

DIN EN 60068-2-83

ICS 19.040

**Umweltprüfungen –
Teil 2-83: Prüfungen –
Prüfung Tf: Prüfung der Lötbarkeit von Bauelementen der Elektronik für
Oberflächenmontage (SMD) mit der Benetzungswaage unter
Verwendung von Lotpaste
(IEC 60068-2-83:2011);
Deutsche Fassung EN 60068-2-83:2011**

Environmental testing –

Part 2-83: Tests –

Test Tf: Solderability testing of electronic components for surface mounting devices (SMD) by the wetting balance method using solder paste

(IEC 60068-2-83:2011);

German version EN 60068-2-83:2011

Essais d'environnement –

Partie 2-83: Essais –

Essais Tf: Essai de brasabilité des composants électroniques pour les composants pour montage en surface (CMS) par la méthode de la balance de mouillage utilisant de la pâte à braser

(CEI 60068-2-83:2011);

Version allemande EN 60068-2-83:2011

Gesamtumfang 36 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE

Anwendungsbeginn

Anwendungsbeginn für die von CENELEC am 2011-10-12 angenommene Europäische Norm als DIN-Norm ist 2012-07-01.

Nationales Vorwort

Vorausgegangener Norm-Entwurf: E DIN IEC 60068-2-83:2007-09.

Für diese Norm ist das nationale Arbeitsgremium K 682 „Montageverfahren für elektronische Baugruppen“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik im DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Die enthaltene IEC-Publikation wurde vom TC 91 „Electronics assembly technology“ erarbeitet.

Das IEC-Komitee hat entschieden, dass der Inhalt dieser Publikation bis zu dem Datum (stability date) unverändert bleiben soll, das auf der IEC-Website unter „<http://webstore.iec.ch>“ zu dieser Publikation angegeben ist. Zu diesem Zeitpunkt wird entsprechend der Entscheidung des Komitees die Publikation

- bestätigt,
- zurückgezogen,
- durch eine Folgeausgabe ersetzt oder
- geändert.

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.

Der Zusammenhang der zitierten Normen mit den entsprechenden Deutschen Normen ergibt sich, soweit ein Zusammenhang besteht, grundsätzlich über die Nummer der entsprechenden IEC-Publikation. Beispiel: IEC 60068 ist als EN 60068 als Europäische Norm durch CENELEC übernommen und als DIN EN 60068 ins Deutsche Normenwerk aufgenommen.

Umweltprüfungen –
Teil 2-83: Prüfungen –
Prüfung Tf: Prüfung der Lötbarkeit von Bauelementen der Elektronik für
Oberflächenmontage (SMD) mit der Benetzungswaage unter Verwendung von
Lotpaste
(IEC 60068-2-83:2011)

Environmental testing –
Part 2-83: Tests –
Test Tf: Solderability testing of electronic
components for surface mounting devices
(SMD) by the wetting balance method using
solder paste
(IEC 60068-2-83:2011)

Essais d'environnement –
Partie 2-83: Essais –
Essais Tf: Essai de brasabilité des composants
électroniques pour les composants pour
montage en surface (CMS) par la méthode de la
balance de mouillage utilisant de la pâte à
braser
(CEI 60068-2-83:2011)

Diese Europäische Norm wurde von CENELEC am 2011-10-12 angenommen. Die CENELEC-Mitglieder sind gehalten, die CEN/CENELEC-Geschäftsordnung zu erfüllen, in der die Bedingungen festgelegt sind, unter denen dieser Europäischen Norm ohne jede Änderung der Status einer nationalen Norm zu geben ist.

Auf dem letzten Stand befindliche Listen dieser nationalen Normen mit ihren bibliographischen Angaben sind beim Zentralsekretariat oder bei jedem CENELEC-Mitglied auf Anfrage erhältlich.

Diese Europäische Norm besteht in drei offiziellen Fassungen (Deutsch, Englisch, Französisch). Eine Fassung in einer anderen Sprache, die von einem CENELEC-Mitglied in eigener Verantwortung durch Übersetzung in seine Landessprache gemacht und dem Zentralsekretariat mitgeteilt worden ist, hat den gleichen Status wie die offiziellen Fassungen.

CENELEC-Mitglieder sind die nationalen elektrotechnischen Komitees von Belgien, Bulgarien, Dänemark, Deutschland, Estland, Finnland, Frankreich, Griechenland, Irland, Island, Italien, Kroatien, Lettland, Litauen, Luxemburg, Malta, den Niederlanden, Norwegen, Österreich, Polen, Portugal, Rumänien, Schweden, der Schweiz, der Slowakei, Slowenien, Spanien, der Tschechischen Republik, der Türkei, Ungarn, dem Vereinigten Königreich und Zypern.

CENELEC

Europäisches Komitee für Elektrotechnische Normung
European Committee for Electrotechnical Standardization
Comité Européen de Normalisation Electrotechnique

Zentralsekretariat: Avenue Marnix 17, B-1000 Brüssel

© 2011 CENELEC – Alle Rechte der Verwertung, gleich in welcher Form und in welchem Verfahren, sind weltweit den Mitgliedern von CENELEC vorbehalten.

Ref. Nr. EN 60068-2-83:2011 D

Vorwort

Der Text des Dokumentes 91/975/FDIS, zukünftige Ausgabe 1 der IEC 60068-2-83, erarbeitet durch IEC/TC 91 „Electronics assembly technology“, wurde zur parallelen IEC-CENELEC-Abstimmung vorgelegt und von CENELEC als EN 60068-2-83:2011 angenommen.

Nachstehende Daten wurden festgelegt:

- spätestes Datum, zu dem die EN auf nationaler Ebene durch Veröffentlichung einer identischen nationalen Norm oder durch Anerkennung übernommen werden muss (dop): 2012-07-12
- spätestes Datum, zu dem nationale Normen, die der EN entgegenstehen, zurückgezogen werden müssen (dow): 2014-10-12

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Texte dieses Dokuments Patentrechte berühren können. CENELEC [und/oder CEN] sind nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Anerkennungsnotiz

Der Text der Internationalen Norm IEC 60068-2-83:2011 wurde vom CENELEC ohne irgendeine Abänderung als eine Europäische Norm angenommen.

In der offiziellen Fassung sind unter „Literaturhinweise“ zu den aufgelisteten Normen die nachstehenden Anmerkungen einzutragen:

- | | | |
|----------------|-----------|---------------------------------|
| IEC 60068-2-69 | ANMERKUNG | Harmonisiert als EN 60068-2-69. |
| IEC 61189-5 | ANMERKUNG | Harmonisiert als EN 61189-5. |

Inhalt

	Seite
Vorwort	2
Einleitung	5
1 Anwendungsbereich	6
2 Normative Verweisungen	6
3 Begriffe	6
4 Prüfung	7
4.1 Allgemeine Beschreibung des Verfahrens	7
4.2 Prüfverfahren	7
5 Vorbehandlung	7
6 Vorbereitung	7
6.1 Lotpaste	7
6.2 Prüfträger	8
6.3 Halterung	8
7 Schnellheizverfahren	8
7.1 Prüfeinrichtung	8
7.2 Prüfträger	9
7.3 Vorbereitung	10
7.4 Prüfbedingungen	10
7.5 Prüfverfahren	11
7.6 Darstellung des Ergebnisses	12
7.7 Beispiele für Kenngrößen	12
8 Synchronverfahren	13
8.1 Prüfeinrichtung	13
8.2 Prüfträger	14
8.3 Synchronaufnahme	14
8.4 Vorbereitung	14
8.5 Prüfbedingungen	14
8.6 Prüfverfahren	14
8.7 Darstellung des Ergebnisses	15
8.8 Beispiele für Kenngrößen	16
9 Temperaturprofilverfahren	16
9.1 Prüfeinrichtung	16
9.2 Prüfträger	16
9.3 Vorbereitung	17
9.4 Prüfbedingungen	17
9.5 Prüfverfahren	18
9.6 Darstellung des Ergebnisses	19
9.7 Beispiele für Kenngrößen	20

	Seite
Anhang A (normativ) Prüfgerät für Schnellheiz- und Synchronverfahren	21
Anhang B (informativ) Signalverläufe und Korrektur der Ergebnisse bei dem Schnellheizverfahren	22
Anhang C (normativ) Prüfeinrichtung für das Temperaturprofilverfahren	25
Anhang D (informativ) Interpretation der Signalverläufe und Korrektur der Ergebnisse beim Temperaturprofilverfahren	26
Anhang E (informativ) Warnhinweise / Anmerkungen	29
Literaturhinweise	33
Anhang ZA (normativ) Normative Verweisungen auf internationale Publikationen mit ihren entsprechenden europäischen Publikationen	34
Bild 1 – Prüfeinrichtung für das rasche Aufheizverfahren (Beispiel)	8
Bild 2 – Prüfträger für Schnellheiz- und Synchronverfahren (Beispiel)	9
Bild 3 – Beispiel eines Temperaturprofils	10
Bild 4 – Aufbringen der Lotpaste auf den Prüfträger (Beispiel)	11
Bild 5 – Typischer Signalverlauf bei dem raschen Aufheizverfahren	12
Bild 6 – Beispiel einer Prüfeinrichtung für das Synchronverfahren	13
Bild 7 – Beispiel für die Synchronaufnahme	14
Bild 8 – Typischer Signalverlauf bei dem Synchronverfahren	15
Bild 9 – Beispiel einer Prüfeinrichtung für das Temperaturprofilverfahren	16
Bild 10 – Beispiel eines Temperaturprofils	17
Bild 11 – Aufbringen der Lotpaste auf den Prüfträger (Beispiel)	18
Bild 12 – Typischer Signalverlauf bei der Temperaturprofilmethode	20
Bild B.1 – Typische Verläufe der Benetzungskraft bei dem raschen Aufheizverfahren	23
Bild B.2 – Beispiel für Korrektur des Startzeitpunktes der Benetzung (F_a ist größer $0,5F_{1,max}$)	24
Bild B.3 – Beispiel für Korrektur des Startzeitpunktes der Benetzung (F_a ist $0,5F_{1,max}$ oder kleiner)	24
Bild D.1 – Typische Signalverläufe bei dem Temperaturprofilverfahren	27
Bild D.2 – Einwirken einer Druckkraft ($1,1F_{max}$ oder größer) nach Einsetzen der Benetzung	28
Bild E.1 – Beispielhafte Darstellung des Schnellheizverfahrens	30
Bild E.2 – Beispielhafte Darstellung des Synchronverfahrens	30
Bild E.3 – Benetzungskraft (Zugkraft) einiger Lotpasten	31
Bild E.4 – Beispielhafte Darstellung des Temperaturprofilverfahrens	32
Tabelle 1 – Prüfträger für Schnellheiz- und Synchronverfahren	9
Tabelle 2 – Schnellheiz- und Synchronverfahren – empfohlene Prüfbedingungen für rechteckige SMD	11
Tabelle 3 – Prüfträger für das Temperaturprofilverfahren	17
Tabelle 4 – Temperaturprofilverfahren – empfohlene Prüfbedingungen für rechteckige SMD	18

Einleitung

Die IEC (Internationale Elektrotechnische Kommission) weist darauf hin, dass die Einhaltung dieses Dokuments die Anwendung eines Patents notwendig macht.

Die IEC bezieht keine Stellung hinsichtlich des Nachweises, der Gültigkeitsdauer und des Anwendungsbereiches dieses Patents.

Der Inhaber dieses Patents hat der IEC zugesagt, dass er bereit ist, mit weltweiten Antragstellern unter angemessenen und nicht-diskriminierenden Bedingungen Lizenzen auszuhandeln. Die diesbezügliche Aussage des Patent-Inhabers ist bei IEC verzeichnet. Informationen können bezogen werden von:

- a) EU patent 0920488.4 „Synchronous test method for assessing soldering pastes“¹
Gen3 Systems LTD
Unit B2
Armstrong Mall
Farnborough GU14 0NR
United Kingdom
- b) JP Patent 2630712 „Testing method of characteristics of solder paste and the equipment for the test“
Malcom Co., Ltd
4-15-10 Honmachi, Shibuya-ku
Tokyo, 151-0071
Japan
- c) Patent JP 3789041 „Solderability measuring apparatus“
Patent JP 3552061 „Solderability tester and solderability test method“
Patent JP 3498100 „Method and device for testing solderability and microcrucible for testing“
Patent JP 3153884 „Measuring device for soldering performance of cream solder“
Tarutin Kester Co., Ltd.
2-20-11 Yokokawa,
Sumida-ku
Tokyo, 130-0003
Japan
- d) Sony Corporation
1-7-1 Konan Minato-ku
Tokyo 108-0075
Japan

Zu beachten ist die Möglichkeit, dass einige Teile dieser Norm noch weiteren als den hier identifizierten Patentvorschriften unterliegen. Die IEC kann nicht für die Identifikation aller hier zutreffenden Patente verantwortlich gemacht werden.

ISO (www.iso.org/patents) und IEC (<http://patents.iec.ch>) stellen eine Online-Datenbank mit maßgeblichen Patenten zu den Normen bereit. Die Anwender werden gebeten die Datenbank für die aktuellen Informationen bezüglich der Patente zu nutzen.

¹ Status des Patent: Angemeldet.

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil der IEC 60068 beinhaltet Verfahren zur vergleichenden Bestimmung der Benetzbarkeit metallischer oder metallisierter Anschlussflächen von SMD mittels Lotpasten.

Mittels dieser Verfahren gewonnene Daten sind nicht als quantitative Absolutwerte für Annahmeprüfungen vorgesehen.

ANMERKUNG Weitere Verfahren zur Benetzungsprüfung von SMD sind in IEC 60068-2-58 und IEC 60068-2-69 beschrieben. IEC 60068-2-58 beinhaltet die Bewertung durch Sichtprüfung (Lotbad- und Reflow-Lötverfahren), IEC 60068-2-69 die Bewertung mittels Benetzungswaage (Lotbad- und Lotkugelverfahren).

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 60068-1, *Environmental testing – Electricity and Electronics – General rules*

IEC 60068-2-20:2008, *Environmental testing – Part 2-20: Tests – Test T: Test methods for solderability and resistance to soldering heat of devices with leads*

IEC 60068-2-58, *Environmental testing – Part 2-58: Tests – Test Td: Test methods for solderability, resistance to dissolution of metallization and to soldering heat of surface mounting devices (SMD)*

IEC 60194, *Printed Board Design, Manufacture and Assembly – Terms and Definitions*

IEC 61190-1-3, *Attachment materials for electronic assembly – Part 1-3: Requirements for electronic grade solder alloys and fluxed and non-fluxed solid solders for electronic soldering applications*

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die Begriffe nach IEC 60068-1, IEC 60068-20:2008, IEC 60068-2-58, IEC 60194 und IEC 61190-1-3 sowie die folgenden Begriffe.

3.1

Benetzbarkeit

Leichtigkeit, mit welcher ein Metall oder eine Legierung mit geschmolzenem Lot benetzt werden kann

3.2

Benetzungswaagenverfahren

Verfahren zur Messung des Benetzungsverhaltens und der Lötbarkeit mittels Messung der auf den Prüfling einwirkenden senkrechten Kraft (Differenz zwischen Oberflächenspannung und Auftriebskraft) und deren Aufzeichnung über die Zeit, während der der Prüfling in geschmolzenes Lot getaucht ist

3.3

Beginn der Aufheizung

Startpunkt der Aufheizung der auf den Prüfträger aufgetragenen Lotpaste

3.4

Nulllinie

Linie parallel zur Zeitachse in Höhe der auf den Prüfling einwirkenden Kraft, wenn er am Ende der Prüfung von dem geschmolzenen Lot abgehoben wird

4 Prüfung

4.1 Allgemeine Beschreibung des Verfahrens

Der Prüfling ist an einer geeigneten Halterung befestigt und an eine empfindliche Waage gehängt. Der Prüfling wird in die auf einen Prüfräger aufgebrachte Lotpaste getaucht; anschließend wird die Lotpaste bis zum Schmelzen aufgeheizt.

Die resultierende Kraft aus Auftrieb und Oberflächenspannung, die auf den eingetauchten Lötanschluss wirkt, wird von einem Messwandler erfasst und in ein Signal umgewandelt. Dieses wird kontinuierlich als Funktion der Zeit aufgezeichnet und auf einem Hochgeschwindigkeitsschreiber festgehalten oder auf einem Bildschirm angezeigt.

ANMERKUNG Die Benetzungskraft kann nur für Prüflinge derselben Form und Größe bewertet werden. Eine absolute Bewertung kann mit diesem Verfahren nicht gewonnen werden.

4.2 Prüfverfahren

Im Folgenden werden drei Verfahren beschrieben. Das anzuwendende Verfahren muss in der zutreffenden Vorschrift festgelegt werden.

- Schnellheizverfahren:** Die Lotpaste wird während eines raschen Temperaturanstiegs aufgeschmolzen, und dabei wird die Benetzbarkeit der Bauelementanschlussflächen beurteilt. Der Prüfling wird vor Beginn des Temperaturanstiegs in die Lotpaste getaucht.
- Synchronverfahren:** Die Lotpaste wird mit einem raschen Temperaturanstieg aufgeschmolzen, und dabei wird die Benetzbarkeit der Bauelementanschlussflächen beurteilt. Der Prüfling wird zu Beginn des Temperaturanstiegs in die Lotpaste getaucht.
- Temperaturprofilverfahren:** Die Lotpaste wird mit einem ähnlich dem in Fertigungen eingesetzten Temperaturprofil aufgeschmolzen und die Benetzbarkeit der Bauelementanschlussflächen beurteilt.

ANMERKUNG 1 Diese Prüfung (Tf) kann auch auf oberflächenmontierbare Bauelemente mit Anschlussdrähten angewandt werden. Um vergleichbare und wiederholbare Prüfergebnisse zu erzielen, sollte die Prüfung Tf an geraden Anschlüssen durchgeführt werden.

ANMERKUNG 2 Diese Norm schreibt keine anzuwendenden Lotpasten vor.

5 Vorbehandlung

Falls die Einzelvorschrift nichts anderes festlegt, muss die Prüfung an Prüflingen im Anlieferzustand durchgeführt werden, wobei darauf zu achten ist, dass die Prüflinge nicht durch Berührung mit Fingern oder anderen Gegenständen verunreinigt werden. Wenn es die Einzelbestimmung für das Bauelement fordert, kann der Prüfling durch Tauchen in ein neutrales organisches Lösemittel bei Raumtemperatur gereinigt werden. Eine andere Reinigung ist nicht zulässig. Einen so gereinigten Prüfling lässt man in Luft abtrocknen.

Wenn in der Einzelbestimmung eine beschleunigte Alterung gefordert ist, dann ist eines der Verfahren nach IEC 60068-2-20:2008, 4.1.4 (Alterung 1), anzuwenden. Die Einzelbestimmung muss die Alterungsbedingungen angeben.

6 Vorbereitung

6.1 Lotpaste

Es ist Lotpaste zu benutzen, die in einem verschlossenen Behälter dunkel und unter 10 °C gelagert wurde und nicht direkter Sonneneinstrahlung ausgesetzt war. Wichtig ist, dass vor der Durchführung der Prüfung die Lotpaste mit entsprechender Sorgfalt vorbehandelt wird.

- Die Lotpaste muss Raumtemperatur angenommen haben, nominell $25\text{ °C} \pm 5\text{ °C}$ und $50\% \text{ RH} \pm 10\%$ für 8 h, oder wie durch den Hersteller festgelegt.
- Behälter öffnen; innere Abdeckung entfernen, Paste von Deckel, innerer Abdeckung und Behälterwänden entfernen; dieses Material wieder der Paste im Behälter zugeben.
- Die Lotpaste sorgfältig für 1 min bis 2 min mit einer Spatel verrühren, um sie zu homogenisieren; dabei das Einrühren von Luft vermeiden.

Falls erforderlich, die Paste sorgfältig in einen Prüfbehälter mit ausreichendem Volumen umfüllen, dabei das Einrühren von Luft vermeiden.

6.2 Prüfträger

Die Prüfträger müssen in einem dicht schließenden Behälter gelagert werden. Unmittelbar vor der Prüfung sind sie abzuätzen, etwa mit verdünnter Salzsäure. Für jede Prüfung ist ein neuer Träger zu verwenden. Nicht benutzte Prüfträger sind zu entsorgen und dürfen nicht wieder in den dicht schließenden Behälter zurückgegeben werden.

6.3 Halterung

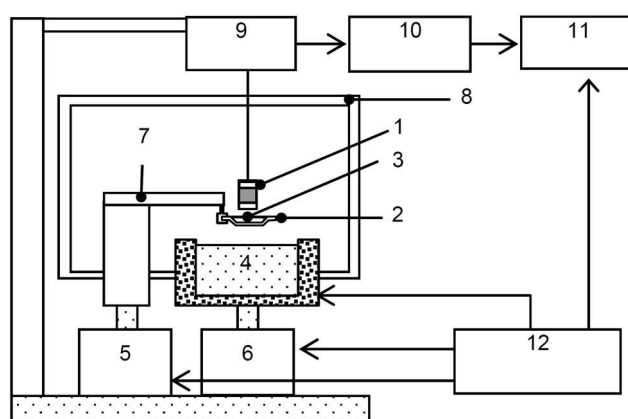
Die Halterung für den Prüfling wird üblicherweise während der Prüfung durch Flussmittel verunreinigt. Die Halterung ist mit einem neutralen organischen Lösemittel zu reinigen. Ultraschallunterstützung ist empfohlen.

7 Schnellheizverfahren

7.1 Prüfeinrichtung

Die Prüfeinrichtung für das Schnellheizverfahren besteht aus dem Messsystem, dem Heizsystem und einer mechanischen Hebevorrichtung wie in Bild 1 dargestellt. Anhang A beschreibt die einzelnen Anforderungen an das System.

- Das Messsystem besteht aus einem Kraftsensor zur Messung der auf den Prüfling einwirkenden senkrechten Kraft, einem mechanisch-elektrischen Messwandler und einer Aufzeichnungseinrichtung.
- Das Heizsystem muss die festgelegte Solltemperatur innerhalb einer Abweichung von $\pm 3\text{ °C}$ regeln können.
- Die mechanische Hebevorrichtung muss den Prüfling entsprechend den in 7.4.3 festgelegten Bedingungen ein- und austauschen können.



Legende

1	Prüfling	7	Prüfträgerhalterung
2	Prüfträger	8	Gehäuse
3	Lotpaste	9	Sensor
4	Heizbad	10	Messwandler
5	Hebevorrichtung Prüfträger	11	Aufzeichnungseinrichtung
6	Hebevorrichtung Heizbad	12	Steuerung

Bild 1 – Prüfeinrichtung für das rasche Aufheizverfahren (Beispiel)

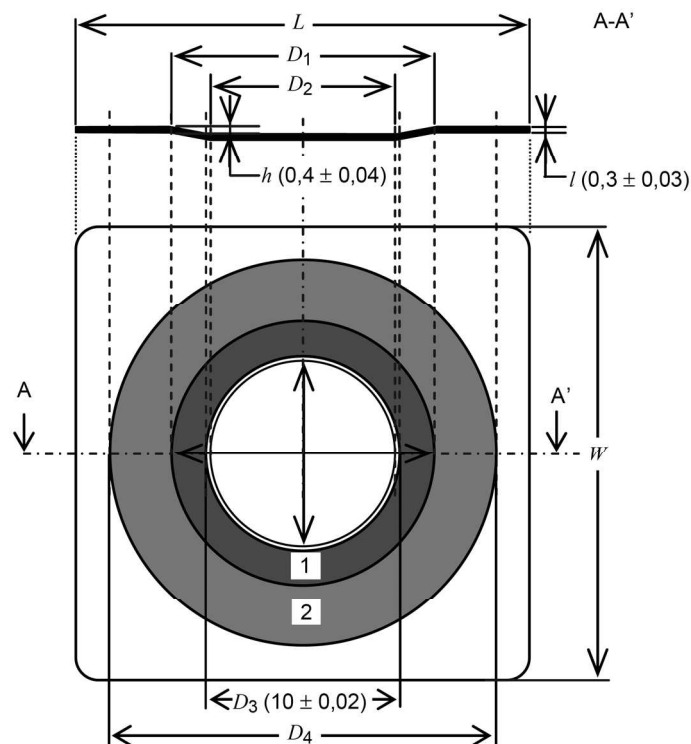
7.2 Prüfträger

Der Prüfträger muss den Festlegungen in Tabelle 1 entsprechen.

Tabelle 1 – Prüfträger für Schnellheiz- und Synchronverfahren

Einzelheit	Spezifikation
Material	Kupfer, sauerstofffrei, desoxidiert mit Phosphor
Form	Geprägter Tiegel
Abmessungen (L , W)	Länge einer Seite kleiner 30 mm, oder Fläche kleiner 900 mm ²
Dicke (l)	0,3 mm $\pm$ 0,03 mm
Durchmesser Prägung (D_1 , D_2)	9 mm bis 10 mm am Grund, 13 mm bis 14 mm an der Oberkante
Tiefe Prägung (h)	0,4 mm $\pm$ 0,04 mm
Lötstopplack (D_3 , D_4)	Innendurchmesser: 10 mm $\pm$ 0,02 mm Außendurchmesser: größer 20 mm
Lackdicke	0,035 mm $\pm$ 0,01 mm
Verbiegung	$\pm$ 0,05 mm (bei rechteckiger Form bezogen auf die längere Kante)

Bild 2 stellt das Beispiel eines Prüfträgers für Schnellheiz- und Synchronverfahren dar.



Legende

- | | | | |
|-----------|---------------------------------|-------|-------------------------------|
| 1 | Vertiefung für Lötstopplack | h | Höhe der Vertiefung |
| 2 | Lötstopplack | l | Dicke |
| L , W | Außenabmessungen | D_3 | Innendurchmesser Lötstopplack |
| D_1 | Außendurchmesser der Vertiefung | D_4 | Außendurchmesser Lötstopplack |
| D_2 | Innendurchmesser der Vertiefung | | |

Bild 2 – Prüfträger für Schnellheiz- und Synchronverfahren (Beispiel)