

DIN IEC 63150-3

ICS 31.080.99

Einsprüche bis 2024-09-12

Entwurf

**Halbleiterbauelemente –
Mess- und Bewertungsverfahren für Geräte zur Gewinnung kinetischer
Energie unter praktischen Vibrationsbedingungen –
Teil 3: Aufprallbewegung des menschlichen Fußes
(IEC 47/2758/CD:2022);
Text Deutsch und Englisch**

Semiconductor devices –
Measurement and evaluation methods of kinetic energy harvesting devices under practical
vibration environment –
Part 3: Human foot impact motion
(IEC 47/2758/CD:2022);
Text in German and English

Anwendungswarnvermerk

Dieser Entwurf mit Erscheinungsdatum 2024-07-12 wird der Öffentlichkeit zur Prüfung und Stellungnahme vorgelegt.

Weil das beabsichtigte Dokument von der vorliegenden Fassung abweichen kann, ist die Anwendung dieses Entwurfs besonders zu vereinbaren.

Stellungnahmen werden erbeten

- vorzugsweise online im Norm-Entwurfs-Portal von DIN unter www.din.de/go/entwuerfe bzw. für Norm-Entwürfe der DKE auch im Norm-Entwurfs-Portal der DKE unter www.entwuerfe.normenbibliothek.de, sofern dort wiedergegeben;
- oder als Datei per E-Mail an dke@vde.com möglichst in Form einer Tabelle. Die Vorlage dieser Tabelle kann im Internet unter www.din.de/go/stellungnahmen-norm-entwuerfe oder für Stellungnahmen zu Norm-Entwürfen der DKE unter www.dke.de/stellungnahme abgerufen werden;
- oder in Papierform an die DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE, Merianstraße 28, 63069 Offenbach am Main.

Es wird gebeten, mit den Kommentaren zu diesem Entwurf jegliche relevanten Patentrechte, die bekannt sind, mitzuteilen und unterstützende Dokumentationen zur Verfügung zu stellen.

Gesamtumfang 46 Seiten

DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE

Inhalt

	Seite
Nationales Vorwort.....	4
1 Anwendungsbereich.....	5
2 Normative Verweisungen.....	5
3 Begriffe.....	5
4 Prüfstand für aufprallgetriebene Energie-Harvesting-Geräte.....	5
4.1 Allgemeines.....	5
4.2 Schwingungserreger.....	6
4.3 Montagevorrichtung.....	6
4.4 Funktionsgenerator.....	6
4.5 Leistungsverstärker.....	7
4.6 Beschleunigungsmesser.....	7
4.7 Datenschreiber.....	7
4.8 Lastwiderstand.....	7
5 Prüfling.....	7
5.1 Allgemeines.....	7
5.2 Bestätigung des Prüflings.....	7
6 Prüfbedingungen.....	7
6.1 Einwirkende Aufprallkräfte.....	7
6.2 Lastwiderstände.....	7
6.3 Prüfumgebung.....	8
7 Messverfahren.....	8
7.1 Allgemeines.....	8
7.2 Eingangs-Aufprallkraft.....	8
7.3 Ausgangsleistung.....	9
8 Prüfbericht.....	9
Anhang A (informativ) Beispiele für experimentelle Ergebnisse mit einem piezoelektrischen, aufprallgetriebenen Energie-Harvesting-Gerät.....	13
A.1 Prüfling.....	13
A.2 Messverfahren.....	16
A.2.1 Schwingen.....	16
A.3 Ausgangseigenschaften.....	16
A.4 Beispiele für Merkmale realer tragbarer Geräte (Wearables).....	21
Literaturhinweise.....	24
Bilder	
Bild 1 – Prüfstand für aufprallgetriebene Energie-Harvesting-Geräte.....	6
Bild 2 – Eine Definition von Sinushalbwellen-Beschleunigungsimpulsen.....	9
Bild A.1 – Piezoelektrisches aufprallgetriebenes Energie-Harvesting-Gerät mit Ausleger, das im Experiment verwendet wurde.....	13

Bild A.2 – Wellenformen des Eingangssignals des Funktionsgenerators, der Beschleunigung und der Ausgangsspannung (von oben nach unten) des piezoelektrischen Energie-Harvesting-Geräts mit Ausleger (Beschleunigung $a_i = 90 \text{ m/s}^2$). Dauern = (a) 1 ms, (b) 2 ms und (c) 5 ms. Die grüne und die gelbe Linie stellen die Ausgangsspannung aus dem Experiment bzw. aus der Berechnung nach Gleichung (A.1) dar.....	18
Bild A.3 – Wellenformen des Eingangssignals des Funktionsgenerators, der Beschleunigung und der Ausgangsspannung (von oben nach unten) des piezoelektrischen Energie-Harvesting-Geräts mit Ausleger (Beschleunigung $a_i = 180 \text{ m/s}^2$). Dauern = (a) 1 ms, (b) 2 ms und (c) 5 ms. Die grüne und die gelbe Linie stellen die Ausgangsspannung aus dem Experiment bzw. aus der Berechnung nach Gleichung (A.1) dar.....	19
Bild A.4 – Dauer-Merkmale der (a) maximalen Ausgangsspannung, (b) Ausgangsenergie und (c) inversen Amplitude nach dem Hauptimpuls a_a (Parameter: Schwingungserregungs-Beschleunigungen a_i).....	20
Bild A.5 – Wellenformen der Ausgangsspannung (oben) und -leistung (unten) von $R_{TL} =$ (a) 89,3 k Ω , (b) 52,3 k Ω und (c) 9,78 k Ω eines piezoelektrischen Energie-Harvesting-Geräts mit Ausleger (Beschleunigung $a_i = 90 \text{ m/s}^2$, Dauern = 1 ms). Die grüne und die gelbe Linie stellen die Ausgangsspannung aus dem Experiment bzw. aus der Berechnung nach Gleichung (A.1) dar. Die violetten Linien stellen die Ausgangsleistung aus der Berechnung nach Gleichung (1) dar.....	21
Bild A.6 – Beispiele für Fußbewegungen beim (a) Gehen und (b) Laufen [4].....	22
Bild A.7 – Konfiguration des Messsystems für die Aufprallbeschleunigung und die Ausgangsspannung des Prüflings an einem Schuh.....	22
Bild A.8 – Beispiele für gemessene Wellenformen der Aufprallbeschleunigung in einer Schuhsohle. (a) Eingangsbeschleunigung und (b) Ausgangsspannung.....	23
Tabellen	
Tabelle 1 – Elemente und Parameter, die für den Prüfbericht zwingend erforderlich sind.....	10
Tabelle 2 – Elemente und Parameter, die für den Prüfbericht optional sind.....	11
Tabelle A.1 – Elemente und Parameter des vorgeschriebenen Prüfberichts.....	13
Tabelle A.2 – Elemente und Parameter des optionale Prüfberichts.....	15
Tabelle A.3 – Abhängigkeit des Gesamtlastwiderstands von der Ausgangsenergie.....	21

Nationales Vorwort

Das internationale Dokument IEC 47/2758/CD:2022-03 „Semiconductor devices – Measurement and evaluation methods of kinetic energy harvesting devices under practical vibration environment – Part 3: Human foot impact motion“ (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 IEC/TC 47 „Semiconductor devices“ der Internationalen Elektrotechnischen Kommission (IEC) erarbeitet und unterliegt dem Copyright der IEC . Das Dokument wurde den nationalen Komitees zur Stellungnahme vorgelegt.

Da der Abstimmungszeitraum für einen FDIS nur 6 Wochen 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.

Für dieses Dokument ist das nationale Arbeitsgremium DKE/K 631 „Halbleiterbauelemente“ der DKE Deutsche Kommission Elektrotechnik Elektronik Informationstechnik in DIN und VDE (www.dke.de) zuständig.

Aktuelle Informationen zu diesem Dokument können über die Internetseiten von DKE (www.dke.de) und DIN (www.din.de) durch eine Suche nach der Dokumentennummer aufgerufen werden.

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

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

Der Zusammenhang der zitierten Dokumente mit den entsprechenden deutschen Dokumenten ergibt sich, soweit ein Zusammenhang besteht, grundsätzlich über die Nummer der entsprechenden IEC-Publikation.

Es wird auf die Möglichkeit hingewiesen, dass einige Elemente dieses Dokuments Patentrechte berühren können. IEC ist nicht dafür verantwortlich, einige oder alle diesbezüglichen Patentrechte zu identifizieren.

Das Original-Dokument enthält Bilder in Farbe, die in der Papierversion in einer Graustufen-Darstellung wiedergegeben werden. Elektronische Versionen dieses Dokuments enthalten die Bilder in der originalen Farbdarstellung.

Halbleiterbauelemente – Mess- und Bewertungsverfahren für Geräte zur Gewinnung kinetischer Energie unter praktischen Vibrationsbedingungen – Teil 3: Aufprallbewegung des menschlichen Fußes

1 Anwendungsbereich

Dieser Teil der IEC 63150 legt Begriffe sowie Prüfverfahren für aufprallgetriebene Geräte zur Gewinnung von Energie (Energie-Harvesting) fest, deren elektrische Energie durch die Aufprallkraft der menschlichen Geh- oder Laufbewegung bei praktischen menschlichen Bewegungen erzeugt wird. Dieses Dokument gilt für aufprallgetriebene Energie-Harvesting-Geräte, die in tragbare Geräte (Wearables) eingebettet sind, insbesondere für schuhmontierte Energie-Harvesting-Geräte, deren Hauptelement der Energieerzeugung die Aufprallenergie ist. Dieses Messverfahren ist unabhängig von Energieerzeugungsprinzipien (wie piezoelektrisch, elektrostatisch, triboelektrisch, elektromagnetisch usw.). Entsprechend der typischen menschlichen Bewegung wird die Leistung der Stromerzeugung unter der Bedingung einer mechanischen Anregung mit großer Amplitude und niedriger Frequenz gemessen.

2 Normative Verweisungen

Die folgenden Dokumente, die in diesem Dokument teilweise oder als Ganzes zitiert werden, 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 63150-1, *Semiconductor devices – Measurement and evaluation methods of impact-driven energy harvesting devices under practical vibration environment – Part 2: Human arm swing motion*.

3 Begriffe

Für die Anwendung dieses Dokuments gelten die folgenden Begriffe.

ISO und IEC stellen terminologische Datenbanken für die Verwendung in der Normung unter den folgenden Adressen bereit:

- IEC Electropedia: verfügbar unter <https://www.electropedia.org/>
- ISO Online Browsing Platform: verfügbar unter <https://www.iso.org/obp>

3.1

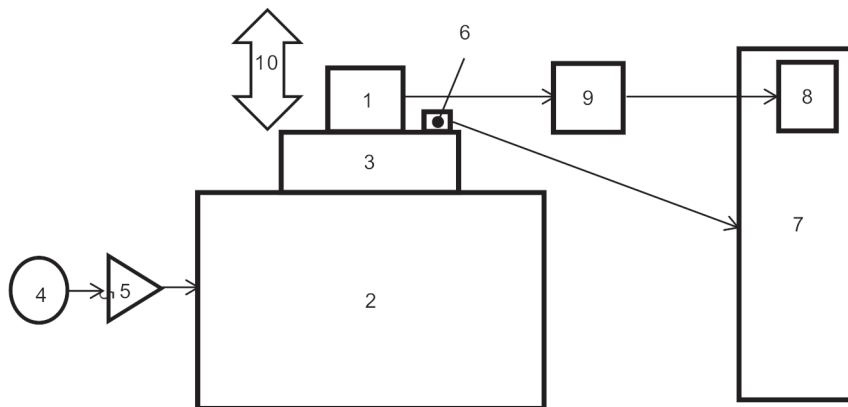
aufprallgetriebene Energie-Harvesting-Geräte

kleine Stromgeneratoren mit mechanischem Bewegungsantrieb. Typische Energieumwandlungsmethoden sind piezoelektrische, elektrostatische, triboelektrische und elektromagnetische Systeme.

4 Prüfstand für aufprallgetriebene Energie-Harvesting-Geräte

4.1 Allgemeines

Dieses Messverfahren gilt für aufprallgetriebene Energie-Harvesting-Geräte, die mechanische Bewegungsenergie durch Energieumwandlungssysteme (z. B. piezoelektrische, elektrostatische, elektromagnetische Systeme) in elektrische Energie umwandeln. Die Stromerzeugungseigenschaften von Ausgangsspannung und -leistung werden als Funktion von den Eingangsparametern der Impulskräfte (z. B. Beschleunigung und Dauer des Sinushalbwellenimpulses) gemessen. Die Eingangsimpulskräfte werden durch typische menschliche Fußbewegungen beim Gehen und Laufen bestimmt. Bild 1 zeigt eine grundlegende Konfiguration des Prüfstands für aufprallgetriebene Energie-Harvesting-Geräte. Einzelheiten zu den in der Legende bezeichneten Funktionsblöcken oder Bauteilen sind unten in 4.2 bis 4.8 aufgeführt.



Legende

- 1 Prüfling (DUT)
- 2 Schwingungserreger
- 3 Montagevorrichtung
- 4 Funktionsgenerator
- 5 Leistungsverstärker
- 6 Beschleunigungsmesser
- 7 Datenschreiber
- 8 Eingangsimpedanz der Auslese-Schaltkreise
- 9 Widerstand der externen Last, falls vorhanden
- 10 Richtung der Aufprallkraft

Bild 1 – Prüfstand für aufprallgetriebene Energie-Harvesting-Geräte

4.2 Schwingungserreger

Der Schwingungserreger erzeugt eine vorgegebene Beschleunigung/Wellenform, die die mechanischen Stöße, insbesondere an den Schuhen, reproduziert. Die auf den Prüfling (DUT, en: device under test) einwirkende aufprallartige Beschleunigung wird an der Ausgangsklemme gemessen. Die vom Schwingungserreger erzeugte Schwingungsbeschleunigung und Aufpralldauer sind einfache Sinushalbwellenimpulse, die denen einer typischen Geh- oder Laufbewegung ähneln. Die Richtung der Aufprallkraft ist im Wesentlichen parallel zur Fallbeschleunigung, wie in Bild 1 gezeigt. Die Aufprallbeschleunigung wird durch das Signal gesteuert, das von einem Funktionsgenerator über einen Leistungsverstärker an den Schwingungserreger geliefert wird. Es können auch andere Einrichtungen zur Erzeugung von Stößen wie Hammer- oder Aufprallprüfmaschinen verwendet werden (diese Prüfmaschinen werden im Folgenden auch als Schwingungserreger bezeichnet).

4.3 Montagevorrichtung

Die Montagevorrichtung dient zur Befestigung des Prüflings, so dass die Aufprallbeschleunigung vom Erreger stabil auf das Bauteil übertragen werden kann.

4.4 Funktionsgenerator

Der Funktionsgenerator erzeugt ein elektrisches Signal in Form eines Sinusimpulses mit halben Zyklen, der die Quelle für die Wellenformen der Aufprallkraft ist.

4.5 Leistungsverstärker

Der Leistungsverstärker verstärkt das elektrische Signal des Funktionsgenerators und steuert die Beschleunigungsamplitude des Schwingungserregers.

4.6 Beschleunigungsmesser

Der Beschleunigungsmesser misst die Aufprallbeschleunigung am Prüfling.

4.7 Datenschreiber

Die Ausgangsspannung des Prüflings wird mit einem Datenschreiber gemessen, der die zeitabhängige Ausgangsspannung misst und aufzeichnet.

4.8 Lastwiderstand

Die Ausgangsklemmen des Prüflings sind elektrisch mit einem der folgenden Lastwiderstände verbunden.

1. Nur mit dem Datenschreiber verbunden
2. Sowohl mit dem Datenschreiber als auch mit der externen Last verbunden

5 Prüfling

5.1 Allgemeines

Das aufprallgetriebene Energie-Harvesting-Gerät für Prüfungen nutzt den Energieumwandlungseffekt wie z. B. piezoelektrische, elektrostatische oder elektromagnetische Phänomene. Der Prüfling muss am Schwingungserreger montiert werden, wo die Schwingungsbewegungen die elektrische Energie erzeugen, und sein elektrischer Ausgang muss an einen Lastwiderstand angeschlossen werden. Vor den eigentlichen Stromerzeugungsprüfungen muss die Bestätigung des Prüflings wie in 5.2 beschrieben geklärt werden.

5.2 Bestätigung des Prüflings

Vor der Prüfung ist es erforderlich zu bestätigen und aufzuzeichnen, welche Art von mechanisch-elektrischen Energieumwandlungssystemen (z. B. piezoelektrische, elektrostatische, triboelektrische und elektromagnetische Systeme) im Prüfling verwendet werden. Es ist außerdem erforderlich, die Beziehung zwischen der Richtung der Schwingungsbeschleunigung und der Richtung der Fallbeschleunigung anzugeben, wenn diese Richtungen unterschiedlich sind.

6 Prüfbedingungen

6.1 Einwirkende Aufprallkräfte

Um die mechanischen Aufprallkräfte der menschlichen Bewegung zu reproduzieren, wird der Prüfling einer Beschleunigung durch Sinushalbwellenimpulse ausgesetzt. Die Verfahren zur Einwirkung der Aufprallkraft auf den Prüfling sind in 7.1 beschrieben.

6.2 Lastwiderstände

Der Gesamtlastwiderstand, der an die Ausgangsklemmen des Prüflings angeschlossen ist, ist definiert als Gesamtwert des Eingangswiderstands der Ausleseschaltung im Datenschreiber und eines externen Lastwiderstands. Der externe Lastwiderstand kann so bestimmt werden, dass er für die Eingangsimpedanz des Prüflings oder der elektrischen Schaltung der praktischen Anwendung geeignet ist.

6.3 Prüfumgebung

Die Temperatur und die relative Feuchte sollten während der Prüfung konstant sein.

7 Messverfahren

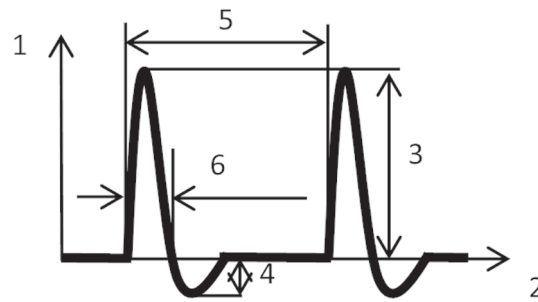
7.1 Allgemeines

Während die Aufprallkräfte auf den Prüfling einwirken, wird das elektrische Ausgangssignal des Prüflings gemessen. Die Messung wird wie folgt durchgeführt.

- a) Temperatur und relative Luftfeuchte werden aufgezeichnet;
- b) Der Prüfling wird mit der Montagevorrichtung auf dem Schwingungserreger befestigt;
- c) Der Datenschreiber wird an die Ausgangsklemme des Prüflings angeschlossen, wo, falls erforderlich, auch der externe Lastwiderstand angeschlossen wird;
- d) Das Betriebssignal wird mit einem Funktionsgenerator über einen Verstärker an den Schwingungserreger angelegt, um die erforderliche Aufprallbewegung zu erzeugen, wie in 7.2 beschrieben;
- e) Dauer und Zeitintervall der Aufprallamplitude auf den Prüfling werden aufgezeichnet;
- f) Die Ausgangsspannung wird gemessen;
- g) Die Schritte c) bis f) werden für verschiedene Beschleunigungen und Dauern wiederholt, falls erforderlich.

7.2 Eingangs-Aufprallkraft

Um typische Aufprallwellenformen beim Gehen und Laufen zu reproduzieren, werden dem Prüfling über einen Schwingungserreger Sinushalbwellenimpulse zugeführt. Die Wellenform ist in Bild 2 festgelegt. Die Dauer wird ausreichend kürzer als die Eigenperiode (Kehrwert der Resonanzfrequenz) des Prüflings eingestellt. Die Intervalldauer der Impulse wird auf 1 s eingestellt, was dem ungefähren Zeitintervall entspricht, in dem entweder der linke oder der rechte Fuß beim Gehen landet [1]. Die Amplitude der Aufprallbeschleunigung a_i (von 0 bis zum Spitzenwert der Aufprallbeschleunigung) und die Dauer der Aufprallbeschleunigungen in Schuhen liegt im Bereich von 300 m/s² oder darunter [2], bzw. im Bereich von 1 ms - 30 ms [2, 3]. Die inversen Amplituden der Beschleunigung nach dem Hauptimpuls sind als a_a definiert, wie in Bild 2 dargestellt. Ein Beispiel der Eingangsbeschleunigungen, die von einem Schwingungserreger erzeugt werden, ist in Anhang A beschrieben.



Legende

- 1 Beschleunigung
- 2 Zeit
- 3 Amplitude der Aufprallbeschleunigung; a_i
- 4 Amplitude der Beschleunigung nach dem Aufprall; a_a
- 5 Intervalldauer
- 6 Dauer

Bild 2 – Eine Definition von Sinushalbwellen-Beschleunigungsimpulsen

7.3 Ausgangsleistung

Um die Ausgangsleistung auf der Grundlage des gemessenen zeitlichen Verlaufs der Ausgangsspannung $v(t)$ zu bewerten, wird die Ausgangsleistung nach folgender Gleichung berechnet.

$$P_o(t) = \frac{v(t)^2}{R_{TL}} \quad (1)$$

Außerdem wird die Ausgangsenergie nach der folgenden Gleichung berechnet.

$$E_o(t) = \frac{\int v(t)^2 dt}{R_{TL}} \quad (2)$$

Dabei ist R_{TL} der Gesamtlastwiderstand (TL, en: total load). In Gleichung (2) beträgt das Integrationsintervall 1 s, was der ungefähren Zeit je Schritt beim Gehen entspricht [1].

8 Prüfbericht

Obligatorisch:

- a) Prüfumgebung;
 - Temperatur und relative Luftfeuchte,
- b) Typ des Energie-Harvesting-Systems;
 - piezoelektrisch, elektrostatisch, triboelektrisch oder elektromagnetisch,
- c) Größe und Gewicht des Prüflings;
 - Größe: Dicke, Breite und Länge (mit oder ohne Verpackung),
 - Gewicht,
- d) Merkmale des Aufprallgenerators;
 - maximale Beschleunigung,

- e) Methode zur Befestigung des Prüflings;
 - Befestigungsmethode und Befestigungen (Metallschraube, Klebstoff oder doppelseitiges Klebeband, usw.),
- f) Merkmale des Beschleunigungsmessers;
 - Genauigkeit (Frequenzgang),
- g) Merkmale des Datenschreibers;
 - Name, Frequenzband,
- h) Lastwiderstand;
 - Gesamtlastwiderstand R_{TL} ,
 - Eingangsimpedanz des Ausleseschaltkreises im Datenschreiber R_i ,
 - Externer Lastwiderstand R_L ,
- i) Prüfbedingungen;
 - Wellenformen der Eingangsbeschleunigung,
 - Wert der Aufprallimpulse von 0 bis zum Spitzenwert a_i ,
 - Dauer der Beschleunigungsimpulse,
 - Intervalldauer der Beschleunigungsimpulse,
 - inverse Amplitude nach dem Hauptimpuls a_a ,
- j) Prüfergebnisse;
 - Wellenformen der Ausgangsspannung,
 - Höchstwert der absoluten Ausgangsspannung,
 - Ausgangsenergie.

Tabelle 1 enthält die Elemente und Parameter, die für den Prüfbericht zwingend erforderlich sind.

Tabelle 1 – Elemente und Parameter, die für den Prüfbericht zwingend erforderlich sind

Elemente	Parameter
a) Prüfumgebung	- Temperatur und relative Luftfeuchte
b) Typ des Energie-Harvesting-Systems	- Piezoelektrisch, elektrostatisch, triboelektrisch oder elektromagnetisch
c) Größe und Gewicht des Prüflings	- Größe: Dicke, Breite und Länge (mit oder ohne Verpackung), - Gewicht
d) Merkmale des Aufprallgenerators	Maximale Beschleunigung
e) Methode der Befestigung des Prüflings	Befestigungsmethode und Befestigungen (Metallschraube, Klebstoff oder doppelseitiges Klebeband, usw.)
f) Merkmale des Beschleunigungsmessers	Genauigkeit (Frequenzgang)
g) Merkmale des Datenschreibers	Name, Frequenzband
h) Lastwiderstand	- Gesamtlastwiderstand R_{TL} - Eingangsimpedanz des Ausleseschaltkreises im Datenschreiber R_i - Externer Lastwiderstand R_L

Elemente	Parameter
i) Prüfbedingungen	<ul style="list-style-type: none"> - Wellenformen der Eingangsbeschleunigung - Wert der Aufprallimpulse von 0 bis zum Spitzenwert a_i - Dauer der Beschleunigungsimpulse - Intervalldauer der Beschleunigungsimpulse - Inverse Amplitude nach dem Hauptimpuls a_a
j) Prüfergebnisse	<ul style="list-style-type: none"> - Wellenform der Ausgangsspannung - Höchstwert der absoluten Ausgangsspannung $V_{\max}$ - Ausgangsenergie

Optional:

- a) Aufprallrichtung (falls nicht in Richtung der Fallbeschleunigung);
 - vertikal oder horizontal,
- b) Resonanzfrequenz f_{res} ;
- c) Gütefaktor Q ;
- d) Dauer-Merkmale der maximalen Ausgangsspannung $V_{\max}$, Ausgangsenergie E_o und inversen Amplitude nach dem Hauptimpuls a_a ;
- e) Merkmale des Aufprallgenerators;
 - Frequenzbereich,
- f) Abhängigkeit vom Gesamtlastwiderstand R_{TL} ;
 - Wellenformen der Ausgangsspannung; Experimente und deren Anpassungsberechnungen,
 - Wellenformen der Ausgangsleistung,
 - Abhängigkeit der Ausgangsleistung vom Gesamtlastwiderstand R_{TL} .

Tabelle 2 enthält die Elemente und Parameter, die für den Prüfbericht optional sind. In Tabelle 2 werden die Resonanzfrequenz f_{res} , der Gütefaktor Q und die Dauer-Merkmale der maximalen Ausgangsspannung $V_{\max}$, Ausgangsenergie E_o und inversen Amplitude nach dem Hauptimpuls a_a aus den Wellenformen der experimentellen Ausgangsspannung durch die in Anhang A beschriebene Anpassungsmethode erhalten.

Tabelle 2 – Elemente und Parameter, die für den Prüfbericht optional sind

Elemente	Parameter
a) Aufprallrichtung (falls nicht in Richtung der Fallbeschleunigung)	Vertikal oder horizontal
b) Resonanzfrequenz f_{res}	
c) Gütefaktor Q	
d) Dauer-Merkmale der maximalen Ausgangsspannung $V_{\max}$, Ausgangsenergie E_o und inversen Amplitude nach dem Hauptimpuls a_a	

Elemente		Parameter
e)	Merkmale des Aufprallgenerators	Frequenzbereich
f)	Abhängigkeit vom Gesamtlastwiderstand R_{TL}	<ul style="list-style-type: none">- Wellenformen der Ausgangsspannung; Experimente und deren Anpassungsberechnungen- Wellenformen der Ausgangsleistung- Abhängigkeit der Ausgangsleistung vom Gesamtlastwiderstand R_{TL}

Anhang A (informativ)

Beispiele für experimentelle Ergebnisse mit einem piezoelektrischen, aufprallgetriebenen Energie-Harvesting-Gerät

A.1 Prüfling

Beispiele für Gerätekonfigurationen mit einem piezoelektrischen Energie-Harvesting-Gerät sind in Bild A.1 dargestellt. Die Tabellen A.1 und A.2 enthalten die obligatorischen bzw. optionalen Elemente und Parameter für den Prüfbericht.

- Bei piezoelektrischen, aufprallgetriebenen Energie-Harvesting-Geräten mit Ausleger kann ein zusätzliches Gewicht am Gerät angebracht werden, um die Ausgangsspannung effizient zu erhalten.
- Die piezoelektrische Dünnschicht sollte in Richtung der Dicke polarisiert sein.
- In Tabelle A.2 werden die Resonanzfrequenz f_{res} und der Gütefaktor Q wie in A.3 angegeben ermittelt.

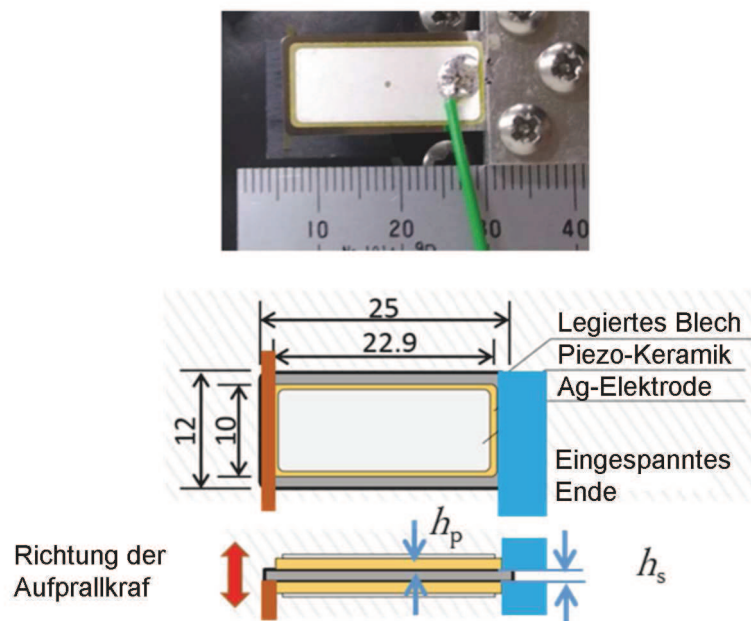


Bild A.1 – Piezoelektrisches aufprallgetriebenes Energie-Harvesting-Gerät mit Ausleger, das im Experiment verwendet wurde

Tabelle A.1 – Elemente und Parameter des vorgeschriebenen Prüfberichts

Elemente	Parameter
a) Prüfumgebung	Temperatur = 23 °C und relative Luftfeuchte = 54 %.
b) Typ des Energie-Harvesting-Systems	Piezoelektrisch
c) Größe und Gewicht des Prüflings	<ul style="list-style-type: none"> Größe: Dicke = 3,63 mm, Breite = 15 mm, Länge = 25 mm (ohne Verpackung) Gewicht des Prüflings: 1,30 g (Substrat mit piezoelektrischer Dünnschicht: 0,35 g, Gewicht: 0,95 g)

Elemente	Parameter
d) Merkmale des Aufprall-generators	Maximale Beschleunigung = 376,9 m/s ²
e) Methode der Befestigung des Prüflings	Befestigung an Aluminiumvorrichtung mit Metallschrauben
f) Merkmale des Beschleunigungsmessers	Genauigkeit: ±5 % (Frequenz = 1,0 Hz - 80 kHz)
g) Merkmale des Daten-schreibers	Digitales Oszilloskop, Frequenzband (-3 dB) = 100 MHz
h) Lastwiderstand	<ul style="list-style-type: none"> - Gesamtlastwiderstand = $R_{TL} = R_i R_L / (R_i + R_L) = 1 \text{ M}\Omega$ - Eingangsimpedanz des Ausleseschaltkreises im Daten-schreiber = $R_i = 1 \text{ M}\Omega$ - Externer Lastwiderstand = Keiner ($R_L \doteq \infty$)