicht

niedrigste Temperatur einer heißen Oberfläche, bei der sich eine Staubschicht von festgelegter Dicke auf dieser heißen Oberfläche entzündet

ANMERKUNG 1 Bei der Vielfalt industrieller Prozesse kann die Zündung einer Staubschicht von örtlichen Bedingungen abhängen. Dieses Untersuchungsverfahren ist nicht notwendigerweise repräsentativ für alle industriellen Gegebenheiten, wobei solche Faktoren wie das Vorhandensein dickerer Staubschichten und die Temperaturverteilung in der Umgebung besonders zu beachten sind.

ANMERKUNG 2 Bei der Durchführung dieser Untersuchung ist es wesentlich, dass alle notwendigen Vorkehrungen zum Schutz der Gesundheit des Personals gegen Risiken durch z. B. Feuer, Explosionen, Einatmen von Rauch und jeglichen toxischen Verbrennungsprodukten getroffen worden sind.

3.7

Entzündung einer Staubwolke

Auslösen einer Explosion durch Energieübertragung an eine Staubwolke in Luft.

3.8

Zündtemperatur einer Staubwolke

niedrigste Temperatur der heißen inneren Wand eines Ofens, bei der die Entzündung einer darin enthaltenen Staubwolke in Luft eintritt

ANMERKUNG Bei der Durchführung der Untersuchung ist es wesentlich, dass alle notwendigen Vorkehrungen zum Schutz der Gesundheit des Personals gegen Risiken durch z. B. Feuer, Explosion, Inhalation von Rauch und jeglichen toxischen Verbrennungsprodukten getroffen worden sind.

3.9

Funkenentladung

Plötzliche elektrische Entladung, die zwischen zwei Elektroden stattfindet, die auf unterschiedlichem Leistungsvermögen sind. Ein Funke ist eine einzelne Entladung, die die Strecke zwischen den Elektroden in Form eines einzigen Ionisationskanals überbrückt.

3.10

Mindestzündenergie (eines brennbaren Staub/Luft Gemisches)

niedrigste Energie eines Funkens (wie in nach dem Verfahren in dieser Norm gemessen wurde), die fähig ist, das empfindlichste Staub/Luft-Gemisch mit dauerhaftem Brand zu entzünden.

4 Methoden zur Ermittlung der Mindestzündtemperaturen von Staub

4.1 Methode A: Staubschicht auf einer erhitzten Oberfläche bei einer konstanten Temperatur

4.1.1 Vorbereitung der Staubprobe

Die Probe muss so vorbereitet sein, dass sie homogen ist und repräsentativ zur Beurteilung des erhaltenen Staubes.

Die zu untersuchende Staubprobe muss im Allgemeinen durch ein Analysensieb aus Drahtgewebe oder mit quadratisch perforierter Lochplatte mit einer Öffnungsweite von 200 µm (Größe aus der Nebenreihe, ISO 565) hindurchgehen können. Wenn es notwendig ist, gröbere Stäube zu prüfen, die durch ein Analysensieb mit einer Öffnungsweite bis zu 500 µm hindurchgehen, muss dies im Untersuchungsbericht angegeben werden.

Alle Veränderungen der Eigenschaften des Staubes, die durch die Vorbereitung der Probe, z. B. durch Sieben, Wärmebehandlung oder Änderung des Wassergehaltes hervorgerufen wird, muss im Untersuchungsbericht angegeben werden.

4.1.2 Untersuchungsapparatur

Die Apparatur ist in Bild A.1 schematisch dargestellt. Wichtige Einzelheiten und Ausführungshinweise sind in den folgenden Abschnitten angegeben. Konstruktionsverfahren, die eine Erfüllung dieser Anforderungen ermöglichen, sind im Anhang A beschrieben.

4.1.2.1 Erhitzte Oberfläche

Die erhitzte Oberfläche muss aus einer kreisförmigen Metallplatte von 200 mm Durchmesser und mindestens 20 mm Dicke bestehen. Die Platte muss elektrisch beheizt werden, und ihre Temperatur muss durch eine Vorrichtung geregelt werden, bei der ein Thermoelement als Fühler in der Platte in der Nähe des Zentrums eingebaut ist.

Ein gleichartiges Thermoelement muss nahe dem Regelthermoelement in ähnlicher Weise eingebaut und mit einem Temperaturschreiber verbunden werden, um die Temperatur der Platte während des Versuchs aufzuzeichnen. Die erhitzte Platte und ihre Regelvorrichtung müssen die folgenden Anforderungen erfüllen:

- a) die Platte muss in der Lage sein, ohne aufgelegte Staubschicht eine Höchsttemperatur von 400 °C zu erreichen;
- b) die Temperatur der Platte muss während der Untersuchungsdauer innerhalb ± 5 K konstant bleiben;
- c) wenn die heiße Platte einen konstanten Zustand erreicht hat, muss die Temperatur quer über die Platte innerhalb ± 5 K einheitlich sein. Dabei muss die Temperatur nach dem in Anhang B beschriebenen Verfahren entlang zweier Durchmesser im rechten Winkel zueinander gemessen werden. Diese Anforderung muss für Nenntemperaturen der Platte von 200 °C und 350 °C erfüllt werden;
- d) die Temperaturregelung muss so geartet sein, dass die registrierte Plattentemperatur sich während des Aufbringens der Staubschicht um nicht mehr als ± 5 K ändert und sich nach Aufbringen der Staubschicht innerhalb von 5 min wieder auf den früheren Wert mit einer Grenzabweichung von ± 2 K einstellt;
- e) die Einrichtungen zum Regeln und Messen der Temperatur müssen kalibriert sein, und die Granzabweichungen müssen innerhalb der Grenzen von ± 3 K liegen.

4.1.2.2 Staubschicht-Thermoelement

Ein dünnes Thermoelement (0,20 mm bis 0,25 mm Durchmesser) aus Chromel-Alumel oder anderem geeignetem Material muss in einer Höhe von 2 mm bis 3 mm quer über die heiße Platte parallel zur Oberfläche gespannt werden; die Messstelle muss sich über der Plattenmitte befinden. Dieses Thermoelement muss mit einem Temperaturschreiber verbunden sein, um das Verhalten der Staubschicht während der Untersuchung bestimmen zu können.

4.1.2.3 Temperaturmessungen

Temperaturmessungen mit Thermoelementen müssen entweder relativ zu einer bestimmten Bezugstemperatur oder mit automatischer Kompensation der Vergleichsstelle durchgeführt werden. In beiden Fällen muss die Kalibrierung die Anforderungen in 4.1.2.1 e) erfüllen.

4.1.2.4 Messung der Umgebungstemperatur

Die Umgebungstemperatur muss mit einem Thermometer gemessen werden, das nicht mehr als 1 m von der erhitzten Platte entfernt ist, jedoch geschützt vor Wärmeübertragung durch Konvektion und Strahlung von der heißen Platte. Die Umgebungstemperaturen müssen zwischen 15 °C und 35 °C liegen.

4.1.2.5 Staubschichten

Die Staubschichten müssen hergestellt werden, indem man den Hohlraum, der durch Auflegen eines Metallrings von vorgesehener Höhe auf die erhitzte Oberfläche entsteht, mit Staub füllt und die Schicht in Ringhöhe

glattstreicht. Der Ring muss einen nominalen Innendurchmesser von 100 mm haben und sich gegenüberliegende Schlitze, damit das Staubschicht-Thermoelement hindurchgeführt werden kann (Bild A.2). Der Ring muss während der Untersuchung am Ort belassen werden. Der zu untersuchende Staub muss in einer Schichtdicke von $5,0 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ untersucht werden. Die gleichen Apparaturen können benutzt werden, um die Entzündungstemperatur von Schichten zu messen, deren Dicke größer als 5 mm, jedoch nicht größer als 75 mm ist.

Einschätzungen der Entzündungstemperatur von dickeren Schichten (wie z. B. $12,5 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$ oder $15,0 \text{ mm} \pm 0,1 \text{ mm}$) können adäquat durch das Hochrechnen von Schichtentzündungstemperaturen nach 4.1.6 von dünneren Schichten berechnet werden. Diese Berechnungsmethode wurde in Tests als ausreichend exakt bewiesen.

Ringe der vorgesehenen Dicke sind erforderlich. Tests haben gezeigt, dass ein dickwandiger fester Ring eine anhaltende Entzündungstemperatur gibt, verglichen mit dem Wert bei Verwendung eines dünnwandigen, perforierten Ringes.

Es wird empfohlen, in der Praxis die Entzündungstemperatur von dicken Schichten experimentell zu bestimmen.

4.1.2.6 Ausformung der Staubschicht

Die Staubschicht muss geformt werden, ohne sie unzulässig zusammenzudrücken. D. h., der Staub muss mit einem Spatel in den Ring gebracht und hauptsächlich durch Seitwärts-Bewegungen des Spatels verteilt werden, bis der Ring leicht überfüllt ist. Die Schicht muss dann geglättet werden, indem mit einer geraden Kante über die Oberseite des Ringes hinweg gestrichen wird. Der Überschuss sollte entfernt werden.

Für jeden Staubtyp muss eine Schicht auf einem abgewogenen Papierbogen in der oben beschriebenen Weise geformt und gewogen werden. Die Schüttdichte muss aus der Masse des Staubes und dem aufgefüllten Volumen des Ringes berechnet und im Bericht angegeben werden.

4.1.3 Untersuchungsverfahren

4.1.3.1 Allgemeines

Einer Entzündung in verrußten oder porösen Feststoffen, die erhöhten Temperaturen ausgesetzt sind, geht für gewöhnlich eine kürzere oder längere Periode der Selbsterhitzung voraus (normalerweise infolge einer atmosphärischen Oxidation). Abhängig von der Temperatur der Aussetzung kann die Selbsterhitzung nicht mehr als einen vorübergehenden, wenn auch manchmal beachtlichen Temperaturanstieg im Feststoff nach sich ziehen, der nicht zur Ausbreitung der Verbrennung führt. Außerdem ist die „Anfangsphase“ der Entzündung bei Temperaturen nahe der Mindestzündtemperatur normalerweise erheblich größer als für die Entzündung in Staubwolken oder in Gasen und Dämpfen (Minuten oder Stunden eher als Sekunden). Aus beiden Gründen ist die Erkennung der Mindestzündtemperatur von Staubschichten nicht so einfach wie für Staubwolken oder Gase und Dämpfe. Es ist notwendig, besonders sicher zu sein, dass der Grund für eine Nichtentzündung bei einer gegebenen Temperatur nicht nur in einem vorzeitigen Testabbruch liegt.

Der Eintritt der Entzündung einer Staubschicht auf einer Oberfläche gegebener Temperatur hängt entscheidend von dem Gleichgewicht zwischen der Geschwindigkeit der Wärmeerzeugung („Selbsterhitzung“) in der Schicht und der Geschwindigkeit der Wärmeabgabe an die Umgebung ab. Die Temperatur, bei der die Entzündung eines gegebenen Materials eintritt, hängt deshalb von der Dicke der Schicht ab. Werte, die für zwei oder mehr Schichtdicken bestimmt werden, können für Voraussagezwecke benutzt werden (siehe 4.6).

Nach dem empfohlenen Untersuchungsverfahren wird die Entzündung des Staubes als gegeben angenommen, wenn

- a) sichtbare Flammen- oder Glimmerscheinung beobachtet werden (Bild 3a), oder
- b) wenn eine Temperatur von 450 °C (im Staub) gemessen wird, oder
- c) wenn (im Staub) ein Temperaturanstieg von 250 K über die Temperatur der Heizplatte hinaus (Bild 3c) gemessen wird.

In Hinblick auf b) und c) wird keine Entzündung angenommen, wenn gezeigt werden kann, dass die Reaktion nicht zu Glimmen oder Flammen fortschreitet. Die Temperatur muss mit einem Thermoelement (siehe 4.1.2.2) gemessen werden. Unter der Voraussetzung, dass die Temperatur der Platte hoch genug ist, wird gewöhnlich festgestellt, dass die Temperatur in der Schicht langsam bis auf einen Maximalwert ansteigt, der höher als die Temperatur der heißen Oberfläche sein kann, und dann langsam auf einen gleich bleibenden Wert unterhalb der Temperatur der heißen Oberfläche abfällt (Bild 3b). Dieses Verhalten ist ein Anzeichen der Selbsterhitzung in der Staubschicht, und es kann oft begleitet sein von einer Entfärbung des Staubes ohne eine aktive und sichtbare Verbrennung der Schicht. Falls die Temperatur der erhitzten Oberfläche leicht höher ist, wird die gemessene Temperatur in der Staubschicht weiter steigen anstatt ein Maximum zu passieren. Einige Materialien zeigen mehr als eine Stufe der Selbsterhitzung, und es kann manchmal notwendig werden, die Untersuchung zu verlängern, um diese Möglichkeit vollständig zu prüfen. Bei organischen Stäuben wird das Verbrennen gewöhnlich in Form von Verkohlen geschehen, gefolgt von Verschmelgungserscheinungen mit Glimmen, die durch die Schicht hindurchgehen und einen Rückstand von Asche hinterlassen. Bei Staubschichten, die aus gewissen feinteiligen Metallen bestehen, kann die Entzündung durch relativ plötzliches Auftreten eines weißglühenden Glimmbrandes, der sich rasch durch die Schicht ausbreitet, charakterisiert sein.

Zur Bestimmung der Mindestzündtemperatur einer Schicht gegebener Dicke sind wiederholte Versuche auszuführen; dabei ist jedes Mal eine frische Staubschicht zu verwenden. Die Plattentemperatur ist stufenweise zu erhöhen bzw. zu erniedrigen, bis eine Temperatur gefunden ist, die hoch genug ist, Entzündung in der Schicht zu bewirken, aber die nicht mehr als 10 K höher ist als eine Temperatur, bei der eine Entzündung ausbleibt. Die höchste Temperatur, bei der die Entzündung ausbleibt, muss dadurch bestätigt werden, dass man einen Versuch lange genug fortsetzt, um feststellen zu können, dass jegliche Selbsterhitzung definitiv im Abklingen begriffen ist, d. h., dass die Temperatur am Messpunkt in der Schicht auf einen gleich bleibenden Wert abfällt, der niedriger ist als die Temperatur der Platte.

4.1.3.2 Methodik

Die Apparatur muss zugluftfrei in einem Abzug aufgestellt werden, so dass Rauch und Dämpfe entfernt werden können.

Die Temperatur der heißen Platte muss auf den gewünschten Wert einreguliert werden und innerhalb der in 4.1.2.1 b) vorgeschriebenen Grenzen gleich bleiben. Ein Metallring der erforderlichen Höhe muss zentral auf die Oberfläche der Platte gelegt werden und dieser Ring muss mit dem zu untersuchenden Staub gefüllt und innerhalb einer Zeitspanne von 2 min abgestrichen werden. Der Schreiber des Staubschicht-Thermoelementes muss dann in Betrieb gesetzt werden.

Der Versuch muss so lange fortgesetzt werden, bis entweder visuell oder durch Anzeige des Thermoelementes festgestellt ist, dass sich die Schicht entweder entzündet hat oder dass sie sich selbst erhitzt hat, ohne sich zu entzünden, und anschließend abkühlt.

Wenn sich nach einer Zeitspanne von 30 min keine Selbsterhitzung gezeigt hat, sollte der Versuch beendet und bei einer höheren Temperatur wiederholt werden. Wenn Entzündung oder Selbsterhitzung eintritt, muss der Versuch bei einer niedrigeren Temperatur wiederholt werden, wenn nötig länger als 30 min. Die Versuche werden fortgesetzt, bis eine Temperatur ermittelt wurde, die hoch genug ist, um Entzündung oder Selbsterhitzung in der Schicht auszulösen, die aber nicht höher als 10 K höher ist als eine Temperatur, bei der keine Entzündung oder Selbsterhitzung eintritt.

4.1.3.3 Ergebnisse

Die Versuche müssen mit frischen Staubschichten wiederholt werden, bis die Mindestzündtemperatur festgestellt worden ist. Dies muss die niedrigste, auf das nächste ganzzahlige Vielfache von 10 °C nach unten gerundete Temperatur, bei der Entzündung in einer Schicht gegebener Dicke eintrat, sein. Wenn Entzündung aufgrund der Thermoelementmessungen (siehe 4.1.3.1) postuliert wurde, wird das Messergebnis, abgerundet auf das nächste ganzzahlige Vielfache von 10 °C und vermindert um 10 K, als Mindestzündtemperatur gewertet.

Der höchste Temperaturwert, bei dem Entzündung nicht eintritt oder als nicht eingetreten postuliert wird, muss ebenfalls angegeben werden. Diese Temperatur darf nicht mehr als 10 K niedriger sein als die

Mindesttemperatur, die als Entzündung gewertet wurde, und sie muss durch mindestens drei weitere Versuche bestätigt werden.

Im Rahmen dieser Norm müssen die Versuche abgebrochen werden, wenn unterhalb einer Temperatur der heißen Oberfläche von 400 °C Entzündung nicht eintritt. Diese Tatsache muss als Untersuchungsergebnis festgehalten werden.

Die Zeiten bis zum Eintritt der Entzündung oder die Zeiten bis zum Erreichen der Maximaltemperatur, falls Entzündung nicht eintritt, müssen vom Zeitpunkt des Auflegens der Staubschicht auf die heiße Oberfläche an gemessen und angegeben werden (die Zeiten sind auf 5 min genau anzugeben).

Wenn eine Staubschicht unterhalb einer Temperatur von 400 °C nicht zur Entzündung kommt, muss die maximale Dauer des Versuchs angegeben werden.

4.1.4 Versuchsbewertungskriterien

Ergebnisse, die vom gleichen Untersucher an verschiedenen Tagen erhalten wurden und Ergebnisse, die in verschiedenen Laboratorien erhalten worden sind, müssen in jedem Falle als unbefriedigend angesehen werden, wenn die Entzündungstemperaturen sich um mehr als 10 K unterscheiden.

Aus Gründen, die in der physikalischen Natur der Stäube und im Verhalten der Schichten während der Untersuchung liegen, kann die Bewertung der Untersuchungsergebnisse manchmal unbefriedigend sein. Über solche Fälle muss berichtet werden (siehe 4.1.5) und alle Ergebnisse müssen als gleichwertig akzeptiert werden.

Der Untersuchungsbericht muss dann eine kurze Beschreibung der Natur der der Entzündung folgenden Verbrennung enthalten, wobei Besonderheiten im Verhalten, wie ungewöhnlich schnelle Verbrennung oder heftige Zersetzung, vermerkt werden müssen. Faktoren, die wahrscheinlich die Bedeutung der Ergebnisse beeinflussen, müssen ebenfalls angegeben werden; diese schließen Schwierigkeiten bei der Herstellung von Schichten, Verformung der Schichten während des Erhitzens, Bersten von Partikeln, Schmelzen und Entwicklung brennbaren Gases während des Erhitzens des Staubes ein.

4.1.5 Berichterstattung über die Ergebnisse

Der Untersuchungsbericht muss den Namen, die Herkunft und Bezeichnung (wenn nicht im Namen enthalten) des untersuchten Materials enthalten, das Datum und die Bezeichnung der Versuche, die Umgebungstemperatur und die Schüttdichte des untersuchten Materials (siehe 4.1.2.6).

Der Bericht muss darlegen, dass die Bestimmung der Mindestzündtemperatur nach dieser Norm ausgeführt wurde.

Über die Entzündungsversuche muss in einer Weise berichtet werden, wie sie die folgende Tabelle zeigt (Ergebnisse in der Reihenfolge fallender Oberflächentemperaturen statt in der Reihenfolge, in der die Versuche ausgeführt wurden):

Schichtdicke	Heizplattentemperatur	Versuchsergebnis	Zeit bis zur Entzündung oder bis zum höchstenTemperaturwert ohne Entzündung
mm	°C		min
5	180	Entzündung	16
	170	Entzündung	36
	160	Keine Entzündung	40
	160	Keine Entzündung	38
	160	Keine Entzündung	42
	150	Keine Entzündung	62

Die Entzündungstemperatur muss nach 4.1.3.3 für jede Schichtdicke angegeben werden.

In dem Beispiel, das in der obigen Tabelle angegeben ist, würde die Mindestzündtemperatur für eine 5 mm-Schicht mit 170 °C angegeben werden.

Versuche, bei denen die Temperatur der heißen Oberfläche um mehr als ± 20 K von der angegebenen Mindestzündtemperatur abweicht, brauchen nicht mitgeteilt zu werden.

4.1.6 Anwendung der Ergebnisse

Die Werte der Mindestzündtemperatur, die nach Verfahren A dieser Norm bestimmt wurden, gelten für die Schichtdicken, die bei den Versuchen verwendet wurden. Obwohl es für manche Materialien möglich ist, die Mindesttemperatur der erhitzten Oberfläche für die Entzündung von Schichten eines gegebenen Staubes in dazwischenliegender oder größerer Dicke durch lineare Interpolation oder Extrapolation der Testwerte abzuschätzen, die als Logarithmus der Dicke gegen den reziproken Wert der Mindestzündtemperatur in Kelvin aufgetragen sind, ist es vorzuziehen, mit den benötigten Dicken zu untersuchen.

ANMERKUNG 1 Das oben beschriebene Verfahren ist das einfachste, das für Voraussagen geeignet ist und eine gewisse theoretische Berechtigung hat. Eine ausführliche Bearbeitung auf der Grundlage der Wärmeexplosionstheorie wird Abschätzungen über die Entzündung von Schichten in anderen Konfigurationen erlauben, so z. B. von Schichten auf gekrümmten Oberflächen. Wenn jedoch genauere Voraussagen für die Entzündung unter stark abweichenden Einwirkungsbedingungen verlangt werden, besonders bei der Einwirkung eines symmetrischen hohen Temperaturfeldes, statt eines unsymmetrischen Temperaturfeldes wie auf der heißen Platte, dann ist es vorzuziehen, die Ergebnisse eines Experimentalverfahrens zu benutzen, das diesen abweichenden Umgebungsbedingungen besser angepasst ist – wie z. B. Untersuchungen in einem Ofen.

ANMERKUNG 2 Wenn eine umfassende Voraussage beabsichtigt ist, ist es wünschenswert, Entzündungstemperaturen für mehr als zwei Schichtdicken zu bestimmen, und zwar bevorzugt für dickere Schichten.

ANMERKUNG 3 Sehr dicke Schichten oder Ablagerungen von Staub können eine spezielle laboratorische Untersuchung erfordern, die besondere Geräte benötigt, wie in IEC 60079-14:2008 *Explosive Atmospheres – Part 14: Electrical installations design, selection and erection* beschrieben ist. Anhang C dieser derzeitigen Norm beschreibt jedoch ein Testverfahren zur Messung der Entzündungstemperatur von Staubaufhäufungen, das nicht auf ein bestimmtes elektrisches Gerät bezogen ist.

4.2 Verfahren B: Staubwolke in einem Ofen bei einer konstanten Temperatur

4.2.1 Vorbereitung der Staubprobe

Die Probe muss so vorbereitet sein, dass sie homogen ist und repräsentativ für den zu untersuchenden Staub.

Die zu untersuchende Staubprobe muss grundsätzlich durch ein Analysensieb aus Drahtgewebe oder aus einer quadratisch perforierten Lochplatte mit einer nominalen Öffnungsweite von 71 μm hindurchgehen können (für zusätzliche Größen, siehe ISO 565). Wenn es notwendig ist, gröbere Stäube zu prüfen, die durch ein Analysensieb mit einer Öffnungsweite bis zu 500 μm hindurchgehen, muss diese Tatsache im Untersuchungsbericht angegeben werden.

Jede sichtbare Änderung der Eigenschaften des Staubes, hervorgerufen durch die Probenvorbehandlung z. B. durch Sieben, Wärmebehandlung oder Änderung des Wassergehaltes, muss im Untersuchungsbericht angegeben werden.

4.2.2 Untersuchungsapparatur

Konstruktionsdetails des Gerätes sind in den Bildern B.1 bis B.10 und in Tabelle CB.1 enthalten. Das beheizte Kieselglas-Rohr des Ofens steht senkrecht und ist am unteren Ende offen zur Atmosphäre. Das obere Ende ist über einen Glasadapter mit dem Staubvorratsgefäß verbunden. Der Staub wird durch Öffnen eines Magnetventils, das Druckluft aus einem Vorratsbehälter freisetzt, in den Ofen eingeblasen. Der Ofen ist auf einem Stativ befestigt; dadurch ist es möglich, das untere Ende der Ofenröhre gut zu beobachten.

Ein Spiegel wird unter die Ofenröhre gestellt, damit man in das Innere der Röhre sehen kann.

Die Thermoelemente werden auf übliche Weise kalibriert, und zwar so, dass bei Temperaturmessungen oberhalb 500 °C die Grenzabweichungen von $\pm 1\%$ und unterhalb 300 °C von $\pm 3\%$ eingehalten werden.

Nach dem Zusammenbau des Untersuchungsgerätes muss dessen Messgenauigkeit durch Vergleich mit den Ergebnissen, die anderenorts mit einem Staub wie Lycopodium erzielt worden sind, überprüft werden.

4.2.3 Untersuchungsverfahren

4.2.3.1 Ablauf

Das Gerät muss in einem luftzugfreien Abzug aufgestellt werden, so dass Staub und Rauch entfernt werden können.

4.2.3.2 Die Bestimmung der Mindestzündtemperatur

Man fülle ca. 0,1 g des Staubes in das Staubvorratsgefäß. Man stelle die Temperatur des Ofens auf 500 °C ein und den Druck im Luft-Vorratsgefäß auf 10 kPa (0,1 bar) über Atmosphärendruck. Man blase dann den Staub in den Ofen. Falls eine Zündung nicht eintritt, wiederhole man den Versuch mit frischem Staub, nachdem man die Temperatur in Schritten von 50 K erhöht hat, bis Zündung beobachtet wird oder bis eine Ofentemperatur von 1 000 °C erreicht ist.

Sobald eine Zündung beobachtet wird, variere man die Staubmasse und den Einblasdruck der Luft, bis die heftigste Reaktion eintritt. Dann führe man, unter Beibehaltung von Masse und Einblasdruck, weitere Versuche durch, mit der in Schritten von 20 K reduzierten Temperatur, bis Zündung bei 10 aufeinanderfolgenden Versuchen nicht mehr beobachtet wird.

Falls eine Zündung noch bei 300 °C eintritt, vermindere man die Temperatur in Schritten von 10 K.

Falls keine Zündung beobachtet wird, untersuche man nun mit der nächstniedrigeren Temperatur mit niedrigeren und höheren Staubmassen und Einblasdrücken nach dem gleichen Temperaturverminderungsverfahren. Falls nötig, reduziere man die Temperatur weiter, bis Entzündung bei 10 aufeinanderfolgenden Versuchen nicht mehr beobachtet wird.

4.2.3.3 Masse des Staubes

Die Werte für die Masse des Staubes müssen unter Einhaltung einer Grenzabweichung von $\pm 5\%$ der folgenden Reihe entnommen werden:

0,01 - 0,02 - 0,03 - 0,05 - 0,10 - 0,20 - 0,30 - 0,50 - 1,0...g.

4.2.3.4 Luftdruck

Die Werte der Luftdrücke im Luftvorratsgefäß, über dem des atmosphärischen, zum Einblasen des Staubes müssen unter Einhaltung einer Grenzabweichung von $\pm 5\%$ der folgenden Reihe entnommen werden:

2,0 - 3,0 - 5,0 - 10 - 20 - 30 und 50 kPa oder alternativ

0,02 - 0,03 - 0,05 - 0,10 - 0,20 - 0,30 und 0,50 bar.

4.2.3.5 Kriterium der Zündung

Zündung tritt ein, wenn ein Flammenstoß unterhalb des unteren Endes der Ofenröhre gesehen wird. Eine Zeitverzögerung bei der Zündung ist akzeptabel. Funken ohne Flamme stellen keine Zündung dar.

4.2.4 Mindestzündtemperatur einer Staubwolke (Zündtemperatur)

Die Mindestzündtemperatur wird als die niedrigste Temperatur des Ofens angegeben, bei der Zündung unter Anwendung des festgelegten Verfahrens beobachtet wurde, abzüglich 20 K für Ofentemperaturen oberhalb 300 °C und abzüglich 10 K für Ofentemperaturen bei oder unterhalb 300 °C.

Falls selbst bei einer Ofentemperatur von 1 000 °C keine Zündung beobachtet wird, soll dies im Untersuchungsbericht angegeben werden.

4.2.5 Berichterstattung über die Ergebnisse

Der Untersuchungsbericht muss enthalten: den Namen, die Herkunft und die Bezeichnung des untersuchten Materials (wenn nicht im Namen enthalten), den Feuchtegehalt des Staubes, falls er gemessen wurde, das Datum und die Identifizierung der Untersuchung.

Der Bericht muss angeben, dass die Bestimmung der Mindestzündtemperatur in Übereinstimmung mit dieser Norm ausgeführt wurde.

Die Zündtemperatur muss nach 4.1.5 mitgeteilt werden.

5 Verfahren zur Bestimmung des elektrischen Widerstandes von Staubschichten

5.1 Untersuchungsapparatur

Die Bilder 1 und 2 zeigen Details zum Aufbau der Untersuchungsapparatur. Die Messzelle (siehe Bild 1) ist eine offene Konstruktion und besteht aus zwei Edelstahlstäben mit den nominalen Dimensionen: Länge (W) – 100°mm, Höhe (H) - 10°mm, Breite (B) – 20°mm bis 40°mm. Diese Stäbe sind mit einem nominalen Abstand von (L) – 10°mm auf einem Fundament mit einer Dicke zwischen 5°mm und 10°mm von einander platziert.

ANMERKUNG Glas oder Polytetrafluoräthylen (PTFE) wurden als zweckmäßige Materialien für das Fundament befunden.

Zwei Glasstäbe, ebenfalls mit einer nominalen Höhe von 10 mm, werden über das Ende der Elektroden platziert, um die Staubschicht an dieser Stelle zu halten.

Bild 2 zeigt ein Beispiel eines geeigneten elektrischen Stromkreises zur Widerstandsmessung. Er enthält einen 10 kΩ Widerstand, um den Durchbruchstrom auf einem Maximalwert von 0,2 A zu halten bei einer maximalen Gleichspannung von 2 000 V D.C. Andere Stromkreise mit vergleichbaren Merkmalen und Genauigkeit dürfen verwendet werden,

Der Strom-Spannungs-Umsetzer hat sechs Bereiche für die verschiedenen Werte der Versorgungsspannung und den Staubwiderstand. Ein Inverter liefert eine positive Leistungsabgabe. Alle Widerstände sind vom Typ: 5 %, 0,5 W hochstabile Kohleschichtwiderstände.

5.2 Prüfmuster

Das Prüfmuster muss homogen und repräsentativ zur Beurteilung des erhaltenen Staubes sein.

Wenn Staub erhalten wurde, sollte er bis zur Prüfung in ein geschlossenes Gefäß gegeben oder konditioniert oder direkt geprüft werden; gleichzeitig sollte der Feuchtegehalt gemessen und vermerkt werden.

Die zu untersuchende Staubprobe muss grundsätzlich durch ein Analysensieb aus Drahtgewebe oder aus einer quadratisch perforierten Lochplatte mit einer nominalen Öffnungsweite von 71 µm hindurchgehen können (für zusätzliche Größen, siehe ISO 565). Wenn es notwendig ist, gröbere Stäube zu prüfen, die durch ein Analysensieb mit einer Öffnungsweite bis zu 500 µm hindurchgehen, muss diese Tatsache im Untersuchungsbericht angegeben werden.

Der Feuchtegehalt der Staubprobe ist mit der Prüfmethode im Prüfbericht zu vermerken.

Jede sichtbare Änderung der Eigenschaften des Staubes, hervorgerufen durch die Probenvorbehandlung z. B. durch Sieben, Wärmebehandlung oder Änderung des Wassergehaltes, muss im Untersuchungsbericht angegeben werden.

5.3 Untersuchungsverfahren

5.3.1 Einleitende Messungen

Man messe den Widerstand R_0 der leeren Messzelle mit den zwei Glasstäben in Position.

5.3.2 Messung des Widerstandes

Man bringe eine abgewogene Menge der zu untersuchenden Probe in die Messzelle. Man entferne den überschüssigen Staub mit einem Abstreifer entlang der Oberseite der Edelstahlelektroden. Man sammle und wiege den Überschuss. Man berechne die Masse des Staubes in der Messzelle.

Man messe den Widerstand R_s der gefüllten Messzelle mit den folgenden Werten der Gleichspannung:

110, 220, 300, 500, 1 000, 1 500, 2 000 V

Man lege jeden Wert der Spannung für mindestens 10 s an und länger, falls Polarisierung offensichtlich ist.

Die gleiche Staubprobe in der Messzelle kann für alle Versuche bei einem der Spannungswerte benutzt werden.

5.3.3 Berechnung des Widerstandes

Im Allgemeinen ist R_0 größer als $10 R_s$ und der Widerstand ist nach der Gleichung berechnet

$$p = 0,001 R_s [H \times W/L]$$

Falls R_0 weniger als $10 R_s$ ist, wird der Widerstand mit der Formel berechnet

$$p = 0,001 R_s \times R_0 / [R_0 - R_s] \times H \times W/L$$

Dabei ist

ρ spezifische Widerstand in Ω

R_0 Widerstand der leeren Messzelle in Ω

R_s Widerstand der gefüllten Messstelle in Ω

H Höhe der Elektrode in mm

W Länge der Elektrode in mm

L Abstand zwischen den Elektroden in mm

Berechne den Widerstand für jeden Wert der angelegten Spannung

5.4 Untersuchungsbericht

Der Untersuchungsbericht muss die Ergebnisse der Messungen, den Namen, die Quelle und die chemische Bezeichnung des geprüften Staubes (wenn nicht im Namen enthalten), die Korngröße und den Feuchtegehalt der Testprobe und das Datum und die Identifikationsnummer des Testes enthalten. Die Staubmasse in der Messzelle und die Umgebungstemperatur zum Zeitpunkt der Prüfung sind anzugeben.

Der Bericht muss aussagen, dass die Bestimmung des elektrischen Widerstandes des Staubes in Übereinstimmung mit dieser Norm erfolgte.

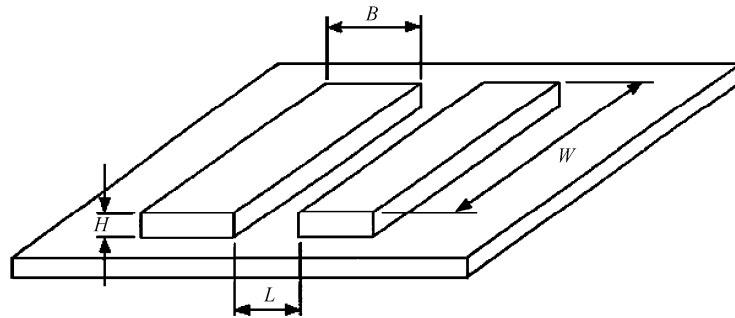


Bild 1 – Testzelle

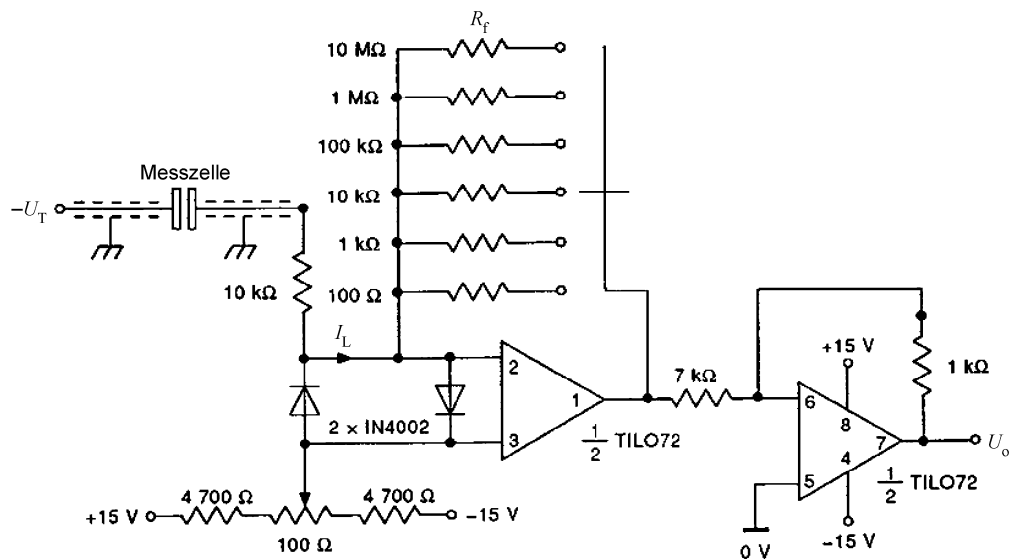
W = 100 mm

H = 10 mm

B = 20 bis 40 mm

L = 10 mm

Dicke der Unterlage: zwischen 5 mm und 10 mm.



$$R = \frac{V_T R_f}{V_o}$$

Dabei ist R der gemessene Widerstand

$$V_o = R_f \times I_L$$

Bild 2 – Stromkreis Diagramm

6 Methode zur Bestimmung der Mindestzündenergie von Staub/Luft-Gemischen

6.1 Untersuchungsapparat

6.1.1 Allgemeines

Zwei Versionen von Untersuchungsapparaten sind in dieser Norm beschrieben, die davon abhängen, ob die Untersuchungsmessung die Mindestzündenergie von Staub/Luft Gemischen durch einen elektrisch

erzeugten hohen Gleichspannungsfunken ist oder ob eine spezielle Schaltung auf ihre Zündfähigkeit in einer bestimmten Atmosphäre geprüft wird.

6.1.2 Schaltung zur Funkenerzeugung

6.1.2.1

Funkenerzeugung zur Bestimmung der Mindestzündenergien durch einen elektrisch herbeigeführten hohen Gleichspannungsfunken.

Anhang A beschreibt einige geeignete Schaltungsarten, die alle die folgenden Eigenschaften haben müssen. Folgendes betrifft nur die Schaltung:

- Induktivität des Entladekreises: 1 mH bis 2 mH, außer wenn die Angaben für die Bewertung elektrostatischer Gefährdungen benutzt werden, wenn die Induktivität des Entladekreises 25 H nicht überschreiten darf;
- Ohmscher Widerstand des Entladekreises: so niedrig wie möglich und nicht mehr als 5 Ω ;
- Elektrodenmaterial: Edelstahl, Messing, Kupfer oder Wolfram;
- Elektrodendurchmesser und Form: 2,0 mm $\pm$ 0,5 mm. Elektroden mit abgerundeten Spitzen können eingesetzt werden, um Koronaeffekte zu verringern, die mit zugespitzten Elektroden auftreten können und die möglicherweise falsche Werte der Funkenenergie angeben können. Wenn zugespitzte Elektroden benutzt werden, sollten die Koronaeffekte sorgfältig berücksichtigt werden;
- Elektrodenabstand: 6 mm (mindestens);
- Kondensatoren: von geringer Induktivität, resistent gegen Stoßstrom;
- Kapazität der Elektrodenanordnung: so klein wie möglich;
- Isolationswiderstand zwischen den Elektroden: ausreichend groß, um Kriechströme zu verhindern.

ANMERKUNG Typischerweise wird ein Mindestwiderstand zwischen den Elektroden von $10^{12} \Omega$ benötigt für eine Mindestzündenergie von 1 mJ und $10^{10} \Omega$ für eine Mindestzündenergie von 100 mJ.

6.1.2.2. Funkenerzeugung für Zündprüfungen der elektrischen Stromkreise in Staubumgebungen

Das Funkenprüfgerät (STA) nach IEC 60079-11:2006: Explosive Atmospheres – Part 11: Equipment protection by intrinsic safety „i“ (2006) wird für diese Prüfung eingesetzt. In Anhang D ist der Gebrauch der STA erläutert.

6.1.3 Prüfbehälter

6.1.3.1 Prüfbehälter zur Bestimmung der Mindestzündenergien durch einen elektrisch erzeugten Hochspannungs-Gleichstrom Funken

Die empfohlenen Behälter sind die 20 l Kugel und das Hartmann-Rohr. Diese Behälter sind in den Literaturhinweisen [6] und [7]¹⁾ beschrieben. Andere Behälter können benutzt werden, wenn die Kalibrierungsanforderungen in 6.2 eingehalten werden.

6.1.3.2 Prüfbehälter für Zünduntersuchungen von elektrischen Stromkreisen in Staubumgebungen

Anhang E beschreibt den Prüfbehälter und das Installationsverfahren des STA Zündgeräts. Die Staubverteilkammer basiert auf den Prinzipien und den Dimensionen des Hartmann-Rohrs, aber hat etwas weitere Ausdehnungen, so dass das STA-Gerät eingebaut werden kann.

¹⁾ Zahlen in eckigen Klammern beziehen sich auf die Literaturhinweise.

6.2 Prüfprobe

Die Prüfungen sind an Proben durchzuführen, deren Zustand der Vorbereitung dem in der Praxis unter Anlagebedingungen entspricht.

Die Mindestzündenergie sinkt mit abnehmender Partikelgröße. Die Prüfungen müssen mit Proben durchgeführt werden, die Partikelgrößen aufweisen, die dem feinsten für die vorgesehene Verwendung möglicherweise vorkommenden Material entsprechen oder sogar kleiner sind.

Für vergleichbare Prüfungen müssen die Proben einer gleichbleibenden Methode vorbereitet werden, mit dem Ziel, die Partikelgrößenverteilung und den Feuchtegehalt festzulegen. Die Mindestzündenergie steigt mit steigendem Feuchtegehalt im Staub an. Die Prüfungen müssen mit Proben durchgeführt werden, die den gleichen oder einen geringeren Feuchtegehalt aufweisen als der trockenste Stoff, der für die vorgesehene Verwendung anwesend sein kann.

ANMERKUNG Wenn die Partikelgrößen des Materials bekannt sind, sollten die Prüfungen mit Proben durchgeführt werden, deren Partikelgrößen weniger als 63 µm betragen. Eine Trocknung kann erforderlich sein, aber wie die Erfahrung gezeigt hat, ist dabei Vorsicht geboten, weil das Trocknen manche Stäube desensibilisieren kann. Daher kann es notwendig sein, die Prüfungen sowohl mit den getrockneten als auch den unbehandelten Stäuben vorzunehmen.

6.3 Ablauf

6.3.1 Kurzbeschreibung

Der zu prüfende brennbare Staub wird in der Luft bei Umgebungsdruck und Temperatur in einer geeigneten Apparatur einheitlich verteilt; das Staub/Luft-Gemisch wird dann einer Funkenentladung eines geladenen Kondensators ausgesetzt.

Der Energiewert der Entladung wird nach folgender Formel berechnet:

$$W = 0,5 C \times U^2$$

Dabei ist

- W gespeicherte Energie in Joules (J)
- C Gesamtentladekapazität, in Farad (F)
- U Kondensatorspannung in Volt (V)

ANMERKUNG 1 Bei Funkenenergien über 100 mJ kann der Funkenwiderstand so klein werden, dass der Stromkreiswiderstand nicht länger vernachlässigbar ist im Vergleich zu dem Funkenwiderstand, besonders wenn der Stromkreis eine Zündspule von 1 mH enthält. In solchen Fällen kann die Netzfunkenergie durch die Gleichung erhalten werden:

$$W = \int I(t) U(t) dt$$

Dabei ist

- $I(t)$ der Funkenstrom und
- $U(t)$ die Funkenspannung; beide Werte werden durch Messung bestimmt.

ANMERKUNG 2 Weitere Informationen bezüglich der Berechnung der Funkenenergien sind in Anhang A enthalten.

Die folgenden möglichen Einflüsse sind bei der Prüfung zu berücksichtigen:

- das aerodynamische Verhalten des Staub/Luft-Gemisches (z. B. Zündverzögerungszeit, Verwirbelungsdruck);
- Staubkonzentration;

- Spannung, auf die der Kondensator eingestellt ist;
- Kapazität des Kondensators;
- Induktivität des Entladekreises;
- Ohmscher Widerstand des Entladekreises;
- Werkstoffe und Maße der Elektroden und die Abstände zwischen den Elektroden.

Um den Prüfungsaufwand zu begrenzen, benutzt jedes Gerät Elektroden, die aus einem speziellen Werkstoff hergestellt sind mit genormten Maßen und Mindestelektrodenabstand. Der Ohmsche Widerstand des Entladekreises muss so niedrig wie möglich gehalten werden (siehe Abschnitt 4).

6.3.2 Verfahren zur Bestimmung der Mindestzündenergien durch einen elektrisch erzeugten Hochspannungs-Gleichstrom-Funken

Beginnend mit einer Funkenenergie, die zuverlässig die Entzündung des zu prüfenden Staubes bewirkt, werden die Staubkonzentrations- und Staubverwirbelungsfaktoren (z. B. Zündverzögerungszeit und Verwirbelungsdruck) angepasst, um die bestentzündliche Staubwolke festzustellen. Die besten Bedingungen für die Entzündung nutzend, wird die Funkenenergie durch Angleichen an die Kapazität des Kondensators und/oder der Spannung, auf die er geladen ist, nacheinander halbiert, bis nach 20 aufeinander folgenden Prüfungen keine Entzündung mehr auftritt.

ANMERKUNG Wenn die Prüfungen mit der 20 l-Kugel durchgeführt werden, sollte die Zündverzögerungszeit bei 20 ms liegen.

Die Mindestzündenergie $W_{\min}$ liegt zwischen der höchsten Energie W_1 , bei der Zündung des Staub/Luft-Gemisches in 20 aufeinander folgenden Versuchen nicht eintritt, und der niedrigsten Energie W_2 , bei der Zündung innerhalb von 20 aufeinander folgenden Prüfungen eintritt.

$$W_1 < W_{\min} < W_2$$

6.3.3 Verfahren für Zündprüfungen von elektrischen Stromkreisen in Staubumgebungen

Es ist besonders wichtig, dass ein ausreichend breites Spektrum von Staubkonzentrationen benutzt wird, um sicherzustellen, dass die optimale Konzentration für die Entzündung eines bestimmten Staubes während der Prüfung benutzt wurde.

Dieses Verfahren stellt sicher, dass eine sehr hohe Wahrscheinlichkeit besteht, dass die leichtest entzündliche Mischung aus Staub und Luft zu einem Zeitpunkt besteht, da Staubkonzentrationen sich während einer Prüfung ändern und dass dieses Gemisch einem Funken unterworfen wird.

Nach der Kalibrierung des Geräts ist das Prüfverfahren wie folgt:

- 1) verbinde die elektrische Anlage, die geprüft werden soll. Das zu prüfende elektrische Gerät, wird mit dem STA verbunden;
- 2) man gebe 2.5 g des vorbereiteten Prüfstaubes hinzu;
- 3) man führe den Versuch durch, bis der STA 400 zählt oder bis Entzündung eintritt;
- 4) man blase die Kammer mit Druckluft aus (trockene Luft);
- 5) wiederhole 3) und 4) und verwende 5, 7.5, 10, 12.5, 15, 17.5 g des Staubes. Die Luftstöße, die benutzt werden, um den Staub zu verwirbeln, sind trocken (in Flaschen abgefüllte Luft ist geeignet), und der Behälterdruck liegt bei 3 bar.

Die Prüfung wird mit 400 Durchgängen des STA ausgeführt oder bis Entzündung eintritt und wird einige Male mit verschiedenen Anfangsmengen von Staub wiederholt, sodass eine weite Spanne von Staubkonzentrationen abgedeckt wird. Die Umdrehungen des Kabelhalters sind festgelegt bei 80 min^{-1} . Die Prüfungen werden im Fall der Nicht-Entzündung nach 400 Umdrehungen gestoppt.

Bevor frischer Staub in die Kammer gegeben wird, sollte sie mit Druckluft ausgeblasen werden.

6.3.4 Kalibrierung

6.3.4.1 Kalibrierung zur Bestimmung der Mindestzündenergien durch einen elektrisch erzeugten Gleichstromhochspannungsfunken

Die Kalibrierungsprüfungen sollten mit drei Referenzstäuben, die vor der Prüfung unter Umgebungsdruck bei 50 °C für 24 h getrocknet werden müssen, durchgeführt werden.

Die Ergebnisse müssen innerhalb der folgenden Bereiche liegen:

Lykopodium: $W_{\min} = 5$ bis 15 mJ, mittlerer Körnchendurchmesser 31 μm ;

Anthrachinon: $W_{\min} = 2$ bis 6 mJ, mittlerer Körnchendurchmesser 18 μm ;

Polyacrylnitril: $W_{\min} = 2$ bis 6 mJ, mittlerer Körnchendurchmesser 27 μm .

Die Staubverwirbelungsgrößen, einschließlich der Zündverzögerungszeit, müssen für jede Stichprobe aufgezeichnet werden.

6.3.4.2 Kalibrierung der Entzündungsverfahren von elektrischen Stromkreisen in Staubumgebungen

Das Kalibrierungsverfahren ist:

- 1) Kalibriere den STA mit einem Methan/Luft Gasgemisch nach dem Verfahren in IEC 60079-11: Explosive atmospheres – Part 11: Equipment protection by intrinsic safety "i"(2006).

Ein Kalibrierungsverfahren muss durchgeführt werden, bevor die Anlage benutzt werden kann. Der STA Teil wird nach dem gleichen Verfahren, das in IEC 60079-11: Explosive atmospheres – Part 11: Equipment protection by intrinsic safety "i"(2006), für Methan (24 V d.c, 110 ma, 95 mH) beschrieben wird. Die Ergebnisse einer Bewertungsprüfung, die eine 8.3 % Methan-Mischung benutzen, können mit veröffentlichten Entzündungskurven für Widerstandskreise verglichen werden.

- 2) Kalibriere alle Apparaturen, die Lykopodium (10 A, 24 V) benutzen.

Ein festgelegtes Gewicht eines Staubes wird eingefüllt und die elektrischen Kenngrößen des STA auf einen definierten Wert festgelegt. Lykopodiumstaub, eine Spannung von 24 V und eine Stromstärke von 10 A sind eine geeignete Kombination. Entzündung sollte innerhalb einer festgesetzten Anzahl von STA Motorumdrehungen stattfinden. Ein Relais, das am Beginn des Versuches agiert, wird als Schnittstelle benutzt, um Hitzeschäden an den Wolframdrähten zu verhindern, wenn sie feststehen. Um die Stromstärke festzulegen, wird das Relais außer Kraft gesetzt und die Drähte werden kurzgeschlossen.

- 3) Zerlege und reinige die Kammer.

Wenn das Gerät vollständig kalibriert ist, ist eine gründliche Säuberung notwendig, um alle Spuren von Lykopodium zu entfernen, bevor der Prüfstaub eingefüllt wird.

6.3.5 Untersuchungsbericht

Wenn die Prüfung nach den Anforderungen dieser Norm durchgeführt wurde, muss ein Prüfbericht die Informationen nach 6.3.5.1, 6.3.5.2 und 6.3.5.3 enthalten. Obwohl die mit den Begrenzungsbereichen der Mindestzündenergie verbundenen Staubkonzentrationswerte, vom Prüfungslabor aufgezeichnet werden sollten, sind die Werte, in Mengen des gewogenen Staubes, geteilt durch das Volumen des Explosionsgefäßes, gewöhnlich nicht im Prüfbericht eingeschlossen.

6.3.5.1 Produkteigenschaften

- Probenangabe (Name und chemische Beschreibung, wenn nicht im Namen enthalten);
- Probenherkunft oder Quelle;
- Probenvorbehandlung;
- Daten für Partikelgröße und Feuchtegehalt, falls verfügbar und nicht schon vorgegeben durch die Vorbehandlungsabläufe.

6.3.5.2 Eigenschaften der Prüfapparaturen

- Auslösung;
- Explosionsgefäß;
- Staubverwirbelungssystem;
- Totaler induktiver Widerstand des Entladekreises;
- Ladespannung, Elektrodenwerkstoff und Länge der Lücke des optimierten Entladekreises.

6.3.5.3 Ergebnisse

- Höchste Energie W_1 bei der keine Entzündung auftritt;
- Niedrigste Energie W_2 bei der Entzündung erhalten wird.

6.3.5.4 Berichtsform

Ein Beispiel eines passenden Formats ist in Bild D.1 gegeben.

Anhang A (normativ)

Verfahren A – Bauausführung einer Heizplatte und Messung der Temperaturverteilung an der Oberfläche

Vorausgesetzt, dass die Anforderungen von 4.1.2.1 erfüllt sind, ist die Bauausführung der Heizplatte im einzelnen nicht entscheidend. Z. B. kann sie aus einer kreisförmigen, mit einer "Schürze" versehenen Platte (siehe Bild A.1) aus Aluminium oder nichtrostendem Stahl bestehen und kann auf jede geeignete elektrisch beheizte Kochplatte handelsüblicher Art aufgesetzt werden.

Es gibt zwei Wege, um eine hinreichend gleichmäßige Temperaturverteilung auf der Heizplatte zu erreichen; die Auswahl hängt in erster Linie von der zur Verfügung stehenden Heizeinrichtung ab. Wenn die Heizung z. B. aus freiliegenden, gewendelten Heizdrähten besteht, die beim Betrieb rotglühend werden, sollte zwischen der Heizung und der Platte ein Luftspalt von 10 mm vorhanden sein, so dass Wärmeübertragung durch Strahlung und Konvektion erfolgt. Wenn die Heizeinrichtung jedoch für direkte Berührung konstruiert ist, so dass der Wärmeübergang hauptsächlich durch Leitung erfolgt, muss die Platte viel dicker sein, um überhitzte Stellen zu vermeiden. In 4.1.2.1 ist eine Dicke von mindestens 20 mm vorgeschrieben.

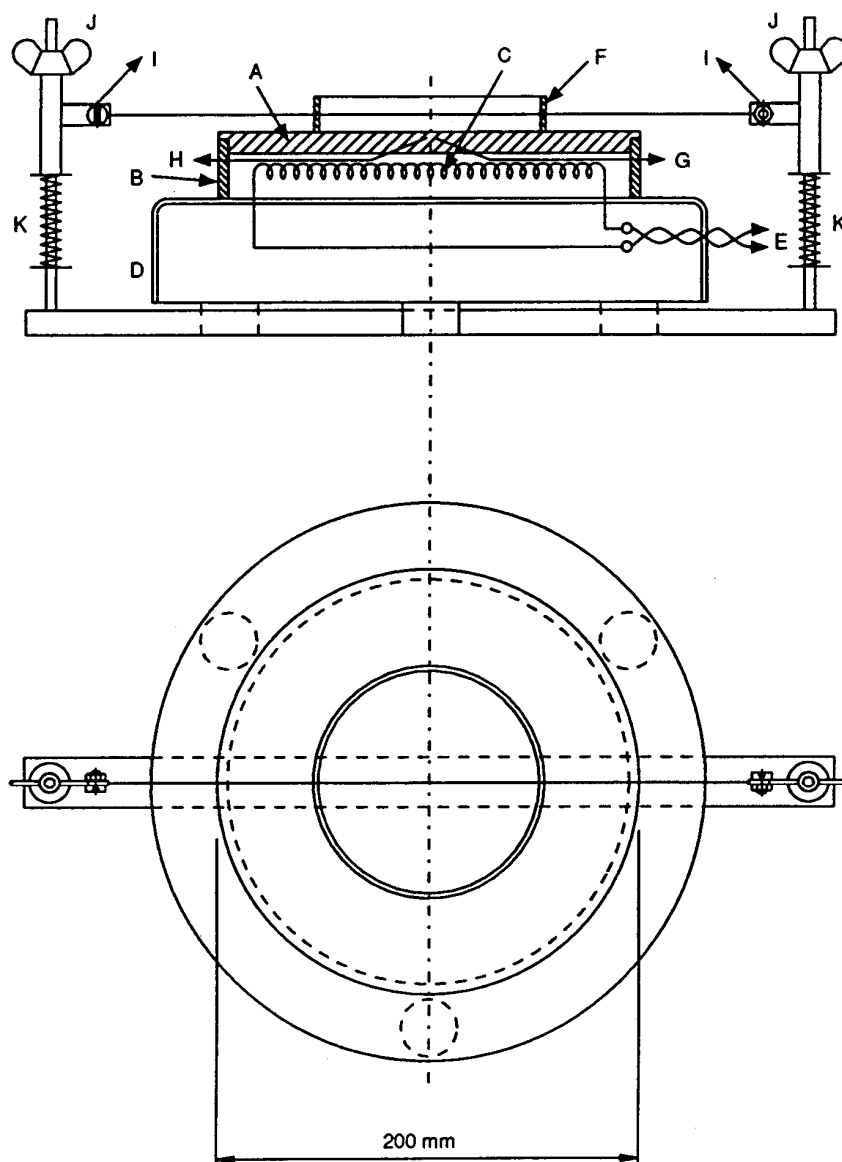
Der allgemeine Aufbau, wie in Bild A.1 gezeigt, ist selbsterklärend. Obwohl Anzeige- und Regelthermoelement so in die Heizplatte eingeführt werden können, wie es unter G und H in Bild A.1 gezeigt ist, ist es vorzuziehen, sie in Sacklöcher einzuführen, die, radial vom Rand der Platte und parallel zur Oberfläche, in einer solchen Tiefe gebohrt sind, dass sich, wie in 4.1.2.1 vorgeschrieben, ein Abstand der Messstelle von der Oberfläche von $1 \text{ mm} \pm 0,5 \text{ mm}$ ergibt. Das Unterteil der heißen Platte sollte mit Füßen versehen werden, um Platz zu schaffen für das Stativ des Thermoelementes, das quer über die Oberfläche gespannt wird. Dieses Thermoelement ist zwischen gefederten Halterungen auf senkrecht stehenden Gewindestäben befestigt. Die Höhe des Thermoelementes kann mit Hilfe von Stellmuttern eingestellt werden.

Eine zweckmäßige Apparatur zur Messung der Temperaturverteilung auf der heißen Platte ist in Bild A.4 dargestellt.

Die Messeinrichtung besteht aus einem dünnen Thermoelement, dessen Messstelle abgeplattet und auf eine Kupferscheibe oder Messingfolie von 5 mm Durchmesser aufgelötet ist. Diese wird auf den Messpunkt aufgesetzt; dabei wird sie mit einem Stück geeigneten Wärmeisoliermaterials von 5 mm Dicke und 10 mm bis 15 mm Durchmesser bedeckt und von einem vertikalen Glasstab gehalten, der in einer zylindrischen Führung frei beweglich ist und von einem Gewicht belastet wird.

Temperaturmessungen werden entlang zweier Durchmesser im rechten Winkel zueinander an Punkten, die 20 mm voneinander entfernt sind, ausgeführt und aufgezeichnet (siehe Bild A.5). Dem Thermoelement muss es möglich sein, an jedem Punkt eine gleichbleibende Temperatur zu erreichen.

Die gemessene Oberflächentemperatur wird gewöhnlich niedriger sein als die eingestellte Oberflächentemperatur der Platte, und zwar um einen Betrag, der im einzelnen durch die Bauweise des Thermoelementes bedingt ist. Dieser Unterschied ist unwesentlich und kann vernachlässigt werden. Die wesentliche Anforderung ist vielmehr eine genaue Messung der Temperaturdifferenzen und nicht der aktuellen Temperaturwerte.



- F Ring für Staubschicht
- G Platten-Thermoelement zum Regler
- H Platten-thermoelement zum Schreiber
- I Staubschicht-Thermoelement zum Schreiber
- J Stellmutter für Höhe des Thermoelements
- K Wendelfeder

Bild A.1 – Zeichnung der heißen Platte (Verfahren A) (Zeichnung nicht maßstäblich)

Maße in Millimeter

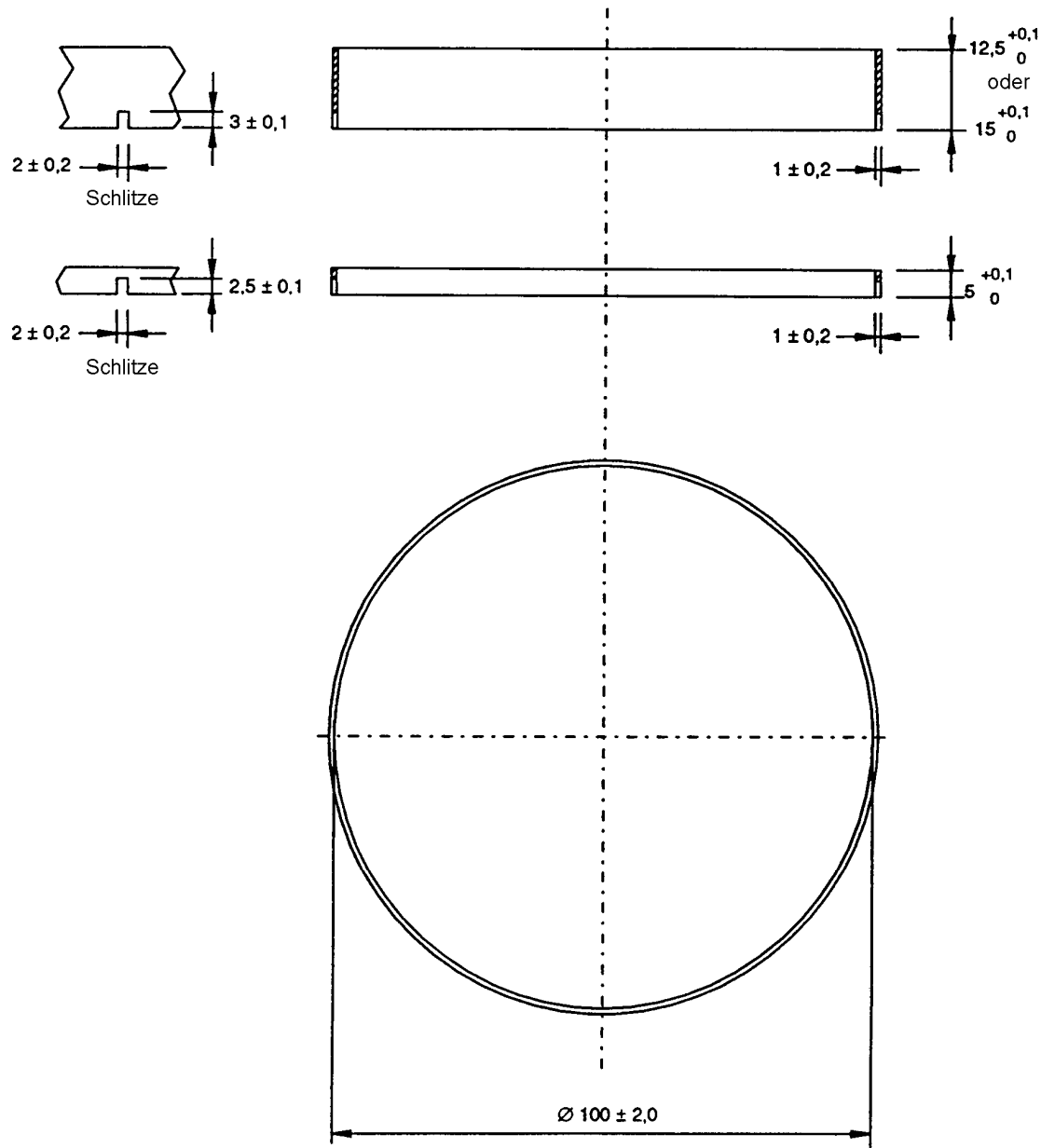


Bild A.2 – Ringe zum Formen der Schichten (Verfahren A)

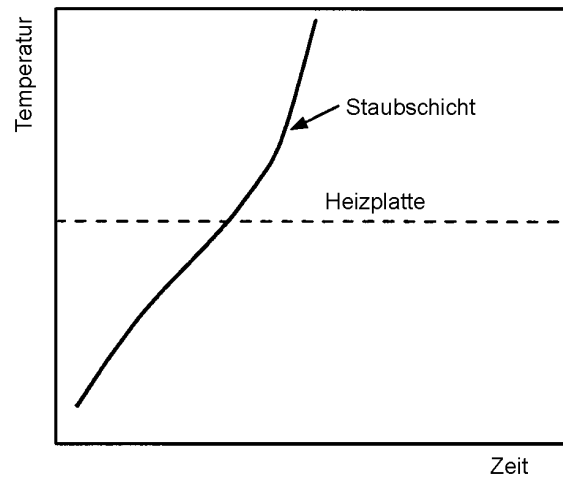


Bild 3.a

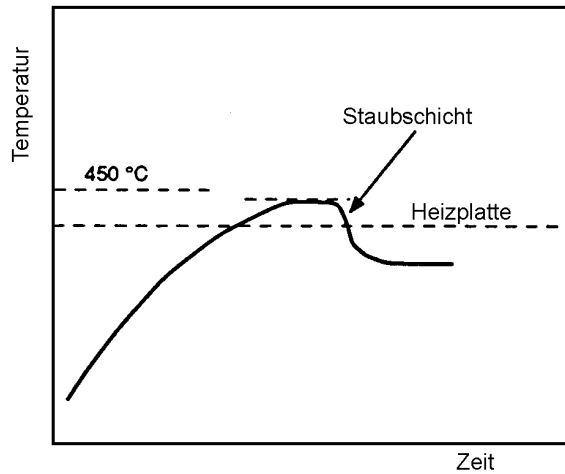


Bild 3.b

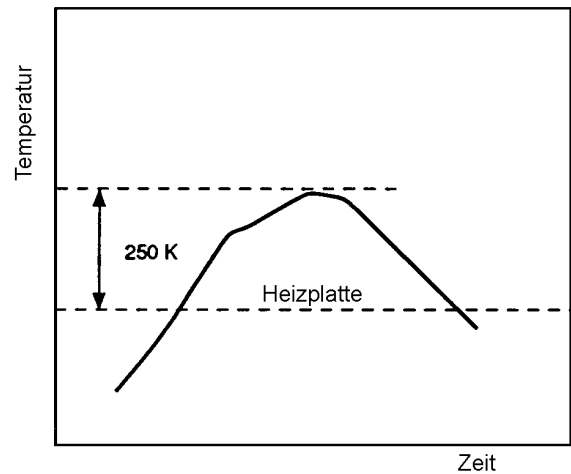


Bild 3.c

Bild A.3 – Typische Temperatur/Zeit-Kurven bei Entzündung auf der heißen Platte (Verfahren A)

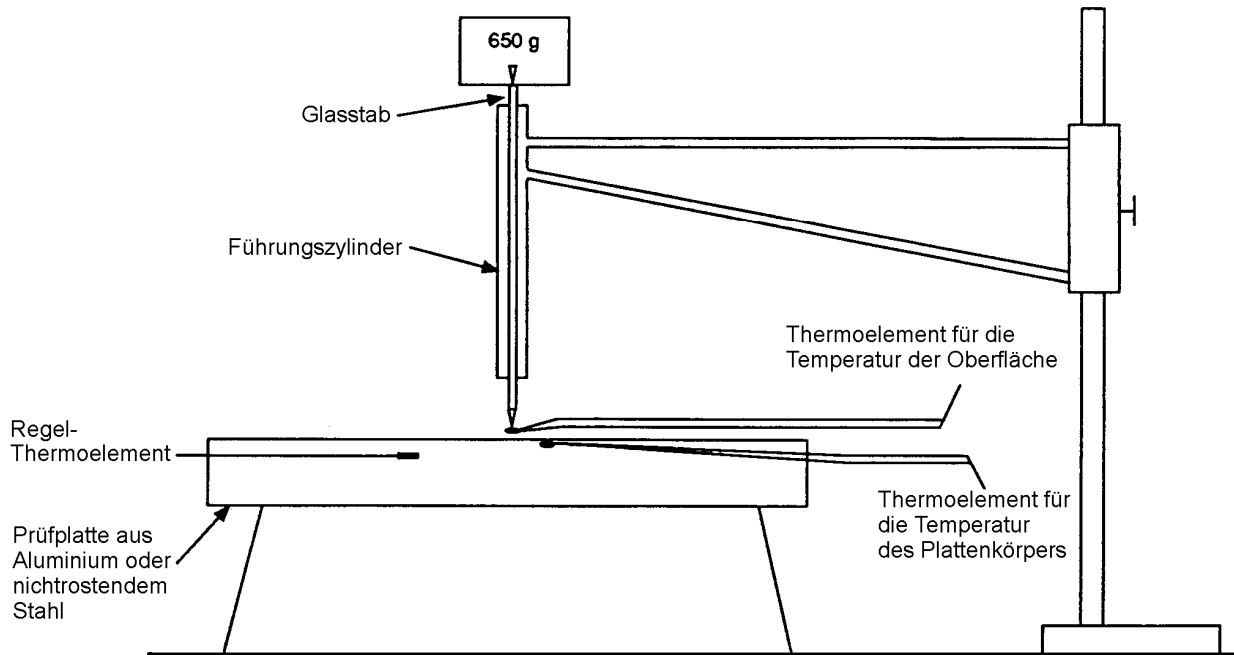
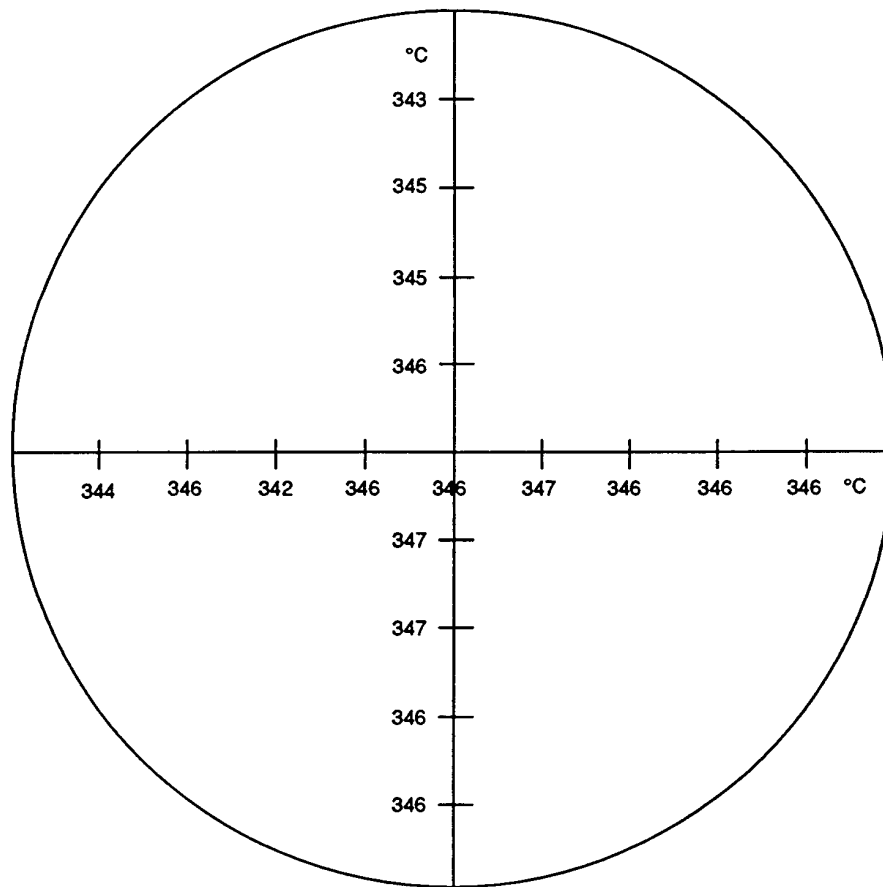


Bild A.4 – Messung der Oberflächentemperatur (Verfahren A, Anhang A)

Eingestellte Temperatur 350 °C



Maximale Temperatur-Differenz über die gesamte Platte 5 K
(Maximale Abweichung von der eingestellten Temperatur 8 K)

Bild A.5 – Typische Oberflächentemperaturverteilung (Verfahren A)

Anhang B (normativ)

Konstruktion eines Ofens für konstante Temperatur

Tabelle B.1:–Stückliste des Apparates (Verfahren B)
(siehe Bilder B.1 bis B.10)

Pos.	Bezeichnung	Material	Querschnitt mm	Länge mm	Anzahl
1	Ofengehäuse	Rostfreier Stahl	0,9 mm dick	228	1
2	Oberer Deckel	Mineralfaser	Ø 150	12	1
3	Unterer Deckel	Mineralfaser	Ø 150	12	1
4	Adapter	Glas	–	–	1
5	Rohr	Kieselglas	Ø 44	216	1
6	Gewinde-Hals	Rostfreier Stahl	Ø 90	8	1
7	Unterlegscheibe	Mineralfaser	Ø 90	2 mm dick	1
8	Thermoelementhalterung	Rostfreier Stahl	20 × 40	26	1
9	Thermoelementhalterung	Rostfreier Stahl	30 × 50	23	1
10	Rändelmutter	Rostfreier Stahl	Ø 25	6	1
11	Rändelmutter	Rostfreier Stahl	Ø 18	4	1
12	Unterlegscheibe	Mineralfaser	Ø 45	2 mm dick	1
13	Unterlegscheibe	Mineralfaser	Ø 80	2 mm dick	1
14	Unterlegscheibe	Mineralfaser	20 × 40	2 mm dick	1
15	Unterlegscheibe	Mineralfaser	30 × 50	2 mm dick	1
16	Lagerring	Rostfreier Stahl	Ø 80	4 mm dick	1
17	Stift	Silberstahl	Ø 1,5	6	4
18	Buchse	Alumina	Ø 4 außen	60	2
19	Annietmutter M4	–	Ø 2 innen	–	4
20	Thermoelement	*	–	90	1
21	Thermoelement	*	–	126	1
22	Senkkopfschraube M4 X 10	Rostfreier Stahl	–	–	12
23	Hutmutter M4	Rostfreier Stahl	–	–	3
24	Unterlegscheibe	Rostfreier Stahl	–	–	3
25	Anschlussklemme	–	–	–	2
26	Kanthal-Draht „A“	**	–	–	wie gefordert
27	Zugfeder	Stahl	Ø 3,18 außen	12,7	2
28	Ofenstativ	Rostfreier Stahl	–	–	1
29	Sicherungsring	Rostfreier Stahl	Ø 60	28	1
30	Staubvorratsgefäß	Rostfreier Stahl	–	–	1
* Nickel Chrom/Chromel-Alumel					
** Eisenlegierung mit Gehalten an Aluminium, Kobalt, Chrom					

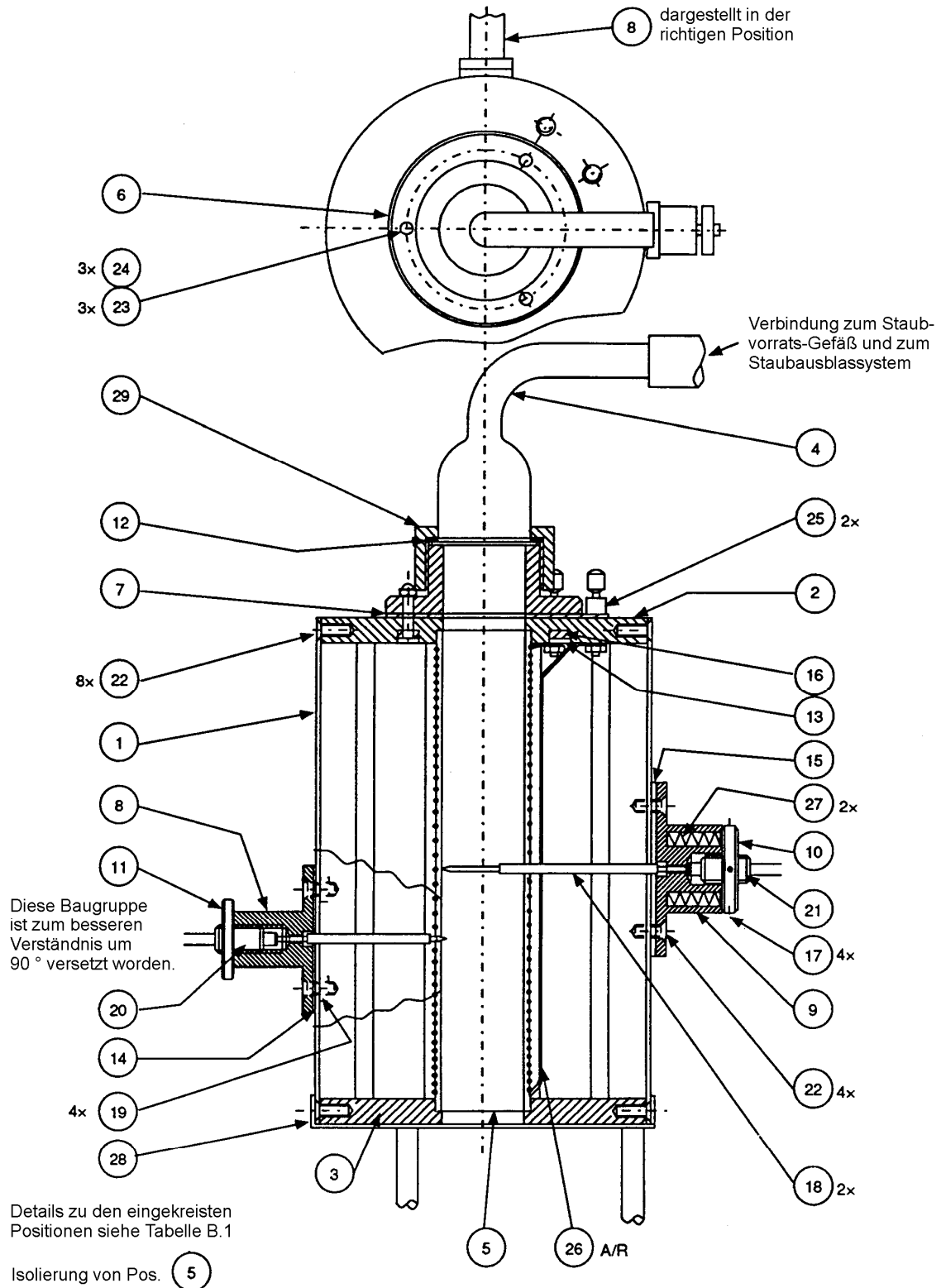
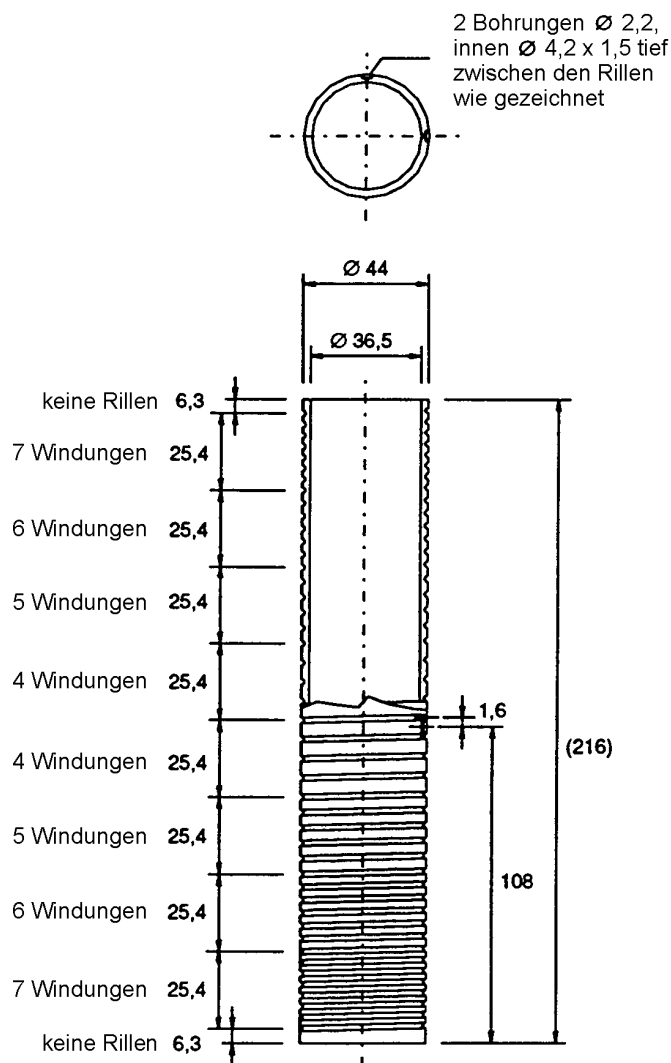


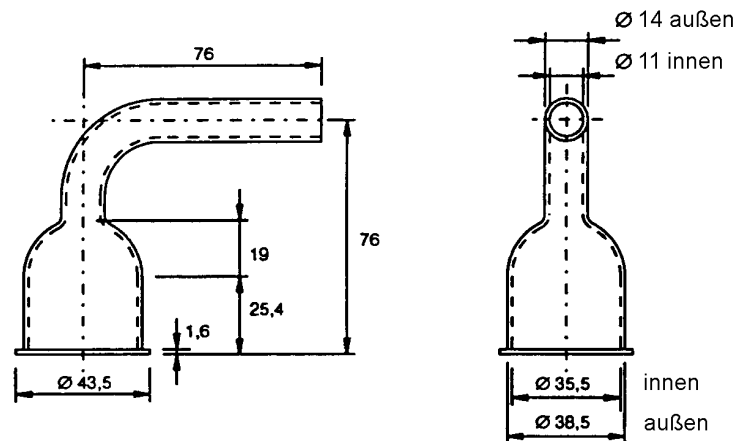
Bild B.1 – Ofen, Montagezeichnung (Verfahren B)



Details zu den eingekreisten
Positionen siehe Tabelle B.1

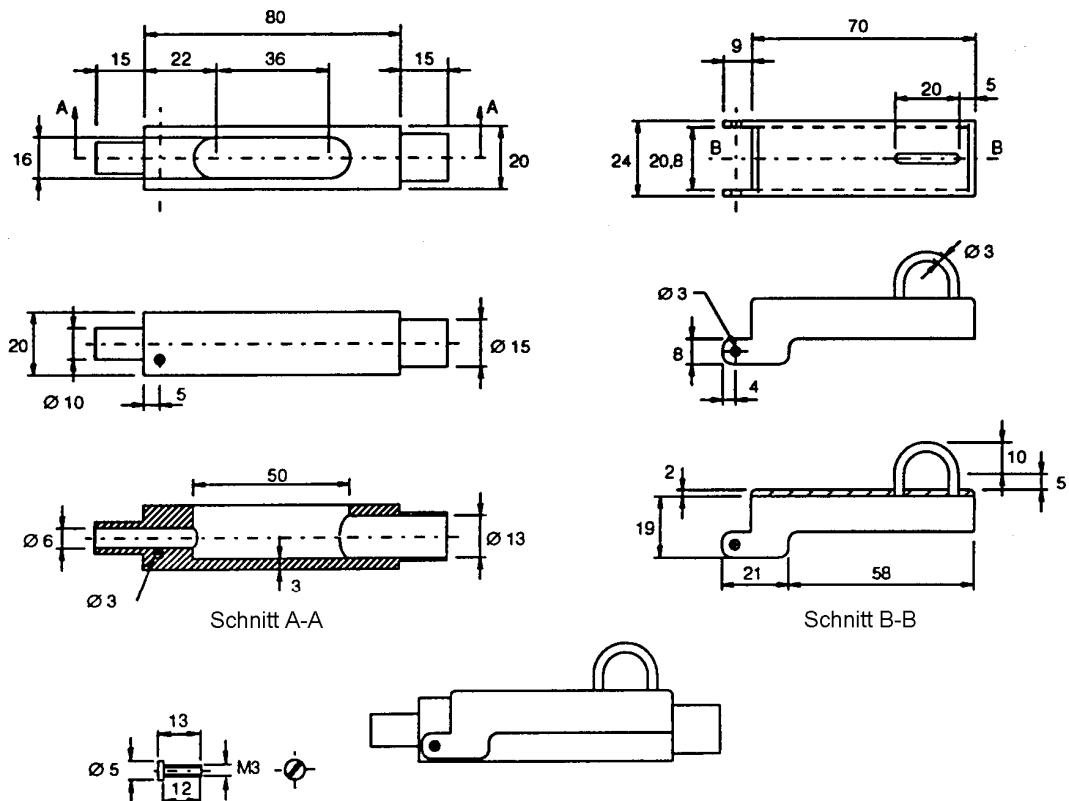
- ⑤ Kieselglas-Rohr mit spiralförmiger Rille auf der äußeren Oberfläche.
Die Rille dient zur Aufnahme des Heizelementes aus Kanthal „A“-Draht, 20 SWG,
Gesamtwiderstand 13 Ω .

Bild B.2 – Kieselglas-Rohr (Verfahren B)



④ Glas-Adapter

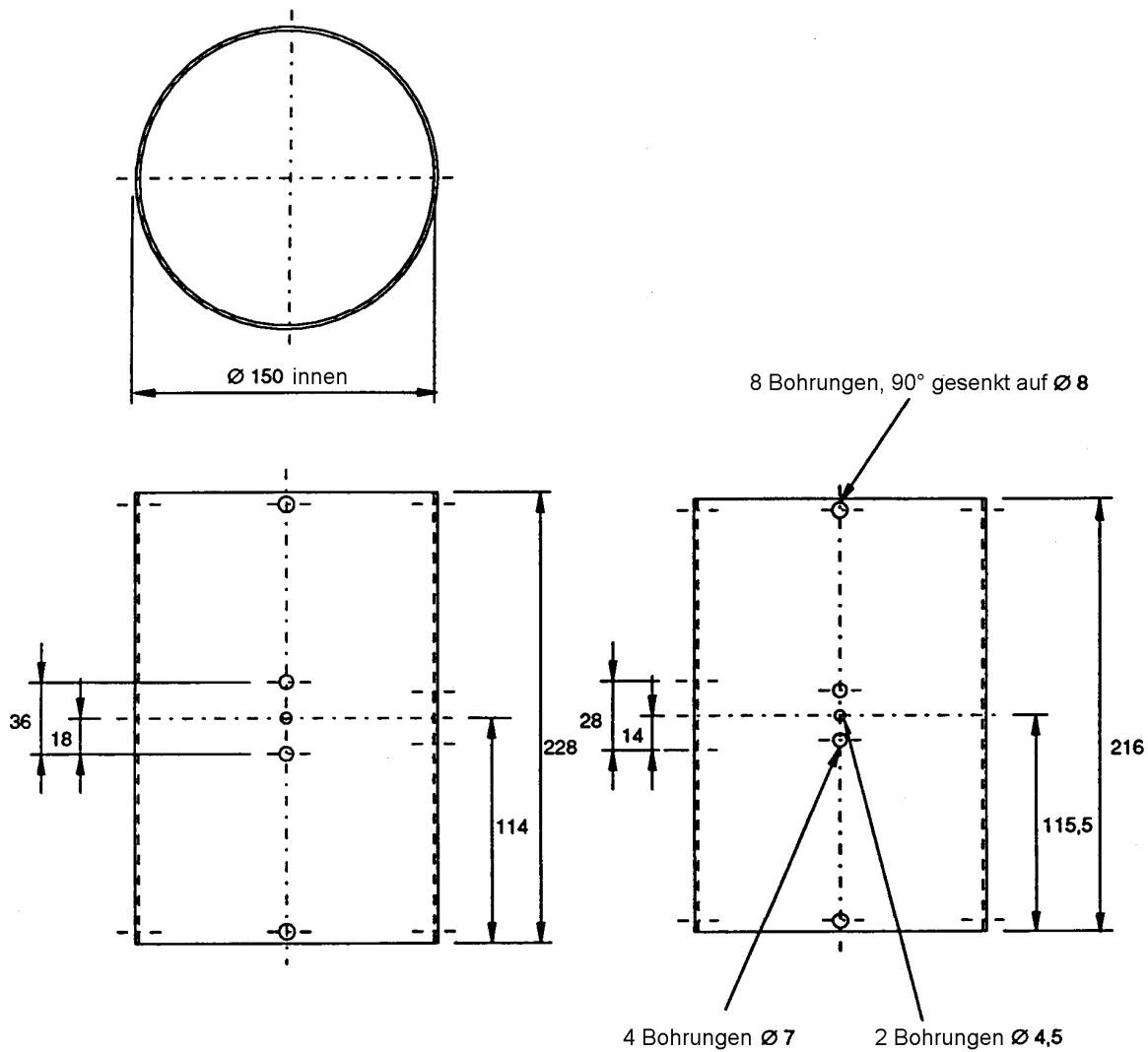
③① Staubvorratsgefäß (Edelstahl)



Details zu den eingekreisten
Positionen siehe Tabelle B.1

ANMERKUNG Umfassen, damit es eng am Körper anliegt; Scharnierbolzen fest zusammendrücken.

Bild B.3 – Glas-Adapter und Staubvorratsgefäß (Verfahren B)



① Ofengehäuse, Edelstahl, 20 SWG nahtlos
(Verfahren B)

Details zu den eingekreisten
Positionen siehe Tabelle B.1

Bild B.4 – Ofengehäuse, rostfreier Stahl, 20 SWG, nahtlos (Verfahren B)